

#### 4.3.2 – Granulometria 220 mesh

Nesta seção são apresentados resultados de testes de abrasão realizados no equipamento SUGA, utilizando o mesmo carregamento da seção anterior de 16,34N e uma lixa abrasiva de granulometria de 220 *mesh*.

Todas as Formulações testadas foram levadas ao interferômetro do mesmo modo que os corpos de provas da seção anterior, ao fim dos primeiros ciclos de ensaio para análise das superfícies dos corpos de provas desgastado, como mostrado nas imagens do apêndice C.

Nas imagens das Figuras C.1 a C.9 observa-se que após os primeiros 400 ciclos de ensaio, todas as superfícies dos corpos de provas tiveram suas superfícies em contato total ou parcial com a lixa abrasiva de 220 *mesh*, gerando desgaste. Isto pode ser comprovado pela largura da faixa de desgaste de aproximadamente 12 [mm] para todas as imagens acima, que também é a largura da lixa abrasiva utilizada neste teste.

Nota-se nas imagens do apêndice C, a evolução na cratera de desgaste da superfície dos corpos de prova, que possuem uma profundidade de desgaste inferior, quando comparado com as das imagens da configuração anterior da Figura A.1 até A.9. Isto ocorreu devido à menor severidade imposta pelo abrasivo da lixa de 220 *mesh*, durante o ensaio de desgaste, ocasionado pelo menor diâmetro médio que o da seção anterior.

Durante a realização do ensaio de desgaste abrasivo que teve a duração de 6000 ciclos, houve o monitoramento da taxa de desgaste pontual em função do número de ciclos, como mostrado nos gráficos do apêndice D, de todas as Formulações testadas.

Nos gráficos das Figuras D.1 e D.3 mostram o comportamento da taxa de desgaste abrasiva para as Formulações 01 e 05, respectivamente, durante o ensaio. É possível verificar nestas imagens que houve taxas de desgaste negativas durante ensaio, ou seja, um acréscimo de massa ao invés de perda, em um ou mais dos três corpos de provas testados para cada Formulação. Nota-se também taxa de desgaste negativa ao fim do ensaio para a Formulação 05. Estes acréscimos de massa possivelmente foram ocasionados pelo desprendimento de partículas abrasivas da superfície da lixa abrasiva impregnando ao corpo de prova.

Analisando os gráficos das Figuras D.1 a D.9, observa-se que no início do ensaio houve o período de “*running-in*”, com duração nos primeiros 800 ciclos de ensaio para a Formulação 07 e de 400 ciclos para o restante das Formulações testadas, como também visto anteriormente no ensaio de desgaste abrasivo de 80 *mesh*.

Na Figura 4.34 são mostradas as superfícies dos corpos de prova desgastados após o ensaio de desgaste abrasivo por deslizamento no equipamento SUGA.

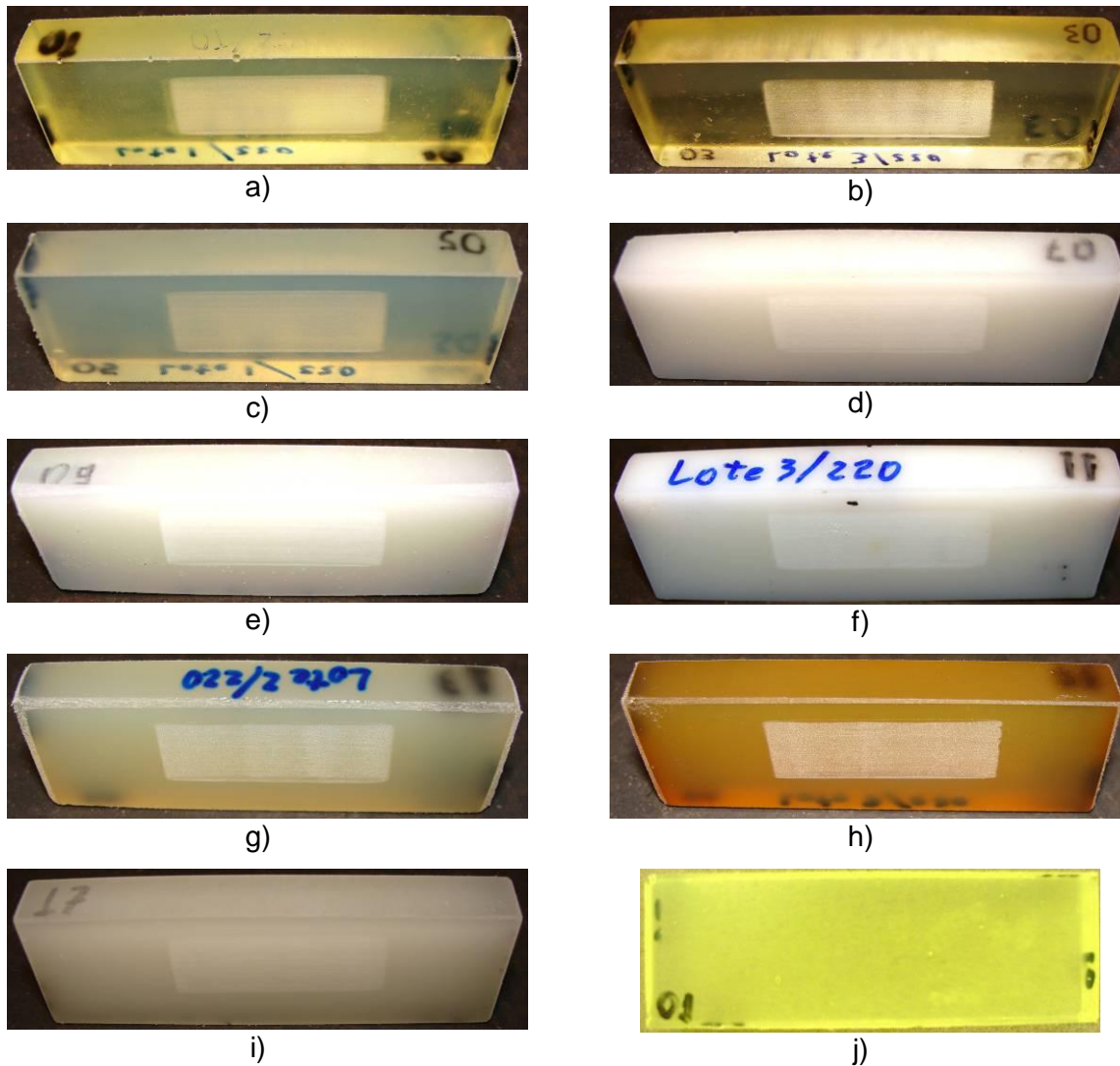


Figura 4.34 – Amostras de PU's ensaiadas com 6000 ciclos no equipamento SUGA (16,34 N e 220 *mesh*) das seguintes Formulações: a) 01; b) 03; c) 05; d) 07; e) 09; f) 11; g) 13; h) 15; e i) 17.

No gráfico da Figura 4.35 pode-se verificar as taxas de desgaste abrasivas pontuais de todas as Formulações testadas sem a região de “*running-in*”, estas taxas estão identificadas por diferentes símbolos para facilitar a visualização do leitor. Verifica-se nesta imagem que a Formulação 15 possui a maior taxa de desgaste abrasivo, inclusive é a de pior desempenho. Já a Formulação 01 possui a menor taxa de desgaste, que é a de melhor desempenho.

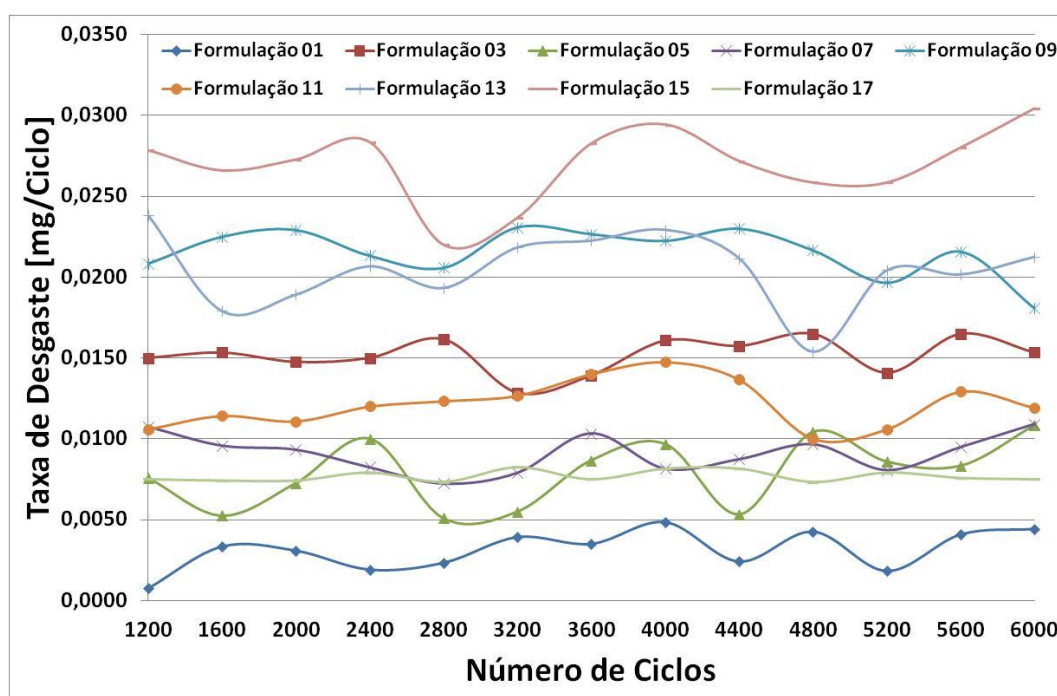


Figura 4.35 – Comportamento da taxa de desgaste abrasiva de todas as Formulações testadas em função do número de ciclos (16,34N e 220 mesh), no equipamento SUGA.

Para o cálculo da taxa de desgaste abrasiva mostrado na Tabela 4.11, selecionou-se o período contido do ciclo 2800 até 5600, pois, nesta região de ensaio, não há taxas de desgastes com desvio padrões negativos para nenhuma das Formulações testadas. Nota-se na figura acima que no período selecionado para o cálculo as taxas de desgaste comportam-se de maneira linear sem grandes flutuações.

O cálculo da taxa de massa foi realizado através da diferença de massa existente entre o ciclo de número 2800 e o de 5600, dividido por 1800 (número de ciclos).

Tabela 4.11 – Resultados do ensaio de desgaste abrasivo no SUGA (16,34 N, 220 mesh).

Formulação	Desgaste Abrasivo (mg/ciclo)	Desvio Padrão
01	0,0035	0,0002
03	0,0151	0,0011
05	0,0081	0,0033
07	0,0089	0,0015
09	0,0220	0,0018
11	0,0127	0,0016
13	0,0206	0,0023
15	0,0269	0,0047
17	0,0078	0,0017

Verifica-se na Tabela 4.11 que as Formulações 09, 13 e 15 são as de piores desempenhos, com as de maiores taxas de desgaste abrasivo. A de melhor desempenho é a Formulação 01, com a menor taxa de desgaste abrasiva. As demais Formulações testadas tiveram um comportamento intermediário, podendo-se observar na Figura 4.36 abaixo.

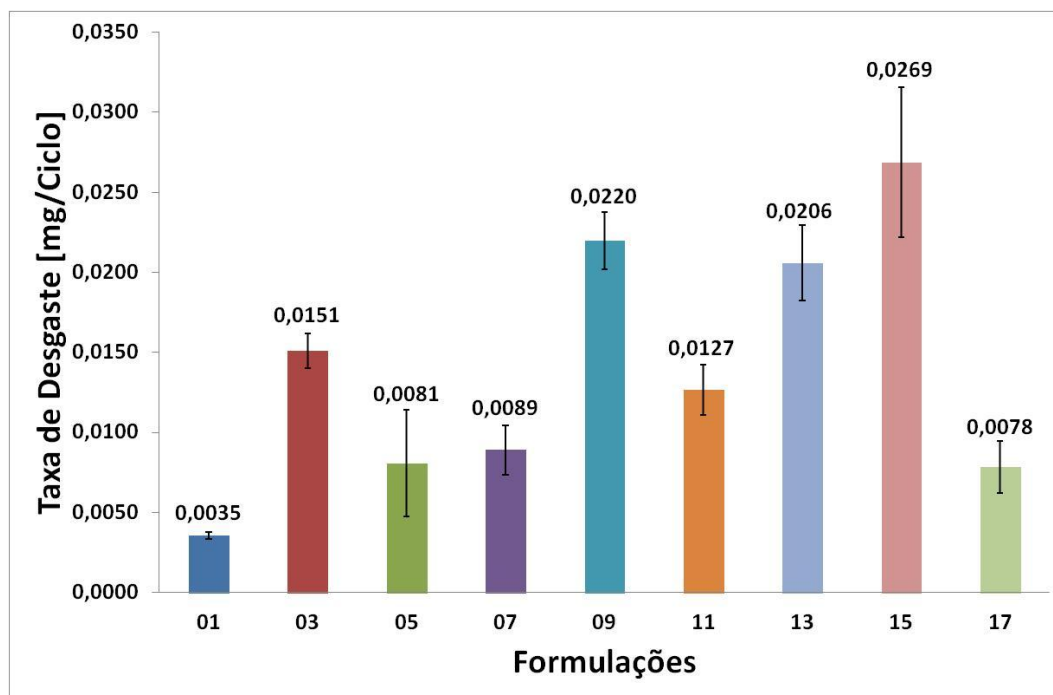


Figura 4.36 – Resultado do ensaio de desgaste abrasivo realizado no equipamento SUGA, com carga de 16,34N, SiO<sub>2</sub> 220 mesh.

Verifica-se um grupo de materiais que possuem um comportamento de pior desempenho, composto pelas Formulações 09 (MDI, PPG, BDO), 13 (PPDI, PTMEG, BDO) e 15 (NDI, PTMEG, BDO).

Os materiais de Formulações 03 (TDI, PPG, MOCA), 05 (TDI, PTMEG, PPG, MOCA), 07 (MDI, PTMEG, BDO), 11 (MDI, PTMEG, PPG, BDO) e 17 (MDI, PCL, BDO) tiveram um desempenho intermediário no teste de desgaste abrasivo.

O material de Formulação 01 (TDI, PTMEG, MOCA) obteve o melhor desempenho no teste de desgaste abrasivo.

Nos gráficos das Figuras 4.37 até 4.41 são locados separadamente Isocianatos e Polióis, respectivamente, quanto ao Desgaste Abrasivo.

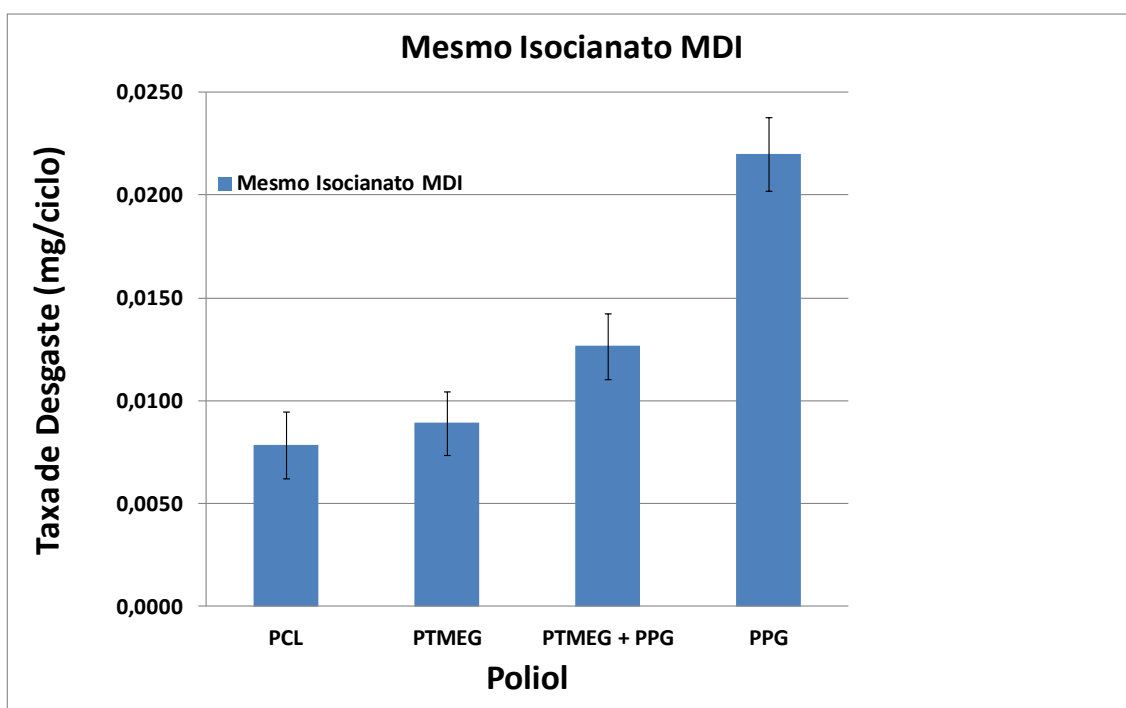


Figura 4.37 – Taxa de desgaste abrasiva do Isocianato (MDI) com diferentes Polióis.

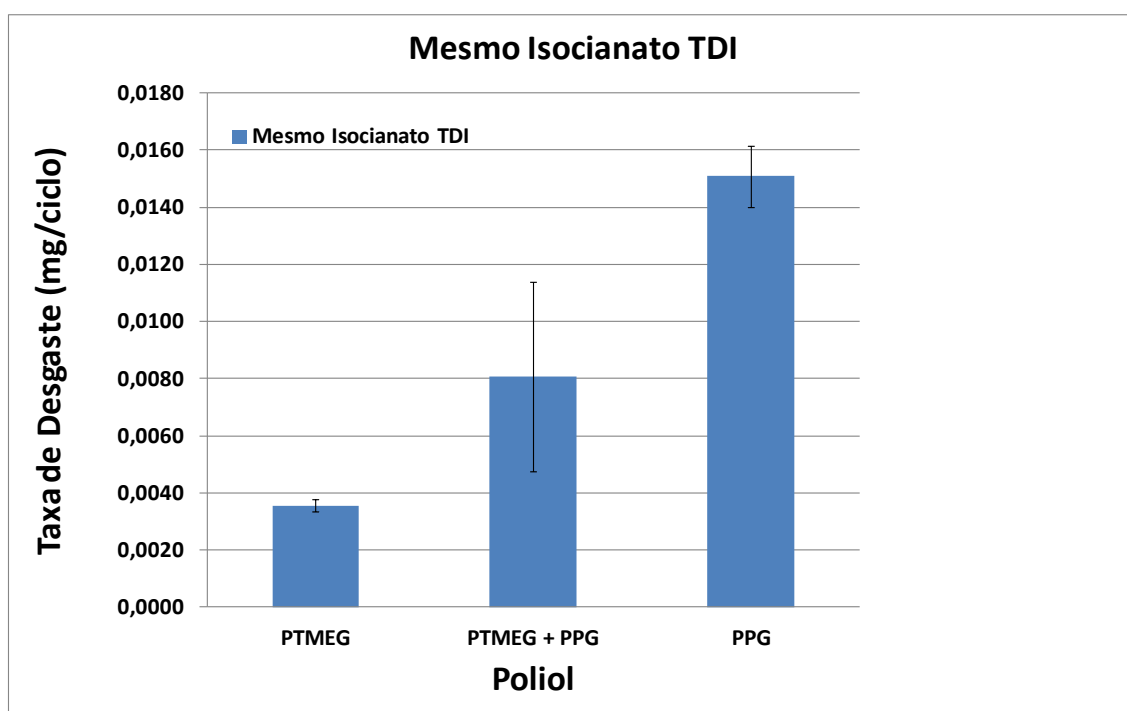


Figura 4.38 – Taxa de desgaste abrasiva do Isocianato (TDI) com diferentes Polióis.

A taxa de desgaste para os mesmos Isocianato MDI e TDI visualizada através dos gráficos 4.37 e 4.38, mostra que os Polióis PPG e a blenda (PTMEG + PPG) tiveram o pior e

intermediário desempenho ao desgaste abrasivo, já o PTMEG e PCL foram os de melhor desempenho.

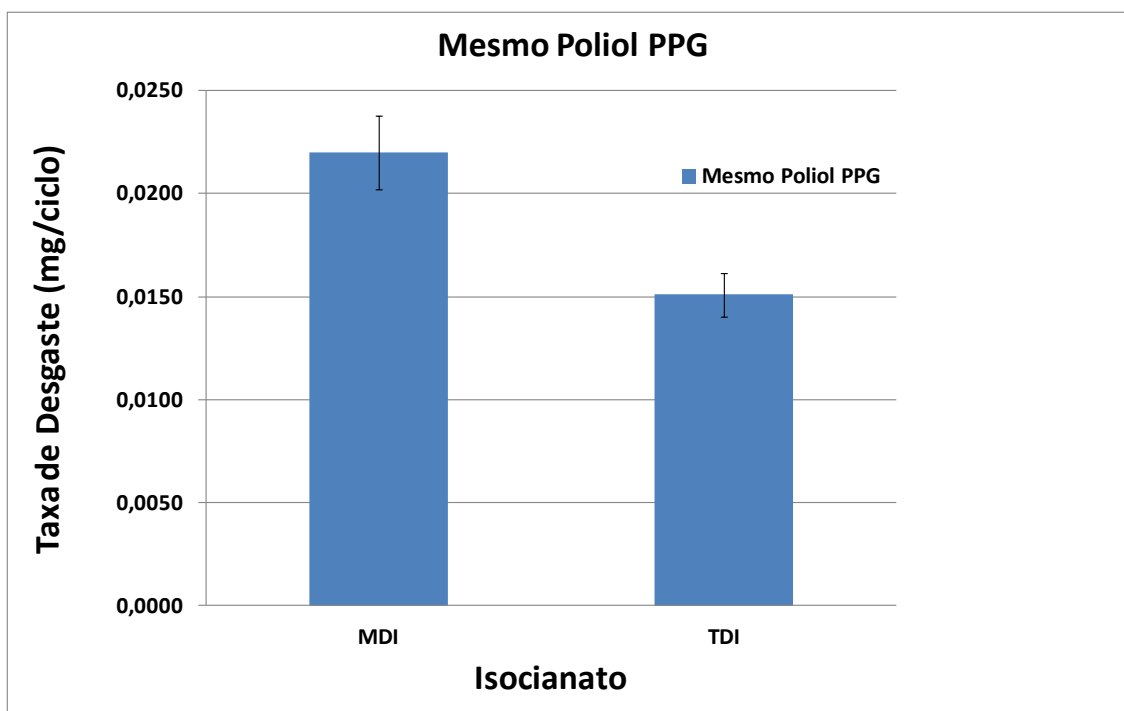


Figura 4.39 – Taxa de desgaste abrasiva do Polioli (PPG) com diferentes Isocianato.

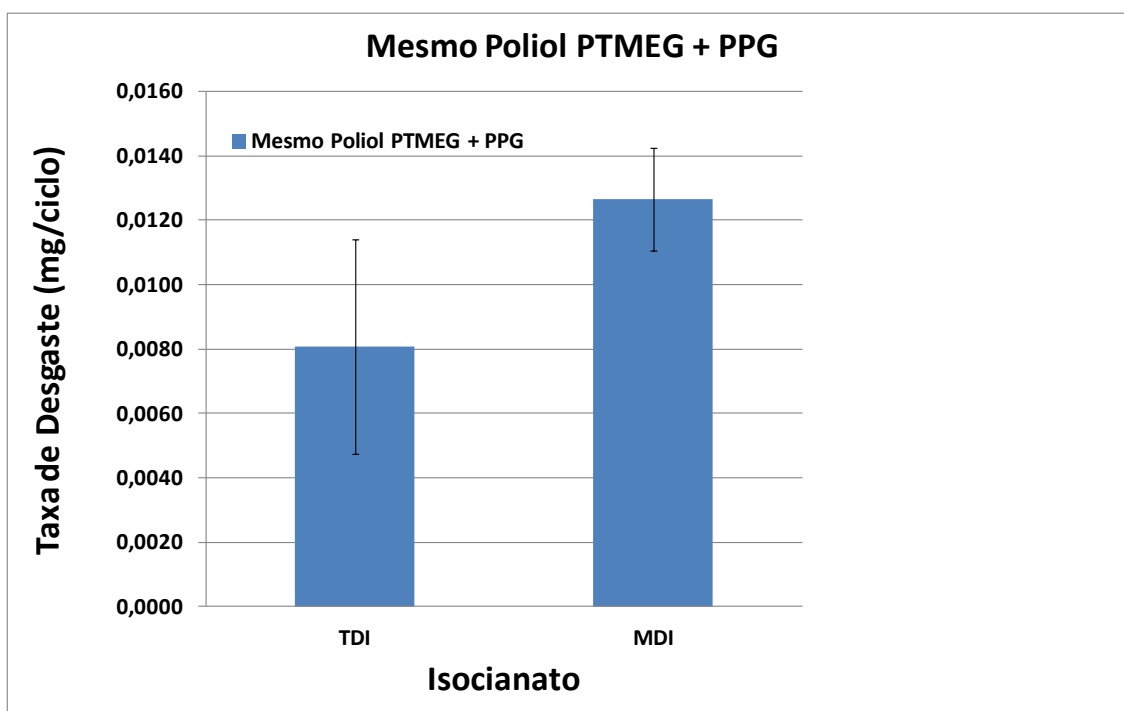


Figura 4.40 – Taxa de desgaste abrasiva do Polioli (PTMEG + PPG) com diferentes Isocianato.

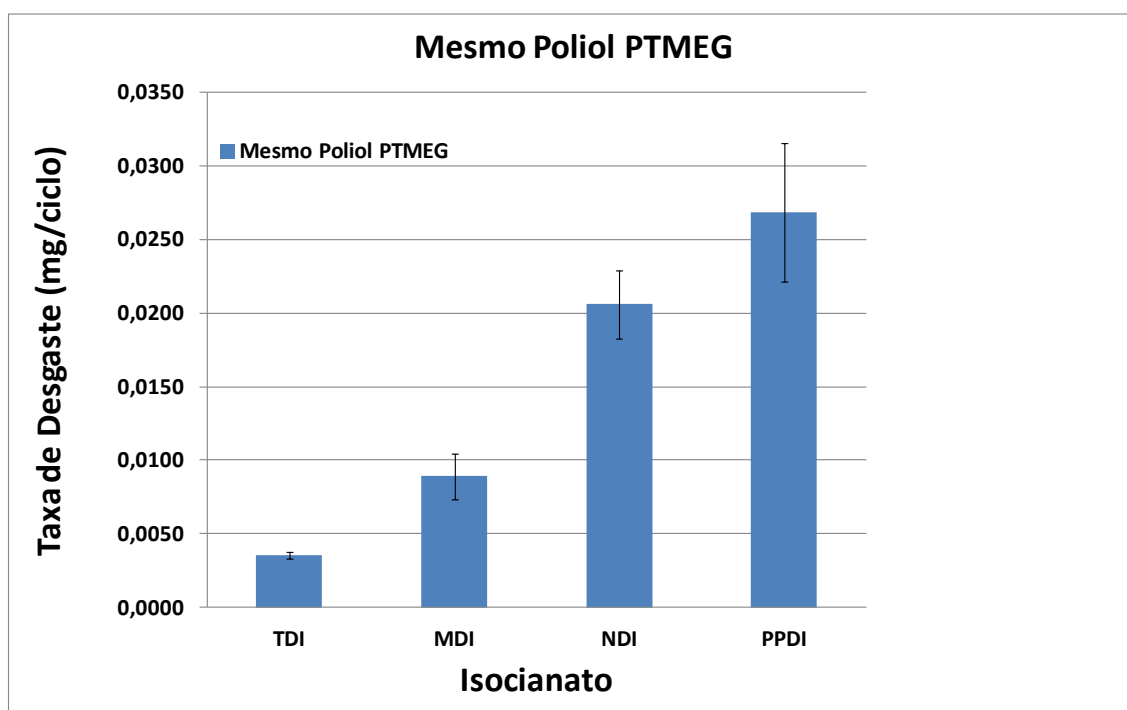


Figura 4.41 – Taxa de desgaste abrasiva do Isocianato (PTMEG) com diferentes Polióis.

Observando separando o desgaste de mesmos polióis nota-se uma inversão de comportamentos entre o TDI e MDI, através dos gráficos das Figuras 4.39 a 4.41. Não distinguindo de forma clara a predominância de uma matéria prima.

No gráfico da Figura 4.42 foram colocados os resultados obtidos nesta secção e o da secção anterior, como podem ser observados.

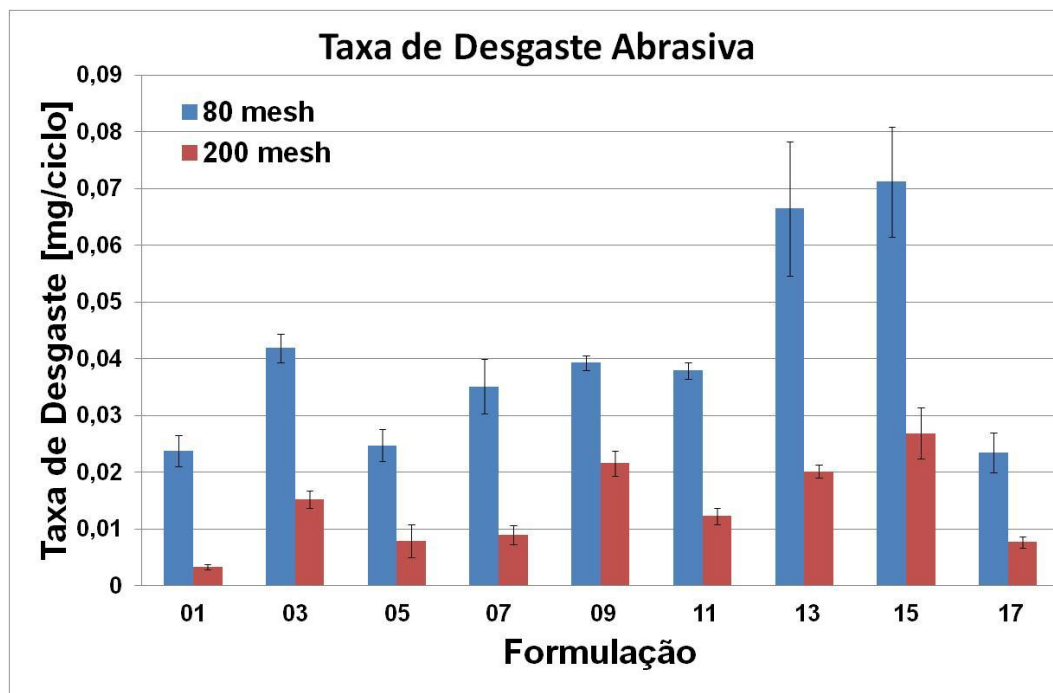


Figura 4.42 – Resultados obtidos nos ensaios de desgaste abrasivo no SUGA com carregamento de 16,34 N e partículas abrasivas de 80 e 200 *mesh*.

No gráfico acima nota-se uma piora de desempenho ao desgaste abrasivo da Formulação 09 ao passar da lixa com granulometria 80 para a 200 *mesh*. Verifica-se também que para ambas as configurações de ensaio as Formulações 01, 05 e 17 alcançaram os melhores desempenhos, ao contrário da Formulação 15 que teve o pior.

Comparando as duas configurações de desgaste conclui-se que a severidade do desgaste imposta pela lixa abrasiva com granulometria de 80 *mesh* é superior a de 200 *mesh*. Isto pode ser explicado pelo aumento do diâmetro médio das partículas causadoras de uma maior remoção de material durante o desgaste abrasivo por deslizamento, desta forma as taxas de desgaste são superiores.

Outra forma de comparação possível é através dos resultados obtidos no ensaio de desgaste abrasivo do equipamento SUGA com os obtidos em um equipamento similar ao da norma DIN 53.516 (Figura 4.43), porquanto em 2007 SANTOS realizou ensaios nestas mesmas Formulações.

As Formulações 09 e 03 foram as de piores desempenhos no ensaio realizado no equipamento segundo a norma DIN 53.516 e ambas tiveram um comportamento intermediário no ensaio realizado no SUGA.

Porém, nota-se bons desempenhos ao desgaste para as Formulações 01, 07 e 17 em ambos os ensaios realizados no equipamento similar ao da norma DIN 53.516 e no SUGA,



apresentando estes materiais um bom comportamento frente ao desgaste abrasivo, quando comparados com as outras Formulações testadas.

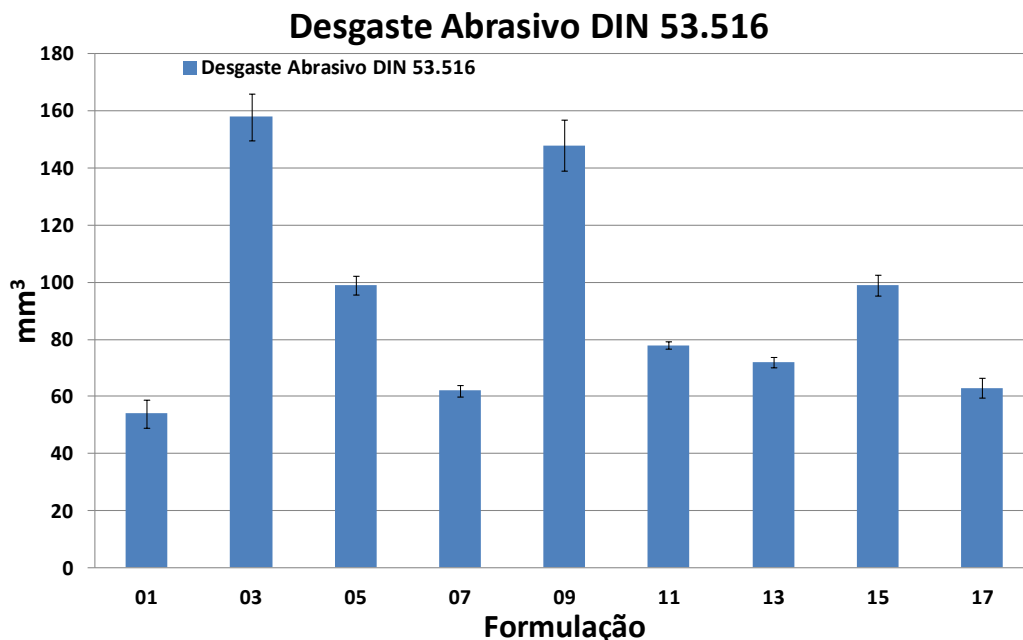


Figura 4.43 – Perda de massa medida nos ensaios de desgaste abrasivo segundo a norma DIN 53.516 dos PU's testados (SANTOS, 2007).

Depois de realizado as análises das taxas de desgaste, as amostras foram levadas ao MEV com o objetivo de visualizar os mecanismos de desgaste ocasionados pelo ensaio no equipamento SUGA, como exibido nas imagens das Figuras 4.44 a 4.48.

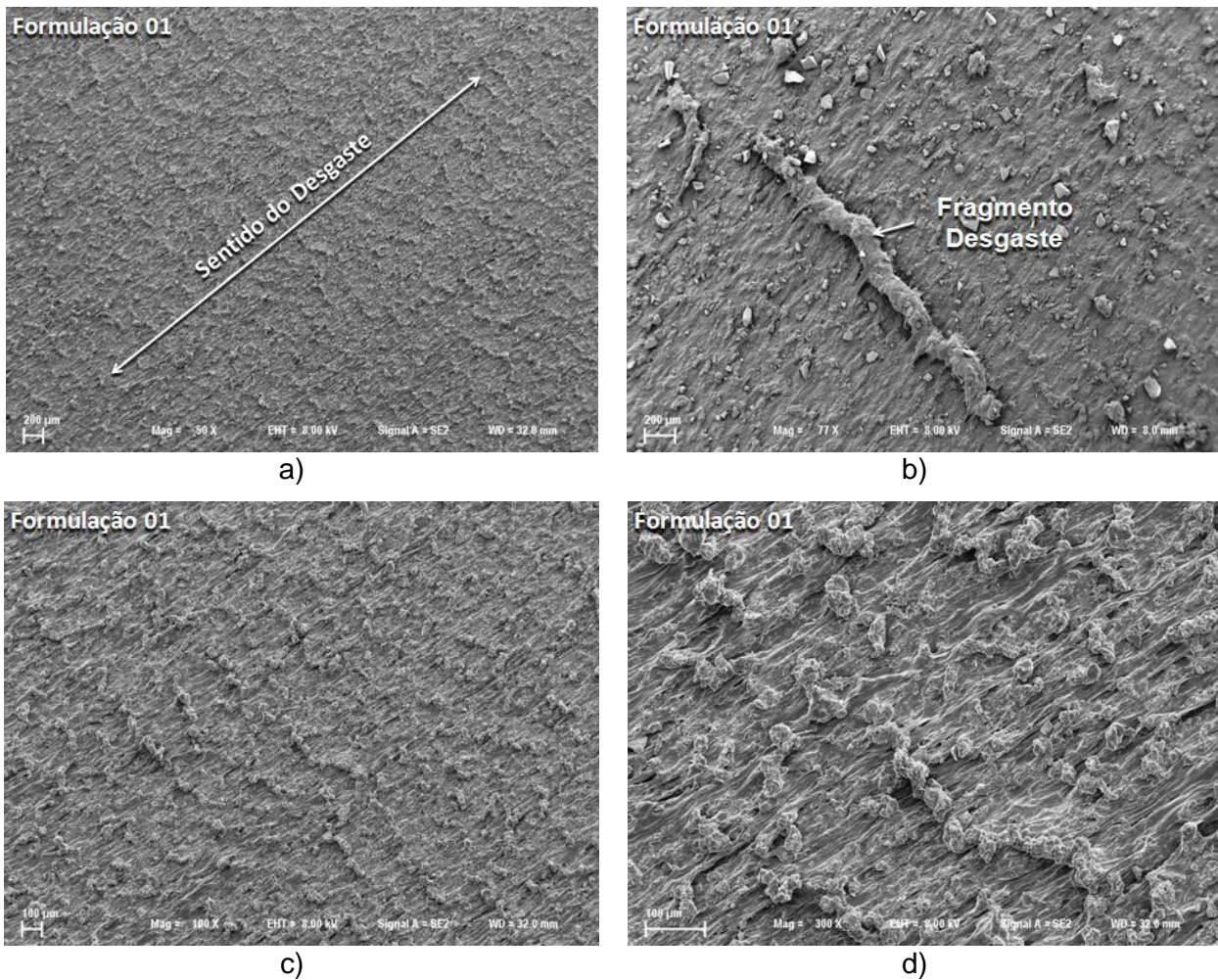


Figura 4.44 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 01 a) Região central do desgaste; b) Fragmento de desgaste na região central; c) e d) Detalhes da região com maiores ampliações.

Nota-se na Figura 4.44 alguns fragmentos de desgaste impregnado na superfície, o que influencia diretamente na taxa de desgaste uma vez que não existiu retirada do material do corpo de prova, captando seu peso durante a pesagem. Possivelmente um dos fatores contribuintes para a baixa taxa de desgaste encontrado para este material. Visualiza nestas imagens padrões Schallamach, com a formação de escamas perpendiculares a direção de deslizamento.

Observa-se na Figura 4.44 uma grande quantidade de material deformado elasticamente, quando comparado com a Figura 4.25 da secção anterior.

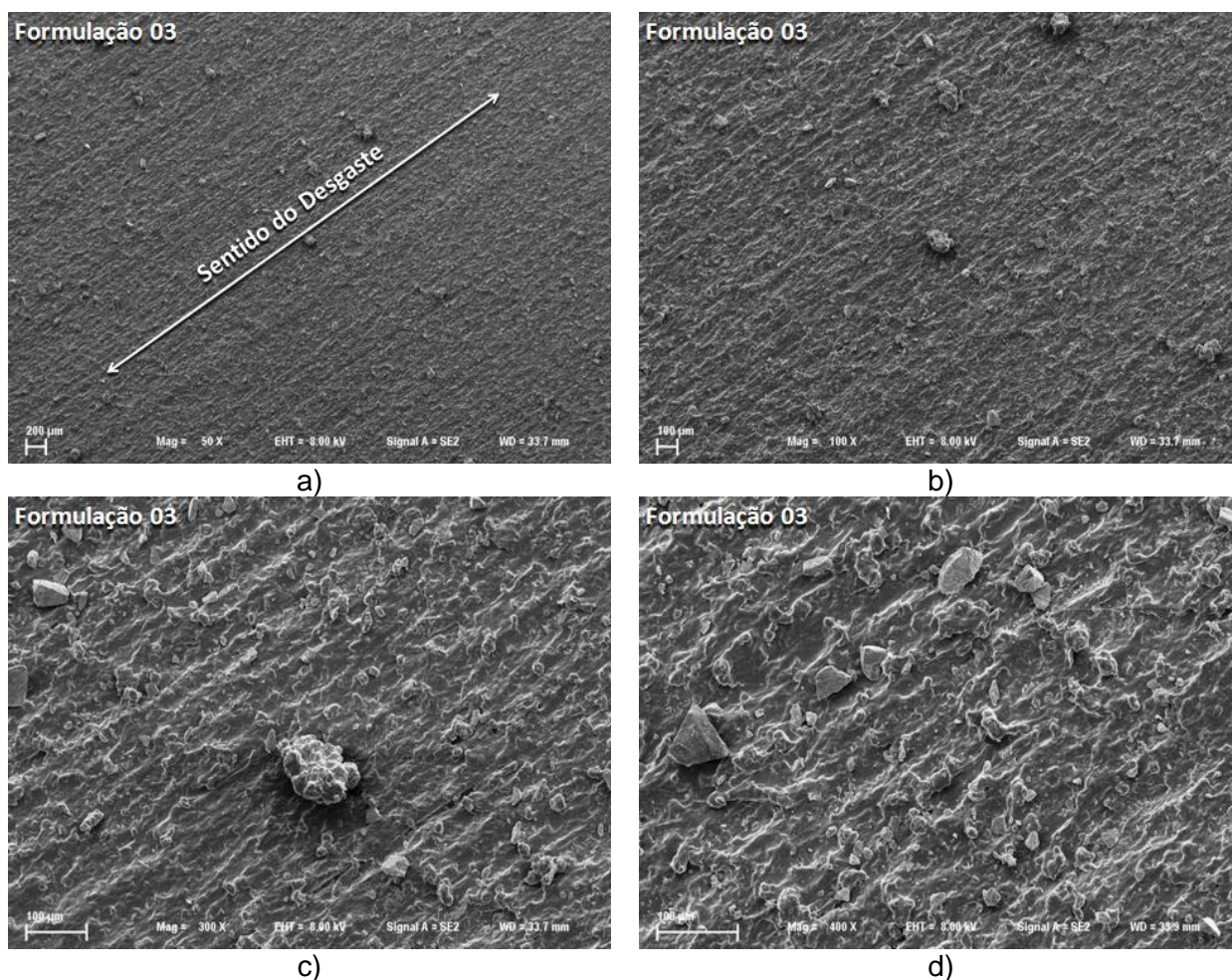


Figura 4.45 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 03, a) e b) Região central do desgaste; c) e d) Detalhe da região desgastadas com maiores ampliações.

Na Figura 4.45 acima observa-se a Formulação 03 com uma superfície de desgaste muito similar a encontrada na configuração de ensaio anterior, inclusive com fragmentos de desgaste em sua superfície (ver Figura 4.26).



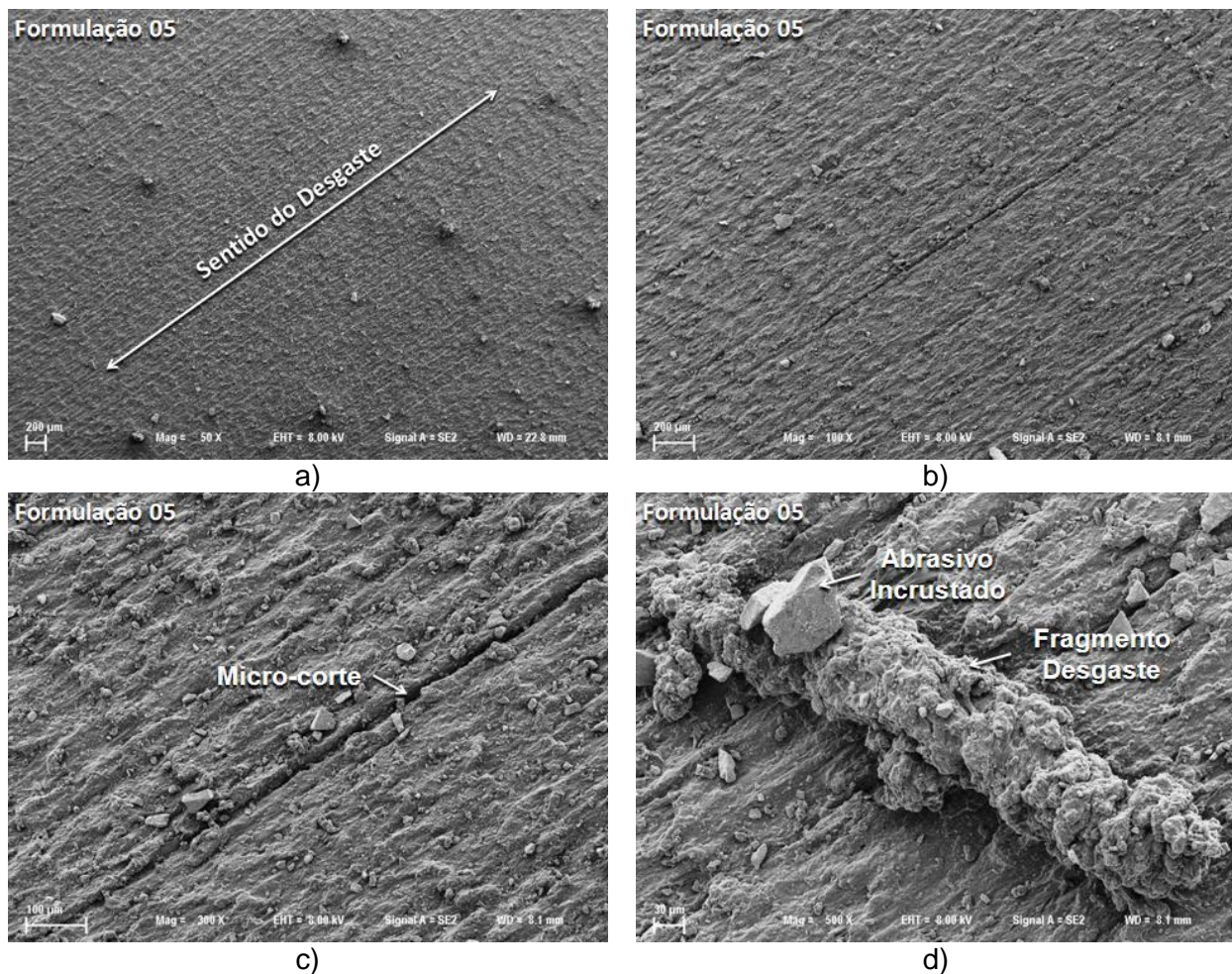


Figura 4.46 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 05 a) e b) Região central do desgaste; c) Detalhe do micromecanismo microcorte e d) Detalhe de fragmento de desgaste e abrasivo incrustado.

Na Figura 4.46 é mostrado a vista geral do corpo de prova de Formulação 05 no qual houve a presença de mecanismo de desgaste denominado de microcorte. Observa-se o aparecimento de fragmentos de desgaste e partículas abrasivas incrustadas na superfície desgastada, fragmentos estes captados pela taxa de desgaste através de desvios padrões e médias negativas, como visualizado no gráfico da Figura D.3 no apêndice.

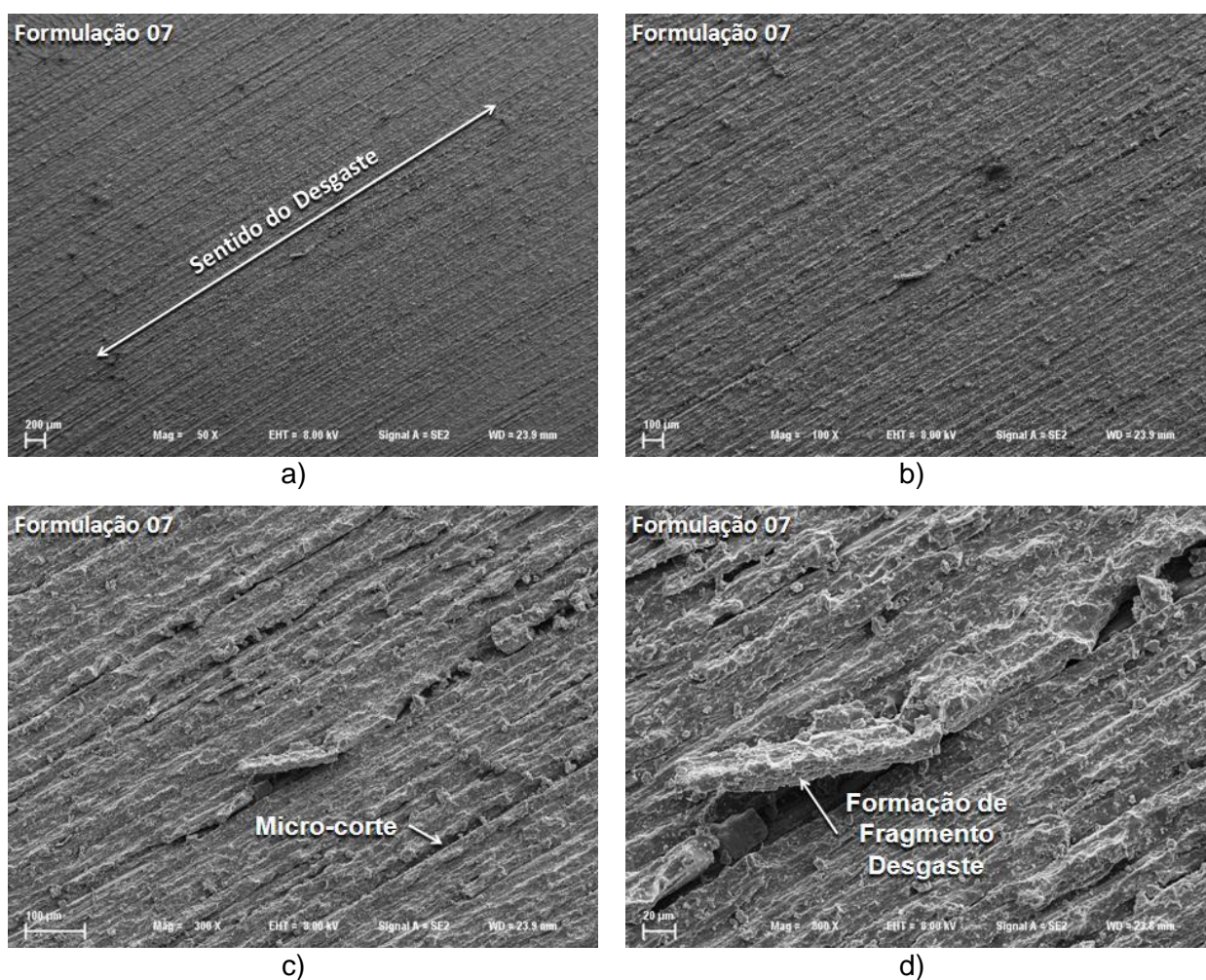


Figura 4.47 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 07 a) e b) Região central do desgaste; c) Detalhe do micromecanismo microcorte e d) Detalhe da formação de fragmento de desgaste.

Na figura 4.47, acima, mostra a superfície da Formulação 07 desgastada em vários aumentos, observa-se o mecanismo de desgaste predominante e o microcorte, nesta configuração de ensaio, com similaridades às das superfícies ensaiadas na secção anterior.



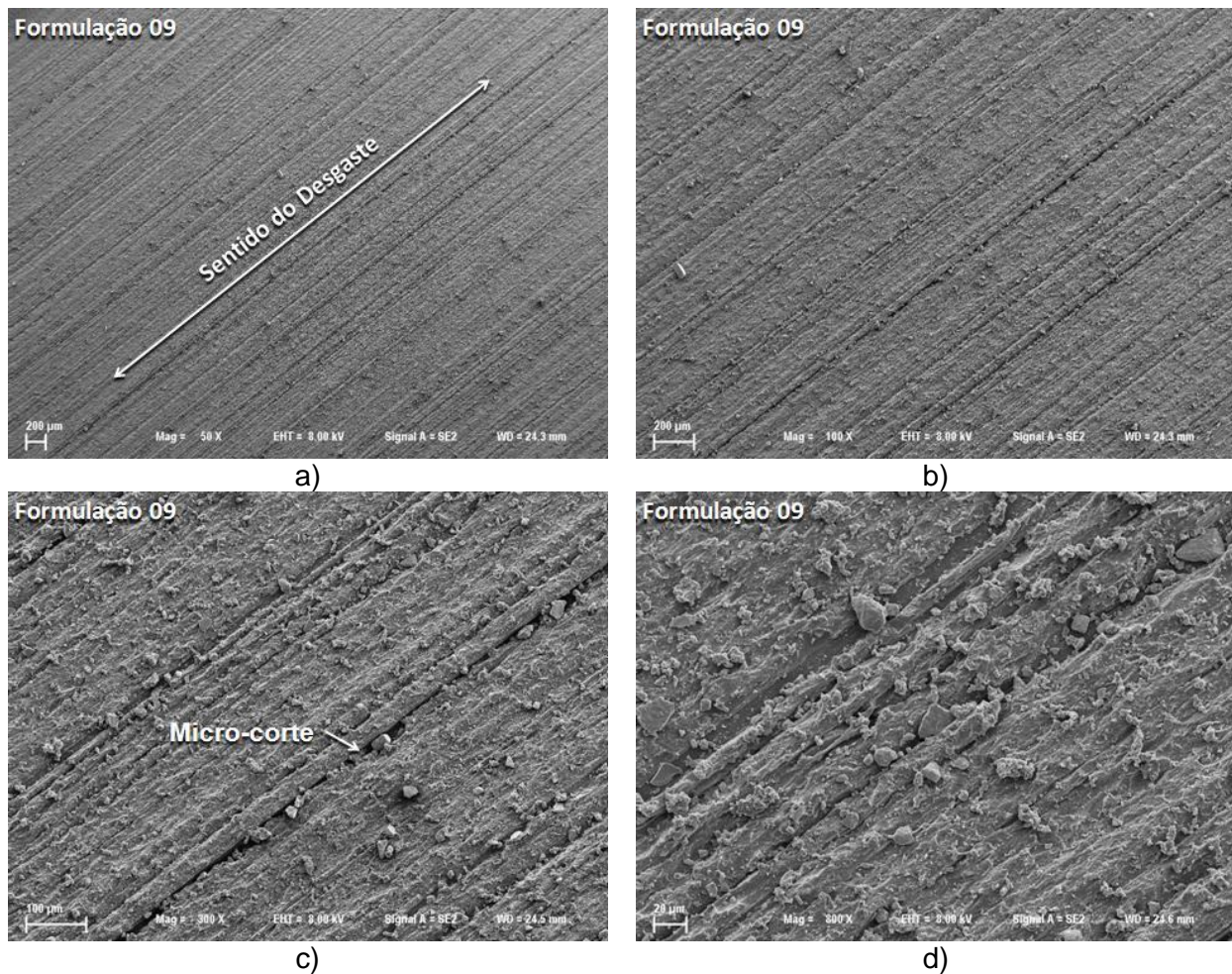


Figura 4.48 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 09, a) e b) Região central do desgaste; c) Detalhe do micromecanismo microcorte e d) Maior ampliação da região desgastada.

Na figura 4.48 vê-se a superfície da Formulação 09 desgastada em várias ampliações com similaridades à da secção anterior (ver figura 4.29 da secção anterior). Observa-se que o mecanismo de desgaste predominante foi o microcorte para ambas as configurações de ensaio.

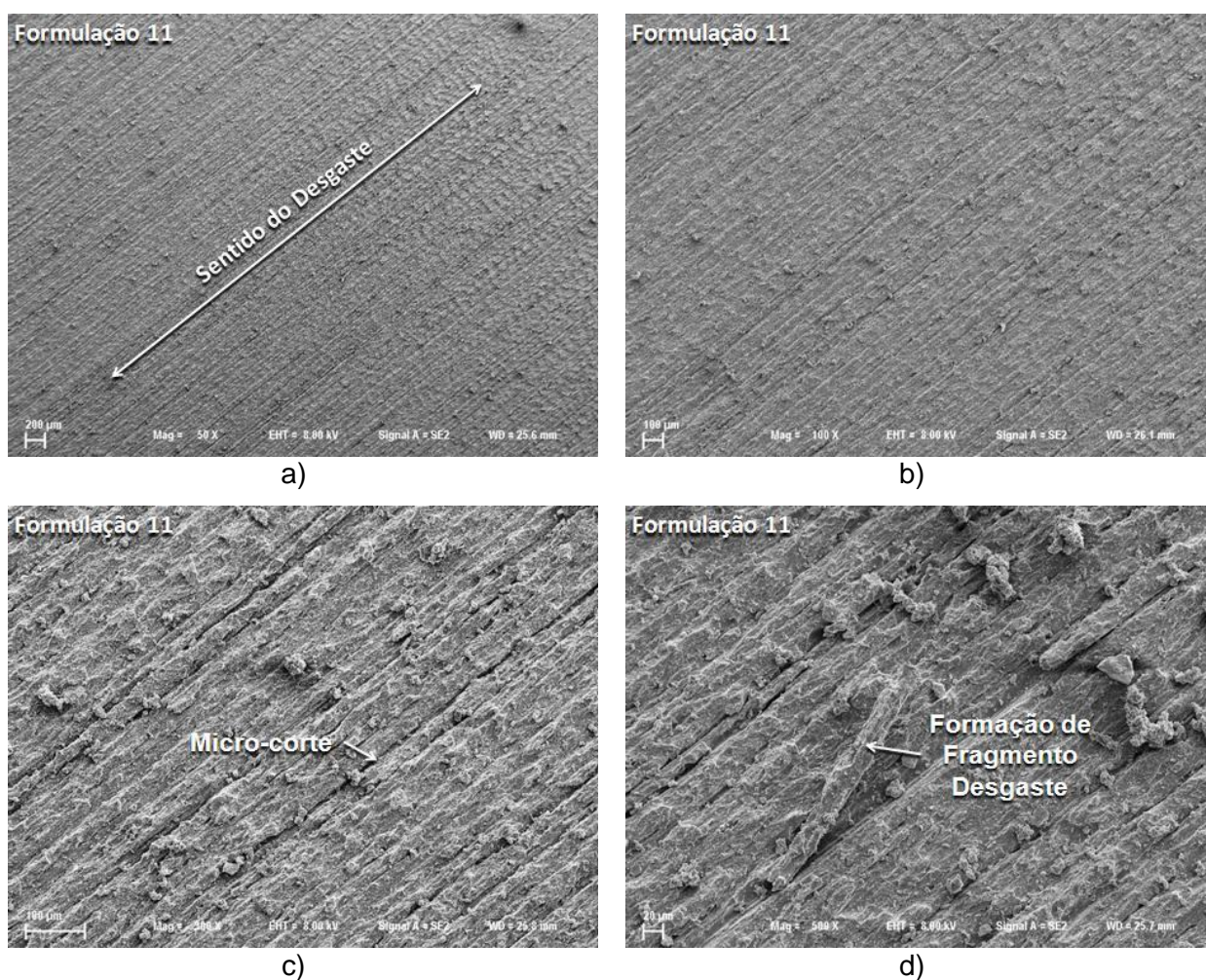


Figura 4.49 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 11 a) e b) Região central do desgaste; c) Detalhe do micromecanismo microcorte e d) Detalhes da formação de fragmento de desgaste.

Na figura 4.49 observa-se a superfície desgastada da Formulação 11, na qual pode se perceber a formação de um fragmento de desgaste, e a predominância de microcorte como o mecanismo de desgaste. Esta superfície mostra-se muito similar à encontrada na secção anterior para a mesma Formulação.



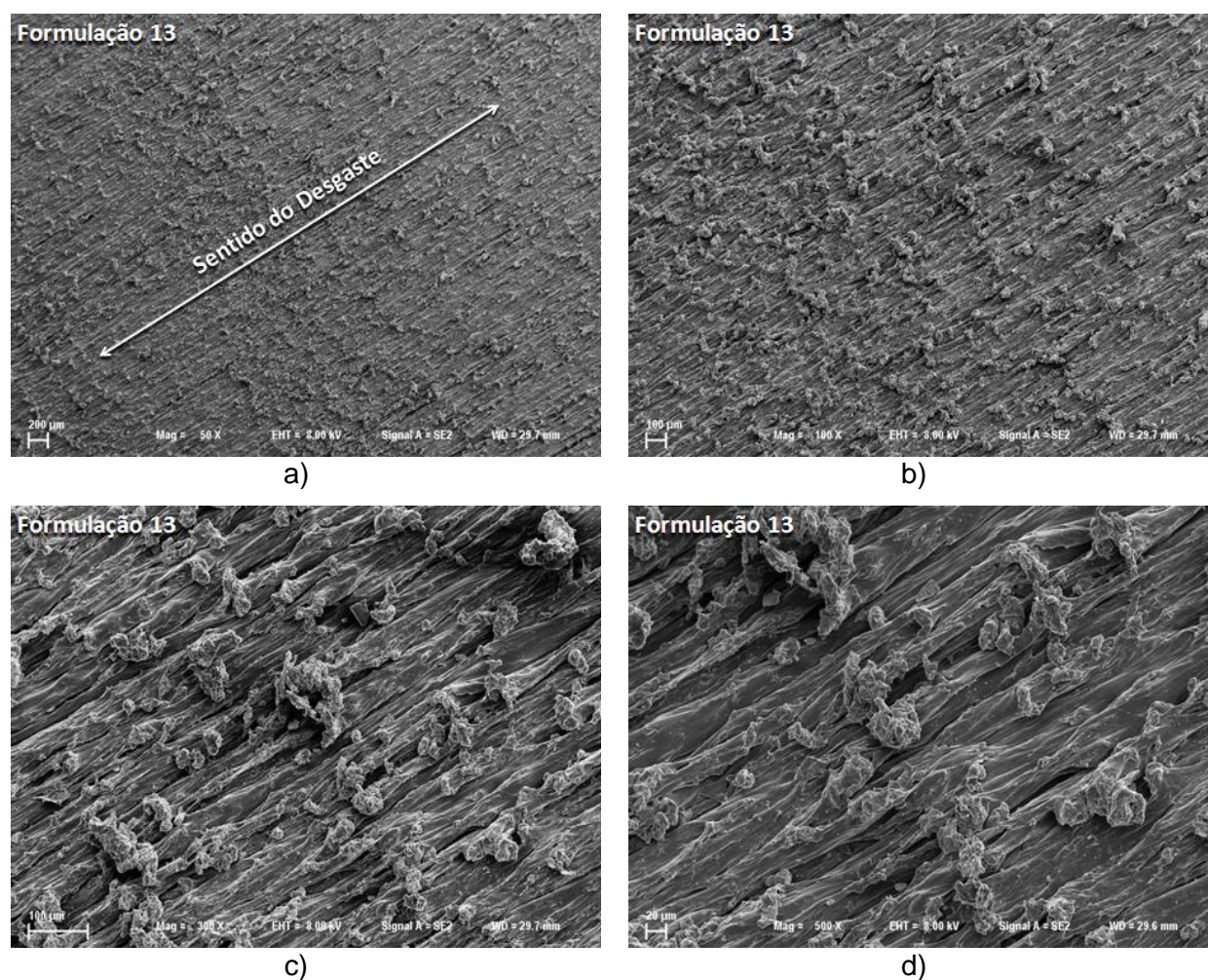


Figura 4.50 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 13 a) e b) Região central do desgaste; c) e d) Maiores ampliações da superfície desgastada.

Observa-se nas imagens contidas na Figura 4.50 que houve uma grande quantidade de material deformado e removido como encontrado na Figura 4.31 da secção anterior para a Formulação 13. Os níveis dos impactos esta diretamente relacionada com a taxa de desgaste abrasiva.



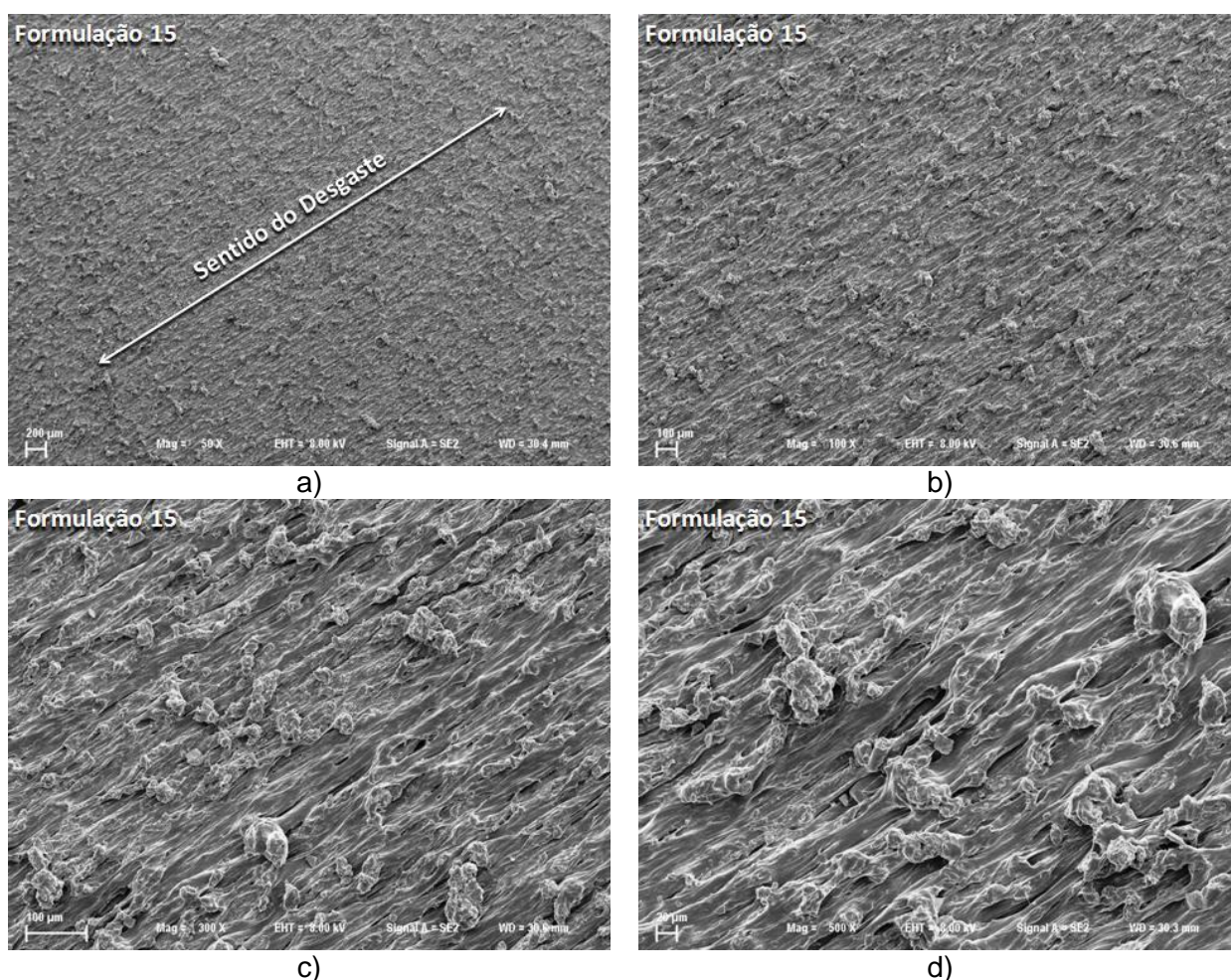


Figura 4.51 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 15 a) e b) Região central do desgaste; c) e d) Maiores ampliações da superfície desgastada.

Nas imagens da figura 4.51 é observado uma grande quantidade de material deformado e removido da superfície do corpo de prova. Estes fenômenos ocorreram na secção anterior para esta mesma Formulação. Esta situação ocasiona a maior perda de material observado neste trabalho, gerando uma alta taxa de desgaste e piores desempenhos.

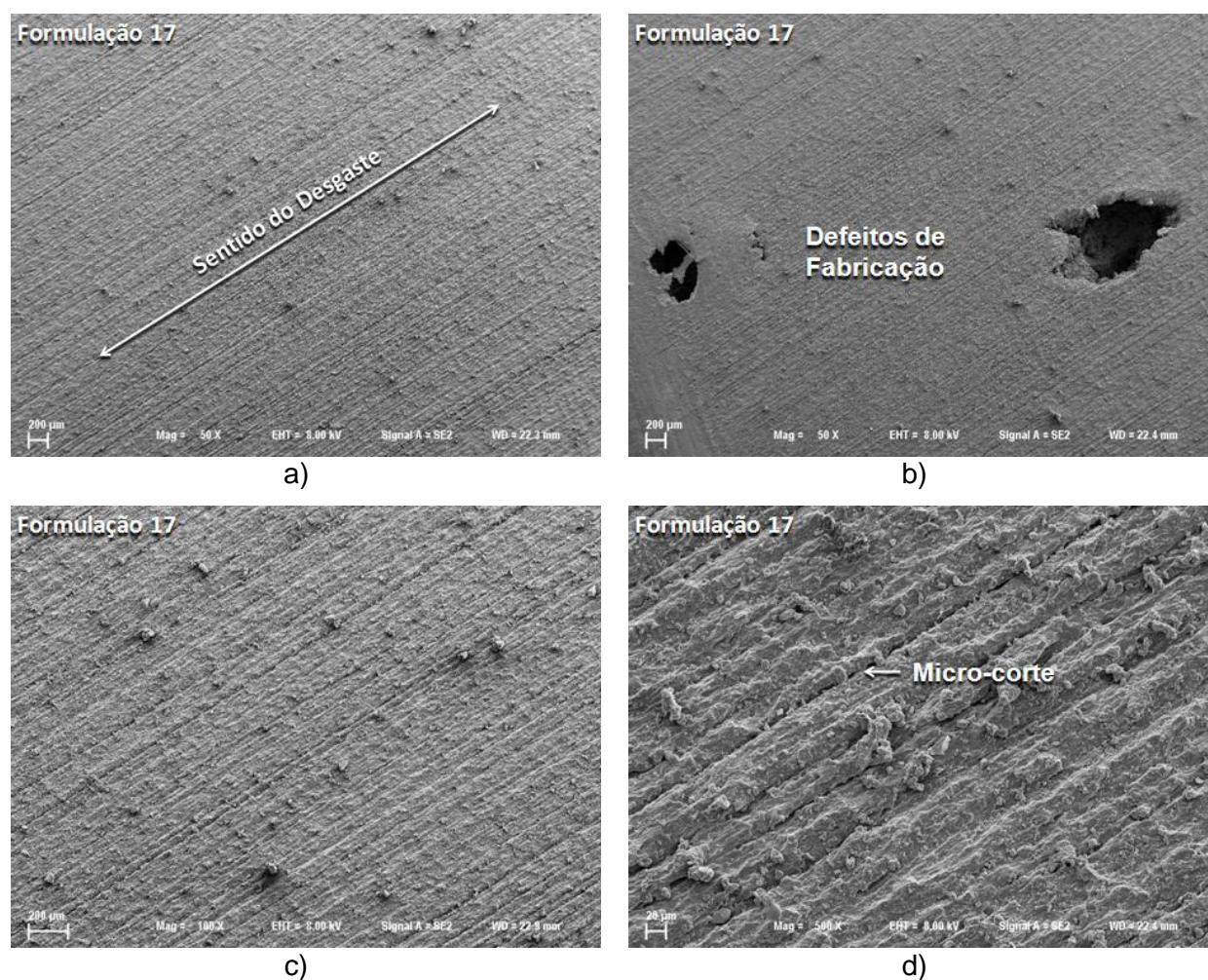


Figura 4.52 – Aspecto típico de superfície desgastada pelo SUGA (carga 16,34N e 80 *mesh*) da Formulação 17 a) e b) Região central do desgaste; c) e d) Detalhes do micromecanismo microcorte.

Observa-se nas imagens da Formulação 17 contidas na figura 4.52 falhas ocasionadas durante o processo de fabricação, visualizadas no item b. Estas falhas foram ocasionadas pela má vedação no reator possibilitando a entrada de ar do exterior, ocasionando vazios, segundo informações do fabricante.

Analisando as fotografias de todas as Formulações pode-se verificar que o mecanismo de desgaste predominante foi o microcorte e, em algumas situações, a ocorrência de uma grande quantidade de material removido. Este mecanismo de desgaste também foi observado na secção anterior, na qual foi utilizado um abrasivo de granulometria de 80 mesh.

#### 4.4 – Proposição de Modelos de Desgaste

Antes de sugerir um modelo de desgaste foram correlacionadas as propriedades mecânicas dos elastômeros de poliuretanos testados para verificar possíveis tendências lineares entre as propriedades que se encontram na forma de apêndice E. As propriedades correlacionadas foram: Módulo de Tração; Tensão de Ruptura; Alongamento; Resistência ao Rasgo; Dureza e Resiliência.

Nota-se que as durezas das amostras estão muito próximas, deste modo pretende-se verificar as possíveis correlações com outras propriedades mecânicas dos elastômeros de poliuretanos testados.

No apêndice E5 mostra-se a correlação existente entre a dureza e o módulo de tração com 100% de deformação, observa-se uma relação direta de proporcionalidade. Isto significa que existe uma tendência de quando uma delas aumenta a outra também aumenta, como descrito e observado por SANTOS em 2007.

Observa-se uma correlação de segunda ordem entre o alongamento e o módulo de tração com 300% de deformação (apêndice E8); resiliência e o alongamento na ruptura (apêndice E18) e, por fim, entre a resistência ao rasgo e a resiliência (apêndice E20).

Outra correlação foi realizada através dos resultados obtidos no SUGA (Taxa de Desgaste) das duas configurações testadas em função das propriedades mecânicas.

O objetivo desta análise é de verificar as principais propriedades mecânicas influenciáveis no desempenho ao desgaste abrasivo, obtendo possíveis correlações entre as propriedades mecânicas dos elastômeros de poliuretanos testados e as taxas de desgaste obtidas no SUGA, mostrado no gráfico da Figura 4.53 até 4.59.



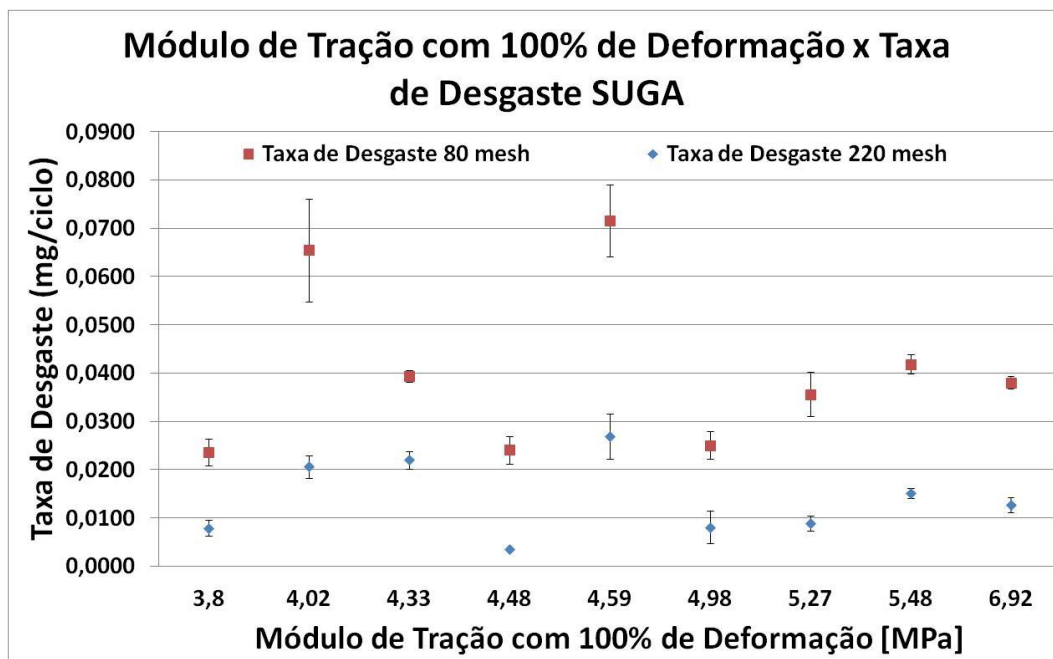


Figura 4.53 – Módulo de Tração com 100% de Deformação dos poliuretanos testados em função da Taxa de Desgaste Abrasiva obtida no SUGA para as duas lixas: 80 e 220 *mesh*.

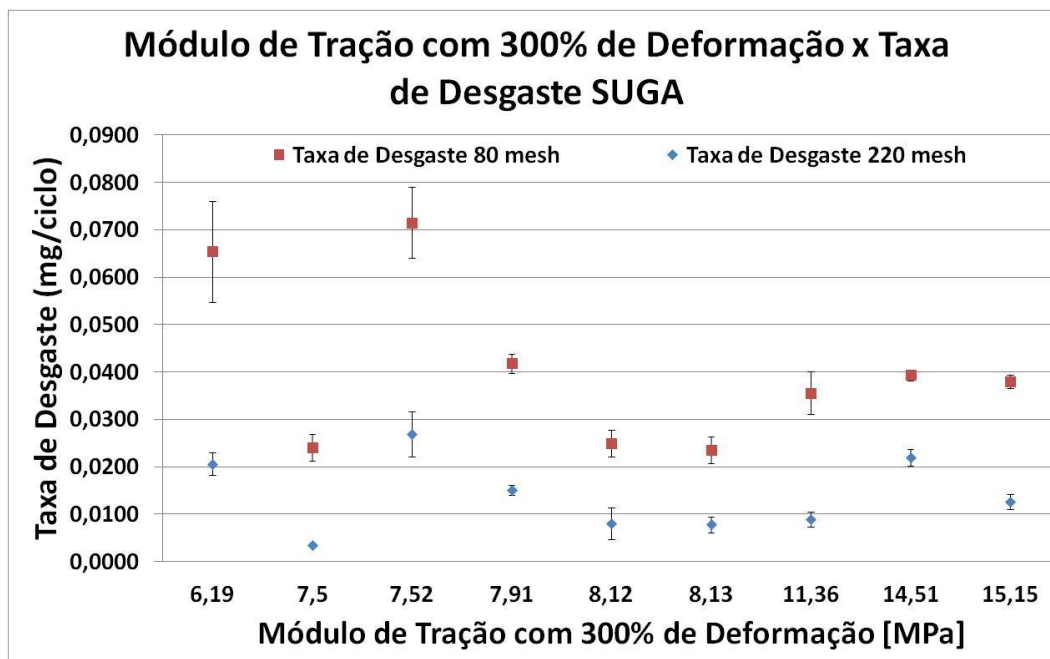


Figura 4.54 – Módulo de Tração com 300% de Deformação dos poliuretanos testados em função da Taxa de Desgaste Abrasiva obtida no SUGA para as duas lixas: 80 e 220 *mesh*.

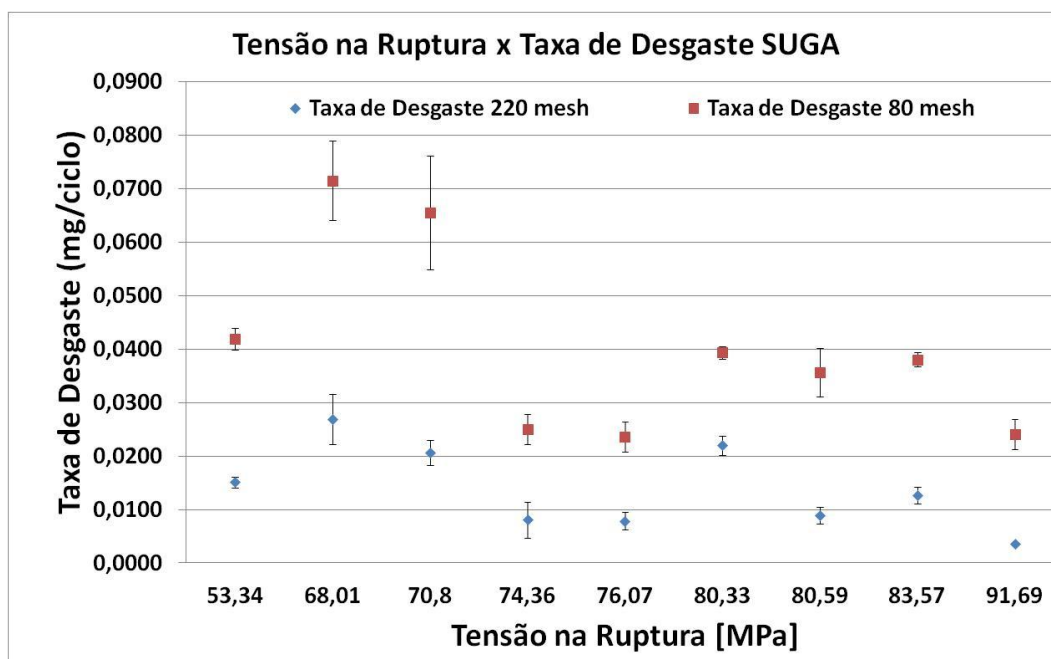


Figura 4.55 – Tensão na Ruptura dos poliuretanos testados em função da Taxa de Desgaste Abrasiva obtida no SUGA para as duas lixas: 80 e 220 *mesh*.

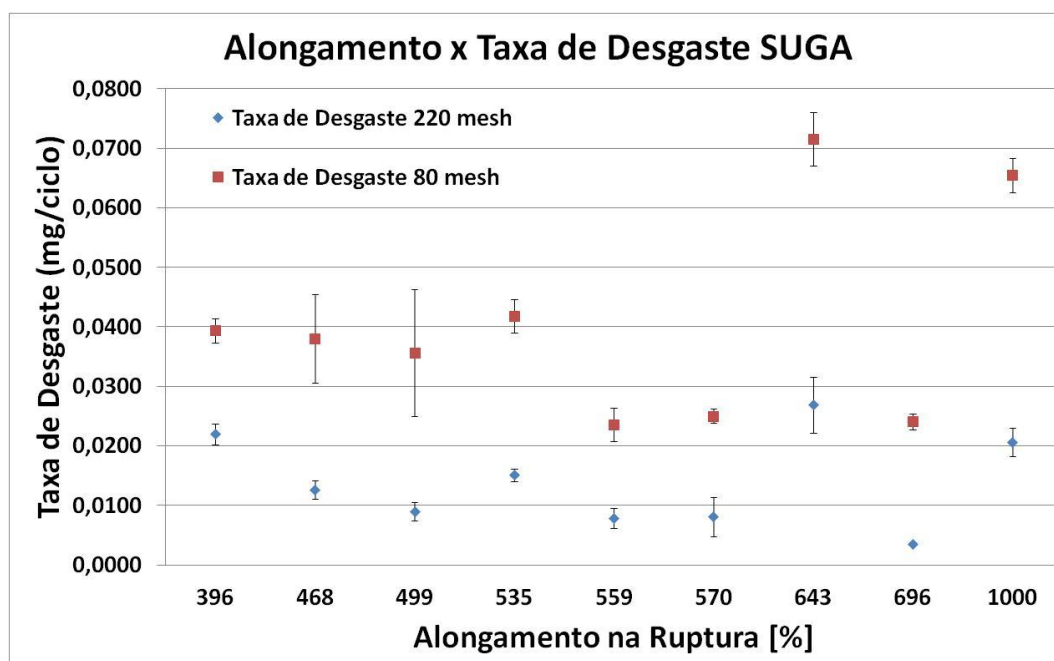


Figura 4.56 – Alongamento dos poliuretanos testados em função da Taxa de Desgaste Abrasiva obtida no SUGA para as duas lixas: 80 e 220 *mesh*.

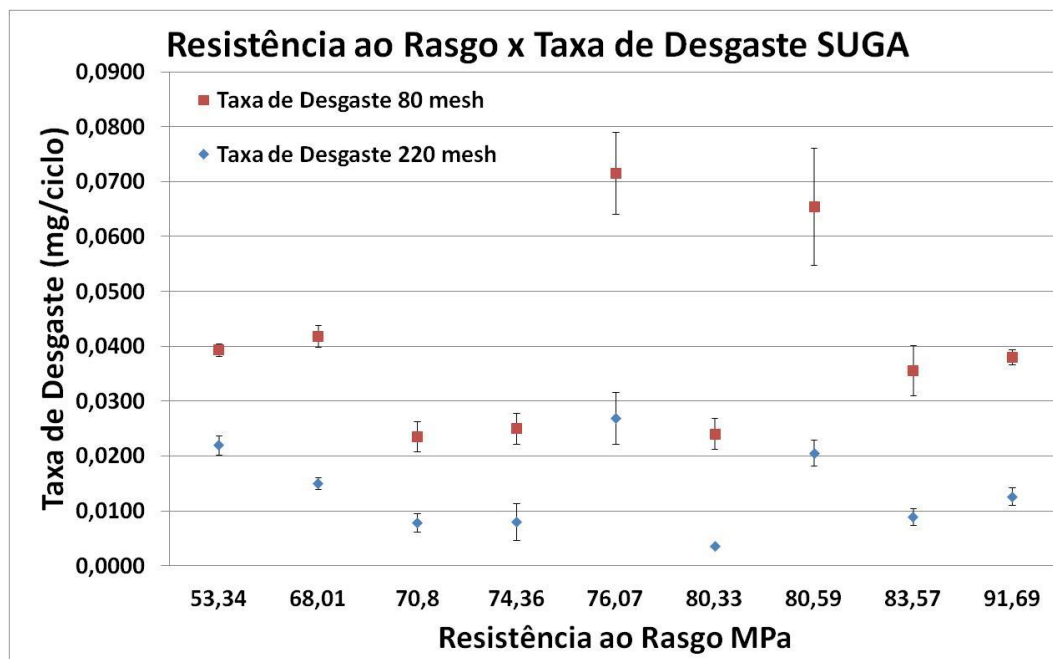


Figura 4.57 – Resistência ao Rasgo dos poliuretanos testados em função da Taxa de Desgaste Abrasiva obtida no SUGA para as duas lixas: 80 e 220 *mesh*.

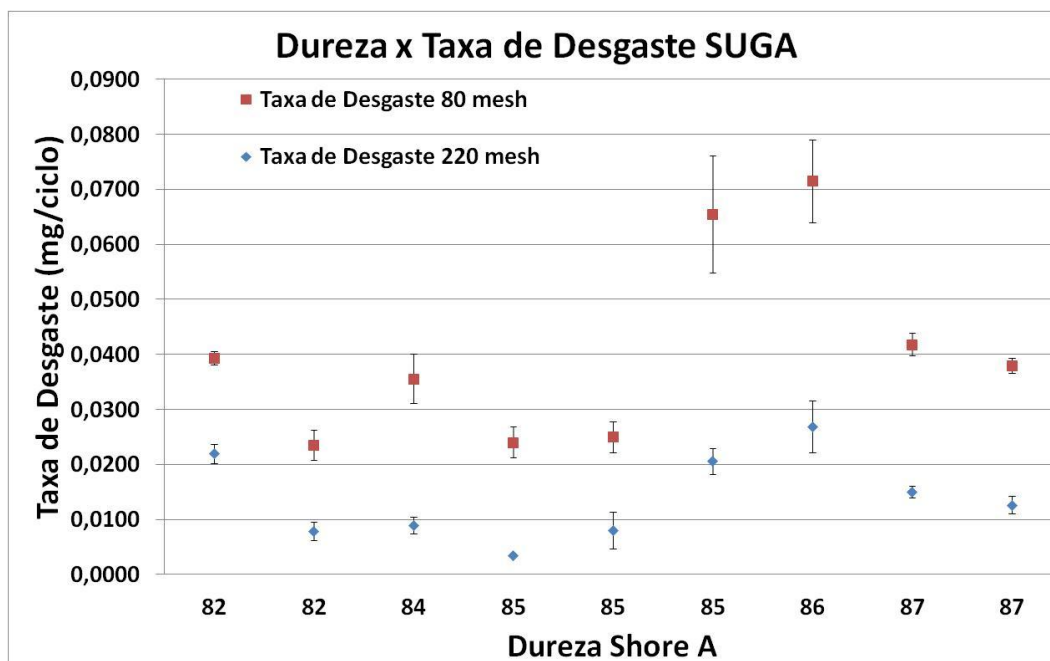


Figura 4.58 – Dureza dos poliuretanos testados em função da Taxa de Desgaste Abrasiva obtida no SUGA para as duas lixas: 80 e 220 *mesh*.

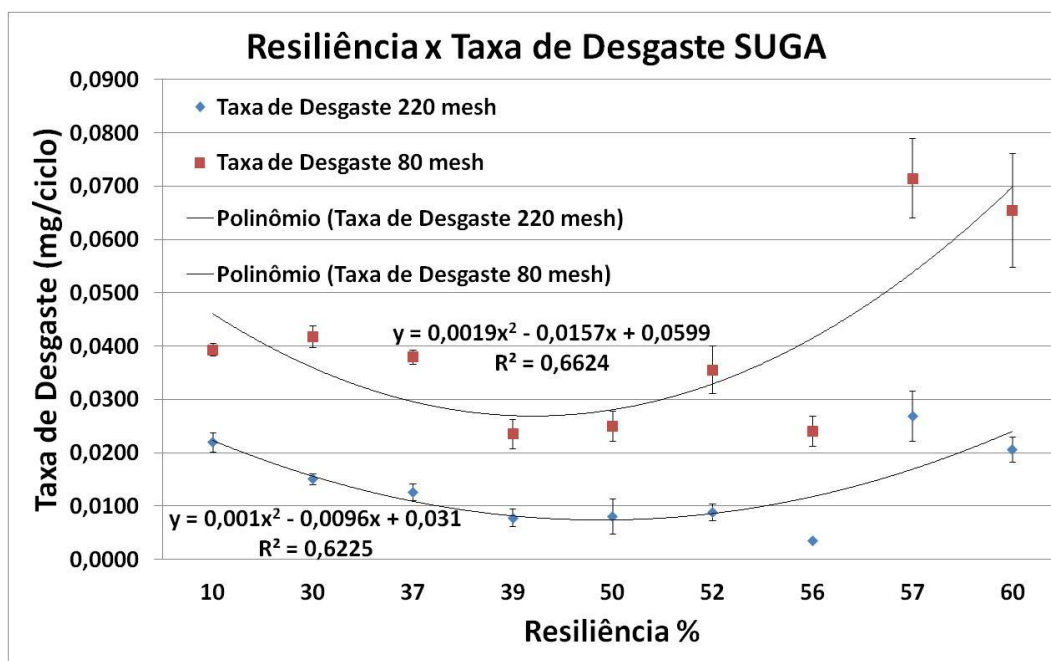


Figura 4.59 – Resiliência dos poliuretanos testados em função da Taxa de Desgaste Abrasiva obtida no SUGA para as duas lixas: 80 e 220 *mesh*.

Os gráficos das Figuras 4.53 a 4.59 mostram uma distribuição aleatória da taxa de desgaste abrasiva em função das propriedades mecânicas como: Módulo de Tração com 100% de Deformação, Módulo de Tração com 300% de Deformação, Tensão na Ruptura, Alongamento, Resistência ao Rasgo e Dureza.

Na Figura 4.59 percebe-se que a propriedade mecânica de resiliência teve uma correlação polinomial de segunda ordem com a taxa de desgaste dos elastômeros testados, observado para ambas as configurações testadas. Porém, a resiliência correlaciona-se com outras propriedades mecânicas como visto anteriormente.

A próxima etapa deste trabalho será de desenvolver modelos de desgaste, a partir das propriedades mecânicas para as duas configurações de ensaio, com o objetivo de verificar as propriedades mecânicas influenciáveis no desgaste abrasivo dos materiais poliméricos testados, como observado nos gráficos das Figuras 4.60 a 4.65.

As propriedades mecânicas receberam a seguinte nomenclatura:

- Módulo de Tração 100% Deformação = **Mod.**<sub>100%</sub>
- Módulo de Tração 300% Deformação = **Mod.**<sub>300%</sub>
- Tensão de Ruptura = **T**<sub>Ruptura</sub>
- Alongamento = **Along.**
- Resistência ao Rasgo = **R**<sub>Rasgo</sub>
- Dureza = **Dur.**
- Resiliência = **Resil.**

Os primeiros modelos de desgaste propostos para correlacionar os resultados experimentais com os teóricos tiveram como base as propriedades mecânicas, como visto nos modelos I e II, referentes às configurações de teste com as lixas 80 e 220 *mesh*.

### I. – Modelo Para a Lixa 80 *mesh*

$$W_{\text{Modelo}} = -1,0788 - 0,0415(\text{Mod.}_{100\%}) + 0,0092(\text{Mod.}_{300\%}) - 0,0016(T_{\text{Ruptura}}) + 0,0011(R_{\text{Rasgo}}) + 0,0141(\text{Dur.})$$

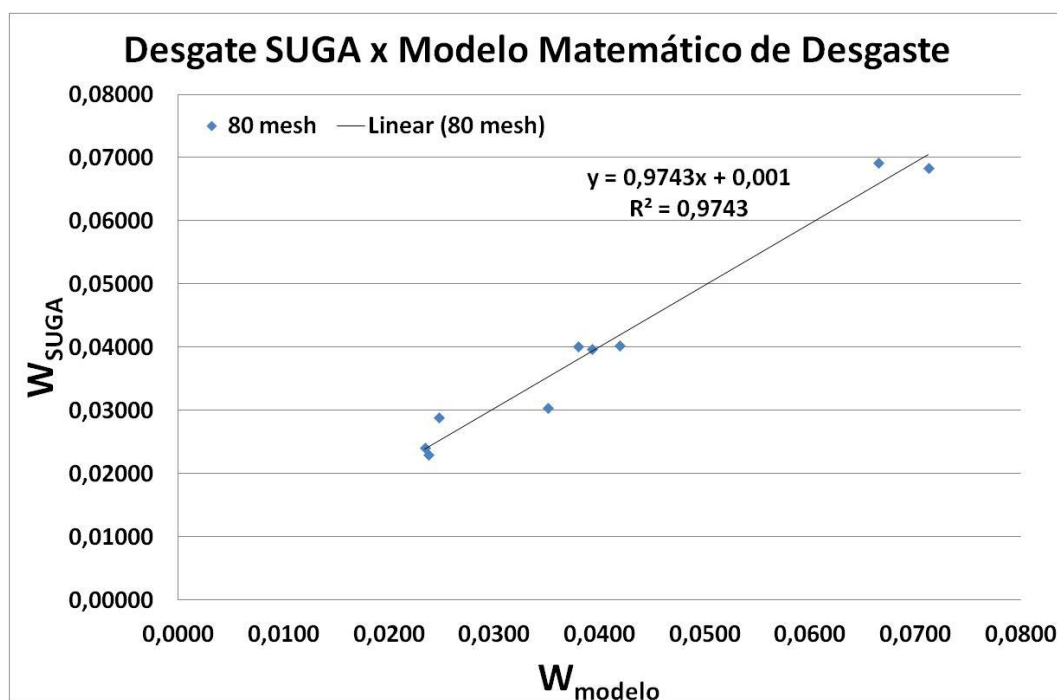


Figura 4.60 - Modelo de desgaste proposto, utilizando propriedades mecânicas de primeira ordem correlacionadas com a Taxa de Desgaste obtida no SUGA da lixa 80 *mesh* e 16,34N.



## II. - Modelo Para a Lixa 220 *mesh*

$$W_{\text{Modelo}} = - 0,5496 - 0,0225(\text{Mod.}_{100\%}) + 0,0049(\text{Mod.}_{300\%}) - 0,0008(T_{\text{Ruptura}}) - 0,00002(\text{Along.}) + 0,0004(R_{\text{Rasgo}}) + 0,0074(\text{Dur.})$$

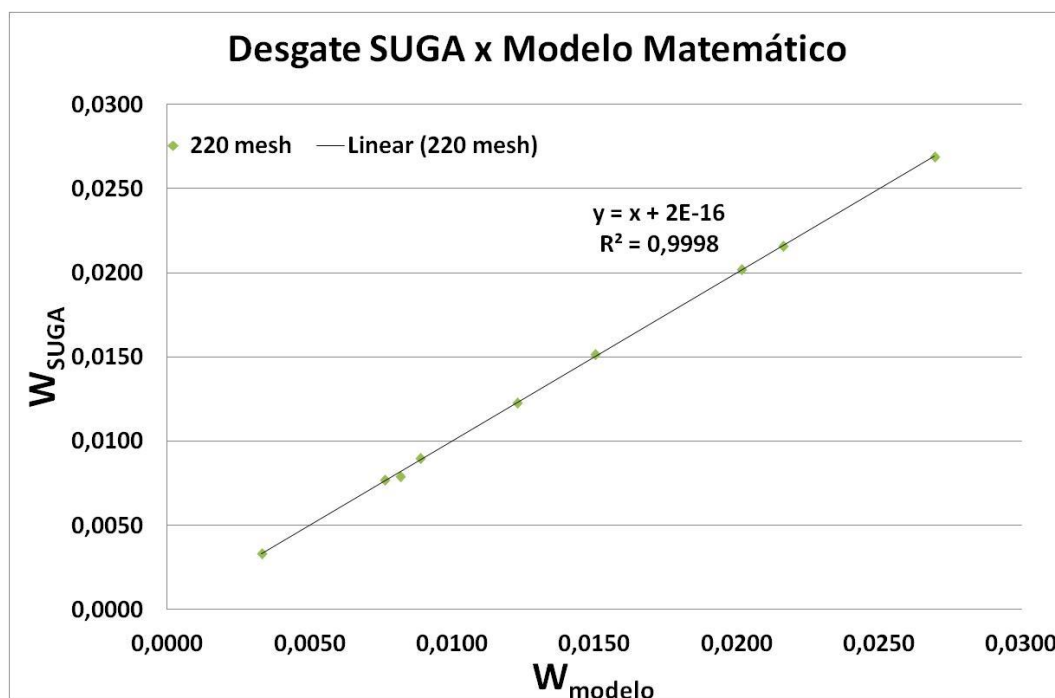


Figura 4.61 - Modelo de desgaste proposto utilizando propriedades mecânicas de primeira ordem correlacionadas com a Taxa de Desgaste obtida no SUGA da lixa 220 *mesh* e 16,34N.

Durante a realização dos Modelos I e II, a propriedade mecânica de resiliência na faixa testada [10 – 60%] não teve significância nos resultados obtidos, juntamente com o alongamento na faixa [396 – 1000%] para o Modelo I.

Observou-se nos primeiros modelos de desgaste propostos acima I e II uma influência direta das propriedades mecânicas no desgaste, como: Módulo de Tração; Tensão de Ruptura; Resistência ao Rasgo e Dureza para ambos os modelos e a propriedade de Alongamento somente para o modelo de 220 *mesh*.

Estes modelos possuem a influência direta de cada uma das propriedades mecânicas informadas anteriormente, geraram uma correlação polinomial de 0,97 e 0,99 respectivamente.

A próxima etapa deste trabalho será de correlacionar as taxas de desgaste abrasiva com as propriedades mecânicas quadráticas do material, como visto nos Modelos III e IV.

### III. – Modelo Para a Lixa 80 *mesh*

$$W_{\text{Modelo}} = -0,4985 - 0,0037(\text{Mod}_{100\%})^2 + 0,0004(\text{Mod}_{300\%})^2 - 0,00002(T_{\text{Ruptura}})^2 + 0,000008(R_{\text{Rasgo}})^2 + 0,00008(\text{Dur.})^2$$

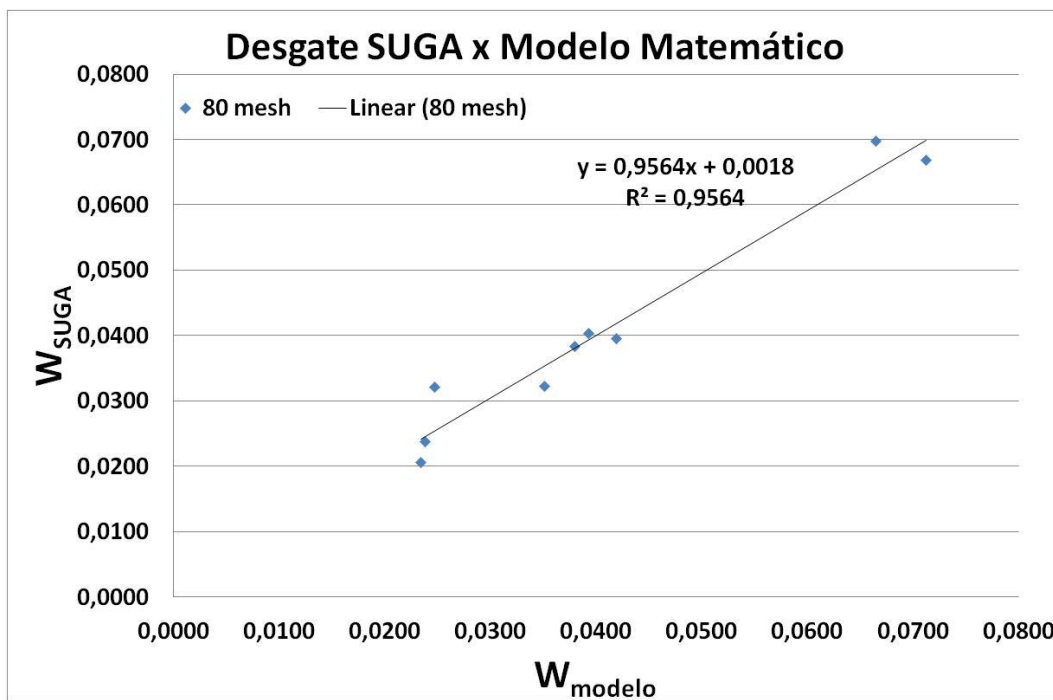


Figura 4.62 - Modelo de desgaste proposto com propriedades mecânicas quadráticas, correlacionado com a Taxa de Desgaste obtida no SUGA da lixa 80 *mesh* e 16,34N.

#### IV. Modelo Para a Lixa 220 mesh

$$W_{\text{Modelo}} = -0,1891 - 0,0013 (\text{Mod}_{100\%})^2 + 0,0002 (\text{Mod}_{300\%})^2 - 0,00001 (T_{\text{Ruptura}})^2 + 0,00003 (\text{Dur.})^2$$

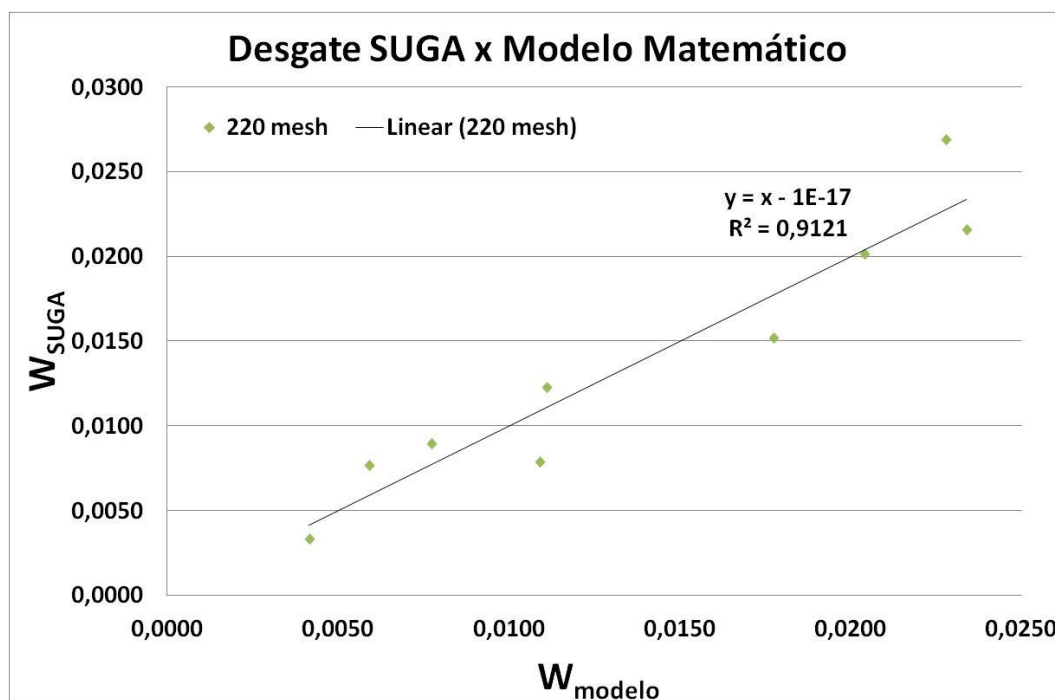


Figura 4.63 - Modelo de desgaste proposto com propriedades mecânicas quadráticas, correlacionado com a Taxa de Desgaste obtida no SUGA da lixa 220 mesh e 16,34N.

Durante a realização dos Modelos III e IV as propriedades de alongamento e resiliência não contribuíram de forma significativa na taxa de desgaste como visto anteriormente, juntamente com a resistência ao rasgo na faixa [53.34 – 91.69 kN/m] para o modelo IV. Porém, verificou-se que novamente as propriedades mecânicas: módulo de tração; tensão de ruptura e dureza influenciaram as taxas de desgaste.

Após a análise da influência das propriedades mecânicas de primeira e segunda ordem os quais influenciaram de forma significativa na taxa de desgaste, foram desenvolvidos os modelos de desgastes V e VI, englobam as propriedades anteriores de forma linear, quadrática e ainda um produto cruzado entre elas.

### V. – Modelo Para a Lixa 80 mesh

$$W_{\text{Modelo}} = -0,5873 + 0,0113 (T_{\text{Ruptura}}) + 0,0116 (R_{\text{Rasgo}}) + 0,0003 (T_{\text{Ruptura}})^2 - 0,000003 (T_{\text{Ruptura}} \times \text{Along.}) - 0,0003 (T_{\text{Ruptura}} \times R_{\text{Rasgo}}) - 0,00002 (T_{\text{Ruptura}} \times \text{Resil.})$$

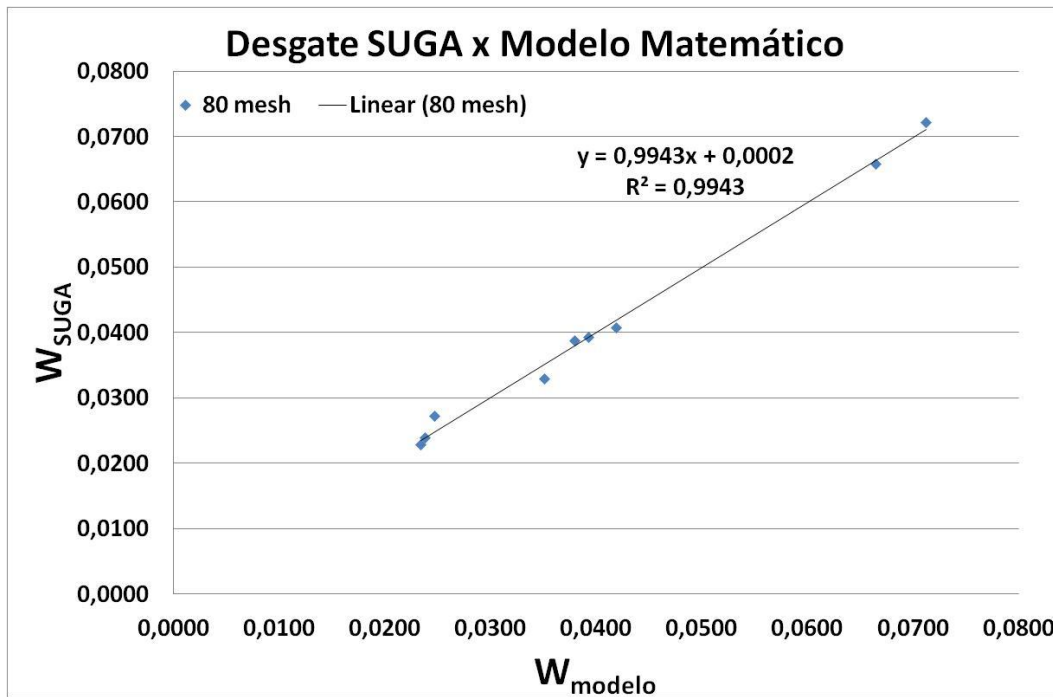


Figura 4.64 - Modelo de desgaste proposto com propriedades mecânicas de primeira, segunda ordem e produtos cruzados, correlacionado com a Taxa de Desgaste obtida no SUGA lixa 80 mesh e 16,34N.

## VI. - Modelo Para a Lixa 220 mesh

$$W_{\text{Modelo}} = -0,2572 + 0,0055(T_{\text{Ruptura}}) + 0,0050(R_{\text{Rasgo}}) + 0,0001(T_{\text{Ruptura}})^2 - 0,000002(T_{\text{Ruptura}} \times \text{Along.}) - 0,0001(T_{\text{Ruptura}} \times R_{\text{Rasgo}}) - 0,00001(T_{\text{Ruptura}} \times \text{Resil.})$$

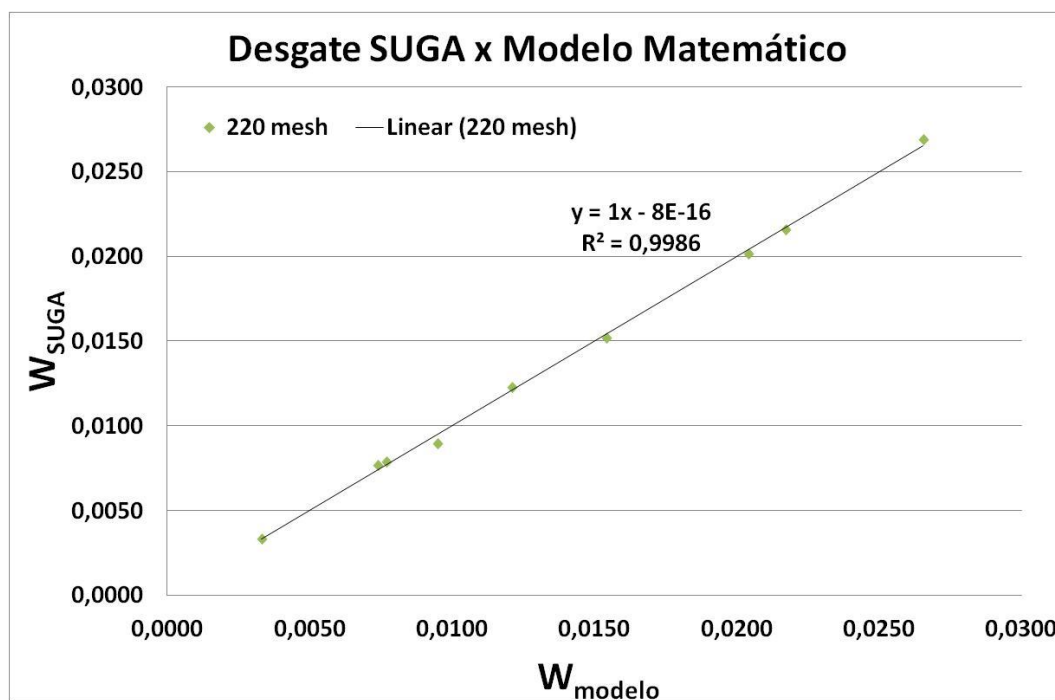


Figura 4.65 - Modelo de desgaste proposto com propriedades mecânicas de primeira, segunda ordem e produtos cruzados, correlacionado com a Taxa de Desgaste obtida no SUGA lixa 220 mesh e 16,34N.

Os dois primeiros modelos de desgaste propostos englobam as propriedades mecânicas de primeira ordem mostrados nas imagens das Figuras 4.60 e 4.65 para o desgaste abrasivo na lixa 80 e 220 mesh. Estes os modelos sugeridos para o dimensionamento de revestimento de poliuretanos, pois obteve se bons coeficientes de regressão, indicando uma boa relação entre o calculado e o encontrado experimentalmente, para as respectivas condições de testes.

Os outros modelos de desgaste proposto englobam as propriedades mecânicas em primeira e segunda ordem e juntamente com interações cruzadas entre elas, obtendo os melhores coeficientes de regressão de desgastes para as duas configurações testadas. Indicando uma boa relação entre o calculado e o encontrado experimentalmente.

## Capítulo V

### Conclusões

Com os resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir:

- a) Apesar dos corpos de provas utilizados neste trabalho possuírem as mesmas formulações químicas de outros trabalhos anteriores, observa-se que existem pequenas variações nos valores de dureza Shore A dos trabalhos, para as Formulações: 01; 03; 05; 09; 11; 13 e 15. Já para as Formulações 07 e 17 as durezas foram iguais.
- b) As pequenas variações entre as durezas dos dois trabalhos foram consideradas como aceitáveis.
- c) Os resultados do tempo de secagem realizados em uma estufa com temperatura de trabalho de 70°C, mostraram um tempo de secagem de quarenta e três horas para nove formulações, considerando a geometria de teste, após um tempo de submersão de cinco horas.
- d) Não foi possível medir perda de massa em velocidades de incidência abaixo de 10 [m/s] em ângulos normais com concentrações de 10 [%] em massa, durante três horas de ensaio erosivo utilizando uma balança de resolução de  $10^{-4}$ [g].
- e) Observou-se no ensaio de erosão a presença de partículas abrasivas na superfície erodida dos corpos de prova ensaiados (incrustação), gerando um aumento na massa, ou seja, no peso captado pela balança.
- f) Não foi possível medir a perda de massa dos corpos de prova pelo método gravimétrico.
- g) A massa teórica perdida no ensaio de erosão pela formulação 17 foi mais que o dobro do que a 03. Já para a formulação 07 não foi possível medir a massa teórica perdida devido a irregularidades superficiais.
- h) A perda de massa, utilizando o método do volume teórico, foi medida, porém, devido às irregularidades superficiais do corpo de prova, juntamente com possíveis deformações viscoelásticas ocasionadas durante o impacto do jato abrasivo na superfície do corpo de prova, mascararam o resultado.
- i) Observou-se um período de “*running-in*” durante os 800 primeiros ciclos do ensaio, para ambas as configurações de desgaste abrasivo testado no SUGA.

- j) No ensaio de desgaste abrasivo, utilizando a lixa de 80 *mesh*, foi possível verificar três grupos distintos de material, comportando-se de maneira diferente, quando submetidas ao desgaste abrasivo de: alta (Formulações 13 e 15), média (Formulações 03, 07, 09 e 11) e baixa (Formulações 01, 05 e 17) taxa de desgaste abrasivo.
- k) Para o ensaio na lixa de 80 *mesh* nota-se que para os mesmos Isocianatos MDI e TDI o pior desempenho ao desgaste abrasivo foi o Polioliol PPG seguido pela blenda (PTMEG+PPG). Já para um mesmo Poliíolis não fica clara a predominância de Isocianatos que melhore o desempenho ao desgaste abrasivo.
- l) Verifica-se nas fotografias realizadas no MEV para os ensaios de desgaste através da lixa 80 *mesh*, que o mecanismo de desgaste predominante foi o micro-corte e, nota-se, inclusive, a presença de microtrincas e o destacamento de fragmentos através de fratura frágil. E ainda defeitos de fabricação “bolhas” e abrasivos fixados junto aos fragmentos de desgaste nas superfícies.
- m) Os resultados da taxa de desgaste abrasiva da lixa 220 *mesh*, indicam um grupo de materiais de pior desempenho, composto pelas Formulações 09, 13 e 15. Outro grupo de material composto pelas Formulações 03, 05, 07, 11 e 17 teve um desempenho intermediário ao teste de desgaste abrasivo. No entanto, material de Formulação 01 teve o melhor desempenho no teste de desgaste abrasivo.
- n) No ensaio utilizando a lixa abrasiva de 220 *mesh* notou-se que para os mesmos Isocianatos TDI e MDI o Polioliol PTMEG teve o melhor desempenho ao desgaste abrasivo, contudo a blenda (PTMEG+PPG) juntamente com o PPG foram os de piores desempenhos. No entanto, para os o mesmo Poliíolis (PPG, PTMEG+PPG e PPG) não fica clara a predominância de uma matéria prima.
- o) Verifica-se nas imagens obtidas via MEV para os ensaios de desgaste abrasivo através da lixa 220 *mesh* a predominância de microcorte como micromecanismo de desgaste, mas também nota-se a presença de padrões Schallamach.

## Capítulo VI

### Trabalhos Futuros

Para a aplicação de revestimento de poliuretanos contra o desgaste erosivo, sugere-se a utilização de erosímetros de alta velocidade de incidência, pois, neste trabalho realizaram-se ensaios com velocidades muito baixa comparada às encontradas na literatura. Mas também este erosímetro utilize o ar como fluido transportador das partículas erosivas.

Produção de novas amostras do poliol blenda (PTMEG+PPG) com novas proporções de materiais para observação do comportamento destes materiais ao desgaste abrasivo.

Para a investigação dos modelos de desgaste propostos, sugere-se, novas formulações com propriedades mecânicas dentro da faixa testadas sejam avaliadas ao desgaste abrasivo no equipamento SUGA de modo a validar os modelos de desgaste propostos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M.J., ALLAN, A., BRISCOE, B.J., DOYLE, P.J., GORMAN, D.M., JOHNSON, S.A. An experimental study of the nano-scratch behaviour of poly(methylmethacrylate), *Wear* 251 (2001) 1579–1583.
- AGARWAL, V.K., MILLS, D., MASON, J.S. A comparison of the erosive wear of steel and rubber bends in pneumatic conveying system pipelines, in: J.E. Field, N.S. Corney (Eds.), *Proceedings 6th International Conference on Erosion by Liquid and Solid Impact*, Cavendish Laboratory, Cambridge, UK, 1983.
- AMARAL, G.H.B. Efeito da Formulação no Comportamento em Abrasão de Poliuretano. 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- ARNOLD, J. C. AND HUTCHINGS, I. M. The mechanisms of erosion of unfilled elastomers by solid particle impact. In K. C. Ludema (ed.), *Wear of Materials 1989*, SME, New York, 1989, pp. 99 - 107.
- ARNOLD, J.C. Impact of small particles onto rubber surfaces at glancing angles, *J. Appl. Polym. Sci.* 64 (1997) 2199–2210.
- ASTM D-2240. (2005), “Durometer hardness”.
- BARKOULA, M.-N., KARGER-KOCSIS, J. Processes and influencing parameters on the solid particle erosion of polymers and their composites, *J. Mater. Sci.* 37 (2002) 3807–3820.
- BECK, R.A. AND TRUSS, R.W. (1998), “Effect of chemical estruture on the wear behaviour of Polyurethane-urea elastomers”, *Wear*, v 218, pp 145-152.
- BHUSHAN, B., 1999, “Principles and applications of tribology”, editora “Wiley-Interscience”, ISBN 0-471-59407-5, pp. 1020.
- BRISCOE, B.J., EVANS, P.D., BISWAS, S.K., SINHA, S.K. The hardness of poly(methylmethacrylate), *Tribology Int.* 29 (2) (1996) 93–104.
- BRISCOE, B.J., EVANS, P.D., PELILLO, E., SINHA, S.K. Scratch maps for polymers, *Wear* 200 (1996) 137–147.
- BRISCOE, B.J., PELILLO, E., SINHA, S.K. Scratch hardness and deformation maps for polycarbonate and polyethylene, *Polym. Eng. Sci.* 36 (24) (1996) 2996–3005.

BRISCOE, B.J., SINHA, S.K. Tribology of polymeric solids and their composites, in: Wear-Materials, Mechanism and Practice, John Wiley & Sons, Gwidon Stachowiack, 2005 (Chapter 10).

BUDINSKI KG. Resistance to particle abrasion of selected plastics. Wear 1997;203–204:302–9.

BUDINSKI, K.G. Resistance to particle abrasion of selected plastics, Wear 203–204 (1997) 302–309.

CALLISTER JUNIOR, WILLIAM D. (2007), “Ciência e engenharia de materiais”. 7. ed. Rio de Janeiro.

CANEVAROLO JÚNIOR, SEBASTIÃO VICENTE. 2º Ed. (2006), “Ciência dos polímeros”. São Paulo: Artliber.

CIZMAS P.G., SLATTERY J.C., Dimensionless correlation for sand erosion of families of polymers, Wear 262 (2007) 316–319.

CZICHOS H. Influence of adhesive and abrasive mechanisms on the tribological behaviour of thermoplastic polymers. Wear 1983;88:27–43.

DE MELLO, J.D.B.; Structure Metallurgiques et Caracterisation de L'Abrasion des Fonte Blanches au Chrome. Tese de Doutorado – Institute National Polytechnique de Grenoble, França, 1983, 141p.

FERREIRA, F. M. Avaliação tribomecânica via esclerometria retilínea e indentação instrumentada do aço ABNT 8550. 2010. 126 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FERREIRA, M., REBELLO, J. M. A. e TELLES, B., 2002, “Caracterização de Materiais Poliméricos Utilizados como Revestimento Externo de Dutos Flexíveis (Risers, Flow Line, TDP)”, Relatório técnico n.º: PEMM-2656.

FRANCO, S.D. Contribuição ao Estudo do Desgaste Abrasivo de Materiais Polifásicos. 1989. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia.

FRANCO, SD.;MORAES, JO.; NETO, FFR.; PIZA, MTP. “Efeito Das Propriedades Mécnicas no Desgaste Abrasivo de Poliuretanos MDI-BD”. 15º POSMEC - Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Uberlândia, 2005.

FRIEDRICH K, CYFFKA M. On the wear of reinforced thermoplastics by different abrasive papers. Wear 1985;103:333–44.

GILTROW JP. A relationship between abrasive wear and cohesive energy of materials. *Wear* 1970;15:71–8.

H.J. EPHITHITE, Rubber lining - the soft option against abrasion, *Bulk Solids Handl.* 5 (5) (1985) 1041–1047.

HARSHA AP, TEWARI US, VENKATRAMAN B. Three-body abrasive wear behaviour of polyaryletherketone composites. *Wear* 2003;254(7–8):680–92.

HARSHA AP, TEWARI US. Two-body and three-body abrasive wear behaviour of polyaryletherketone composites. *Polymer Testing* 2003;22(4):403–18.

<http://www.diariodonordeste.globo.com>, Fevereiro/2011

<http://www.petrobras.com.br>, Maio/2007

<http://www.petropasy.com.br>, Junho/2011

HUTCHINGS, I. M., 1992, “Tribology – Friction and wear of engineering materials”, London, British Library, ISBN 0340 56184X.

HUTCHINGS, I. M., DEUCHAR, D. W. T. AND A, I-I, MUHR, Erosion of unfilled elastomers by solid particle impact, *J. Mater. Sci.* 22 (1987) 4071 - 4076.

KAYSER JR, D.L., 2003, “Análise Dinâmica de Linhas Flexíveis com Elemento de Pórtico não Linear Geométrico Híbrido”, Dissertação de Mestrado Eng. Civil UFRJ, 275 pgs.

KURACHENKOV, V.N., KIZHAEV, S.A., LETUNOVSKII, M.P., STRAKHOV, V.V., ANISIMOV, V.N., EGOROV, S.F. (1990), *Sov. Journal Friction Wear* v 11, pp 132-135.

LARSEN-BASSE J. Slurry abrasion of polymers under simulated submarine conditions. *Wear* 1988;122(2):135–49.

LARSEN-BASSE J. Slurry abrasion of polymers under simulated submarine conditions. *Wear* 1988;122(2):135–49.

LI, J., HUTCHINGS, I.M. Resistance of cast polyurethane elastomers to solid particle erosion, *Wear* 135 (1990) 293–303.

NUTTALL, R.J. The Selection of abrasion resistant lining materials, *Bulk Solids Handl.* 5 (5) (1985) 1053–1055.

RAJESH JJ, BIJWE J, TEWARI US. Abrasive wear performance of various polyamides. *Wear* 2002;252:769–76.

SANTOS, F.C. (2007), “Otimização de Poliuretanos para Protetores de Linhas Flexíveis Sujeitos ao Desgaste Abrasivo”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica – UFU.

SHIPWAY PH, NGAO NK. Microscale abrasive wear of polymeric materials. *Wear* 2003;255(1–6):742–50.

SHIPWAY PH, NGAO NK. Microscale abrasive wear of polymeric materials. *Wear* 2003;255(1–6):742–50.

SILVA, F. J. Erosão, corrosão, erosão-corrosão e cavitação do aço ABNT 8550 nitretado a plasma. 2008. 300f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SINHA, S.K., CHONG, W.L.M., SEH-CHUN LIM, Scratching of polymers - Modeling abrasive wear, *Wear* 262 (2007) 1038-1047.

SOUZA, et al. (2000), “Colapso de dutos flexíveis sob pressão externa”. Rio de Janeiro: Boletim Técnico Petrobras.

STACHOWIAK, G. W. E BATCHELOR, A. W., 2001, “Engineering tribology”, Butterworth-Heinemann, 2ed., 744 p.

TROFIMOVICH, A.N., ANISIMOV, V.N., KURACHENKOV, V.N., STRAKHOV, V.V., LETUNOVSKII, M.P., EGOROV, S.F. (1987), *Sov. Journal Friction Wear* v 8, pp 87-92.

VILAR, D. W., 2004, “Química e Tecnologia dos Poliuretanos” 3a. edição atualizada 400 pg.

WILLIAMS, J.A. Analytical models of scratch hardness. *Tribology International*, v. 29, n° 8, p.675-694, 1996.

WONG, B., SINHA, S.K., TAN, J., ZENG, K.Y. Nano-wear mechanism for ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) sliding against a model hard asperity, *Tribology Lett.* 17 (3) (2004) 613–622.

WONG, M., LIM, G.T., MOYSE, A., REDDY, J.N., Sue, H.-J. A new test methodology for evaluating scratch resistance of polymers, *Wear* 256 (2004) 1214–1227.

XIE, Y., HAWTHORNE, H.M. On the possibility of evaluating resistance of materials to wear by ploughing using a scratch method, *Wear* 240 (2000) 65–71.

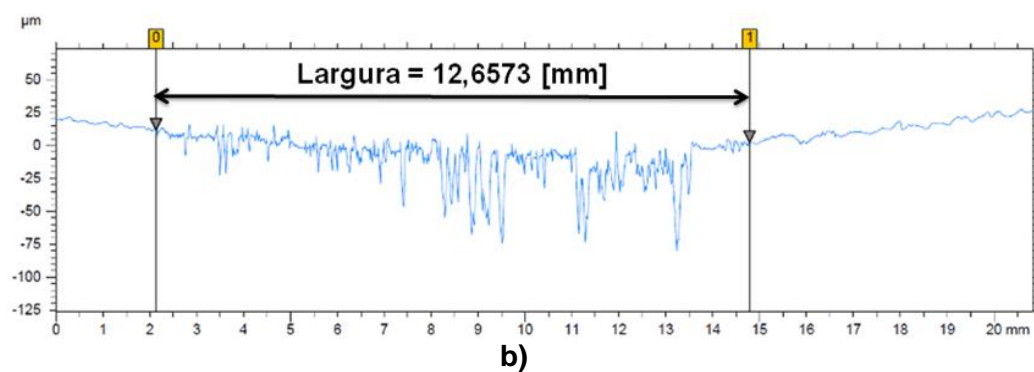
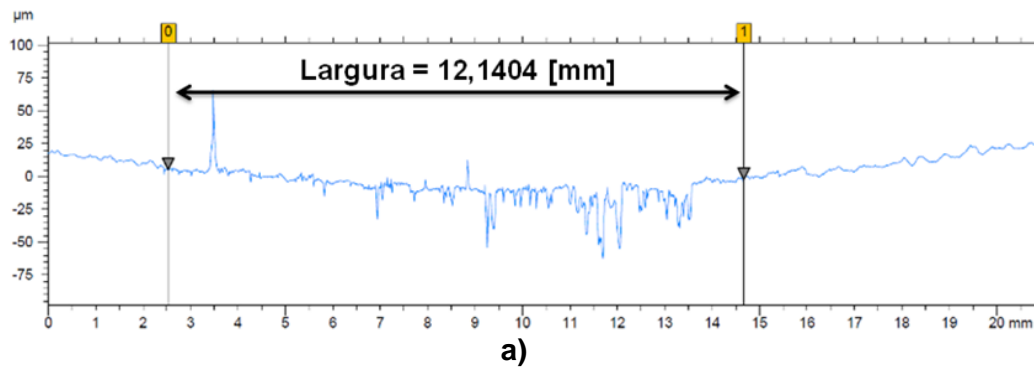
YAMAGUCHI Y. Tribology of plastic materials. Tribology series 16. Amsterdam: Elsevier; 1990. p. 125–41.

YOUSIF, B.F., EL-TAYEB, N.S.M. Wear characteristics of thermoset composite under high stress three-body abrasive. Tribology International 2010; (43) 2365–2371.

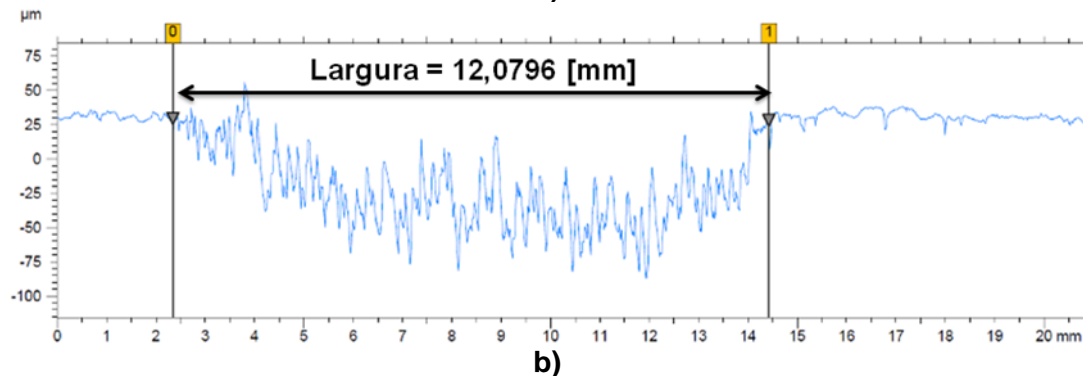
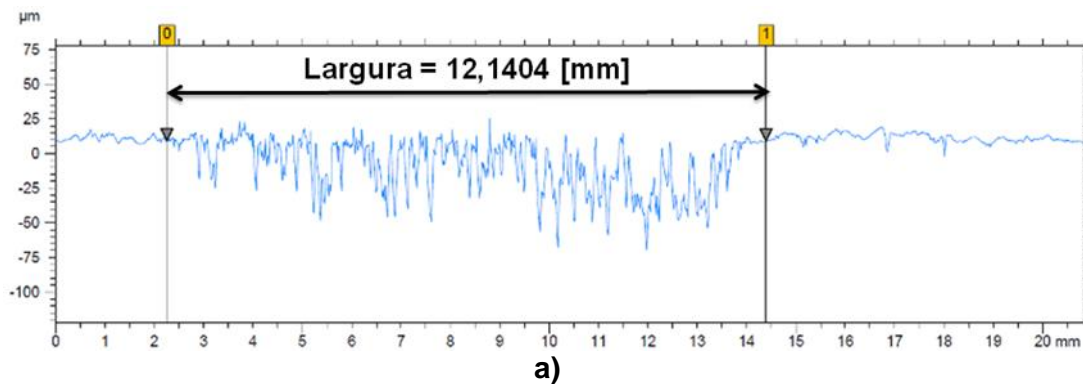
ZUM GAHR, K. H. (1987), "Microestructure and wear of materials". Amsterdam: Elsevier.

ZUM GAHR, K.H. Formation of wear debris due to abrasion. 3rd International Conference on Wear of Material, ASME, Dearborn, USA, p.396-405, 1981.

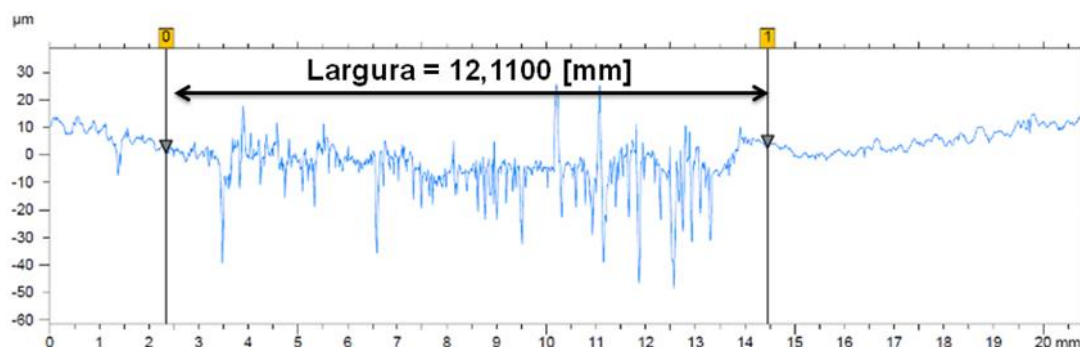
## Apêndice A – Evolução do Desgaste Abrasivo ao Longo dos Primeiros Ciclos Para o Ensaio com a Lixa Abrasiva de 80 mesh



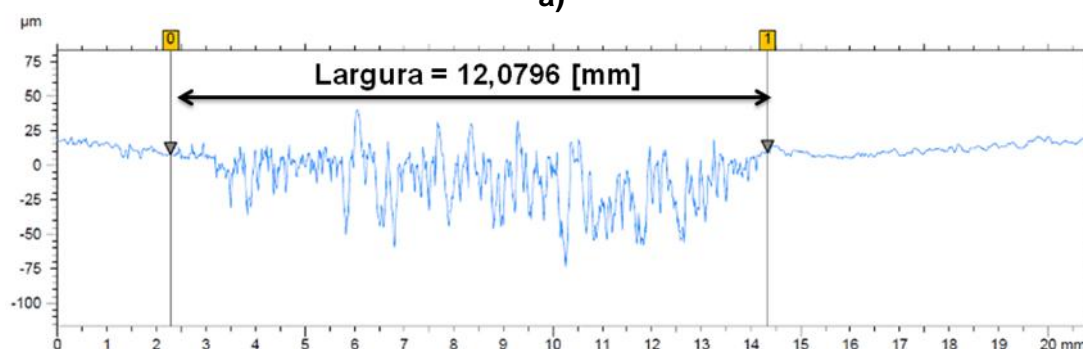
A.1 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 01 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.



A.2 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 03 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.

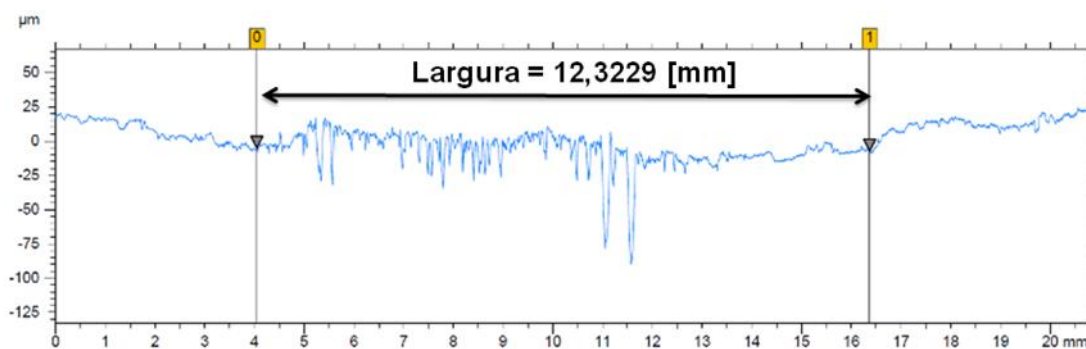


a)

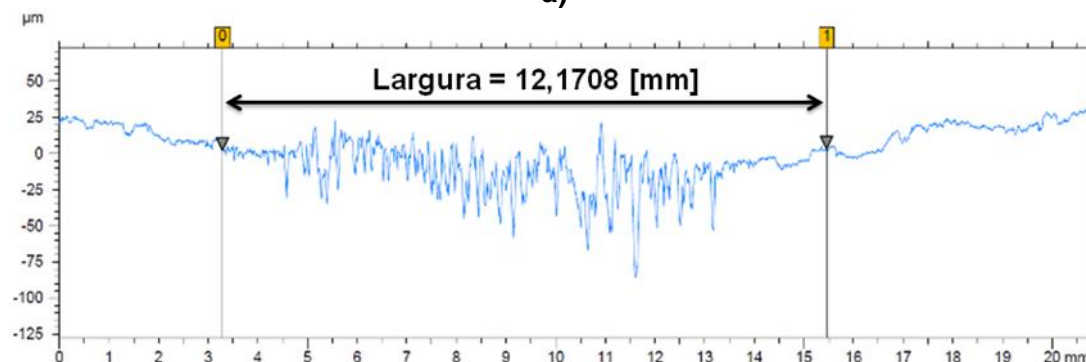


b)

A.3 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 05 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.

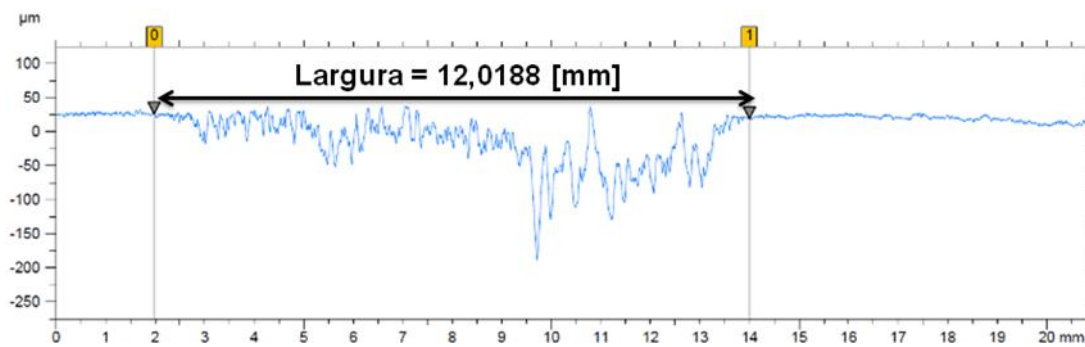


a)

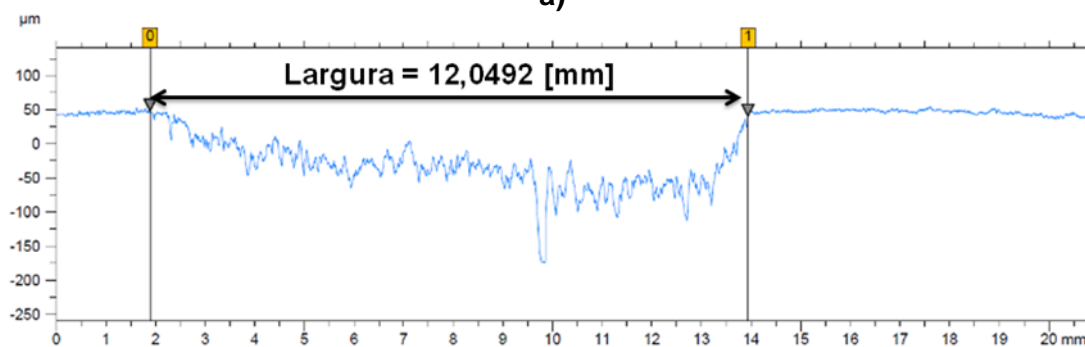


b)

A.4 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 07 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.

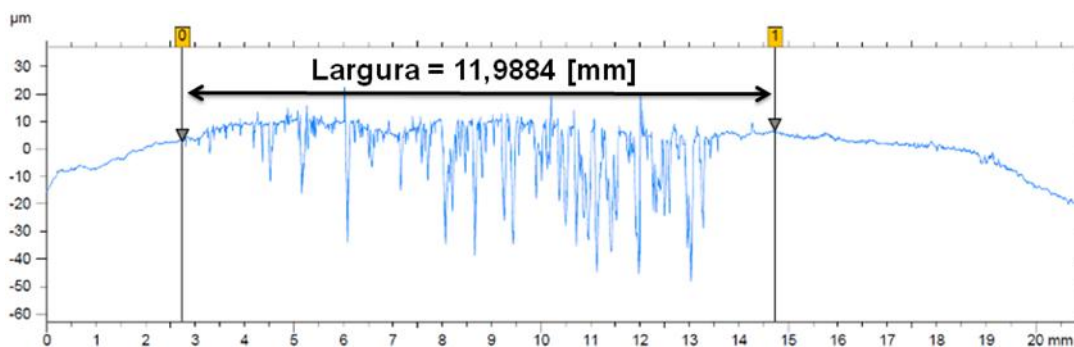


a)

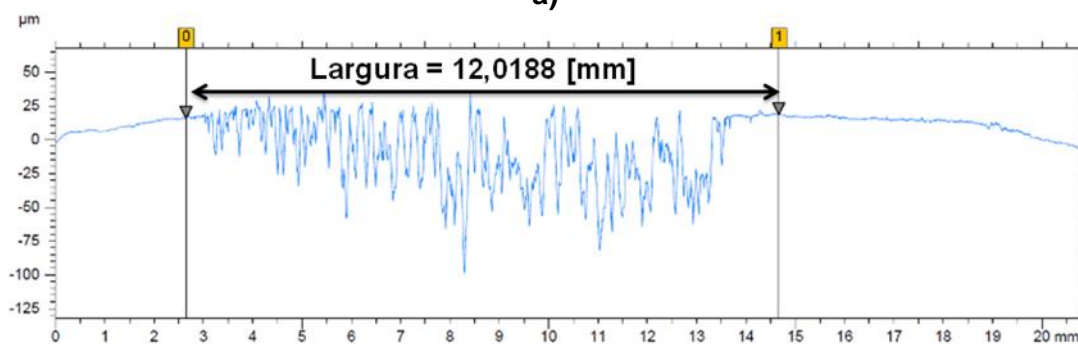


b)

A.5 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 09 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.



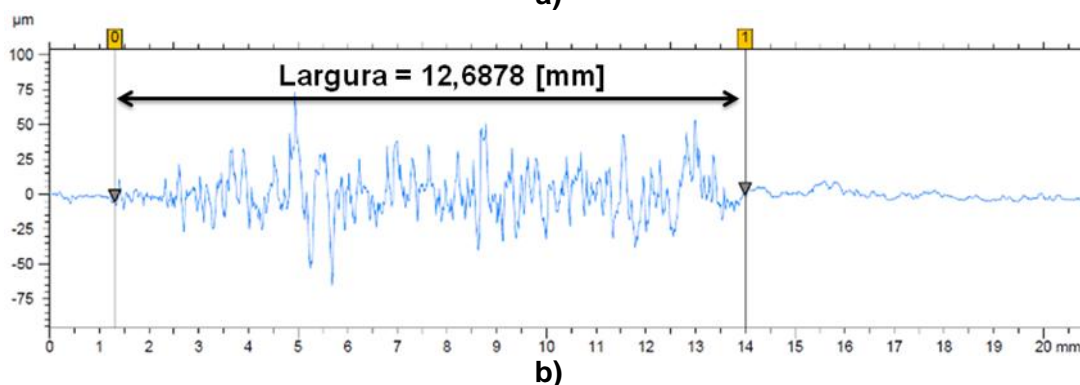
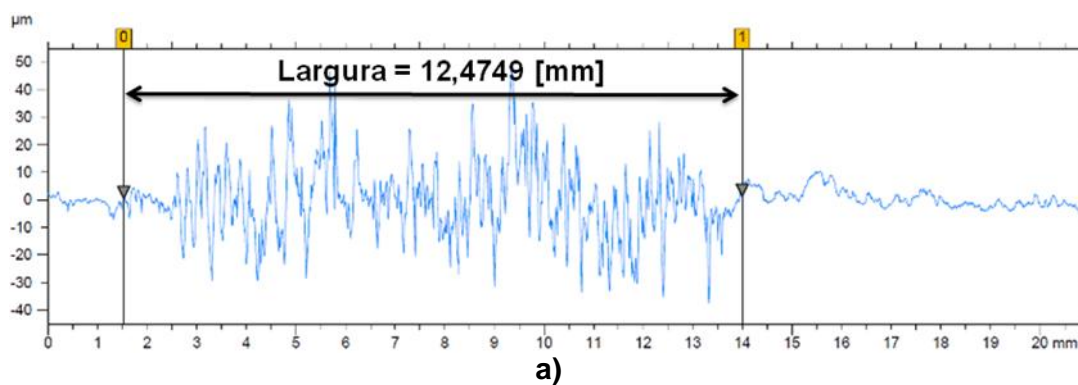
a)



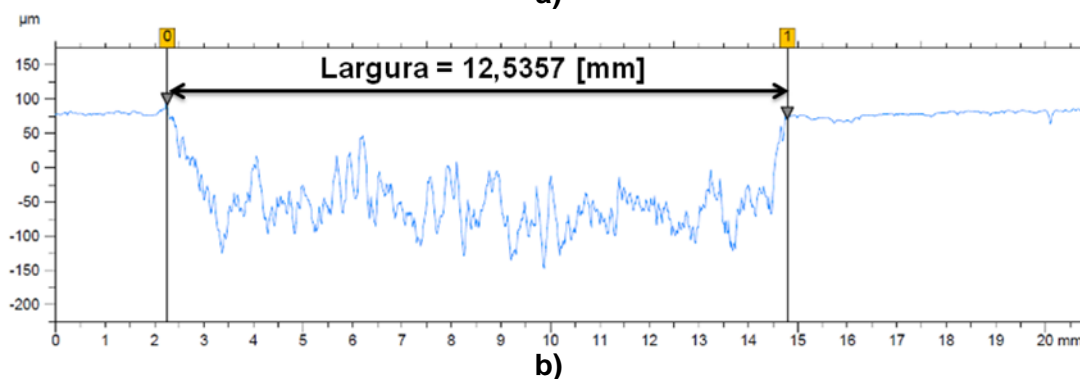
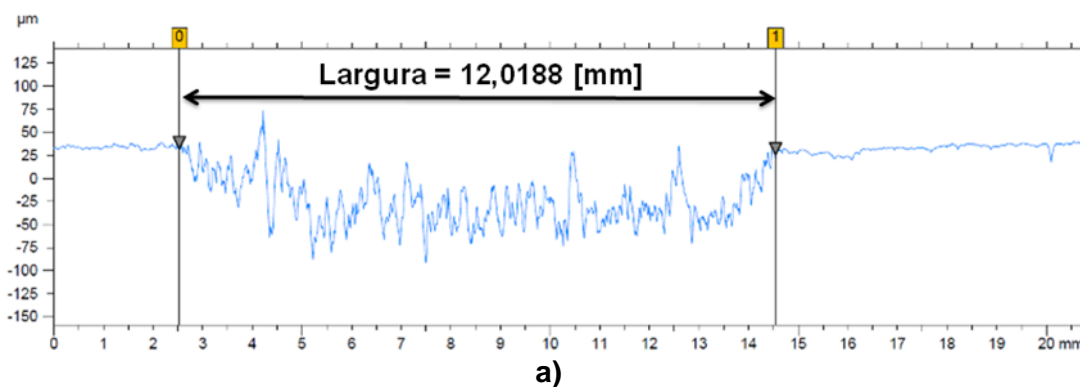
b)

A.6 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 11 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.

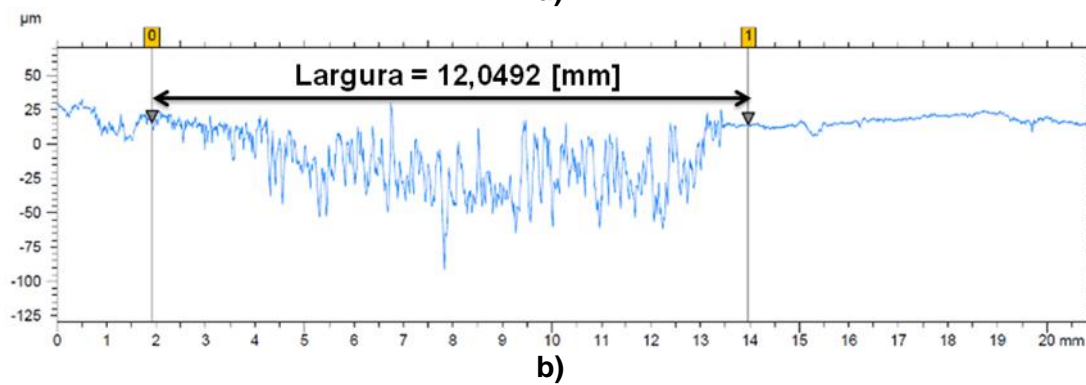
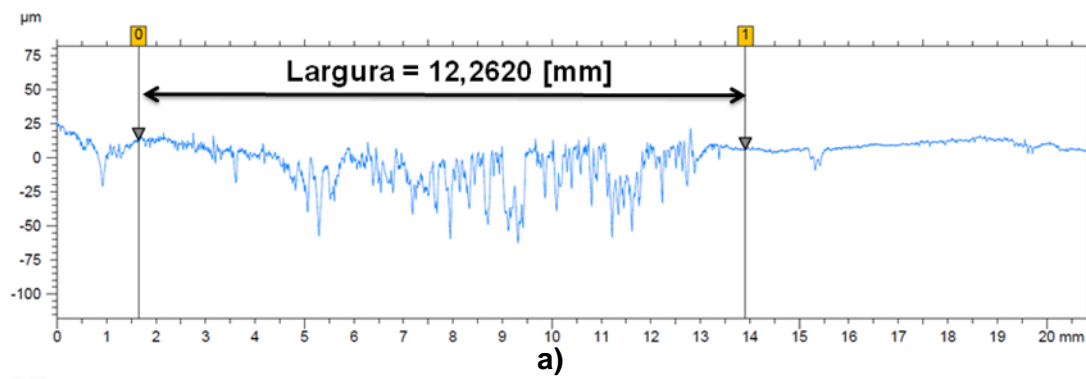




A.7 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 13 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.

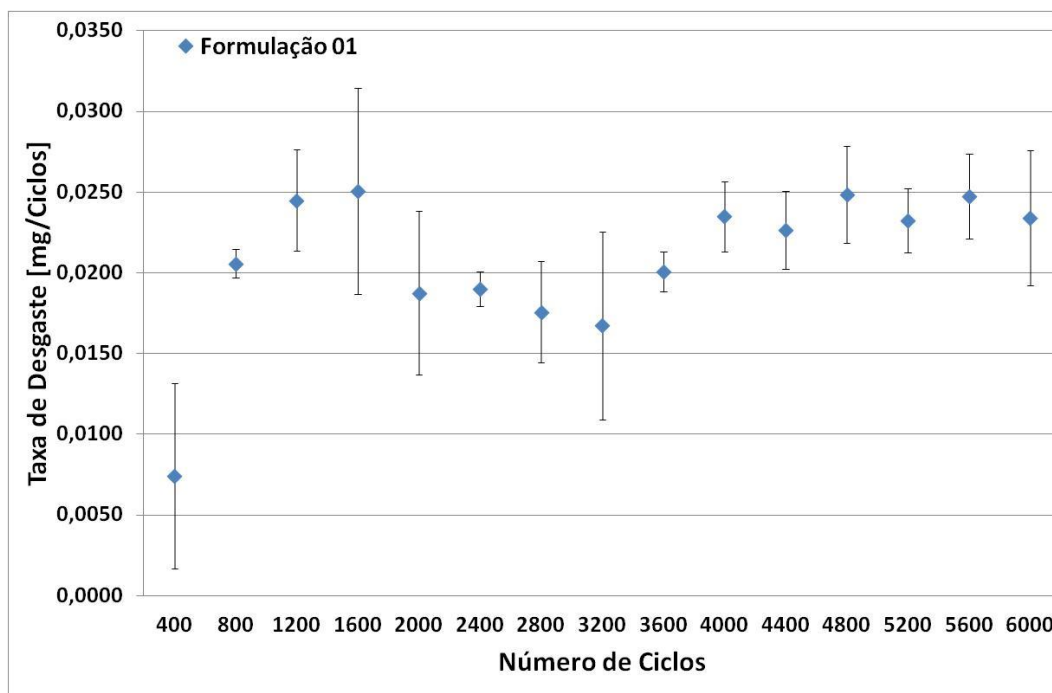


A.8 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 15 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.

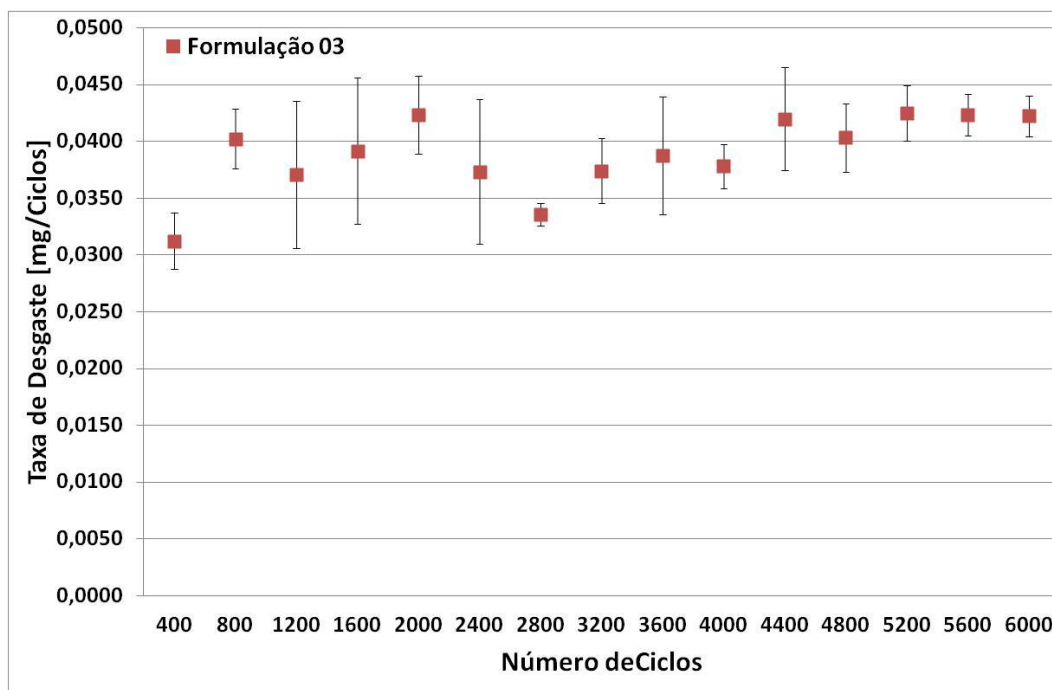


A.9 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 17 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 80 *mesh*.

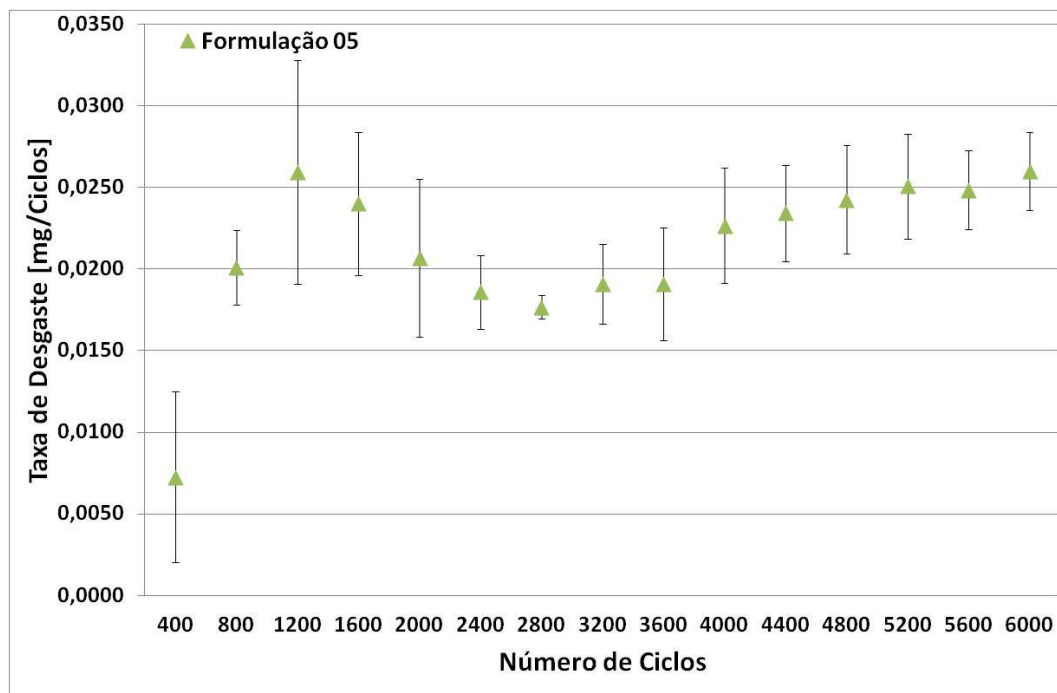
## Apêndice B – Monitoramento da Taxa de Desgaste Durante o Ensaio de Desgaste Abrasivo da Lixa 80 *mesh*.



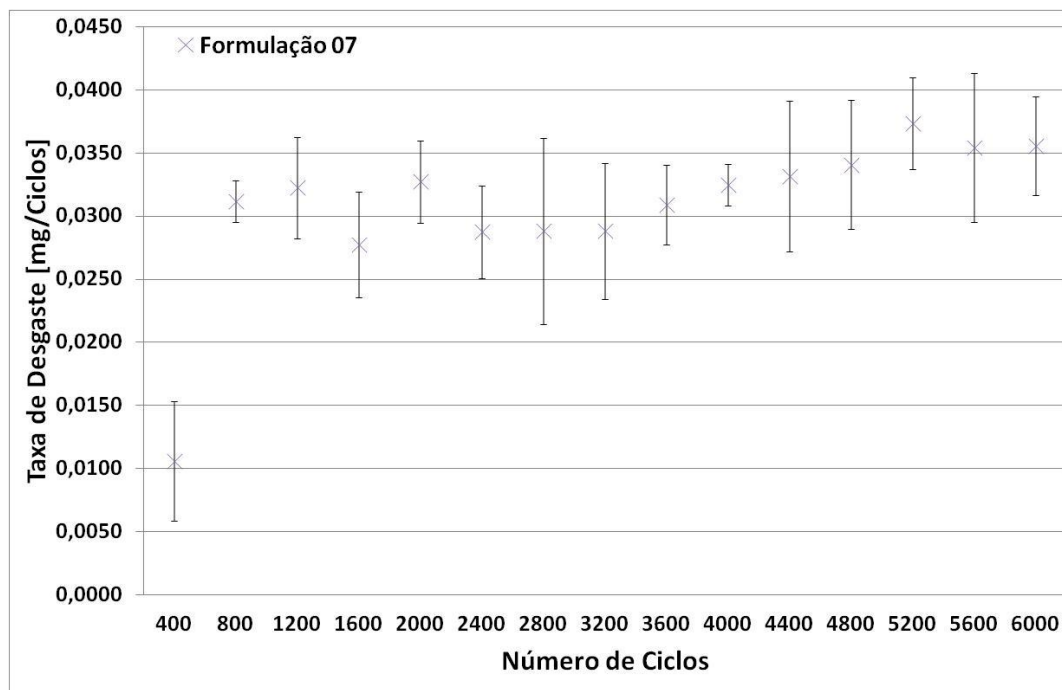
B.1 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 01.



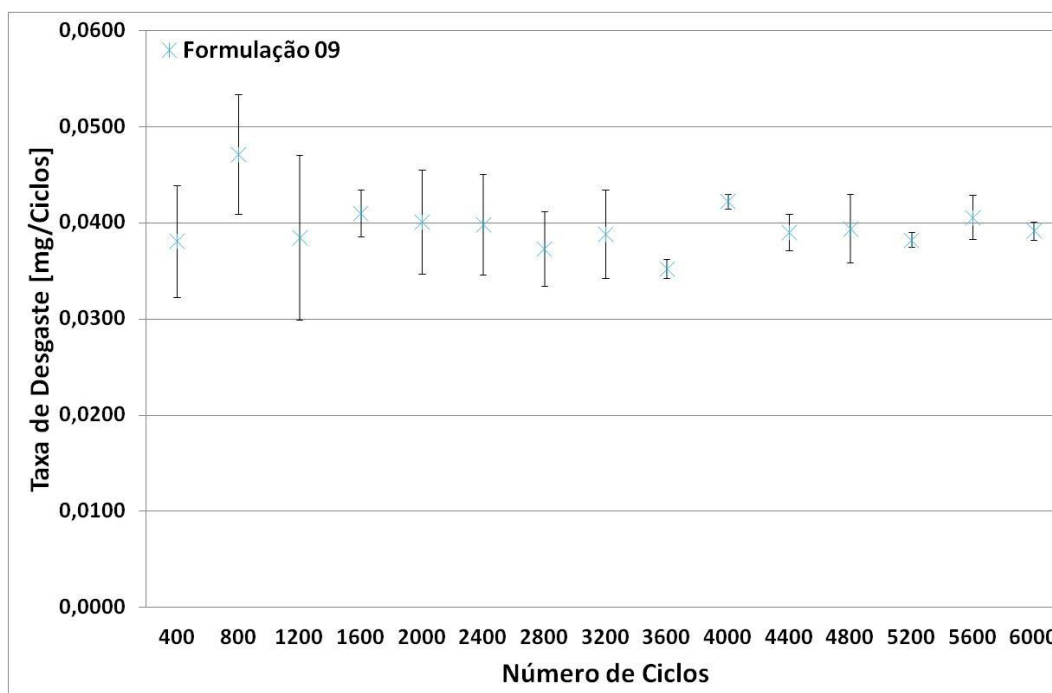
B.2 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 03.



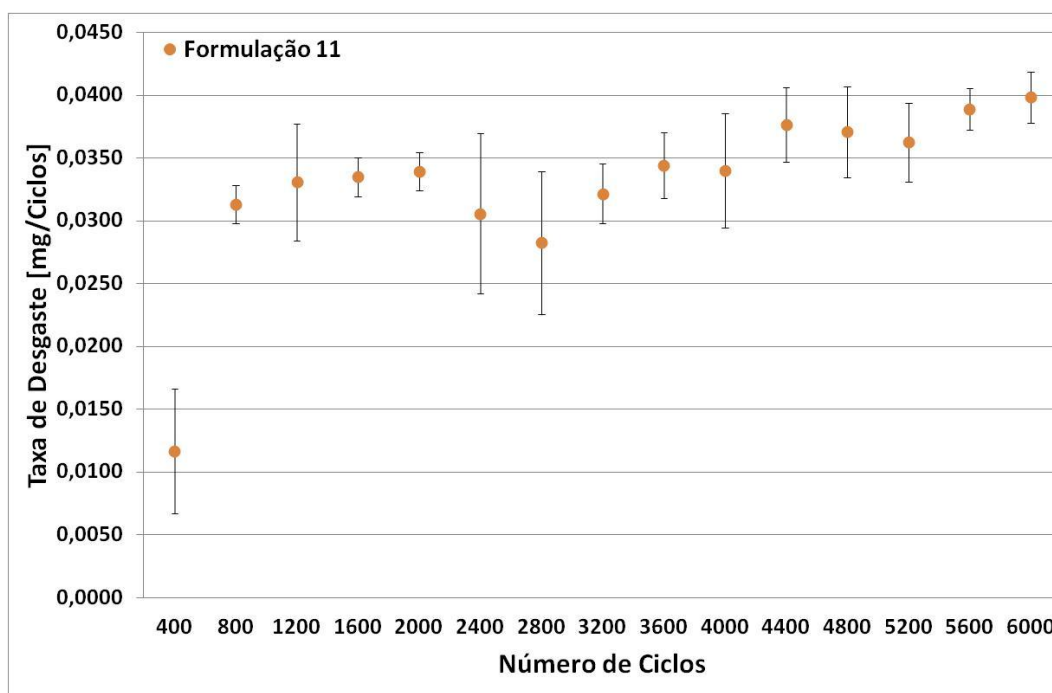
B.3 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 05.



B.4 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 07.

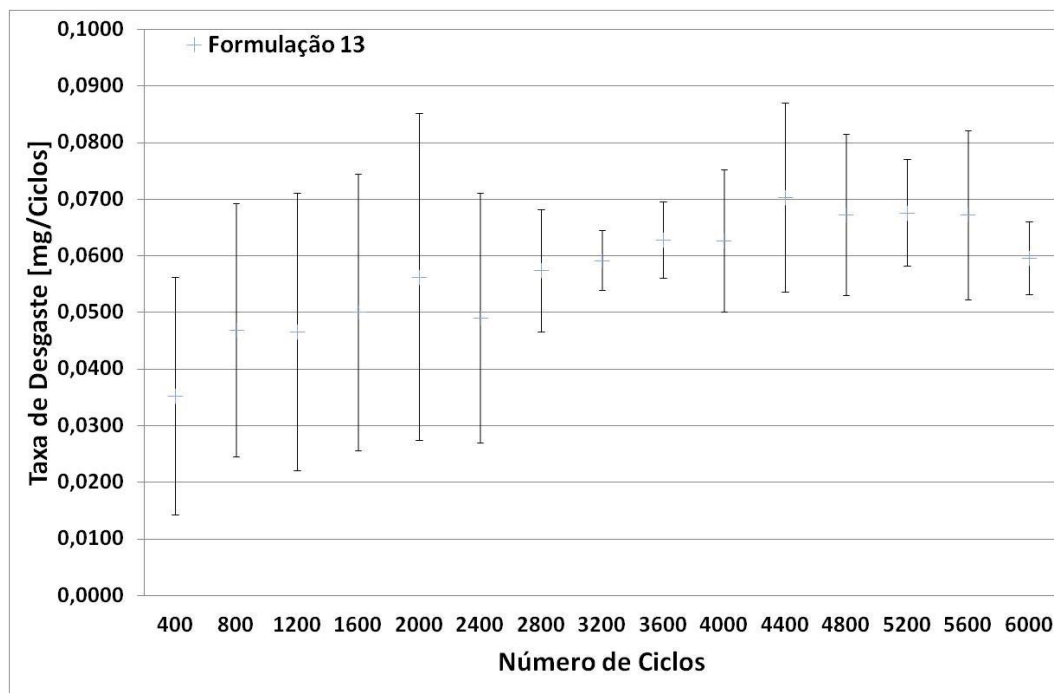


B.5 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 09.

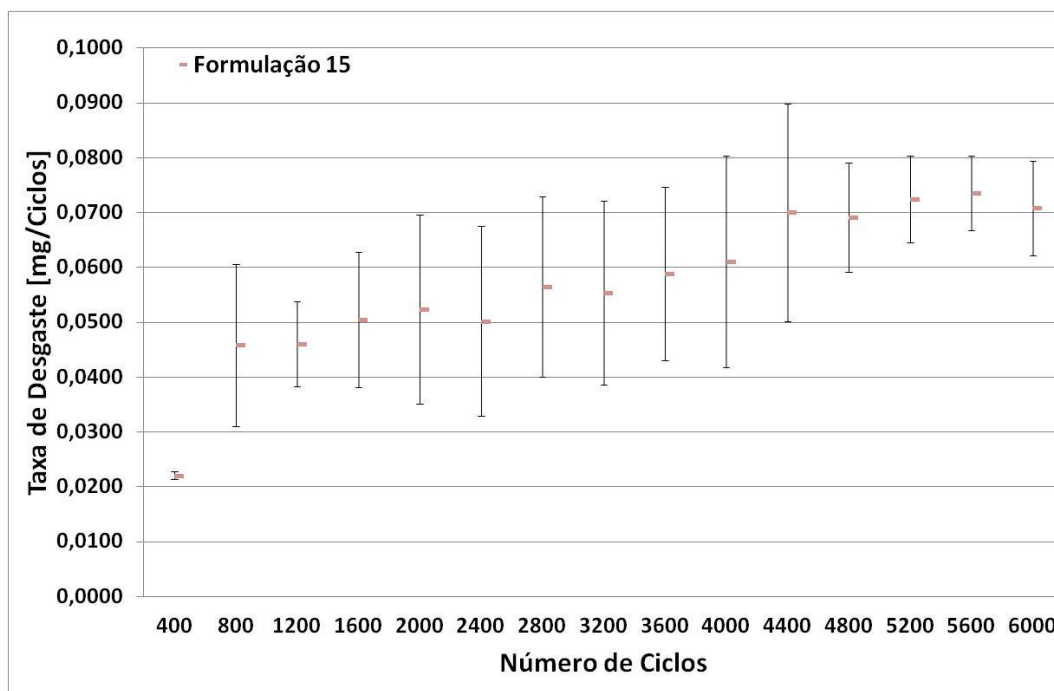


B.6 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 11.

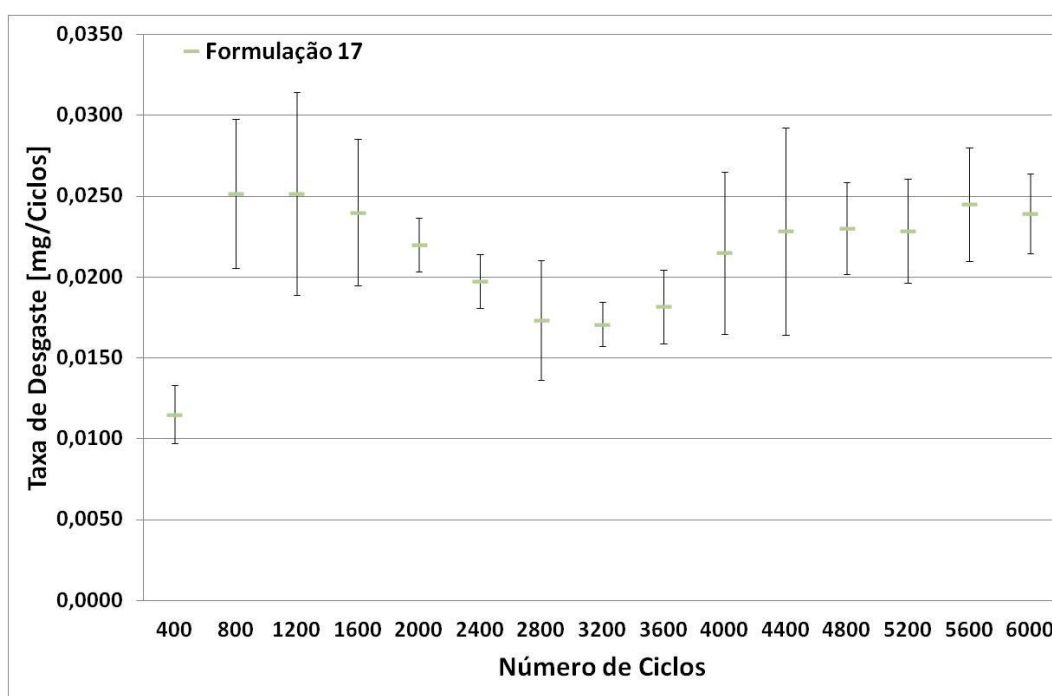




B.7 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 13.

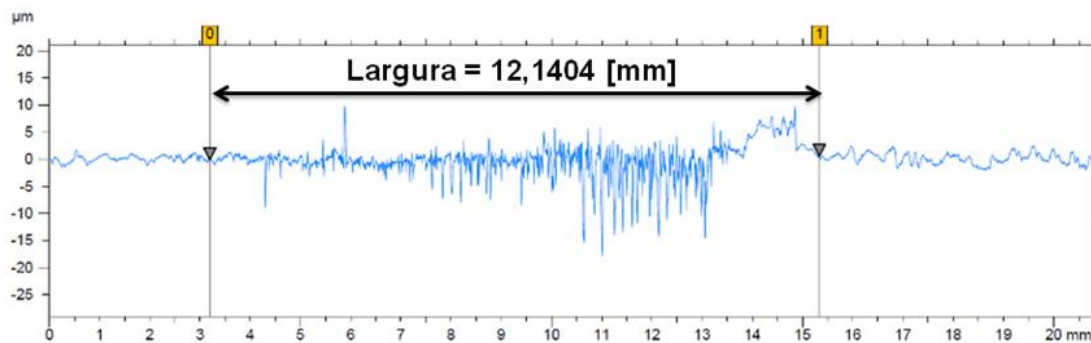


B.8 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 *mesh*), Formulação 15.

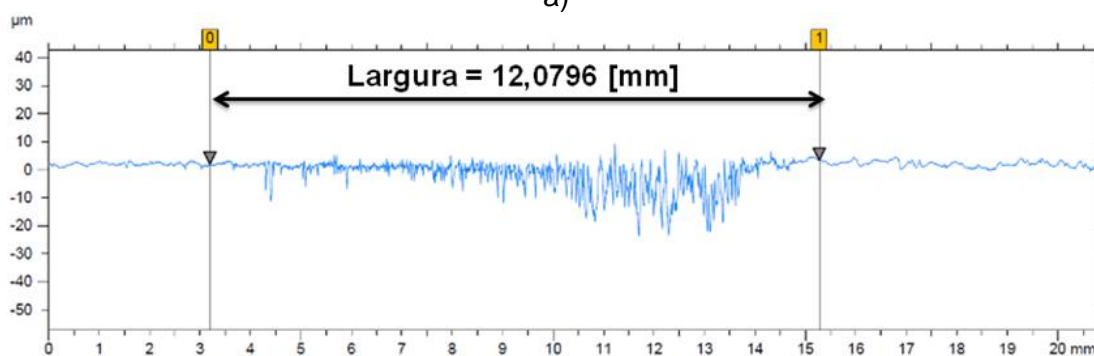


B.9 – Monitoramento da Taxa de Desgaste Abrasiva em função do número de ciclos (16,34N e 80 mesh), Formulação 17.

### Apêndice C – Evolução do Desgaste Abrasivo ao Longo dos Primeiros Ciclos Para o Ensaio com a Lixa Abrasiva de 220 mesh

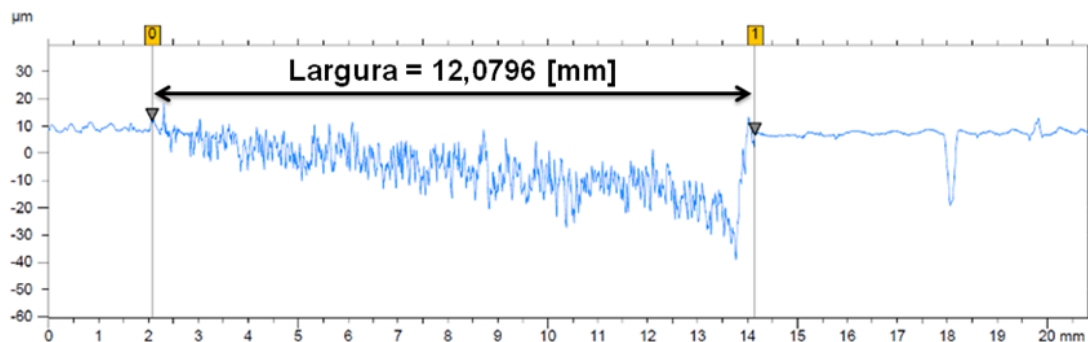


a)

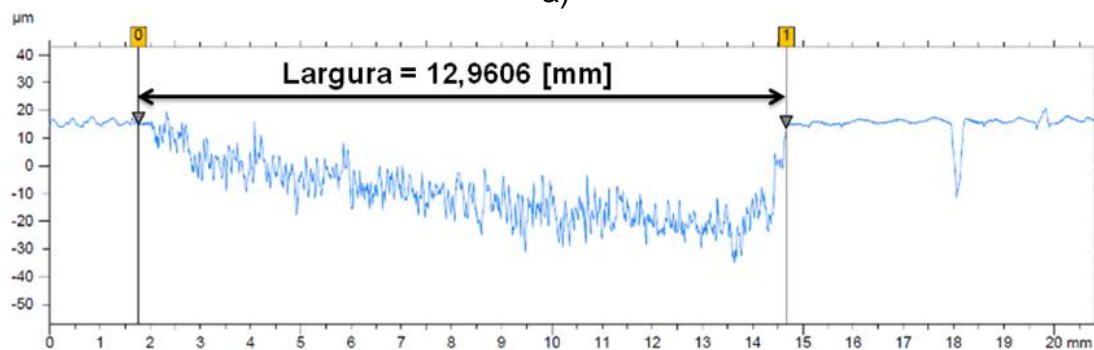


b)

C.1 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 01 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.

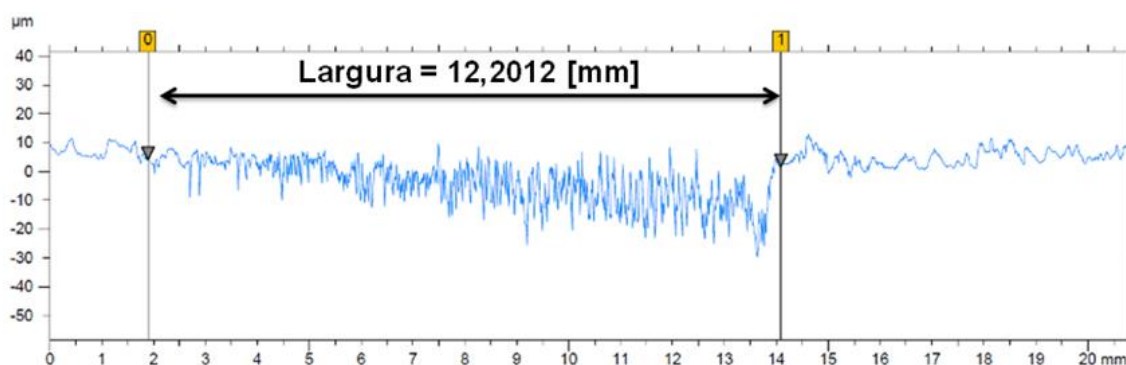


a)

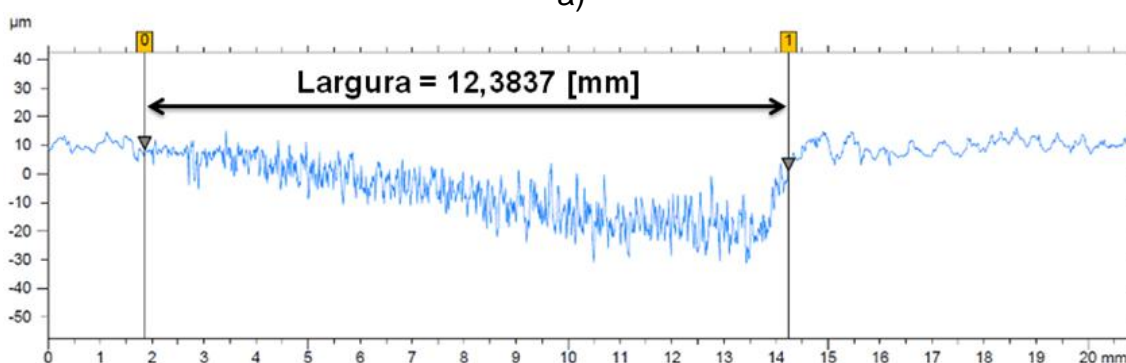


b)

C.2 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 03 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.

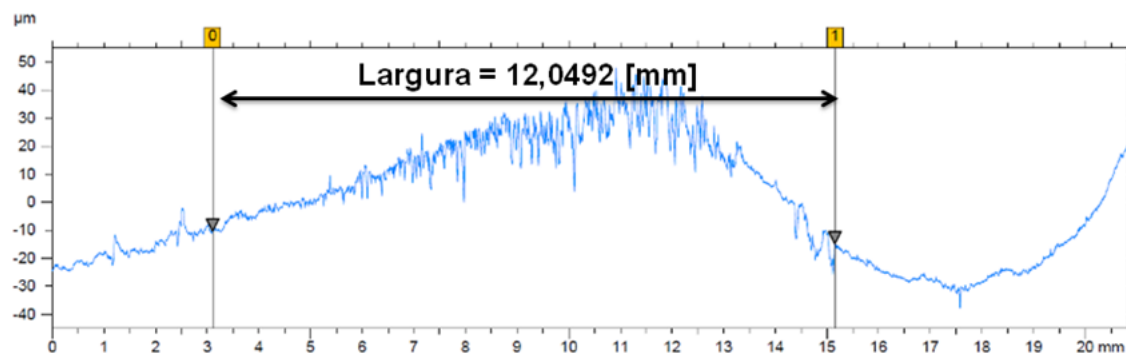


a)

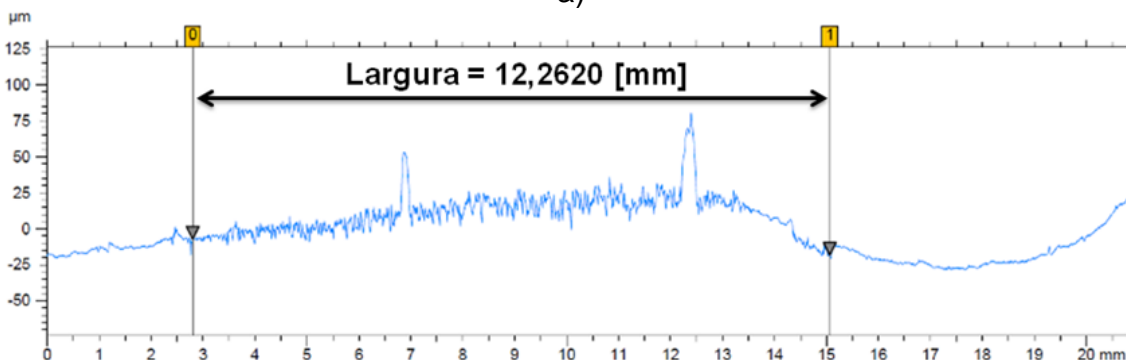


b)

C.3 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 05 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.

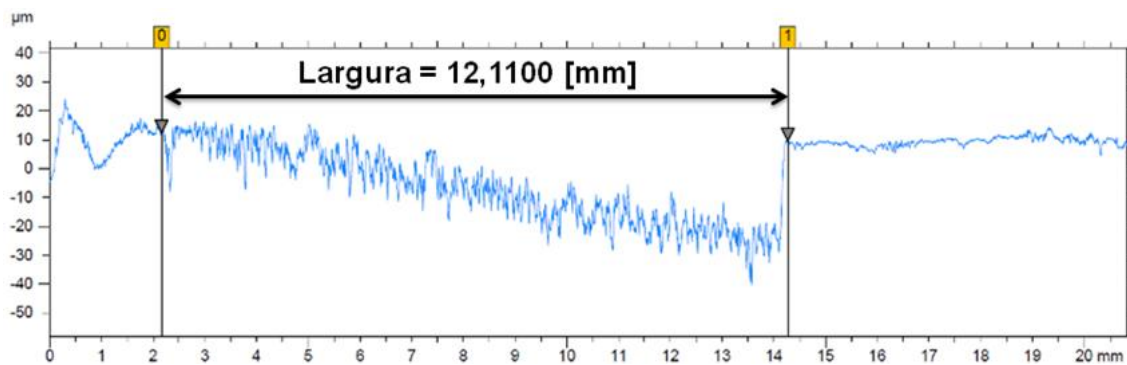


a)

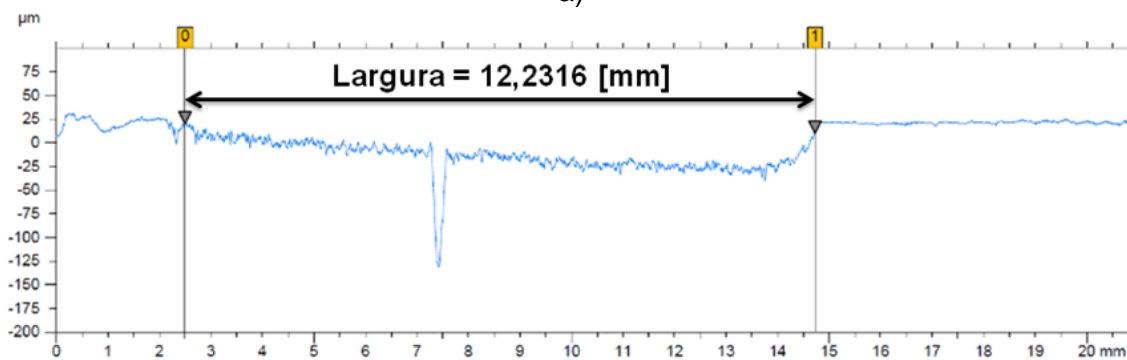


b)

C.4 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 07 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.

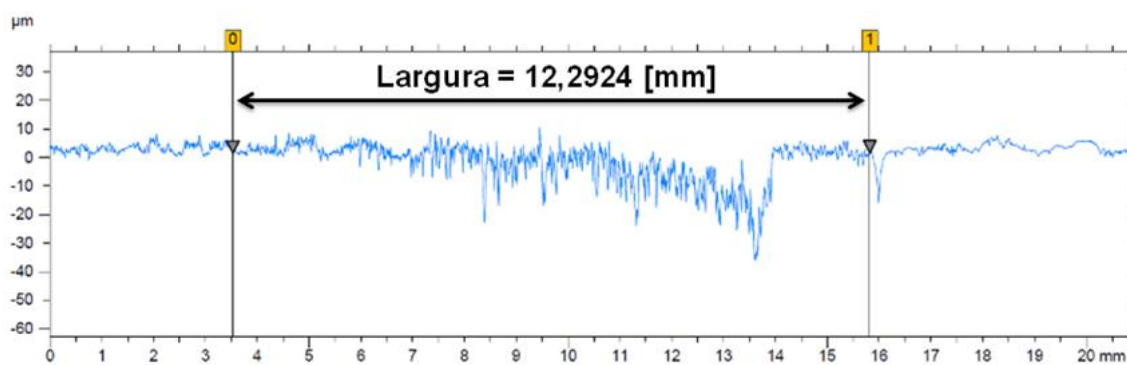


a)

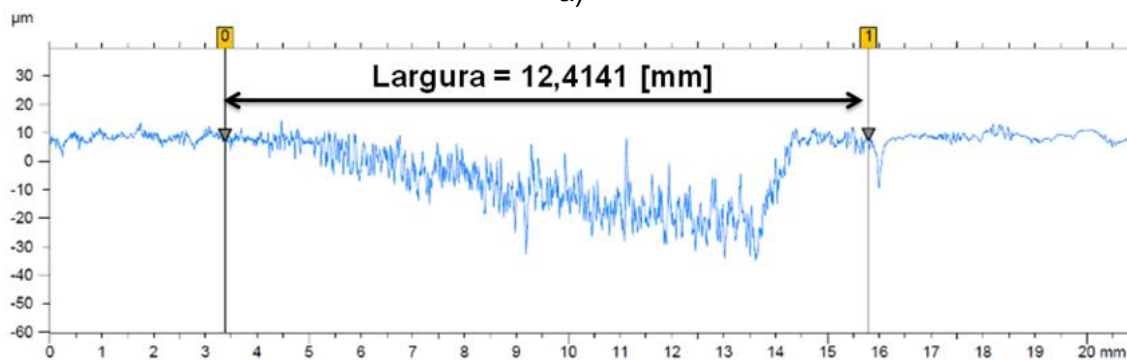


b)

C.5 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 09 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.



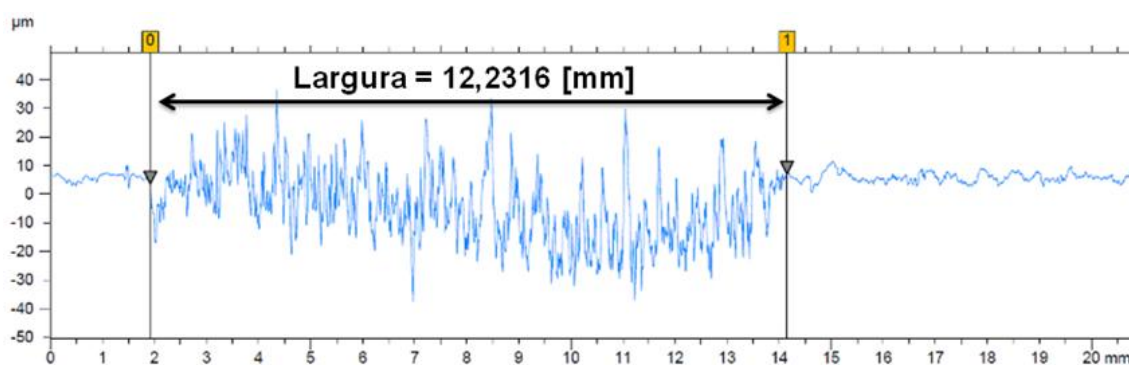
a)



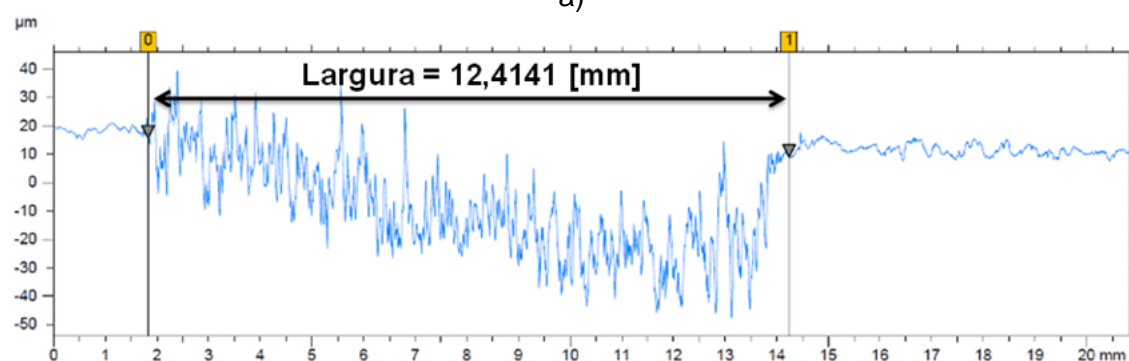
b)

C.6 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 11 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.



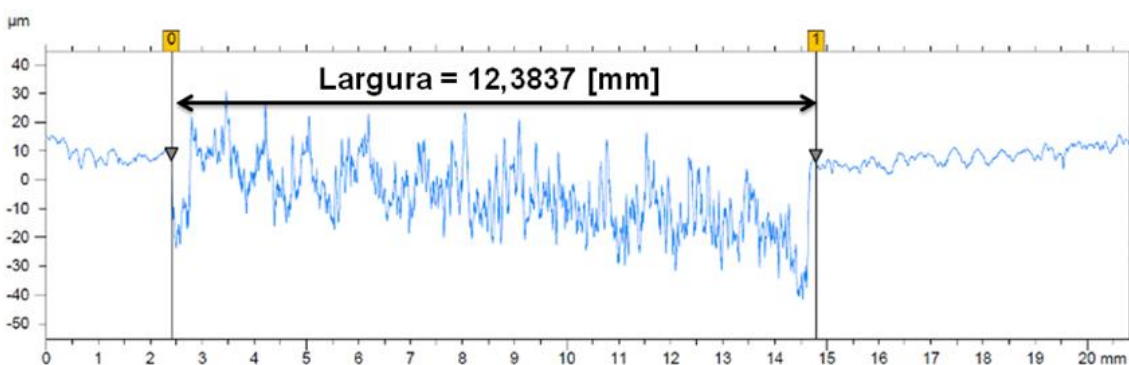


a)

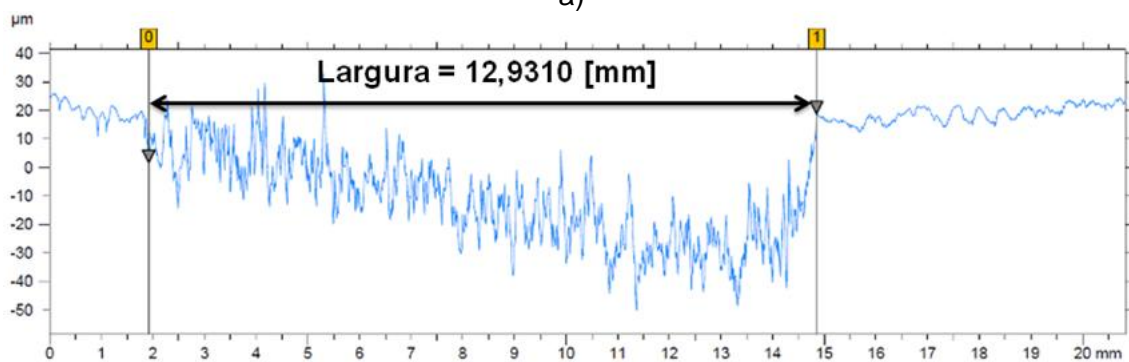


b)

C.7 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 13 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.

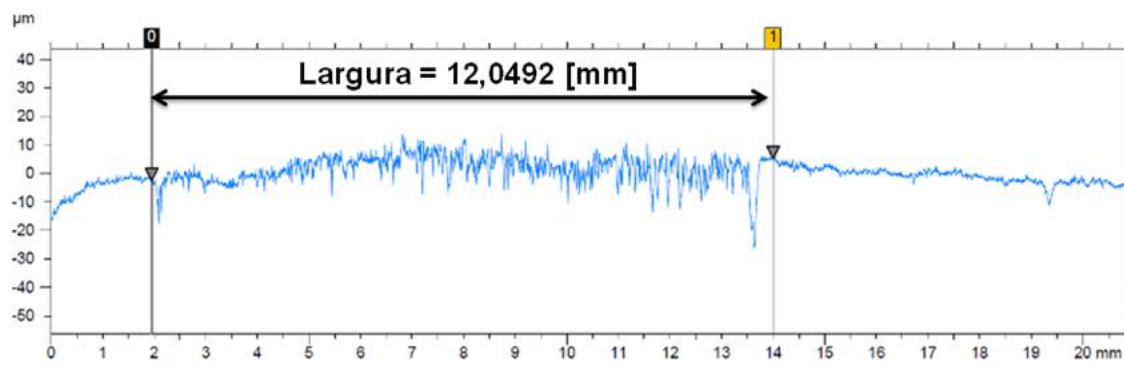


a)

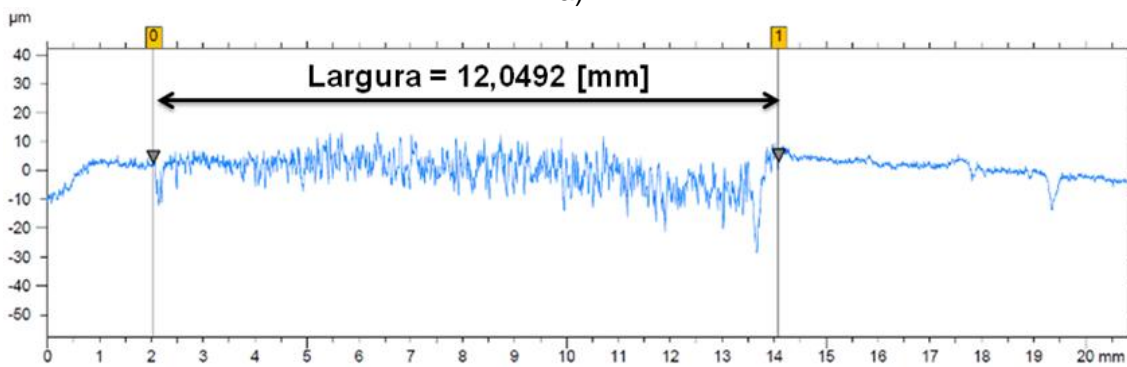


b)

C.8 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 15 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 *mesh*.



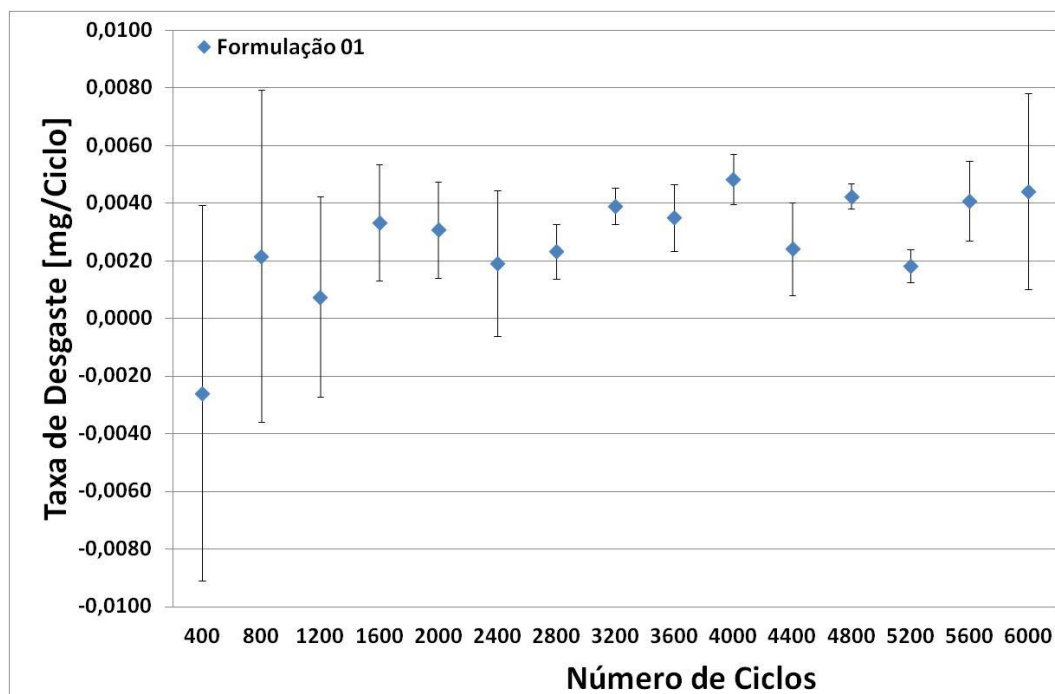
a)



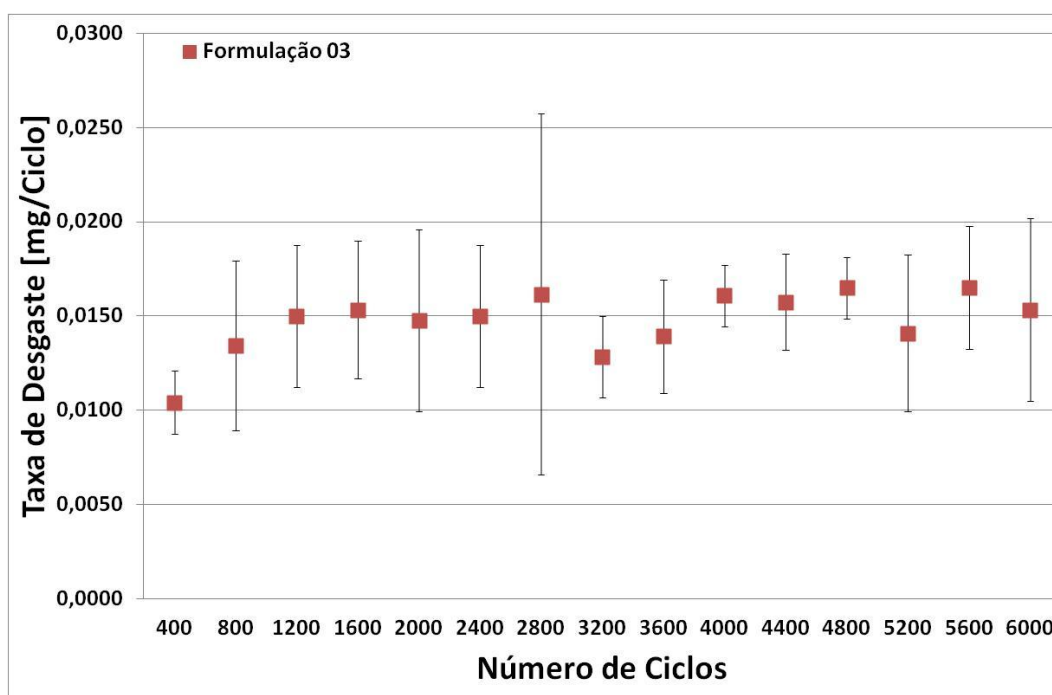
b)

C.9 – Imagens da superfície desgastadas da formulação 17 com: a) 400 e b) 800 ciclos de ensaio. Realizado no SUGA com 16,34N e 220 mesh.

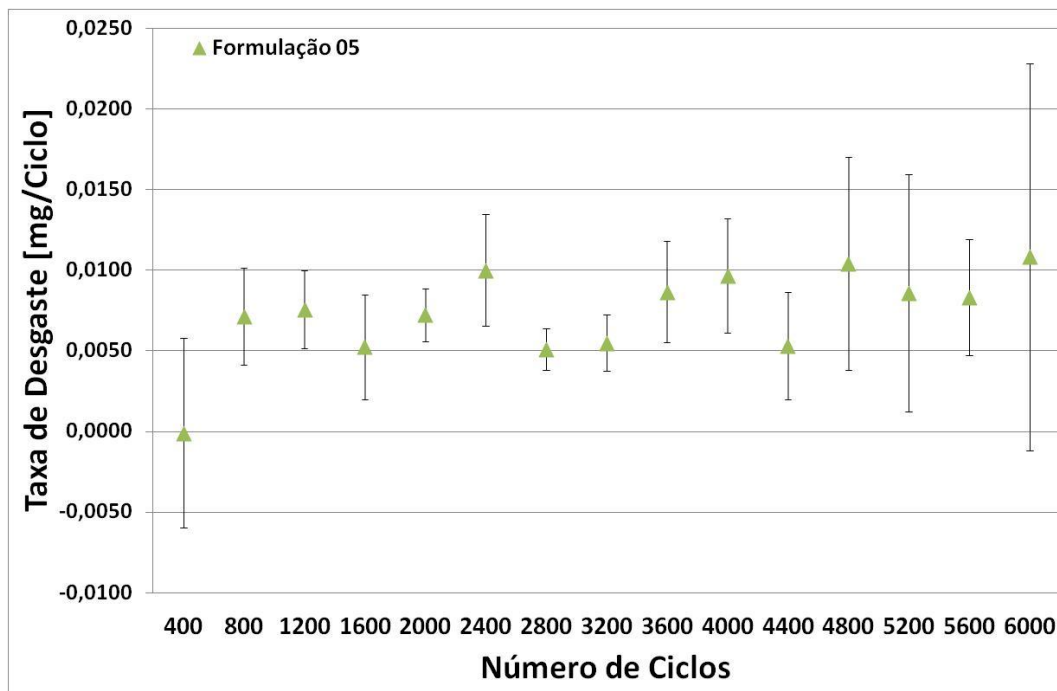
**Apêndice D – Monitoramento da Taxa de Desgaste Durante o Ensaio de Desgaste Abrasivo da Lixa 220 *mesh*.**



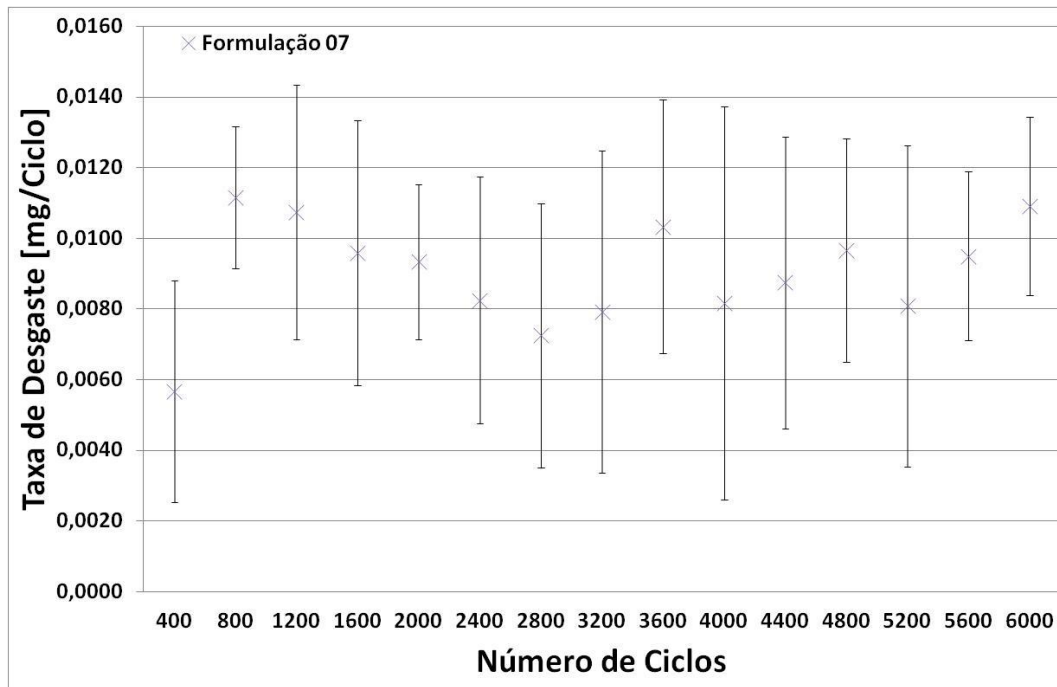
D.1 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 *mesh*), Formulação 01.



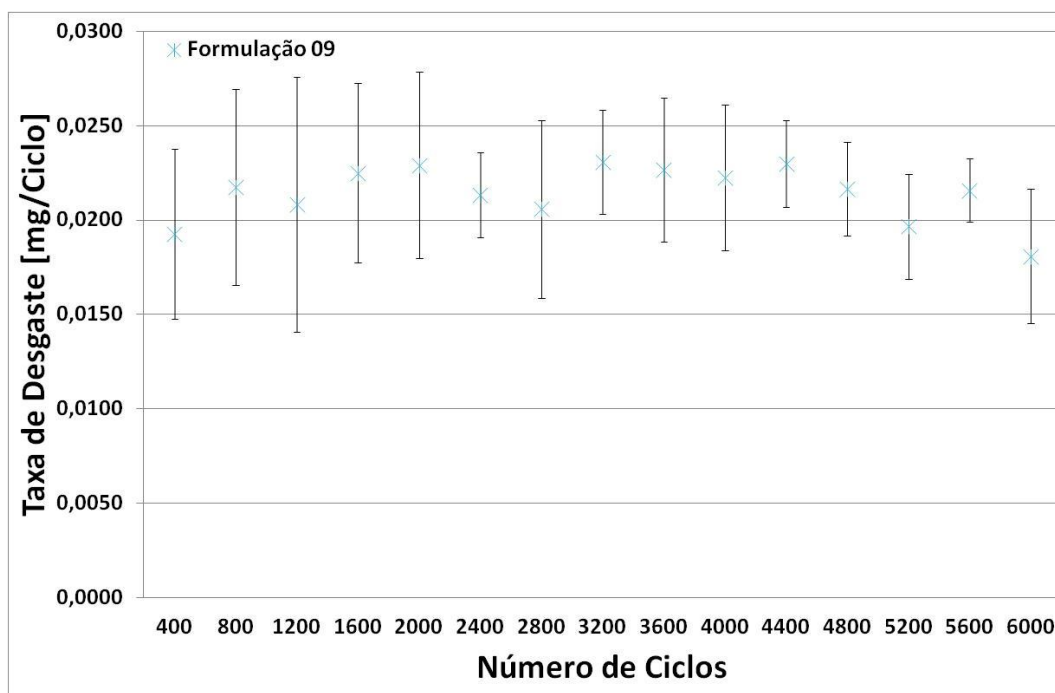
D.2 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 *mesh*), Formulação 03.



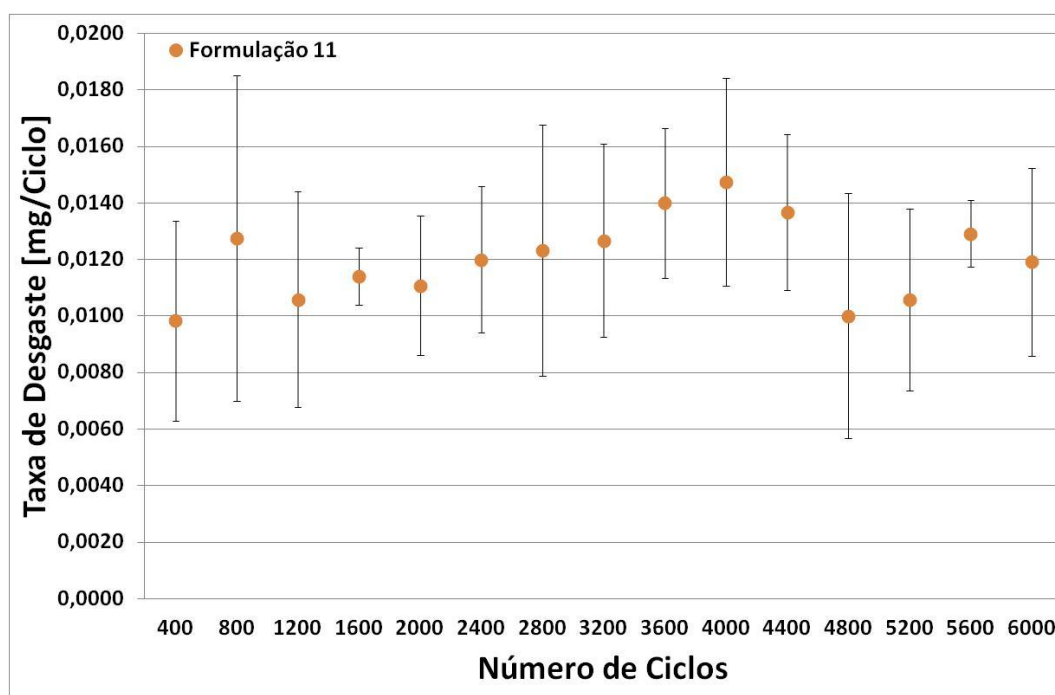
D.3 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 mesh), Formulação 05.



D.4 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 mesh), Formulação 07.

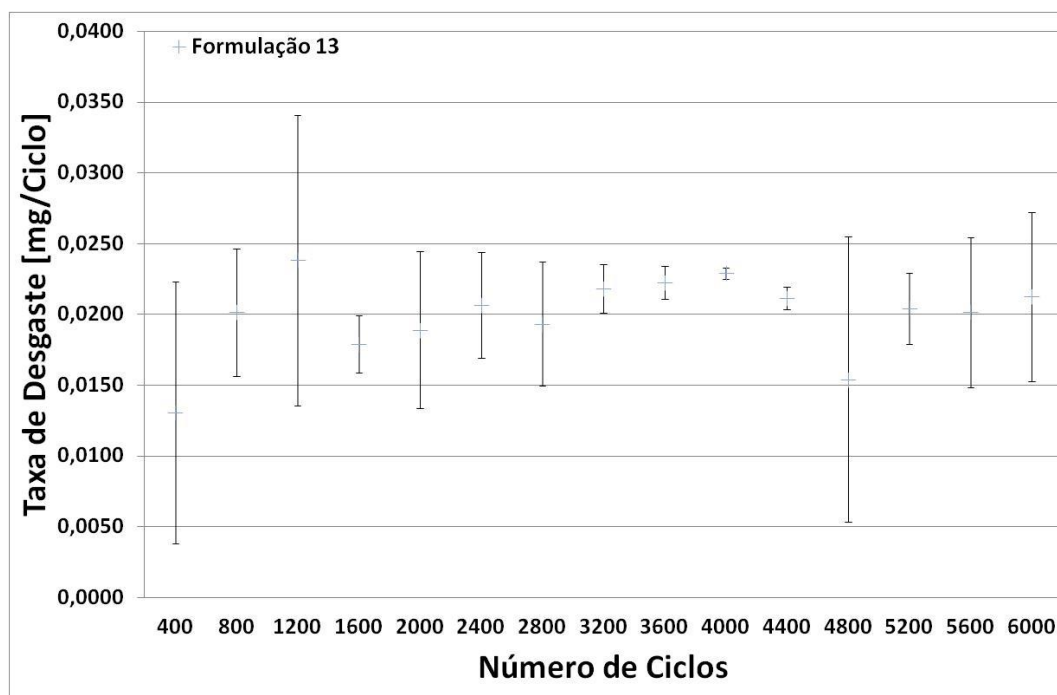


D.5 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 mesh), Formulação 09.

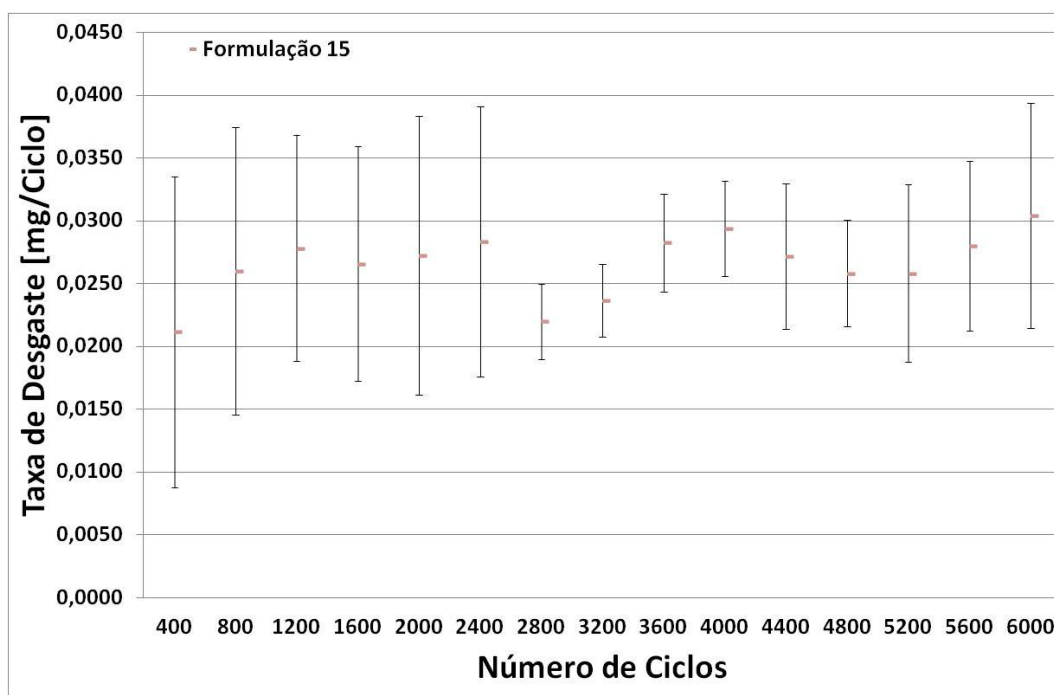


D.6 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 mesh), Formulação 11.

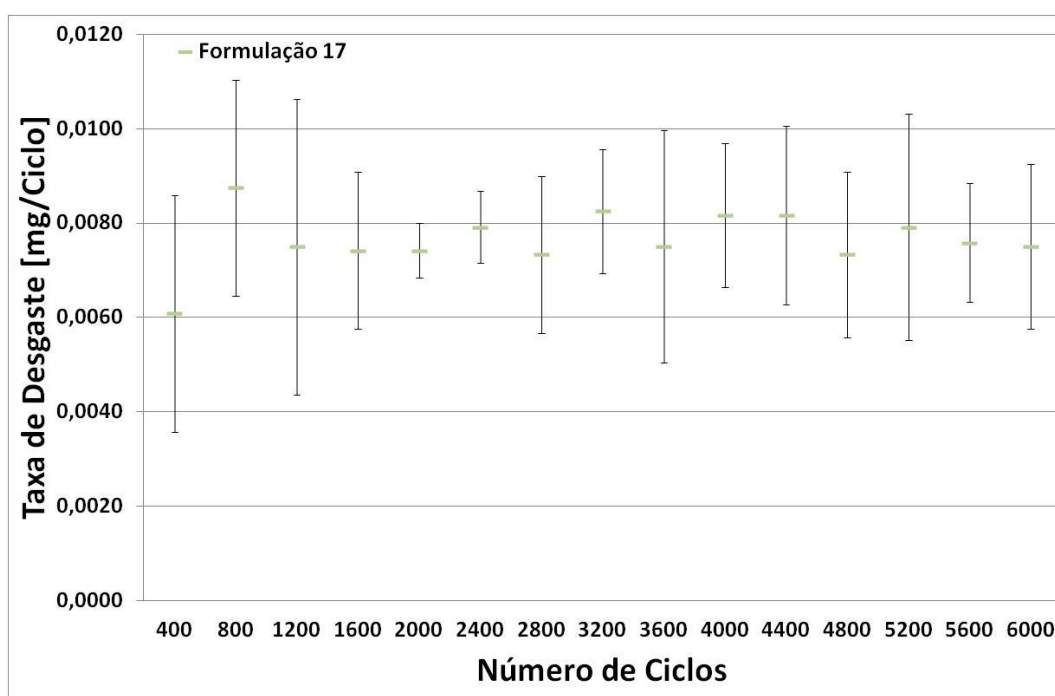




D.7 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 mesh), Formulação 13.

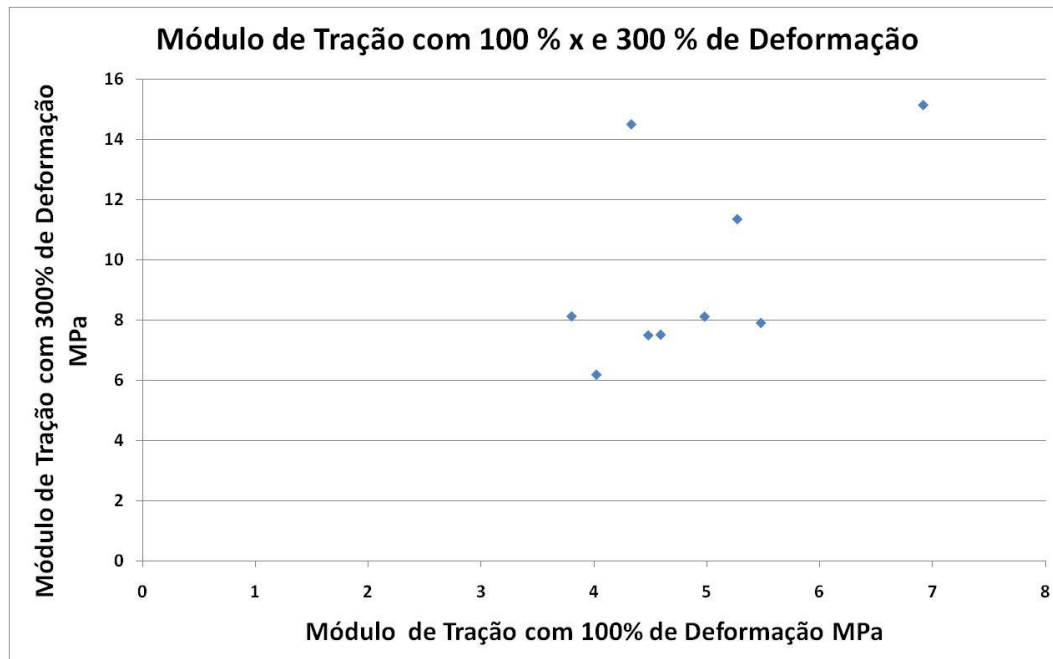


D.8 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 mesh), Formulação 15.

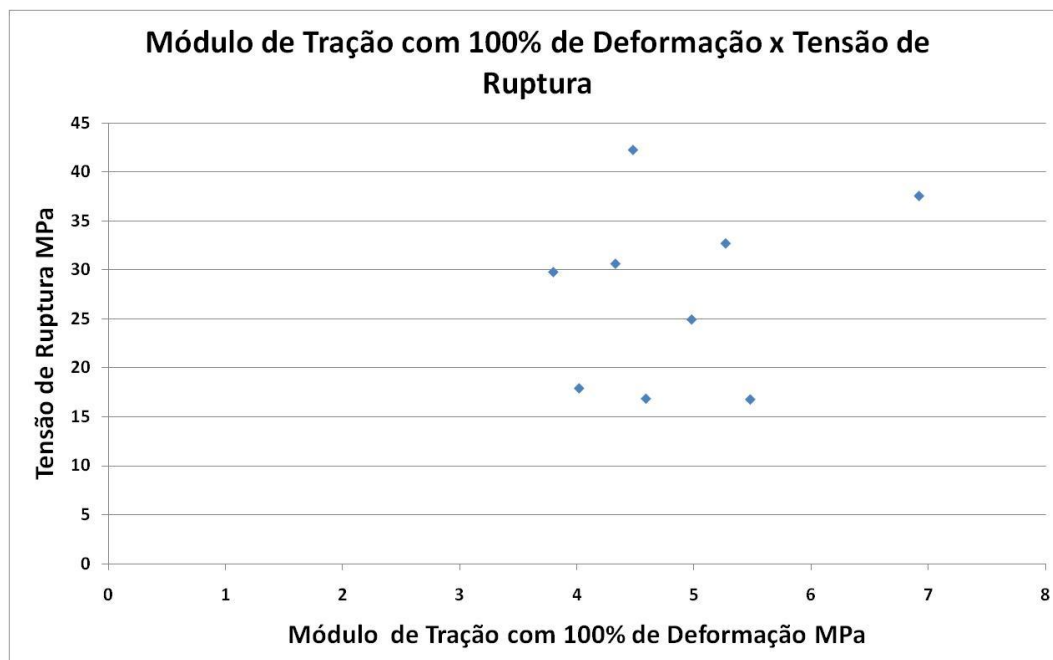


D.9 – Monitoramento da Taxa de Desgaste em Função do Número de Ciclos (16,34N e 220 mesh), Formulação 17.

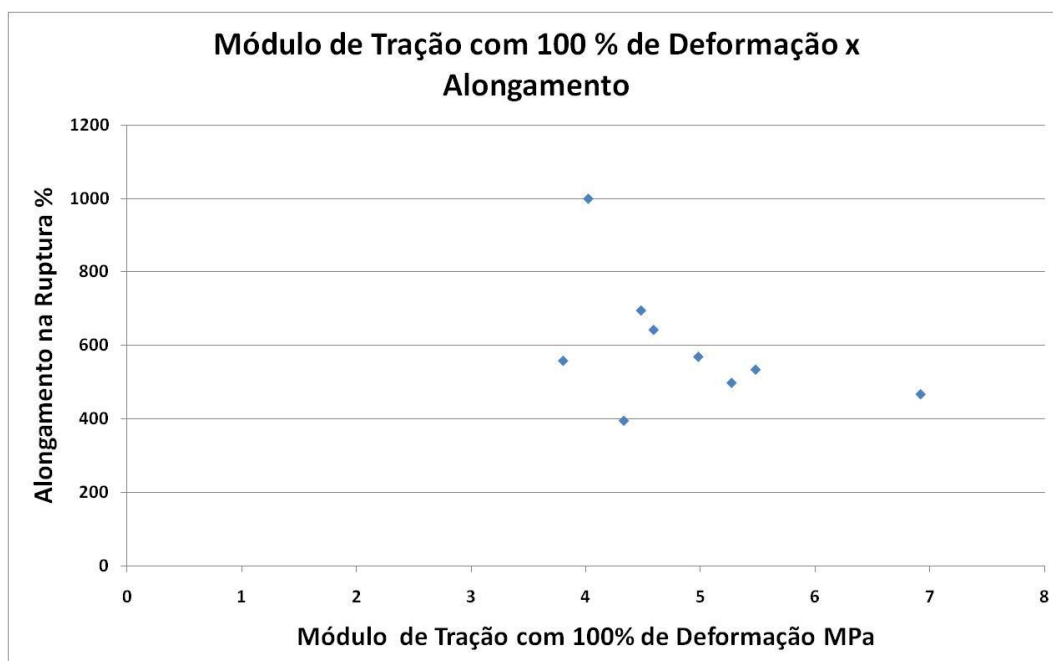
## Apêndice E – Correlação Entre as Propriedades Mecânicas dos Elastomericos de PU's.



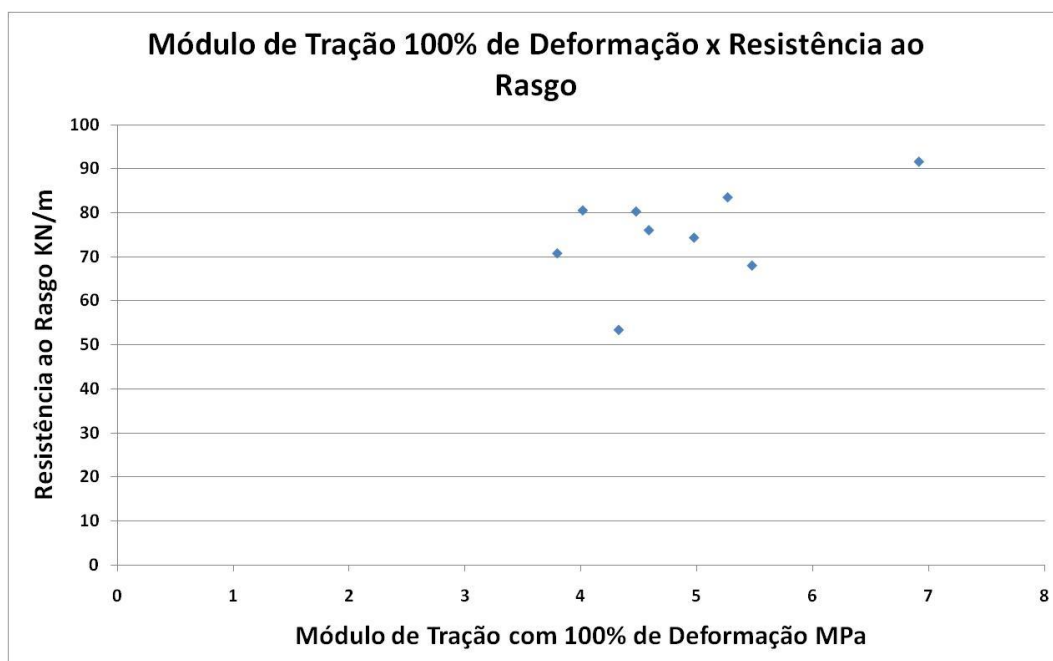
E1 – Módulo de Tração com 100% de Deformação em função do Módulo de Tração com 300% de Deformação.



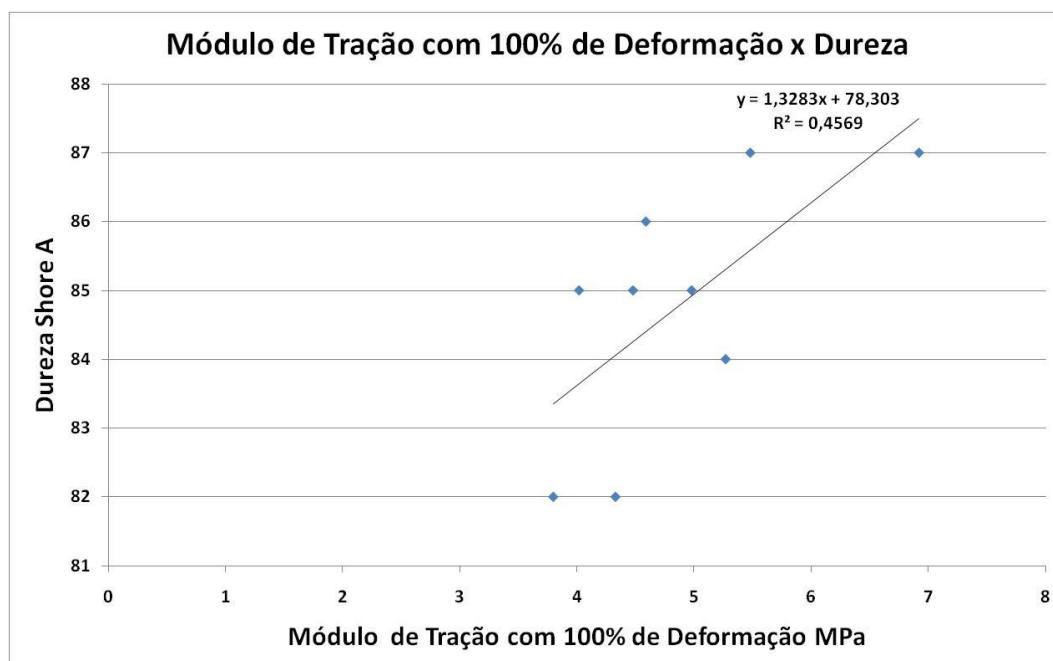
E2 – Módulo de Tração com 100% de Deformação em função da Tensão na Ruptura.



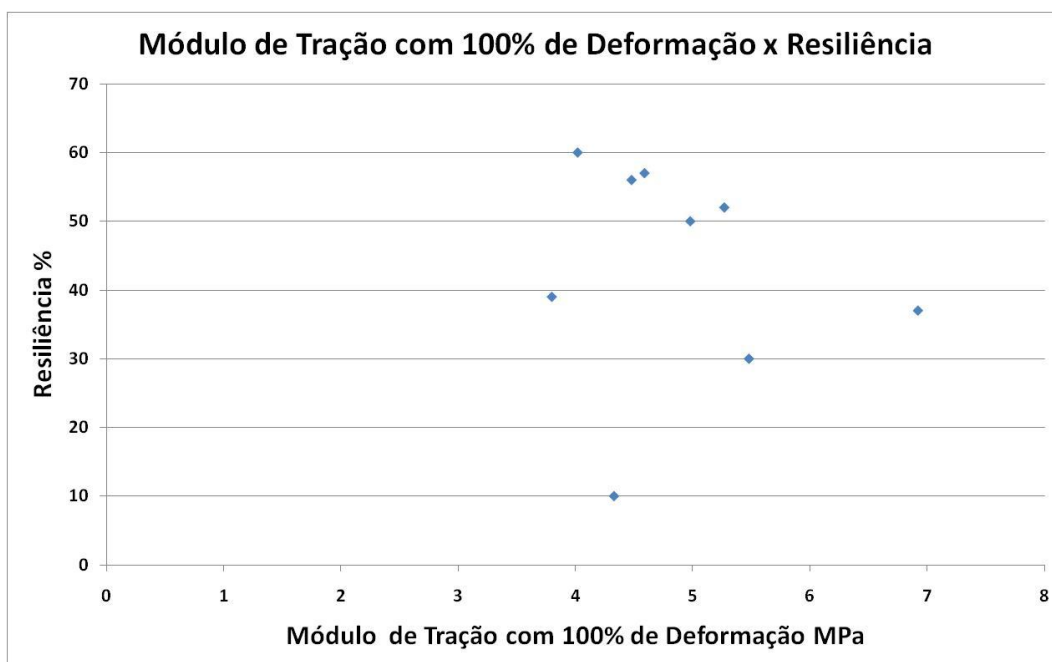
E3 – Módulo de Tração com 100% de Deformação em função do Alongamento.



E4 – Módulo de Tração com 100% de Deformação em função da Resistência ao Rasgo.

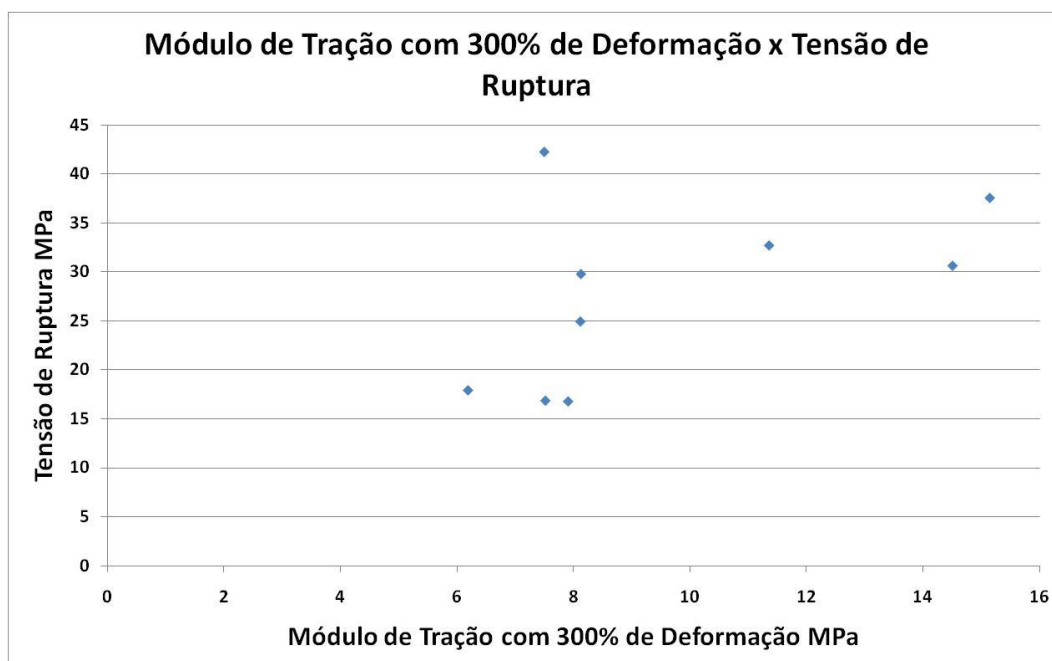


E5 – Módulo de Tração com 100% de Deformação em função da Dureza.

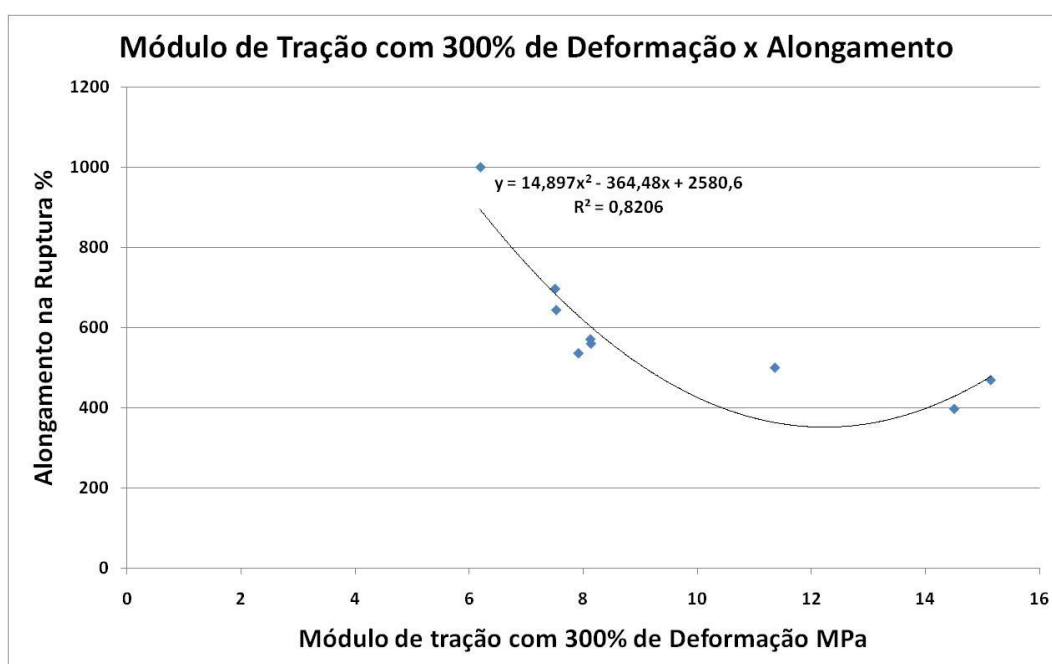


E6 – Módulo de Tração com 100% de Deformação em função da Resiliência.

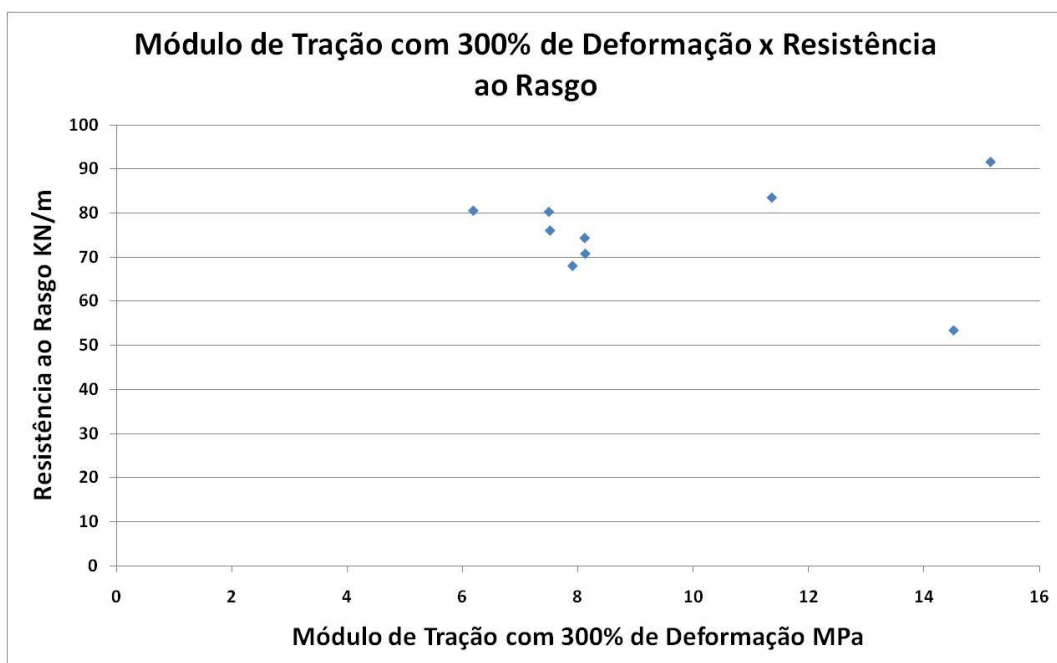




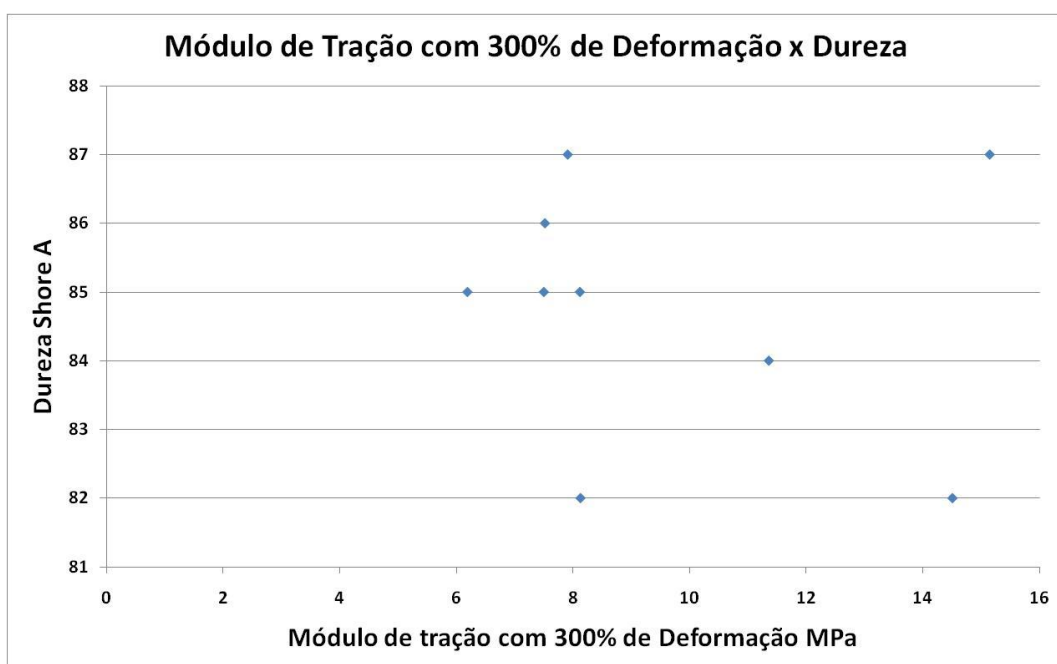
E7 – Módulo de Tração com 300% de Deformação em função da Tensão de Ruptura.



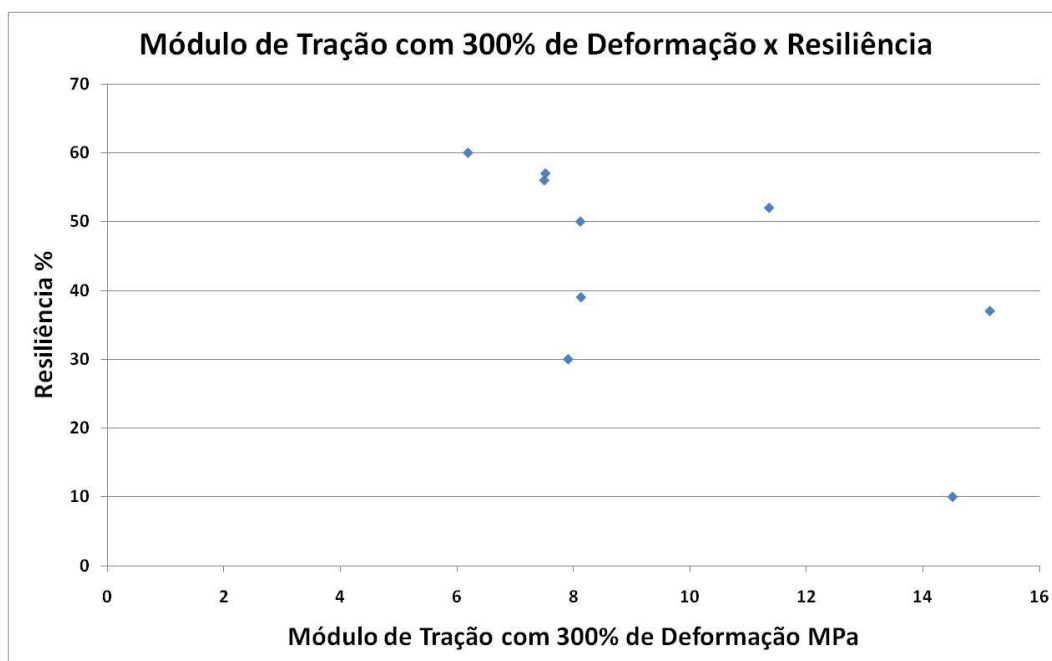
E8 – Módulo de Tração com 300% de Deformação em função do Alongamento.



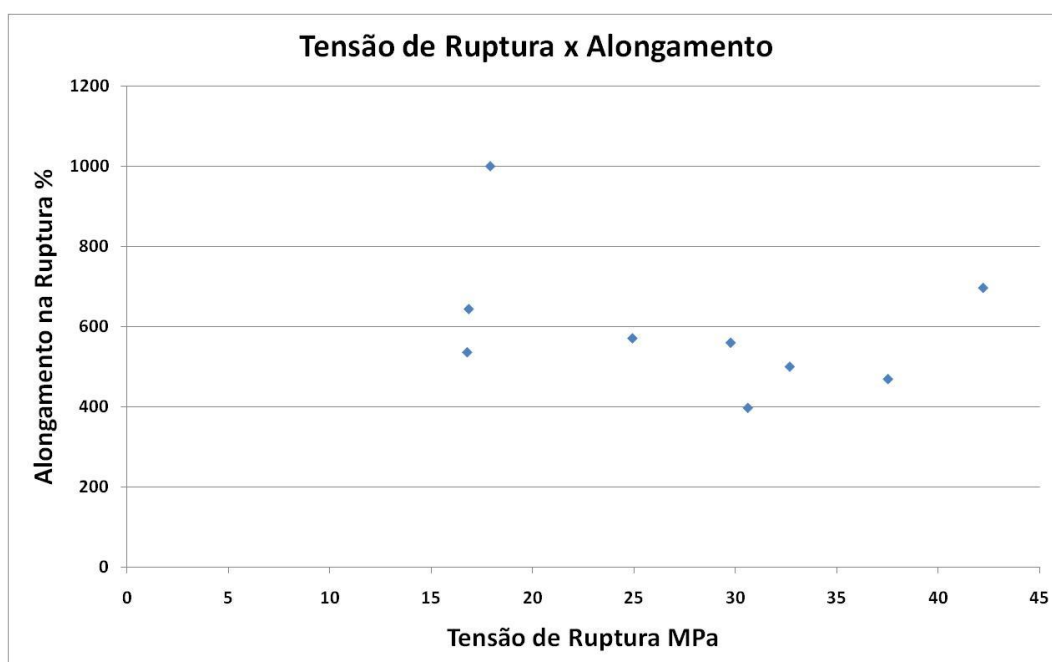
E9 – Módulo de Tração com 300% de Deformação em função da Resistência ao Rasgo.



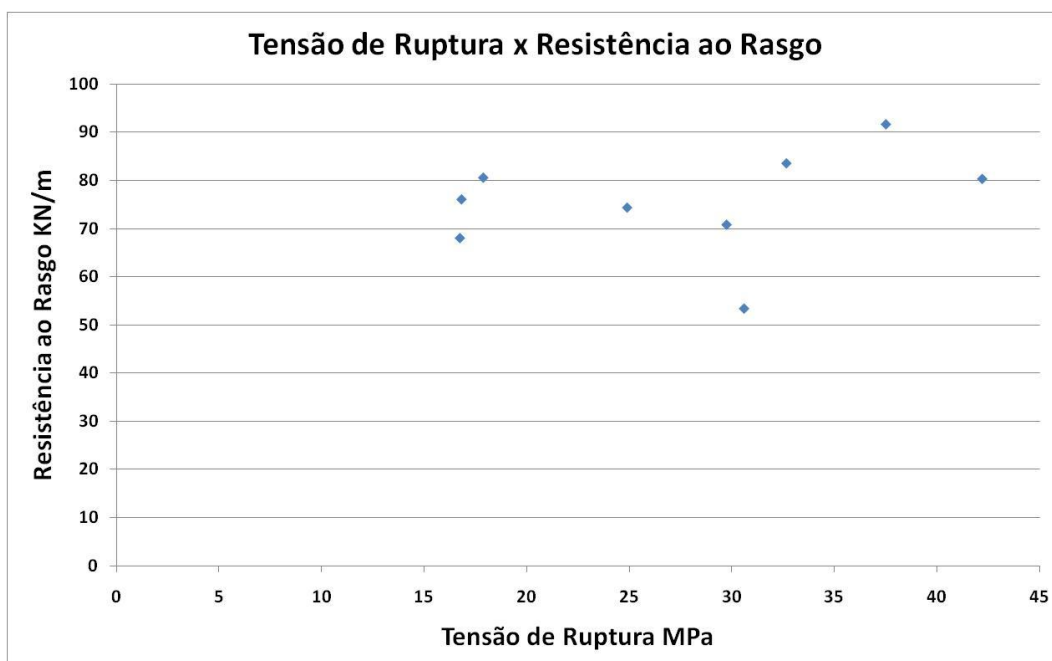
E10 – Módulo de Tração com 300% de Deformação em função da Dureza.



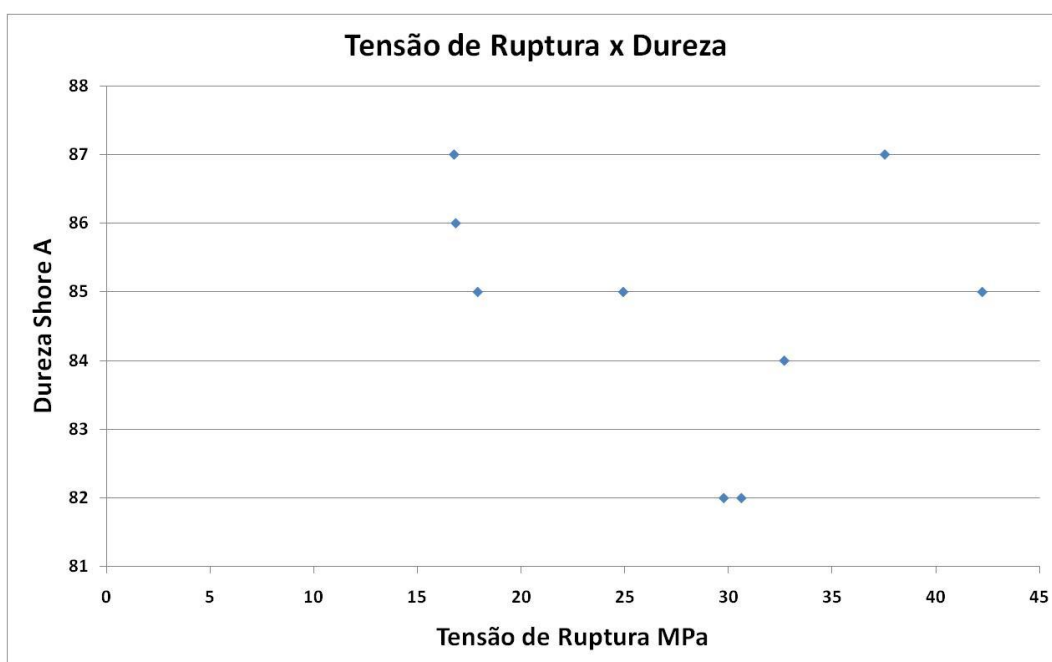
E11 – Módulo de Tração com 300% de Deformação em função da Resiliência.



E12 – Tensão de Ruptura em função do Alongamento.



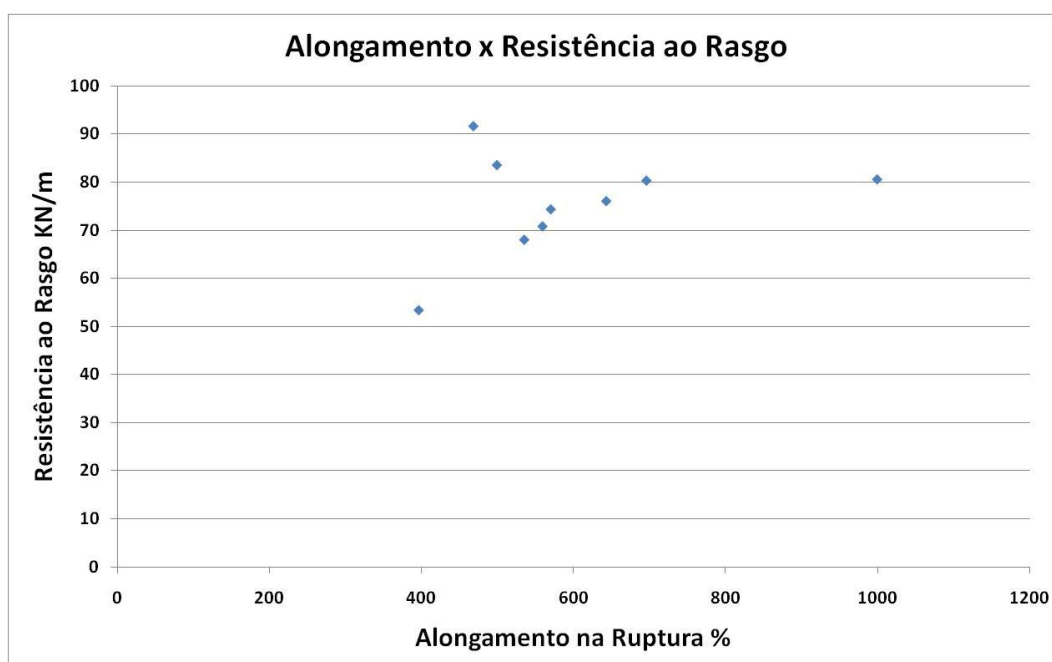
E13 – Tensão de Ruptura em função da Resistência ao Rasgo.



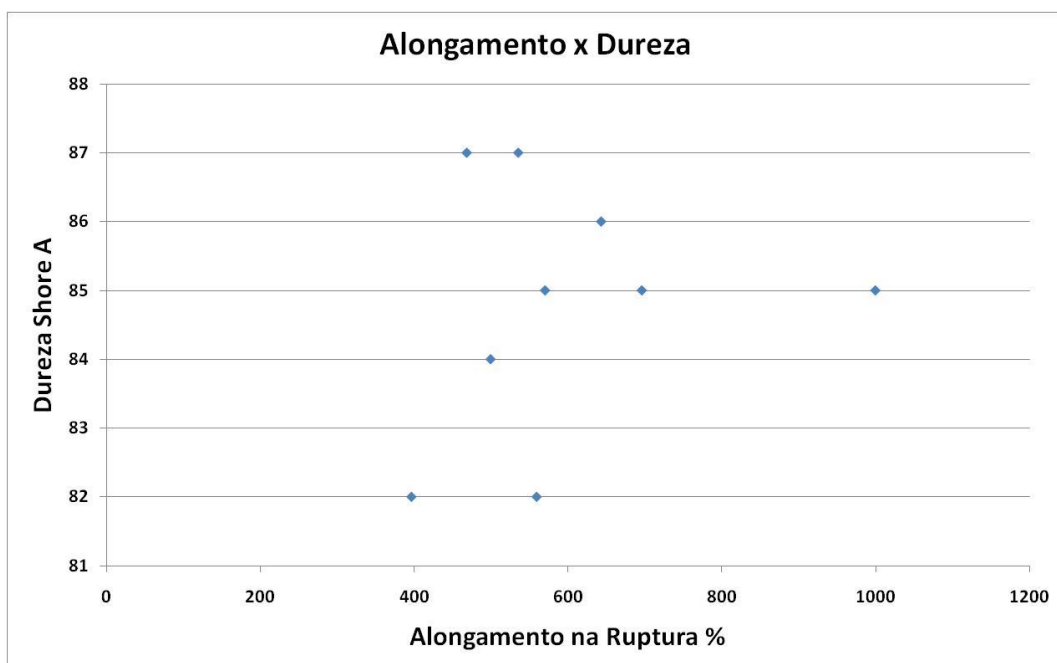
E14 – Tensão de Ruptura em função da Dureza.



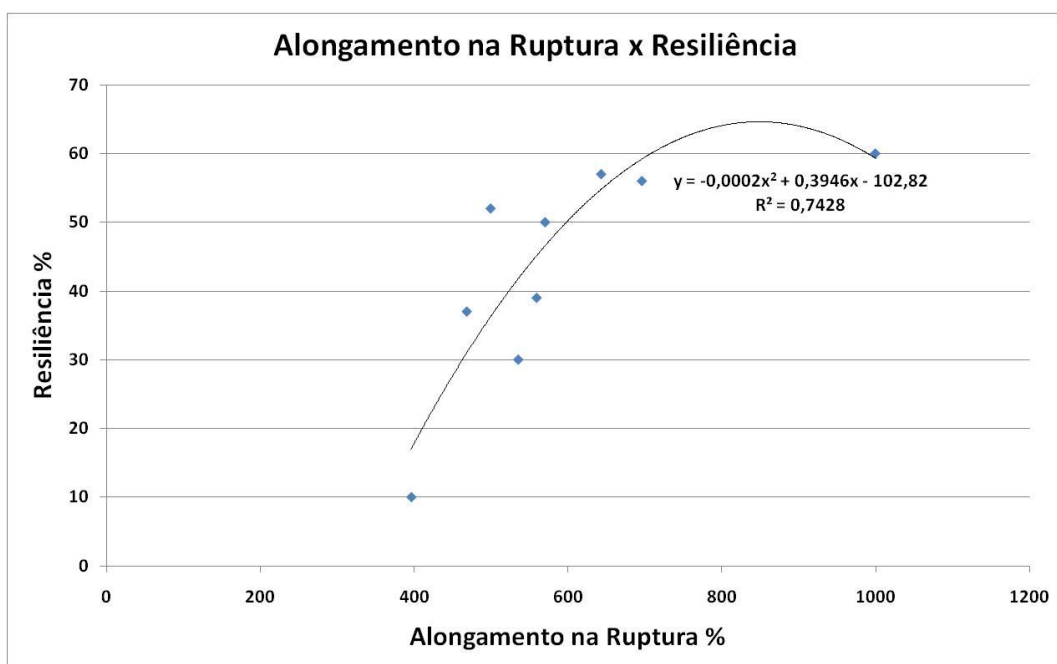
E15 – Tensão de Ruptura em função da Resiliência.



E16 – Alongamento na Ruptura em função da Resistência ao Rasgo.

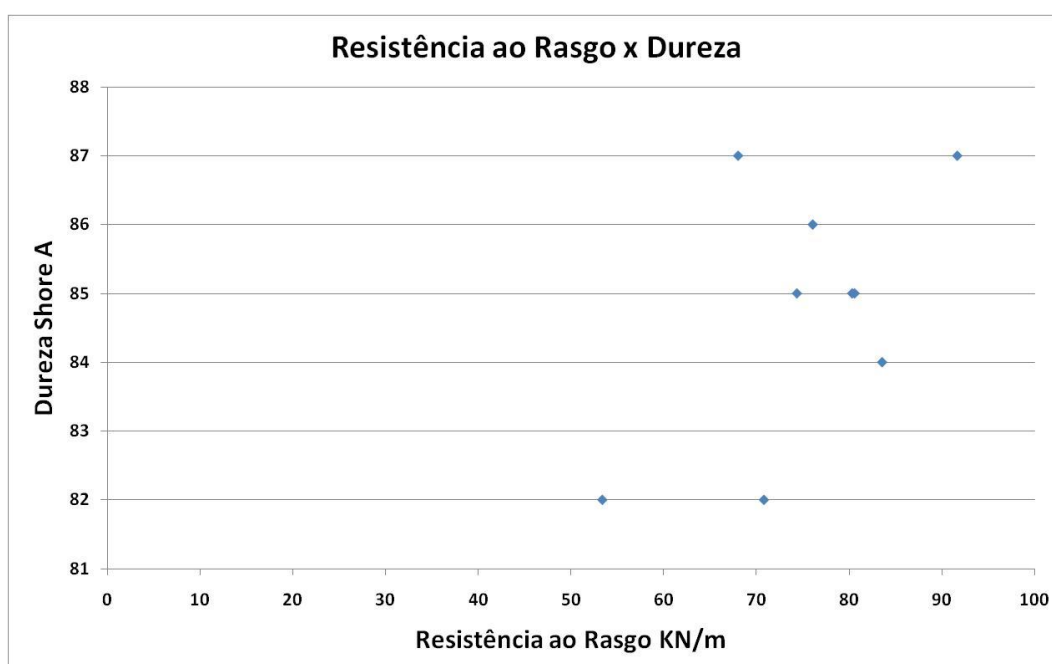


E17 – Alongamento na Ruptura em função da Dureza.

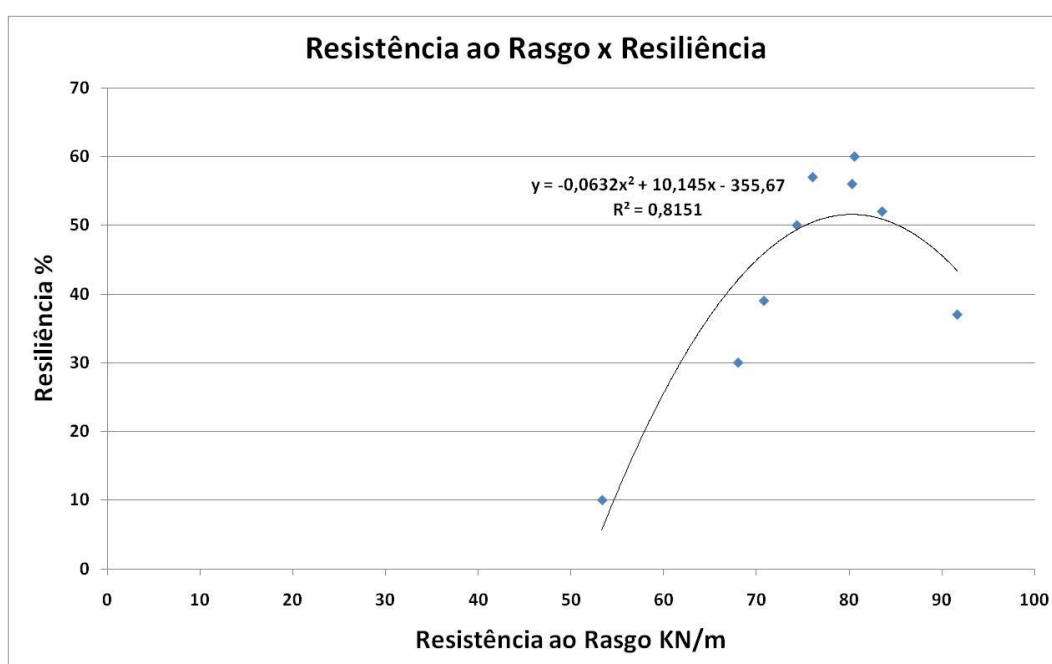


E18 – Alongamento na Ruptura em função da Resiliência.

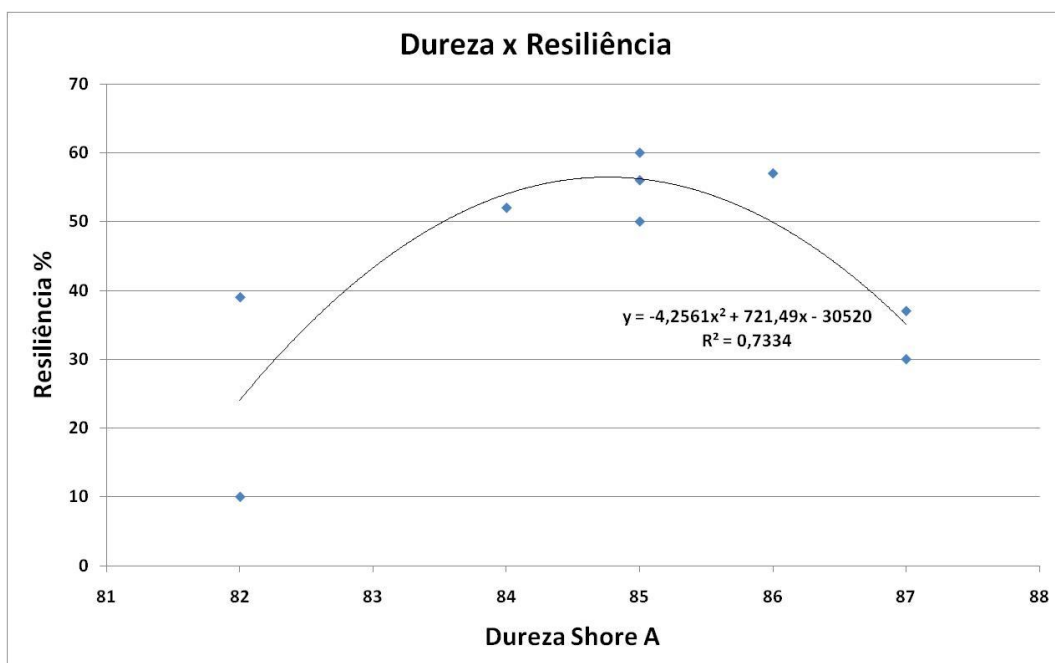




E19 – Resistência ao Rasgo em função da Dureza.



E20 – Resistência ao Rasgo em função da Resiliência.



E21 – Dureza em função da Resiliência.