

## 6.

### CONCLUSÕES

No PEAD após ser exposto à irradiado por UV observou-se um forte efeito nas propriedades à tração e à fluência com o aumento do tempo de exposição. Quanto maior foi o tempo de irradiação, maior foi a tendência, no desempenho mecânico, do polímero se tornar mais resistente. A radiação UV possui a energia necessária para quebrar as ligações C-C e ao mesmo tempo as ligações mais fracas relativas à presença de impurezas, contribuindo à formação de reticulações, pontes de hidrogênio e de, principalmente, ligações duplas. Essas foram as causas do aumento de rigidez observado, que pode ser verificado ainda pela redução do índice de fluidez.

O comportamento sob tração e fluência do PEAD após imersão em água e óleo foi fortemente influenciado pela pressão, tempo de exposição e pela temperatura, sendo muito semelhante o efeito do meio de imersão (água ou óleo). A soma de cada efeito gerado por cada parâmetro contribuiu para a variação do desempenho mecânico do polímero.

A pressão atua principalmente na fase amorfa, fornecendo um estado de “congelamento” o qual restringe a movimentação molecular, fazendo com que o PEAD se torne mais rígido. Além disso, a pressão contribui consideravelmente para favorecer o aumento de água e de óleo no interior do polímero. Por outro lado, a temperatura gera no PEAD envelhecimento físico e estrutural, reduzindo a cristalinidade. Isso afeta fortemente o comportamento tanto sob tensões instantâneas (resposta elástica) quanto sob tensões prolongadas (resposta viscosa).

Qualquer que seja a variável externa imposta ao PEAD – temperatura, tempo, pressão ou meio de exposição – sempre acarretou alterações nas propriedades mecânicas. Porém, dependendo de qual dos parâmetros mencionados anteriormente seja o predominante, o envelhecimento do PEAD será mais ou menos relevante. Ou seja, se a

pressão é aumentada, vai haver aumento da rigidez na resposta à tração, onde predomina a resposta elástica. Porém, em relação à fluência, onde o tempo torna a contribuição viscosa mais importante, ocorre aumento da deformabilidade, pois a pressão aumenta a quantidade de água no interior do polímero. Caso for o aumento da temperatura, tempo de exposição ou a presença de meios de envelhecimento mais reativos, o processo de envelhecimento físico e estrutural e químico do PEAD vai se acelerar, diminuindo rapidamente o desempenho tanto em tração quanto em fluência.

A partir da simulação do comportamento experimental sob fluência do PEAD envelhecido nos diferentes meios e condições foi estabelecido que o modelo dos 4 parâmetros foi aquele que apresentou a melhor descrição gráfica e aproximação matemática do comportamento experimental observado. Além disso, foi possível extrair os valores numéricos dos diferentes parâmetros, os quais se ajustam ao modelo em cada caso, o que permitiu ter uma maior compreensão do comportamento sob fluência do polímero após ser envelhecido.

Mediante a análise dos espectros de FTIR e RAMAN conseguiu-se observar a formação e comportamento de novos compostos gerados no PEAD, dependendo dos diferentes meios e condições impostas. A formação desses compostos acarreta variações no desempenho mecânico e térmico do PEAD dependendo do processo de envelhecimento aplicado nele. Os resultados obtidos foram justificados e corroborados pela análise térmica (TGA, DSC, DTGA e MFI) e estrutural (DRX), evidenciando se houveram ou não mudanças químicas/estruturais pela interação físico-química do PEAD com o meio de exposição. Além disso, foi possível visualizar a formação de novos compostos nos óleos utilizados nas diferentes temperaturas, mostrando que os óleos sofreram também envelhecimento com o aumento da temperatura, o que pode aumentar e/ou acelerar a degradação do PEAD. Por outro lado, foi possível observar as variações macroscópicas do PEAD após envelhecimento, mediante MEV e microscopia óptica onde, dependendo do meio de exposição, foram visualizados sinais de degradação na

superfície dos corpos de prova; assim como pequenas trincas, desgaste nas bordas, regiões heterogêneas e erosão, que contribuíram na variação das propriedades mecânicas do polímero.

## 6.1.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros sugerem-se:

- Baseados na simulação gráfica feita, a sua boa aproximação matemática ao modelo dos três parâmetros e à possibilidade de obter os valores dos mesmos parâmetros, empregar um software especializado em simulação e desenho CAD (SolidWorks, Abaqus, Comsol, entre outros), para assim, visualizar o funcionamento e comportamento mecânico de uma rede de tubulação de PEAD, tendo em consideração os parâmetros do envelhecimento calculados, já mencionados o que permite compreender e ter uma visão mais aprofundada do efeito das condições de operação na indústria do transporte do óleo e seus derivados.

- Fazer o mesmo estudo desta pesquisa, modificando a composição do PEAD virgem, quer dizer, reforçando-, seja com aditivos e/ou nano-fibras. Isto poderia influenciar e talvez melhorar as propriedades do PEAD, permitindo maior campo de aplicação deste e ao mesmo tempo tornar as condições avaliadas mais agressivas, ou seja, mais tempo de envelhecimento, maior pressão e temperatura.

- Avaliar o efeito da água salgada no PEAD, nas suas propriedades mecânicas, químicas, físicas e térmicas com a finalidade de tentar encontrar outros meios onde PEAD possa ser aplicado na indústria do transporte de óleo e seus derivados.