

5

Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios realizados. Tem-se um total de 10 espécimes tubulares nos quais foram realizados ensaios de ruptura, 49 corpos de provas distribuídos em ensaios de tração e flexão e 7 corpos de prova distribuídos em ensaios de análise de absorção de água e teor de resina.

5.1.

Distribuição dos corpos de prova

Conforme já mencionado, três tipos de envelhecimento foram simulados como foco de análise de envelhecimento deste trabalho. A distribuição e quantidade de corpos de prova por tipo de análise é dada a seguir:

- **Corpos de prova não envelhecidos:**

Para efeito de comparação, 01 espécime tubular sem defeito, 01 com defeito e não reparado, 01 com defeito e reparado, e 04 corpos de prova retangulares não foram submetidos às condições de envelhecimento. Estes foram selecionados para que os ensaios de ruptura, tração e flexão também fossem realizados. Segue na tabela 5.1 distribuição dos corpos de prova não submetidos às condições de envelhecimento:

Semanas	Datas	Horas	Não envelhecido
-	-	0	2 cp tração 2 cp flexão 1 Duto com reparo 1 Duto sem reparo e sem defeito 1 Duto sem reparo e com defeito

Tabela 5.1 – Distribuição dos cp não envelhecidos

Em complemento, foram realizados em laboratório os ensaios para a determinação de absorção de água e do teor de resina do material composto estudado.

- **Corpos de Prova submetidos à radiação UV:**

Dentro da câmara de radiação foram colocados 06 espécimes tubulares e 16 corpos de prova para envelhecimento sob estas condições, conforme figura 5.2. Estes foram submetidos a dosagens de radiação distintas, considerando o tempo de exposição crescente que cada corpo de prova foi exposto. Seguem, na tabela 5.2, o cronograma e a distribuição dos corpos de prova usados nos diversos ensaios.

Semanas	Datas	Horas	UVA
1º	9/12/2008	168	2 cp tração 2 cp flexão 1 Duto reparado
3º	30/12/2008	504	2 cp tração 2 cp flexão 1 Duto
5º	13/1/2009	840	2 cp tração 2 cp flexão 1 Duto reparado
10º	17/2/2009	1680	2 cp tração 2 cp flexão 1 Duto reparado
12º	10/3/2009	2016	1 Duto reparado

Tabela 5.2 – Distribuição de envelhecimento dos cp submetidos à radiação UV



Figura 5.1 – Espécimes dentro da câmara de radiação UV

- **Corpos de prova submersos em água a temperatura elevada (70°C):**

Dentro do forno foram colocados um espécime tubular e 15 corpos de prova submersos em água a uma temperatura média de 70°C. Diariamente, à medida que esta água ia evaporando, o nível de água dos recipientes que continham os cp/dutos era completado, garantindo assim que os mesmos estivessem sempre sob a condição de envelhecimento definida para análise. Apenas um espécime tubular

foi submetido a esta condição, tendo sido colocado no início do período de envelhecimento e só retirado no último dia. Seguem na tabela 5.3 o cronograma e a distribuição dos corpos de prova testados.

Semanas	Datas	Horas	$\theta_{\text{úmido}}$
1º	9/12/2008	168	2 cp tração 2 cp flexão
3º	30/12/2008	504	1 cp tração 1 cp flexão
5º	13/1/2009	840	2 cp tração 1 cp flexão
10º	17/2/2009	1680	2 cp tração 2 cp flexão
12º	10/3/2009	2016	1 cp tração 1 cp flexão 1 Duto eparado

Tabela 5.3 – Distribuição de envelhecimento dos cp submetidos à água a 70°C

- **Corpos de prova submetidos à temperatura elevada (70°C):**

Dentro do forno foram colocados um espécime tubular e 14 corpos de prova a uma temperatura média de 70°C. Continuamente, a temperatura era controlada através do pirômetro do próprio forno e verificada por um termômetro de mercúrio colocado em seu interior, garantindo assim que os corpos de prova estivessem sempre sob a condição de envelhecimento definida para análise. Apenas um espécime tubular foi submetido a esta condição, o mesmo sendo colocado no início do período de envelhecimento e só retirado no último dia. Seguem na tabela 5.4 o cronograma e a distribuição dos corpos de prova testados:

Semanas	Datas	Horas	θ
1º	9/12/2008	168	2 cp tração 2 cp flexão
3º	30/12/2008	504	1 cp tração 1 cp flexão
5º	13/1/2009	840	1 cp tração 1 cp flexão
10º	17/2/2009	1680	2 cp tração 2 cp flexão
12º	10/3/2009	2016	1 cp tração 1 cp flexão 1 Duto reparado

Tabela 5.4 – Distribuição de envelhecimento dos cp submetidos à temperatura de 70°C

5.2.

Resultados

Abaixo segue o detalhamento dos resultados dos ensaios realizados.

- **Análise para determinação de absorção de água**

Os ensaios foram realizados de acordo com o método descrito na ASTM D 570 “Standard Test Method for Water Absorption of Plastic”, Procedimento 7.1, onde foram testados três corpos de prova.

A Tabela 5.5 apresenta os resultados encontrados para percentual de ganho de massa após a realização dos ensaios, e as dimensões médias dos corpos de prova antes da realização dos ensaios. Estes ensaios foram realizados pelo ITUC – PUC.

CP	% de ganho de Massa
1	1.33
2	1.32
3	1.37
Média e Desvio Padrão	1.34 ± 0.026

Tabela 5.5 – Porcentagem de ganho de massa

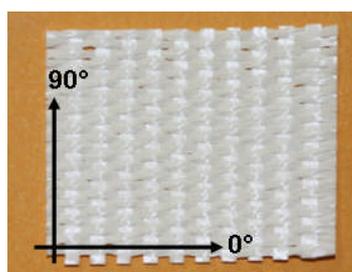
- **Análise para determinação do teor de resina**

Os ensaios foram realizados de acordo com o método descrito na ISO 1172 “Textile Glass Reinforced Plastics - Determination of Loss on Ignition”, onde foram testados quatro corpos de prova.

A Tabela 5.6 apresenta os resultados encontrados referente ao percentual de resina e a figura 5.2, apresenta a distribuição das fibras pós ensaio de queima da resina:

CP	% de Resina
4	31.61
5	30.47
6	31.43
7	31.48
Média e Desvio Padrão	31.25 ± 0.52

Tabela 5.6 – Porcentagem de resina



(a)



(b)

Figura 5.2 – (a) Vista geral do corpo de prova após o ensaio de queima; (b) Orientação das fibras com relação ao cp.

• Ensaio de tração

Seguem na tabela 5.7 os resultados dos ensaios de tração, bem como os gráficos comparativos. Vale salientar que os corpos de prova submetidos à temperatura de 70°C, no momento do ensaio, se encontravam a temperatura ambiente de 21°C.

Ensaio de Tração								
CP	Tipo de Envelhecimento	Tempo de exposição	Tempo de exp.(horas)	Deformação Máxima (mm/mm)	Tensão de ruptura (MPa)	Média	Varição versus material NE (%)	Módulo de Elasticidade (MPa)
46	Não envelhecido	0ª semana	0	0.015	325	322	-	21796
47	Não envelhecido			0.016	320			21545
				Desvio Padrão	4	-	-	177
1	UVA	1ª semana	168	0.008	289	306	-4.94	23189
2	UVA			0.020	324			21599
5	UVA	3ª semana	504	0.012	263	296	-8.14	23176
6	UVA			0.016	330			21429
9	UVA	5ª semana	840	0.018	333	337	4.38	21178
10	UVA			0.016	340			21533
13	UVA	10ª semana	1680	0.013	299	320	-0.73	20174
14	UVA			0.018	341			20261
				Desvio Padrão	28	-	-	1136
31	Água a temp. 70°C	1ª semana	168	0.015	318	323	0.09	20919
32	Água a temp. 70°C			0.016	327			20940
35	Água a temp. 70°C	3ª semana	504	0.017	284	284	-11.91	21128
37	Água a temp. 70°C			0.019	267			21137
38	Água a temp. 70°C	5ª semana	840	0.015	280	273	-15.18	21196
41	Água a temp. 70°C			0.014	292			20925
42	Água a temp. 70°C	10ª semana	1680	0.013	285	288	-10.59	21707
44	Água a temp. 70°C			0.013	282			20680
				Desvio Padrão	20	-	-	303
17	Temp. 70°C	1ª semana	168	0.014	301	304	-5.74	21334
18	Temp. 70°C			0.016	306			20276
21	Temp. 70°C	3ª semana	504	0.016	307	307	-4.79	21212
23	Temp. 70°C			0.014	294			20682
25	Temp. 70°C	5ª semana	840	0.018	287	290	-9.93	21361
26	Temp. 70°C			0.014	294			21323
29	Temp. 70°C	12ª semana	2016	0.012	225	225	-30.33	21383
				Desvio Padrão	29	-	-	431

Tabela 5.7 – Resultado dos ensaios de tração

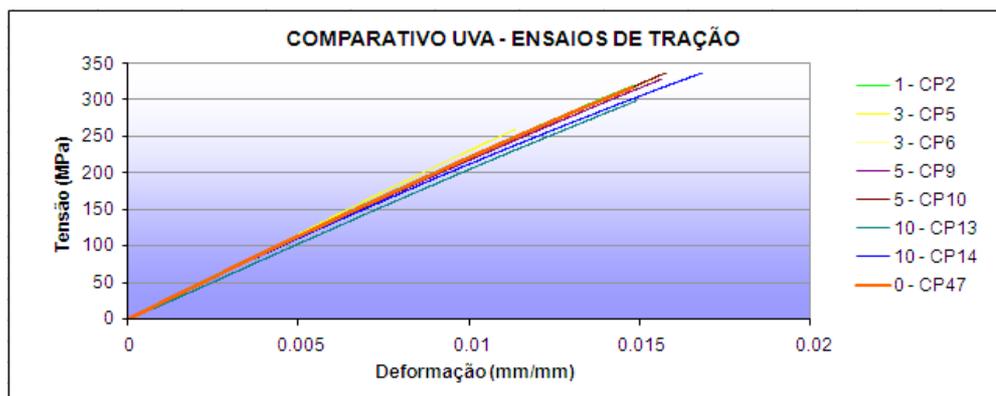


Gráfico 5.1 – Ensaios de tração – UV

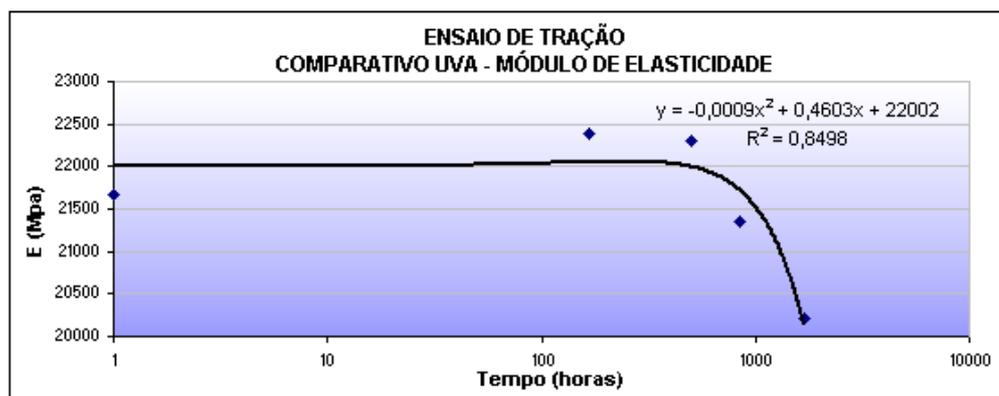


Gráfico 5.2 – Ensaios de tração – UV – Mód. de Elasticidade

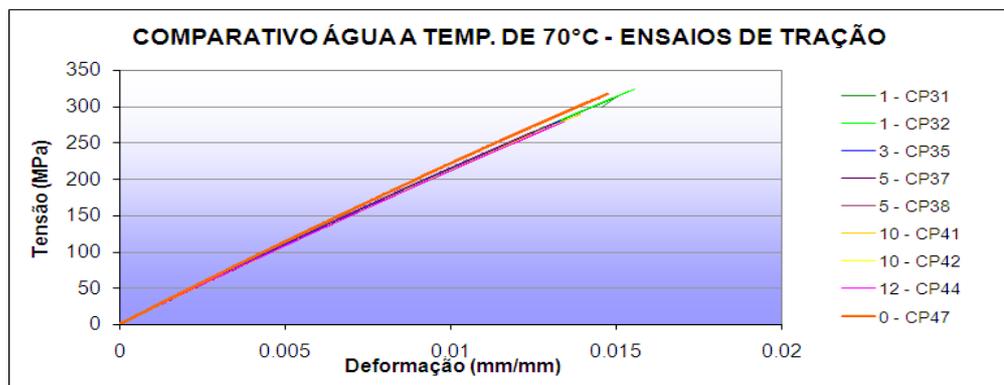


Gráfico 5.3 – Ensaios de tração – Água em temperatura de 70°C

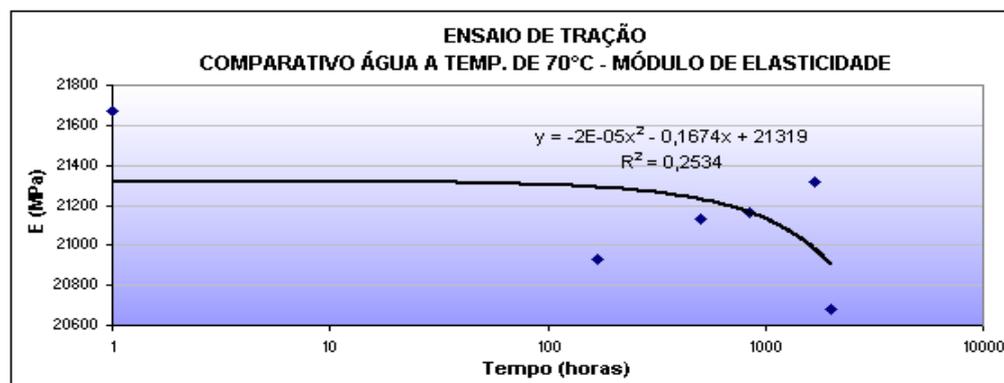


Gráfico 5.4 – Ensaios de tração – Água em Temperatura de 70°C – Mód. de Elasticidade

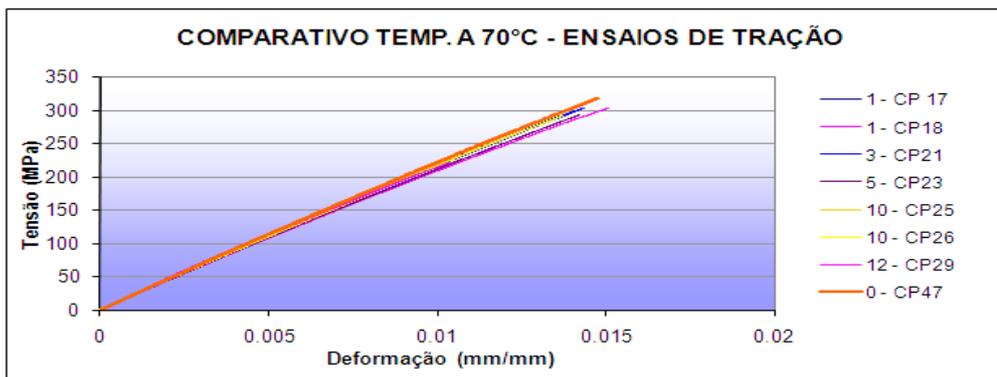


Gráfico 5.5 – Ensaio de tração – Temperatura de 70°C

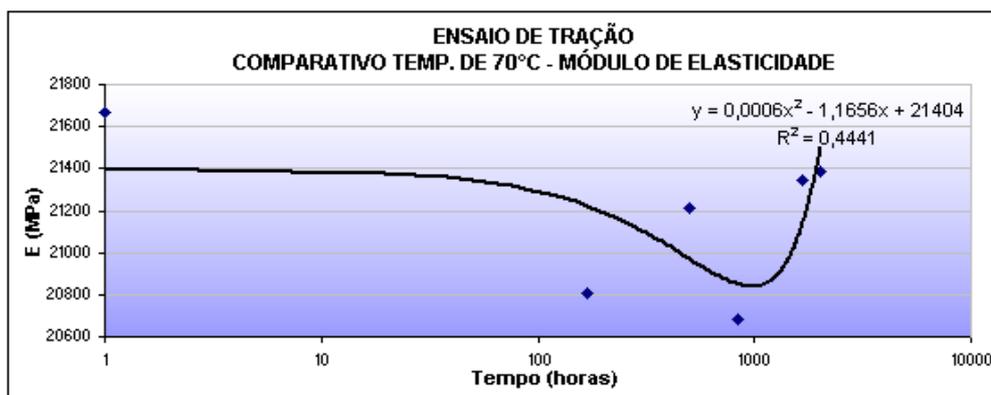


Gráfico 5.6 – Ensaio de tração – Temperatura de 70°C – Mód. de Elasticidade

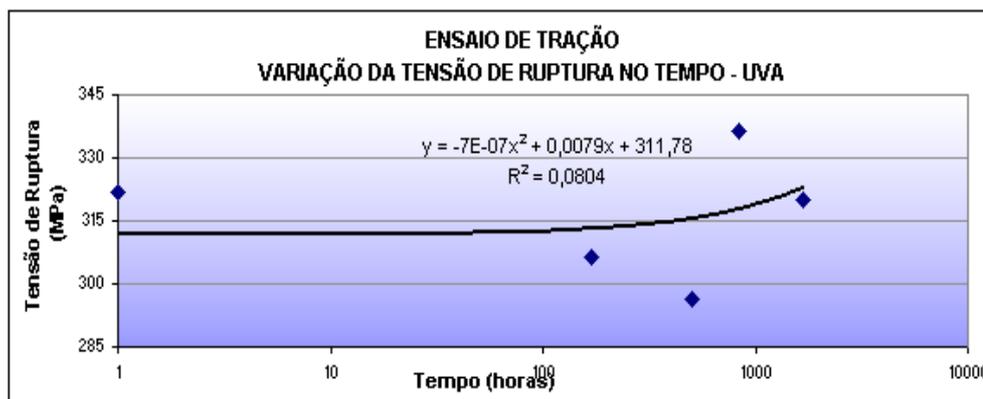


Gráfico 5.7 – Variação da tensão de ruptura no tempo – UV

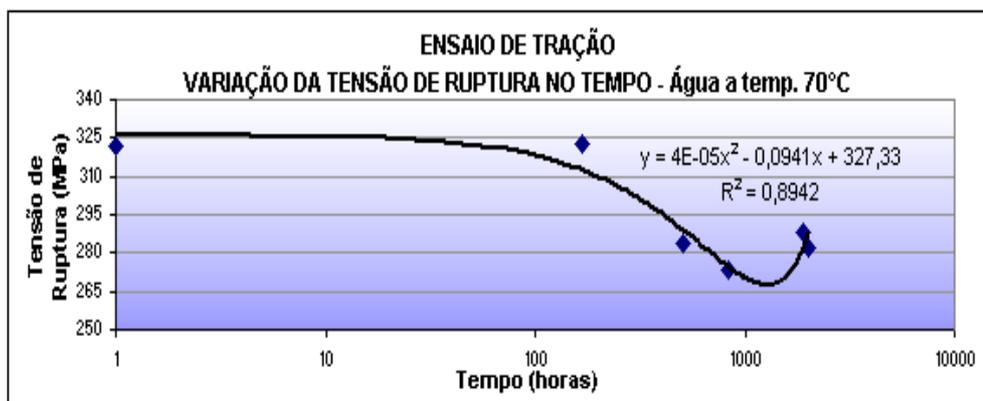


Gráfico 5.8 – Variação da tensão de ruptura no tempo – Água em temperatura de 70°C

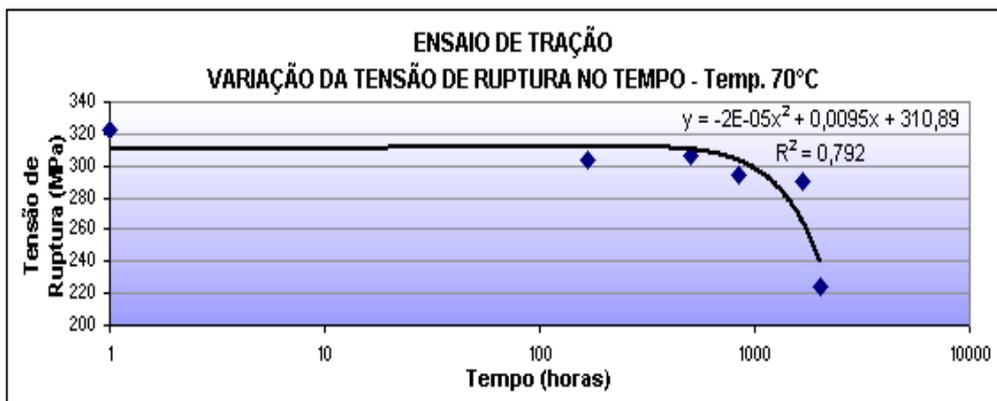


Gráfico 5.9 – Variação da tensão de ruptura no tempo – Temperatura de 70°C

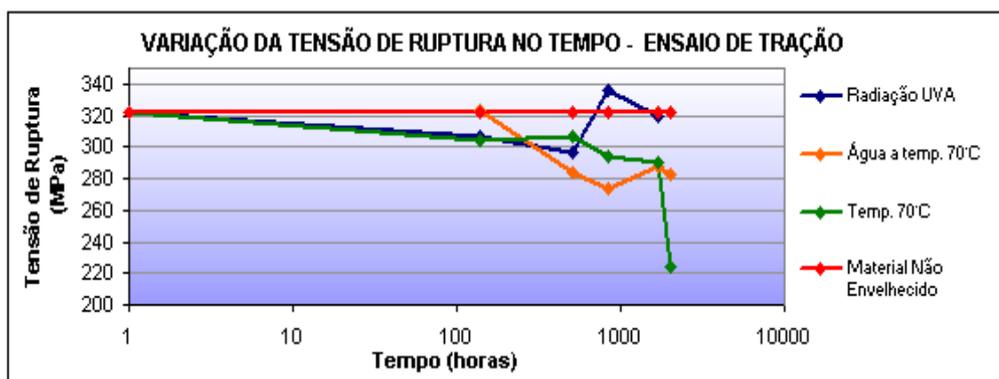


Gráfico 5.10 – Variação da tensão de ruptura no tempo

- **Ensaio de flexão:**

Segue abaixo tabela 5.8 resultado dos ensaios de flexão. Vale salientar que os corpos de prova submetidos à temperatura de 70°C, no momento do ensaio, se encontravam a temperatura ambiente de 21°C.

Ensaio de Flexão								
CDP	Tipo de Envelhecimento	Tempo de exposição	Tempo de exp.(horas)	Deformação Máxima	Tensão de ruptura	Média	Varição versus	Módulo de Flexão (MPa)
48	Não envelhecido	0ª semana	0	0.050	246	259	-	12657
49	Não envelhecido			0.050	273		-	14396
Desvio Padrão				19	-	-	-	1230
3	UVA	1ª semana	168	0.050	249	269	3.73	12421
4	UVA			0.052	289			12464
7	UVA	3ª semana	504	0.050	250	245	-5.57	12372
8	UVA			0.050	239			12585
11	UVA	5ª semana	840	0.050	259	267	2.95	12892
12	UVA			0.050	275			13774
15	UVA	10ª semana	1680	0.050	266	275	6.04	12641
16	UVA			0.050	284			12654
Desvio Padrão				18	-	-	-	454
33	Água a temp. 70°C	1ª semana	168	0.050	256	250	-3.42	12202
34	Água a temp. 70°C			0.043	245			12600
36	Água a temp. 70°C	3ª semana	504	0.050	246	246	-5.02	12075
39	Água a temp. 70°C			0.050	230			11394
40	Água a temp. 70°C	5ª semana	840	0.050	229	230	-11.44	11583
43	Água a temp. 70°C			0.050	214			11418
45	Água a temp. 70°C	12ª semana	2016	0.050	218	218	-15.87	11367
Desvio Padrão				15	-	-	-	487
19	Temp. 70°C	1ª semana	168	0.050	246	236	-9.00	11562
20	Temp. 70°C			0.050	226			12363
22	Temp. 70°C	3ª semana	504	0.050	244	244	-5.69	12595
24	Temp. 70°C			0.050	245			13110
27	Temp. 70°C	5ª semana	840	0.050	236	225	-13.27	12101
28	Temp. 70°C			0.050	214			13466
30	Temp. 70°C	12ª semana	2016	0.050	246	246	-5.16	11567
Desvio Padrão				12	-	-	-	726

Tabela 5.8 – Resultado dos ensaios de flexão

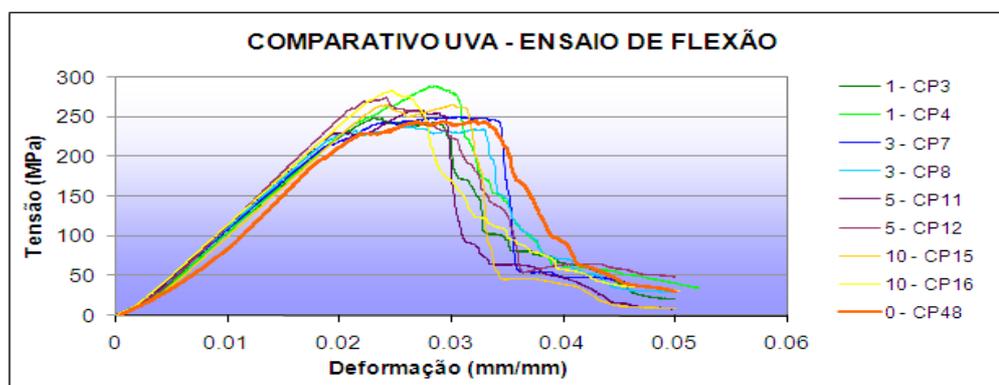


Gráfico 5.11 – Ensaio de Flexão – UV

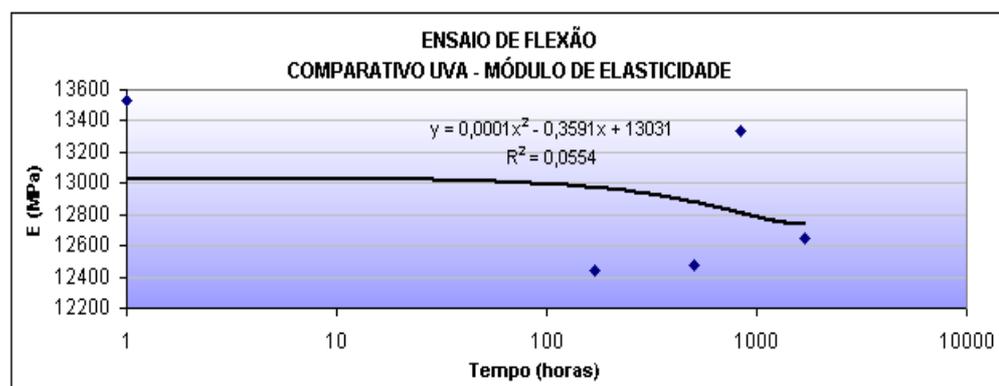


Gráfico 5.12 – Ensaio de flexão – UV – Mód. de Elasticidade Flexural

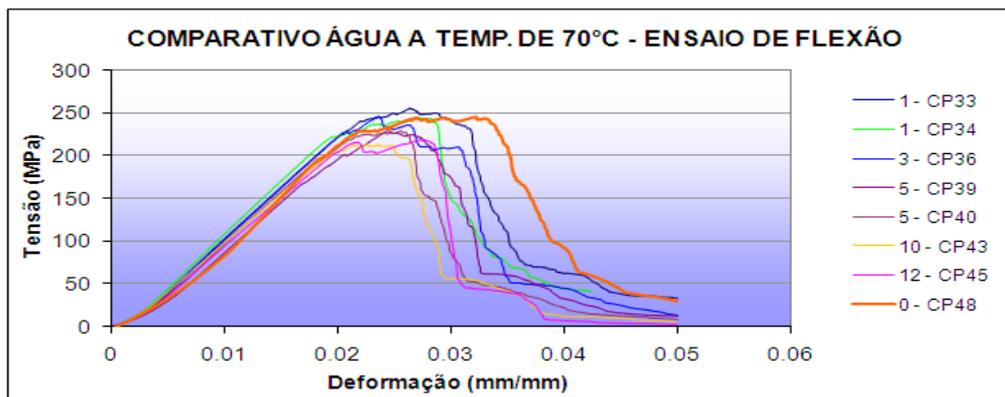


Gráfico 5.13 – Ensaio de Flexão – Água em temperatura de 70°C

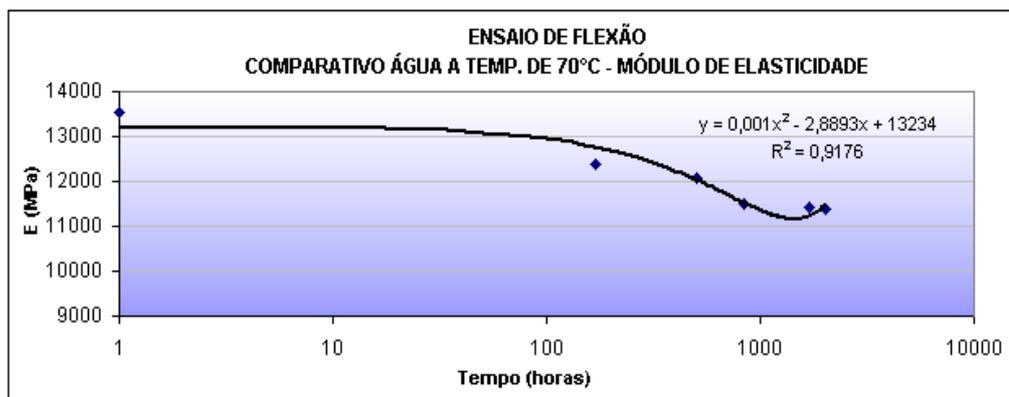


Gráfico 5.14 – Ensaio de flexão – Água a Temp. de 70°C – Mód. de Elasticidade Flexural

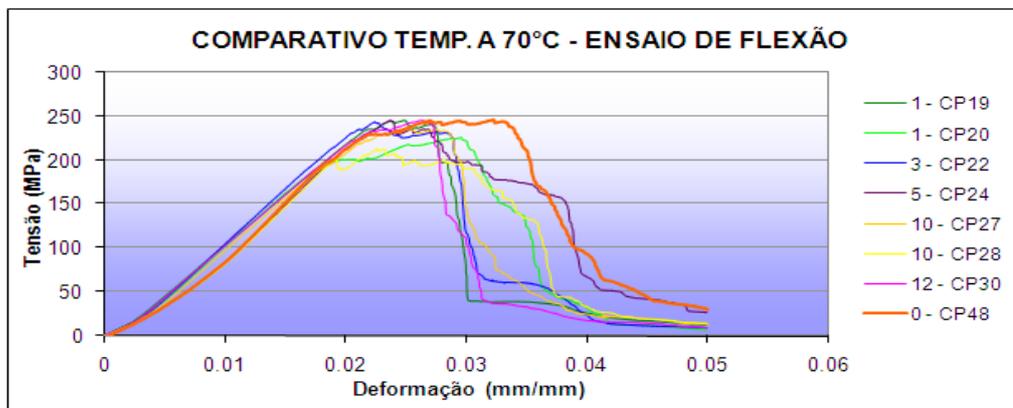


Gráfico 5.15 – Ensaio de Flexão – Temperatura de 70°C

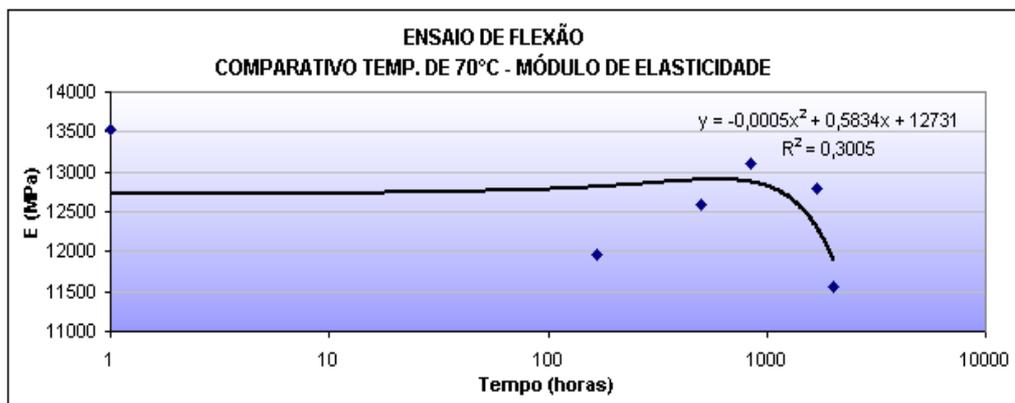


Gráfico 5.16 – Ensaio de flexão – Temp. de 70°C – Mód. de Elasticidade Flexural

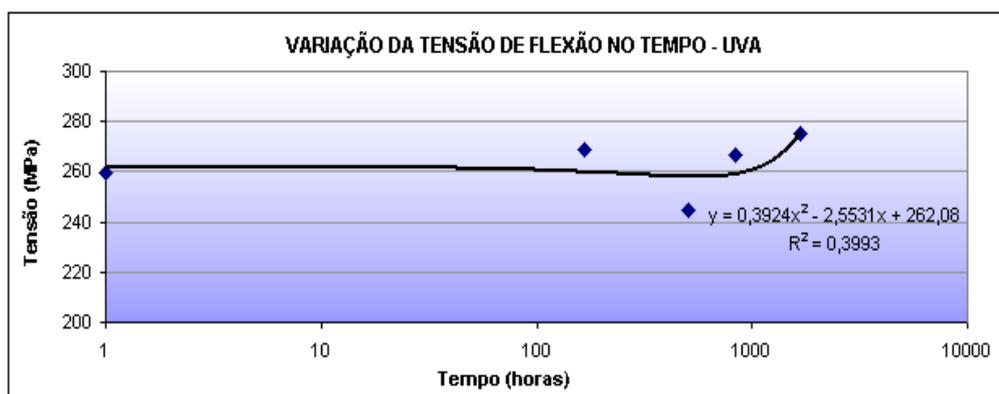


Gráfico 5.17 – Variação da tensão no tempo – UV

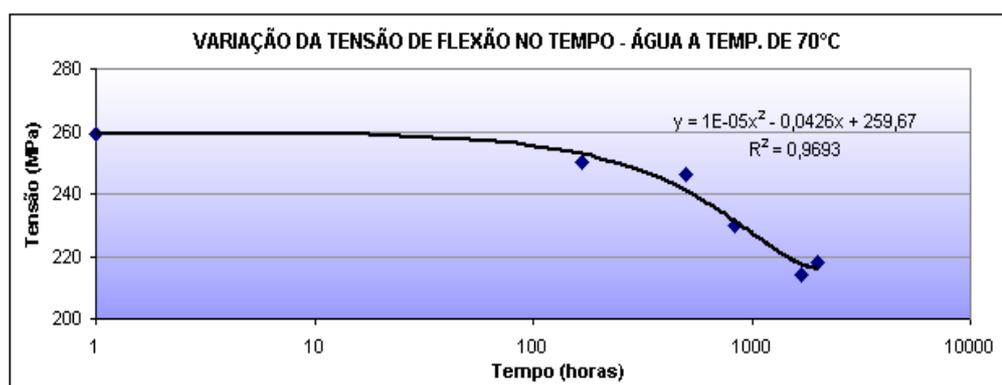


Gráfico 5.18 – Variação da tensão no tempo – Água em temperatura de 70°C

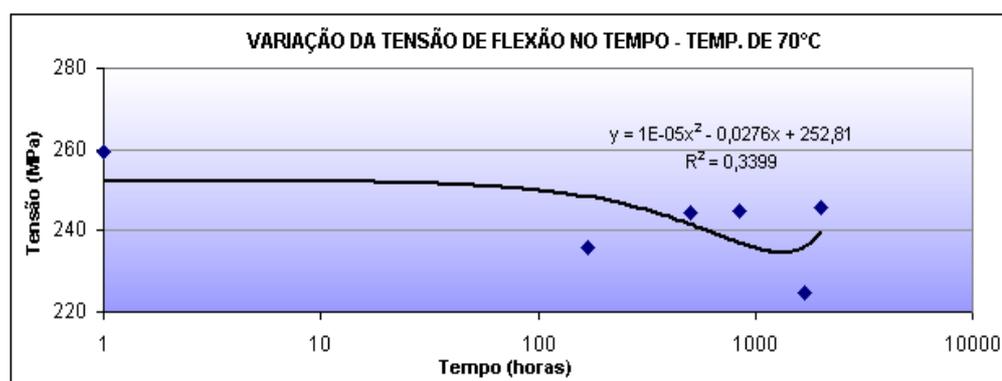


Gráfico 5.19 – Variação da tensão no tempo – Temperatura de 70°C

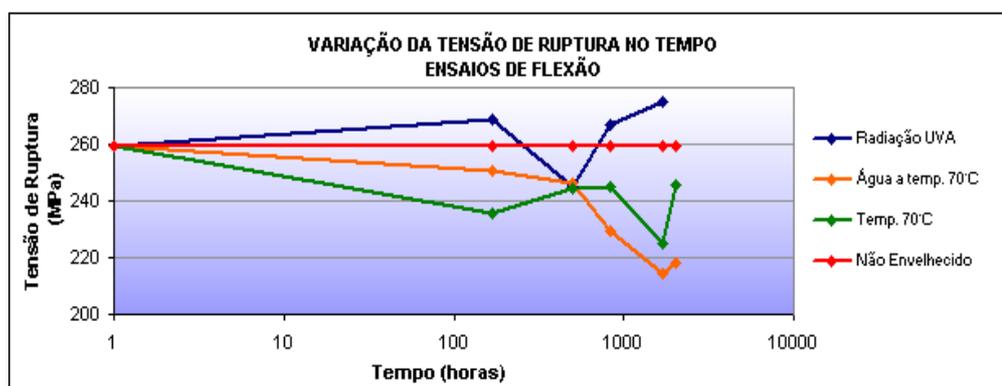


Gráfico 5.20 – Variação da tensão de ruptura no tempo

Em ambos os ensaios, tanto tração como flexão, os resultados dos cp não submetidos às condições de envelhecimento foram tomados como referência para comparação e não os fornecidos pelo fabricante.

- **Ensaio de ruptura dos dutos:**

Segue na tabela 5.9 resultado dos ensaios de ruptura realizado com os dutos. Vale salientar que os corpos de prova submetidos à temperatura de 70°C, no momento do ensaio, se encontravam a temperatura ambiente de 21°C.

Ensaio de Ruptura - Dutos							
CP	Tipo de Envelhecimento	Tempo de exposição	Tempo de exp. (horas)	Vol. Máximo (cm ³)	Tensão de ruptura (MPa)	Varição da tensão (%)*	Varição do volume (%)*
1	Duto sem defeito	0ª semana	0	848	18.2	-	-
9	Duto c/ def. e sem reparo			128	14.9	-	-
8	Não envelhecido			697	18.9	-	-
Desvio Padrão				380	2.2	-	-
7	UVA	1ª semana	168	580	18.4	-2.65	-16.87
6	UVA	3ª semana	504	451	18.3	-2.96	-35.32
5	UVA	5ª semana	840	517	18.4	-2.86	-25.84
4	UVA	10ª semana	1680	603	18.2	-3.49	-13.51
3	UVA	12ª semana	2016	596	18.4	-2.43	-14.59
2	Água a temp. 70°C	12ª semana		374	17.3	-8.25	-46.43
10	Temp. 70°C	12ª semana		523	18.3	-3.23	-24.97
Desvio Padrão				84	0.4	2.04	12.06

* As variações de tensão e volume estão sendo calculadas tendo como referência os dados encontrados para o duto não envelhecido.

Tabela 5.9 – Resultado dos ensaios de ruptura

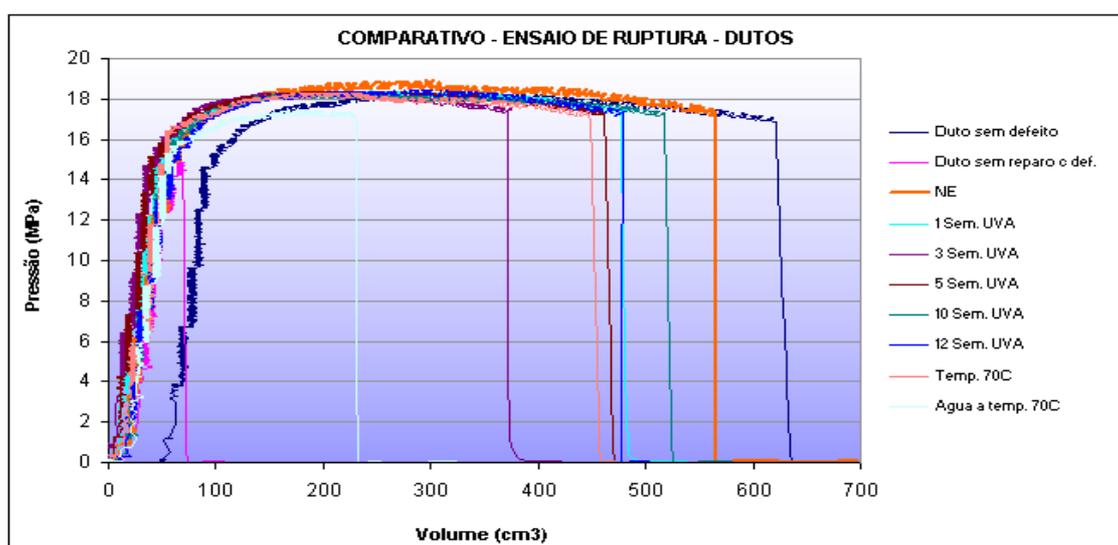


Gráfico 5.21 – Ensaio de Ruptura – Dutos

Um fato importante observado durante os ensaios de ruptura dos espécimes tubulares é que nenhum deles rompeu na região do reparo ou próximo ao defeito. Todos romperam fora da região de reparo, ou seja, o resultado não permitiu a avaliação do envelhecimento ou não do material, mas sim a comparação metal contra metal.

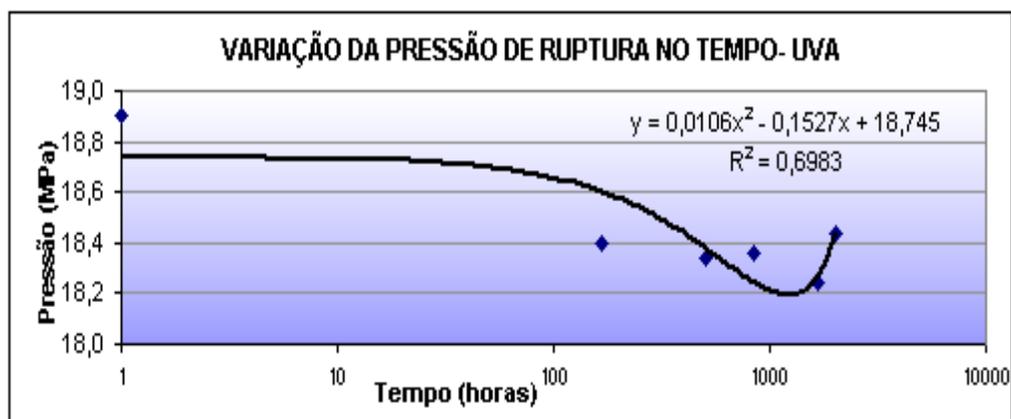


Gráfico 5.22 – Variação da Pressão de Ruptura no tempo – UV

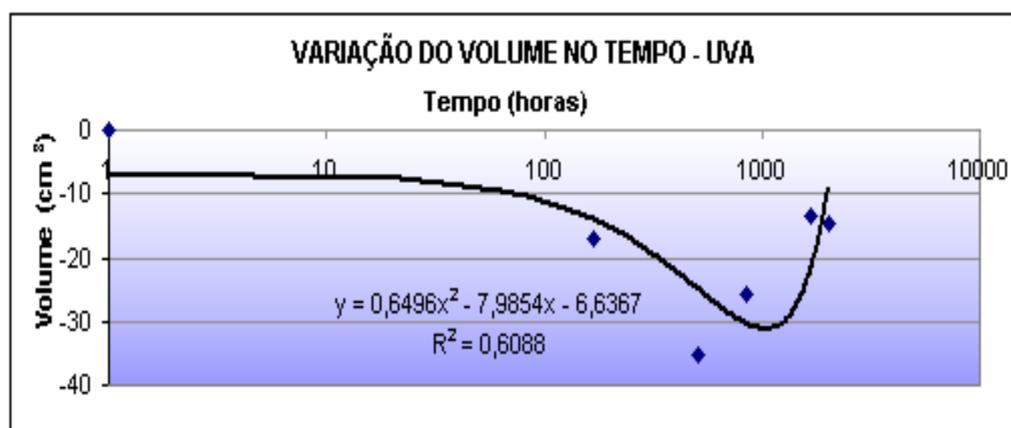


Gráfico 5.23 – Variação do volume no tempo – UV

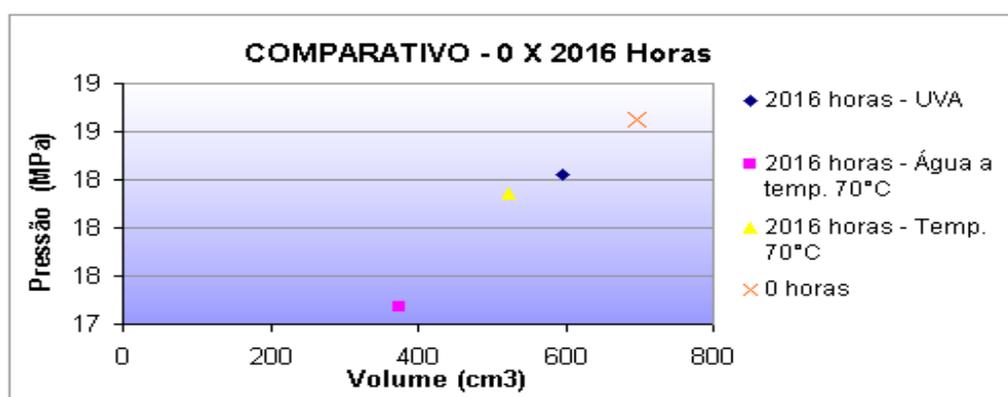


Gráfico 5.24 – Comparativo – Não envelhecido versus 12 semanas de envelhecimento