

# Comportamento viscoelástico

4º Bando Vlllcmfzaca

Pré-aula 25/03/2022

T5 B - Elástico

Medidas e Tomar:

→ Ler o protocolo T5 B sobre temper b-mats elásticos

→ Visualização do vídeo de preparação para esta experiência

→ Registo das quantidades dos materiais usados

→ Gravação dos movimentos elásticos para futura análise

→ Não usar os banchos elásticos fora do decorrer da experiência

→ Não deixar os elásticos sobre tensão quando a mesma não for necessária

→ Usar um pedaço de alumínio de modo a assegurar a melhor relação entre o plano experimental e o resto do dispositivo

Plano experimental: modo de restrição do dispositivo

1. Verificar se o material necessário está todo presente: o suporte inicial com régua papel milimétrica e elástico e realizar a montagem

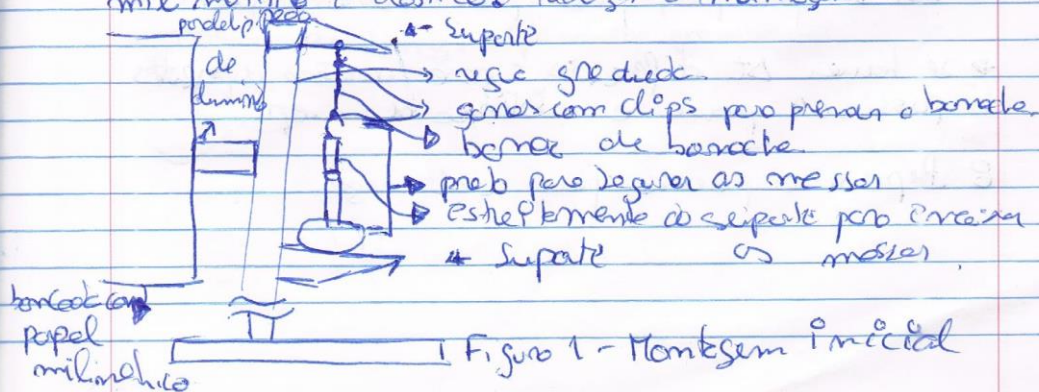


Figura 1 - Montagem inicial

2. Medir o comprimento de banda de banda entre os suportes (realizar as medições em locais simétricos em relação ao suporte) e obter a área de seção reta de banda de banda.

3. Medir as massas de modo que a incerteza seja mínima.

↳ Medir as massas de modo que a incerteza seja mínima e a leitura seja correta. ⚠

4. Suspender o pequeno peso ( $\sim 10\text{ g}$ ) no suporte elástico que foi previamente suspenso de um suporte próprio. (tal como apresentado no manual).

5. Colocar as massas 1 e 1 e realizar as medições mecânicas através de régua graduada.

6. Caso haja oscilações no suporte // régua graduada a experiência terá de ser repetida. ⚠

7. A colocação e massa segue as instruções seguintes:

→ Segurar o peso com uma das mãos

→ Não subir o peso durante o processo

→ Usar o apoio para peso para evitar oscilações

→ Se houver 10 diferentes e por massas diferentes é possível para a existência de erro.

8. Repetir o processo para cada caso.



9. Fazer o teste de Ocorrência de creep (Folha 2)

↳ Colar 800 long. suspensas no larado e acompanhar até o ponto de o poder deixar.  
Registre o número

10. Fazer o teste de Relaxação (Folha 3)

↳ Retirar todos os menses menses e legando o moto - levando a deixar o sem o mesmo osu. Registre o número de menses

Nota: Gravar os processos 9 e 10.

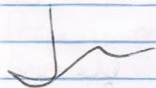
### Objetivos

→ Verificação de ocorrência de 3 comportamentos viscoelásticos (creep, histerese elástica, relaxação temporal).

→ Cálculo da energia de deformação elástica e dissipada no processo de carga e descarga;

→ Identificação do tipo de papel (i) tensão/deformação ~~relativa~~  $\epsilon(t)$ , nos casos tanto de carga como no descarreg no âmbito de histerese (ii) de deformação relativa  $\lambda(t)$ , nos casos de ocorrência de "creep" e de relaxação temporal

→ Determinação de valores representativos do módulo de Young,  $E$ , e  $\eta$  no processo de carga



Nº Moscos

~~Moscos~~ [Mosco  $\pm 0,01$  g] g

~~Moscos~~  $\pm 10,24$  g  $\pm$

Regue

$\mu(\text{Regue})$

1	20,25	$\pm 0,5$ mm
2	30,34	$L_0 = 173$ mm $\rightarrow$ fob
3	40,49	184 mm $\rightarrow$ fio
4	50,56	$\pm 0,05$ mm
5	60,61	181 mm $\rightarrow$ fio
6	70,65	$\pm 0,05$ mm
7	80,75	
8	90,93	Pf. elástico : 0,318
9	100,97	
10	111,03	O registro dos dados :
11	121,08	
12	131,26	$\rightarrow$ carga - descarga / e / el.
13	141,33	$\rightarrow$ creep / relaxação
14	151,44	
15	161,97	$D_{\text{carga}} - D_{\text{relaxação}} = 165$ cm
16	171,57	$\mu(\text{Regue}) = 0,5$ mm

Volts.

$\rightarrow$  Cuidado Moscos

$\rightarrow$  Cuidado Medição elástica (fio / regue)

$\rightarrow$  Registro em vídeo

$\rightarrow$   $L_0$  e  $C_D$  medido no base do prob / suporte

$\rightarrow$  consideramos que  $D_{\text{190}} - D_{\text{elástico}} = 67$  mm

$\rightarrow$  Temicamente o fio é inextensível  
 $\rightarrow$  em probis alongado.

$\rightarrow$  Tempo

$\rightarrow$  Temos de recomendar os métodos de carga  
 descarga porque o parâmetro não é bom.

$\rightarrow$  Temos apenas possibilidade de carga  $\approx 13$  g

$\rightarrow$  Não foi possível medir moscos.



Beira oscilação do polo Realidade mais  
precisa e a realidade



01/04/2021

~~Realidade e Realidade~~ Fase 1: História

A primeira medição a ser efetuada para a das  
massas. Tal como referido no protocolo e no  
método científico devemos procurar usar a medição  
que tenha menor de incertezas. Como a massa  
medida numo balança tem menor incerteza  
que a soma de massas medidas nos balanças,  
primeiras foram colocadas o braço e com a  
massa imbutida (massa 0) e foram-se  
adicionando massas gradualmente sendo feitas  
13 medições (tabela 1)

Foi também medido o comprimento do fio,  
usando um fio de nylon do mesmo tamanho  
e medindo usando uma régua graduada. Foram  
também medidos os comprimentos dos seus braços  
com o auxílio do micrometro (tabela 1)

~~As dimensões dos braços, das massas e do fio~~  
~~foram medidas e registadas no seguinte tabel.~~



As longas de carga e de duração  
foram medidos os comprimentos  
entre os suportes e registadas  
no seguinte tabel. (tabela 1)

$$V = c \times b \times L$$

L0 (m) 4,13E-01

Carga e Descarga								
m (kg)	F (N)	Lc (m)	$\Delta L_c$ (m)	Ld (m)	$\Delta L_d$ (m)	a (m)	b (m)	S (m <sup>2</sup> )
$\pm 0,0001$	$\pm 0,01$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,00001$	$\pm 0,00001$	$\pm 5,0E-9$
0,0102	0,1005	0,4130	0,0000	0,4170	0,0040	0,000328	0,000427	1,40E-07
0,0203	0,1987	0,4190	0,0060	0,4240	0,0110	*	*	*
0,0303	0,2976	0,4270	0,0140	0,4330	0,0200	*	*	*
0,0405	0,3972	0,4360	0,0230	0,4430	0,0300	*	*	*
0,0506	0,4960	0,4470	0,0340	0,4560	0,0430	*	*	*
0,0606	0,5946	0,4580	0,0450	0,4700	0,0570	*	*	*
0,0707	0,6931	0,4730	0,0600	0,4870	0,0740	*	*	*
0,0808	0,7922	0,4900	0,0770	0,5040	0,0910	*	*	*
0,0909	0,8920	0,5070	0,0940	0,5190	0,1060	*	*	*
0,1010	0,9905	0,5290	0,1160	0,5390	0,1260	*	*	*
0,1110	1,0892	0,5470	0,1340	0,5590	0,1460	*	*	*
0,1211	1,1878	0,5690	0,1560	0,5760	0,1630	*	*	*
0,1313	1,2877	0,5880	0,1750	0,5900	0,1770	0,000224	0,000413	9,30E-08

Tabela 1 - Resultados obtidos na medição de carga e de deslocamento (valor usado a gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>)

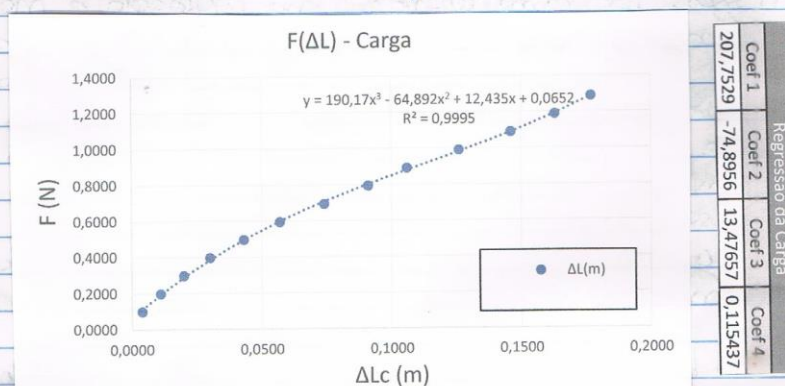


Gráfico 1 - Gráfico da força (compressão do fio) em função do comprimento do fio na medida de carga.

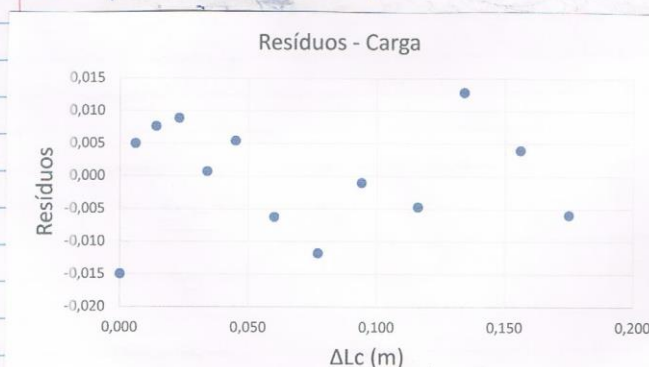


Gráfico 1.1 - Gráfico dos resíduos do gráfico 1



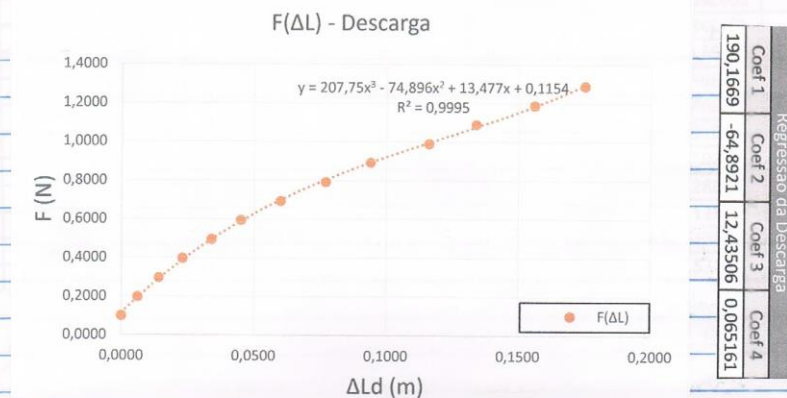


Gráfico 2 - gráfico de força dos molas ( $F_g$ ) em função da variação do comprimento do fio no processo de carga.

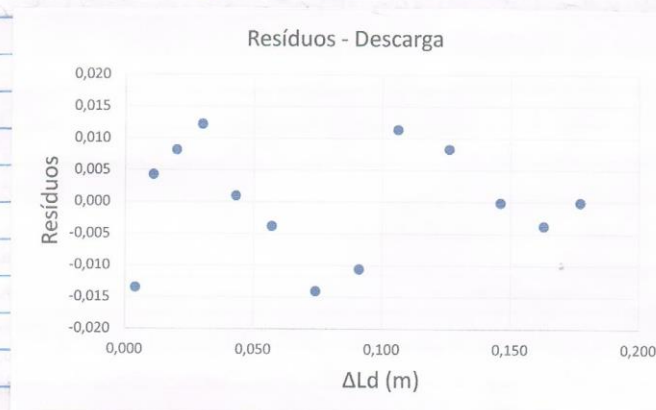


Gráfico 2.1 - Gráfico de resíduos do gráfico 2.

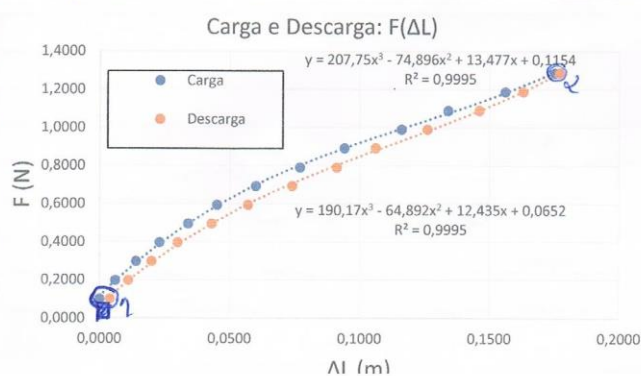


Gráfico 3 -  
comparações entre  
os resultados obtidos  
na carga e na  
descarga.

Até o fim de análise do gráfico 3, podemos perceber que a sua área corresponde ao valor de  $E_{dissip}$ .

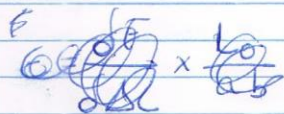
Assim, temos que:

→ Os pontos do gráfico não são coincidentes e por isso a área abaixo desses pontos tem de ser retirada do Integral.

→ Vamos considerar que os pontos estão sobrepostos de modo a facilitar os cálculos.

$$E_{dissip} = \int_0^{0,175} 207,75x^3 - 74,50x^2 + 13,58x + 0,115 dx - \int_{0,040}^{0,125} 190,17x^3 - 69,85x^2 + 12,55x + 0,065 dx - (0,050 \times 0,1005) \approx$$

$$\approx 0,1384 - 0,1302 - 0,000502 = 1,78 \times 10^{-2} J$$



~~Até o fim de análise do gráfico 3, podemos perceber que a sua área corresponde ao valor de  $E_{dissip}$ .~~

Foi criada efetivamente mais uma tabela com os dados obtidos de modo a determinar o módulo de Yang.

Legend

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\gamma = \frac{F}{S}$$

$$E \approx \frac{\lambda}{\gamma}$$

$E$  - módulo de Young Long.



F(N)	$\Delta L_c$ (m)	$\Delta L_d$ (m)	S (m <sup>2</sup> )	$\lambda_c$ (s.u.)	$u(\lambda_c)$ (s.u.)	$\lambda_d$ (s.u.)	$u(\lambda_d)$ (s.u.)	$\tau$ (Pa)	$u(\tau)$ (Pa)	$E_c$ (MPa)
$\pm 0,01$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	$\pm 5,0E-9$							
0,1987	0,0060	0,0110	1,38E-07	0,0145	1,21E-03	0,0266	1,21E-03	1,44E+06	8,89E+04	37,60
0,2976	0,0140	0,0200	1,36E-07	0,0339	1,21E-03	0,0484	1,21E-03	2,18E+06	1,09E+05	34,87
0,3972	0,0230	0,0300	1,34E-07	0,0557	1,21E-03	0,0726	1,21E-03	2,97E+06	1,34E+05	31,98
0,4960	0,0340	0,0430	1,31E-07	0,0823	1,21E-03	0,1041	1,22E-03	3,79E+06	1,64E+05	28,73
0,5946	0,0450	0,0570	1,28E-07	0,1090	1,22E-03	0,1380	1,22E-03	4,65E+06	1,98E+05	25,82
0,6931	0,0600	0,0740	1,24E-07	0,1453	1,22E-03	0,1792	1,23E-03	5,59E+06	2,40E+05	22,45
0,7922	0,0770	0,0910	1,19E-07	0,1864	1,23E-03	0,2203	1,24E-03	6,64E+06	2,91E+05	19,51
0,8920	0,0940	0,1060	1,15E-07	0,2276	1,24E-03	0,2567	1,25E-03	7,77E+06	3,50E+05	17,65
0,9905	0,1160	0,1260	1,09E-07	0,2809	1,26E-03	0,3051	1,27E-03	9,10E+06	4,28E+05	17,03
1,0892	0,1340	0,1460	1,04E-07	0,3245	1,27E-03	0,3535	1,28E-03	1,05E+07	5,13E+05	18,25
1,1878	0,1560	0,1630	9,81E-08	0,3777	1,29E-03	0,3947	1,30E-03	1,21E+07	6,25E+05	22,21
1,2877	0,1750	0,1770	9,30E-08	0,4237	1,31E-03	0,4286	1,32E-03	1,38E+07	7,52E+05	28,20

Tabela 2 - ~~Resultados~~ Tabela obtida a partir do cálculo do módulo de Young.

Análise da tabela ~~está~~ como percebemos que:

$1,55 \times 10^6 \text{ Pa} < \tau < 1,38 \times 10^7 \text{ Pa}$  Note:  
 $17,03 \text{ MPa} < E_c < 37,60 \text{ MPa}$  os valores de área foram obtidos usando uma regressão linear

Usando a gama e os valores obtidos podemos obter os seguintes gráficos:

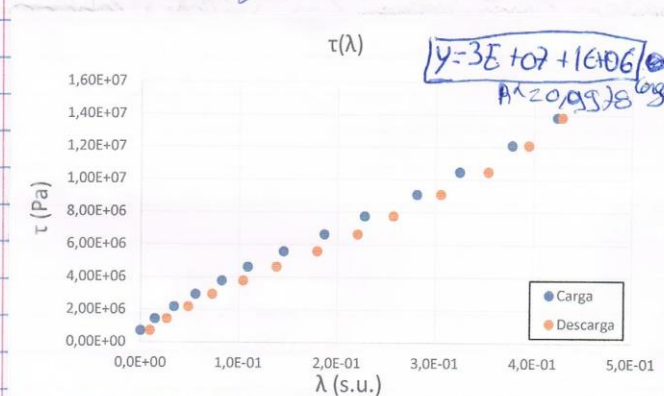


Tabela 3 - Obtida a partir da análise de elasticidade (S)

Análise Estatística			
desvio (m)	-2,7E-07	1,4E-07	
u(m)	0	0	
$\tau^2$	1	0	
sy			ordenada na origem (b)
			u(b)

Gráfico 3 - Torção em função do tempo.

Note:  
 Não seria sentido efetuar gráfico de resíduos visto que os valores obtidos parecem de expressões com regressões lineares e não de valores medidos diretamente.

~~A equação usada para calcular a energia de dissipação no teste foi a seguinte:~~

$$E = \frac{dF}{d\lambda} \times \frac{L_0}{a.b}$$

Isto deve-se devido ao facto de os valores obtidos pelo teste não serem os mais próximos à realidade:

~~Aparentemente podemos considerar como linearidade entre a tensão e o  $\lambda$  que nos mostra que o módulo de Young para o elastico é maioritariamente constante.~~

~~Agora fazemos separadamente a análise dos processos de creep e relaxamento. Isto deve-se ao facto de, ao fazer creep e relaxamento, os valores obtidos não terem os mesmos valores, por isso nos testes de comprimento da fibra.~~

"Creep"					
m (kg)	L (m)	$\Delta L$ (m)	$\lambda$ (s.u.)	$\ln((\lambda - \lambda_0)/\lambda_0)$	$\Delta t$ (s)
$\pm 0,0001$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	$\pm 1,25E-3$		$\pm 0,1$
9,09E-02	0,515	0,102	0,247	*	30
	0,517	0,104	0,252	-3,932	80
	0,518	0,105	0,254	-3,526	126
	0,518	0,105	0,255	-3,462	161
	0,518	0,105	0,254	-3,595	205
	0,519	0,106	0,255	-3,372	250
	0,519	0,106	0,256	-3,317	305
	0,519	0,106	0,257	-3,214	417
	0,520	0,107	0,258	-3,121	472
	0,520	0,107	0,258	-3,121	536
	0,520	0,107	0,259	-3,056	594
	0,520	0,107	0,259	-3,036	652
	0,520	0,107	0,259	-3,016	709
	0,520	0,107	0,259	-3,016	784
	0,520	0,107	0,259	-3,016	845
	0,520	0,107	0,259	-3,016	905
	0,520	0,107	0,259	-3,016	944

\*  $\lambda$  (uap)

Significado V

Tabela 4 - Resultados obtidos durante o teste 2 (creep)



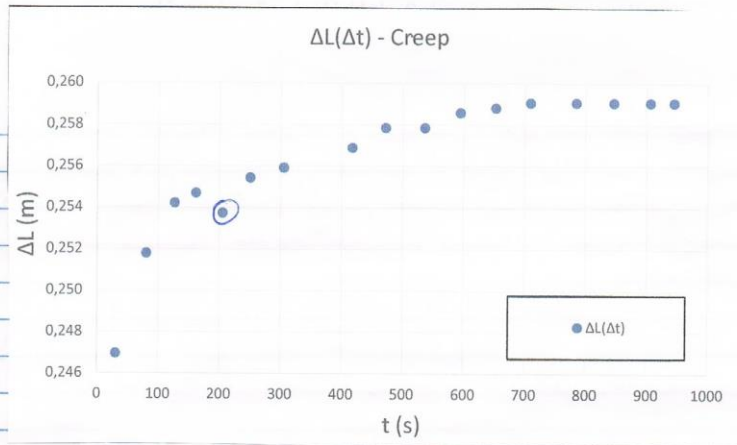


Gráfico 4 - Variação do comprimento do fio em função do tempo. Suspeito

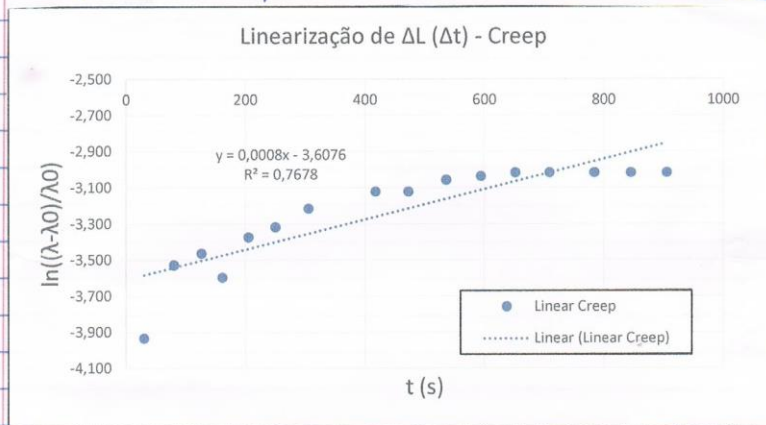


Gráfico 4.1 - Linearização do gráfico 4 ("creep")

Análise Estatística - Linearização do Creep

Decalve (m)	0,000832	-3,65446	Ordenada na origem (b)
u(m)	0,000117	0,066881	u(b)
r²	0,783755	0,131285	sy

Tabela 4.1 - dados do fio st. exatidão de 0,0001 m

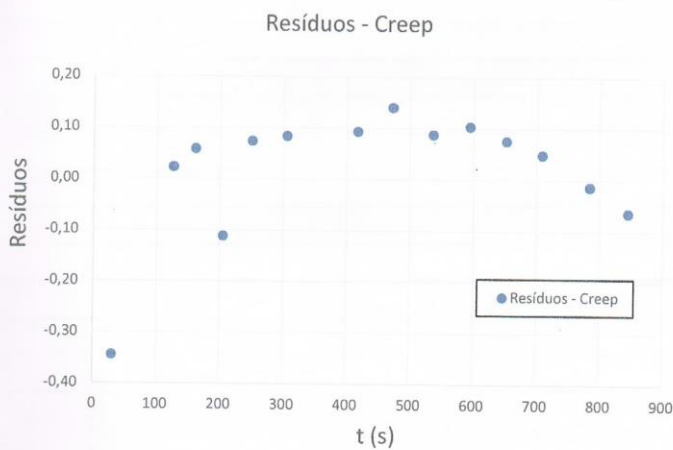


Gráfico 4.2 - Resíduos do gráfico 4.1.

Podemos perceber pelo gráfico 4.1. que a linearização do gráfico 4 é aparente. Assim, preenchamos nos que o gráfico 4 não represente uma função ~~logarítmica~~ 100% logarítmica.

Assim, através da variação do comprimento do fio foi possível observar o "creep".

Neste teste 3 foi analisado o relaxamento temporal do sistema.

Relaxamento					
m (kg)	L (m)	$\Delta L$ (m)	$\lambda$ (s.u.)	$\ln(\Delta L)$	$\Delta t$ (s)
$\pm 0,0001$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	$\pm 1,25E-3$		$\pm 0,1$
1,03E-02	0,418	0,005	0,012	*	12
	0,417	0,004	0,010	-5,521	71
	0,417	0,004	0,009	-5,547	124
	0,417	0,004	0,008	-5,655	163
	0,416	0,003	0,008	-5,684	206
	0,416	0,003	0,008	-5,714	274
	0,416	0,003	0,007	-5,809	338
	0,416	0,003	0,007	-5,915	405
	0,416	0,003	0,006	-5,952	507
	0,416	0,003	0,006	-5,991	600
	0,415	0,002	0,005	-6,119	701
	0,415	0,002	0,005	-6,166	808
	0,415	0,002	0,005	-6,215	918
	0,415	0,002	0,005	-6,215	996
	0,415	0,002	0,005	-6,215	1030

Tabela 5 - Resultados obtidos no Fio 3 ("Relaxamento")

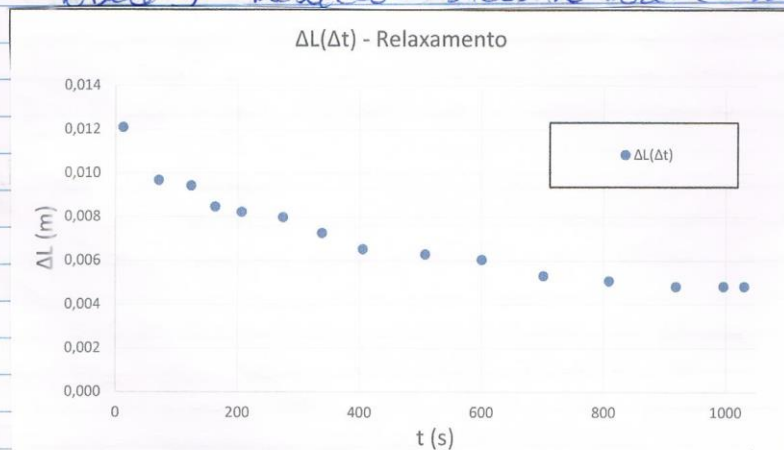


Gráfico 5 - Comprimento fio em função do tempo





Desse foi possível observar todos os movimentos esperados e registrar os seus valores embora não com o metro desejado.

Houve uma prudente grevacao ~~dos~~ dos processos de creep e relaxamento temporal. No entanto os valores obtidos usando o programa disponibilizado pelo docente (trocador) não foram os melhores e por isso os valores obtidos foram descartados.

Apesar disto foi possível verificar uma dissipação de energia na fase de histerese bem como uma discrepância de valores entre a carga e descarga (tal como era esperavel).

Foi possível também verificar o creep e o relaxamento através das linearizações dos gráficos  $\epsilon(t)$  e  $\sigma(t)$  (respetivamente).

Sabendo que o módulo de young apenas se mantém constante ~~em~~ caso não seja ultrapassado o ponto de elasticidade (Lei de Hooke). Visto que podemos obter diferentes valores para o mesmo, é de notar que o limite de elasticidade foi ultrapassado e o que confere o facto de o valor inicial do comprimento não ser igual ao valor final do comprimento do mesmo.

~~De modo a responder a pergunta feita no protocolo não deve ser estudado o efeito do creep em materiais como a histerese visto que~~

Estas informações contrastam com os valores do ~~coeficiente~~ declive da regressão linear do gráfico  $\epsilon(t)$  que nos demonstra uma ~~lei~~ constante para o módulo de Young ( $3 \times 10^7$  Pa).



O processo do histerese e do creep não podem ser validados em simultâneo visto que ao deixarmos o processo de creep começar entre as medições de carga e descarga os valores obtidos não seriam os mais correctos e sem utilidade.

Apesar de todas as medidas tomadas para evitar grandes erros os valores foram superiores ao esperado e pode-se duvidar do tempo entre carga-descarga, do tempo entre o início de descarga e o registo de decréscimo de creep e relaxamento e também erros grosseiros e electóricos de medição.

A energia dissipada no processo de carga-descarga foi de  $1,78 \times 10^{-2}$  J.

Apesar A gama de valores para o módulo de Young ( $17,03 \text{ MPa} < E_c < 37,60 \text{ MPa}$ ).

Questão nº 10:

(1) Através do processo de descarga podemos perceber que ~~o material~~ após uma deformação ~~elástica~~ e após ser removido o estímulo que a provocou o corpo começa a regressar ao seu estado original (embora não volte totalmente).

(2) Devido ao facto de que entre os processos referidos há uma dissipação de energia como verificamos nos resultados obtidos. A histerese.

(3) A vantagem apresentada pelas grandes extensões reside no facto de que são obtidos estes dados sem medições de uma forma mais "directa" sem ser necessário punir a nenhuma célula. Por este motivo têm menor erro/interferência.

(4) Como referido antes, a Lei de Hooke é apenas verificável para valores de Força ( $F$ ) mais baixos. Quando o ponto de elasticidade do elástico começa a ultrapassar o valor da Lei de Hooke não se verifica  $p \propto L$  e por isso podemos encontrar diferentes valores para o  $L$  no início e no fim da deslocação. Para além disto podemos verificar que o perfil  $\epsilon(L)$  é quase linear. Isto significa que o ponto de elasticidade foi levemente ultrapassado o que está de acordo com o coeficiente de elasticidade ( $R^2 = 0,9918$ ) e o facto de o elástico quase voltar ao seu valor inicial ( $L_0 = 4,136 - 1$  ~~4,176 - 1~~).

(5) De acordo com os valores obtidos e com o perfil elástico ~~os~~ os dados obtidos estão em torno do ponto de adernic.