

# Estudo de Comportamentos Viscoelásticos - Borracha Vulcanizada

PL6

Grupo 4

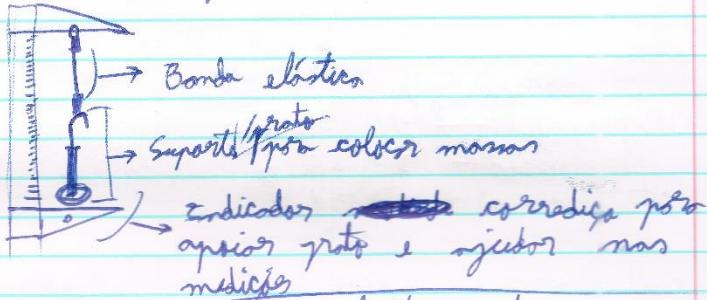
Nuno Freire 26/3/2022

## Objetivos

- Verificação da ocorrência de 3 comportamentos visco-elásticos num bando de borracha vulcanizada, rejeita a tensão de traço: histerese elástica, "creep" e relaxação temporal
- Cálculo da energia de deformação elástica dissipada no processo carga / descarga
- Identificação do tipo de perfil  $\lambda(\tau)$  nos casos de ~~carga~~ carga e descarga, no âmbito do estudo de histerese, nos casos de "creep" e de relaxações temporais
- Determinação do módulo de Young, ~~e~~ na carga apena

## Procedimento

1 - Fazer / Verificar a montagem abaixo



2 - Medir o comprimento da banda elástica entre os seus suportes. Fazer medições de forma a determinar a área da seção reta da banda. Medir os massas, de forma que a diferença da força de traço seja sempre a mesma.

3 - Suspender o protótipo de colocar as massas na banda elástica, apoiando-o no indicador corredice

4 - Realizar a experiência em si, colocando as massas uma a uma e depois retirando-as. Neste, deve-se garantir que ~~as~~ oscilações ~~ocorrem~~ não ocorrem. Nesses processos de ~~suspender~~ a carga e descarga não se deve demorar muito tempo a colocar / retirar uma carga.

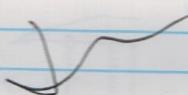
5 - Fazer registo de dados numa tabela como a seguinte:  
 1 do protocolo, com os valores de massa  $m$ , de  $L_a$  e  $L_b$  (o valor na escala vertical para carga e descarga), de  $\Delta L_a$  e  $\Delta L_b$  (a variação desses valores relativamente a  $L_0$ ; as elongações da banda elástica), e também os valores de  $L$ ,  $a$  e  $b$ ; os valores do comprimento e restas da banda elástica para o valor máximo e mínimo de massa.

6 - Fazer o estudo de "creep" e relaxação temporal.

6.1 - "creep" → colocar 80 a 100 g suspensos na borracha e fazer o máximos de ~~lidas~~ leituras da escala vertical ao longo do tempo, até que a deformação estabilize.

6.2 - relaxação temporal → após a experiência de estudo do "creep", seguir no proto e remover todas as massas. Acoplar o proto, segurando-o levemente, de modo a poder libertar sem que este oscile. Aí, libertar o proto e registar o máximos de leituras em função do tempo até a deformação estabilizar.

	massas (g)
0	10,2400
1 massas	20,25
2 massas	30,34
3 massas	40,49
4 massas	50,56
5 massas	60,61
6 massas	70,65
7 massas	80,75
8 massas	90,93
9 massas	100,97
10 massas	111,03
11 massas	121,08
12 massas	131,26
13 massas	141,33
14 massas	151,41
15 massas	161,47
16 massas	171,57



$$m(m) = \pm 0,01 \text{ g}$$

$$L_0$$

$$1 - 173 \text{ mm} \pm 0,500 \text{ (fio)}$$

$$2 - 184 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ (fio)}$$

$$3 - (181 \pm 0,5) \text{ mm (fio)}$$

$$\mu(L) = \pm 0,5 \text{ mm}$$

$$\mu(a) = \mu(b) = \pm 0,01 \text{ mm}$$

→ micrometro

→ dist cõrpa - montagem = 164 cm

→ Cuidados / Notas

Creep / Relaxamento

→ Sempre a mesma ordem  
a acrescentar e retirar massas

→ Medido Lc e Lt pela base do protó

→ Deve-se considerar sempre que distância topo montagem  
ao topo elástico



C/tackes e tolos

Aproximação pouco exata!

→ Foi necessário recompor os medidos no topo de  
cõrpa e descarga

- Assim só se colocou 730

- da primeira vez foi de 140

→ Houve pouca oscilação do protó

→ Foi muito importante não apoiar nos mesos e estabilizadores  
o bloco de alumínio muito bem

J

1/4/2022

Notas / Cuidados a ter

- Ao efetuar a medida das massas optamos por o fazer  
com o reporte e depois com as massas, ~~acrescentando-as~~ acrescentando-as  
uma a uma. Assim, garantimos que todos os valores da  
massa tiveram a mesma incerteza. Nisto, tivemos especial  
cuidado para garantir que mantinhamos as massas na bancada  
~~sempre~~ sempre na mesma ordem. Assim, por exemplo, subveríamos  
sempre a massa exata do reporte com 7 massas.

- Ao longo da cõrpa e descarga tentamos ser rápidos;  
de modo a não ocorrer creep. Dito isto, devoramos  
um pouco depois entre os processos de cõrpa e descarga

- Deve-se ainda notar que, devido a um erro na  
execução da fixação, que fez com que o reporte das massas  
oscilasse, o que influenciou os resultados de si obtidos.

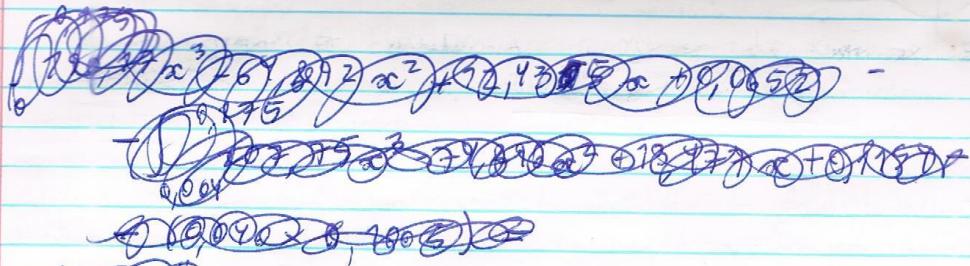
→ Estudo da Histerese Análise de Dados

1/4/2022

No total, podemos ver os dados obtidos no estudo da histerese, ao longo da corga e decarga da bando elástica. Na coluna  $F(\Delta L)$  calculamos os valores como  $F = mg$  ( $g \approx 9,81 \text{ m s}^{-2}$ ). Assim, consideramos que a força que atua no elástico será igual ao peso da massa suspensa nele. Constante se altera o valor da massa, fomos medindo  $L_c$  e  $L_d$ . No início determinamos que  $L_0 = (0,413 \pm 0,001) \text{ m}$ . Neste ponto da discussão medimos ainda os valores de  $a$ ,  $b$  e  $S = a \times b$  para o elástico com massa máxima e mínima.

A partir destes valores de  $\Delta L_c$ ,  $\Delta L_d$  e  $F$ , obtivemos o gráfico 1, em que temos a curva  $F(\Delta L)$  para a corga (o azul) e decarga (o laranja). Facilmente se observa o comportamento esperado para a histerese. Pode-se ainda reparar que os pontos de  $F(\Delta L)$  para  $\Delta L$  máximo não são concidentes. Isto poderá ter ocorrido devido a demasiada demora entre os finalizações da corga do elástico e o início da decarga do mesmo.

A partir deste gráfico podemos determinar o valor da energia dissipada neste processo, que será a área entre os dois círculos. Assim temos:



$$\int_0^{0,175} 207,75x^3 - 74,90x^2 + 13,48x + 0,115 dx -$$

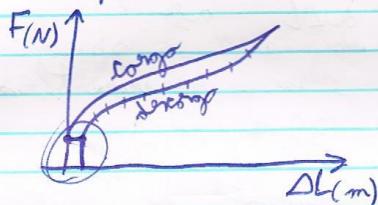
$$- \int_{0,000}^{0,175} 190,17x^3 - 64,81x^2 + 12,44x + 0,065 dx -$$

$$- (0,040 \times 0,100g) =$$

$$\approx 0,1484 - 0,1302 - 0,000402 = 1,78 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

Concluímos assim que a energia dissipada no processo de histerese foi de  $1,78 \times 10^{-2} \text{ J}$

- De notar que o termo " $(0,040 \times 0,1005)$ " da expressão anterior se refere à área do retângulo formado sólido das curvas e que não estava incluído na subtração dos integrais, como representado na figura abaixo:



- De notar ainda que, com o objetivo de simplificar os cálculos efetuados, considerou-se que as duas curvas terminavam no mesmo ponto, ou seja, no final da carga e no início da descarga o valor de  $\Delta L$  era o mesmo, algo que não se verifica na realidade.

- Sendo a partir dos dados da tabela 1, com os valores de  $a$  e  $b$  medidos, e os valores de  $S = a \times b$  correspondentes, pode-se obter a equação  $y = -3 \times 10^{-7}x + 1,4 \times 10^{-7}$ , que representa a variação de  $S$  com  $\Delta L$  (tabela 2).

- Assim, tendo em conta que  $\gamma = \frac{F}{S}$  e que  $\lambda = \frac{\Delta L}{L}$ , foi possível obter a tabela 3, em que temos os valores de  $F$ ,  $S$ ,  $\lambda$  e  $\gamma$  em função de  $\Delta L$  na carga e na descarga.

~~Assim na tabela 3 temos os valores do módulo de Young~~  
~~as tensões e os deslocamentos~~  
~~as tensões e os deslocamentos~~  
~~as tensões e os deslocamentos~~

- A partir dos dados da tabela 3 obtém-se o gráfico 2 que mostra  $\gamma(\lambda)$ .

- Assim, com a tabela 3 e o gráfico 2, podemos obter os valores experimentais de  $\gamma(\lambda)$ .

$$0,717 < \gamma < 13,9 \text{ MPa} \quad || \quad 0,00 < \lambda < 0,429 \text{ (s.u.)} \quad | \quad \text{[desenhos]}$$

~~0,717 < γ < 13,9 (MPa)~~      ~~0,00 < λ < 0,429 (s.u.)~~

$\rightarrow 0 < \lambda < 42,9 (\%)$

- Consultando referências online, conclui-se que para a goma de  $\lambda(\gamma)$  estudada, estes valores de  $\gamma$  são demasiado elevados.

- Por fim, tal como mostrado na tabela 3, foi determinado o valor de  $E$ , módulo de Young, em função de  $\Delta L$ . Para isto utilizou-se a fórmula

$$E = \frac{dF}{d\Delta L} \times \frac{L_0}{ab}$$

- Obteve assim o goma experimental de  $E$  (na cinta):

$$77,1 < E < 39,7 \text{ (MPa)}$$

, que, tal como o goma experimental de  $T$ , é bastante superior aos valores de referência da literatura Vulcanizada

- Estas duas diferenças entre os gomas ~~exp~~ experimentais e os valores de referência poderão ter vários origens, nomeadamente erros no execução da tensão experimental. Em especial, como  $E = \frac{dF}{d\Delta L} \frac{L_0}{ab}$ , ~~o erro~~ erros na medida de  $a$  e  $b$  poderiam tornar os valores de  $E$  obtidos bastante maiores.

~~• O resultado da tensão é sempre menor que o resultado, sugerindo que a tensão é menor que a tensão real. Isto é, a tensão é menor que a tensão real.~~

~~O resultado da tensão é sempre maior que o resultado, sugerindo que a tensão é maior que a tensão real. Isto é, a tensão é maior que a tensão real.~~

- Para finalizar o estudo do processo de histerese da banda elástica, fez-se os gráficos 3 e 7, que mostram, respetivamente, os residuos relativamente às regressões polinómicas  $F(\Delta L)$  para a cinta e descola (no gráfico 1). Como esperado, nem um destes gráficos mostra tendência, o que indica que o tipo de regressão escolhido não é mais adequado e ~~que~~ mostra os efeitos de erros aleatórios nos resultados obtidos.

- Por fim, no estudo do processo de histerese comprendeu-se o porquê de este não dever de ser estudado em simultâneo com o ~~“creep”~~ “creep”, uma vez que nesse caso os valores medidos estariam mais distorcidos do desejado, uma vez que a energia dissipada seria ainda maior.

## → Estudo do Creep ←

- No respeito neste da duração experimental realizou-se o estudo dos processos de "creep". Isto é, seguir-se-á o passo 5.1 do procedimento, decidindo 90,94 g suspensos no elástico.
- Assim, ao longo de cerca de 1000 s foi-se observando este processo e medindo o ~~comprimento L~~ comprimento  $L$ , assim como a elongação do elástico. Realizou-se isto em intervalos de cerca de 100 s.
- Tanto no estudo do creep como no de relaxamento temporal, fez-se a filmagem do processo com um telemóvel. No entanto, devido a uma baixa resolução do vídeo obtido e a certos problemas como oscilação da câmara, os resultados obtidos com o tracker eram muito imprecisos e ~~errados~~, como tal, optamos por não utilizar esses dados.
- Assim, com os valores de  $L$ ,  $\Delta L$ ,  $\lambda = \frac{\Delta L}{L_0}$  e de  $\Delta t$ , foi possível obter a tabela 4.
- Com os dados dessa tabela, foi ainda possível obter o gráfico 5, em que facilmente se vê que a relação  $\Delta L(\Delta t)$  não é linear e que a deformação ocorrida no processo de creep diminui ao longo do tempo.
- Ainda com dados da tabela 4, e tendo em conta que no processo de creep  $\Delta L = \Delta L_0(1 - e^{-kt})$ , decidimos determinar  $\ln\left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}\right)$  (sendo que  $\lambda_0 = 0,102$ ) com o objectivo de obter uma linearização da curva do gráfico. Assim, obtivemos o gráfico 6.
- Por fim, obtemos o gráfico de resíduos da linearização do creep, o gráfico 7. A partir dele podemos concluir que o método escolhido para a linearização está sido o correto.

## → Estudo do Relaxamento Temporal

- Por fim, estuda-se o processo de relaxamento de uma lâmina elástica. Para isso, seguimos o passo 6.2 do procedimento, removendo todos os massas e deixando apenas o suporte suspenso no elástico.
- Fazemos isto, uma vez que se retirassemos todo o cimento, o processo de relaxamento ocorreria mais rapidamente, mas seria bastante mais difícil fazer as medições de  $L$  e  $\Delta L$ .
- Desta forma, à semelhança do estudo do "creep", registramos dados em intervalos de 100 s, por cerca de 1000 s.
- Assim, obtemos a Tabela 5, com os valores de  $L$ ,  $\Delta L$  e  $\lambda$  determinados ao longo do tempo.
- Com estes dados podemos obter o gráfico 8, que mostra  $\Delta L$  em função do tempo, no processo de relaxamento. Tal como no "creep", verifica-se que ao longo do tempo  $\Delta L$  para um dado intervalo diminui; ou seja, a bauxita sofre maior deformação no início do processo.
- Assim, uma fonte de erro no estudo deste processo deve-se a esta realidade. Ou seja, no execução da medida demoramos um pouco de tempo a mais entre a finalização do estudo de "creep" (e descarga do elástico) e o início do registo de dados do relaxamento. Assim, não obtemos por não conseguirmos obter dados correspondentes à fase de maior deformação da bauxita.
- À semelhança do estudo do "creep", e como no relaxamento se tem que  $\Delta L = \Delta L_0 e^{kt}$ , com o objetivo de linearizar os dados calculámos  $\ln(\Delta L)$ , obtendo assim o gráfico 9.
- Por fim, obtemos o gráfico 10, que apresenta os resíduos relativos à linearização no gráfico 8. Dado à sua ocorrência pode-se concluir que o método usado para fazer a linearização terá sido adequado.

## Conclusões

Conforme aquilo exposto e explicado previamente, pode-se concluir que nessa trituração foram verificados 3 processos viscoelásticos: histerese, creep e relaxamento. Pode-se ainda concluir que estes podem ocorrer em simultâneo.

No estudo de histerese foi ainda possível verificou-se a curva  $F(SL)$  para o carga e descarga, que permite concluir que, numa banda elástica pré-tensionada, a relação entre estas duas componentes não é linear.

Ao longo da trituração determinou-se os gomas experimentais de  $\dot{\epsilon}$  e  $E$ , que foram sempre menores do esperado para a goma de  $\lambda$  ( $\lambda$ ) estudada. Isto pode levar à conclusão que nessa trituração se ultrapassou o limite do regime plástico desse borracha.

Viu-se ainda que no processo de carga e descarga da banda elástica ocorre dissipação de energia. Isto, em grande parte, deve-se ao efeito de "creep" que ocorre. Assim, quanto mais tempo se demorar na carga e descarga, maior será a energia dissipada.

Por fim, no estudo do "creep" e relaxamento foram obtidos curvas  $SL(t)$  que apresentam formações dentro do esperado, com maior deformação ocorrida por intervalos de tempo no início.

## Questões

i → Pode-se concluir que a borracha teve comportamento elástico nesta trituração, uma vez que não sofreu deformações permanentes. Por outros parâmetros, a borracha teve um certo comprimento no início da trituração, que aumentou ao receber maior peso. No entanto, após o relaxamento e seu comportamento era aproximadamente o inicial.

ii → Viu-se que o ~~gráfico~~ gráfico  $F(SL)$  obtida na carga e descarga é diferente. Ou seja, na descarga a borracha ~~precisou de~~ ~~mais tempo~~ ~~para~~ ~~desenvolver~~ precisou de mais força para voltar a um certo comprimento que tivesse durante a descarga. Isto ocorreu devido à histerese, o processo em que um material tende a manter o seu estado anterior, que neste caso era o estado "esticado", sobre tensão.

iii) → Na atividade realizada, facilmente se conclui que é preferível utilizar grandezas extensivas ( $F$  e  $\Delta L$ ) em vez de intensivos ( $T$  e  $\lambda$ ). Em grande parte, isto ~~deve-se~~ deve-se ao facto que estes grandezas são mais fáceis de medir, e com menor incerteza. Por outro lado, com  $\lambda = \frac{\Delta L}{L_0}$  e  $T = \frac{F}{\alpha L}$ , os grandezas intensivos estarão associados a maiores incertezas e erros, pois dependem ~~de~~ de outras medições. Notadamente  $T$ , por depender de  $a$  e  $b$ , está suscetível a ~~uma~~ uma grande probabilidade de erro, pois  $a$  e  $b$  são especialmente difíceis de medir com exatidão.

iv) Na borracha estudada, o  $F(\Delta L)$  não segue a lei de Hooke. Segundo esta lei, o módulo de Young,  $E$ , é constante no regime elástico de um dado material. No entanto, como visível na Tabela 3, o módulo de Young obtido varia com  $\lambda$ , tendo que atingir um valor mínimo e logo depois volta a aumentar.

Dito isto, no gráfico 2 podemos ver que a curva desenhada pelo gráfico  $T(\lambda)$  não é linear, mas está bastante próxima disso; de tal modo que o  $R^2$  correspondente à regressão linear feita para a carga é de 0,9978. Isto faz sentido uma vez que apesar de não cumprir a lei de Hooke e possuir o regime elástico, o comprimento da banda elástica no início e fim da atividade é aproximadamente o mesmo, tendo que este apresentar comportamento elástico.

v) Após pesquisar os valores de  $T$  médios da ~~borracha~~ borracha, conclui-se que aqueles obtidos nata atividade experimental correspondem a valores ~~normais~~ normalmente observados numa borracha próxima ao seu ponto de cedência. Tal como explicado previamente, isto é concordante com o comportamento observado.

*Anaçor*

Carga e Descarga									
m (kg)	F (N)	Lc (m)	$\Delta Lc$ (m)	Ld (m)	$\Delta Ld$ (m)	a (m)	b (m)	S ( $m^2$ )	
±0,0001	±0,01	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,0005	± 0,00001	± 0,00001	±5,0E-9	
0,0102	0,1005	0,4130	0,0000	0,4170	0,0040	0,00033	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	0,00022	0,000413	9,30E-08	

Tabela 1 - Estudo da histerese por carga e descarga

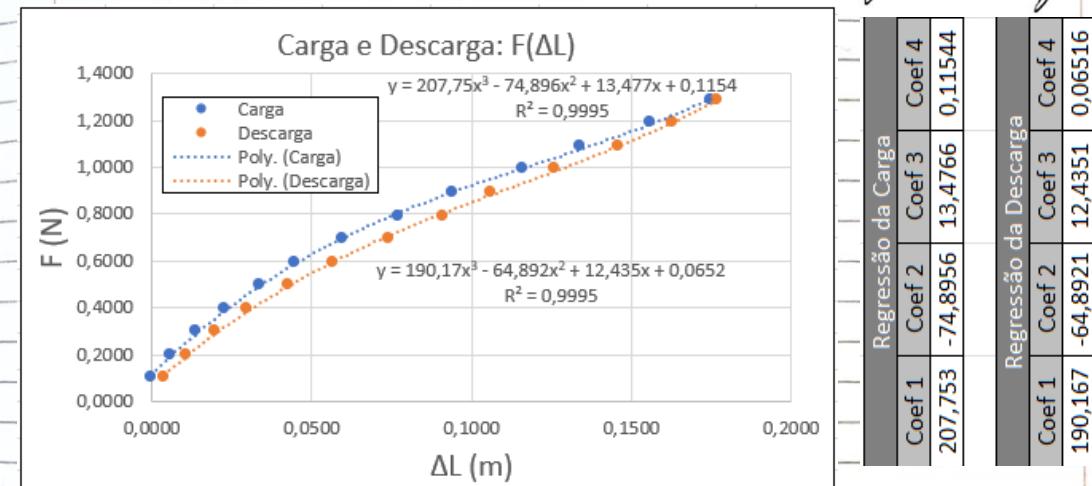


Gráfico 1 - Curva  $F(\Delta L)$  para carga e descarga

Análise Estatística		
declive (m)	-2,7E-07	1,4E-07
u(m)	0	0
$r^2$	1	0
		sy

Tabela 2 - Regressões de  $S = a \times b$

F(N)	$\Delta Lc$ (m)	$\Delta Ld$ (m)	S ( $m^2$ )	$\lambda_c$ (s.u.)	$u(\lambda_c)$ (s.u.)	$\lambda_d$ (s.u.)	$u(\lambda_d)$ (s.u.)	$\tau$ (Pa)	$u(\tau)$ (Pa)	$E_c$ (MPa)
±0,01	± 0,0005	± 0,0005	±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 3 - Valores de  $F$ ,  $\Delta L$ ,  $\lambda$ ,  $\tau$  e  $E_c$  no estudo da histerese

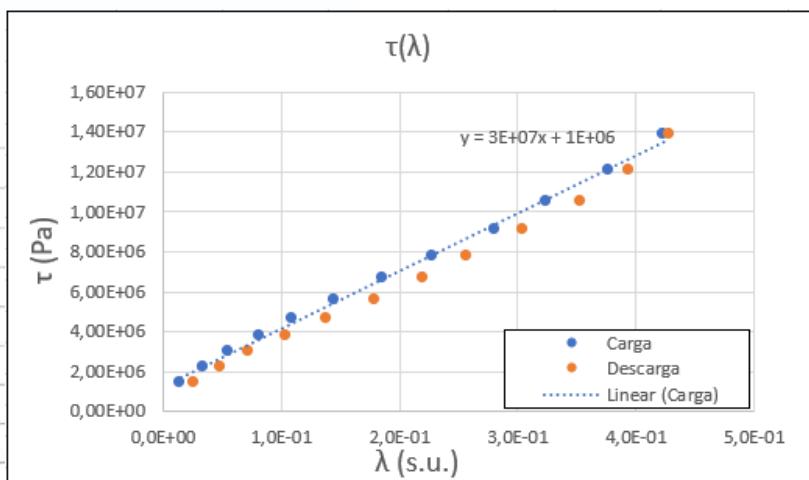
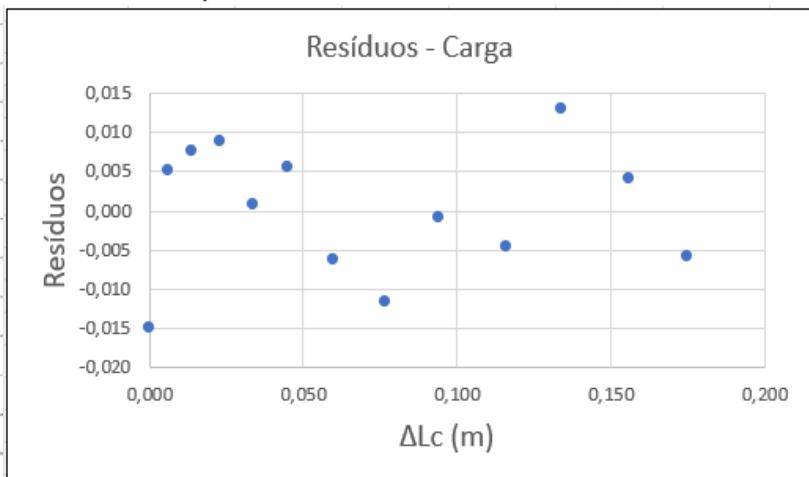


Gráfico 2 - Curvas  $\tau(\lambda)$  para o estudo de histerese, na carga e descarga do elástico



Gráficos 3 - Resíduos correspondentes à curva da carga no gráfico 1

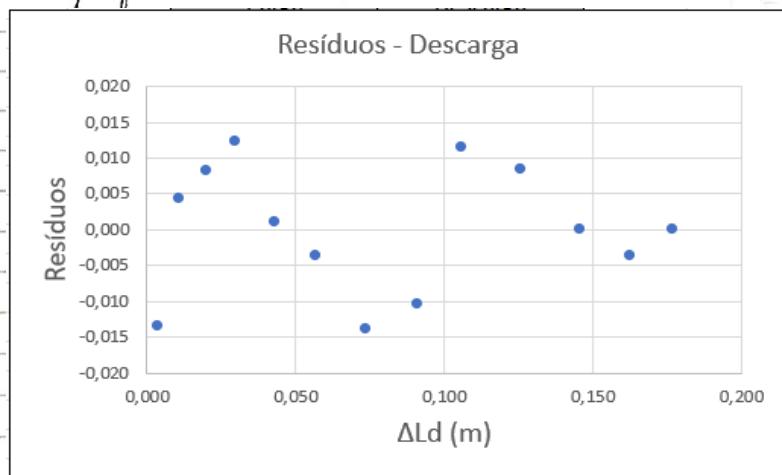


Gráfico 4 - Resíduos da curva da descarga no gráfico 1

"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

Tabela 4 - Estudo do "Creep"

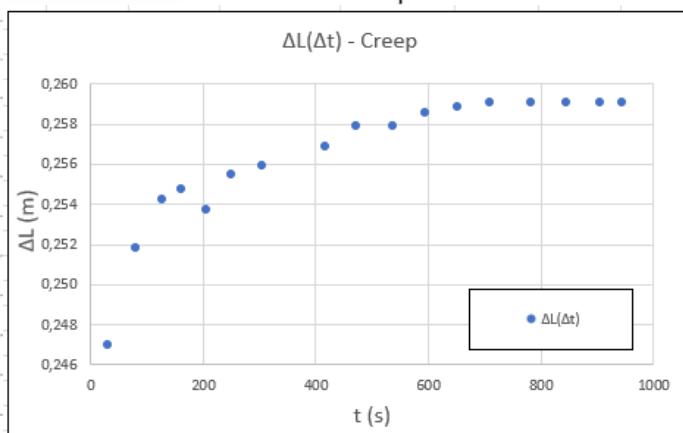


Gráfico 6 - linearização dos dados do gráfico 5

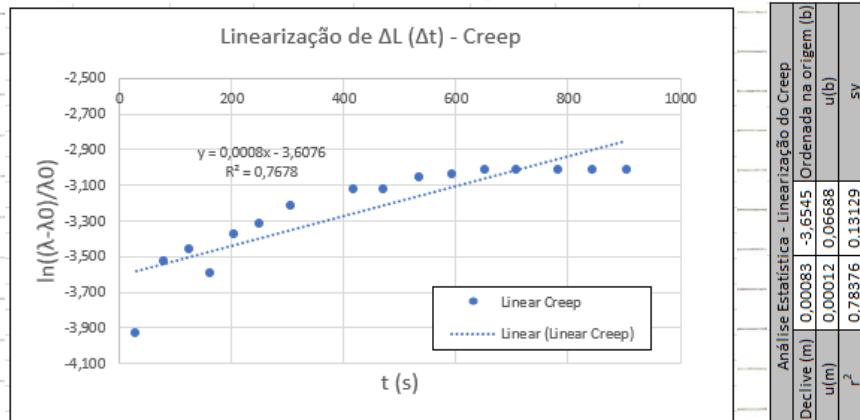


Gráfico 6 - linearização dos dados do gráfico 5

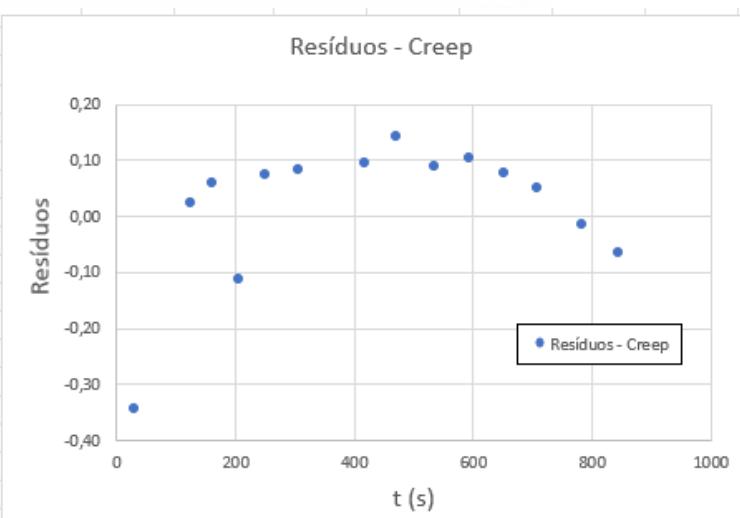


Grafico 7 - Resíduos correspondentes ao grafico 6

Relaxamento						
$m$ (kg)	$L$ (m)	$\Delta L$ (m)	$\lambda$ (s.u.)	$\ln(\Delta L)$	$\Delta t$ (s)	$\pm 0,1$
$1,03E-02$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	$\pm 1,25E-3$	*	12
	0,418	0,005	0,012	-5,521	71	
	0,417	0,004	0,010	-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 - Estudo do Relaxamento temporal

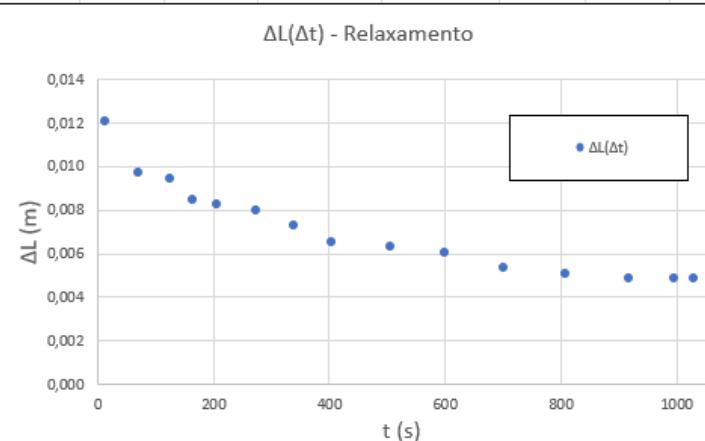


Grafico 8 - Fatores  $\Delta L(\Delta t)$  para o estudo do relaxamento

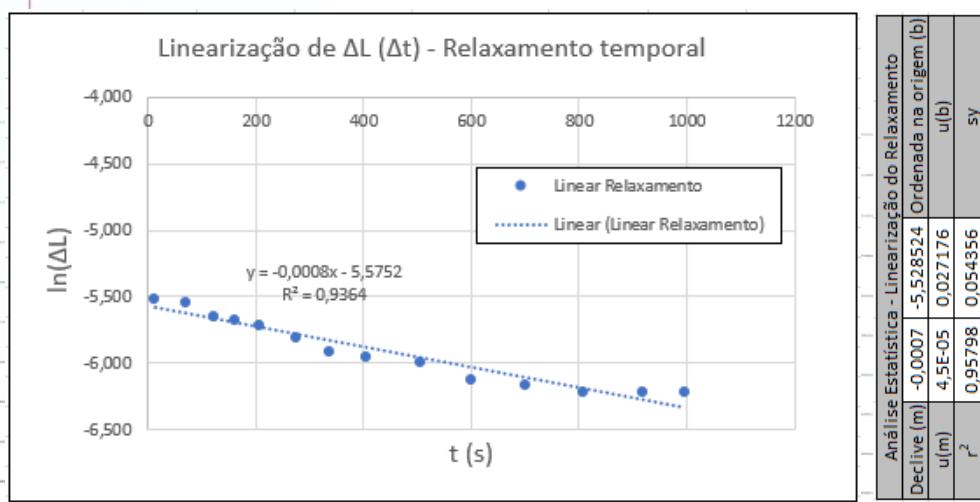


Gráfico 9 - linearização dos dados do gráfico 8

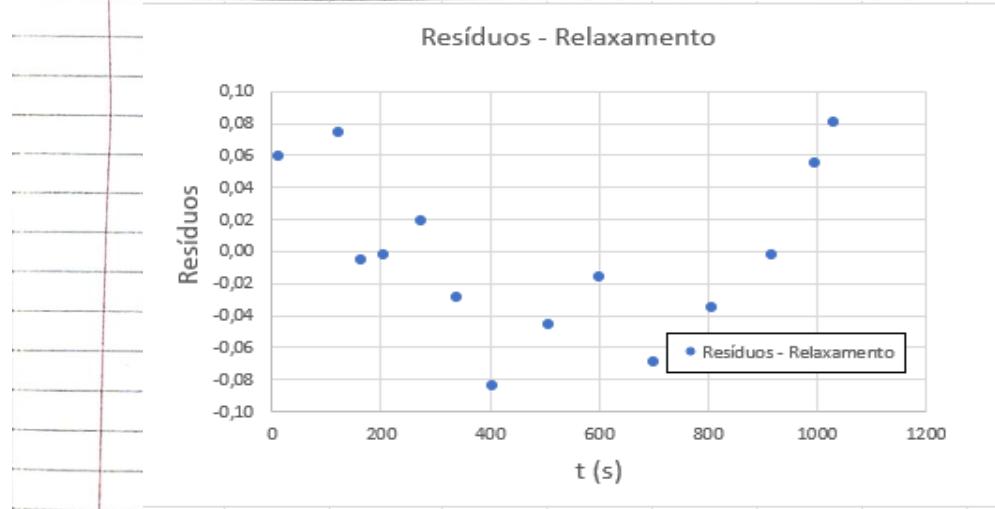


Gráfico 10 - Resíduos correspondentes ao gráfico 9