Insatisfatória em
- Contas
- Gráficos

40

Trabalho 5B

Estudo de comportamentos visco-elásticos - borracha vulcanizada

Yoana Aragão, grupo 4, PL1

Ajustes

→ Objetivos

Algarismos

• Verificação da ocorrência de 3 comportamentos viscoelásticos numa banda de borracha vulcanizada, sujeita a tensões de tração: ~~histere~~ histerese, creep e relaxação temporal.

Apresentação de dados

• Cálculo da energia de deformação elástica dissipada no processo carga-descarga;

• Identificação do tipo de perfil (i) tensão/deformação relativa, $\tau(\lambda)$, nos casos tanto de carga como na descarga no âmbito do estudo da histerese (ii) da evolução temporal da deformação relativa, $\lambda(t)$, nos casos de ocorrência de "creep" e de relaxação temporal.

• Determinação de valores representativos do módulo de Young, apenas no caso da carga.

→ Procedimento experimental

1) Assegurar a montagem representada na figura.

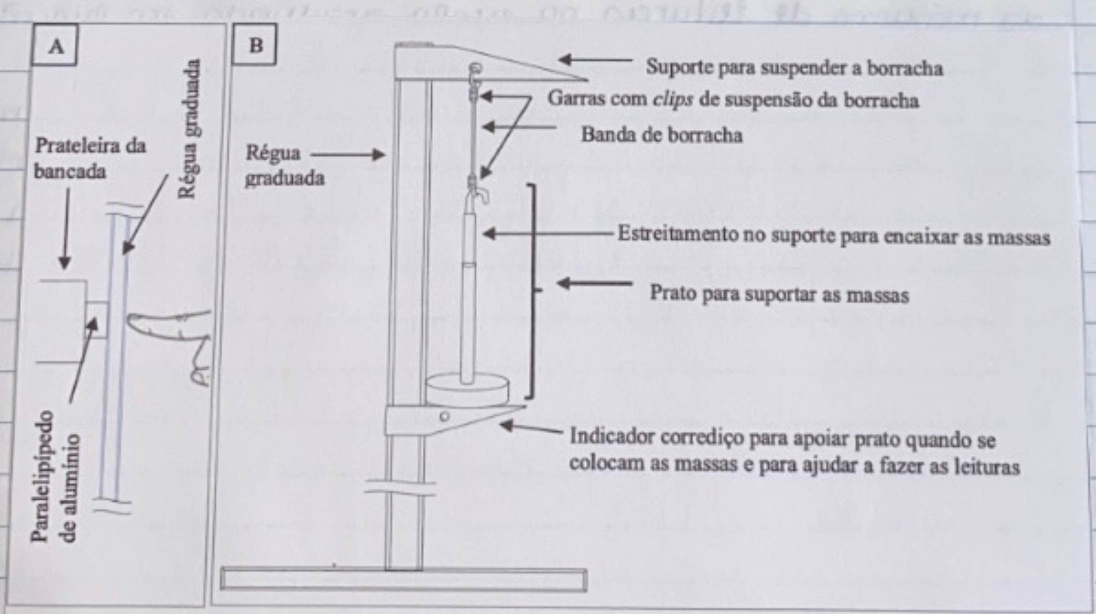


Figura 1 - Esquema da montagem experimental: A - pormenor da fixação da régua graduada à bancada; B - componentes da montagem experimental.

2) Medir o comprimento da banda de borracha entre os suportes da mesma e estimar a área da secção reta da banda de borracha. Medir as massas de modo a que a incerteza associada à força de tração seja sempre a mesma;

3) Suspender o pequeno prato (~10g) na banda elástica. Manter o prato ligeiramente apoiado ao indicador corrediço inferior, antes de iniciar a experiência;

4) Colocar as massas uma a uma e depois retirá-las da mesma forma e recorrendo à escala vertical → manter escala vertical

5) Ao colocar e retirar as massas, garantir que não há oscilações verticais ou pendulares do prato;

6) Para colocar cada massa:

i) ao colocar, segurar no prato com uma das mãos enquanto a outra encaixa a massa de 10g.

ii) Não subir o prato durante o processo.

7) Proceder de modo semelhante para a descarga;

8) Registar os dados experimentais

9) Filmar com o telemóvel e estudar a ocorrência de:

i) "creep" → colocar ~80g a 100g suspensos na borracha e acompanhar o prato até o poder libertar. Fazer o registo do máximo de leituras na escala graduada em função do tempo, até a deformação estabilizar.

ii) Relaxação → segurar no prato, remover todas as massas, acompanhar o prato, segurando-o levemente, enquanto a borracha se deforma até o poder libertar sem oscilar. Registar o máximo de leituras em função do tempo, até a deformação estabilizar.

não sabem o que é secção recta!

Medições:

comprimento da banda de borracha: $L = (18{,}30 \pm 0{,}05)$ cm

7.5 cm² é 2.7 x 2.7 cm

largura = $(0{,}410 \pm 0{,}005)$ cm

4 mm?

não pode ser!

Área da secção reta = 7,503 cm² (Foi feita medição com micrómetro, tendo cuidado para não esmagar o fio)

~~Lo = 38,62 cm~~

Lo = ~~(39,70 ± 0,05) cm~~ (40,90 ± 0,05) cm

→ Dados retirados

Histerese

cuidado nas medições!

??

m (kg)	F (N)	Lc (cm)	Ld(cm)	ΔLc (m)	ΔLd (m)	a(cm)	b(cm)	S= ab (m^2)	L (m)
0,01	0,098	413	429	0,004	-0,23	18,3	0,41	0,0007503	40,9
0,02	0,196	421	439	0,012	-0,22				
0,03	0,294	428	445	0,019	-0,209				
0,04	0,392	436	461	0,027	-0,198				
0,05	0,49	445	477	0,036	-0,182				
0,06	0,588	458	493	0,049	-0,166				
0,07	0,686	471	509	0,062	-0,15				
0,08	0,784	487	526	0,078	-0,133				
0,09	0,882	501	545	0,092	-0,114				
0,1	0,98	524	566	0,115	-0,093				
0,11	1,078	540	583	0,131	-0,076				
0,12	1,176	561	600	0,152	-0,059				
0,13	1,274	576	615	0,167	-0,044				
0,14	1,372	561	630	0,192	-0,029				
0,15	1,47	620	642	0,211	-0,017				
0,16	1,568	640	654	0,231	-0,005				
0,17	1,666	659	659	0,250	0	42,5	0,321	0,00136425	65,9

413 cm = 4,13 m!

Não entendo valores das tabelas

Faltam pontos decimais

"Creep":

L_0 = (55,60 ± 0,05) cm

tempo (s)	L (cm)	ΔL(m)
0	55,6	0
50	55,7	0,001
100	55,8	0,002
170	55,9	0,003
200	56	0,004
270	56	0,004
350	56	0,004
400	56	0,004
600	56,1	0,005
800	56,1	0,005
966	56,1	0,005
1050	56,2	0,006
1100	56,2	0,006
1146	56,2	0,006

medido como?

Relaxação temporal

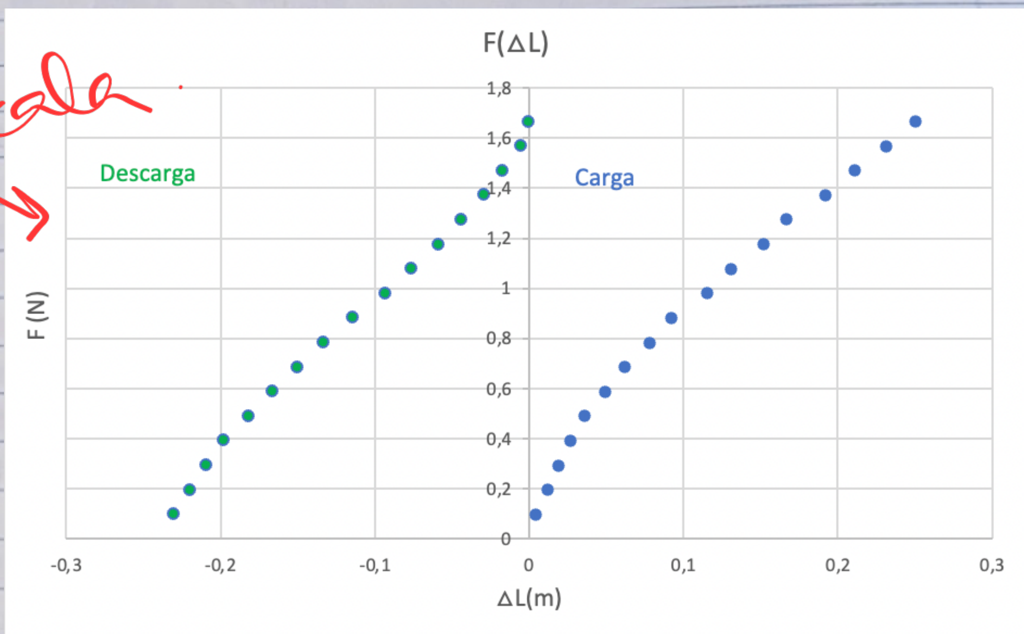
tempo (s)	L (cm)	ΔL(m)
0	42,3	0,009
26	42,1	0,007
35	42	0,006
44	41,9	0,005
69	41,8	0,004
99	41,7	0,003
150	41,6	0,002
189	41,6	0,002
323	41,5	0,001
360	41,5	0,001
400	41,5	0,001
525	41,4	0
604	41,4	0
700	41,4	0
780	41,4	0

mude cm

Análise dos resultados

Histerese

Escala



Descarga: $F = 128,26(\Delta L)^3 + 44,12(\Delta L)^2 + 10,055(\Delta L) + 1,6383$

Carga: $F = 100,35(\Delta L)^3 - 49,566(\Delta L)^2 + 12,569(\Delta L) + 0,0683$

Onde estão os fits sobrepostos aos dados?

· Energia elástica dissipada no processo

A energia dissipada pode ser calculada a partir da integração analítica das duas equações e respetivas subtrações.

$$Ed = \int_{-0,23}^{0} 128,26x^3 + 44,12x^2 + 10,055x + 1,6383\,dx$$

$$= \frac{128,26x^4}{4} + \frac{44,12x^3}{3} + \frac{10,055x^2}{2} + 1,6383x \Big|_{-0,23}^{0}$$

$$= 0 - \left(\frac{128,26\times(-0,23)^4}{4} + \frac{44,12\times(-0,23)^3}{3} + \frac{10,055\times(-0,23)}{2} + 1,6383\times(-0,23\right.$$

$$= -(0,089731 - 0,178936 + 0,2659475 - 0,37681)$$
$$= 0,20006025\,J$$

$$Ec = \int_{0,004}^{0,25} 100,35x^3 - 49,566x^2 + 12,569x + 0,0683\,dx$$

$$= \frac{100,35x^4}{4} - \frac{49,566x^3}{3} + \frac{12,569x^2}{2} + 0,0683x \Big|_{0,04}^{0,25}$$

$$= \left(\frac{100,35\times(0,25)^4}{4} - \frac{49,566.(0,25)^3}{3} + \frac{12,569.(0,25)^2}{2} + 0,0683.(0,25)\right) -$$
$$-\left(\frac{100,35.(0,004)^4}{4} - \frac{49,566.(0,004)^3}{3} + \frac{12,569.(0,004)^2}{2} + 0,0683.(0,004)\right) =$$

$$= 0,097998 - 0,258156 + 0,39278 + 0,017075) - (6,4224\times10^{-9} - 1,0574\times10^{-6} + 1,00552\times10^{-4} + 2,732\times10^{-4}) =$$

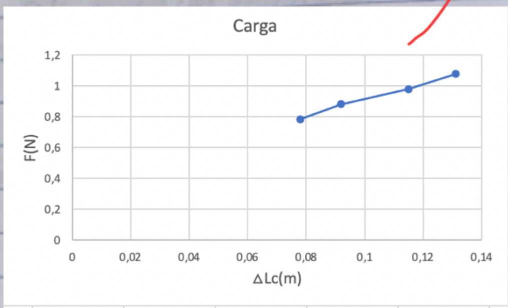
$$= 0,249697 - 3,7270\times10^{-4} = 0,249324\,J$$

$$Edissipada = 0,249324 - 0,20006025 = 0,0492638\,J$$

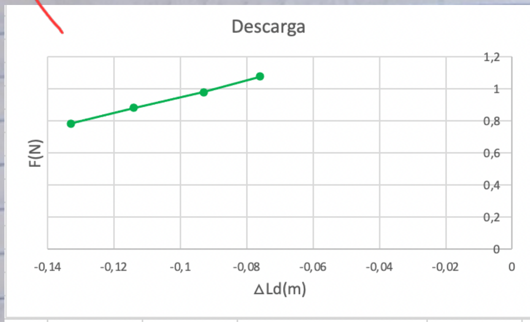
algarismos significativos

Processo incorreto.

Para determinar o módulo de Young (E), os gráficos foram delimitados em pontos de modo a que fiquem praticamente lineares.



		y=5,34012x+0,375628
5,34011976	0,37562754	
0,34468243	0,03653227	
0,99173653	0,01408567	



		y=5,096425x+1,461028
5,0964247	1,46102817	
0,140457	0,01491591	
0,99848321	0,00603475	

$E = \frac{\tau}{\lambda} \Leftrightarrow E = \frac{F}{S} \times \frac{L_0}{\Delta L} \Leftrightarrow F = \frac{E \times S}{L_0} \Delta L$

carga: $F = 5,34012 \Delta L + 0,375628$

$\frac{E \times S}{L_0} = 5,34012$

$\Leftrightarrow \frac{E \times 0,0007503}{0,409} = 5,34012$

$\Leftrightarrow E = 2910,98$

Descarga: $F = 5,096425 \Delta L + 1,461028$

$\frac{E \times S}{L_0} = 5,096425$

$\Leftrightarrow \frac{E \times 0,00136425}{0,659} = 5,096425 \Leftrightarrow$

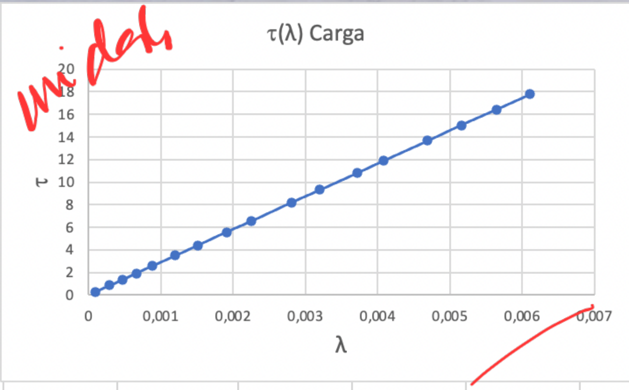
$\Leftrightarrow E = 2461,82$

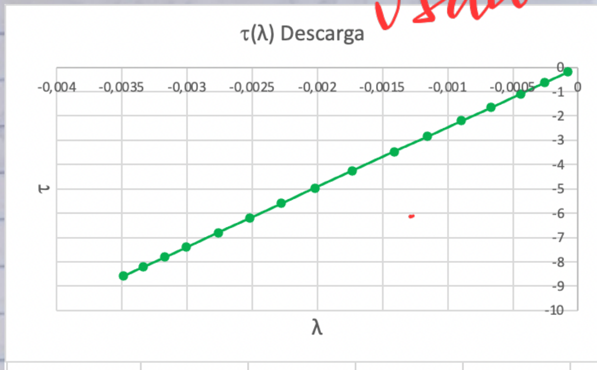
valores ñ fazem sentido (E em ab).

O que é este gráfico. A lei de Hooke com o E usado

• Estimativa da densidade de energia elástica

unidades





2910,98	8,8818E-16
1,6008E-13	5,2165E-16
1	1,2707E-15

2461,82	1,7764E-15
1,07541E-13	2,3044E-16
1	4,8257E-16

Carga: $\tau = 2910,98\lambda + 3,55\times10^{-15}$

não precisa disto para calcular área do triângulo

$$\delta = \int_{9,78\times10^{-5}}^{6,11\times10^{-3}} 2910,98\,\lambda + 3,55\times10^{-15}\, d\lambda$$

$$= \frac{2910,98\lambda^2}{2} + 3,55\times10^{-15}\lambda \Big|_{9,78\times10^{-5}}^{6,11\times10^{-3}}$$

$$= \left(\frac{2910,98}{2}\times(6,11\times10^{-3})^2 + 3,55\times10^{-15}\times(6,11\times10^{-3})\right) -$$

$$\left(\frac{2910,98}{2}\times(9,78\times10^{-5})^2 + 3,55\times10^{-15}\times(9,78\times10^{-5})\right) =$$

$$= (0,054336 + 2,16905\times10^{-17}) - (1,39215\times10^{-5} + 3,4719\times10^{-19})$$

$$= 0,054336 - 1,39215\times10^{-5} = -1,392\times10^{-5}$$

?

que conta é esta?

Area $= 18\times6\times10^{-3}$

$= 0.11$

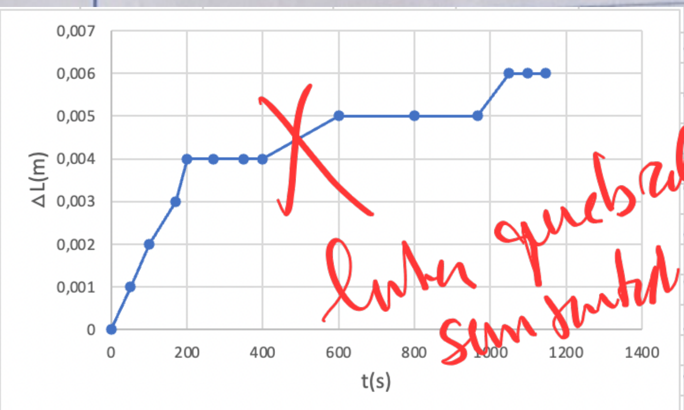
Descarga: $\tau = 2461{,}82\,\lambda$

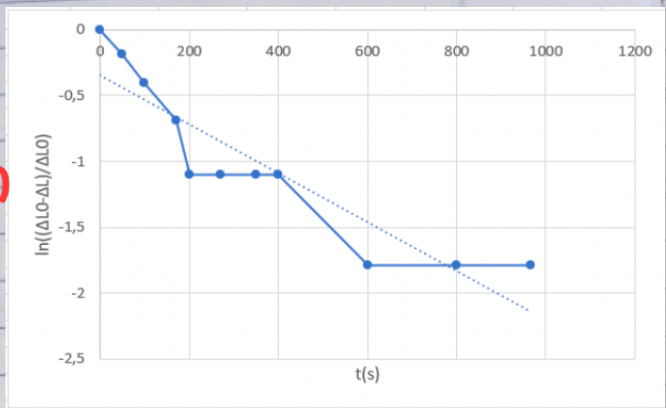
$$\delta = \int_{-0{,}00349}^{-7{,}6\times10^{-5}} 2461{,}82\lambda \, d\lambda = \frac{2461{,}82}{2}\lambda^2 \Big|_{-0{,}00349}^{-7{,}6\times10^{-5}} =$$

$$= \left(\frac{2461{,}82\times(-7{,}6\times10^{-5})^2}{2}\right) - \left(\frac{2461{,}82}{2}\times(-0{,}00349)^2\right)$$

$$= -0{,}01499$$

Estudo do "creep"





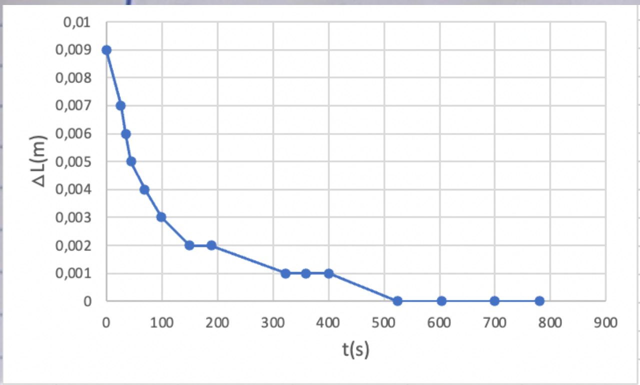
$$\Delta L = \Delta L_0\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \qquad \ln\left(\frac{\Delta L_0 - \Delta L}{\Delta L_0}\right) = -\frac{1}{\tau}t$$

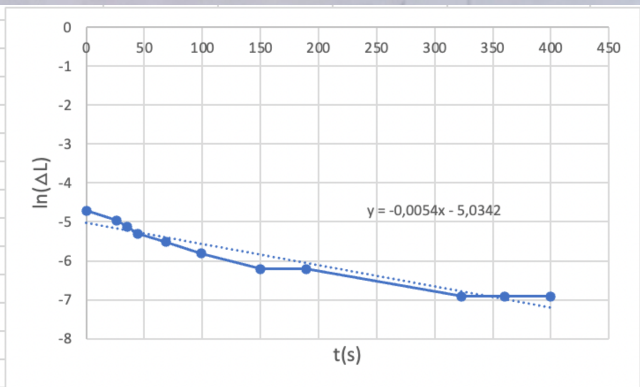
$$\Rightarrow \Delta L = 0{,}006\left(1 - e^{-0{,}00185t}\right), \qquad \ln\left(\frac{\Delta L_0 - \Delta L}{\Delta L_0}\right) = -0{,}00185\,t$$

$$-\frac{1}{\tau} = -0{,}00185$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{1}{0{,}00185}$$

Estudo da relaxação temporal





$$\ln(\Delta L) = \ln(\Delta L_0) - \frac{1}{\tau} t \qquad \Delta L = \Delta L_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\ln(\Delta L) = -5{,}1174 - 0{,}0054t \qquad \Leftrightarrow \Delta L = 0{,}009\, e^{-0{,}0054t}$$

$$-0{,}0054 = -\frac{1}{\tau}$$

$$\Leftrightarrow \tau = \frac{1}{0{,}0054} = 185{,}185$$

• Conclusões

Quando foi analisado o fenómeno de histerese elástica, foi calculada a energia elástica dissipada no processo, tendo-se obtido o valor 0,0492683 J. Também foram calculados os valores do módulo de Young. Chegamos a conclusão que a borracha utilizada tem um comportamento viscoelástico.

~~Ao Analisar~~ Analisamos os fenómenos de "creep" e relaxação temporal, que são característicos de um material viscoelástico. Os resultados obtidos ~~foram~~ corresponderam às expectativas.

Questionário

i) Sim, visto que, depois de ser removida a tensão, a borracha volta à sua forma inicial, ~~a~~ apresentando apenas uma pequena deformação.

ii) Deve-se à demora na colocação das massas durante a carga, que resulta no fenómeno de "creep", o que vai ser compensado pela relaxação temporal durante a descarga.
Na carga, o perfil é elastómetro pré-tensionado.

iii) É preferível o uso de grandezas extensivas pois podem ser medidas diretamente.

iv.) $F(\Delta L)$ não segue a lei de ~~a~~ Hooke, pois não se observa a tendência linear característica da lei.
O perfil $\tau(\Lambda)$ corresponde a um elastómetro pré-tensionado, tanto para a carga como para a descarga.

v) A gama experimental situa-se na região do perfil de um elastómetro pré-tensionado. Isso pode ser concluído dado que o ponto de cedência é aproximadamente 2,5 MPa e em toda a gama experimental temos $\tau < 2{,}5$ MPa.