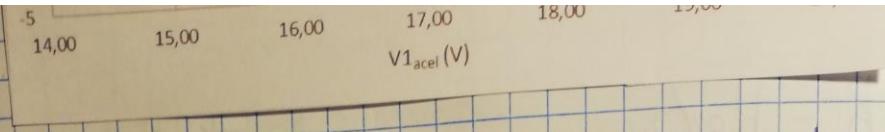


Traçando o gráfico dos resíduos, em cima apresentado, reparamos que tem uma forma que se assemelha a uma parábola o que nos dá a entender que isso seria a melhor forma de representar os resultados: com uma parábola, e não com uma reta.

Algarismos significativos do Excel (-5)

Estimativa de incerteza (-5)

90%

Trabalho 5B

→ Estudo de Comportamentos Viscoelásticos de uma Borracha Vulcanizada.

Objetivos:
- Verificar e estudar o acontecimento de 3 comportamentos viscoelásticos: histerese elástica; creep; relaxação
- Calcular a energia de deformação elástica dissipada no processo carga-descarga
- identificar tensão/deformação relativa para a histerese, e a evolução temporal da deformação, para o creep e a relaxação

- determinar os valores do módulo de Young

Procedimento

- medir o comprimento e as arestas da banda
- ter o prato sempre apoiado no suporte
- nunca deixar oscilar, caso contrário, repete-se a experiência.
- manter a escala vertical, e evitar qualquer tipo de inclinação
- colocar as massas uma a uma
- evitar a ocorrência de creep nesta fase

Dados a registar:
- massa total suspensa
- L_0 → comprimento inicial
- L → comprimento
- a, b → arestas

Para o creep: meter entre 800 100 g e gravar a deformação que acontece ao longo do tempo

Para a relaxação: fazer o mesmo processo do creep, mas só com uma ou nenhuma massa

5 mm?

No laboratório:

incerteza de régua: ±0,5 cm

m (g)	L_0 (cm)	L_d (cm)	a (mm) (±0,05 cm)	b (mm) (±0,05 cm)
10,0 g	379,0	383,5	2 mm	2 mm
20,0	384,0	391,5		
30,0	390,0	399,5		
40,0	396,0	409,5		
50,0	404,5	420,0		
60,0	414,5	432,5		
70,0	426,5	445,5		
80,0	439,0	455,0		
90,0	453,0	473,5		
100,0	469,0	487,0		
110,0	486,0	501,5		
120,0	505,0	515,0		
130,0	523,5		1 mm	1 mm
~~140,0~~				

Análise de dados

→ Para o estudo da histerese:

Usando a segunda lei de Newton, obtemos a força aplicada à borracha com $F = ma$, com $a = g = 9{,}81\ m\,s^{-2}$

Área de secção da borracha: $S = ab$

Tensão: $\frac{F}{S}$

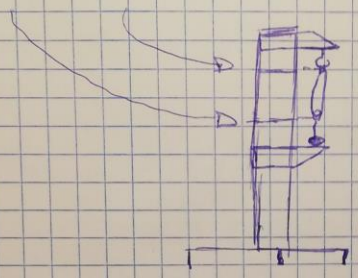
m (g)
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130

Deformação:

- No processo de carga: $(\Delta L_c - 379,0) \times 10^{-3}$
- No processo de descarga: $(\Delta L_d - 379,0) \times 10^{-3}$

Comprimento inicial da borracha:

$$L_i = 216 - 40 = 176\ mm$$



a borracha comeca na marca dos 40 mm

e acaba na marca dos 216 mm

(apenas com o prato, sem pesos)

Comprimento final:

$$L_f = L_i + \sum_{i=1} \Delta L_{c_i}$$

$$\Leftrightarrow L_f = 176 + \sum_{i=1} \Delta L_{c_i}$$

É assim, com os valores medidos no laboratório e as ~~formulas~~ formulas apresentados, criamos esta tabela no excel:

m (g)	F (N)	T (Pa)	L_c (mm)	L_d (mm)	ΔL_c (m)	ΔL_d (m)	a (mm)	b (mm)	S (m^2)	L (mm)	F carga ajuste (N)	F descarga ajuste (N)	F carga resíduos	F descarga resíduos
			u(L_c)=0.5 mm	u(L_d)=0.5 mm			u(a)=0.5 mm	u(b)=0.5 mm						
10	9.81E-02	2.45E+04	379.0	383.5	0	0.0045	2	2	4.00E-06	176	1.16E-01	9.88E-02	-1.82E-02	-6.79E-04
20	1.96E-01		384.0	391.5	0.005	0.0125					1.98E-01	1.98E-01	-1.53E-03	-2.20E-03
30	2.94E-01		390.0	399.5	0.011	0.0205					2.88E-01	2.89E-01	5.93E-03	4.92E-03
40	3.92E-01		396.0	409.5	0.017	0.0305					3.72E-01	3.92E-01	2.07E-02	9.51E-05
50	4.91E-01		404.4	420.0	0.0254	0.0410					4.77E-01	4.89E-01	1.34E-02	1.22E-03
60	5.89E-01		414.5	432.5	0.0355	0.0535					5.88E-01	5.93E-01	7.52E-04	-4.09E-03
70	6.87E-01		426.5	445.5	0.0475	0.0665					7.00E-01	6.90E-01	-1.32E-02	-3.17E-03
80	7.85E-01		439.0	459.0	0.06	0.0800					7.98E-01	7.84E-01	-1.31E-02	1.11E-03
90	8.83E-01		453.0	473.5	0.074	0.0945					8.90E-01	8.81E-01	-7.24E-03	1.59E-03
100	9.81E-01		469.0	487.0	0.09	0.1080					9.80E-01	9.74E-01	6.85E-04	7.12E-03
110	1.08E+00		486.0	501.5	0.107	0.1225					1.07E+00	1.08E+00	1.12E-02	-1.97E-03
120	1.18E+00		505.0	515.0	0.126	0.1360					1.17E+00	1.19E+00	8.50E-03	-1.29E-02
130	1.28E+00	1.28E+06	523.5	523.5	0.1445	0.1445	1	1	1.00E-06	320.5	1.28E+00	1.27E+00	-8.25E-03	8.46E-03

Tabela 1

Criamos o seguinte gráfico, onde pusemos a força em função da deformação, tanto no caso da carga (a azul), como da descarga (a laranja)

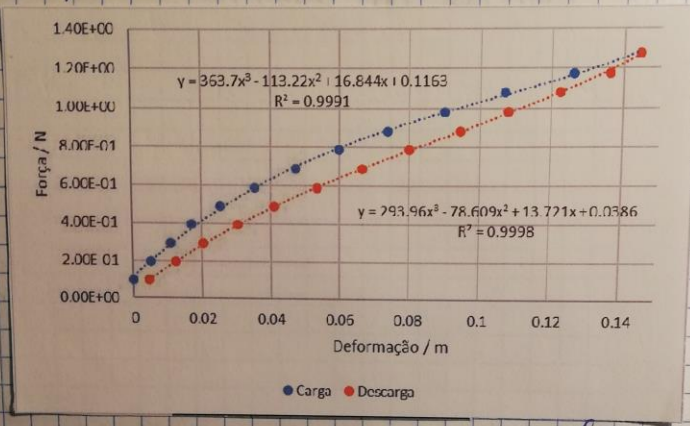


gráfico 1

No gráfico 1, o ajuste feito foi um ajuste polinomial de grau 3.

Este ajuste tem os seguintes coficientes polinómio do

	x^3	x^2	x	c
Equação carga	363.7	-113.22	16.844	0.1163
Equação descarga	293.96	-78.609	13.721	0.0386

tabela 2

algarismos significativos e incertezas

A energia total é dada pela área debaixo das curvas.

$$E_{carga} = \int_0^{0,1445} 363,7x^3 - 113,22x^2 + 16,844x + 0,1163\,dx$$

$$= 0,118\ J$$

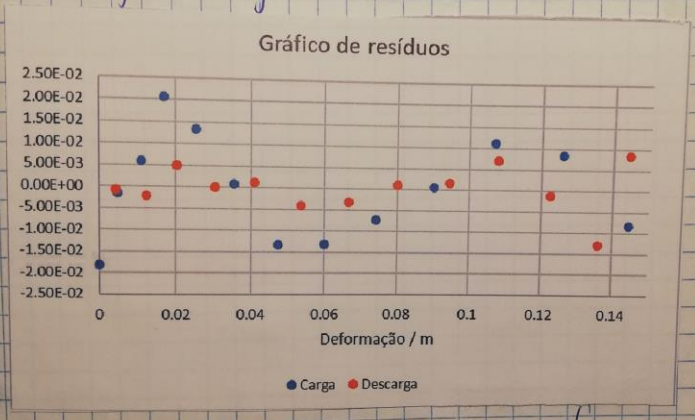
$$E_{descarga} = \int_{0,0045}^{0,1445} 293,96x^3 - 78,609x^2 + 13,721x + 0,0386\,dx$$

$$= 0,102\ J$$

A energia dissipada é dada pela diferença das duas energias, que é a área entre as curvas.

$E_{dissipada} = 0,118\,J - 0,102\,J = 0,016\,J$

Criamos o gráfico de resíduos com ~~os valores~~ a diferença entre os valores de força experimentais, e os obtidos pelo ajuste



gráfico

Vemos que o ajuste é adequado, já que os resíduos se distribuem de forma aleatória

Lei de Hooke: $\tau = E\lambda \quad ; \quad \lambda = \frac{\Delta L}{L_0} \quad ; \quad \tau = \frac{F}{S}$

$\Leftrightarrow F = \tau S$

$\Leftrightarrow F = E\lambda S$

$\Leftrightarrow \boxed{F = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot E \cdot S}$

declive da reta tangente $\leftarrow \quad \Leftrightarrow \frac{F}{\Delta L} = \frac{E S}{L_0}$

$\Leftrightarrow E = \frac{m L_0}{S}$

O ajuste tem equação $ax^3 + bx^2 + cx + d$

Logo, a derivada é $3ax^2 + 2bx + c$

Neste caso, x é o ΔL

Usando diferentes valores de ΔL, calculamos vários valores de declives de retas tangentes ao gráfico (tabela 3) do ajuste, calculando assim vários valores do módulo de Young (tabela 4)

Declive carga	Declive descarga
1.68E+01	1.30E+01
1.57E+01	1.19E+01
1.45E+01	1.09E+01
1.33E+01	9.75E+00
1.18E+01	8.76E+00
1.02E+01	7.83E+00
8.55E+00	7.17E+00
7.19E+00	6.79E+00
6.06E+00	6.74E+00
5.30E+00	7.03E+00
5.11E+00	7.70E+00
5.63E+00	8.65E+00
6.91E+00	9.42E+00

tabela 3

E carga	E descarga
7.41E+05	5.73E+05
6.93E+05	5.23E+05
6.37E+05	4.78E+05
5.86E+05	4.29E+05
5.19E+05	3.85E+05
4.48E+05	3.45E+05
3.76E+05	3.15E+05
3.16E+05	2.99E+05
2.67E+05	2.97E+05
2.33E+05	3.09E+05
2.25E+05	3.39E+05
2.48E+05	3.81E+05
3.04E+05	4.14E+05

tabela 4

Depois, com os valores da tabela 4, criamos o gráfico 3:

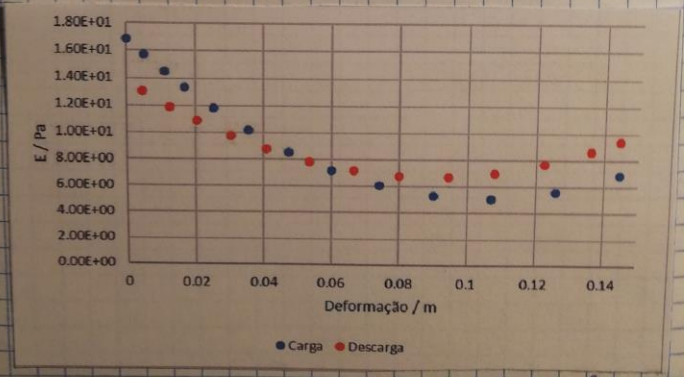


gráfico 3

Percebemos assim que a borracha não segue a lei de Hooke

Passando agora para o estudo do creep:

Para obter estes valores, pusemos 80 g no final preso ao elástico.

Contamos cerca de 12 minutos do movimento do elástico.

Mais tarde, analisamos o vídeo, analisando o comprimento do sistema de 10 em 10 segundos.

Tempo (s)	L (mm)	ΔL (m)	$\ln((\Delta L-\Delta L_0)/\Delta L_0)$	$\ln((\Delta L_0-\Delta L_\infty)/\Delta L_0)$ ajuste	resíduos $\ln((\Delta L_0-\Delta L_\infty)/\Delta L0)$	ΔL (m) ajuste	resíduos ΔL (m)
40	443	0	0.00E+00	-1.82E-01	1.82E-01	6.3E-03	-6.35E-03
50	444.5	1.5E-03	-2.29E-01	-2.27E-01	-2.06E-03	1.5E-03	1.20E-05
60	445	2.0E-03	-3.19E-01	-2.72E-01	-4.63E-02	1.7E-03	2.53E-04
70	445	2.0E-03	-3.19E-01	-3.18E-01	-9.71E-04	2.0E-03	5.18E-06
80	445.5	2.5E-03	-4.17E-01	-3.63E-01	-5.41E-02	2.2E-03	2.68E-04
90	445.5	2.5E-03	-4.17E-01	-4.08E-01	-8.72E-03	2.5E-03	4.23E-05
100	446	3.0E-03	-5.26E-01	-4.54E-01	-7.26E-02	2.7E-03	3.26E-04
110	446	3.0E-03	-5.26E-01	-4.99E-01	-2.72E-02	2.9E-03	1.20E-04
120	446	3.0E-03	-5.26E-01	-5.45E-01	1.81E-02	3.1E-03	-7.78E-05
130	446.5	3.5E-03	-6.49E-01	-5.90E-01	-5.92E-02	3.3E-03	2.34E-04
140	446.5	3.5E-03	-6.49E-01	-6.35E-01	-1.38E-02	3.4E-03	5.32E-05
150	446.5	3.5E-03	-6.49E-01	-6.81E-01	3.16E-02	3.6E-03	-1.19E-04
160	447	4.0E-03	-7.89E-01	-7.26E-01	-6.29E-02	3.8E-03	2.16E-04
170	447	4.0E-03	-7.89E-01	-7.71E-01	-1.76E-02	3.9E-03	5.90E-05
180	447	4.0E-03	-7.89E-01	-8.17E-01	2.78E-02	4.1E-03	-9.14E-05
190	447.5	4.5E-03	-9.52E-01	-8.62E-01	-8.95E-02	4.2E-03	2.65E-04
200	447.5	4.5E-03	-9.52E-01	-9.08E-01	-4.41E-02	4.4E-03	1.28E-04
210	447.5	4.5E-03	-9.52E-01	-9.53E-01	1.26E-03	4.5E-03	-3.57E-06
220	448	5.0E-03	-1.15E+00	-9.98E-01	-1.48E-01	4.6E-03	3.71E-04
230	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.04E+00	-1.02E-01	4.7E-03	2.51E-04
240	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.09E+00	-5.70E-02	4.9E-03	1.37E-04
250	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.13E+00	-1.16E-02	5.0E-03	2.73E-05
260	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.18E+00	3.37E-02	5.1E-03	-7.73E-05
270	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.23E+00	7.91E-02	5.2E-03	-1.77E-04
280	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.27E+00	1.25E-01	5.3E-03	-2.73E-04
290	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.32E+00	1.70E-01	5.4E-03	-3.64E-04
300	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.36E+00	2.15E-01	5.5E-03	-4.51E-04
310	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.41E+00	2.61E-01	5.5E-03	-5.35E-04
320	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.45E+00	3.06E-01	5.6E-03	-6.14E-04
330	448	5.0E-03	-1.15E+00	-1.50E+00	3.51E-01	5.7E-03	-6.90E-04
340	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.54E+00	1.55E-01	5.8E-03	-2.63E-04
350	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.59E+00	2.01E-01	5.8E-03	-3.33E-04
360	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.63E+00	2.46E-01	5.9E-03	-3.99E-04
370	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.68E+00	2.91E-01	6.0E-03	-4.63E-04
380	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.72E+00	3.37E-01	6.0E-03	-5.23E-04
390	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.77E+00	3.82E-01	6.1E-03	-5.81E-04
400	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.82E+00	4.28E-01	6.1E-03	-6.37E-04
410	448.5	5.5E-03	-1.39E+00	-1.86E+00	4.73E-01	6.2E-03	-6.90E-04
420	449	6.0E-03	-1.71E+00	-1.91E+00	1.99E-01	6.2E-03	-2.40E-04
430	449	6.0E-03	-1.71E+00	-1.95E+00	2.45E-01	6.3E-03	-2.88E-04
440	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.00E+00	2.90E-01	6.3E-03	-3.35E-04
450	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.04E+00	3.35E-01	6.4E-03	-3.79E-04
460	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.09E+00	3.81E-01	6.4E-03	-4.21E-04
470	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.13E+00	4.26E-01	6.5E-03	-4.61E-04
480	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.18E+00	4.71E-01	6.5E-03	-5.00E-04
490	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.22E+00	5.17E-01	6.5E-03	-5.37E-04
500	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.27E+00	5.62E-01	6.6E-03	-5.72E-04
510	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.31E+00	6.08E-01	6.6E-03	-6.06E-04
520	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.36E+00	6.53E-01	6.6E-03	-6.38E-04
530	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.41E+00	6.98E-01	6.7E-03	-6.68E-04
540	449	6.0E-03	-1.71E+00	-2.45E+00	7.44E-01	6.7E-03	-6.98E-04
550	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.50E+00	3.18E-01	6.7E-03	-2.26E-04
560	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.54E+00	3.63E-01	6.8E-03	-2.53E-04
570	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.59E+00	4.08E-01	6.8E-03	-2.78E-04
580	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.63E+00	4.54E-01	6.8E-03	-3.03E-04
590	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.68E+00	4.99E-01	6.8E-03	-3.26E-04
600	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.72E+00	5.44E-01	6.8E-03	-3.48E-04
610	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.77E+00	5.90E-01	6.9E-03	-3.70E-04
620	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.81E+00	6.35E-01	6.9E-03	-3.90E-04
630	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.86E+00	6.81E-01	6.9E-03	-4.10E-04
640	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.90E+00	7.26E-01	6.9E-03	-4.28E-04
650	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-2.95E+00	7.71E-01	6.9E-03	-4.46E-04
660	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-3.00E+00	8.17E-01	7.0E-03	-4.63E-04
670	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-3.04E+00	8.62E-01	7.0E-03	-4.80E-04
680	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-3.09E+00	9.07E-01	7.0E-03	-4.95E-04
690	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-3.13E+00	9.53E-01	7.0E-03	-5.10E-04
700	449.5	6.5E-03	-2.18E+00	-3.18E+00	9.98E-01	7.0E-03	-5.24E-04
710	450	7.0E-03	-3.10E+00	-3.22E+00	1.21E-01	7.0E-03	-3.77E-05
720	450	7.0E-03	-3.10E+00	-3.27E+00	1.67E-01	7.1E-03	-5.07E-05
730	450	7.0E-03	-3.10E+00	-3.31E+00	2.12E-01	7.1E-03	-6.31E-05

Folha 3

Durante o creep, a função $\Delta L(t)$ deve ter a forma: $\Delta L = \Delta L_0 (1 - e^{Kt})$, $K < 0$, e ΔL_0 é a deformação final.

Como $$\frac{\Delta L_0 - \Delta L}{\Delta L_0} = \frac{\Delta L_0 - \Delta L_0 (1 - e^{Kt})}{\Delta L_0}$$

$$= \frac{\Delta L_0 (1 - (1 - e^{Kt}))}{\Delta L_0} = e^{Kt}$$

então, $$\ln\left(\frac{\Delta L_0 - \Delta L}{\Delta L_0}\right) = Kt$$

Sabendo isso, criamos o gráfico 4, onde pusemos $\ln\left(\frac{\Delta L_0 - \Delta L}{\Delta L_0}\right)$ em função do tempo, para que, através do ajuste linear, conseguíssemos obter o valor de K

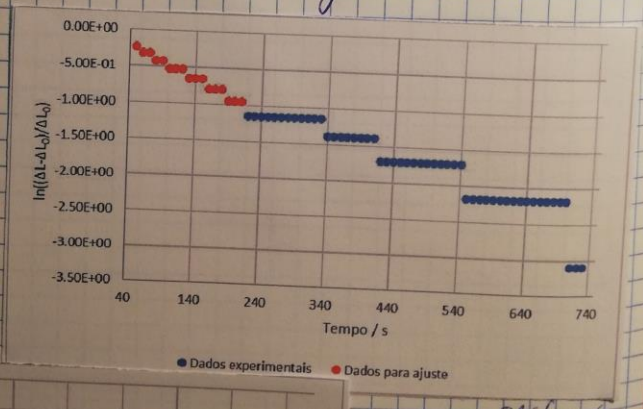
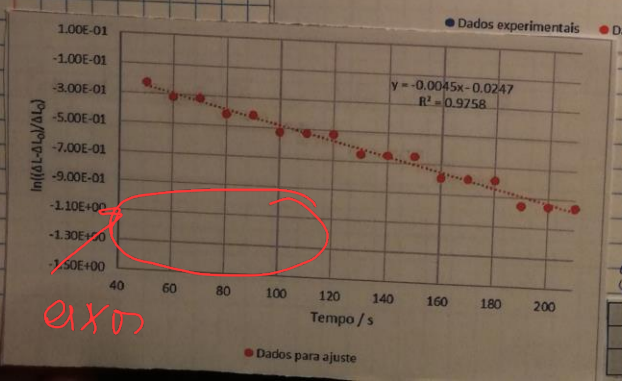


gráfico 4



eixos

gráfico 5

m	-0.00453791	-0.02473	b
Δm	1.84E-04	0.02561	Δb
r^2	0.975844261	0.037236	s_y

Para melhorar o ajuste, usamos um valor de ΔL_0 ligeiramente diferente, que está na tabela 6.

ΔL_0 (m)	0.00733
k	-0.00454

tabela 6

Assim, com o k obtido, e o ΔL_0 da tabela 6, temos:

$$\Delta L = 0{,}00733\,(1 - e^{-0{,}00454t})$$

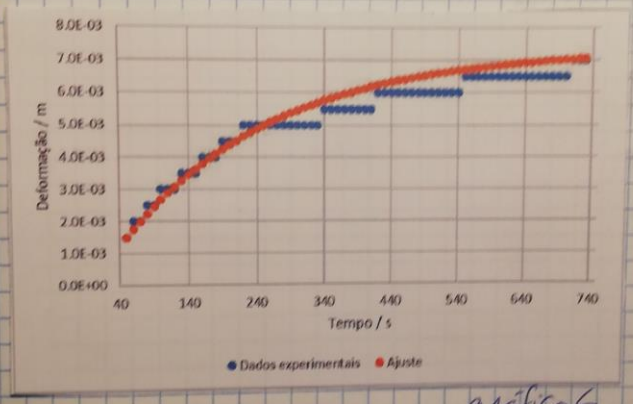


gráfico 6

Estudo da relaxação:

Fizemos este estudo de forma análoga ao do creep, mas desta vez com apenas o prato pendurado (~~de~~ 10g)

Registamos os valores na tabela 7 (página seguinte)

É esperado que: $\Delta L(t) = \Delta L_0 e^{kt}$, com $k < 0$, e ΔL_0 sendo a deformação inicial.

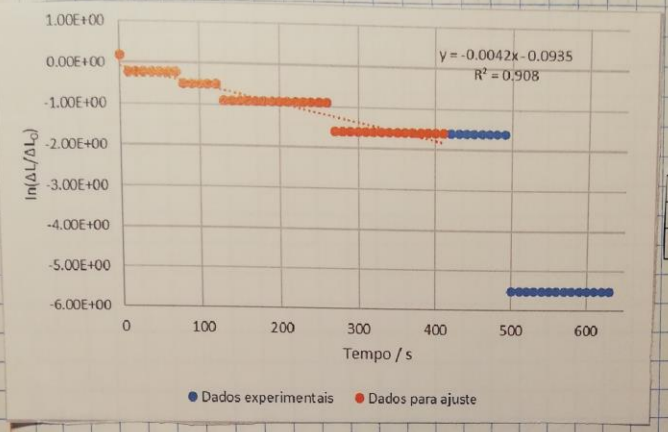
Temos que $\ln\left(\frac{\Delta L}{\Delta L_0}\right) = kt$, por isso podemos usar essa expressão para, através da regressão linear, encontrarmos o valor de k.

Valores obtidos pela análise do vídeo e tratamento destes dados

Tempo (s)	L (mm)	ΔL (m)	$\ln(\Delta L/\Delta L_0)$	$\ln(\Delta L/\Delta L_0)$ ajuste	resíduos $\ln(\Delta L/\Delta L0)$	ΔL (m) ajuste	resíduos ΔL (m)
0	384	3.0E-02	1.86E-01	0.00E+00	1.86E-01	2.5E-02	5.1E-03
10	383	2.0E-02	-2.18E-01	-4.24E-02	-1.76E-01	2.4E-02	-3.9E-03
20	383	2.0E-02	-2.18E-01	-8.47E-02	-1.33E-01	2.3E-02	-2.9E-03
30	383	2.0E-02	-2.18E-01	-1.27E-01	-9.11E-02	2.2E-02	-1.9E-03
40	383	2.0E-02	-2.18E-01	-1.69E-01	-4.87E-02	2.1E-02	-1.0E-03
50	383	2.0E-02	-2.18E-01	-2.12E-01	-6.38E-03	2.0E-02	-1.3E-04
60	383	2.0E-02	-2.18E-01	-2.54E-01	3.60E-02	1.9E-02	7.1E-04
70	383	2.0E-02	-2.18E-01	-2.96E-01	7.83E-02	1.9E-02	1.5E-03
80	382.5	1.5E-02	-5.04E-01	-3.39E-01	-1.65E-01	1.8E-02	-2.7E-03
90	382.5	1.5E-02	-5.04E-01	-3.81E-01	-1.23E-01	1.7E-02	-2.0E-03
100	382.5	1.5E-02	-5.04E-01	-4.24E-01	-8.06E-02	1.6E-02	-1.3E-03
110	382.5	1.5E-02	-5.04E-01	-4.66E-01	-3.83E-02	1.6E-02	-5.9E-04
120	382.5	1.5E-02	-5.04E-01	-5.08E-01	4.08E-03	1.5E-02	6.1E-05
130	382	1.0E-02	-9.06E-01	-5.51E-01	-3.56E-01	1.4E-02	-4.3E-03
140	382	1.0E-02	-9.06E-01	-5.93E-01	-3.13E-01	1.4E-02	-3.7E-03
150	382	1.0E-02	-9.06E-01	-6.35E-01	-2.71E-01	1.3E-02	-3.1E-03
160	382	1.0E-02	-9.06E-01	-6.78E-01	-2.29E-01	1.3E-02	-2.6E-03
170	382	1.0E-02	-9.06E-01	-7.20E-01	-1.86E-01	1.2E-02	-2.1E-03
180	382	1.0E-02	-9.06E-01	-7.62E-01	-1.44E-01	1.2E-02	-1.6E-03
190	382	1.0E-02	-9.06E-01	-8.05E-01	-1.02E-01	1.1E-02	-1.1E-03
200	382	1.0E-02	-9.06E-01	-8.47E-01	-5.92E-02	1.1E-02	-6.2E-04
210	382	1.0E-02	-9.06E-01	-8.89E-01	-1.69E-02	1.0E-02	-1.7E-04
220	382	1.0E-02	-9.06E-01	-9.32E-01	2.55E-02	9.8E-03	2.5E-04
230	382	1.0E-02	-9.06E-01	-9.74E-01	6.78E-02	9.4E-03	6.6E-04
240	382	1.0E-02	-9.06E-01	-1.02E+00	1.10E-01	9.0E-03	1.1E-03
250	382	1.0E-02	-9.06E-01	-1.06E+00	1.53E-01	8.7E-03	1.4E-03
260	382	1.0E-02	-9.06E-01	-1.10E+00	1.95E-01	8.3E-03	1.8E-03
270	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.14E+00	-4.46E-01	8.0E-03	-2.9E-03
280	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.19E+00	-4.04E-01	7.6E-03	-2.5E-03
290	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.23E+00	-3.61E-01	7.3E-03	-2.2E-03
300	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.27E+00	-3.19E-01	7.0E-03	-1.9E-03
310	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.31E+00	-2.77E-01	6.7E-03	-1.6E-03
320	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.36E+00	-2.34E-01	6.4E-03	-1.3E-03
330	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.40E+00	-1.92E-01	6.2E-03	-1.1E-03
340	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.44E+00	-1.50E-01	5.9E-03	-8.2E-04
350	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.48E+00	-1.07E-01	5.7E-03	-5.8E-04
360	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.52E+00	-6.49E-02	5.4E-03	-3.4E-04
370	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.57E+00	-2.25E-02	5.2E-03	-1.2E-04
380	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.61E+00	1.99E-02	5.0E-03	1.0E-04
390	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.65E+00	6.22E-02	4.8E-03	3.1E-04
400	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.69E+00	1.05E-01	4.6E-03	5.1E-04
410	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.74E+00	1.47E-01	4.4E-03	7.0E-04
420	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.78E+00	1.89E-01	4.2E-03	8.8E-04
430	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.82E+00	2.32E-01	4.0E-03	1.1E-03
440	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.86E+00	2.74E-01	3.9E-03	1.2E-03
450	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.91E+00	3.16E-01	3.7E-03	1.4E-03
460	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.95E+00	3.59E-01	3.6E-03	1.5E-03
470	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-1.99E+00	4.01E-01	3.4E-03	1.7E-03
480	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-2.03E+00	4.43E-01	3.3E-03	1.8E-03
490	381.5	5.1E-03	-1.59E+00	-2.08E+00	4.86E-01	3.1E-03	2.0E-03
500	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.12E+00	-3.40E+00	3.0E-03	-2.9E-03
510	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.16E+00	-3.36E+00	2.9E-03	-2.8E-03
520	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.20E+00	-3.32E+00	2.8E-03	-2.7E-03
530	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.24E+00	-3.28E+00	2.6E-03	-2.5E-03
540	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.29E+00	-3.23E+00	2.5E-03	-2.4E-03
550	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.33E+00	-3.19E+00	2.4E-03	-2.3E-03
560	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.37E+00	-3.15E+00	2.3E-03	-2.2E-03
570	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.41E+00	-3.11E+00	2.2E-03	-2.1E-03
580	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.46E+00	-3.06E+00	2.1E-03	-2.0E-03
590	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.50E+00	-3.02E+00	2.1E-03	-2.0E-03
600	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.54E+00	-2.98E+00	2.0E-03	-1.9E-03
610	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.58E+00	-2.94E+00	1.9E-03	-1.8E-03
620	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.63E+00	-2.90E+00	1.8E-03	-1.7E-03
630	381	1.0E-04	-5.52E+00	-2.67E+00	-2.85E+00	1.7E-03	-1.6E-03

Tabela 7

Montando um gráfico de $\ln\left(\frac{\Delta L}{\Delta L_0}\right)$ em função do tempo:



m	-0.00424	-0.09352	b
Δm	2.13E-04	0.050752	Δb
r^2	0.908049	0.167401	s_y

gráfico 7

Mais uma vez, escolhemos um ΔL_0 diferente, que está na tabela 8, p/ melhorar o ajuste

ΔL_0 (m)	0.025
k	-0.0042

tabela 8

$\Delta L = 0{,}025 e^{-0{,}0042t}$

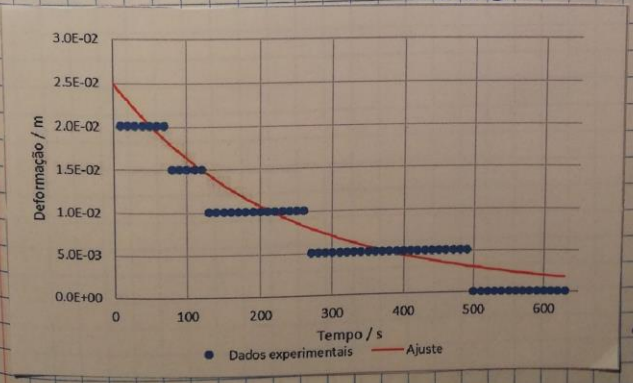


gráfico 8

Conclusões: 1- a borracha não obedece à lei de Hooke, não apresenta um comportamento elástico

2- Há energia dissipada na histerese, o que faz com que o elástico tenha um comportamento diferente na carga e na descarga. Na carga o perfil é exponencial pré-tensionado, devido à forma do ajuste.

3- Como a secção reta do borracho varia, não conseguimos determinar a tensão com exatidão, por isso, é mais adequado o uso de grandezas extensivos.