

Identificação:

Rafael Gonçalves Martins
11223865

Gustavo Kenzo Sato da Costa
11223736

Laboratório de Mecânica - Relatório sobre o experimento de Viscosidade

6,9

Conteúdo

1. Resumo
2. Introdução
3. Descrição experimental
4. Resultados obtidos
5. Discussão
6. Conclusões
7. Referências bibliográficas

1. Resumo

O experimento, realizado virtualmente, tinha como objetivo determinar o valor da viscosidade do óleo, através de diversos ajustes nos valores encontrados, buscando também analisar se os métodos de correção eram suficientes. De forma sucinta, os alunos devem cronometrar o tempo de queda de diversas esferas imersas em um recipiente contendo óleo. A partir dessas medidas de tempo e dos dados obtidos na própria interface do experimento, buscava-se calcular e melhorar os valores obtidos a cada passo do experimento. A determinação do valor de η não foi alcançado, sendo os dados do aluno 1 os mais próximos do esperado, entretanto, foi possível provar e calcular parte das proposições do relatório, que serão discutidas mais detalhadamente nos resultados e discussão. Vale ressaltar também, que houve problemas com o experimento que se encontravam além do alcance dos alunos, também comentado na discussão, problemas estes que foram resolvidos através da análise teórica do experimento.

índice

2. Introdução

formatar parágrafo...
(justificado)

O Experimento consiste em determinar a viscosidade de um fluido através da análise e medida da velocidade limite de esferas que são soltas em um recipiente que contém tal fluido. Busca-se também analisar a dependência do índice de viscosidade com parâmetros como a temperatura do fluido.

Os fluidos (gases e líquidos) podem ser definidos como substâncias que não possuem uma forma definida, podendo escoar ou “fluir”, uma vez que são incapazes de resistir à força tensora de cisalhamento em sua superfície. Sendo assim, eles adquirem a forma do recipiente que ocupam.

A viscosidade de um fluido representa a resistência que o mesmo possui para se movimentar, a água, por exemplo é uma substância de baixo índice de viscosidade, enquanto o mel, que possui um maior índice, apresenta um aspecto mais “pegajoso”, sendo mais lento o processo dele se adequar à forma do recipiente que o contém. Uma forma mais rigorosa de interpretar a viscosidade seria defini-la como a força necessária para que se mantenha duas camadas do fluido em um movimento relativo com velocidade constante.

A temperatura é um dos fatores que a viscosidade depende, para um líquido, que é o caso de nosso experimento, esta diminui com o acréscimo daquela. A viscosidade é frequentemente medida como Pa*s, no SI: N*s/m².

Para auxiliar na descrição do experimento, será usada a *Lei de Stokes*, que descreve o movimento de uma esfera em um fluido de volume infinito, dada pela seguinte equação:

$$\vec{F}_{a,\infty} = -6\pi \eta r \vec{v} \quad (1)$$

Em que “F” é a força de atrito, “ η ” é o índice de viscosidade do fluido, “r” é o raio da esfera e “v” a velocidade da esfera. O sinal negativo indica que a força de atrito é contrária ao sentido do deslocamento da esfera, ou seja, sentido oposto de “v”.

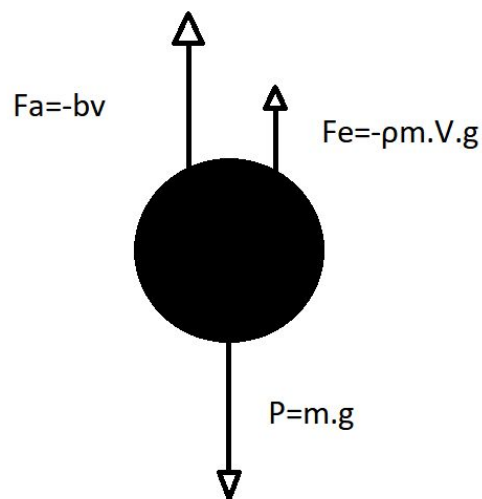


Figura 1: Diagrama de corpo livre de uma esfera de massa m e volume V em um fluido de densidade ρm . b é o coeficiente de atrito viscoso, F_a a força de atrito, F_e a força de empuxo e P é o peso. Considerando que o diagrama esteja sobre uma aceleração g da gravidade.

Para determinar o η de um fluido são fornecidas as seguintes equações:

Equação de movimento do corpo em queda num meio viscoso, pela lei de *Stokes*.

$$m \, dv/dt = mg - F_e - F_a = m \cdot g - bv \quad (2)$$

Define-se,

$$m^* = (\rho_c - \rho_m) V \quad (3)$$

a massa aparente de um corpo de densidade ρ_c e volume V , em um fluido de densidade ρ_m .

Resolvendo as equações acima, temos o coeficiente de viscosidade na forma da equação:

$$\eta = \frac{2}{9} (\rho_c - \rho_m) (r^2 g) / v^\infty \quad (4)$$

Para meios finitos, a fórmula (1) deve ser corrigida. Em um recipiente cilíndrico com raio R temos:

Com
$$F_a = (1 + C) F_{a, \infty} \quad (5)$$

$$C = a \frac{r}{R} + (\alpha \frac{r}{R})^2 \quad (6)$$

sendo $\alpha \approx 2,4$.

Ao igualar a força de atrito à força peso e descontando o empuxo é obtida a velocidade limite

$$v_{\text{limite}} = v^\infty / (1 + C) \quad (7)$$

Cálculo de incertezas:

Análise de dados

Para calcular a incerteza dada velocidade, foram utilizadas as incertezas do tempo e do comprimento do cubo

$$\sigma_v = v * \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2}$$

Para o cálculo da incerteza do raio ao quadrado utiliza-se o diâmetro médio da esfera e sua incerteza

$$\sigma_{r^2} = \sigma_{dm} \cdot dm \cdot 0,5$$

A incerteza do coeficiente de viscosidade pode ser calculado pela seguinte fórmula, levando em conta a diferença de densidade entre a esfera e o óleo, a aceleração da gravidade, a velocidade e o quadrado do raio e suas incertezas, além do próprio coeficiente de viscosidade.

$$\sigma_{\eta} = \eta \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_{de-do}}{de-do}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{r^2}}{r^2}\right)^2}$$

seria (2 inc r/ r) ...

A média ponderada de uma grandeza é dada da seguinte forma:
Sendo P_n o peso de cada medida M_n , temos que :

$$P_n = 1/\sigma_{M_n}^2$$

A média é dada por $(\sum M_n * P_n) / \sum P_n$

E sua incerteza = $\sqrt{1/\sum P_n}$

3. Descrição experimental

-Devido à impossibilidade de ser realizado presencialmente, o experimento foi feito virtualmente. O ambiente virtual consiste em uma tela inicial, cuja interface dispunha de :



Figura 2: Imagem do ambiente virtual usado pelos alunos.

Altura (entre as marcações):

$65,0 \pm 0,2 \text{ cm}$

Diâmetro interno do tubo:

$50,32 \pm 0,07 \text{ mm}$

Densidade do óleo:

$0,883 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$

Densidade da esfera:

$7,85 \text{ g/cm}^3$

Gravidade:

$978,64 \pm 0,01 \text{ cm/s}^2$

Temperatura

$22,8 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$

Incertezas Instrumentais:

Micrômetro: 0,005 mm

Paquímetro: 0,05 mm

Trena: 0,5 mm

Cronômetro: 0,01 s

Densímetro: 0,001 g/cm³

Termômetro: 0,1 °C

Incerteza Sistemática:

Operador: 0,1 s

temperatura do aluno 1 ou 2?

Figura 3: Dados fornecidos do experimento ao colocar o cursor em cima da prancheta.

-Uma prancheta, contendo os dados para cada conjunto experimental (imagem 2), como temperatura do ambiente, densidade das esferas, diâmetro e altura do recipiente, densidade do líquido contido no recipiente, valor da aceleração da gravidade local e os instrumentos usados para as medições, listados a seguir seguidos de suas incertezas:

- Micrômetro : 0,005mm, usado para a medição do diâmetro das esferas.

-Paquímetro : 0,05mm, usado para a medição do diâmetro interno do tubo que continha o líquido

-Trena: 0,5mm, usada para a medição da altura do recipiente.

-Cronômetro: 0,01s, usado para a medição do tempo de queda da esfera entre duas marcas no recipiente. Aqui, ressalta-se que o cronômetro utilizado pelos alunos foi de seus próprios celulares, cuja precisão coincide com a do cronômetro do experimento virtual.

-Densímetro: 0,001g/cm³, usado para ,medir a densidade do óleo.

-Termômetro: $0,1^{\circ}\text{C}$, usado para medir a temperatura do óleo

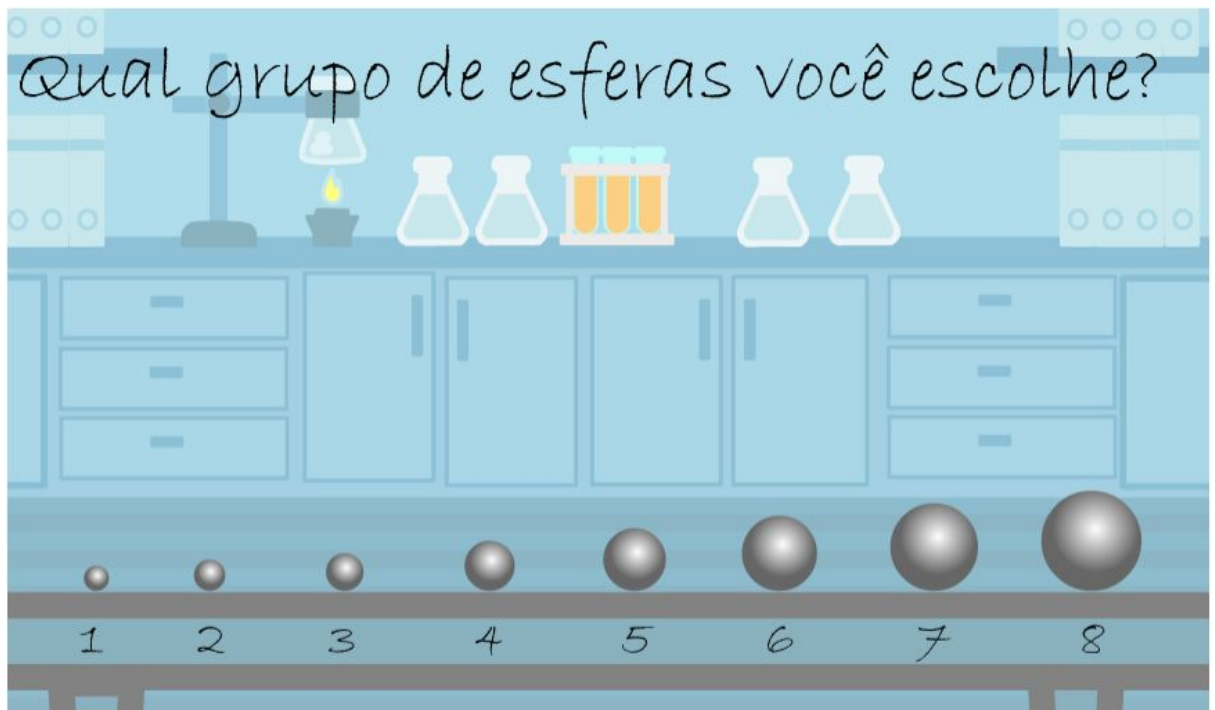


Figura 4: Interface após clicar no símbolo da esfera, mostrada na imagem 1

-Uma esfera, que ao ser selecionada, mostra 8 conjuntos de esferas, com uma ordem crescente do diâmetro médio delas conforme o número do conjunto aumenta. Ao selecionar um dos conjuntos, há 4 medições a serem feitas, em que se usa o micrômetro (na própria interface virtual). Após serem tomadas as medidas, cronometra-se 5 vezes o tempo de queda de cada conjunto de esferas pelo recipiente

-Além dessas duas interações, o ambiente virtual também dispunha de um micrômetro e um desenho do recipiente, ambos meramente ilustrativos.

4. Resultados obtidos:

marcas ? distância mínima? Quais hipóteses de cuidados experimentais foram assumidos?

que incerteza assumiu para densidade da esfera?

	Aluno 1							
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
	diâmetro (cm)							
d1	0,1505	0,1982	0,2498	0,3181	0,3975	0,4758	0,5499	0,6348
d2	0,1500	0,1978	0,2500	0,3174	0,3959	0,4760	0,5509	0,6340
d3	0,1490	0,1995	0,2485	0,3160	0,3951	0,4772	0,5490	0,6355
d4	0,1492	0,2000	0,2510	0,3169	0,3962	0,4760	0,5500	0,6378
Diam médio	0,1497	0,1989	0,2498	0,3171	0,3962	0,4763	0,5500	0,6355
Desvio padrão	0,0007	0,0010	0,0010	0,0009	0,0010	0,0006	0,0008	0,0016
Desvio padrão da média	0,0003	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0003	0,0004	0,0008
Incerteza final	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0010

Tabela 1.1: Mostra o diâmetro das oito esferas medidos quatro vezes cada, juntamente com sua incerteza, para o aluno 1.

	Aluno 2							
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
	diâmetro (cm)							
d1	0,1506	0,1981	0,2491	0,3180	0,3977	0,4754	0,5499	0,6344
d2	0,1512	0,1979	0,2500	0,3191	0,3958	0,4761	0,5510	0,6340
d3	0,1488	0,1985	0,2486	0,3159	0,3951	0,4771	0,5489	0,6338
d4	0,1511	0,1997	0,2511	0,3166	0,3962	0,4748	0,5500	0,6341
Diam médio	0,1504	0,1986	0,2497	0,3174	0,3962	0,4759	0,5500	0,6341
Desvio padrão	0,0011	0,0008	0,0011	0,0014	0,0011	0,0010	0,0009	0,0002
Desvio padrão da média	0,0006	0,0004	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0001
Incerteza final	0,0007	0,0006	0,0007	0,0009	0,0007	0,0007	0,0007	0,0005

Tabela 1.2: Mostra o diâmetro das oito esferas medidos quatro vezes cada, juntamente com sua incerteza, para o aluno 2.

como calculou incerteza final?

	Aluno 1							
	Tempo de queda (s)							
t1	23,65	13,75	9,19	5,63	4,21	3,25	2,41	1,85
t2	23,48	13,66	9,19	5,79	4,28	3,24	2,40	1,90
t3	23,65	13,70	9,28	5,73	4,20	3,25	2,37	1,87
t4	23,55	13,55	9,17	5,74	4,26	3,21	2,34	1,84
t5	23,59	13,61	9,20	5,80	4,23	3,21	2,35	1,76
Tempo médio	23,6	13,7	9,2	5,7	4,2	3,2	2,4	1,8
Desvio padrão	0,1	0,1	0,043	0,068	0,034	0,020	0,030	0,052
Desvio padrão da média	0,032	0,035	0,019	0,030	0,015	0,009	0,014	0,023
Incerteza final	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela 2.1: Apresenta o tempo de queda das oito esferas cronometrado cinco vezes cada, juntamente com sua incerteza, para o aluno 1.

valor inconsistente com valores apresentados...

	Aluno 2							
	Tempo de queda (s)							
t1	18,01	10,37	6,97	4,59	3,09	2,40	2,05	1,77
t2	18,10	10,38	6,98	4,63	3,08	2,37	2,12	1,72
t3	18,13	10,43	7,01	4,70	3,08	2,32	2,11	1,75
t4	17,96	10,28	7,01	4,64	3,10	2,33	2,13	1,77
t5	18,20	10,27	6,90	4,64	3,08	2,33	2,15	1,82
Tempo médio	18,1	10,3	7,0	4,6	3,1	2,4	2,1	1,8
Desvio padrão	0,096	0,069	0,045	0,039	0,009	0,034	0,038	0,036
Desvio padrão da média	0,043	0,031	0,020	0,018	0,004	0,015	0,017	0,016
Incerteza final	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela 2.2: Apresenta o tempo de queda das oito esferas cronometrado cinco vezes cada, juntamente com sua incerteza, para o aluno 2.

	Aluno 1							
raio² (cm)	0,00560	0,00989	0,01560	0,0251	0,0392	0,0567	0,0756	0,1010
inc (cm)	0,00005	0,00007	0,00009	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003
Veloc (cm/s)	2,76	4,76	7,1	11,3	15,3	20	27	35
inc (cm/s)	0,03	0,07	0,2	0,4	0,7	1	2	4
eta (cgs)	3,08	3,15	3,3	3,4	3,9	4,3	4,2	4,3
inc (cgs)	0,06	0,07	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
eta médio	3,24							
inc eta médio	0,04							

Tabela 3.1: São os resultados dos cálculos do quadrado do raio, velocidade e coeficiente de viscosidade, e suas incertezas, para as oito esferas do aluno 1.

Ponderado.

	Aluno 2							
raio² (cm)	0,00566	0,00986	0,01559	0,0252	0,0392	0,0566	0,0756	0,1005
inc (cm)	0,00006	0,00006	0,00009	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002
Veloc (cm/s)	3,60	6,28	9,3	14,0	21,1	27,7	31	37
inc (cm/s)	0,04	0,12	0,3	0,6	1,4	2,4	3	4
eta (cgs)	2,38	2,38	2,5	2,7	2,8	3,1	3,7	4,1
inc (cgs)	0,06	0,06	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
eta médio	2,48							
inc eta médio	0,03							

Tabela 3.2: São os resultados dos cálculos do quadrado do raio, velocidade e coeficiente de viscosidade, e suas incertezas, para as oito esferas do aluno 2.

	Grupo							
diam médio	0,1501	0,1987	0,2498	0,3173	0,3962	0,4761	0,5500	0,6348
Desvio padrão	0,0010	0,0009	0,0010	0,0011	0,0010	0,0008	0,0008	0,0013
Desv pad da média	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005
Incerteza final	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007
Tempo médio	21	12	8	5,2	3,7	2,8	2,2	1,81
Desvio padrão	2,9	1,7	1,2	0,6	0,6	0,5	0,1	0,1
Incerteza final	2	1	1	0,4	0,4	0,3	0,1	0,04
raio^2 (cm)	0,00563	0,00987	0,01560	0,02516	0,0392	0,0567	0,0756	0,1007
inc (cm)	0,00004	0,00005	0,00006	0,00008	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
Veloc (cm/s)	3,2	5,5	8,2	13	18	24	29	36
inc (cm/s)	0,3	0,6	0,8	1	2	3	1	1
eta (cgs)	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,7	4,0	4,2
inc (cgs)	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,2	0,1
Tempo(s) para atingir vlim:	0,0014	0,0025	0,0040	0,0064	0,010	0,014	0,019	0,026
eta(cgs) médio(ponderado)	3,78							
inc eta médio	0,07							

Tabela 4: Apresenta a média dos resultados do diâmetro médio, do tempo médio de queda, do quadrado do raio, da velocidade, do coeficiente de viscosidade, do tempo para se chegar na velocidade limite e a média do coeficiente de viscosidade das oito esferas entre os dois alunos.

	Aluno 1							
Fator C	0,08	0,10	0,13	0,17	0,22	0,28	0,33	0,39
Vel cor (cm/s)	2,97	5,25	8,0	13,3	18,8	26	36	49
inc (cm/s)	0,02	0,07	0,1	0,3	0,6	1	2	3
eta cor (cgs)	2,66	2,6	2,6	2,4	2,6	2,6	2,4	2,2
inc (cgs)	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
eta(cgs) médio(ponderado)	2,54							
inc eta médio	0,04							

Tabela 5.1: Mostra o fator de correção para as oito esferas e a velocidade e o coeficiente de viscosidade corrigidos e suas incertezas, para os dados do aluno 1.

conta errada...

como calculou as incertezas de vel corr?

	Aluno 2							
Fator C	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,15	0,17
Vel cor (cm/s)	3,73	6,6	9,9	15,1	23	31	35	43
inc (cm/s)	0,04	0,1	0,3	0,6	1	2	3	4
eta cor (cgs)	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,8	3,0
inc (cgs)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
eta(cgs) médio(ponderado)	2,44							
inc eta médio	0,03							

Tabela 5.2: Mostra o fator de correção para as oito esferas e a velocidade e o coeficiente de viscosidade corrigidos e suas incertezas, para os dados do aluno 2.

	Aluno 1							
Fator correção	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
eta cor 2 (cgs)	2,9	2,9	3,1	2,9	3,5	3,9	3,5	3,4
inc (cgs)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4

Tabela 6.1: Apresenta a normalização do coeficiente de viscosidade e sua incerteza para as oito esferas do aluno 1.

o fator de correção é único para cada aluno...

	Aluno 2							
Fator correção	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
eta cor 2 (cgs)	1,85	1,80	2,0	2,2	2,3	2,7	3,7	4,4
inc (cgs)	0,04	0,04	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5

Tabela 6.2: Apresenta a normalização do coeficiente de viscosidade e sua incerteza para as oito esferas do aluno 2.

	Grupo							
Fator C	0,06	0,08	0,10	0,13	0,16	0,20	0,24	0,28
Vel cor (cm/s)	3,35	5,9	9,0	14,2	21,0	28	36	46
inc (cm/s)	0,05	0,1	0,3	0,7	1,4	2	3	5
eta cor (cgs)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6
inc (cgs)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4
eta médio	2,42							
inc eta médio	0,04							

Tabela 7: Mostra a média do fator de correção para as oito esferas e a média da velocidade e do coeficiente de viscosidade corrigidos e suas incertezas entre os dados dos dois alunos.

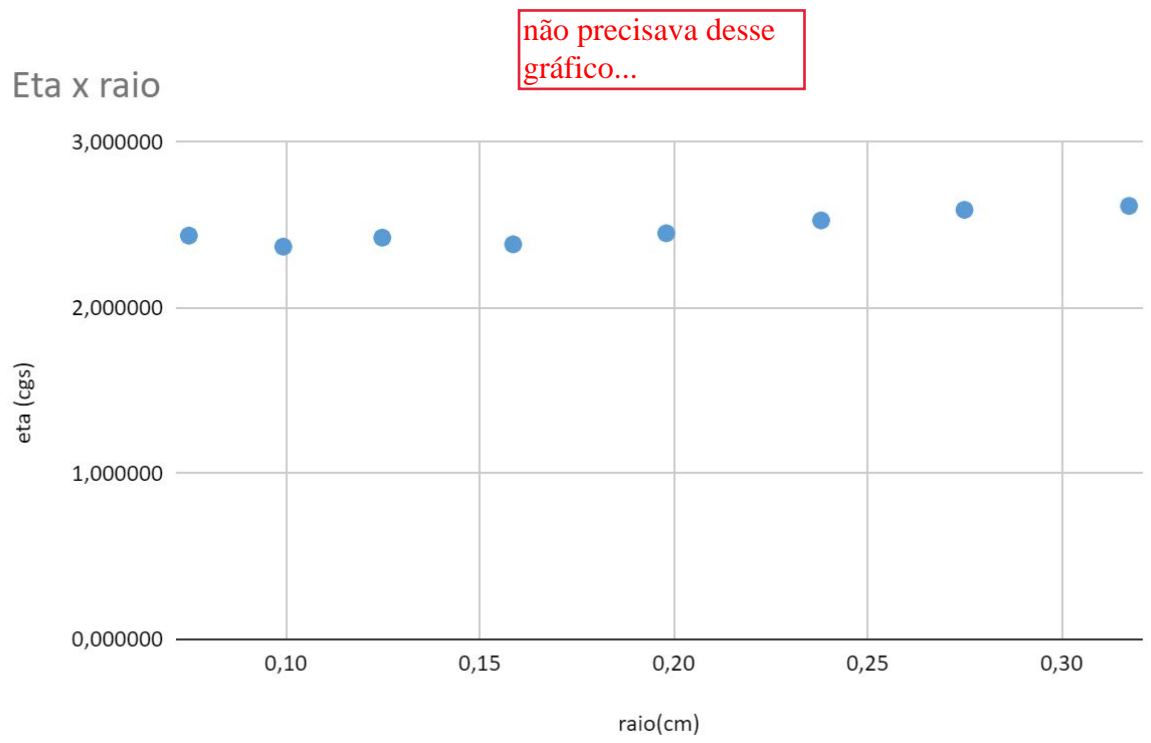
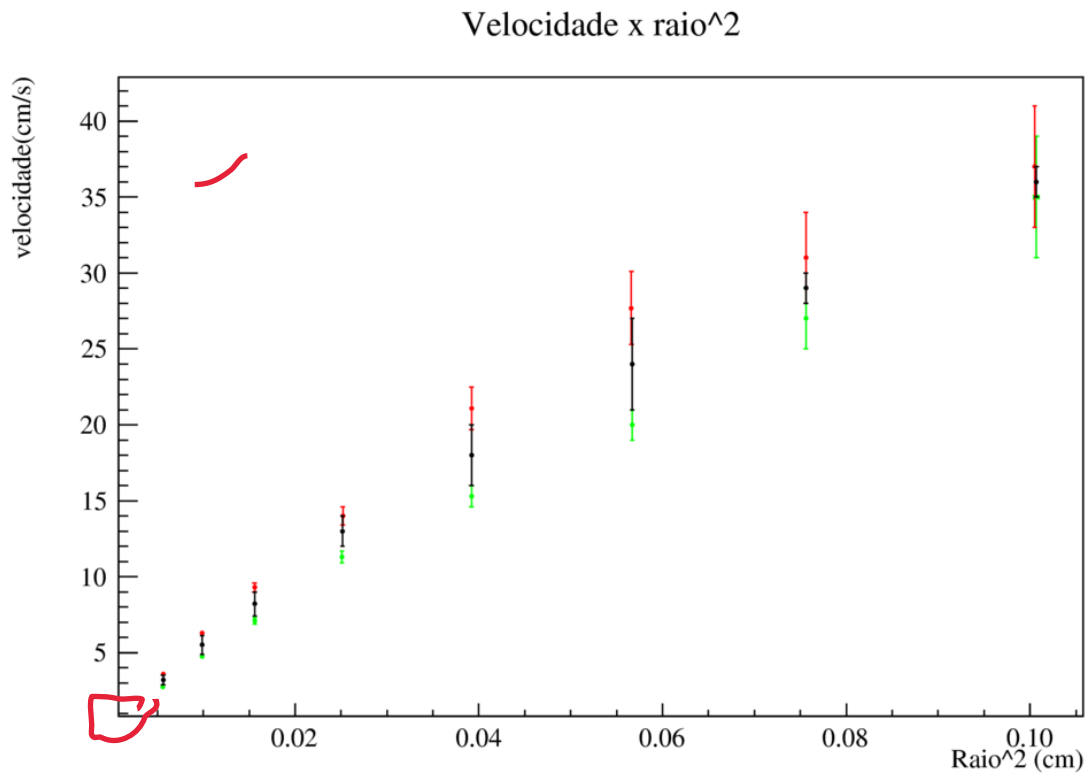


Gráfico de eta em função de r, dados obtidos da tabela 7(eta)

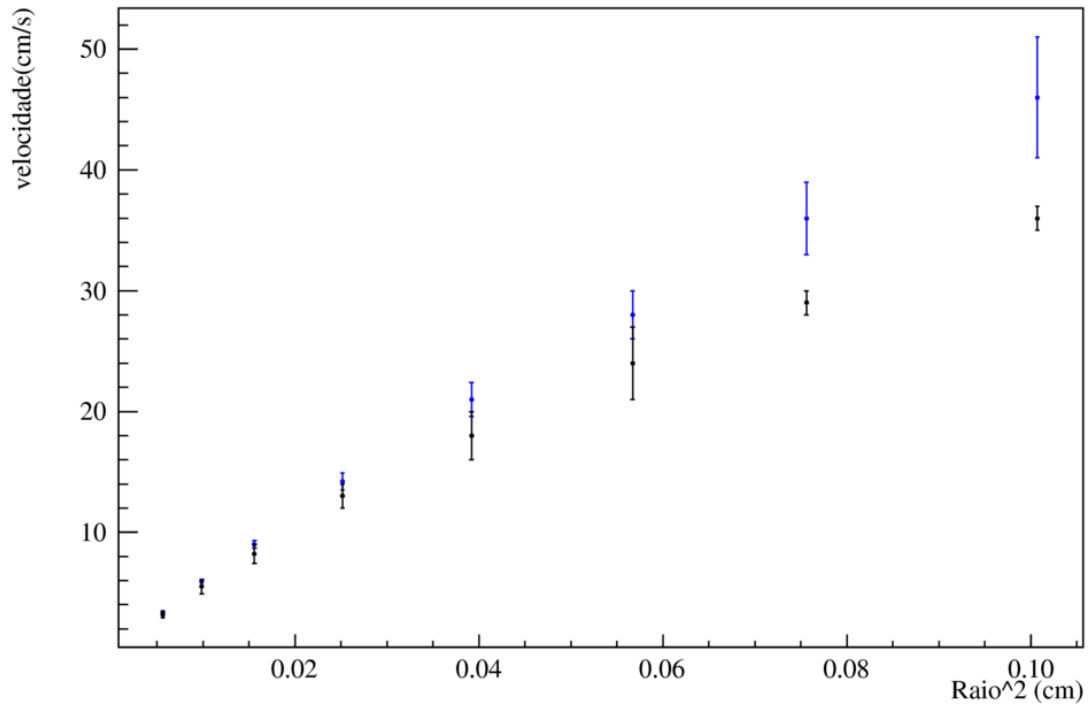
Gráfico 1: Gráfico das velocidades limite em função do quadrado do raio das esferas.



Em vermelho e verde, há os valores medidos de cada aluno do grupo.
Em preto, encontra-se o valor médio dos dados obtidos do grupo.
Ressalta-se que o comportamento dos pontos não condiz com a função de uma reta.

Gráfico 2

Velocidade com e sem correção x raio²



Em azul, a velocidade do grupo com correção. Dados coletados da tabela 7.
Em preto, a velocidade do grupo sem a correção. Dados coletados da tabela 4.

Não era para fazer do grupo. Média de valores em temperatura diferentes...

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE ANGULAR PELO GRÁFICO:

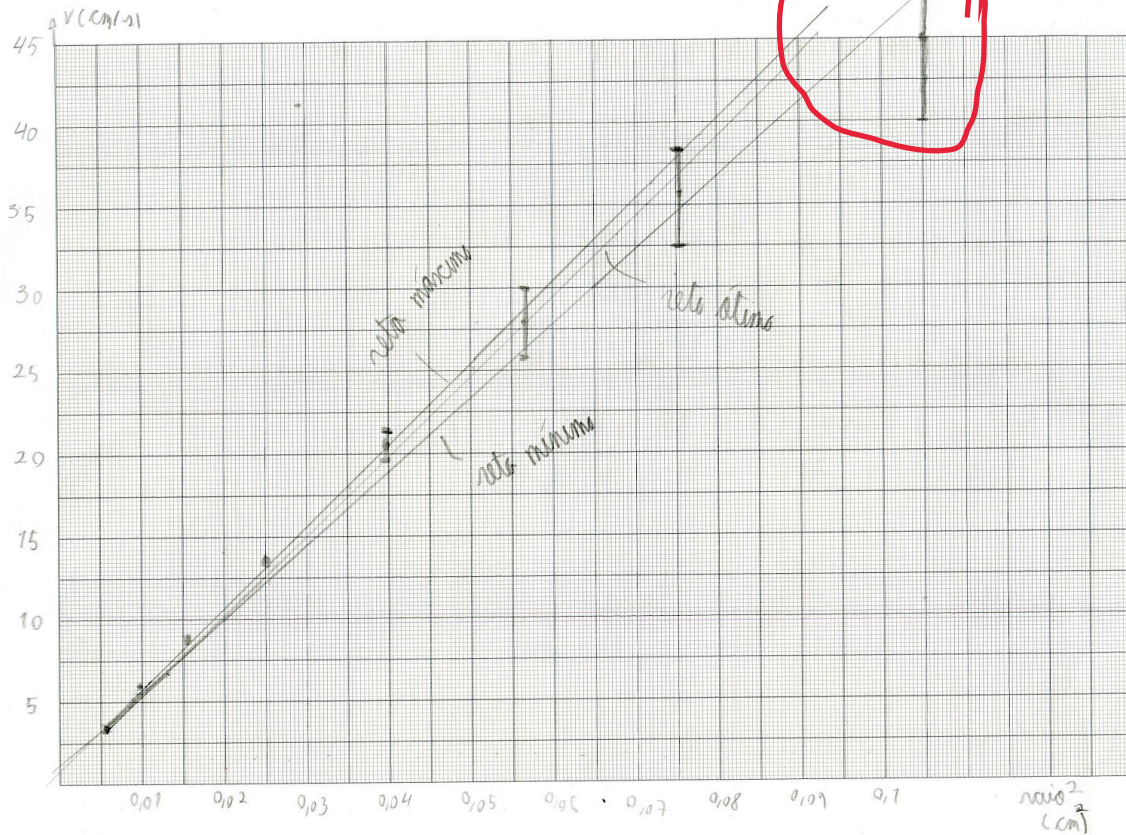


Figura 5: Gráfico da velocidade corrigida em função do raio²

Dada a equação de uma reta no formato $V = ax + b$, temos:

$$a_{\text{máx}} = \frac{(35,40 - 18,00)}{0,070 - 0,035} \cong 497$$

$$a_{\text{mín}} = \frac{(30 - 12,25)}{(9,065 - 0,025)} \cong 480$$

$$a_{\text{ótimo}} = \frac{(497 + 480)}{2} \pm \frac{(497 - 480)}{2} \cong 489 \pm 9$$

$$b_{\text{máx}} = 0,75$$

$$b_{\text{mín}} = 1,25$$

$$b_{\text{ótimo}} = \frac{(0,75 + 1,25)}{2} \pm \frac{|0,75 - 1,25|}{2} \cong 1,00 \pm 0,25$$

eta gráfico?

Figura 6: cálculo do coeficiente angular

Para o cálculo do coeficiente angular feito no papel milimetrado, desenha-se a reta máxima e mínima, calculando o coeficiente angular de cada uma dessas através de 2 pontos contidos nessas retas, onde $a = \Delta y / \Delta x$. Em seguida, calcula-se o valor de a da reta ótima, sendo a média aritmética entre os dois valores encontrados das demais retas. Sua incerteza se dá pela metade da subtração do coeficiente máximo pelo mínimo.

A determinação de b se dá meramente pela observação do gráfico, separando o ponto em que $x=0$, achando b máximo e mínimo, para se determinar b ótimo é feito um processo análogo à determinação de a .

Determinação do coeficiente angular e de eta através do MMQ:

MMQ										
X	σ_x	Y	σ_y							
$r^2(\text{cm}^2)$	inc	v(cm/s)	inc v	$XY/(\sigma_y^2)$	$(X/\sigma_y)^2$	$X/(\sigma_y^2)$	$Y/(\sigma_y^2)$	$1/(\sigma_y^2)$	a	b
0,00563	0,00004	3,35	0,05	9	0	3	1524	455	493,35	1,11
0,00987	0,00005	5,92	0,14	3	0	1	323	55		
0,01560	0,00006	9,0	0,29	2	0	0	107	12		
0,0252	0,0001	14,2	0,7	1	0	0	33	2		
0,0392	0,0001	21,0	1,4	0	0	0	11	1		
0,0567	0,0001	28	2	0	0	0	5	0		
0,0756	0,0001	36	3	0	0	0	4	0		
0,1007	0,0002	46	5	0	0	0	2	0	20,50	0,27
				Sxy	Sx ²	Sx	Sy	S1		
				7	0	1	486	70		
1ª Interação										
X	σ_x	Y	σ_y							
$r^2(\text{cm}^2)$		v(cm/s)	inc v	$XY/(\sigma_y^2)$	$(X/\sigma_y)^2$	$X/(\sigma_y^2)$	$Y/(\sigma_y^2)$	$1/(\sigma_y^2)$	a	b
0,0056		3,35	0,05	8,6	0,0	2,6	1523,8	455,2	536	0,36
0,0099		5,92	0,14	3,2	0,0	0,5	323,2	54,5		
0,0156		9,0	0,29	1,7	0,0	0,2	107,3	12,0		
0,0252		14,2	0,66	0,8	0,0	0,1	32,9	2,3		
0,0392		21,0	1,37	0,4	0,0	0,0	11,1	0,5		
0,0567		28	2,31	0,3	0,0	0,0	5,3	0,2		
0,0756		36	3,08	0,3	0,0	0,0	3,8	0,1		
0,1007		46	4,51	0,2	0,0	0,0	2,3	0,0	15	0,10
				Sxy	Sx ²	Sx	Sy	S1		
				16	0	3	2010	525		

Tabela 8: Mostra os dados calculados através do uso do método do MMQ.

Os dados de v e r usados são correspondentes aos dados do grupo

η mmq(cgs)	2,82
inc η mmq	0,12



Correção por temperatura:

	Aluno 1								Aluno 2							
Fator correção	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
η cor 2 (cgs)	3,1	3,0	3,0	2,8	3,0	3,0	2,7	2,6	1,88	1,83	1,9	2,0	2,0	2,1	2,4	2,5
inc (cgs)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,04	0,04	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3

Tabela 9: apresenta o fator de correção por temperatura e o coeficiente de viscosidade e sua incerteza para os dados dos dois alunos.

	Aluno 1	Aluno 2	medida de η (cgs) a 25°C	Teste Z	Compatibilidade
média ponderada de η (cgs)	2,98	1,90	2,85	3,97	Não há
inc	0,03	0,03		38,12	Não há

Tabela 10: Mostra a média ponderada, e sua incerteza, do coeficiente de viscosidade dos dois alunos e a compatibilidade da análise, feita através do teste z.

já não tinha feito na tabela 6 a correção de temperatura?

η (cgs) mmq	2,82	η médio(cgs)	2,42
inc η mmq	0,12	inc η médio	0,04
TESTE Z			
3,22			

Tabela 11: Resultado do teste Z entre o coeficiente de viscosidade calculado pelo MMQ e na tabela 7

5. Discussão:

A partir dos resultados obtidos, foi possível averiguar alguns dos objetivos propostos pelo experimento:

-O primeiro tópico a ser abordado, se trata do tempo necessário para que as esferas atingissem sua velocidade limite. Como visto nos cálculos apresentados, em todos os casos (Exceto no último), mostrou-se válida para o experimento, uma vez que o esse tempo foi muito menor que o tempo de reação humana (0,2s), que foi basicamente a limitação da precisão da medição do tempo. Para as esferas do grupo 8, entretanto, o tempo para se atingir a velocidade limite foi da ordem da reação humana, além disso, as esferas dos últimos 2 grupos percorreram os espaços determinados em intervalos de tempo muito pequenos, o que aumenta a imprecisão do experimento. Outro problema encontrado foi o da altura de 10cm, uma vez que para esses grupos com uma queda mais veloz, as esferas ultrapassaram a fita antes de atingirem sua velocidade limite.

como avaliou?

quanto influenciou no tempo total para 65 cm?

-Houve um problema nas medições do tempo para um dos alunos, problema este identificado e corrigido depois de analisar criteriosamente os dados obtidos: O aluno 2, cuja temperatura é maior que a temperatura do aluno 1, obtia valores maiores para o tempo de suas esferas percorrerem o recipiente, obtendo assim um valor de eta maior que o de seu companheiro, o que contradiz o gráfico apresentado pelo professor: no qual a viscosidade de um líquido diminui com o aumento da temperatura. Notando essa falha, notou-se que o aluno 1 e o 2 cronometraram tempos diferentes para um mesmo conjunto experimental (viscosidade 5), assim, foi necessário contatar outros dois colegas de classe, que cronometraram a situação 5 do experimento e obtendo valores diferentes ao do aluno 2 e semelhantes ao do aluno 1. De alguma forma, o computador do aluno 2 reproduzia o experimento de uma forma diferente dos demais, sendo assim, seus dados foram descartados e substituídos por uma segunda medição feita pelo aluno 1.

necessário conhecer o arranjo experimental

-A constatação sobre a velocidade limite ser proporcional ao quadrado do raio das esferas se mostrou falsa, como observada no gráfico 1 e previsto pelo guia do experimento. Ao ser realizado o primeiro processo de correção, foi possível transformar o gráfico de V_{lim} em função do $raio^2$ em uma reta, para isso, foi usado a técnica do MMQ e a representação gráfica no papel milimetrado. Por possuir uma precisão maior, os cálculos de eta e do coeficiente angular da reta considerados foram do MMQ.

- O valor de η a partir do MMQ foi aquele que apresentou uma maior precisão e proximidade para com o valor esperado a 25°C, enquanto os dados obtidos após a correção com o fator temperatura não se mostraram compatíveis com o mesmo. O que evidencia que a correção de Ladenburg não foi o suficiente, embora quase tenha sido possível obter essa compatibilidade com os valores do aluno 1.

- Como crítica, pode-se citar dois pontos: o primeiro, fora do alcance do professor e dos alunos seria o erro que se encontrou na primeira medição feita pelo aluno 2, que não há explicação, provavelmente se tratando de um erro no eletrônico usado pelo mesmo, problema este que seria evitado se o experimento fosse realizado presencialmente ou se o procedimento de tomar dados não dependesse das ferramentas dos alunos. Uma segunda crítica, seria de reproduzir o experimento em um recipiente maior, de forma que as esferas de maior raio (que caem mais rápido), pudessem ter seus tempos medidos com maior precisão, diminuindo o erro do experimento.

mais longo??

a maior incerteza foi o tempo de reação...

6. Conclusões

- Os objetivos do experimento foram parcialmente atingidos, os alunos puderam determinar e construir o gráfico de $V_{lim} \times r^2$ com uma precisão boa, também analisando pelo Método dos Mínimos Quadrados, entretanto, o principal objetivo do experimento não foi alcançado: Normalizar os valores encontrados para η e obter compatibilidade com o valor esperado.

-Pôde-se concluir que os métodos de correção de Ladenburg não foram o suficiente para se determinar a viscosidade do óleo por meio do arranjo experimental, entretanto, não se pode dizer que o método foi totalmente ineficiente, visto que os valores obtidos para a primeira correção se mostraram muito mais precisos, havendo menor discrepância entre os valores de η até ali encontrados. Não é descartada a possibilidade dos alunos terem cometido algum erro de medida ou de conta, destacando-se os dados do aluno 2, que apresentam uma maior variação entre o obtido e o esperado.

fez avaliações com temperaturas diferentes?

7. Referências bibliográficas

[1]: guia do experimento 6 - viscosidade

[2]: Conceitos Básicos da teoria de erros- Manfredo Harri

