

- A análise tem várias deficiências
Determinações feitas muito mal
- ~~VCM não é uniforme~~
~~Calcula a velocidade~~ Condigo $WR < V_{CM}$
Objetivos

- Aprender a utilizar o software "Tracker" para analisar (video) resultados a partir de um vídeo;
- Verificar o princípio de sobreposição no estudo de um movimento de um cilindro num plano horizontal;
- Averiguar a condição de edamento sem escorregamento;
- Matar experimentalmente que um ponto da superfície do cilindro tem velocidade nula quando está em contacto com o plano, e velocidade máxima quando se encontra no topo do cilindro.

Montagem experimental

Cuidados

- Nivelar o melhor possível a calha sobre a qual o cilindro vai rodar;
- Iluminar bem o local da experiência;
- Colocar a câmara a uma distância adequada, tal que o ângulo a seja o menor possível;
- Garantir que a mão não obstrui a visualização do cilindro;

Plano experimental

- com o instrumento apropriado medir o diâmetro do cilindro;
- ~~Montar~~ Elaborar a montagem cumprindo o esquema seguinte:

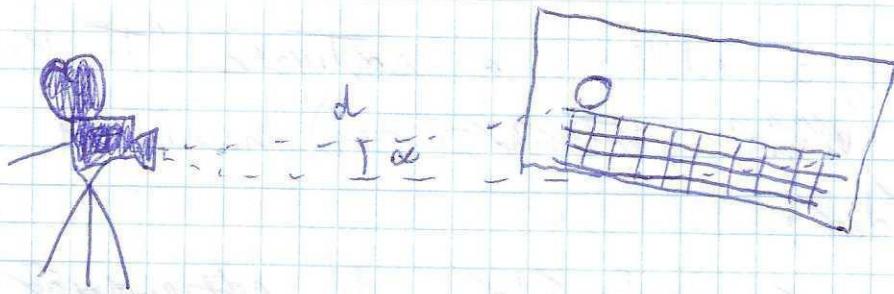


Fig. 1 - Esquema da montagem experimental a ser efetuada

- Após cumprir e certificar que temos em conta os cuidados elaborados previamente, proceder com o inicio do lançamento do cilindro, garantindo antes que a câmera está em gravação;
- Transferir a gravação para o computador e exportar para a extensão AVI, utilizando o software "Freemake"
- Utilizar o software "Tracker" para analisar os resultados obtidos

J

Não temos o cuidado de diminuir o ângulo e
 diâmetro cilindro $\rightarrow 68,40 \pm 0,05 \text{ mm}$ } medido
 $\rightarrow 68,30 \pm 0,05 \text{ mm}$ com
 $\rightarrow 68,30 \pm 0,05 \text{ mm}$ orocreira

Velocidade do obturador $\rightarrow 1/500$

(X) Utilizou-se a rampa para alguns lançamentos e, quando se usou, a velocidade à vista desormada pareceu ser superior ao lançamento sem rampa.

Comprimento da escala $\rightarrow 126,6 \pm 0,05 \text{ cm}$
 medido com fita métrica

Análise de dados

~~Interpretação do gráfico do centro de massa com o gráfico da periferia $\rightarrow P_1(0,48; 10,94)$
 $P_2(1,44; 32,33)$~~

~~$T_1 = 1,44 - 0,48 = 0,96 \text{ s}$~~

~~$68,30 \pm 0,02^* \text{ mm}$~~

~~$\text{diâmetro cilíndro médio } d = (68,30 \pm 0,03) \text{ mm}$~~

~~$W = \frac{2\pi}{0,96} = 6,54 \text{ rad s}^{-1}$~~

~~$n_{rod} = \frac{d}{r} = 34,18 \pm 0,02 \text{ mm} = 3,418 \times 10^{-2} \pm 2 \times 10^{-4}$~~

~~$V_{rot} = 6,54 \times 3,418 \times 10^{-2} = 0,2235 \pm 0,0001^* \text{ rad s}^{-1}$~~

Análise de dados → realizado entre 25/03 e 28/03

Interseção do gráfico de centro de massa com o gráfico de perigria:

$$P_1 (0,44; 10,87)$$

$$P_2 (1,44; 32,38)$$

$$P_3 (2,6; 53,73)$$

$$T_1 = P_2 - P_1 = 1,00 \text{ s}$$

$$T_2 = P_3 - P_2 = 1,16 \text{ s}$$

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 1,08 \text{ s}$$

$$u(T_1) = |10,48 - 10,87| = 0,39 \quad \text{diferença entre } X_{cm}$$

$$u(T_2) = |53,59 - 53,73| = 0,14 \quad \text{e } X_A \text{ em } P_1 \text{ e } P_3$$

$$u(\bar{T}) = \sqrt{\left(\frac{1}{2} u(T_1)\right)^2 + \left(\frac{1}{2} u(T_2)\right)^2} = 0,2$$

$$\bar{T} = 1,1 \pm 0,2 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{\bar{T}} = 5,7$$

$$u(\omega) = \sqrt{\left(\frac{\partial \omega}{\partial \bar{T}} : u(\bar{T})\right)^2} = 1$$

$$\omega = 6 \pm 1$$

$$\bar{d} = 68,33 \text{ mm}$$

$$u(\bar{d}) = \sqrt{\left(\frac{1}{3} u(d_1)\right)^2 + \left(\frac{1}{3} u(d_2)\right)^2 + \left(\frac{1}{3} u(d_3)\right)^2} = 0,03 \text{ mm}$$

$$\bar{d} = 68,33 \pm 0,03 \text{ mm}$$

$$g = 34,77 \pm 0,02 \text{ mm} = 3,417 \pm 0,002 \text{ cm}$$

$$V_{\text{cm}} = w g = 20,5 \text{ cm s}^{-1}$$

$$u(V_{\text{cm}}) = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\text{cm}}}{\partial w} \cdot u(w)\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\text{cm}}}{\partial g} \cdot u(g)\right)^2} = 3$$

$$V_{\text{cm}} = 21 \pm 3 \text{ cm s}^{-1}$$

- Legenda

- Gráficos

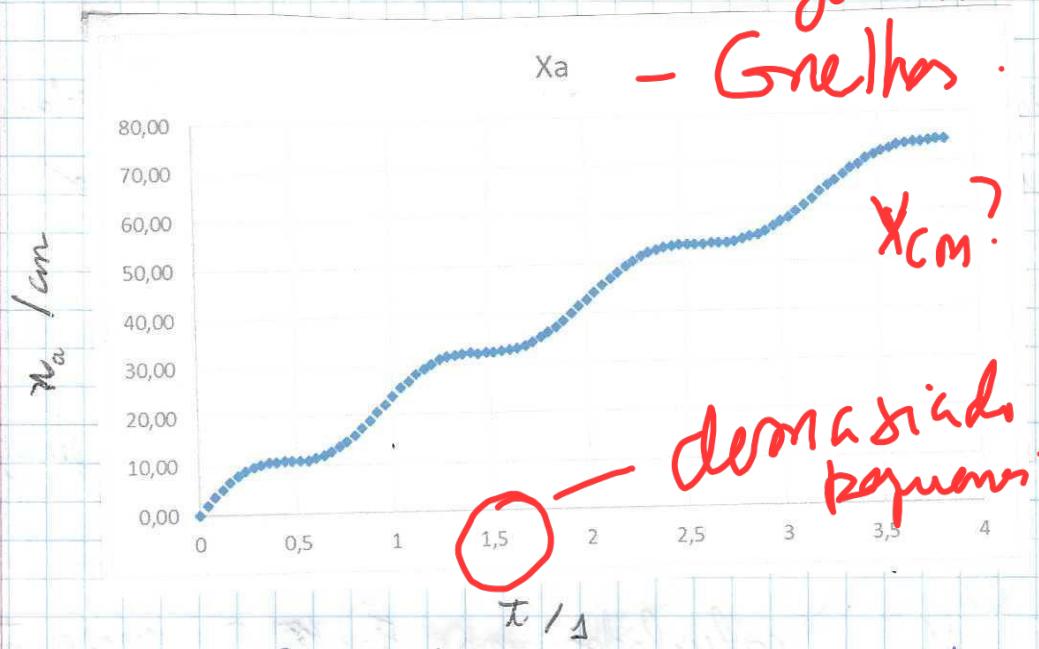


Fig.2 - gráfico do x_a do ponto de periferia em função do tempo

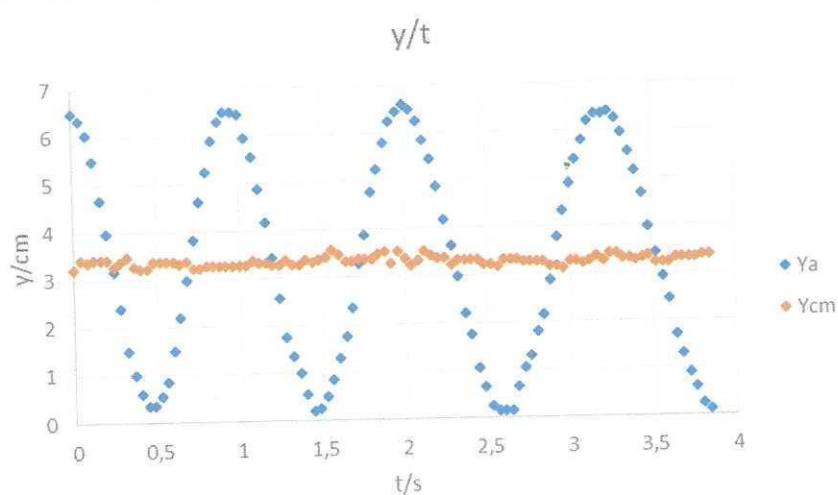


Fig.3 - gráfico de y do ponto de periferia e do centro de massa em função do tempo

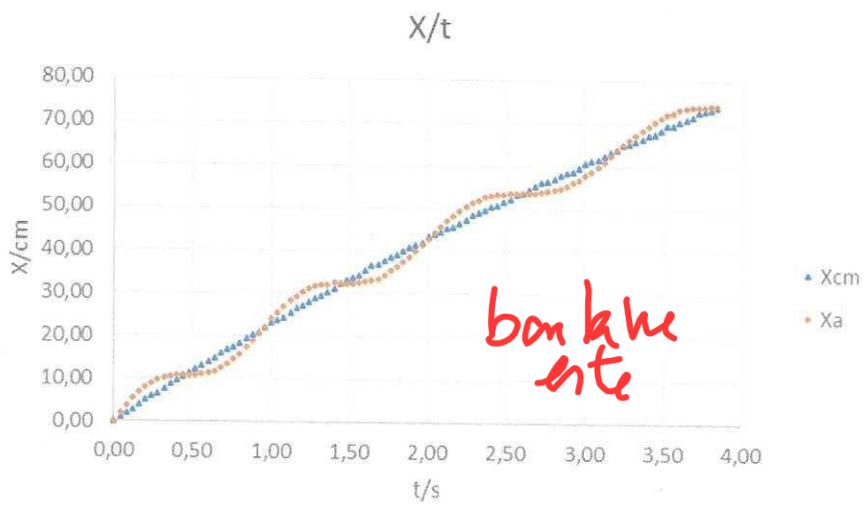


Fig. 4 - gráfico de n (cm) do ponto de paragem e do centro de massa em função do tempo

	linest	
V_{cm}	19,2	3,1 b
$u(V_{\text{cm}})$	0,1	0,3 u(b)

Fig. 5 - Tabela de dados, calculados com a função "linest" do Excel

Este valor V_{cm} calculado na Fig. 5 representa o declive da posição de centro de massa em função de tempo. Multiplicando este valor (verde) pelo tempo e somando o valor de b obtém a reta de ajuste de X_{cm} .

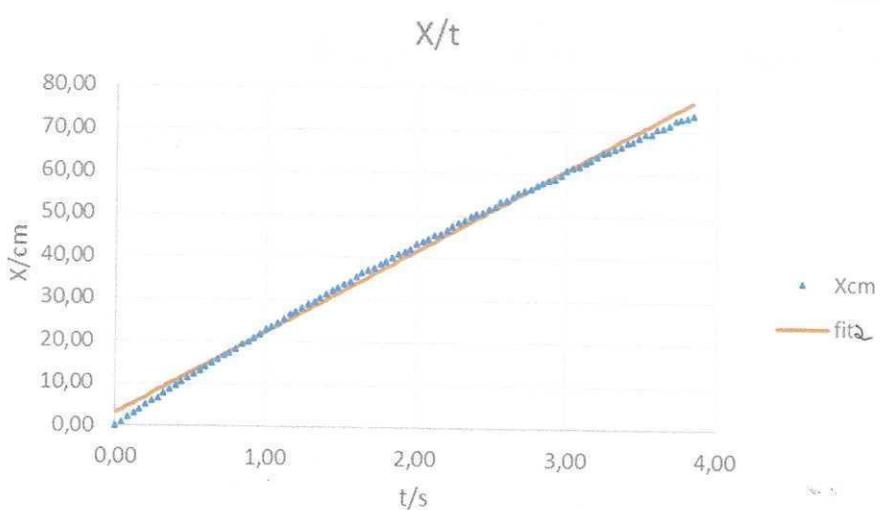
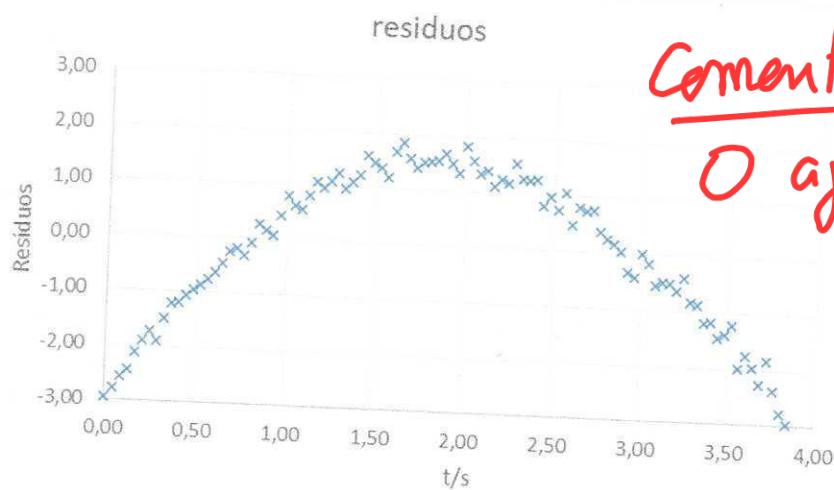


Fig. 6 - gráfico de n_{cm} e da reta de n_{cm} ajustada em função de t

Comparando os valores de x_{cm} e x_{cm} ajustado, obtemos os resíduos (tendo estes os erros)

$$\text{resíduos} = x_{cm} - x_{cm \text{ ajustado}}$$



Comentário

O ajuste devia ser quadrático
→ L_n

Fig.7 - gráfico dos resíduos em função do tempo

(Para calcular as (novas) posições de ajuste do ponto de periferia utilizámos a função)

$$x_A(t) = V_{cm}(t) + \frac{1}{w} \sin(\omega t)$$

Para calcular as posições de ajuste do ponto de periferia, utilizámos a função

$$x_A(t) = V_{cm}(t) + \frac{1}{w} \sin(\omega t)$$

Em que V_{cm} é o valor calculado na Tabela da Fig.5 e ω é o valor calculado previamente.

Método de determinação das tangentes
muito criticável! Usar 2 pontos?
e os erros aleatórios?

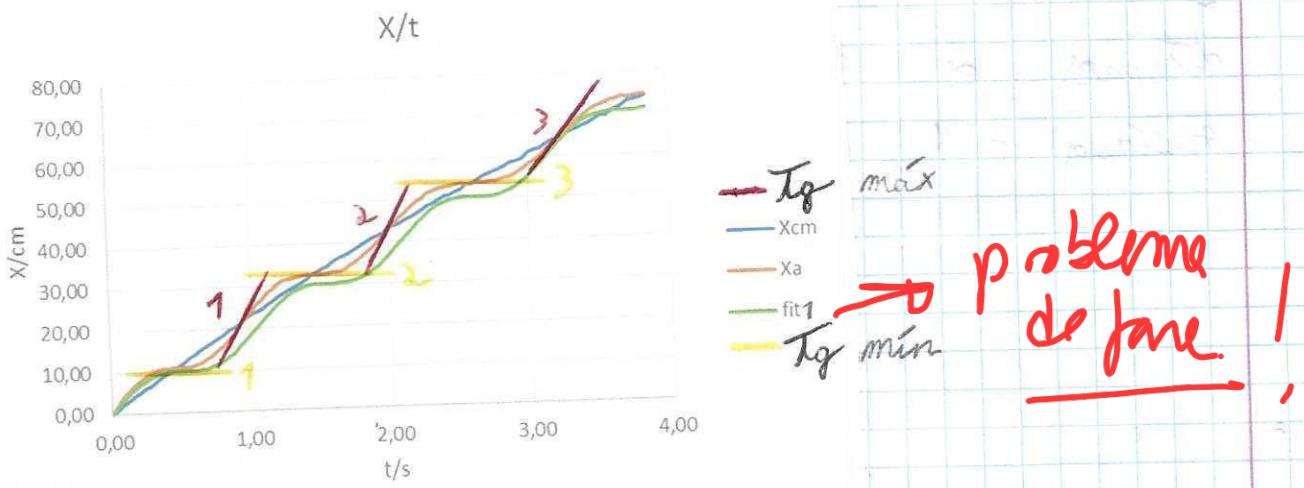


Fig.8 - gráfico de n_{cm} , n_A e n_A ajustado em função do tempo com as tangentes de valor máximo e valor mínimo

declive	
1	0
2	1,25
3	2,5

Fig.9 - Tabela com os valores das tangentes calculadas entre dois valores (oddas) que parecem intersecar X_{cm} *¹

Nesta Tabela o valor da Tangente é mínimo e aproximadamente nula, como seria de esperar, quando (****) o ponto de perigria interseca a plataforma.

*¹- Observar os valores pintados a amarelo na Tabela da fig 11 para saber quais foram usados para o cálculo do declive.

declive	
1	44,5
2	38,25
3	34,75

Fig.10 - Tabela com os valores das Tangentes aproximadas, calculadas entre dois valores que parecem intersecar X_{cm} *²

Nesta Tabela o valor da Tangente é máximo e aproximadamente à V_{cm} , como seria de esperar, quando o ponto de perigria se encontra no topo.

$$Tg_{\min} \equiv \bar{Tg}_{\min} = 1,25$$

$$u(\bar{Tg}_{\min}) = \pm 1,25 \rightarrow \text{desvio padrão}$$

$$\bar{Tg}_{\min} = 1,25 \pm 1,25$$

$$Tg_{\max} \equiv \bar{Tg}_{\max} = 39,16$$

$$u(\bar{Tg}_{\max}) = (0,000) 4,94 \rightarrow \text{desvio padrão}$$

(~~ERRO MÉDICO~~)

$$\text{Er (\%)} (\bar{Tg}_{\max}) = \frac{|39,16 - 2V_{an}|}{2V_{an}} \times 100\% = (1) 2,0\%$$

Discussão

Comparando o $n_{cm}(t)$ e o $n_{cmaj}(t)$ de ajuste no gráfico da Fig. 16, observamos, imediatamente, que as funções não estão sobrepostas durante todo o seu domínio. (as retas do ~~ajuste~~ ~~ajustes~~ ~~ajustado~~) De fato no $n_{cm}(t)$, o gráfico apresenta ter uma ligeira curvatura e que este gráfico começa no ponto de origem do referencial, já no gráfico de $n_{cmaj}(t)$ quando $t=0$, $n=3,1$.

Comparando $n_A(t)$ e $n_{A_{aj}}(t)$ de ajuste, no gráfico da Fig. 8, observamos que o gráfico de ~~ajuste~~ ajuste não se encontra sobreposto ao gráfico de $n_A(t)$, e que pode querer dizer que os valores e as pesquisas analisadas no Tracker não foram colhidos

com muita precisão. Uma vez que a inclinação do gráfico de $n_{A,aj}(t)$ é dada pela V_{cm} , uma vez que $n_{A,aj}(t)$ tem menor inclinação que $n_A(t)$, é de esperar que tenha também uma V_{cm} inferior à translação de A.

Analizando o gráfico de resíduos da Fig. 7, notamos que este forma uma parábola invertida com máximo relativo entre $t = 1,5\text{s}$ e $T = 2\text{s}$. O que é evidente no gráfico da Fig. 8, pois a função $n_{A,aj}(t)$ começa jinto a $n_A(t)$ e separa-se, voltando a coincidir no final do gráfico $\approx t = 3,5\text{s}$.

Anexos

t	periferia		
	Xa	Ya	fit 1
0	0,14	6,489	0
0,04	2,022	6,341	1,531696
0,08	3,703	6,044	3,019703
0,12	5,334	5,5	4,422832
0,16	6,768	4,66	5,704765
0,2	7,905	3,968	6,836129
0,24	8,894	3,177	7,795181
0,28	9,635	2,386	8,574
0,32	10,33	1,489	9,169112
0,36	10,67	1,001	9,591514
0,4	10,77	0,605	9,861106
0,44	10,87	0,359	10,00655
0,48	10,87	0,359	10,06361
0,52	10,87	0,556	10,07314
0,56	11,02	0,853	10,0787
0,6	11,42	1,496	10,12408
0,64	11,86	2,188	10,2508
0,68	12,6	2,979	10,49571
0,72	13,54	3,819	10,88887
0,76	14,63	4,61	11,45187
0,8	15,66	5,253	12,19654
0,84	17,35	5,895	13,12431
0,88	18,78	6,291	13,26914
0,92	20,58	6,489	13,48289
0,96	22,09	6,489	16,86671
1	23,87	6,44	18,34237
1,04	25,46	5,945	19,86939
1,08	26,74	5,55	21,40434
1,12	28,27	4,858	22,90335
1,16	29,16	4,165	24,32461
1,2	30,3	3,424	25,63074
1,24	31,19	2,583	26,791
1,28	31,59	1,743	27,78298
1,32	31,88	1,347	28,59393
1,36	32,06	1,001	29,22148
1,4	32,43	0,556	29,67377
1,44	32,28	0,21	29,95898
1,48	32,33	0,26	30,1343
1,52	32,38	0,507	30,20437
1,56	32,67	0,853	30,21928
1,6	32,87	1,298	30,22223
1,64	33,07	1,743	30,25735
1,68	33,56	2,336	30,36656
1,72	34,35	3,276	30,58775
1,76	35,34	3,869	30,95239
1,8	36,28	4,759	31,48366
1,84	37,37	5,253	32,19623
1,88	38,51	5,797	33,09042
1,92	40,05	6,242	34,16202
1,96	41,42	6,44	35,39274
2,04	42,32	6,562	36,75874
2,08	45,72	6,242	39,73904
2,12	47,01	5,846	41,27582
2,16	48,25	5,451	42,78448
2,2	49,48	4,858	44,22264
2,24	50,42	4,165	45,55197
2,28	51,36	3,622	45,74039
2,32	52,05	2,979	47,76389
2,36	52,7	2,188	48,6079
2,4	53,04	1,743	49,26815
2,44	53,34	1,051	49,75091
2,48	53,49	0,655	50,07262
2,52	53,56	0,26	50,25895
2,56	53,63	0,161	50,34333
2,6	53,73	0,161	50,36504
2,64	53,83	0,161	50,36694
2,68	53,83	0,655	50,39304
2,72	53,93	1,051	50,48595
2,76	54,18	1,298	50,68447
2,8	54,57	1,792	51,02132
2,84	54,97	2,138	51,5213
2,88	55,32	2,88	52,19988
2,92	56,16	3,77	53,06226
2,96	56,95	4,314	54,10312
3	58,03	4,907	55,3069
3,04	58,83	5,401	56,54872
3,08	59,91	5,797	58,09577
3,12	61,25	6,192	59,6092
3,16	62,43	6,214	61,14589
3,2	63,3	6,341	62,66531
3,24	65,15	6,39	64,11713
3,28	66,19	6,242	65,48662
3,32	67,43	5,945	66,68443
3,36	68,61	5,55	67,73896
3,4	69,36	5,154	68,61588
3,44	70,54	4,66	69,30904
3,48	71,48	3,968	69,82282
3,52	72,17	3,424	70,17186
3,56	72,52	2,929	70,38029
3,6	73,31	2,435	70,48026
3,64	73,56	1,694	70,51015
3,68	73,95	1,298	70,51237
3,72	73,85	0,903	70,5309
3,76	74	0,606	70,60878
3,8	74,3	0,26	70,78568
3,84	74,25	0,112	71,09556

Efig.11- Tabela com os valores obtidos no Tracker da periferia e o seu ajuste

t	centro de massa		
	Xcm	Ycm	fit 2
0,00	0,14	3,23	3,09
0,04	1,08	3,42	3,86
0,08	2,07	3,37	4,63
0,12	2,96	3,42	5,40
0,16	4,05	3,42	6,17
0,20	5,04	3,42	6,94
0,24	5,98	3,28	7,71
0,28	6,57	3,37	8,48
0,32	7,76	3,47	9,25
0,36	8,80	3,28	10,02
0,40	9,59	3,23	10,79
0,44	10,48	3,23	11,56
0,48	11,37	3,37	12,33
0,52	12,21	3,37	13,09
0,56	13,10	3,37	13,86
0,60	13,99	3,37	14,63
0,64	14,93	3,33	15,40
0,68	15,91	3,37	16,17
0,72	16,75	3,23	16,94
0,76	17,40	3,23	17,71
0,80	18,39	3,28	18,48
0,84	19,52	3,28	19,25
0,88	20,17	3,28	20,02
0,92	20,86	3,28	20,79
0,96	21,99	3,28	21,56
1	23,13	3,276	22,33
1,04	23,73	3,276	23,10
1,08	24,42	3,374	23,87
1,12	25,46	3,325	24,64
1,16	26,49	3,325	25,41
1,2	27,14	3,276	26,18
1,24	28,03	3,276	26,95
1,28	28,97	3,374	27,72
1,32	29,46	3,276	28,49
1,36	30,35	3,276	29,25
1,4	31,24	3,374	30,02
1,44	32,38	3,325	30,79
1,48	33,02	3,374	31,56
1,52	33,71	3,424	32,33
1,56	34,3	3,572	33,10
1,6	35,54	3,473	33,87
1,64	36,48	3,325	34,64
1,68	36,97	3,325	35,41
1,72	37,57	3,374	36,18
1,76	38,46	3,374	36,95
1,8	39,25	3,374	37,72
1,84	40,04	3,473	38,49
1,88	40,93	3,523	39,26
1,92	41,52	3,276	40,03
1,96	42,12	3,523	40,80
2	43,4	3,374	41,57
2,04	43,9	3,226	42,34
2,08	44,44	3,325	43,11
2,12	45,28	3,523	43,88
2,16	45,77	3,424	44,65
2,2	46,66	3,374	45,41
2,24	47,36	3,374	46,18
2,28	48,49	3,226	46,95
2,32	48,99	3,325	47,72
2,36	49,73	3,325	48,49
2,4	50,52	3,325	49,26
2,44	50,82	3,325	50,03
2,48	51,76	3,226	50,80
2,52	52,3	3,226	51,57
2,56	53,39	3,177	52,34
2,6	53,59	3,325	53,11
2,64	54,67	3,325	53,88
2,68	55,37	3,325	54,65
2,72	56,16	3,276	55,42
2,76	56,55	3,276	56,19
2,8	57,19	3,276	56,96
2,84	57,89	3,276	57,73
2,88	58,53	3,177	58,50
2,92	58,92	3,177	59,27
2,96	59,62	3,127	60,04
3	60,8	3,276	60,81
3,04	61,4	3,276	61,58
3,08	61,79	3,226	62,34
3,12	62,63	3,276	63,11
3,16	63,37	3,374	63,88
3,2	64,02	3,276	64,65
3,24	65,01	3,424	65,42
3,28	65,35	3,424	66,19
3,32	66,09	3,325	66,96
3,36	66,54	3,325	67,73
3,4	67,33	3,276	68,50
3,44	67,82	3,325	69,27
3,48	68,66	3,374	70,04
3,52	69,6	3,226	70,81
3,56	69,6	3,226	71,58
3,6	70,59	3,226	72,35
3,64	71,14	3,325	73,12
3,68	71,63	3,325	73,89
3,72	72,82	3,325	74,66
3,76	73,06	3,325	75,43
3,8	73,41	3,374	76,20
3,84	74	3,374	76,97

Efig.12 - Tabela com os valores obtidos no Tracker do centro de massa, e seu ajuste e os resultados