

DIEGO FERNANDO MORO

**ANÁLISE DOS MOTORES NETUNO-M DO TE DE
11/06/2017**

Relatório do grupo de pesquisa CFD,
propulsão e aerodinâmica de foguetes , Setor
de Tecnologia da Universidade Federal do
Paraná.

CURITIBA

23 JUN 2017

SUMÁRIO

1 Dados relevantes dos Netuno-M e do TE.....	3
2 Análise com o aplicativo Curva_Empuxo 3.2	3
2.1 NM9.....	4
2.1.1 Curva de empuxo.....	4
2.1.2 Pressão de estagnação.....	5
2.1.3 Coeficiente de empuxo	5
2.1.4 Velocidade de ejeção efetiva.....	6
2.1.5 Fluxo de massa	6
2.2 NM10.....	7
2.2.1 Curva de empuxo.....	7
2.2.2 Pressão de estagnação.....	7
2.2.3 Coeficiente de empuxo	8
2.2.4 Velocidade de ejeção efetiva.....	8
2.2.5 Fluxo de massa	9
2.3 NM11	9
2.3.1 Curva de empuxo.....	9
2.3.2 Pressão de estagnação.....	10
2.3.3 Coeficiente de empuxo	10
2.3.4 Velocidade de ejeção efetiva.....	11
2.3.5 Fluxo de massa	11
2.4 NM12.....	12
2.4.1 Curva de empuxo.....	12
2.4.2 Pressão de estagnação.....	12
2.4.3 Coeficiente de empuxo	13
2.4.4 Velocidade de ejeção efetiva.....	13
2.4.5 Fluxo de massa	14
3 Análise teórica com o aplicativo Empuxo 1p7	14
4 Comparações teórica - experimentais.....	15
5 Discussão e conclusões.....	15

1 DADOS RELEVANTES DOS NETUNO-M E DO TE

Os dados mais relevantes do TE dos Netuno-M no dia 11/06/2017 estão presentes na Tab. 1:

Tabela 1 Dados relevantes sobre o TE dos Netuno-M de 11/06/2017

Motor:	NM9	NM10	NM11	NM12	grandeza
Tubo:	7	1	8	2	
Tampa:	7	9	8	2	
Tubeira:	1	4	5	7	
Hora:	14:44	14:59	15:11	15:22	
Tatm:	21.1	21.3	21.4	21.5	°C
Tmax:	248	306	264	262	°C
Patm:	90.83	90.83	90.83	90.82	<i>kPa</i>
Dg:	13.855	13.325	12.968	13.040	<i>mm</i>
Mr:	10.449	10.736	12.475	12.017	<i>g</i>
Mp:	166.0	170.5	173.5	172.0	<i>g</i>
Mej:	172.0	165.7	170.1	169.3	<i>g</i>
Dme:	22.0	22.0	22.1	22.0	<i>mm</i>
Dma:	23.8	23.7	23.8	23.8	<i>mm</i>
Lp:	204.00	204.00	203.00	203.50	<i>mm</i>
ρ	1117	1146	1174	1161	<i>Kg/m³</i>

onde: Tatm é a Temperatura atmosférica, Tmax é a temperatura máxima mensurada do invólucro, Patm é a pressão atmosférica, Dg é o diâmetro da garganta da tubeira antes do teste, Mr é a massa de resíduos, Mp é a massa de propelente embarcada, Mej é a massa de propelente ejetada do motor, Di é o diâmetro interno do tubo, Dme e Dma são os diâmetros menores e maiores estimados do grão tronco de cone, Lp é o comprimento do grão propelente e ρ é a massa específica do propelente embarcado.

2 ANÁLISE COM O APLICATIVO CURVA_EMPUXO 3.2

Neste item são mostrados os resultados da curva de empuxo dos motores Netuno-M com o aplicativo Curva_Empuxo 3.2 aplicando a hipótese de expansão **até a garganta**, pois esta aproximação é mais conservadora em relação a pressão de estagnação estimada.

A definição da curva de empuxo é igual aquela definida no item 1 da análise do TE de 24/10/2015 dos Netuno-R, com uma tolerância de 1% para a diferença entre impulsos totais subsequentes. A Tab. 2 resume o resultado do moto:

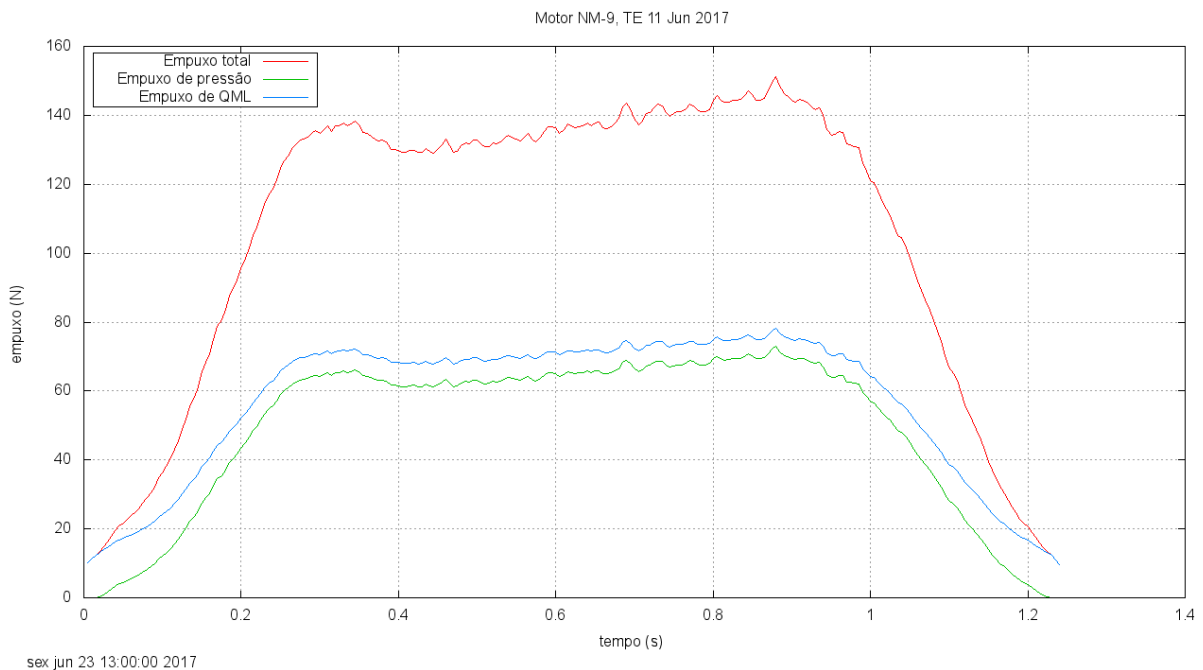
Tabela 2 Resultados do aplicativo Curva Empuxo 3.2

Motor	NM9	NM10	NM11	NM12
It (Ns)	131.20	126.36	138.71	135.56
E _{max} (N)	151.08	147.51	217.70	200.59
t _{qp} (s)	1.24	1.23	1.18	1.18
p _{max} (bar)	9.66	10.15	15.46	14.14
p _{med} (bar)	6.98	7.32	8.71	8.41
I _s (s)	77.78	77.76	83.16	81.65

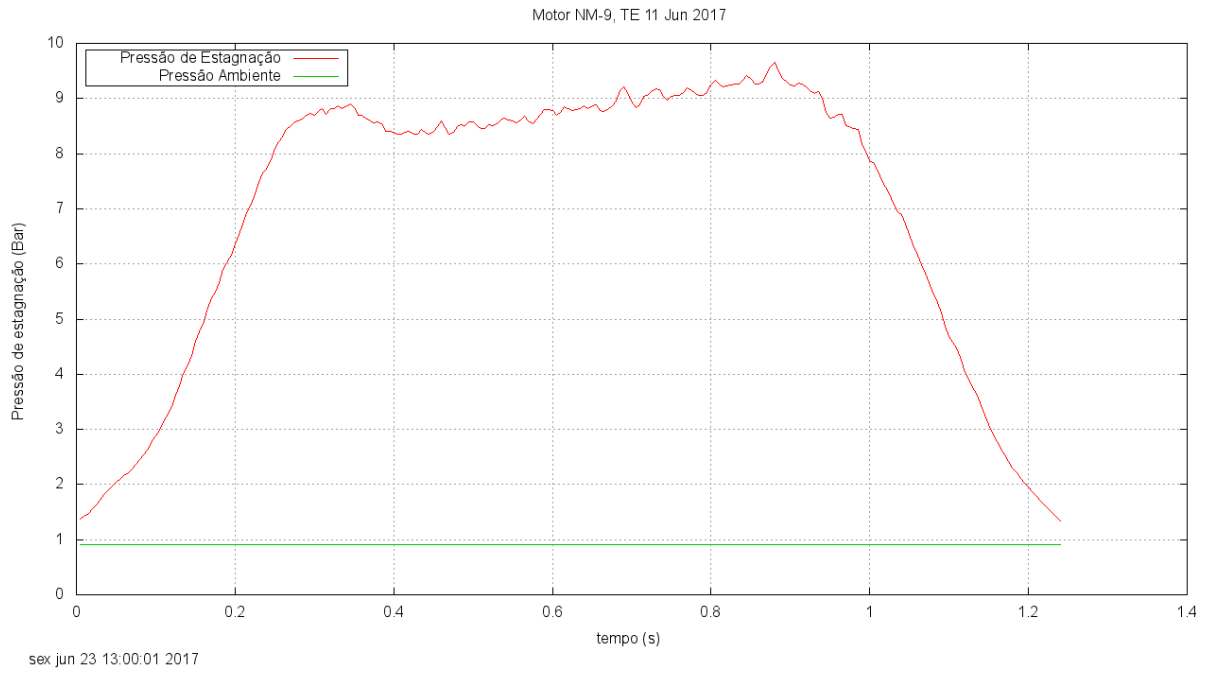
A seguir serão mostrados os principais campos obtidos pelo aplicativo Curva_Empuxo 3.2 para cada um dos três motores testados.

2.1 NM9

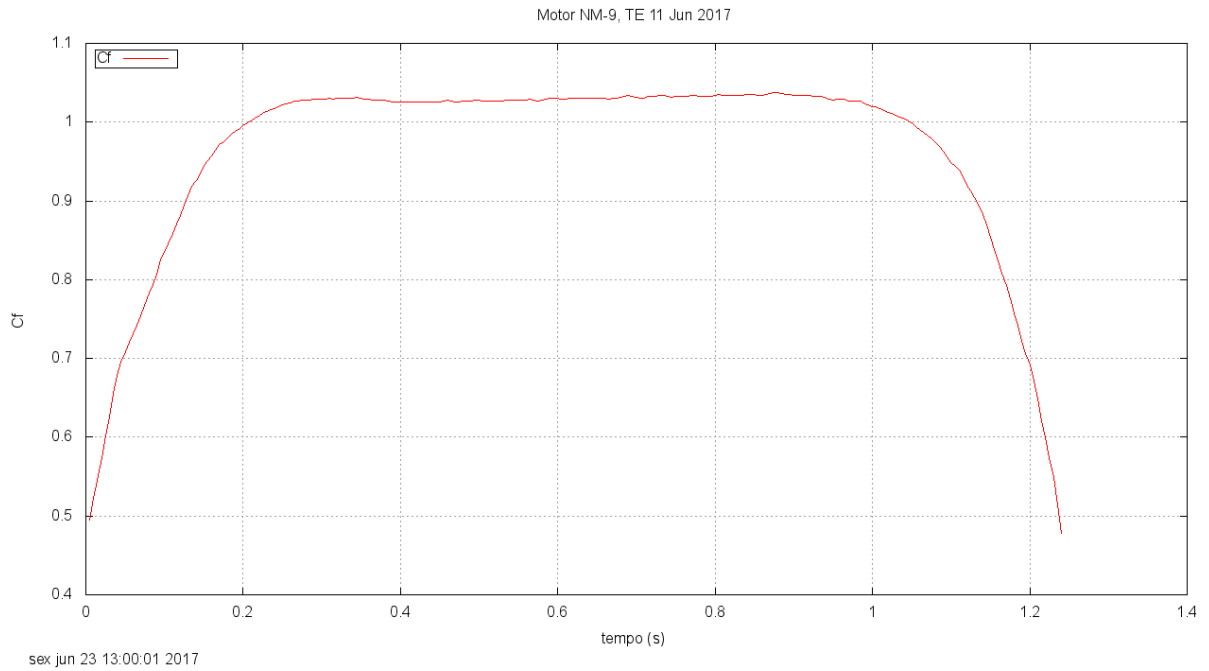
2.1.1 Curva de empuxo



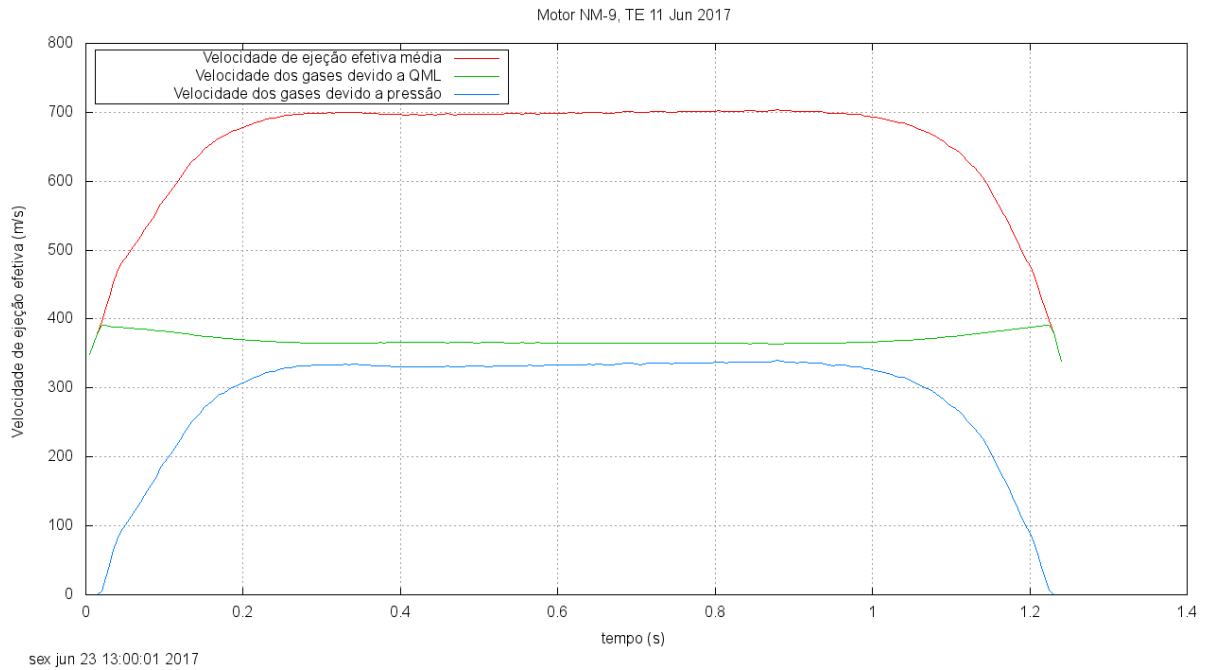
2.1.2 Pressão de estagnação



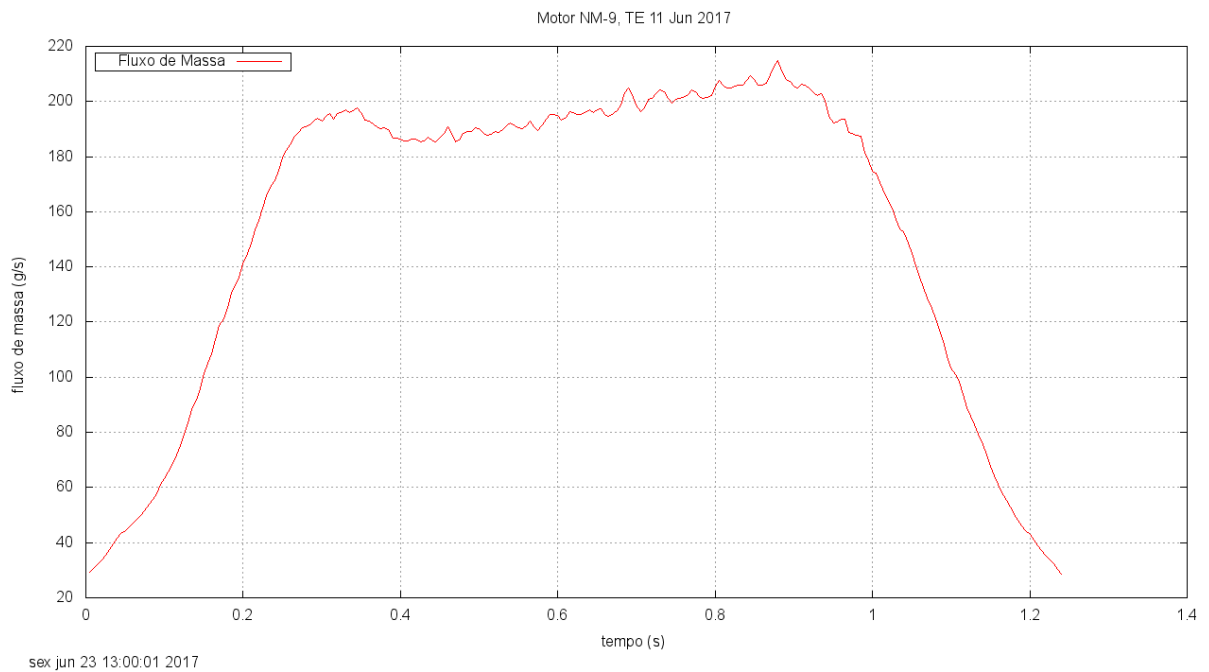
2.1.3 Coeficiente de empuxo



2.1.4 Velocidade de ejeção efetiva

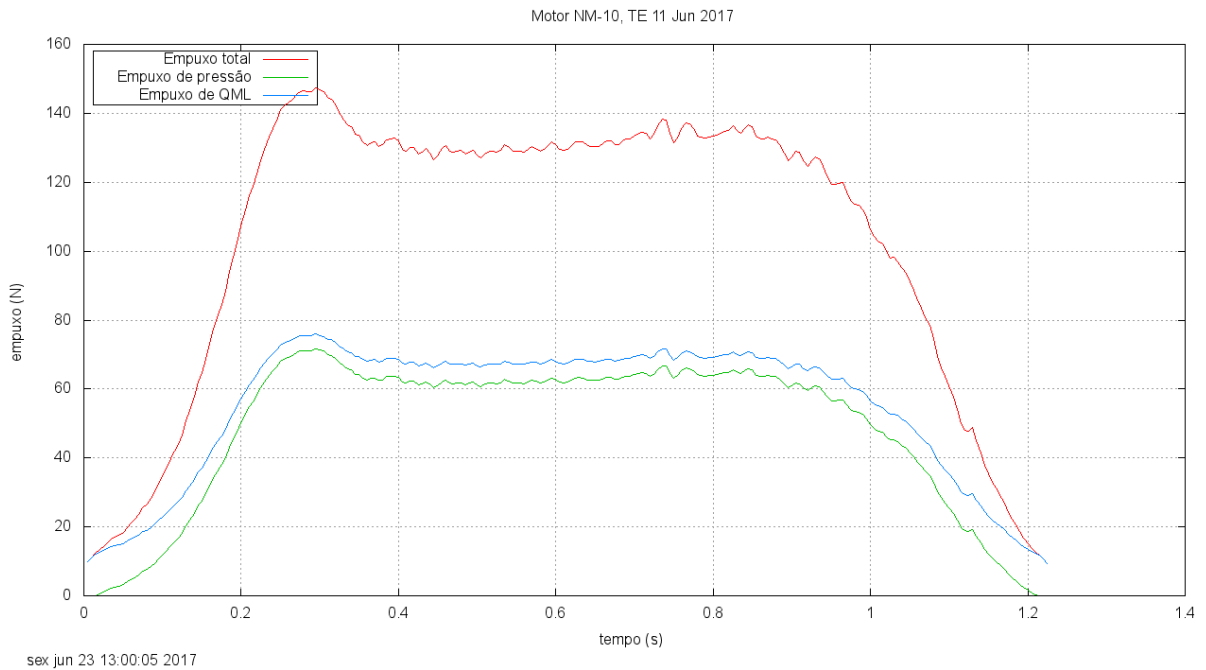


2.1.5 Fluxo de massa

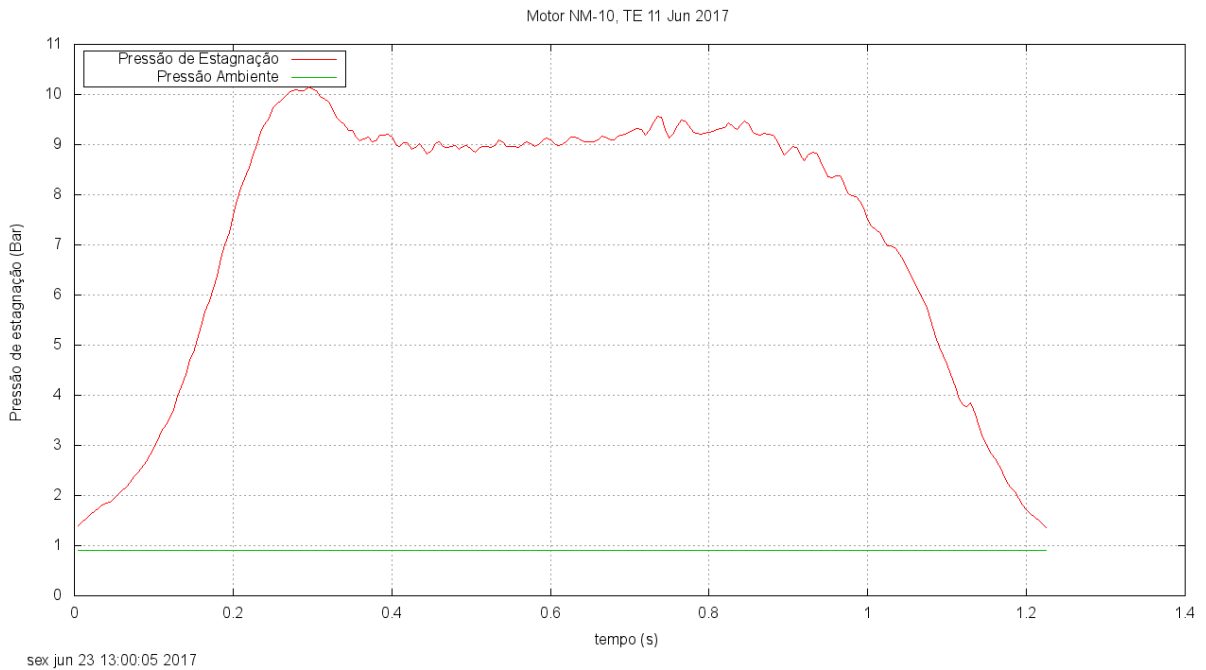


2.2 NM10

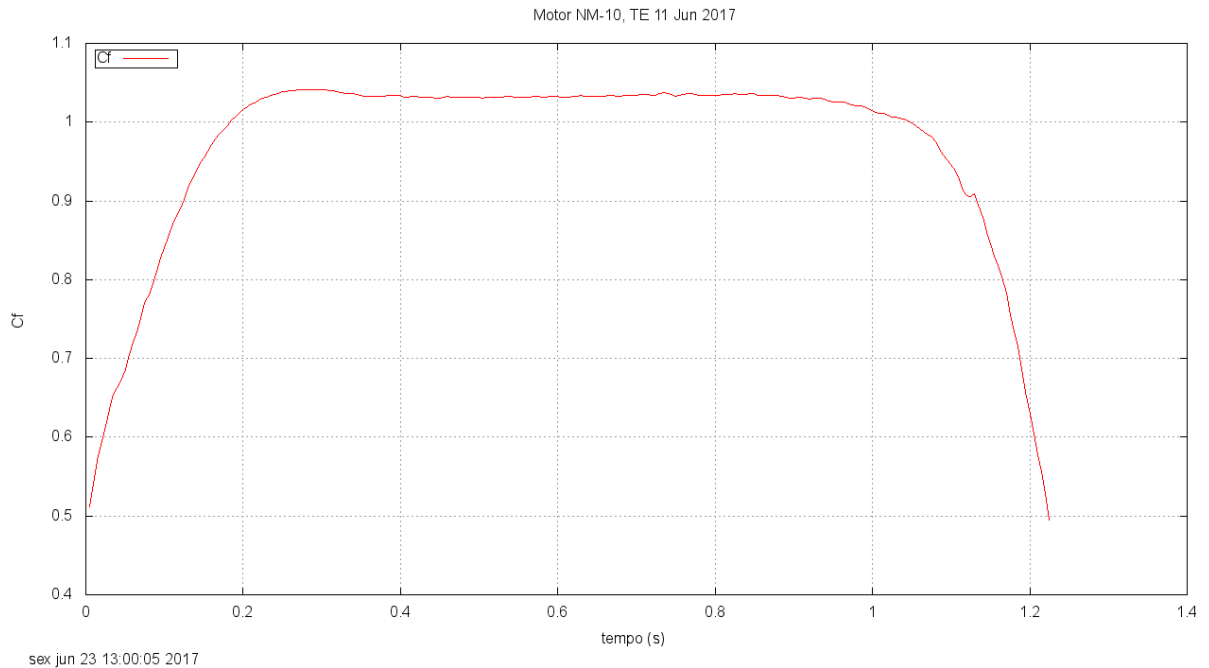
2.2.1 Curva de empuxo



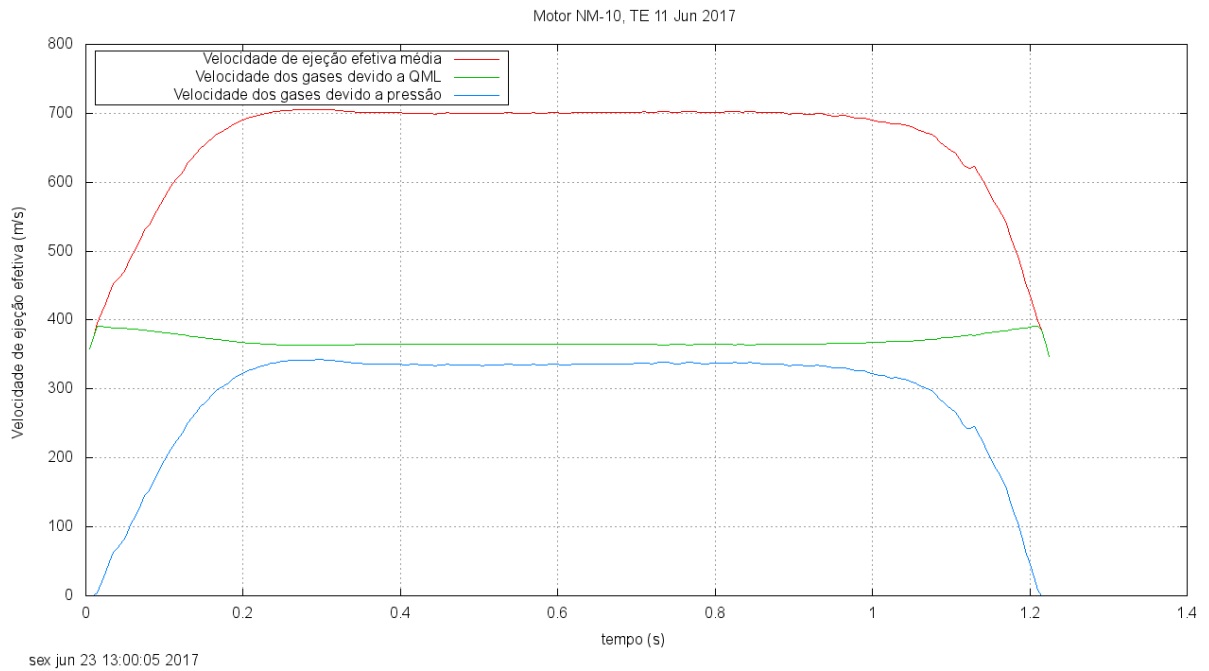
2.2.2 Pressão de estagnação



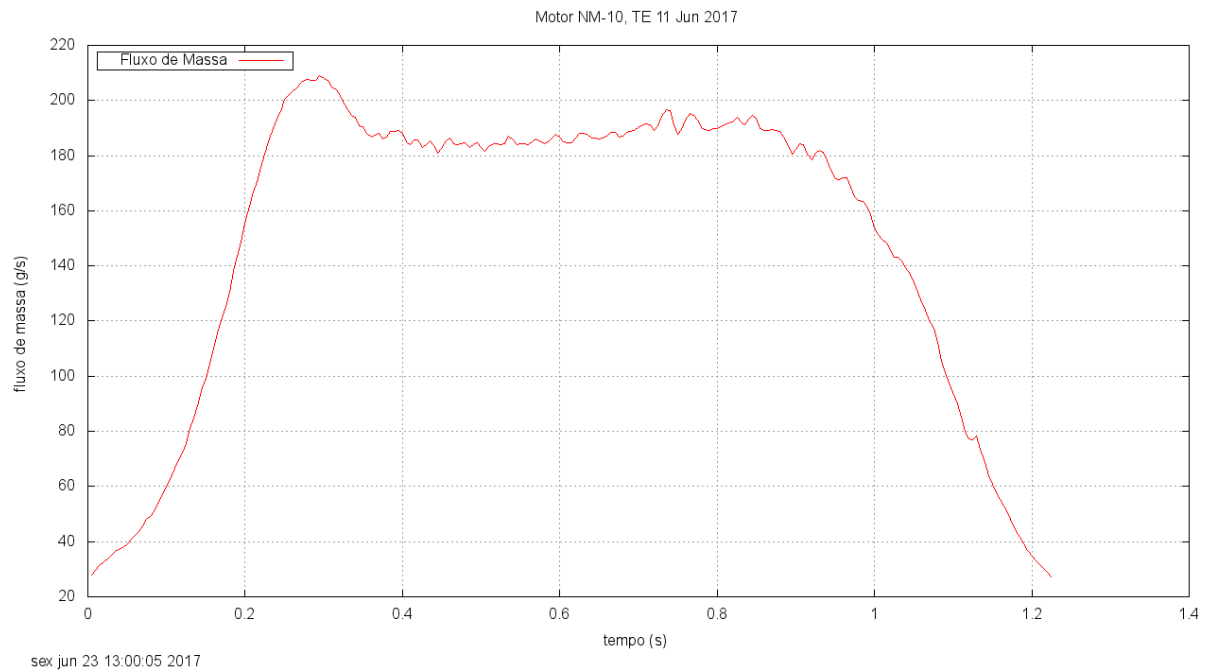
2.2.3 Coeficiente de empuxo



2.2.4 Velocidade de ejeção efetiva

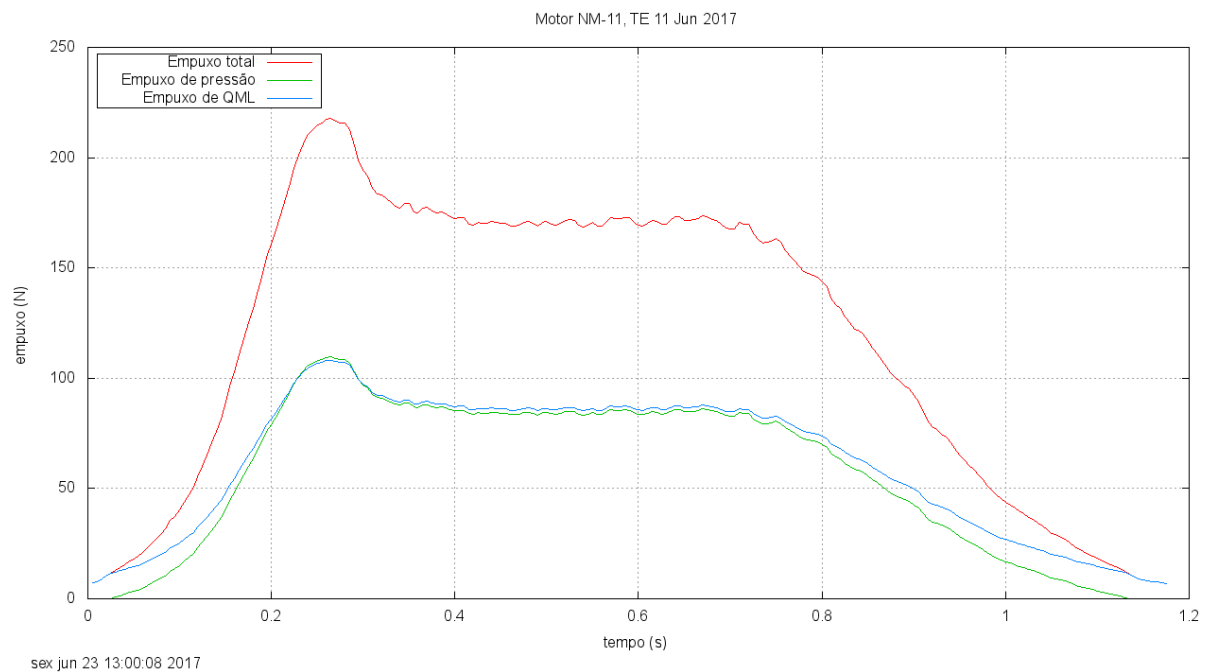


2.2.5 Fluxo de massa

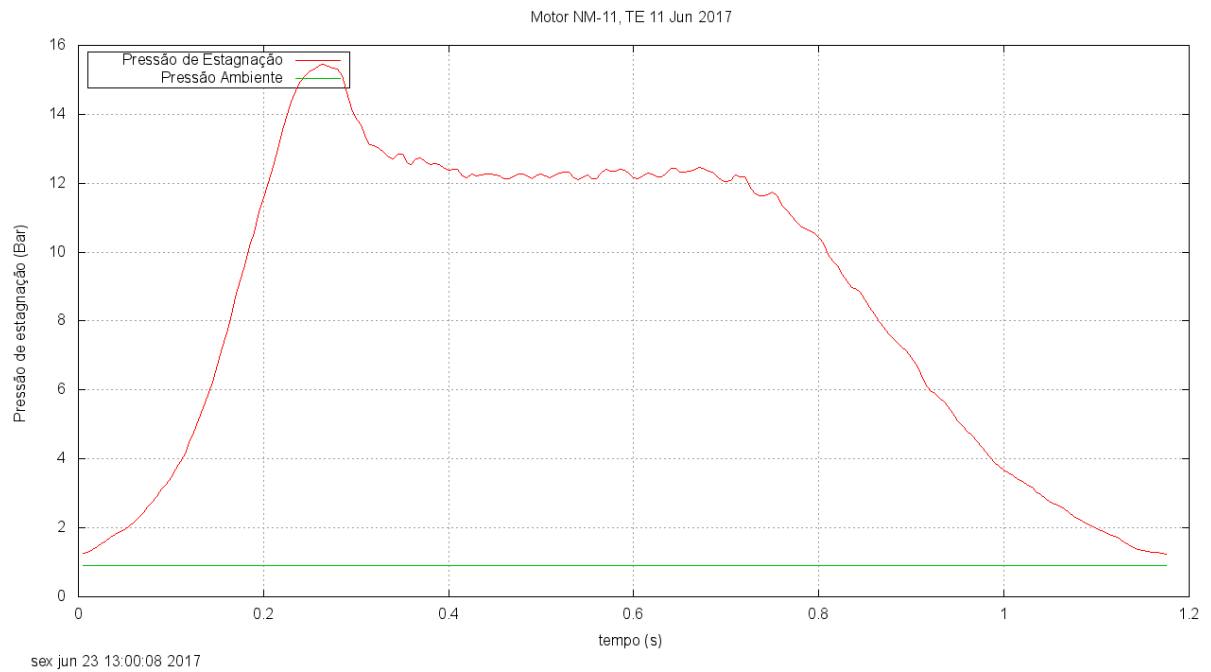


2.3 NM11

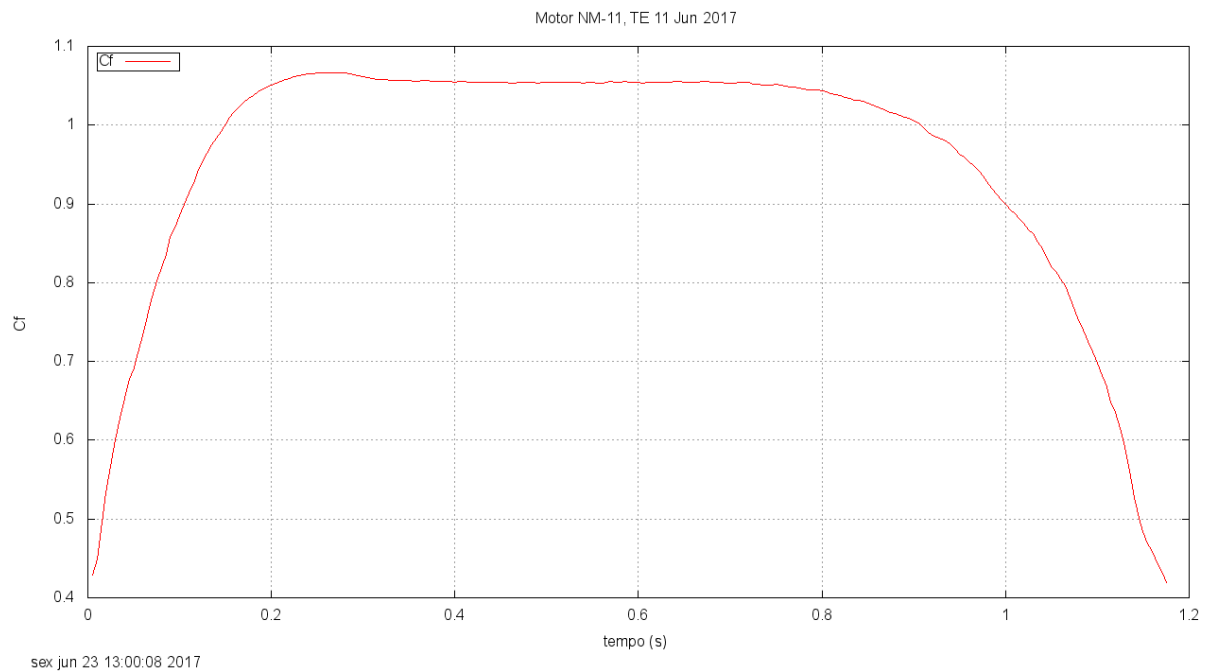
2.3.1 Curva de empuxo



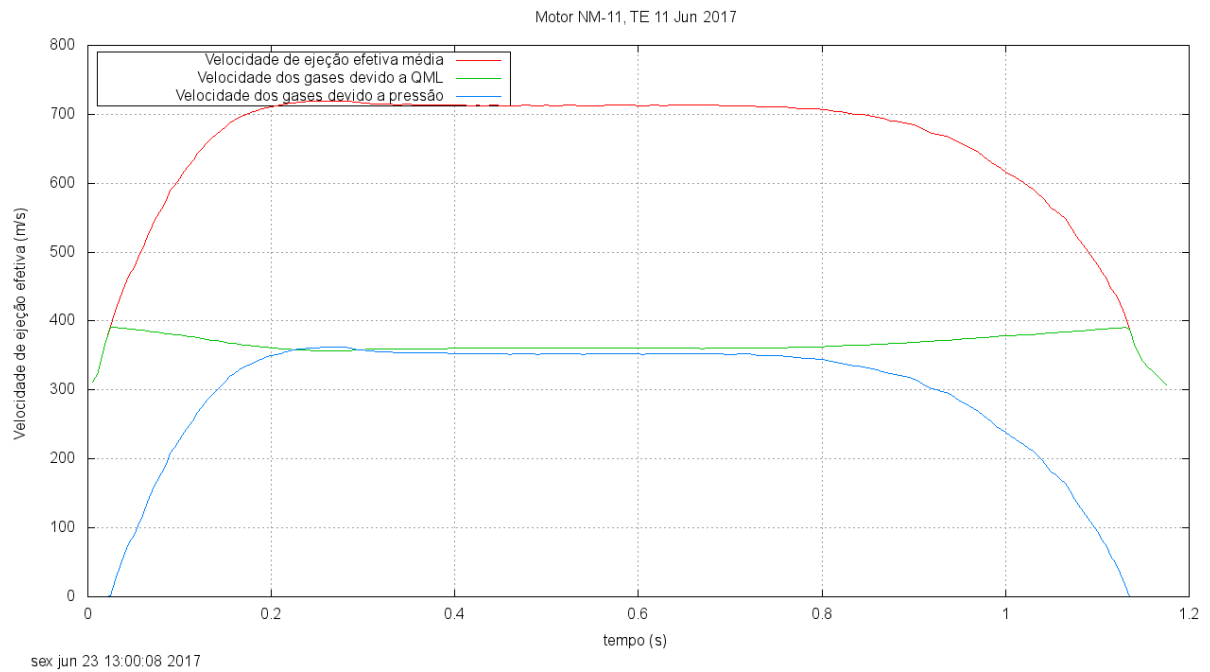
2.3.2 Pressão de estagnação



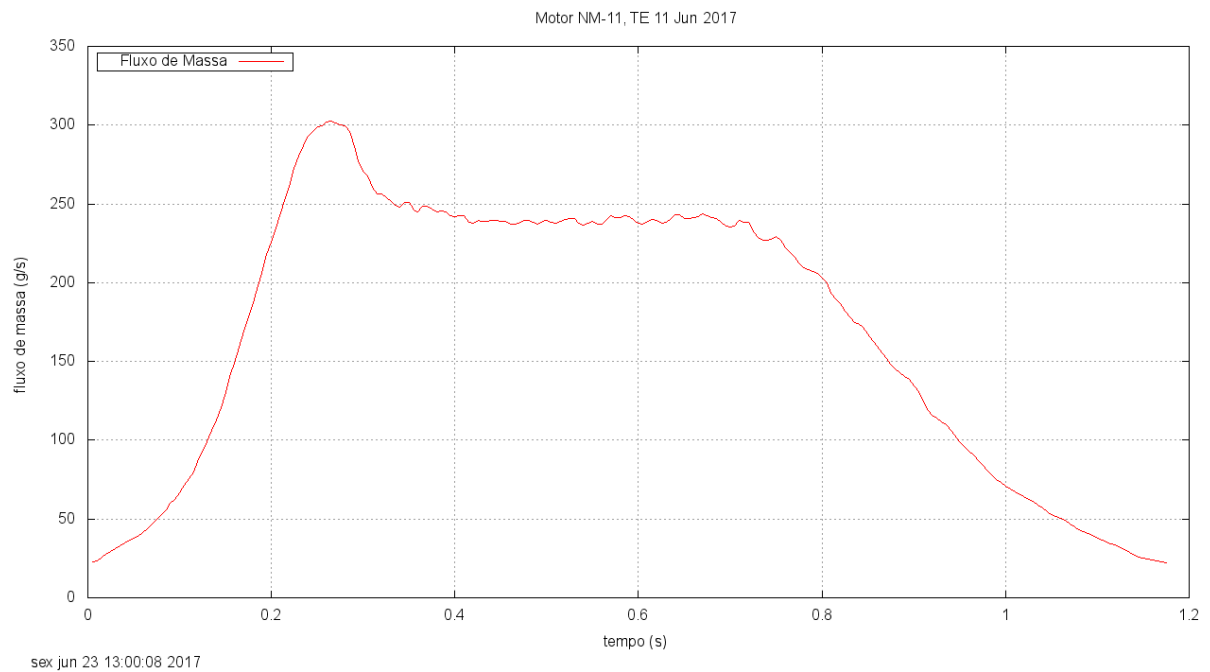
2.3.3 Coeficiente de empuxo



2.3.4 Velocidade de ejeção efetiva

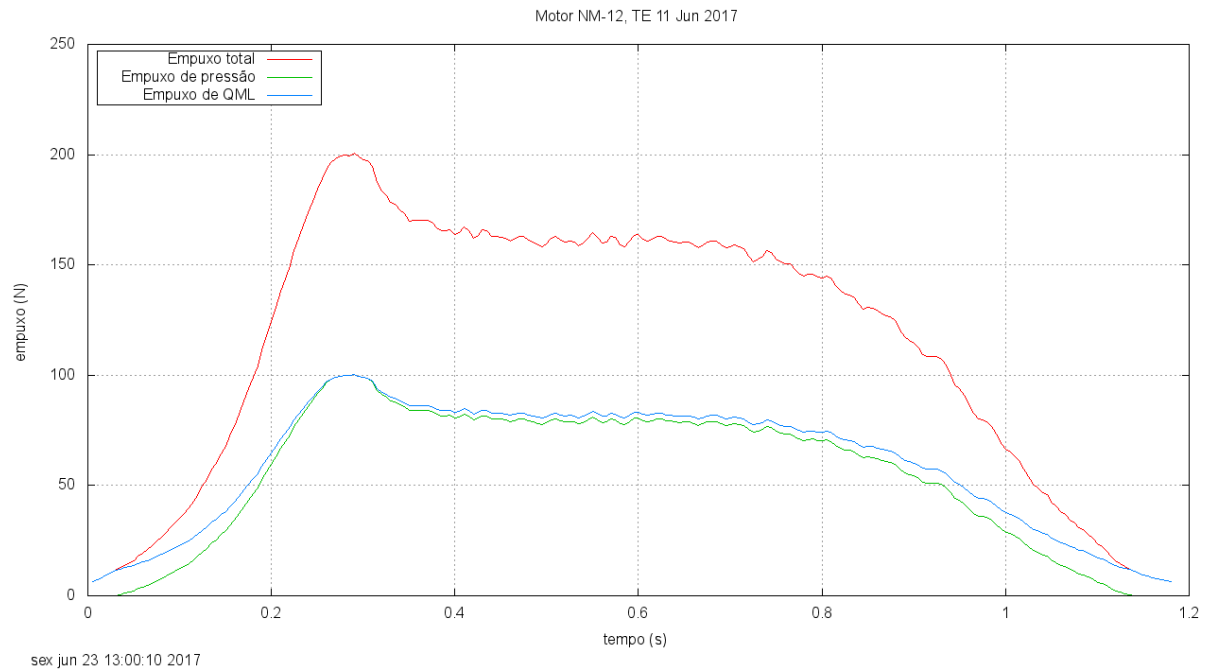


2.3.5 Fluxo de massa

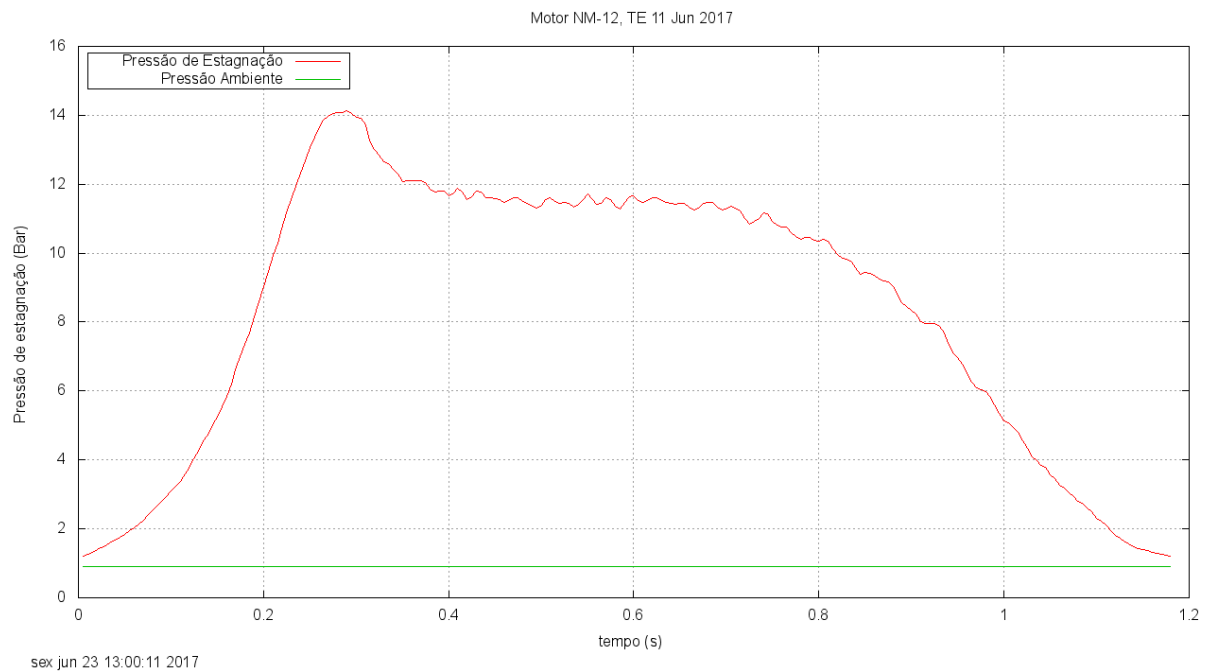


2.4 NM12

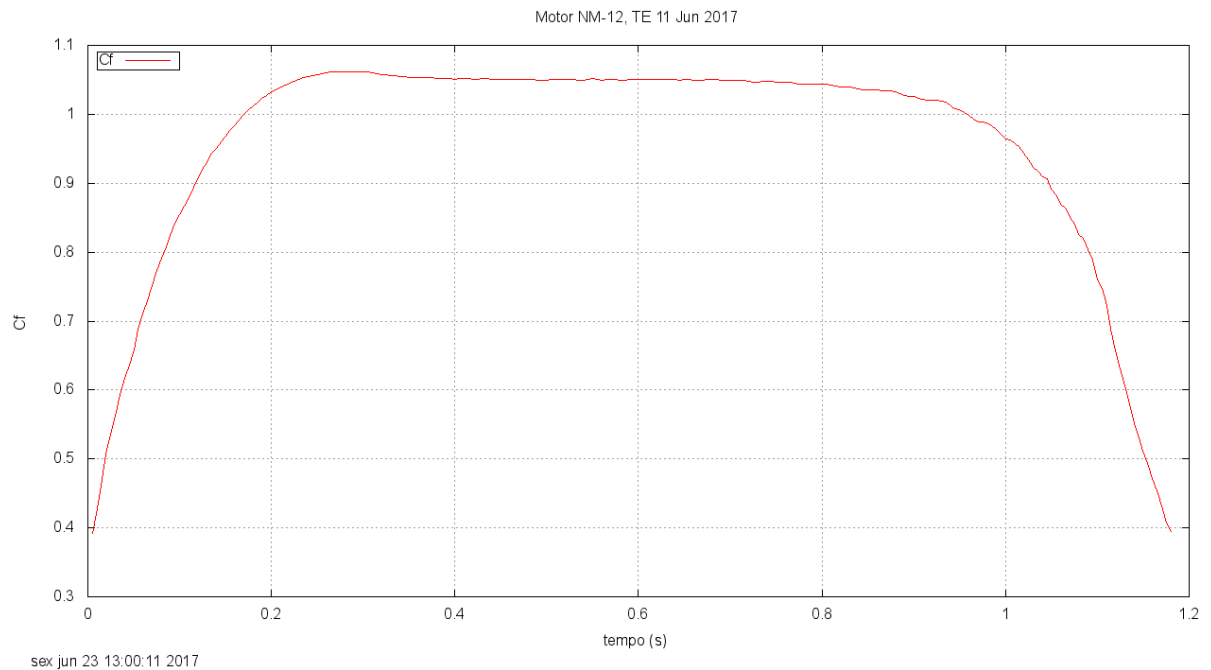
2.4.1 Curva de empuxo



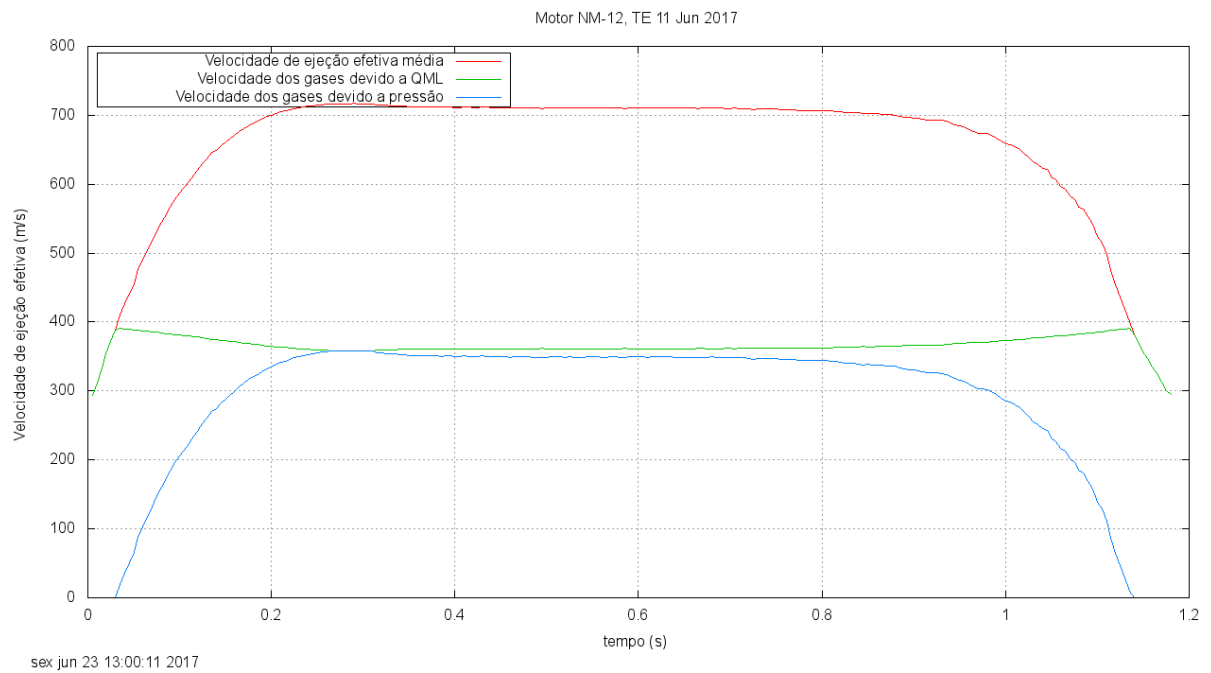
2.4.2 Pressão de estagnação



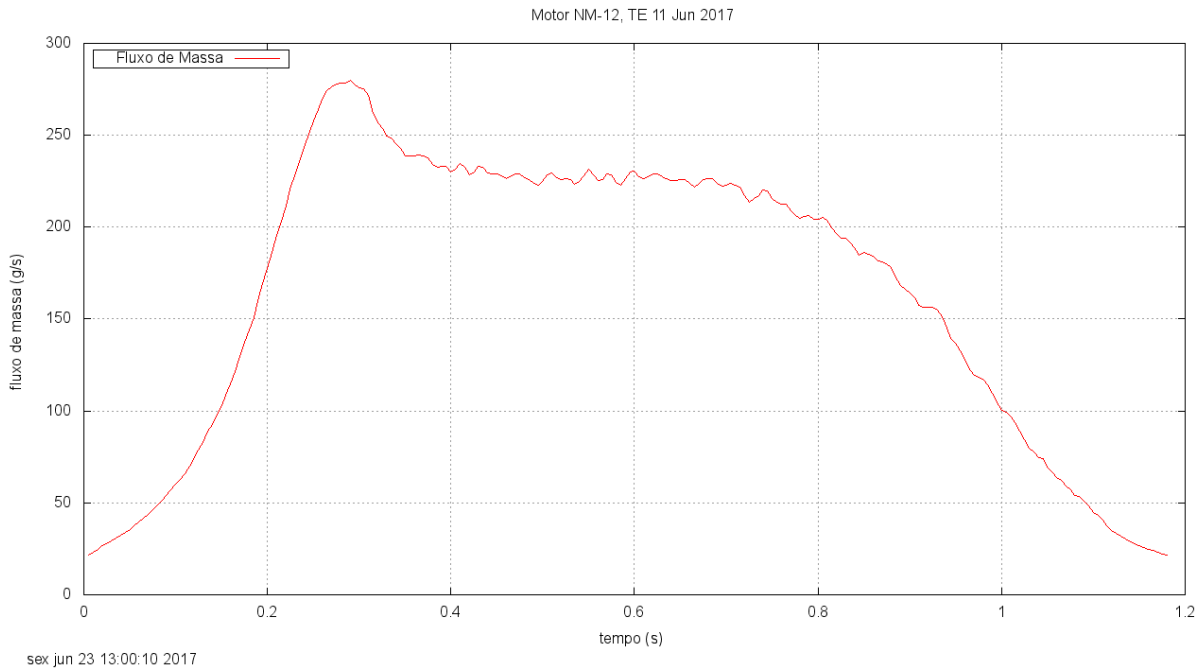
2.4.3 Coeficiente de empuxo



2.4.4 Velocidade de ejeção efetiva



2.4.5 Fluxo de massa



3 ANÁLISE TEÓRICA COM O APLICATIVO EMPUXO 1P7

Foram realizadas simulações utilizando o aplicativo Empuxo_1p7 considerando expansão ótima (forma mais otimista para o impulso total). Os tipos de grão testados no aplicativo Empuxo_1p7 foram: - Grão 3 queima tubular totalmente desinibida e Grão 6, queima tubular interna com as duas coroas desinibidas.

G3					G6				
Motor	NM9	NM10	NM11	NM12	Motor	NM9	NM10	NM11	NM12
It (Ns)	124.38	131.27	136.32	134.48	It (Ns)	99.476	106.68	111.69	109.98
E _{max} (N)	193.51	222.57	245.72	238.42	E _{max} (N)	67.548	74.239	79.26	77.632
t _{qp} (s)	0.707	0.651	0.615	0.6245	t _{qp} (s)	1.941	1.851	1.803	1.8155
p _{max} (bar)	9.8003	11.767	13.399	12.938	p _{max} (bar)	4.2155	4.8138	5.2863	5.1557
p _{med} (bar)	8.9731	10.712	12.127	11.729	p _{med} (bar)	3.4145	3.9488	4.3464	4.237
I _s (s)	76.436	78.623	80.096	79.705	I _s (s)	61.13	63.899	65.626	65.183

4 COMPARAÇÕES TEÓRICA - EXPERIMENTAIS

Foi calculado o erro percentual entre os resultados experimentais e os resultados teóricos na forma: $100 \frac{R_{exp} - R_{teo}}{R_{exp}}$, portanto se o resultado der um valor positivo, isto significa que o valor experimental é superior ao teórico e vice-versa.

Nas tabelas abaixo também foi colorido cada campo com base no seguinte critério:

Erro entre 0 a 15%: verde; Erro entre 15 a 45%: amarelo ; Erro superior a 45%: vermelho. Desta forma o grão teórico o qual apresentar maior quantidade de verdes será o que melhor representa os motores experimentais:

E G3 (%)					E G3 (%)				
Motor	NM5	NM6	NM7	NM8	Motor	NM5	NM6	NM7	NM8
It (Ns)	5.20	-3.88	1.72	0.80	It (Ns)	24.18	15.57	19.48	18.87
E _{max} (N)	-28.08	-50.88	-12.87	-18.86	E _{max} (N)	55.29	49.67	63.59	61.30
t _{qp} (s)	42.98	46.86	47.66	47.08	t _{qp} (s)	-56.53	-51.10	-53.45	-53.86
p _{max} (bar)	-1.49	-15.88	13.31	8.51	p _{max} (bar)	56.34	52.59	65.80	63.54
p _{med} (bar)	-28.47	-46.28	-39.25	-39.52	p _{med} (bar)	51.11	46.08	50.09	49.60
Is (s)	1.73	-1.11	3.68	2.38	Is (s)	21.41	17.83	21.08	20.17

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Em relação aos resultados experimentais: impulso total, o **motor NM11 gerou melhor resultado com 138,7 N.s**, seguido pelos motores **NM12, NM9 e NM10 com 135,6; 131,2 e 126,36 N.s** respectivamente, todos classe G. No último TE dos motores Netuno-M (25/09/2016) foi obtido impulso total para os motores **NM5, NM8, NM6 e NM7 de 151,5, 147,2, 136,5 e 130,4 N.s** respectivamente, todos classe G, ou seja, comparando o impulso total no motor de maior desempenho houve a redução de 8,4% em comparação ao último TE.

Analisando os resultados teóricos usando o código Empuxo 1p7, comparando a média do erro percentual experimental de todas as variáveis analisadas (It, E_{max}, t_{qp}, p_{max}, p_{med} e Is), o grão 6 (queima tubular interna mais as coroas) gerou resultados muito insatisfatórios: **43,3%** de erro percentual médio respectivamente. Já o grão tipo 3 (queima totalmente desinibida do grão tubular), apresentou erro percentual médio de **21,2%**.