

DIEGO FERNANDO MORO

**ANÁLISE DOS MOTORES NETUNO-R DO TE DE
14/11/2015**

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

**CURITIBA
16-18 NOV 2015**

SUMÁRIO

1 Dados relevantes dos Netuno-R e do TE.....	4
2 Análise com o aplicativo Curva_Empuxo 3.1	4
2.1 NR-4 (X).....	5
2.1.1 Curva de empuxo.....	5
2.1.2 Pressão de estagnação.....	5
2.1.3 Coeficiente de empuxo	6
2.1.4 Velocidade de ejeção efetiva.....	6
2.1.5 Fluxo de massa	7
2.2 NR-5 (&).....	7
2.2.1 Curva de empuxo.....	7
2.2.2 Pressão de estagnação.....	8
2.2.3 Coeficiente de empuxo	8
2.2.4 Velocidade de ejeção efetiva.....	9
2.2.5 Fluxo de massa	9
2.3 NR-6 (G).....	10
2.3.1 Curva de empuxo.....	10
2.3.2 Pressão de estagnação.....	10
2.3.3 Coeficiente de empuxo	11
2.3.4 Velocidade de ejeção efetiva.....	11
2.3.5 Fluxo de massa	12
3 Análise com o aplicativo Empuxo 1.4.....	12
3.1 NR-4 (X) – Grão Tubular.....	13
3.1.1 Curva de empuxo.....	13
3.1.2 Pressão de estagnação.....	13
3.1.3 Velocidade de ejeção efetiva.....	14
3.1.4 Fluxo de massa	14
3.2 NR-4 (X) – Grão totalmente desinibido	15
3.2.1 Curva de empuxo.....	15
3.2.2 Pressão de estagnação.....	15
3.2.3 Velocidade de ejeção efetiva.....	16
3.2.4 Fluxo de massa	16
3.3 NR-5 (&)– Grão Tubular	17

3.3.1 Curva de empuxo.....	17
3.3.2 Pressão de estagnação.....	17
3.3.3 Velocidade de ejeção efetiva.....	18
3.3.4 Fluxo de massa	18
3.4 NR-5 (&)– Grão totalmente desinibido	19
3.4.1 Curva de empuxo.....	19
3.4.2 Pressão de estagnação.....	19
3.4.3 Velocidade de ejeção efetiva.....	20
3.4.4 Fluxo de massa	20
3.5 NR-6 (G)– Grão Tubular.....	21
3.5.1 Curva de empuxo.....	21
3.5.2 Pressão de estagnação.....	21
3.5.3 Velocidade de ejeção efetiva.....	22
3.5.4 Fluxo de massa	22
3.6 NR-6 (G)– Grão totalmente desinibido	23
3.6.1 Curva de empuxo.....	23
3.6.2 Pressão de estagnação.....	23
3.6.3 Velocidade de ejeção efetiva.....	24
3.6.4 Fluxo de massa	24
4 Comparações teórico (Empuxo 1p4) – Experimental (Curva_Empuxo 3p1).....	25
4.1 Tabelas comparativas	25
4.1.1 Impulso total.....	25
4.1.2 Força de empuxo máxima.....	25
4.1.3 Tempo de queima do propelente.....	25
4.1.4 Força de empuxo média.....	26
4.1.5 Pressão de estagnação máxima.....	26
4.1.6 Pressão de estagnação média.....	26
5 Comparação dos resultados deste trabalho (TE de 14/11/2015) com os resultados do trabalho anterior (TE de 24/10/2015).....	26
5.1 Discussão e conclusões.....	27

1 DADOS RELEVANTES DOS NETUNO-R E DO TE

Os dados mais relevantes do TE dos Netuno-R no dia 14/11/2015 estão presentes na tabela abaixo.

Tabela 1 Dados relevantes sobre o TE dos Netuno-R de 14/11/2015

Envólucro	X - NR4	& - NR5	G - NR6
OBS	Acetona	Prensado	Prensado
Tubeira	Al-G	Al-A	CL
hora	15:02	15:09	15:15
Tatm (°C)	28,1	28,1	28,1
patm (kPa)	90,36	90,35	90,36
Dg (mm)	12,35	11,98	11,62
Ds (mm)	39,57	39,02	-
mr (g)	12,3	6,8	8,6
mp(g)	98	104,7	106,3
mej(g)	85,7	97,9	97,7
Di (mm)	38,1	38,1	38,1
Da (mm)	25,45	25,45	25,45
Lg (mm)	132	139	131
vol (m3)	8,33E-05	8,78E-05	8,27E-05
rop (Kg/m3)	1176	1193	1285

2 ANÁLISE COM O APLICATIVO CURVA_EMPUXO 3.1

Neste item são mostrados os resultados da curva de empuxo dos motores Netuno-R com o aplicativo Curva_Empuxo 3.1 aplicando a hipótese de expansão até a garganta. A definição da curva de empuxo é igual aquela definida no item 1 da análise do TE de 24/10/2015 dos Netuno-R.

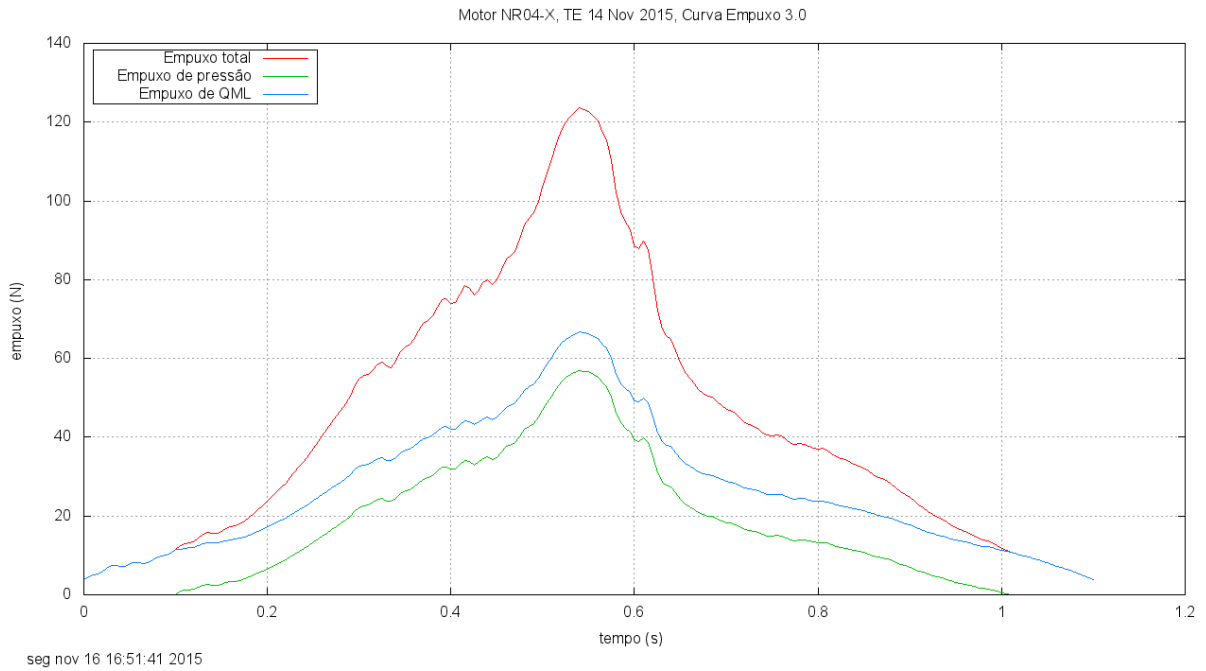
A tabela resumindo os resultados dos motores está mostrada abaixo.

Motor	NR-4 (X)	NR-5 (&)	NR-6 (G)
It (Ns)	48,50	62,60	69,47
E_{max}(N)	123,64	97,19	96,78
t_{qp} (s)	1,10	1,01	1,13
p_{max} (bar)	9,51	8,07	8,50
p_{med} (bar)	3,88	5,43	5,68

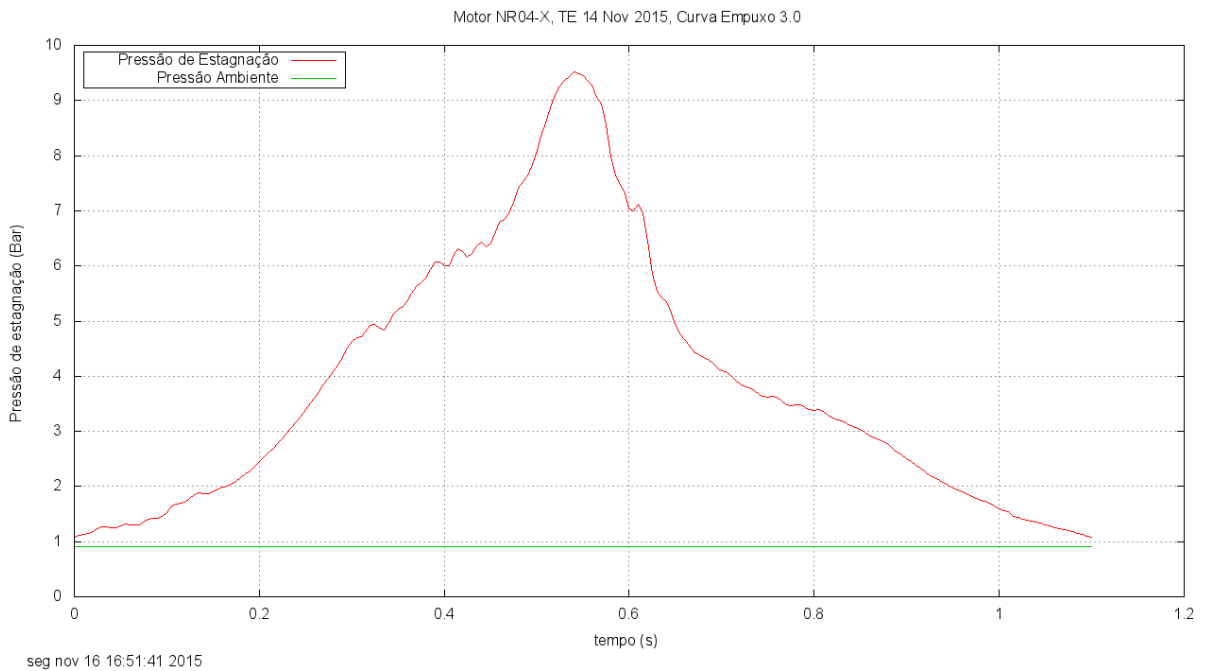
A seguir serão mostrados os principais campos obtidos pelo aplicativo Curva_Empuxo 3.1 para cada um dos três motores testados.

2.1 NR-4 (X)

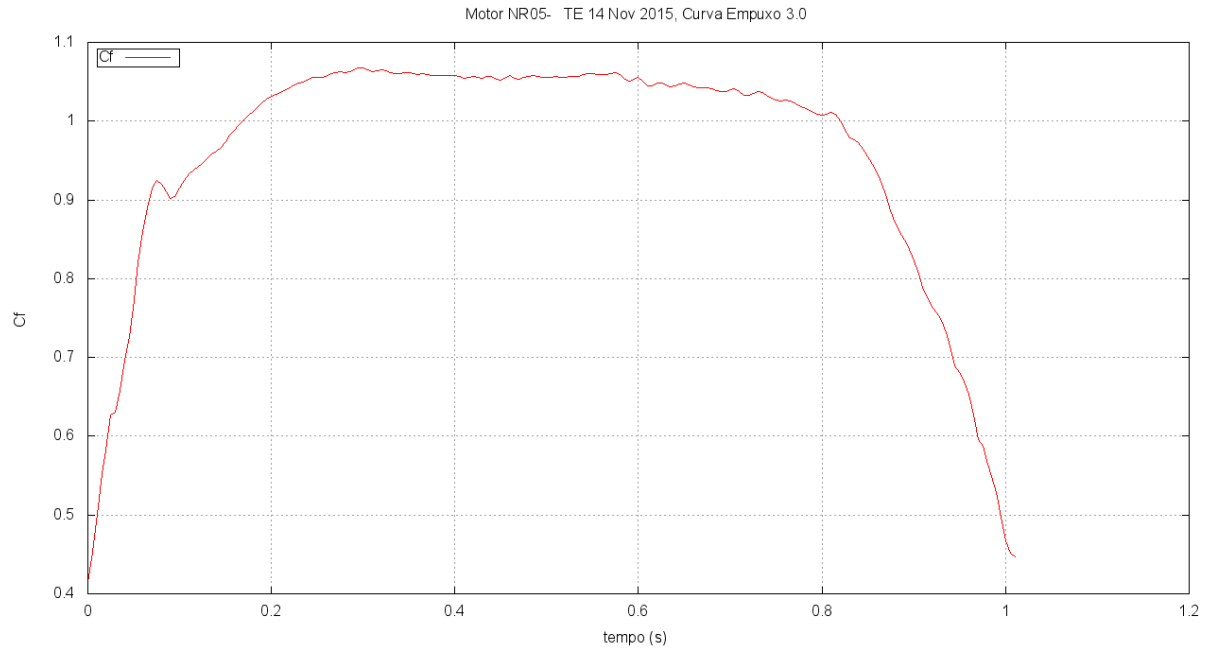
2.1.1 Curva de empuxo



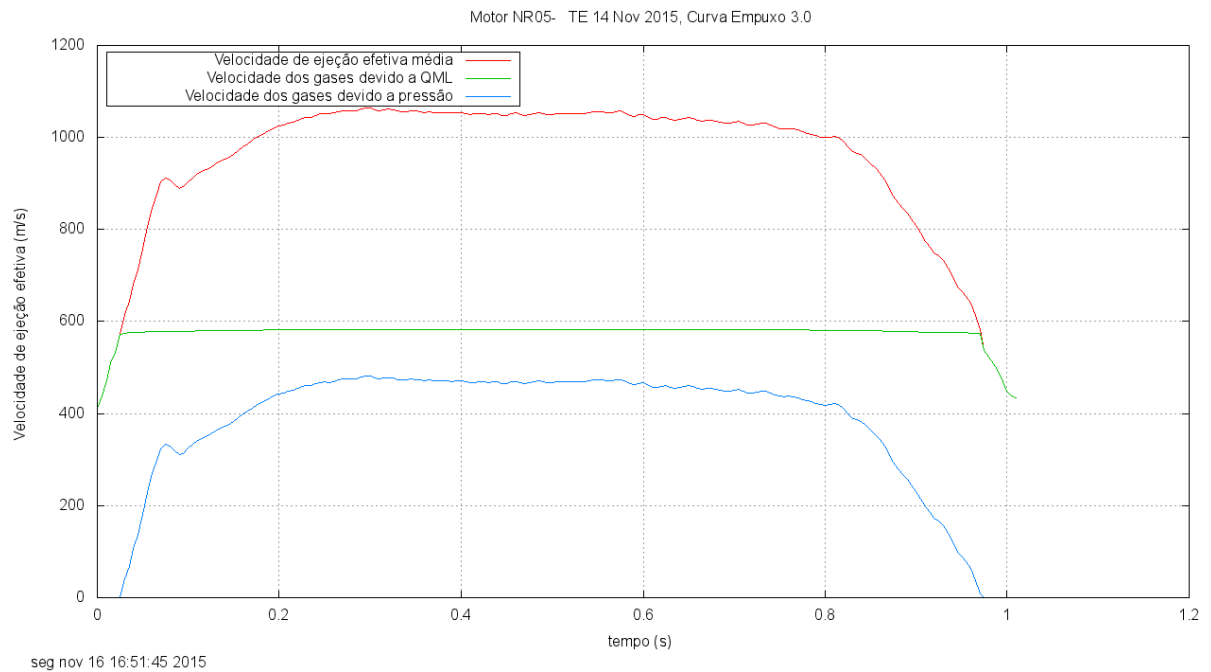
2.1.2 Pressão de estagnação



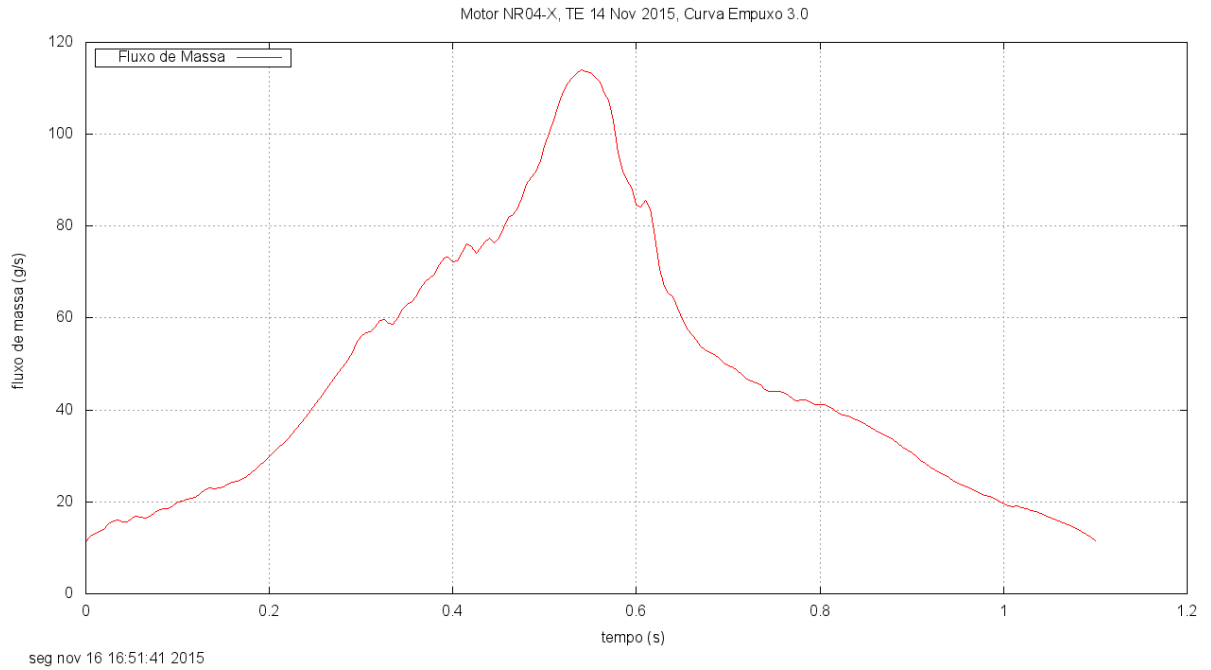
2.1.3 Coeficiente de empuxo



2.1.4 Velocidade de ejeção efetiva

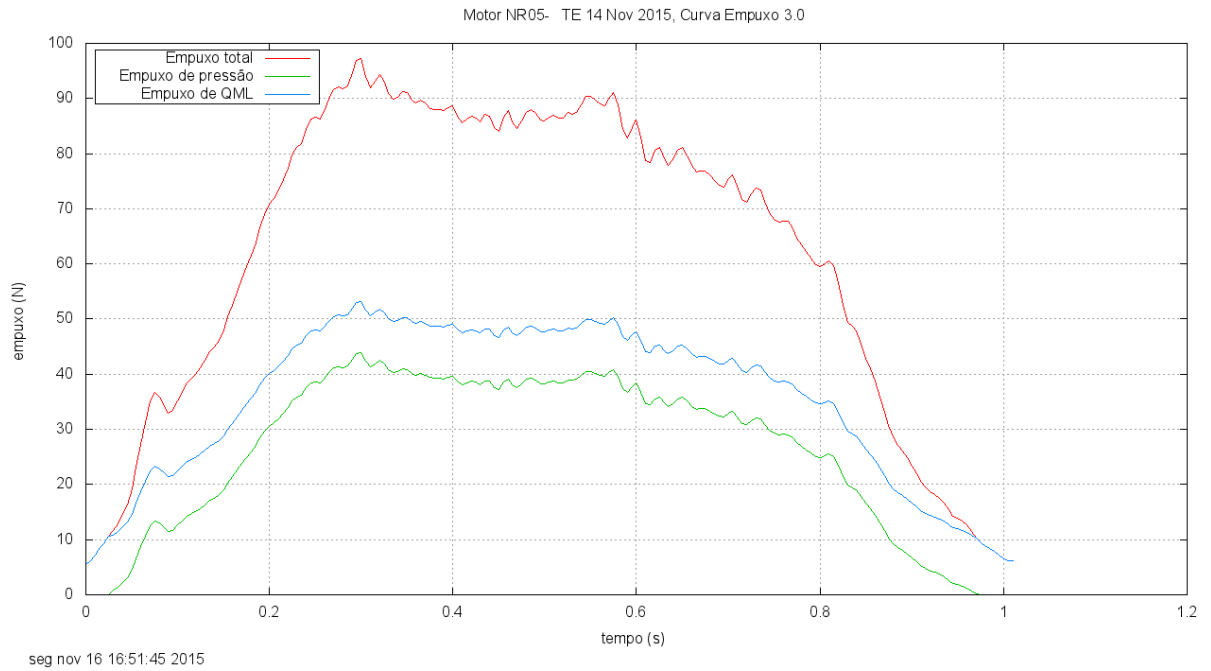


2.1.5 Fluxo de massa

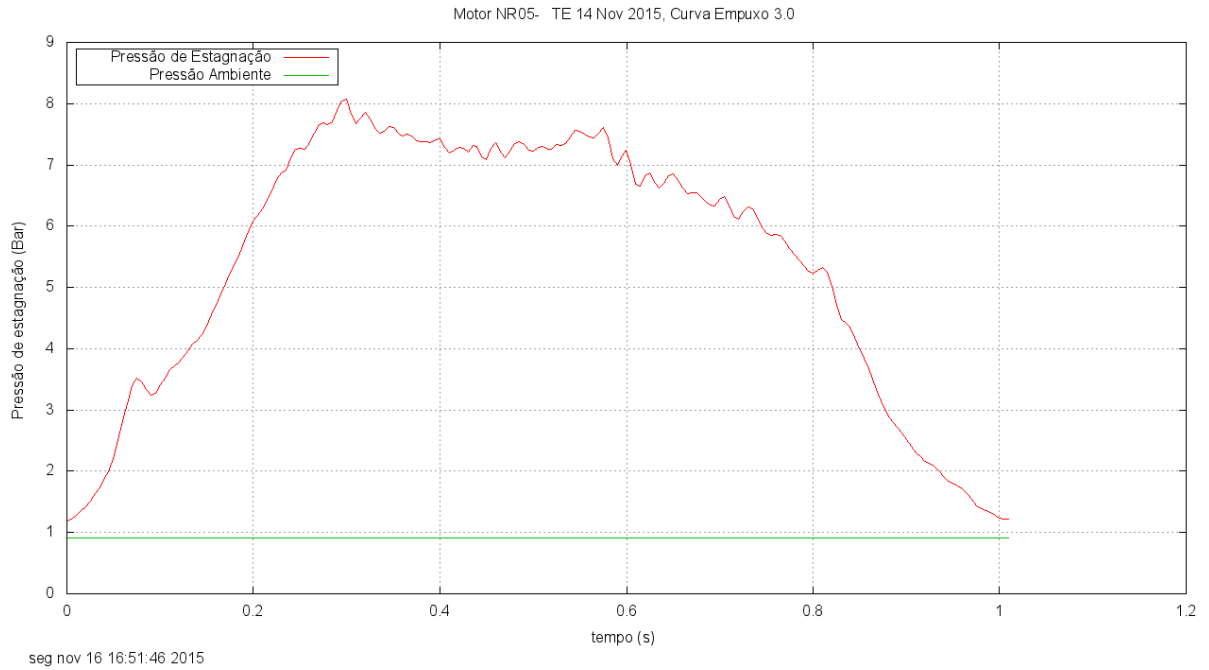


2.2 NR-5 (&)

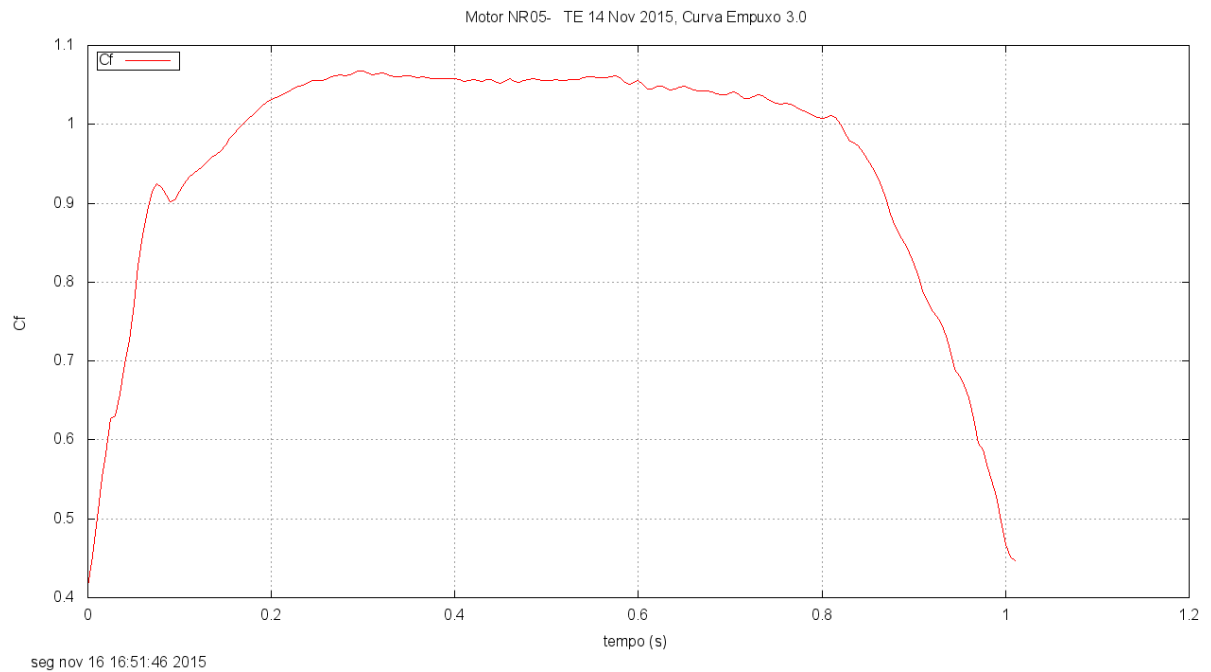
2.2.1 Curva de empuxo



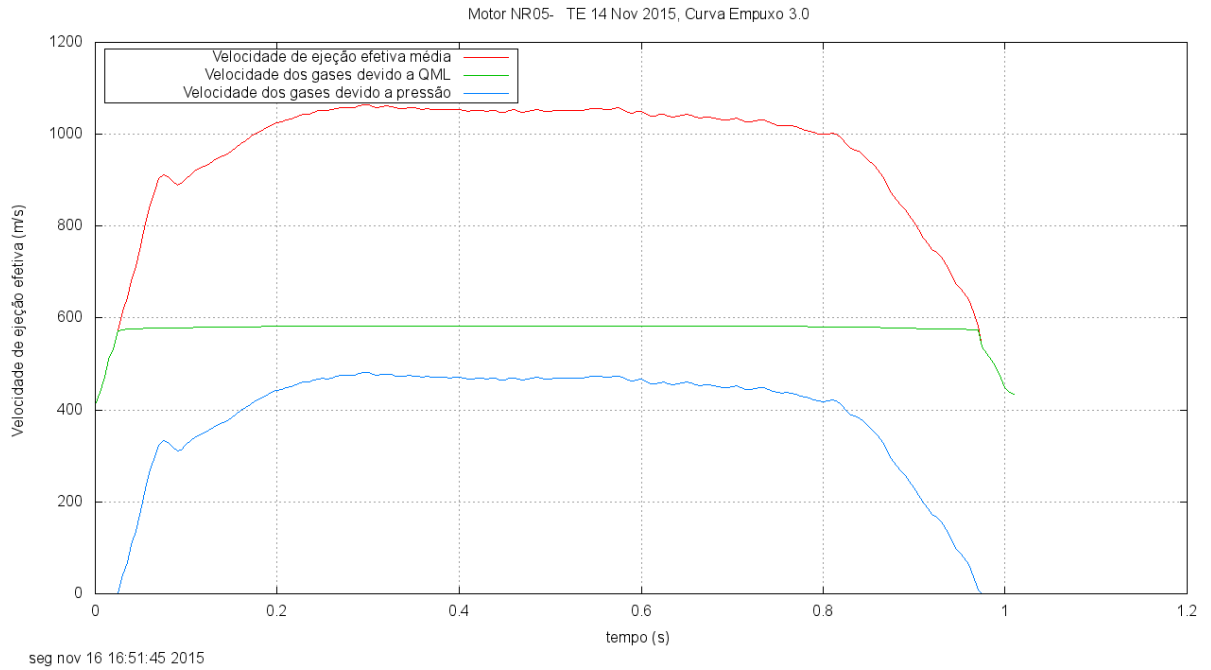
2.2.2 Pressão de estagnação



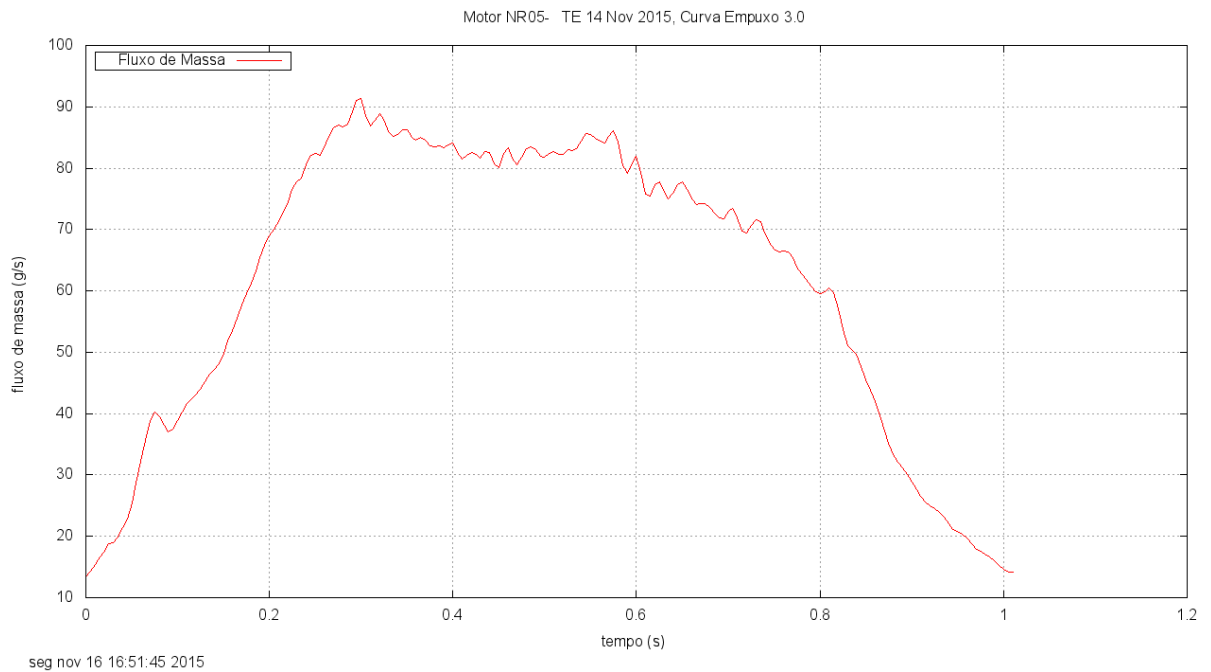
2.2.3 Coeficiente de empuxo



2.2.4 Velocidade de ejeção efetiva

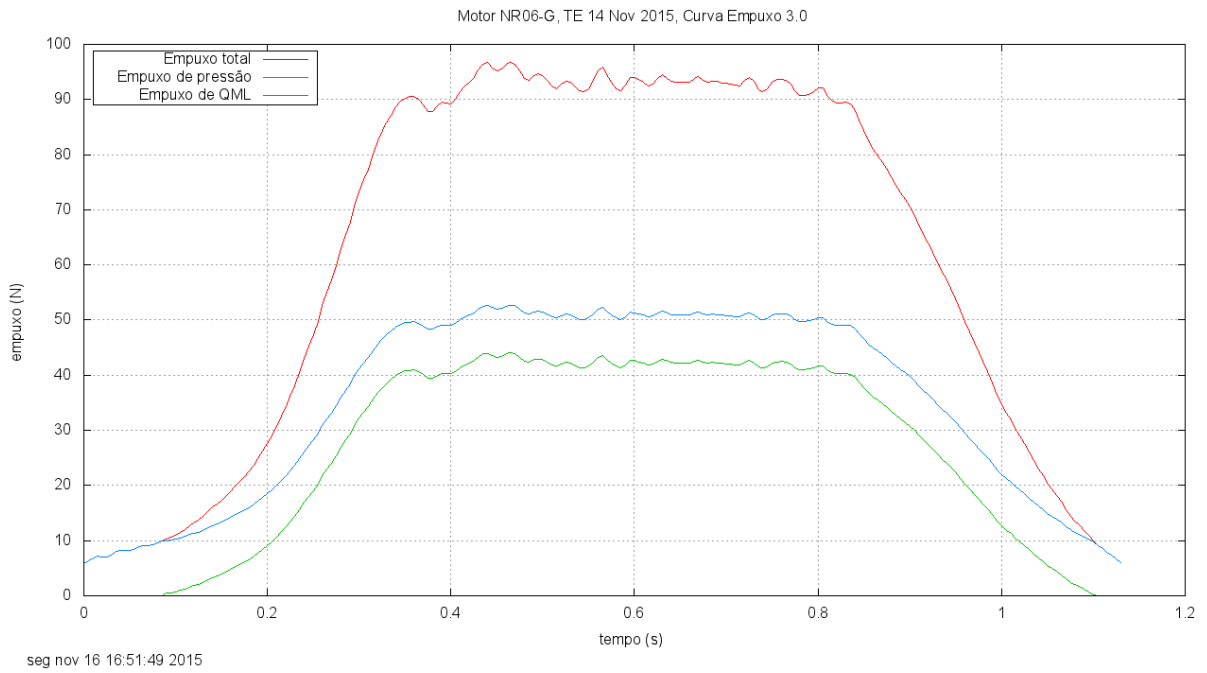


2.2.5 Fluxo de massa

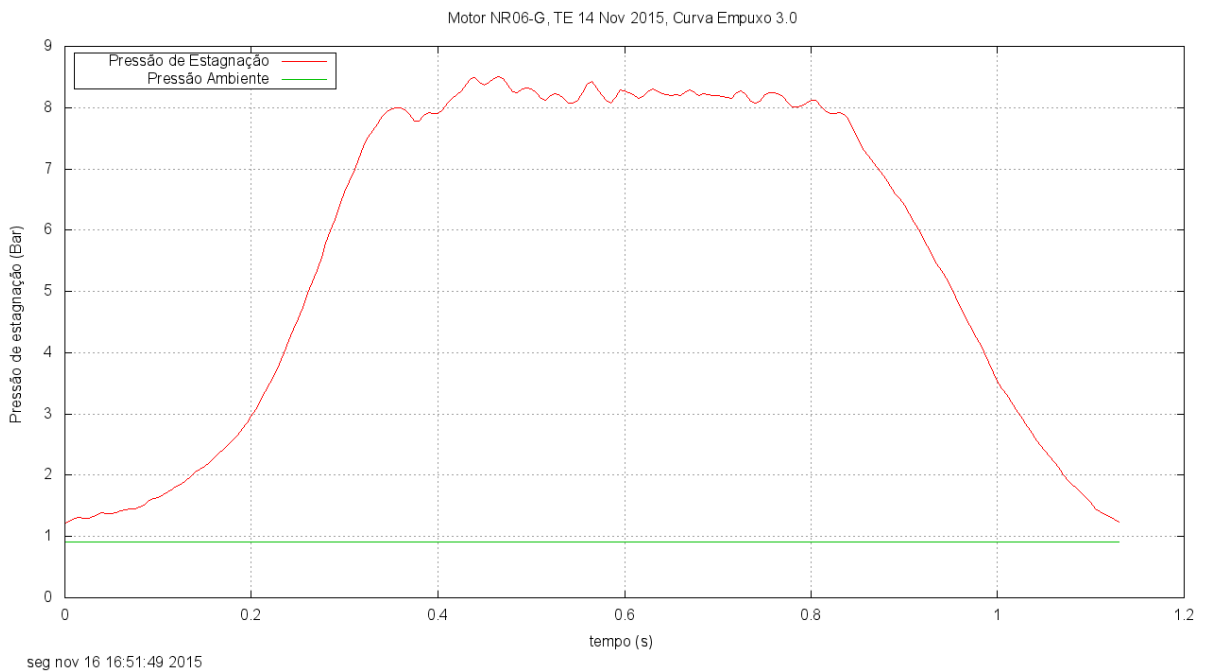


2.3 NR-6 (G)

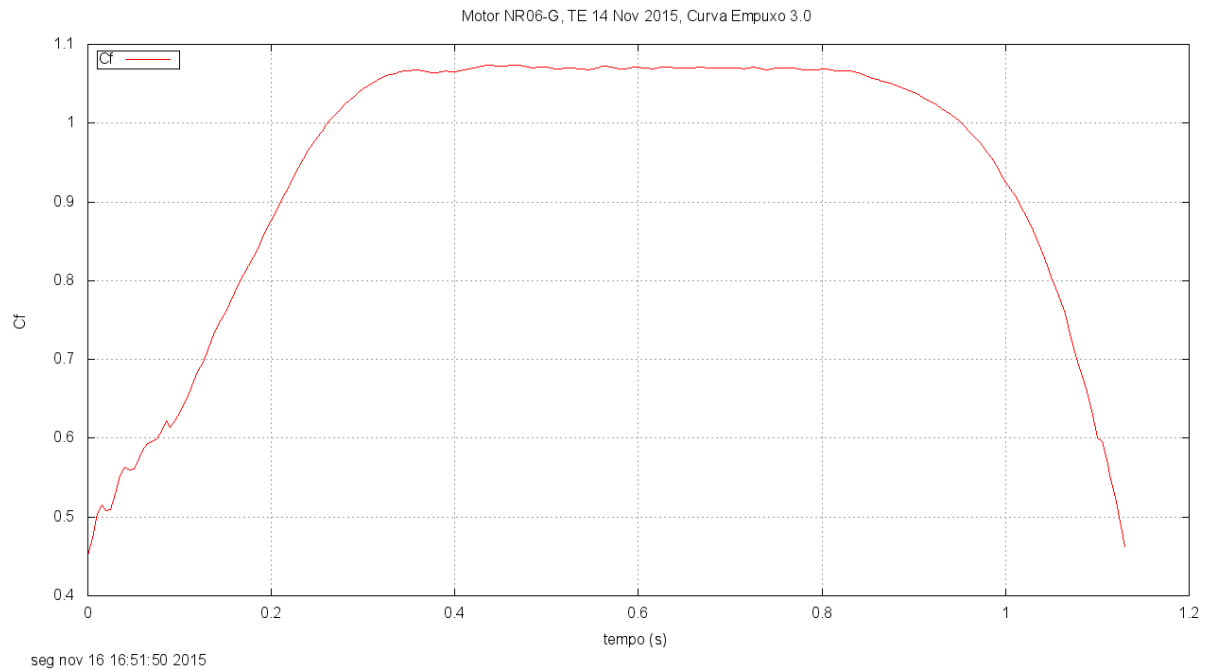
2.3.1 Curva de empuxo



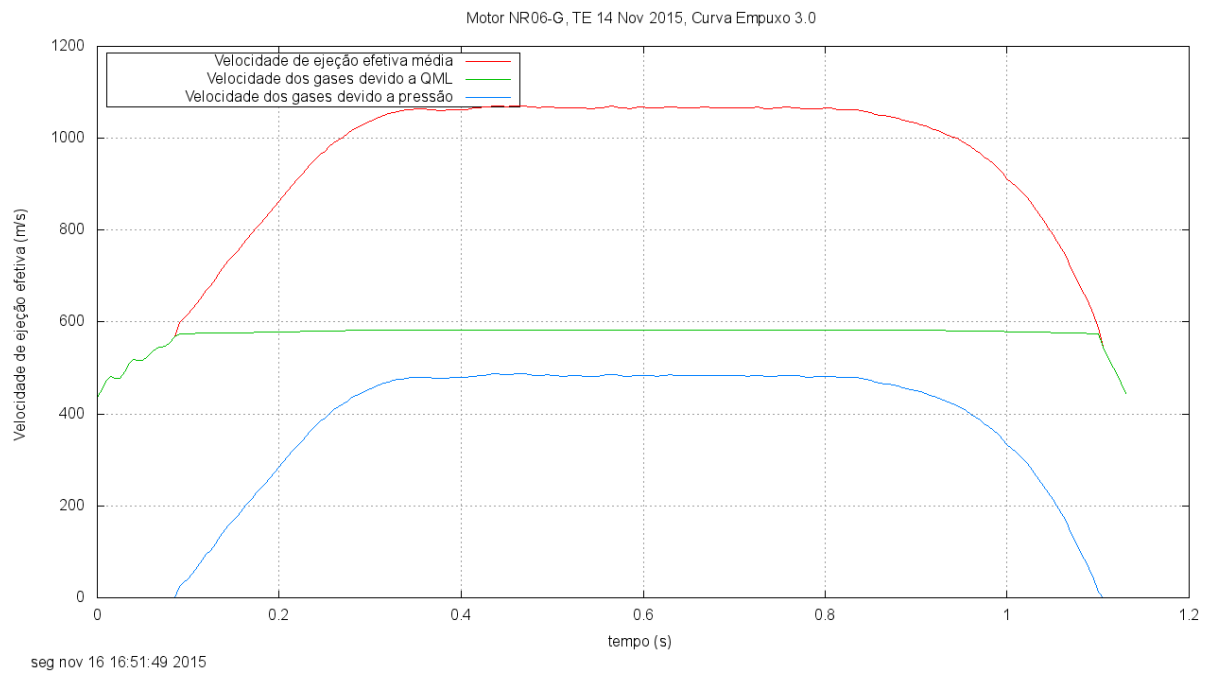
2.3.2 Pressão de estagnação



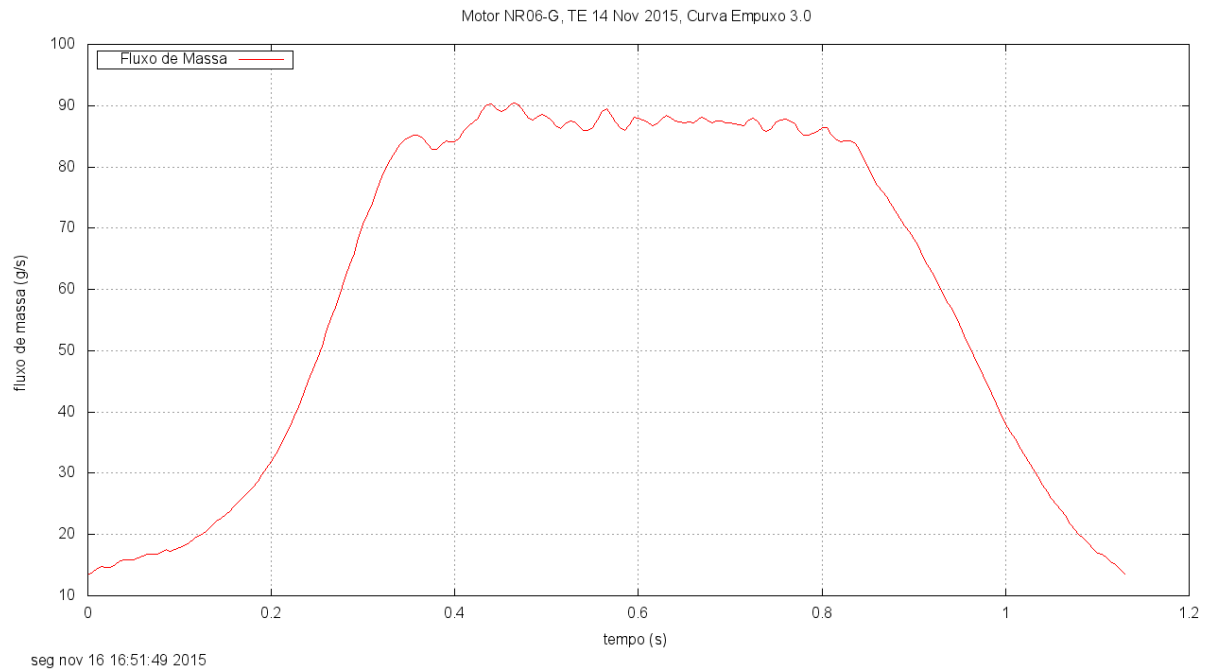
2.3.3 Coeficiente de empuxo



2.3.4 Velocidade de ejeção efetiva



2.3.5 Fluxo de massa



3 ANÁLISE COM O APLICATIVO EMPUXO 1.4

Neste item são mostrados os resultados da curva de empuxo dos motores Netuno-R com o aplicativo Empuxo 1.4.

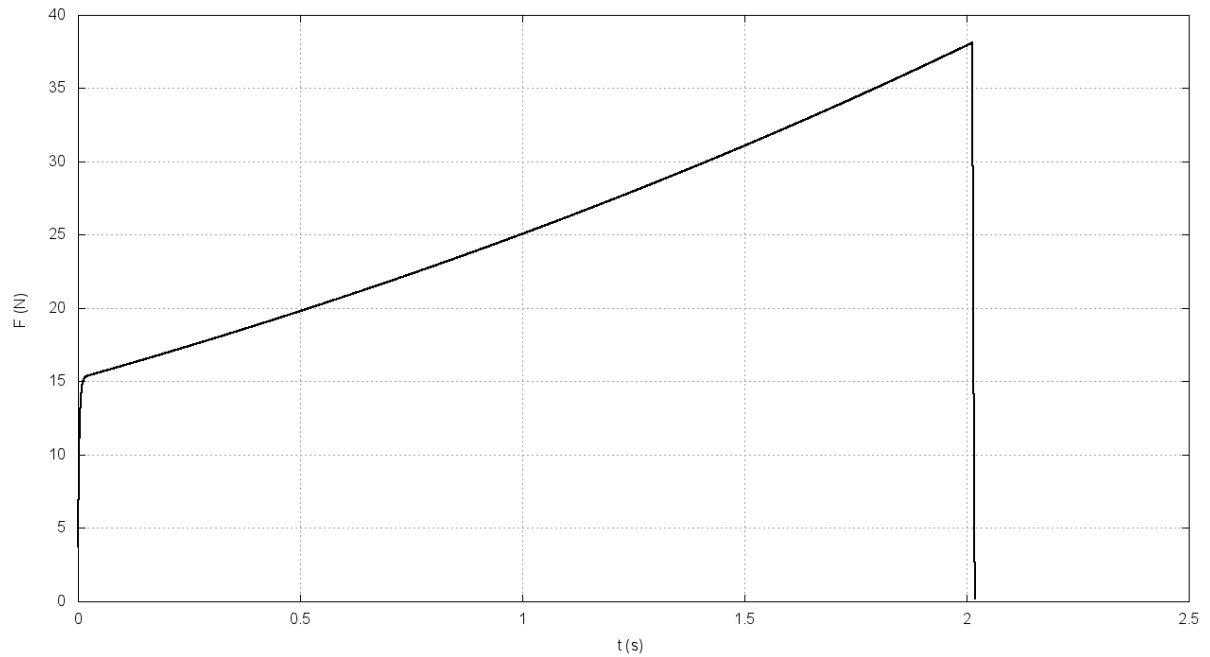
A tabela resumindo os resultados dos motores está mostrada abaixo.

	Motor	NR-4 (X)	NR-2 (&)	NR-3 (G)
Grao = 2, Tubular	It (Ns)	51,68	59,50	62,77
	E_{max} (N)	38,11	46,42	50,79
	t_{qp} (s)	2,020	1,878	1,797
	c (m/s)	527,2	568,3	590,6
	p_{max} (bar)	3,426	4,156	4,667
	p_{med} (bar)	2,570	3,116	3,498
Grao = 3, Desinibido	It (Ns)	69,04	76,28	78,88
	E_{max} (N)	111,7	131,9	143,0
	t_{qp} (s)	0,684	0,640	0,614
	c (m/s)	704,4	728,6	742,2
	p_{max} (bar)	7,950	9,587	10,80
	p_{med} (bar)	7,258	8,729	9,767

A seguir serão mostrados os principais campos obtidos pelo aplicativo Empuxo 1.4 para cada um dos três motores testados.

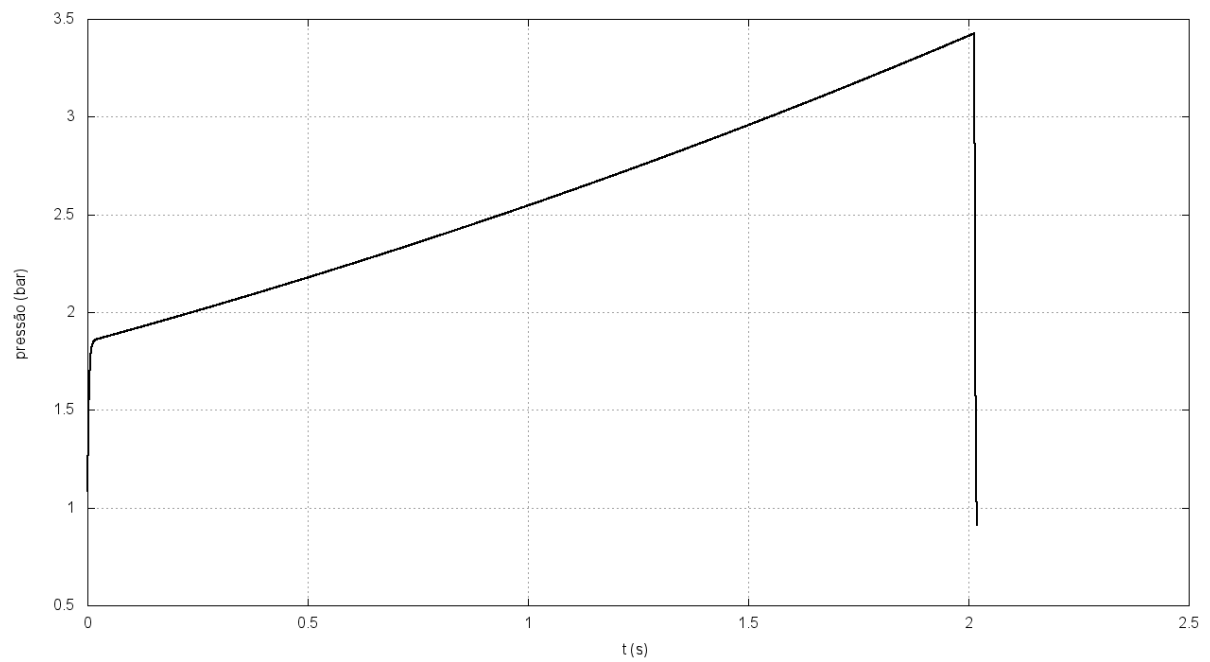
3.1 NR-4 (X) – GRÃO TUBULAR

3.1.1 Curva de empuxo



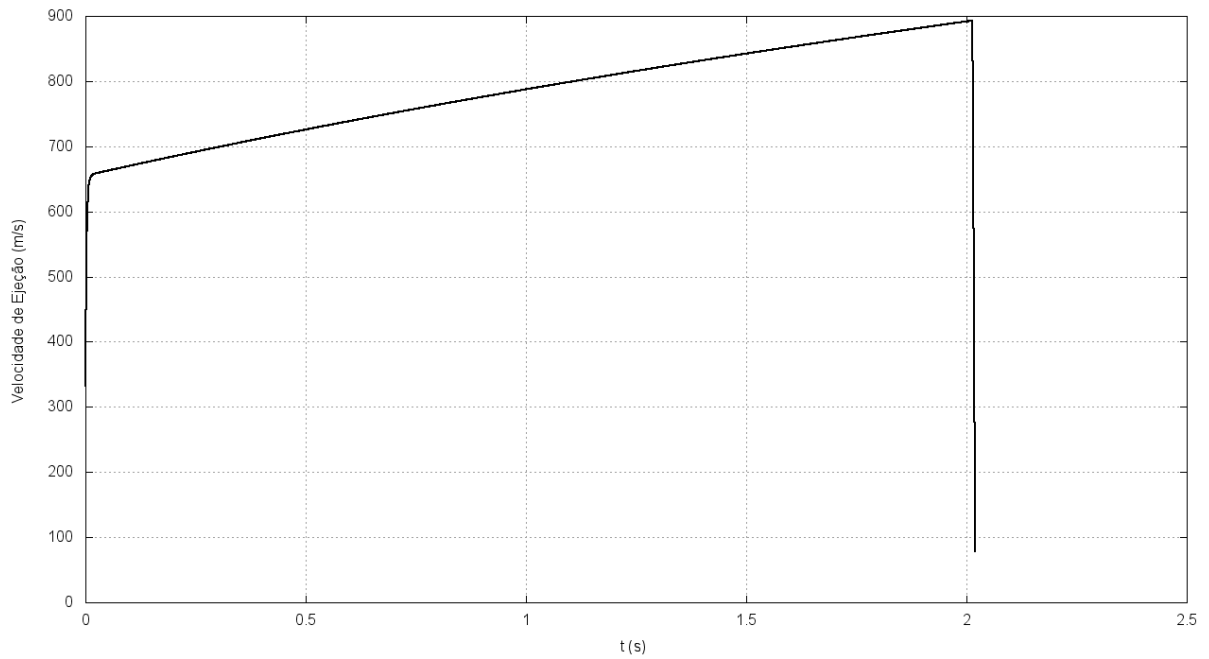
qua nov 18 14:40:09 2015

3.1.2 Pressão de estagnação

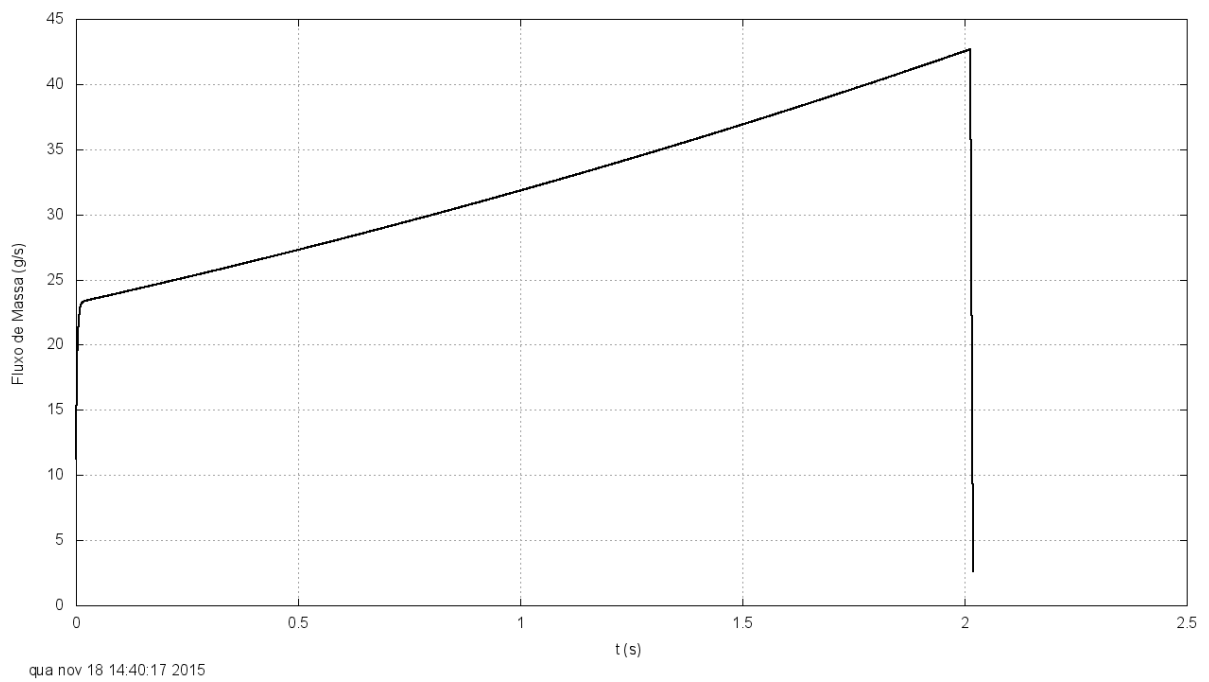


qua nov 18 14:40:16 2015

3.1.3 Velocidade de ejeção efetiva

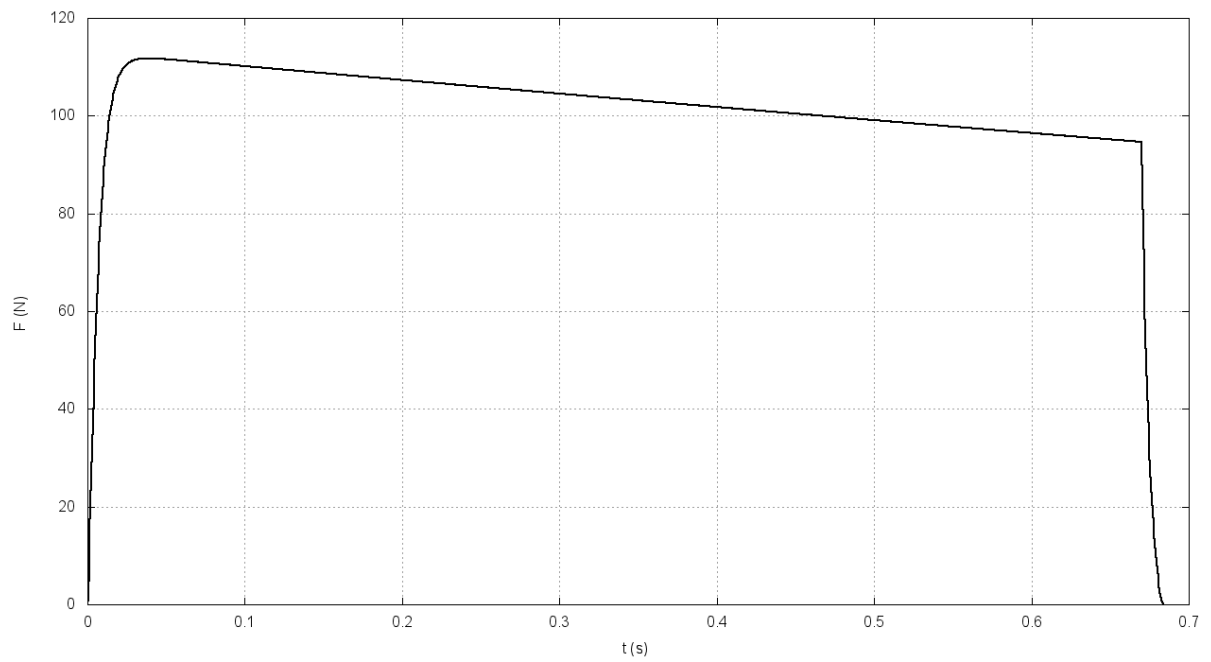


3.1.4 Fluxo de massa

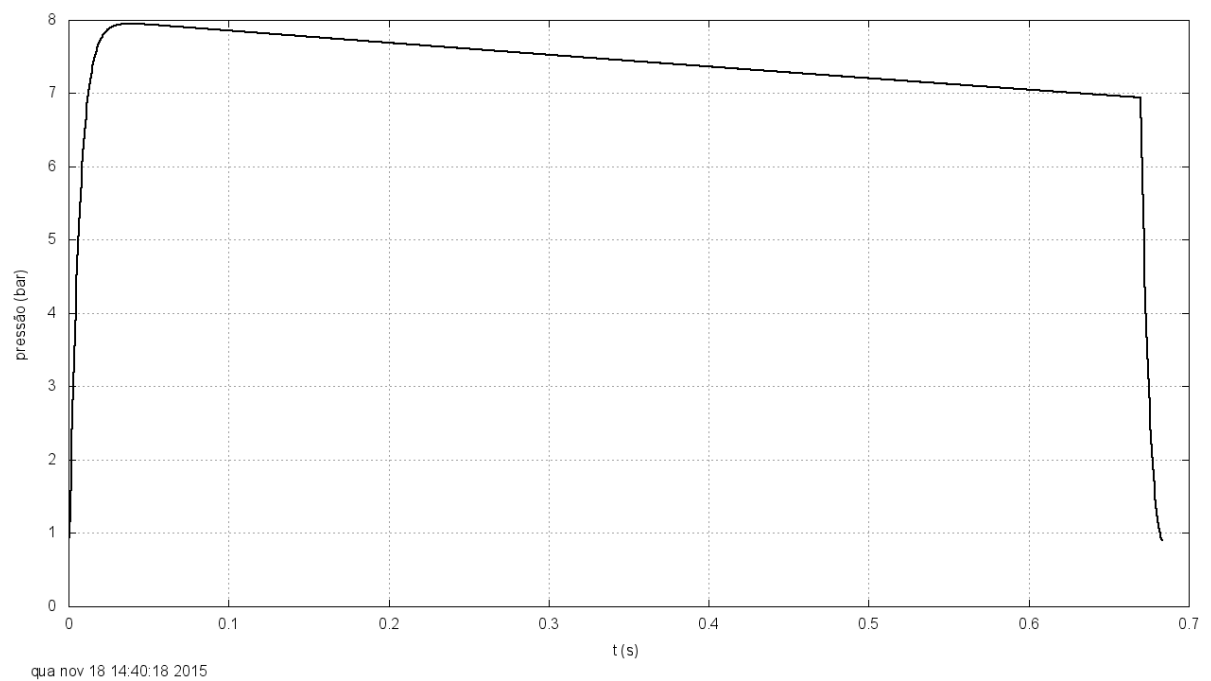


3.2 NR-4 (X) – GRÃO TOTALMENTE DESINIBIDO

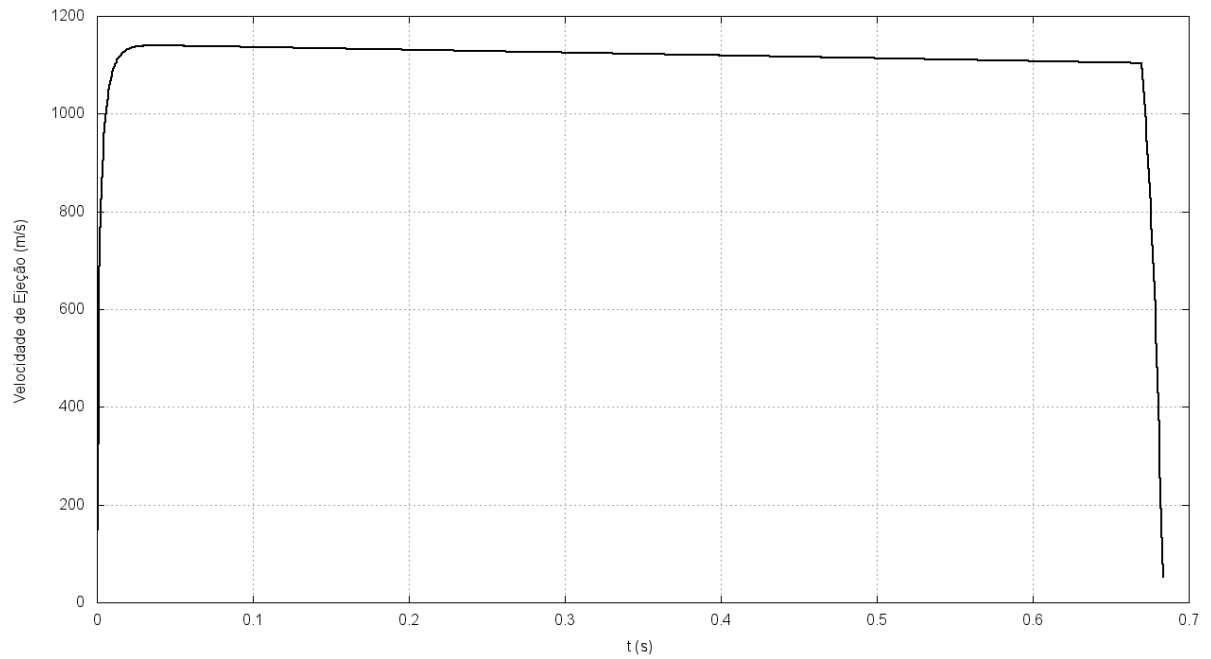
3.2.1 Curva de empuxo



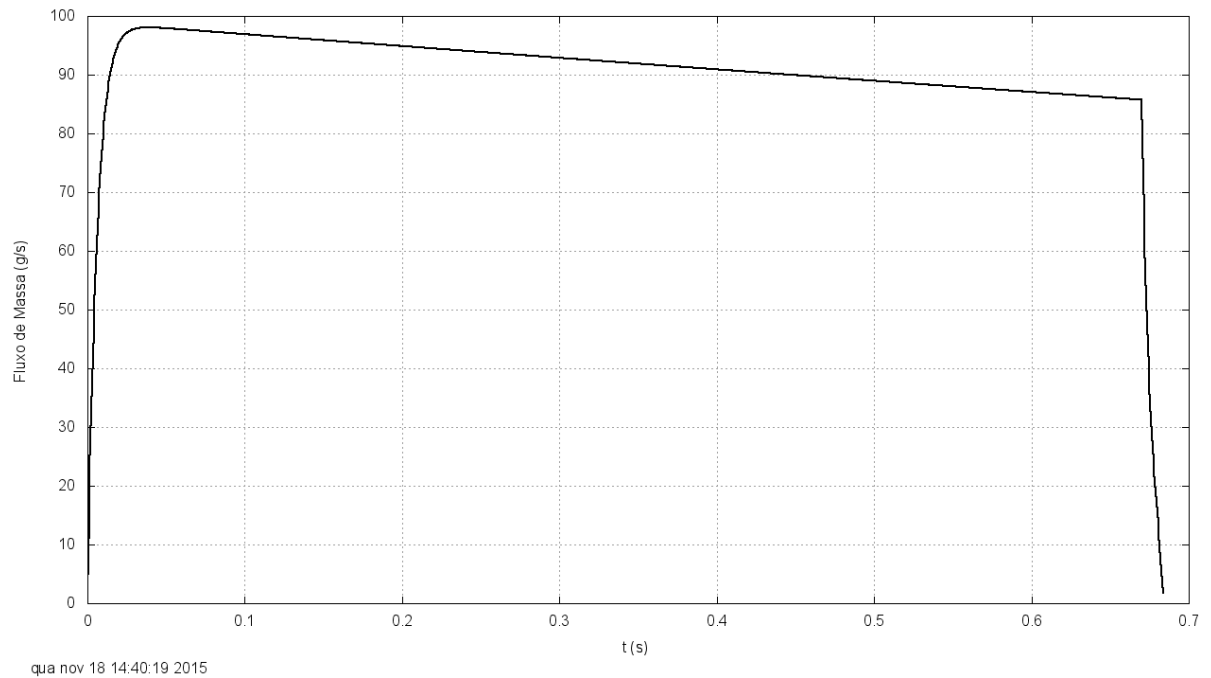
3.2.2 Pressão de estagnação



3.2.3 Velocidade de ejeção efetiva

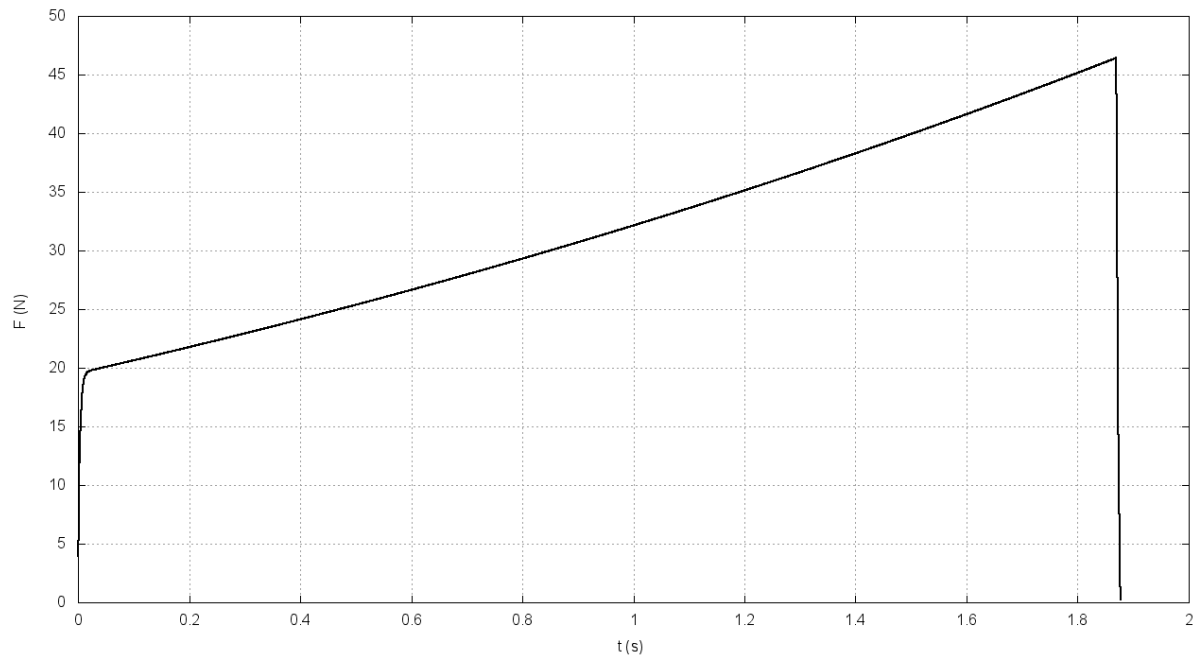


3.2.4 Fluxo de massa

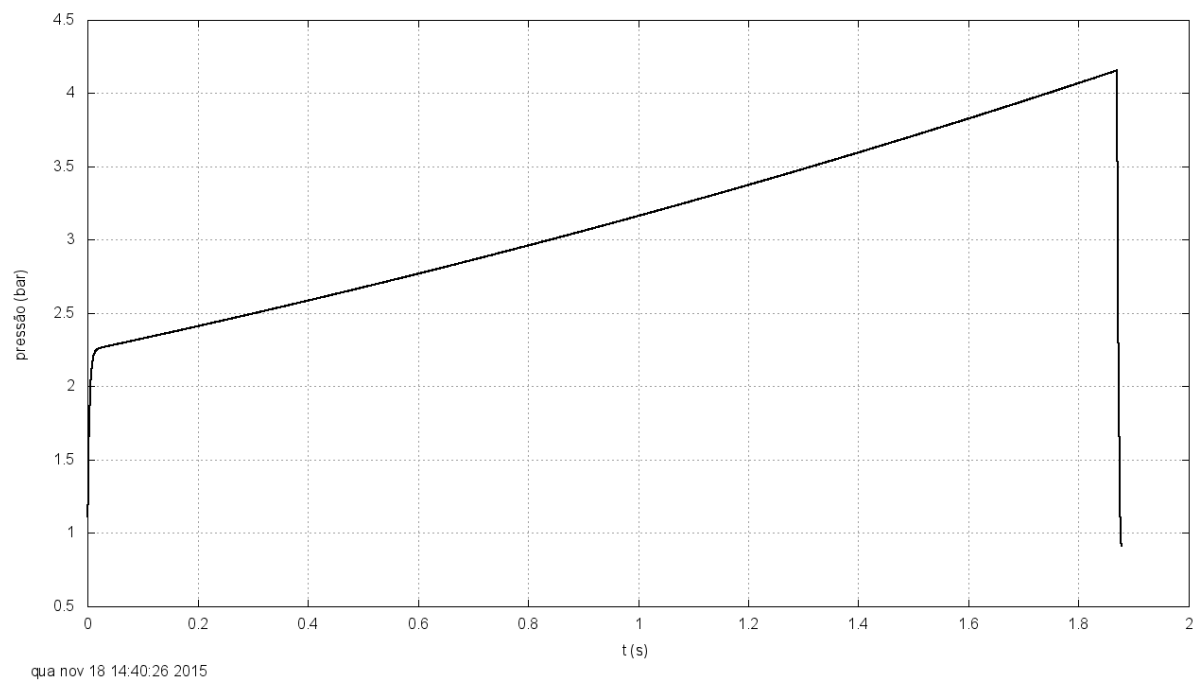


3.3 NR-5 (&)- GRÃO TUBULAR

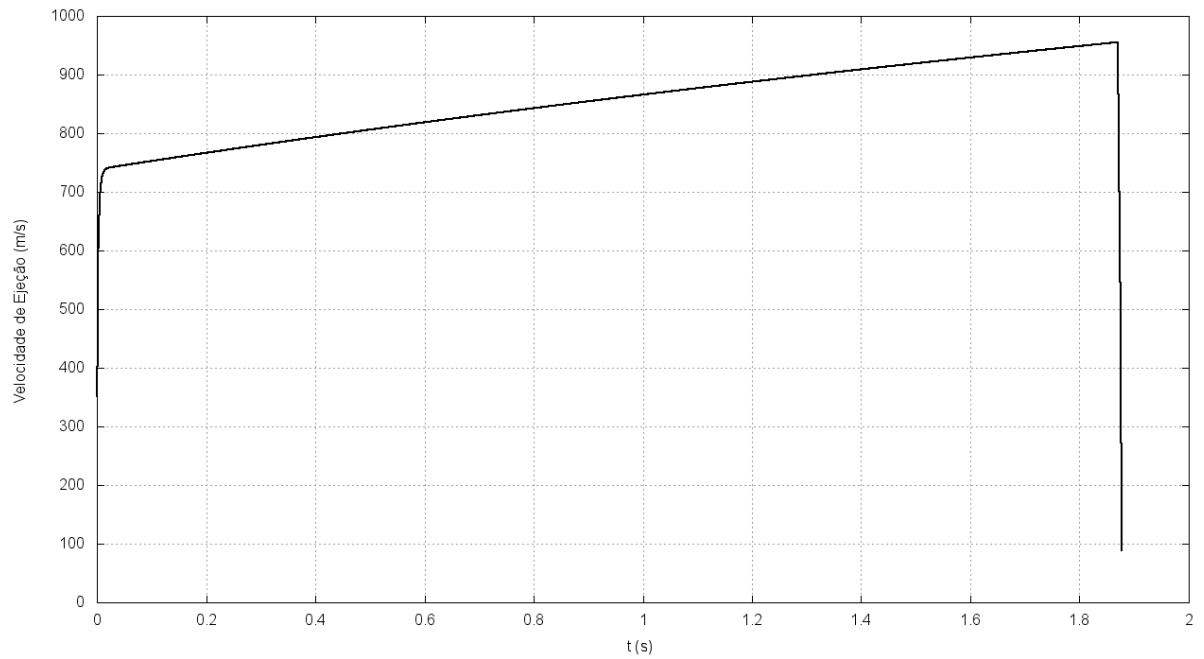
3.3.1 Curva de empuxo



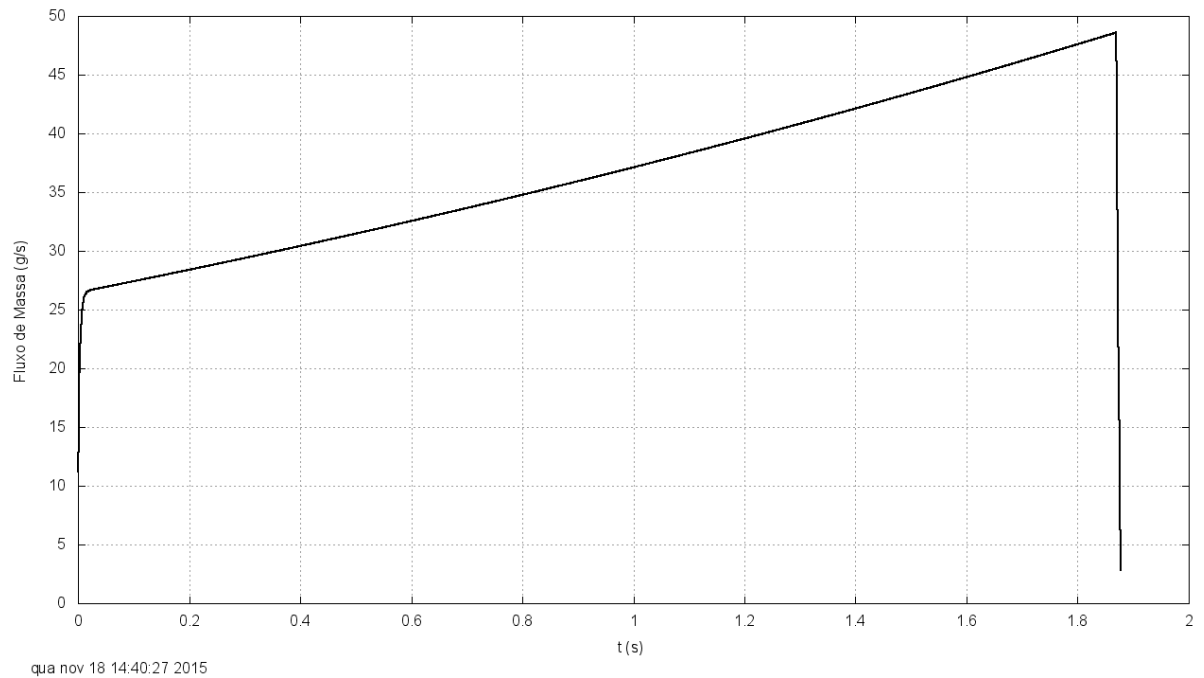
3.3.2 Pressão de estagnação



3.3.3 Velocidade de ejeção efetiva

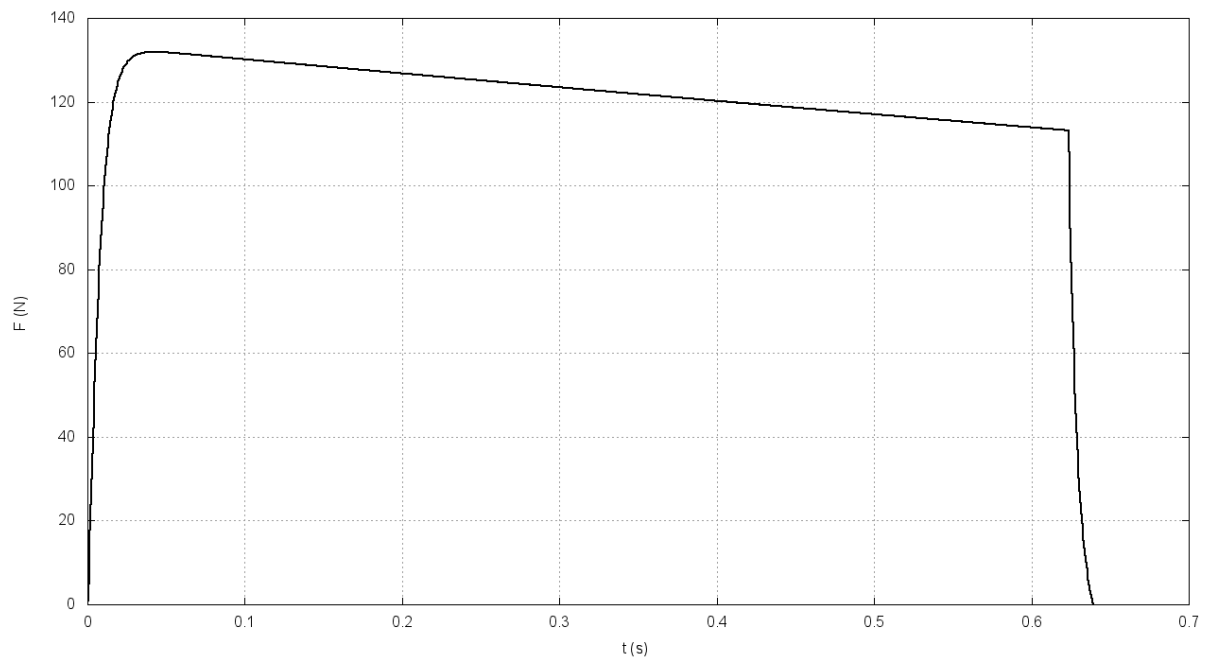


3.3.4 Fluxo de massa

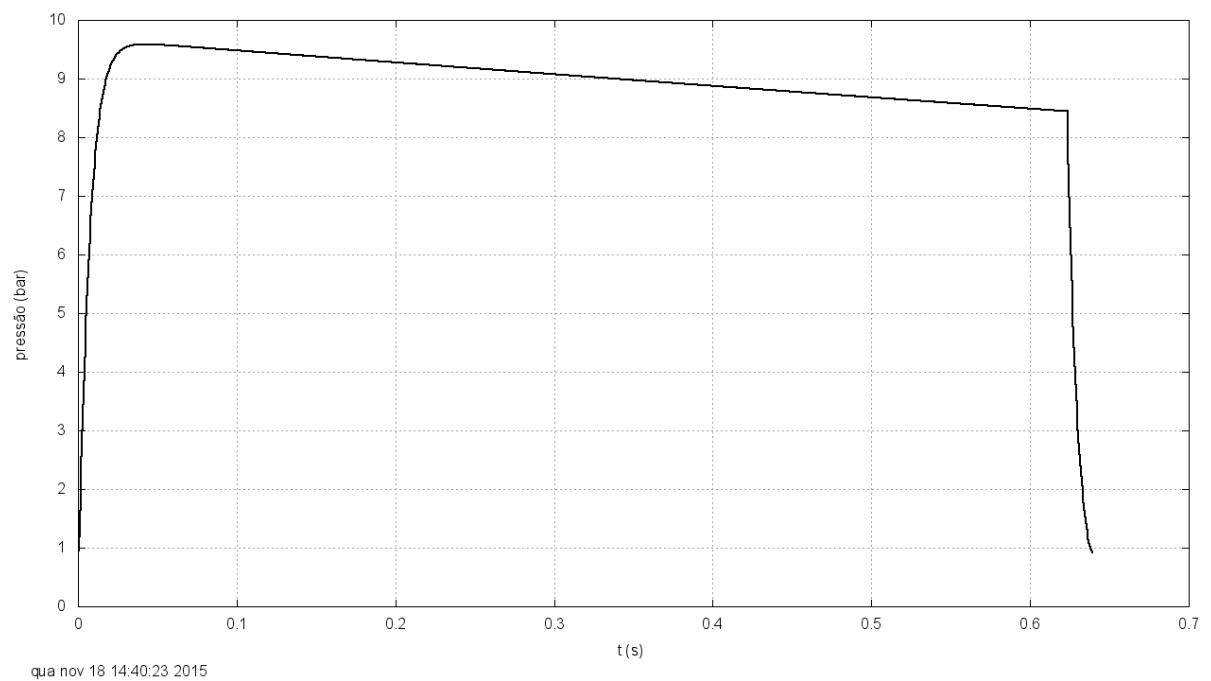


3.4 NR-5 (&)- GRÃO TOTALMENTE DESINIBIDO

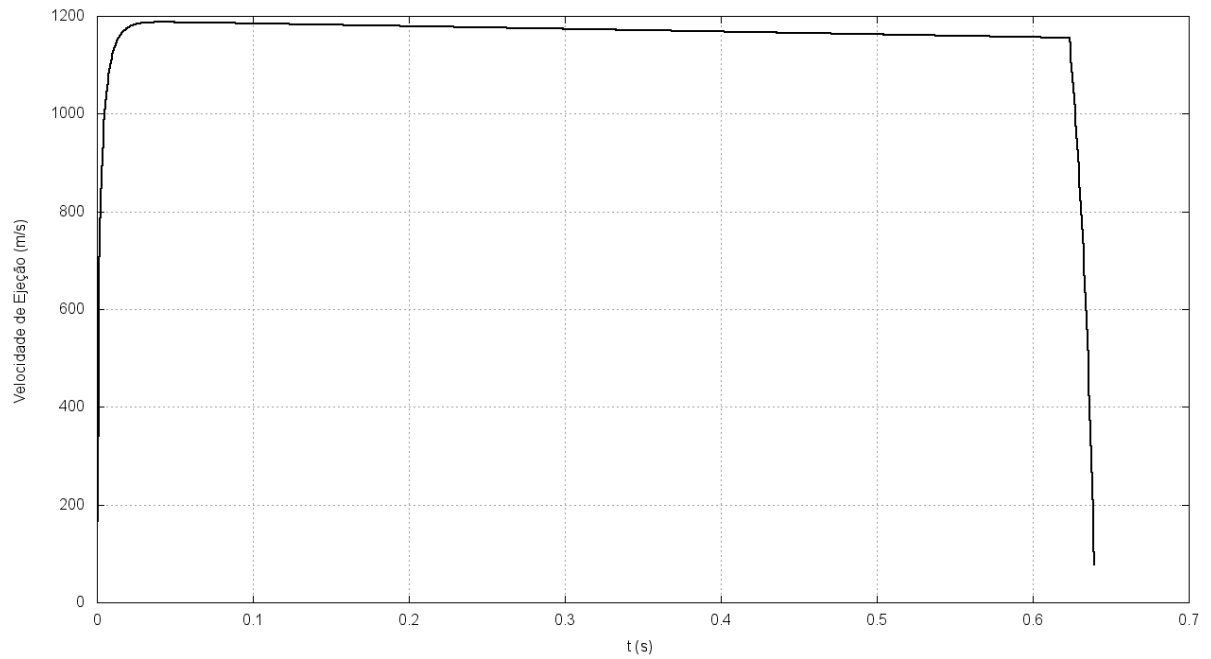
3.4.1 Curva de empuxo



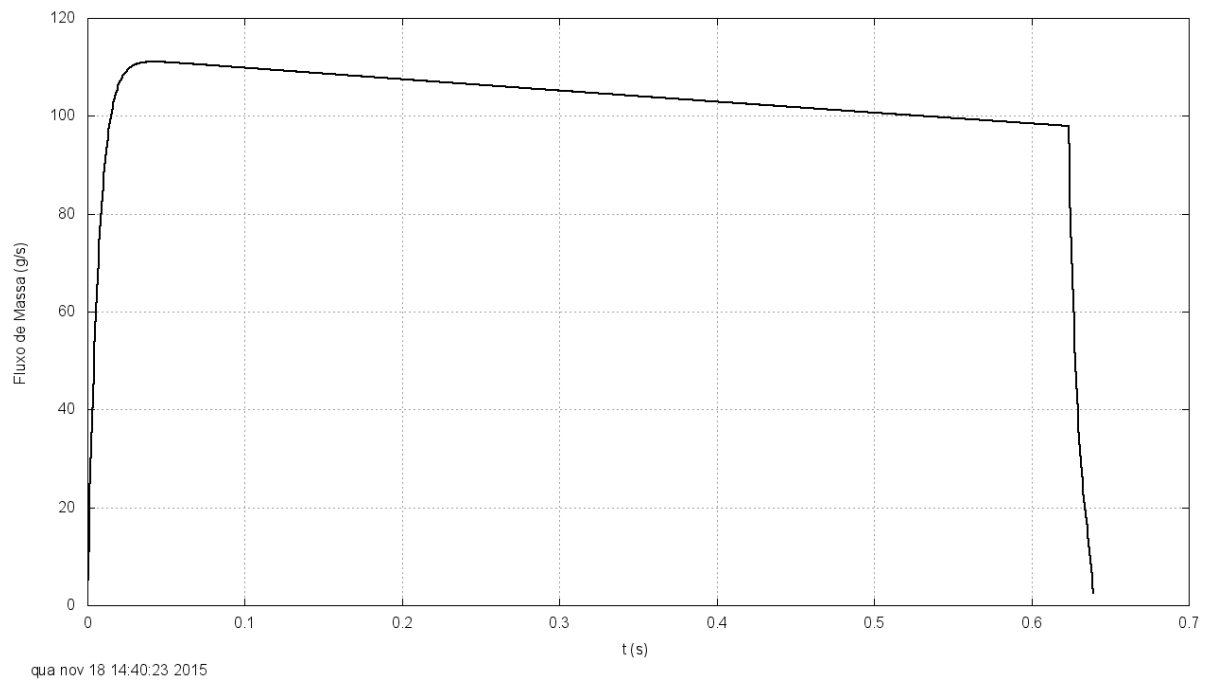
3.4.2 Pressão de estagnação



3.4.3 Velocidade de ejeção efetiva

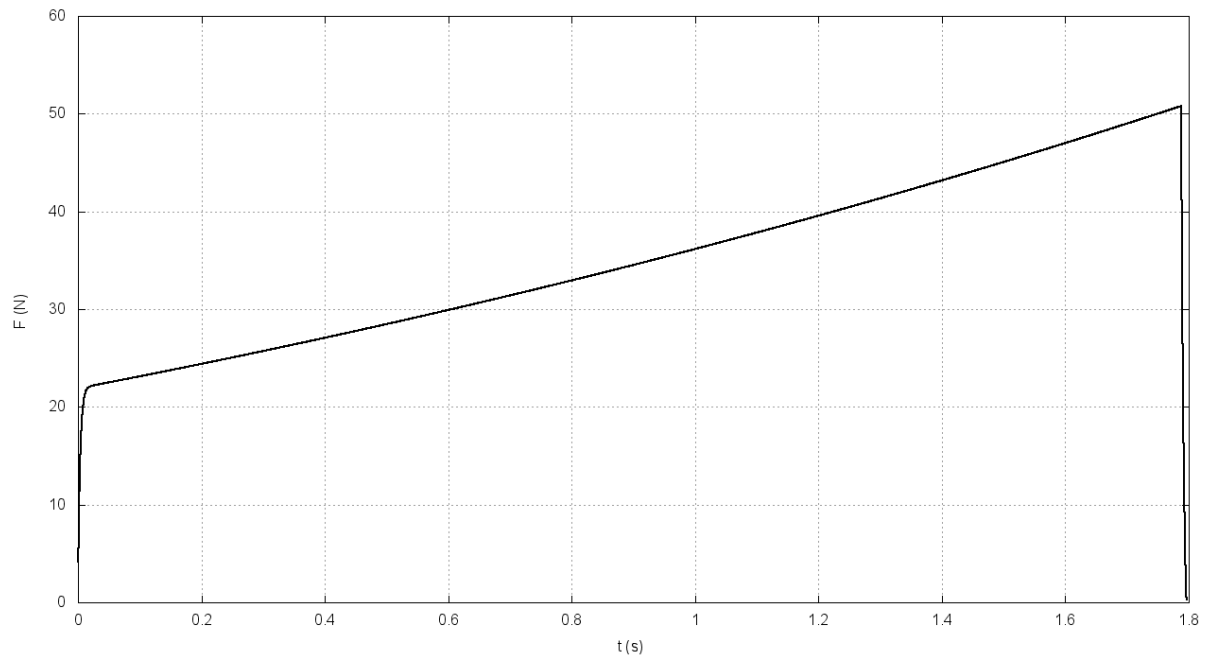


3.4.4 Fluxo de massa

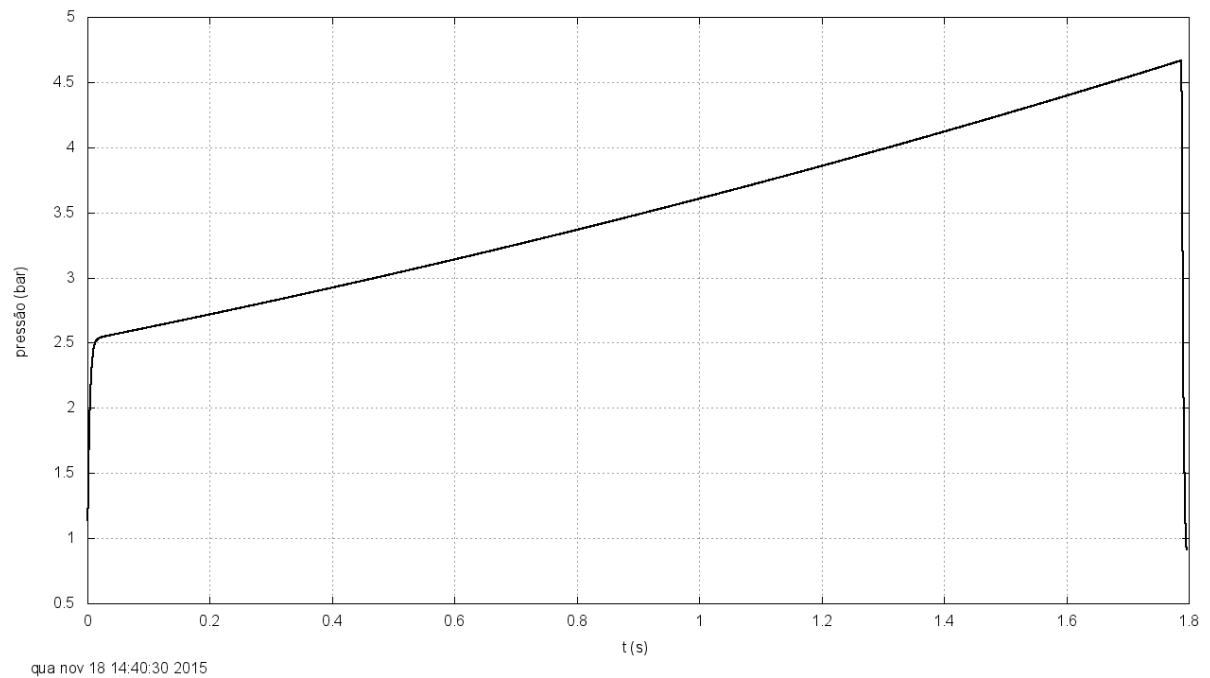


3.5 NR-6 (G)– GRÃO TUBULAR

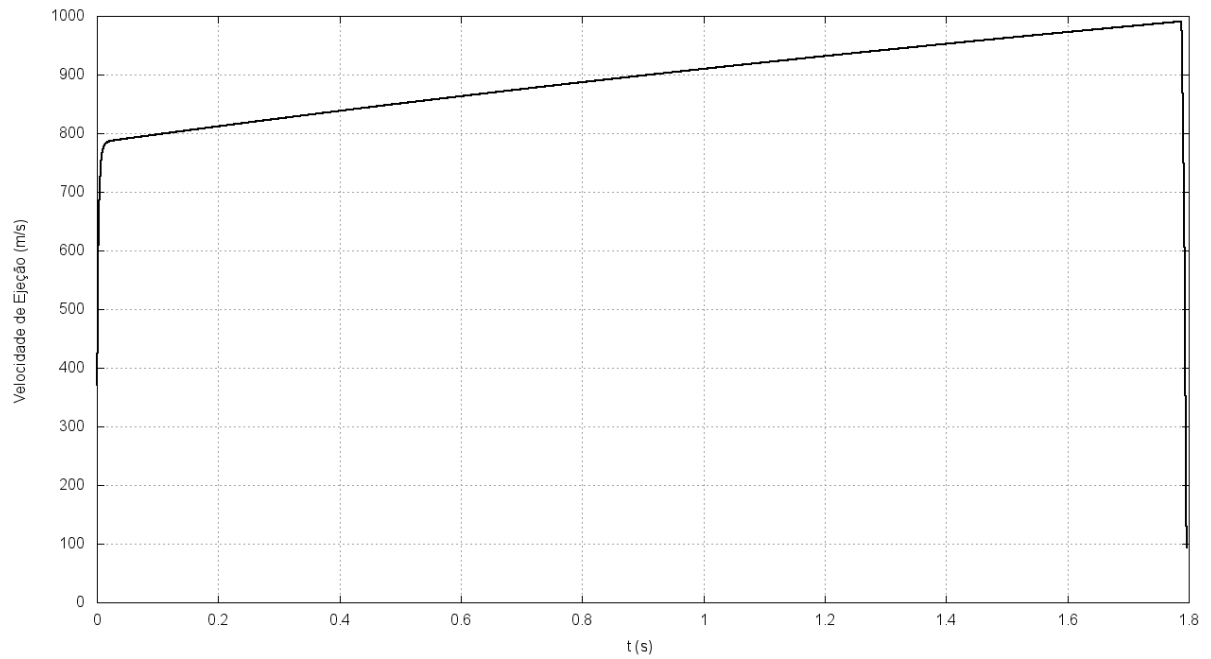
3.5.1 Curva de empuxo



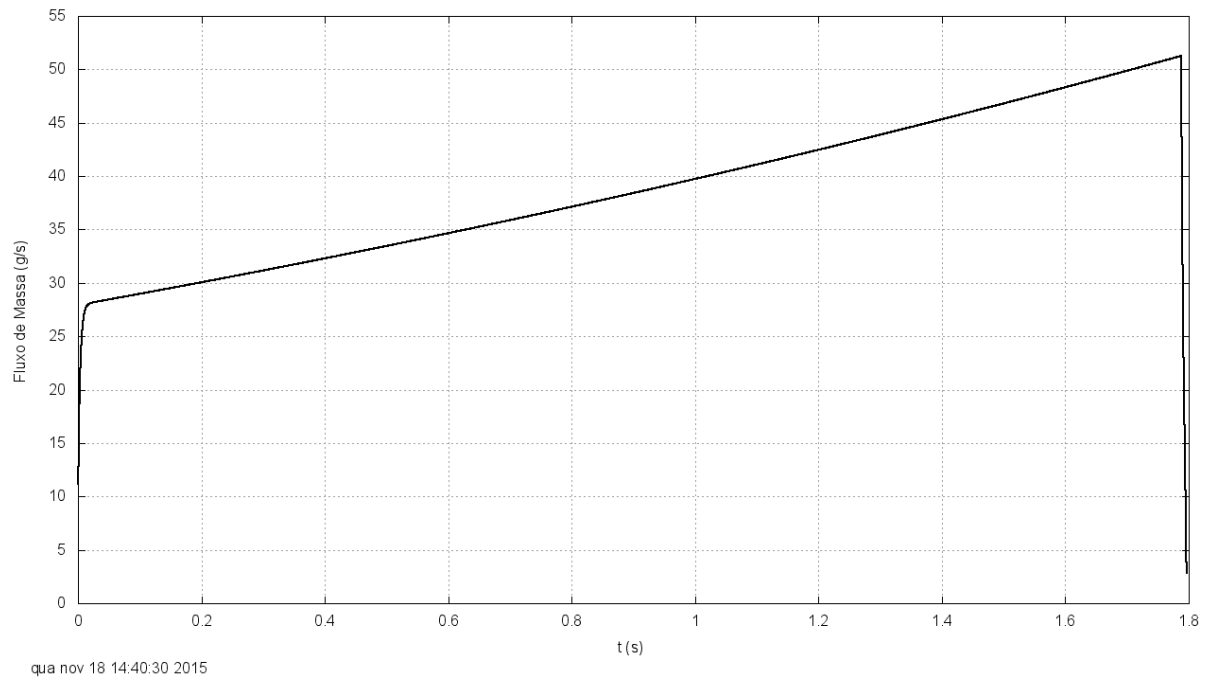
3.5.2 Pressão de estagnação



3.5.3 Velocidade de ejeção efetiva

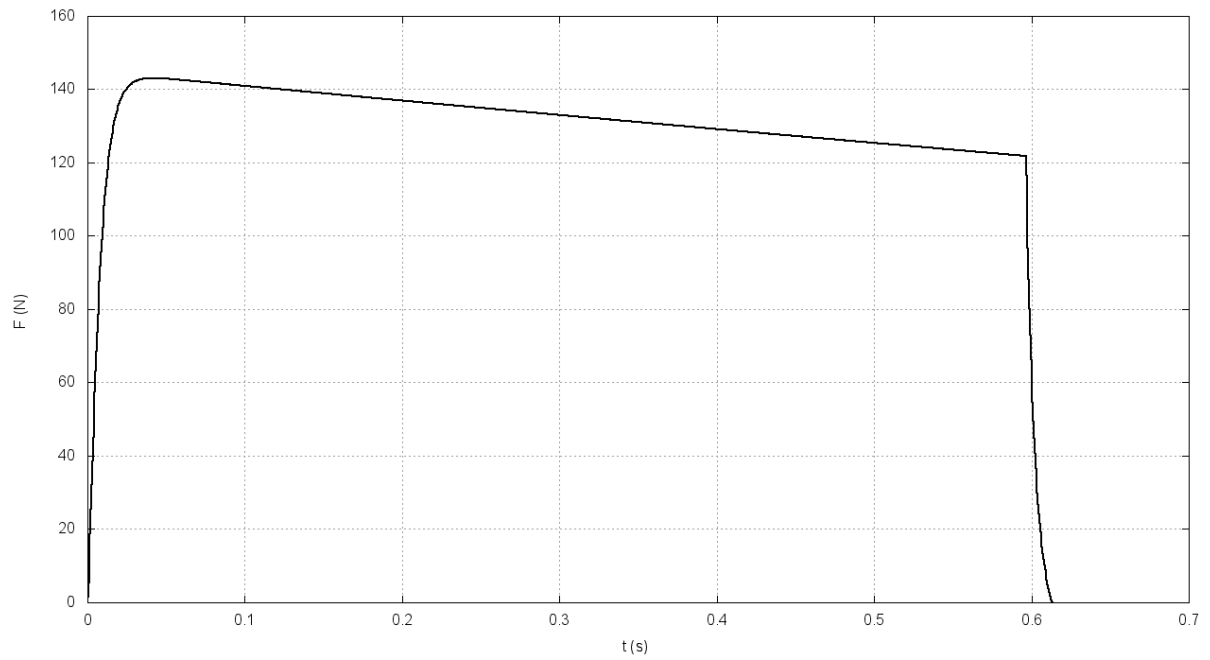


3.5.4 Fluxo de massa

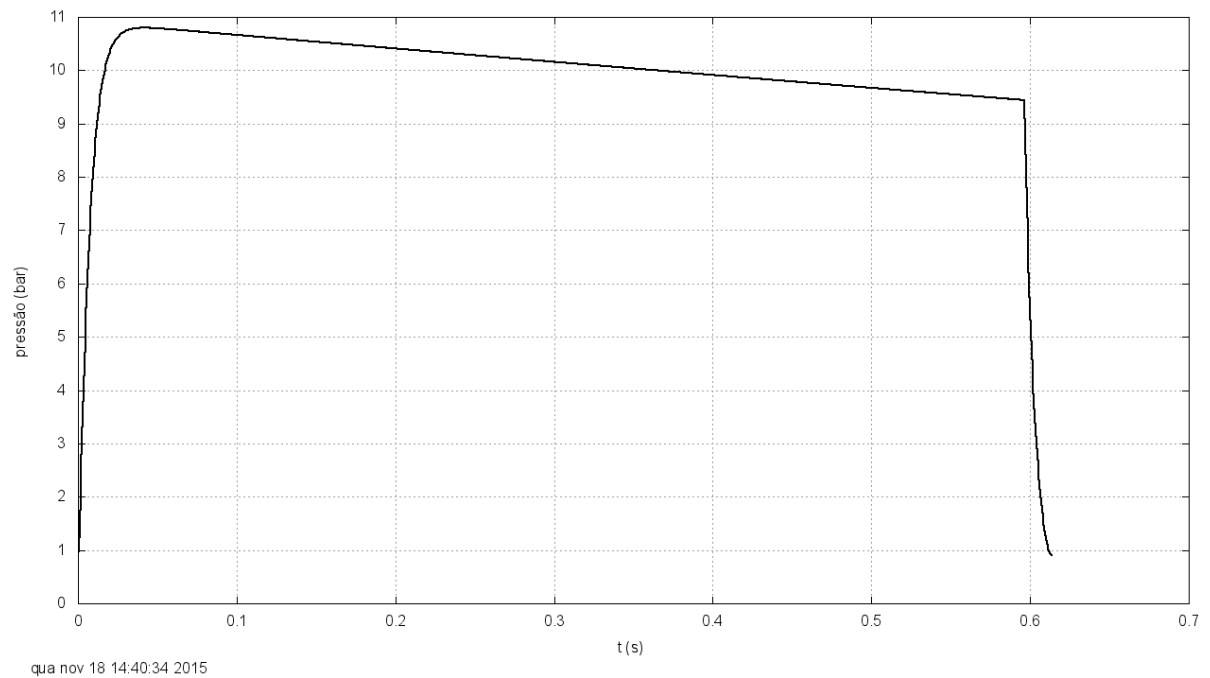


3.6 NR-6 (G)– GRÃO TOTALMENTE DESINIBIDO

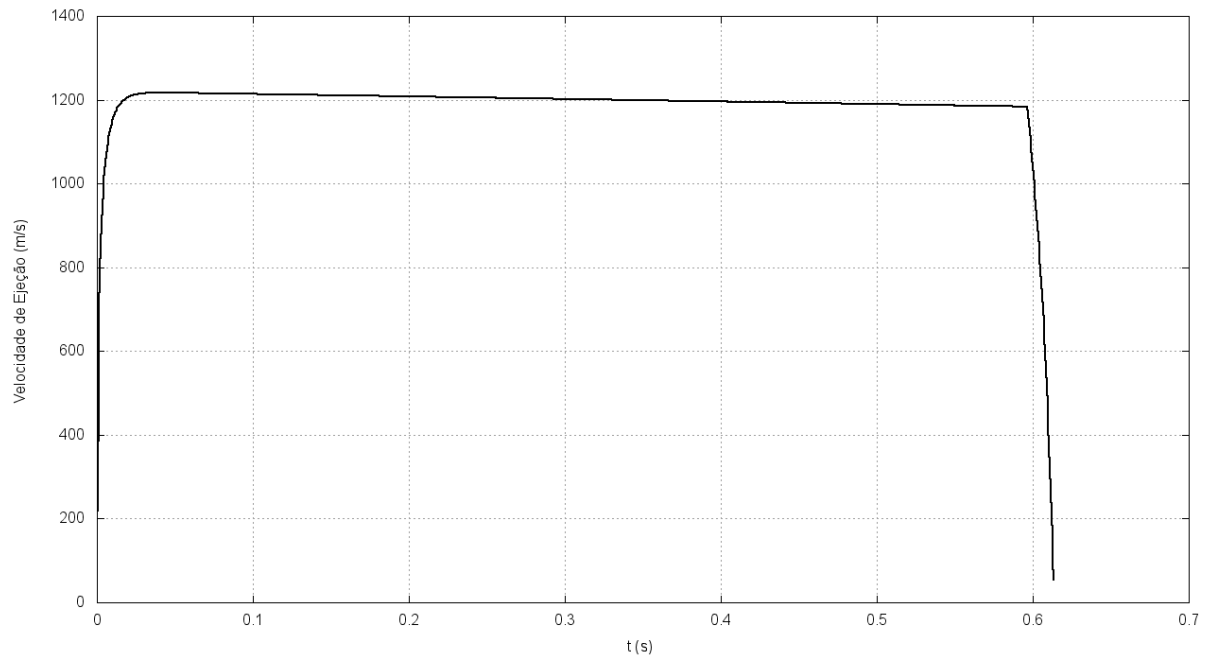
3.6.1 Curva de empuxo



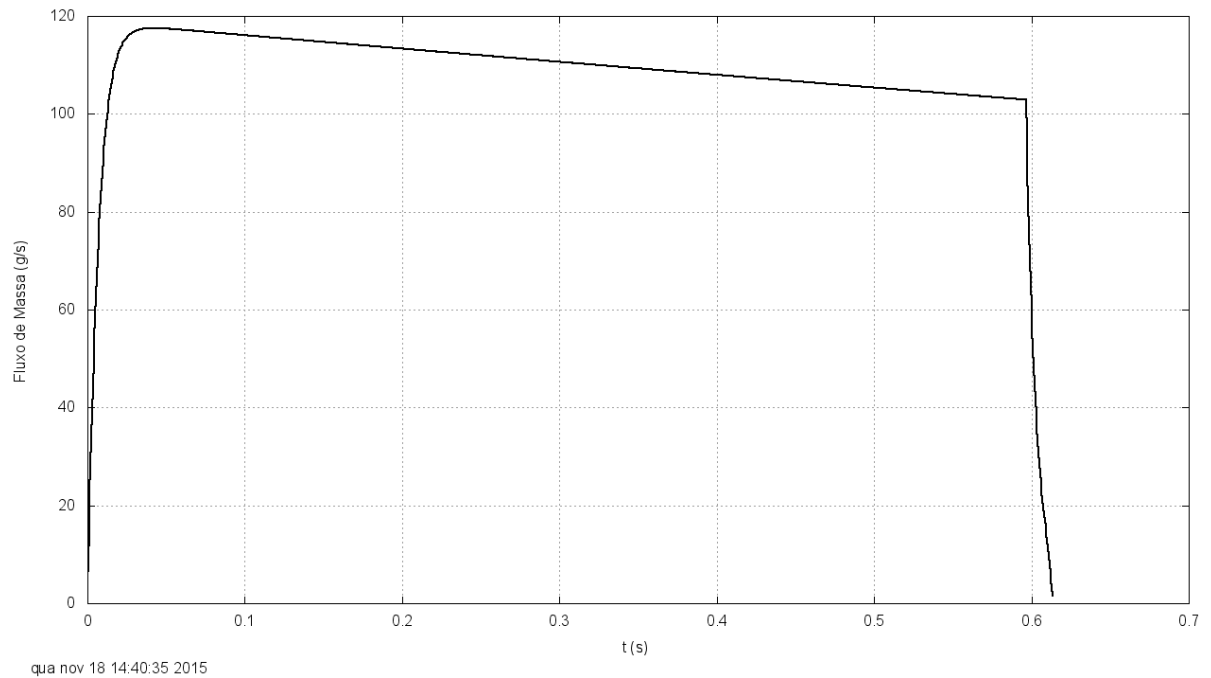
3.6.2 Pressão de estagnação



3.6.3 Velocidade de ejeção efetiva



3.6.4 Fluxo de massa



4 COMPARAÇÕES TEÓRICO (EMPUXO 1P4) – EXPERIMENTAL (CURVA_EMPUXO 3P1)

Foram feitas tabelas de comparações entre os resultados teóricos utilizando o aplicativo Empuxo_1p4 e os resultados experimentais, utilizando o código Curva_Empuxo 3p1.

As variáveis de interesse experimental foram comparadas entre as duas formas de grão teórico (o grão tubular e o grão totalmente desinibido), estas variáveis de interesse foram: Impulso Total, força de empuxo máxima, Tempo de queima, força de empuxo média, pressão de estagnação máxima e pressão de estagnação média.

4.1 TABELAS COMPARATIVAS

4.1.1 Impulso total

It / Motor	NR-4 (X)	NR-5 (&)	NR-6 (G)
Tubular	51,68	59,50	62,77
Experimental	48,50	62,60	69,47
Desinibido	69,04	76,28	78,88

4.1.2 Força de empuxo máxima

E _{max} / Motor	NR-4 (X)	NR-5 (&)	NR-6 (G)
Tubular	38,11	46,42	50,79
Experimental	123,6	97,19	96,78
Desinibido	111,75	131,9	143,0

4.1.3 Tempo de queima do propelente

t _{qp} / Motor	NR-4 (X)	NR-5 (&)	NR-6 (G)
Tubular	2,020	1,878	1,797
Experimental	1,100	1,010	1,130
Desinibido	0,684	0,640	0,614

4.1.4 Força de empuxo média

Emed / Motor	NR-4 (X)	NR-5 (&)	NR-6 (G)
Tubular	25,59	31,69	34,94
Experimental	44,09	61,98	61,48
Desinibido	101,0	119,3	128,6

4.1.5 Pressão de estagnação máxima

pmax / Motor	NR-4 (X)	NR-5 (&)	NR-6 (G)
Tubular	3,426	4,156	4,667
Experimental	9,513	8,072	8,499
Desinibido	7,950	9,587	10,80

4.1.6 Pressão de estagnação média

pmed / Motor	NR-4 (X)	NR-5 (&)	NR-6 (G)
Tubular	2,570	3,116	3,498
Experimental	3,884	5,426	5,678
Desinibido	7,258	8,729	9,767

5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DESTE TRABALHO (TE DE 14/11/2015) COM OS RESULTADOS DO TRABALHO ANTERIOR (TE DE 24/10/2015)

Os resultados experimentais obtidos neste trabalho serão comparados nesta seção com os resultados do trabalho anterior, do TE de 24/10/2015. As variáveis de interesse são idênticas à seção anterior.

Na tabela abaixo: A descrição ‘Acetona’ se refere ao motor NR-3 (G) no TE anterior (24/10/2015) e ao motor NR-4 (X) no TE atual (14/11/2015); ‘Comp.’ se refere ao NR-1 (X)

no TE anterior e ao NR-5 (&) no TE atual e finalmente 'Comp. +' se refere ao NR-2 (&) no TE anterior e ao NR-6 (G) no TE atual.

	Acetona	Comp.	Comp. +	
TE Anterior	29,76	29,32	54,15	It (N.s)
TE Atual	48,50	62,60	69,47	

TE Anterior	159,19	37,74	66,50	E _{max} (N)
TE Atual	123,64	97,19	96,78	

TE Anterior	1,13	1,64	1,17	t _{qp} (s)
TE Atual	1,10	1,01	1,13	

TE Anterior	26,34	17,88	46,28	E _{med} (N)
TE Atual	44,09	61,98	61,48	

TE Anterior	9,21	3,44	6,09	p _{max} (bar)
TE Atual	9,51	8,07	8,50	

TE Anterior	2,18	2,05	4,47	p _{med} (bar)
TE Atual	3,88	5,43	5,68	

5.1 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os motores feitos simplesmente compactados com a peça de prensagem improvisada permite que seja possível obter impulso total maior que o feito apenas com acetona. No TE deste trabalho este aumento no Impulso Total foi de 29,1 a 43,3% no caso da comparação do motor NR-4 (X) com NR-5 (&) e NR-6 (G) respectivamente.

Comparando os resultados do TE deste trabalho (14/11/2015) com o TE do trabalho anterior (24/10/2015) foi possível aumentar o impulso total do melhor motor testado no TE anterior em comparação ao melhor motor do TE atual em 28,3%.