

T A B E L A S

Tabela 1. Resumo dos ensaios.

TE	tubeira	% C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	% KNO ₃	peneira ABNT
8	conv-longa	30	70	30
9	longa	30	70	30
10	conv-longa	30	70	30
11	longa	30	70	30
12	curta	30	70	30
13	curta	30	70	30
14	longa	30	70	30
15	curta	30	70	30
16	convencional	30	70	30
17	convencional	30	70	30
18	curta	30	70	30
19	convencional	30	70	30
20	convencional	30	70	30
21	curta	30	70	30
22	convencional	30	70	30
23	convencional	30	70	30
24	convencional	40	60	30
25	convencional	30	70	30
26	convencional	20	80	30
27	convencional	30	70	30
28	convencional	40	60	30
29	convencional	40	60	40
30	convencional	40	60	60

Tabela 2. Data de realização dos ensaios.

campanha	data	ensaios
1º	11 Jul 89	TE-8 a TE-11
2º	5 Ago 89	TE-12 a TE-17
3º	30 Ago 89	TE-18 a TE-23
4º	20 Mai 90	TE-24 a TE-26
5º	13 Jun 90	TE-27 a TE-30

Tabela 3. Protótipos usados nos ensaios.

PT	testes estáticos
4	10 e 21
5	9 e 22
6	8, 17 e 30
7	11, 16 e 19
8	12 e 20
9	13, 23, 24 e 29
10	14, 25 e 27
11	15, 18, 26 e 28

Tabela 4. Dimensões das tuberias do tipo convencional [mm].

tubeira	V	G	M	H	&
dc	36.3	36.2	35.2	34.7	35.7
dg	12.0	12.0	12.0	11.7	11.9
ds	32.5	32.6	33.2	30.6	31.3
Lc	12.5	12.1	11.9	12.5	12.6
Ld	37.7	37.8	38.3	37.3	37.5
Lt	50.2	49.9	50.2	49.8	50.1
α	44°	45°	44°	43°	43°
β	15°	15°	16°	14°	15°
ϵc	10.1	10.1	10.1	10.6	10.3
ϵe	7.3	7.4	7.7	6.8	6.9
TE	24/28	23/25/27	22/30	16/20/26/29	17/19

Tabela 5. Dimensões das tuberias [mm].

tubeira	K	L	A	B	C	D
tipo	curta	curta	conv-long	conv-long	longa	longa
dc	35.9	37.4	36.7	36.8	36.7	36.5
dg	11.4	12.0	11.5	12.5	12.9	12.8
ds	33.7	33.2	----	----	31.6	31.7
Lc	8.3	8.4	48.7	47.7	48.7	48.7
Ld	26.9	26.1	----	----	56.3	56.2
Lt	35.2	34.5	48.7	47.7	105.0	104.9
α	56°	57°	15°	14°	14°	14°
β	23°	22°	---	---	9.4°	9.5°
ϵc	11.2	10.1	11.0	9.3	8.7	8.9
ϵe	8.7	7.7	---	---	6.0	6.1
TE	13/21	12/15/18	8	10	9/14	11

Observações: - ϵc é a razão de compressão da tubeira = $(dc/dg)^2$

- ϵe é a razão de expansão da tubeira = $(ds/dg)^2$

- dc foi considerado igual ao diâmetro interno da câmara de combustão (38.1 mm) para o cálculo de ϵc .

Tabela 6. Características dos grãos-propelente.

TE	Lp [mm]	Vp [cm ³]	mp [g]	ρ [g/cm ³]
8	132	85.7	108.1	1.26
9	142	92.2	118.2	1.28
10	126	81.8	104.5	1.28
11	139	90.2	114.1	1.26
12	134	87.0	116.6	1.34
13	125	81.2	108.2	1.33
14	138	89.3	119.9	1.34
15	142	92.2	122.9	1.33
16	136	88.3	116.2	1.32
17	133	86.3	113.2	1.31
18	142	92.2	119.0	1.29
19	143	92.8	118.2	1.27
20	137	88.9	113.0	1.27
21	141	91.5	117.3	1.28
22	142	137.1	176.7	1.29
23	134	129.4	170.1	1.31
24	110	71.4	91.2	1.28
25	107	69.4	95.4	1.37
26	106	68.8	92.3	1.34
27	102	66.2	83.9	1.27
28	102	66.2	83.8	1.27
29	94	61.0	83.0	1.36
30	102	66.2	83.7	1.26

Tabela 7. Tempo de queima filmado.

TE	tqf [s]
8	3.5
9	9.5
10	4.2
11	---
12	3.8
13	6.3
14	19.4
15	3.1
16	3.3
17	3.6
18	4.2
19	2.1
20	3.2
21	1.5
22	1.8
23	1.0
24	---
25	---
26	---
27	10.6
28	2.6
29	1.2
30	1.5

Tabela 8. Desempenho dos protótipos.

TE	E _{max} [N]	I _t [Ns]	E _{med} [N]	t _q [s]	r [mm/s]	\dot{m} [g/s]	ve [m/s]	I _{sp} [s]
10	38.3	37.2	22.7	1.64	4.0	64	360	36
12	81.7	46.3	38.2	1.21	5.4	96	400	41
16	96.8	35.6	58.4	0.61	11	190	310	31
19	108	79.0	80.6	0.98	6.7	121	670	68
20	107	76.8	68.6	1.12	5.9	101	680	69
21	121	89.0	81.7	1.09	6.1	108	760	77
24	85.1	51.9	40.2	1.29	5.1	71	570	58
28	60.4	31.6	32.6	0.97	6.8	86	380	38
29	109	56.9	83.7	0.68	9.7	122	690	70
30	55.3	30.5	27.0	1.13	5.8	74	360	37

Tabela 9. Massas inicial e final dos protótipos para vôo.

TE	mo [g]	mf [g]
10	606	501
12	626	510
16	628	512
19	637	519
20	626	513
21	634	517
24	576	484
28	560	476
29	551	468
30	560	476

Observações sobre as massas dos componentes considerados na Tab. 9:

- conjunto de três empenas e saia de adaptação à tubeira = 41 g
- adaptador do motor ao tubo de PVC = 29 g
- tubo de PVC (prolongamento do motor com diâmetro=40mm e comprimento=150mm) = 38 g
- ogiva = 34 g
- tubo-motor = variável de acordo com o comprimento do grão de cada TE
- tubeira = 107 g
- tampa superior = 78 g.

Tabela 10. Altura e velocidade no fim da queima.

TE	hq [m]			vq [m/s]		
	Cd=0.3	Cd=0.5	Cd=0.7	Cd=0.3	Cd=0.5	Cd=0.7
10	44	44	44	50	50	49
12	49	48	48	66	66	65
16	19	19	19	55	55	54
19	66	66	65	122	120	118
20	76	76	75	118	116	114
21	85	84	84	137	134	131
24	63	62	62	82	80	79
28	26	26	26	51	51	50
29	34	34	34	103	102	101
30	27	27	27	48	48	48

Tabela 11. Apogeu e tempo de vôo até o apogeu.

TE	h [m]			th [s]		
	Cd=0.3	Cd=0.5	Cd=0.7	Cd=0.3	Cd=0.5	Cd=0.7
10	165	157	150	6.54	6.35	6.18
12	249	232	218	7.49	7.15	6.87
16	160	152	145	5.90	5.71	5.54
19	620	532	470	11.09	10.06	9.31
20	603	518	459	10.99	9.99	9.26
21	741	623	543	11.99	10.74	9.86
24	349	315	289	8.72	8.18	7.74
28	149	141	135	5.91	5.73	5.57
29	448	392	352	9.48	8.72	8.14
30	139	133	127	5.85	5.69	5.54

Tabela 12. Tempo de voo e velocidade no impacto do MF ao solo.

TE	ti [s]			vi [m/s]		
	Cd=0.3	Cd=0.5	Cd=0.7	Cd=0.3	Cd=0.5	Cd=0.7
10	12.43	12.15	11.90	54	52	49
12	14.79	14.29	13.85	65	61	57
16	11.70	11.42	11.16	54	51	49
19	22.98	21.33	20.10	94	81	73
20	22.70	21.11	19.92	93	81	72
21	25.12	23.10	21.63	100	85	76
24	17.45	16.62	15.94	75	68	62
28	11.50	11.23	10.99	52	49	47
29	19.48	18.27	17.33	82	73	66
30	11.25	11.00	10.78	50	48	46

Tabela 13. Relação entre os tempos de queima.

TE	tq / tqf
10	0.39
12	0.32
16	0.18
19	0.47
20	0.35
21	0.73
23	0.20
28	0.37
29	0.57
30	0.75