

# Sistemas Energéticos

**3º ano 6º semestre**

**Aula 19**



# ***Aula 19: Cálculo de queimadores Prática***

# Tópicos

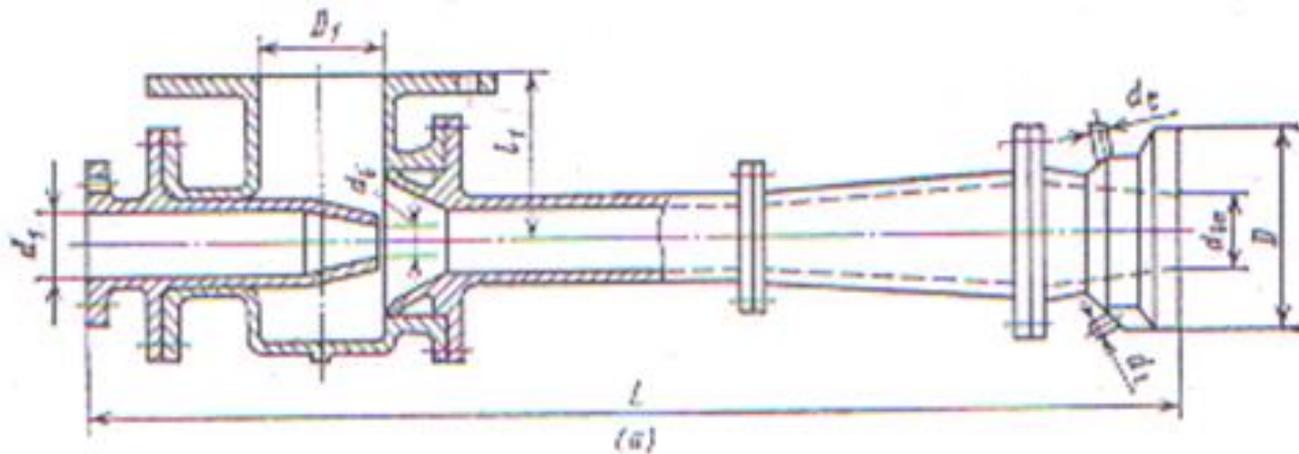
- *Queimador do tipo injector*
- *Queimador de duas vias*
- *Queimador Turbulento*
- *Queimador de baixa pressão*
- *Queimador compacto*



## Problema 19.1



Dimensionar um **queimador do tipo injector** que funciona com um caudal de  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  de um combustível gasoso com o poder calorífico de  $6650 \text{ kJ}/\text{m}^3$ . Determinar também a pressão necessária do gás à entrada do queimador.



## Problema 19.1 Resolução (I)

Tendo o consumo de combustível, o poder calorífico inferior do combustível a fórmula de cálculo da carga térmica é:

$$h_q = 0,278 \frac{B \cdot Q_i}{f_q}$$

Onde:

B – é o fluxo volumétrico de combustível em m<sup>3</sup>/h

Q<sub>i</sub> – é o poder calorífico inferior do combustível

f<sub>q</sub> – é a área da secção transversal do bico do queimador cm<sup>2</sup>



Com o auxílio da Tabela 18.3 testa-se os queimadores padronizados até conseguir-se uma carga térmica  $h_q$  que esteja dentro dos parâmetros 8160 e 11650 W/cm<sup>2</sup>

## Problema 19.1 Resolução (II)

Dimensões básicas do injetor (mm) (Tabela 18.3)

$d_q$	D	$D_1$	$d_1$	$d_t$ (")	L	$L_1$	$d_q$	D	$D_1$	$d_1$	$d_t$ (")	L	$L_1$
85	170	125	75	3/8	1035	200	154	410	300	150	3/4	2245	280
75	190	125	75	3/8	1145	200	178	470	350	200	1	2285	350
86	220	200	100	1/2	1360	230	205	490	350	250	1	2915	350
100	260	200	100	1/2	1530	230	235	510	350	250	1	3290	350
116	300	250	125	1/2	1740	250	270	510	450	300	1	3695	460
134	350	300	150	3/4	2000	280	-	-	-	-	-	-	-

Para  $d = 85 \text{ mm} = 8,5 \text{ cm}$



$$h_q = 0,278 \frac{B \cdot P_{ci}}{\pi d^2} = 0,278 \frac{500 \cdot 6650}{3,14 \cdot 8,5^2} = 1628954 \text{ W/cm}^2$$

6

$h_q$  não se encontra no intervalo de 8160 a 11650  $\text{W/cm}^2$ , portanto, descarta-se

## Problema 19.1 Resolução (III)

Para  $d = 75 \text{ mm} = 7,5 \text{ cm}$

$$h_q = 0,278 \frac{B \cdot P_{ci}}{\pi d^2} = 0,278 \frac{500 \cdot 6650}{3,14 \cdot 7,5^2} = 2092300 \text{ W/cm}^2$$

$h_q$  não se encontra no intervalo de 8160 a 11650  $\text{W/cm}^2$ , portanto, descarta-se

Para  $d = 100 \text{ mm} = 10,0 \text{ cm}$


$$h_q = 0,278 \frac{B \cdot P_{ci}}{\pi d^2} = 0,278 \frac{500 \cdot 6650}{3,14 \cdot 10^2} = 1176919 \text{ W/cm}^2$$

7

$h_q$  não se encontra no intervalo de 8160 a 11650  $\text{W/cm}^2$ , portanto, descarta-se

## Problema 19.1 Resolução (IV)

Para  $d = 116 \text{ mm} = 11,6 \text{ cm}$

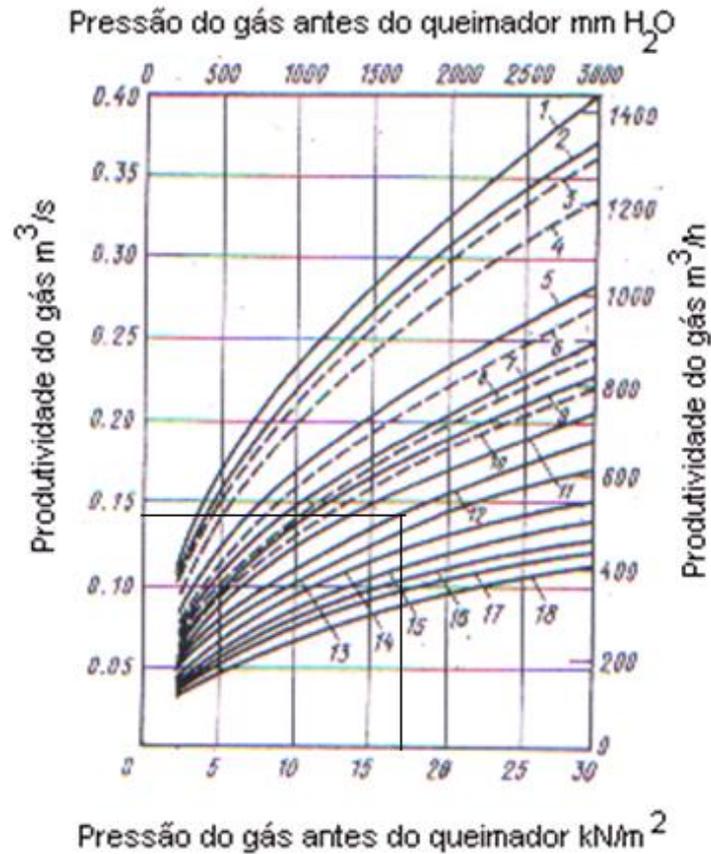
$$h_q = 0,278 \frac{B \cdot P_{ci}}{\pi d^2} = 0,278 \frac{500 \cdot 6650}{3,14 \cdot 11,6^2} = 874643 \text{ W/cm}^2$$

$h_q$  se encontra no intervalo de 8160 a 11650  $\text{W/cm}^2$ , portanto, aceita-se

Pelo monograma (Tabela 18.1) retira-se a pressão necessária na conduta de gás:



# Problema 19.1 Resolução (V)



Linha	PCI(kJ/m³)
1	3750
2	4100
3	3750
4	4100
5,6	5050
7,8	5450
9,10	5850
11	6250
12	6650
13	7100
14	7550
15	7950
16	8400
17	8800
18	9200

Produtivi

A curva é a 12 (6650 kJ/m³);

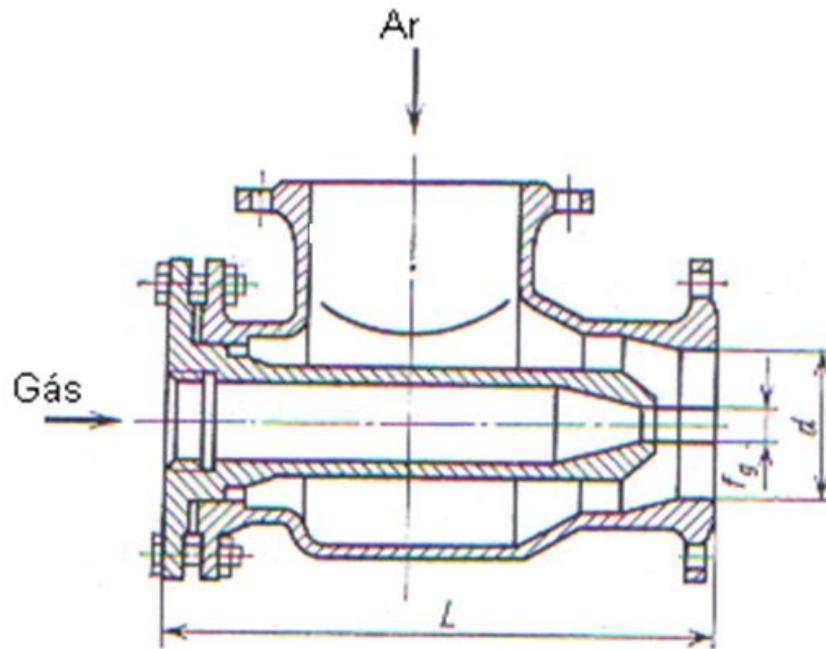
A pressão correspondente é 17 kN/m².



## Problema 19.2



Dimensionar um **queimador de duas vias** que funciona com um caudal de  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  de um combustível gasoso com o poder calorífico de  $8380 \text{ kJ}/\text{m}^3$ , sabendo que a velocidade na boca do mesmo é de  $50 \text{ m}/\text{s}$ .



## Problema 19.2 Resolução (I)

O diâmetro calcula-se da relação:

$$A = \frac{B}{v} \rightarrow \frac{\pi d^2}{4} = \frac{B}{v}$$

$$d = \sqrt{\frac{4B}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 300/3600}{\pi \cdot 50}} = 0,046 \text{ m} = 46 \text{ mm}$$

Verifica-se se o diâmetro é normalizado na tabela que se segue:



## Problema 19.2 Resolução (II)

Verifica-se se o diâmetro é normalizado na Tabela 18.7.

$d_q$	D	$D_1$	$d_t$ (")	h	$h_1$	Massa (kg)	$d_q$	D	$D_1$	$d_t$ (")	h	$h_1$	Massa (kg)
15	60	25	½	220	195	5,10	65	140	70	¾	700	600	33,5
18	60	30	½	250	225	5,30	75	140	80	¾	800	700	35,2
21	60	30	½	275	250	5,60	86	220	90	1	960	185	58,7
24	80	35	½	300	260	8,80	100	260	100	1	1095	255	81,0
28	80	40	½	335	295	9,00	116	200	115	1¼	1240	290	107,0
32	80	40	½	375	335	9,80	134	350	130	1¼	1420	380	151,0
37	100	45	½	440	385	14,30	154	410	145	1½	1615	435	216,0
42	100	50	½	490	435	14,80	178	470	165	1½	1840	550	240,0
48	120	55	½	545	475	21,00	205	490	190	2	2130	640	342,0
56	120	60	¾	625	555	26,00	235	510	215	2	2400	805	401,0

Portanto, o diâmetro normalizado na tabela é de 48 mm. Sempre se escolhe o diâmetro maior, para compensar as perdas.



## Problema 19.2 Resolução (III)

Das relações da tabela abaixo, calcula-se o diâmetro  $d_a$ , tendo em conta o poder calorífico inferior.

Mistura de gás com PCI = 3771 – 5666 kJ/m <sup>3</sup>	1,1
Mistura de gás com PCI = 5666 – 8380 kJ/m <sup>3</sup>	1,9
Gás de coque	7
Gás natural	14

$$f_a/f_c = 1,9$$

$$\frac{f_a}{f_c} = 1,9$$

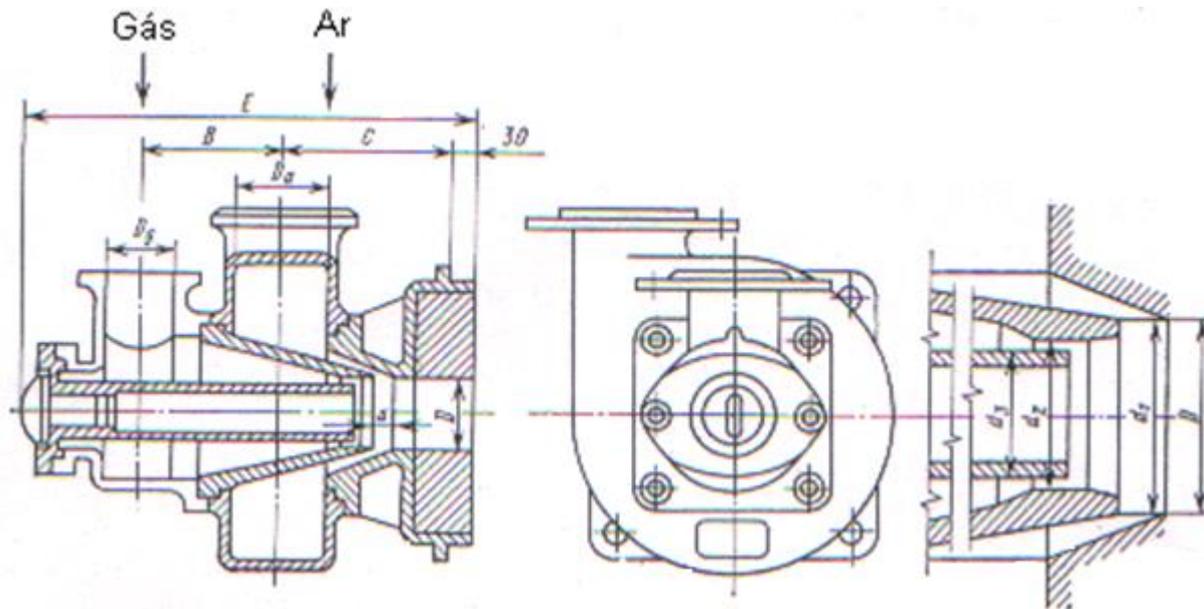
$$\frac{d_a^2}{d_c^2} = 1,9 \Rightarrow d_a = \sqrt{1,9d_c^2} = 66,16 \text{ mm}$$



## Problema 19.3



Dimensionar um **queimador turbulento** que funciona com um caudal de  $250 \text{ m}^3/\text{h}$  de um combustível gasoso com o poder calorífico de  $8380 \text{ kJ}/\text{m}^3$ , sabendo que a velocidade na boca do mesmo é de  $30 \text{ m}/\text{s}$ .



## ***Problema 19.3 Resolução (I)***

Com um PCI do combustível conhecido e o fluxo do combustível  $B$   $m^3/h$  por queimador, a carga térmica do queimador determina-se pela seguinte expressão:

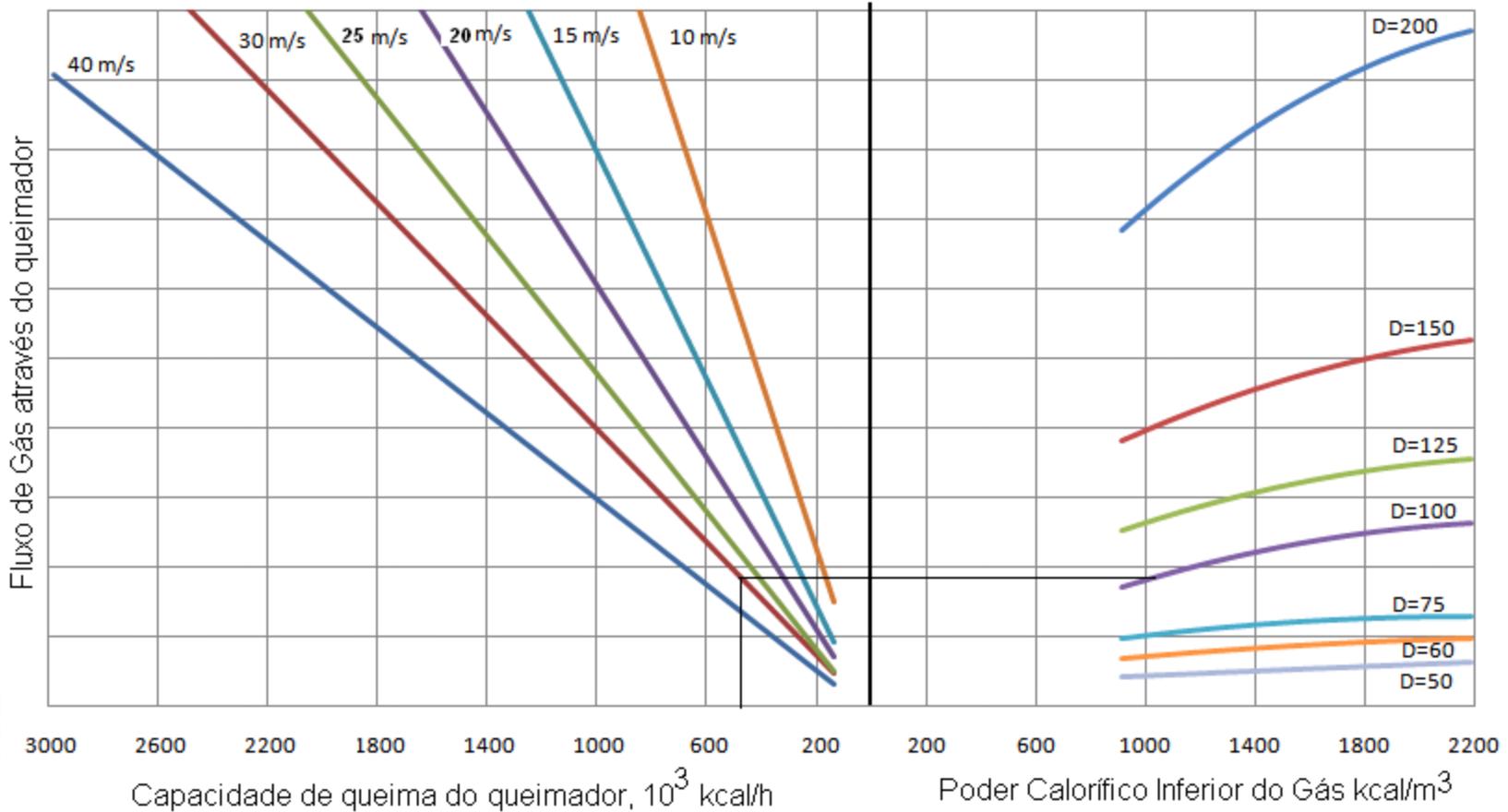
$$Q = \dot{B} \cdot PCI$$

$$Q = 250 \cdot 8380 = 2095000 \text{ kJ/h} = 500,38 \times 10^3 \text{ kcal/h}$$

Com este valor e a velocidade de 30 m/s, no monograma da Figura 18.11 lê-se o valor do diâmetro  $D = 100 \text{ mm}$ .



# Problema 19.3 Resolução (II)



Monograma para seleccionar queimadores turbulentos

16

Na tabela que se segue, selecciona-se o diâmetro  $d_a$ , tendo em conta a faixa de poder calorífico.  $D=100$  ,  $d_g = 100$ ,  $d_a = 125$

## Dimensões em (mm) de queimadores turbulentos (Tabela 18.8)

<b>D</b>	<b>d<sub>g</sub></b>	<b>d<sub>a</sub></b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>E</b>	<b>d<sub>1</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>3</sub></b>	<b>a</b>
Para PCI = 3770 -5870 kJ/m <sup>3</sup>									
50	65	65	115	120,5	375	50	40	34	13
60	75	75	125	132,5	405	60	48	40	15
75	100	100	155	155	490	75	60	50	19
100	125	125	185	183,5	570	100	80	68	25
125	150	150	210	213	645	125	100	85	31
150	200	200	260	255	770	150	120	100	38
200	250	250	310	312	910	200	160	135	50
Para PCI = 5870 - 9200 kJ/m <sup>3</sup>									
50	50	65	110,5	120,5	365	48	40	35	13
60	65	75	120	132,5	395	57	48	42	15
75	75	100	140,5	155	450	71	60	53	19
100	100	125	170,5	183,5	540	95	80	70	25
125	125	150	200,5	213	615	119	100	88	31
150	150	200	235	255	715	142	120	105	38
200	200	250	285	312	855	190	160	140	50



## Problema 19.4



Calcular o diâmetro da saída de combustível e do ar de um **queimador de baixa pressão** que funciona com um combustível líquido com a seguinte composição dada em massa seca: Carbono 40%, Hidrogénio 15%, Nitrogénio 7%, Oxigénio 26%, Enxofre 7%, Cinzas 5%, Humidade 7%, com um coeficiente de excesso de ar de  $a = 1,1$ . Sabendo ainda que o consumo de combustível é de 200 kg/h e que este é injectado a pressão de  $3 \text{ kN/m}^2$ , tem a massa específica  $950 \text{ kg/m}^3$  e o seu coeficiente de vazão é de 0,2. O coeficiente de vazão do ar é de 0,7, este tem a massa específica  $1,29 \text{ kg/m}^3$  e é insuflado a pressão de  $8 \text{ kN/m}^2$ .

## ***Problema 19.4 –formulas para cálculo das secções***

O cálculo que se faz nestes queimadores consiste em determinar as secções transversal das secções de saída do ar e do combustível.

Para o combustível tem-se:

$$f_c = A \cdot b / (\mu_c \sqrt{p_c \rho_c}) \quad \text{mm}^2 \quad (18.5)$$

Onde:

$A$  é um coeficiente que é igual a 195,625 se  $p$  for medido em  $\text{N/m}^2$

$b$  é o fluxo de combustível em  $\text{kg/h}$

$p_c$  é a pressão do combustível em  $\text{N/m}^2$

$\mu_c$  é o coeficiente de vazão do combustível

$\rho_c$  é a massa específica em  $\text{kg/m}^3$  (950-960)



Para o ar tem-se:

$$f_a = A' \cdot V_a / (\mu_a \sqrt{p_a \rho_a}) \quad \text{mm}^2$$

Onde:

$A'$  é um coeficiente que é igual a 618,75 se  $p$  for medido em  $\text{N/m}^2$

$V_a$  é o fluxo de ar em  $\text{m}^3/\text{h}$

$p_a$  é a pressão do ar na saída  $\text{N/m}^2$

$\mu_c$  é o coeficiente de vazão do ar 0,7 – 0,8

$\rho_a$  é a massa específica do ar em  $\text{kg/m}^3$



## Problema 19.4 – Resolução (I)

A massa de trabalho do combustível calcula-se de:

$$C^t = C^d \frac{100 - W^t}{100} = 37,2\%$$

$$H^t = H^d \frac{100 - W^t}{100} = 13,95\%$$

$$N^t = N^d \frac{100 - W^t}{100} = 6,51\%$$

$$O^t = O^d \frac{100 - W^t}{100} = 24,18\%$$

$$S^t = S^d \frac{100 - W^t}{100} = 6,51\%$$

$$A^t = A^d \frac{100 - W^t}{100} = 4,65\%$$

$$W^t = 7,0\%$$



## Problema 19.4 – Resolução (II)

Cálculo do volume teórico de ar.

$$V_{ar}^0 = 0,0889(C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,269 \cdot H^t - 0,0336 \cdot O^t = 6,416 \left[ \frac{m^3 N}{kg} \right]$$

Cálculo da secção transversal de saída do combustível .

$$f_c = \frac{A \cdot B}{\mu_c \sqrt{P_c \cdot \rho_c}} = \frac{195,625 \cdot 200}{0,2 \sqrt{3000 \cdot 950}} = 115,87 \left[ mm^2 \right]$$

Cálculo do diâmetro de saída do combustível .

$$f_c = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4f_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 115,87}{\pi}} = 12,14 \text{ mm}$$



## Problema 19.4 – Resolução (III)

Cálculo da secção transversal de saída do ar.

$$f_a = \frac{A \cdot V_a}{\mu_{ar} \sqrt{P_{ar} \cdot \rho_{ar}}} = \frac{618,75 \cdot 6,416 \cdot 1,1}{0,7 \sqrt{8000 \cdot 1,29}} = 61,409 \quad [mm^2]$$

Onde:

$$V_a = V_{ar}^0 \cdot \alpha$$

Portanto, o diâmetro de saída de ar é de:

$$f_a = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d_a = \sqrt{\frac{4f_a}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 61,409}{\pi}} = 9,97 \text{ mm}$$



## Problema 19.5

Escolher um **queimador compacto** para uma fornalha que funciona com um combustível gasoso (gás natural) com o Poder Calorífico Inferior de  $35,8 \text{ MJ/m}^3\text{N}$  sabendo ainda que a pressão na conduta de alimentação de gás é de 60 mbar, a contrapressão dentro da fornalha de 16 mbar, a potência da fornalha é de 5500 kW e o seu rendimento térmico de 90%. Fazer também a selecção da válvula de gás.



## Problema 19.5 – Resolução (I)

Calcula-se a capacidade do queimador de:

$$C_{queim} = \frac{P}{\eta_f} [kW] \quad (18.6)$$

- $C_{queim}$  - Capacidade do queimador [kW]
- $P$  - Capacidade da fornalha [kW]
- $\eta_t$  – Rendimento térmico da fornalha

$$C_{queim} = \frac{5500}{0,9} = 6111,11 [kW]$$



## Problema 19.5 – Resolução (II)

Consumo de combustível do queimador a combustível gasoso.

$$\dot{B}_{comb} = \frac{C_{queim} \cdot 3,6}{Q_i} \left[ \frac{m^3 N}{h} \right] \quad (18.7)$$

Onde:

$B_{comb}$  - Fluxo de gás necessário [ $m^3N/h$ ]

$C_{queim}$  - Capacidade do queimador [kW]

$Q_i$  - Poder calorífico do gás [ $MJ/m^3N$ ].

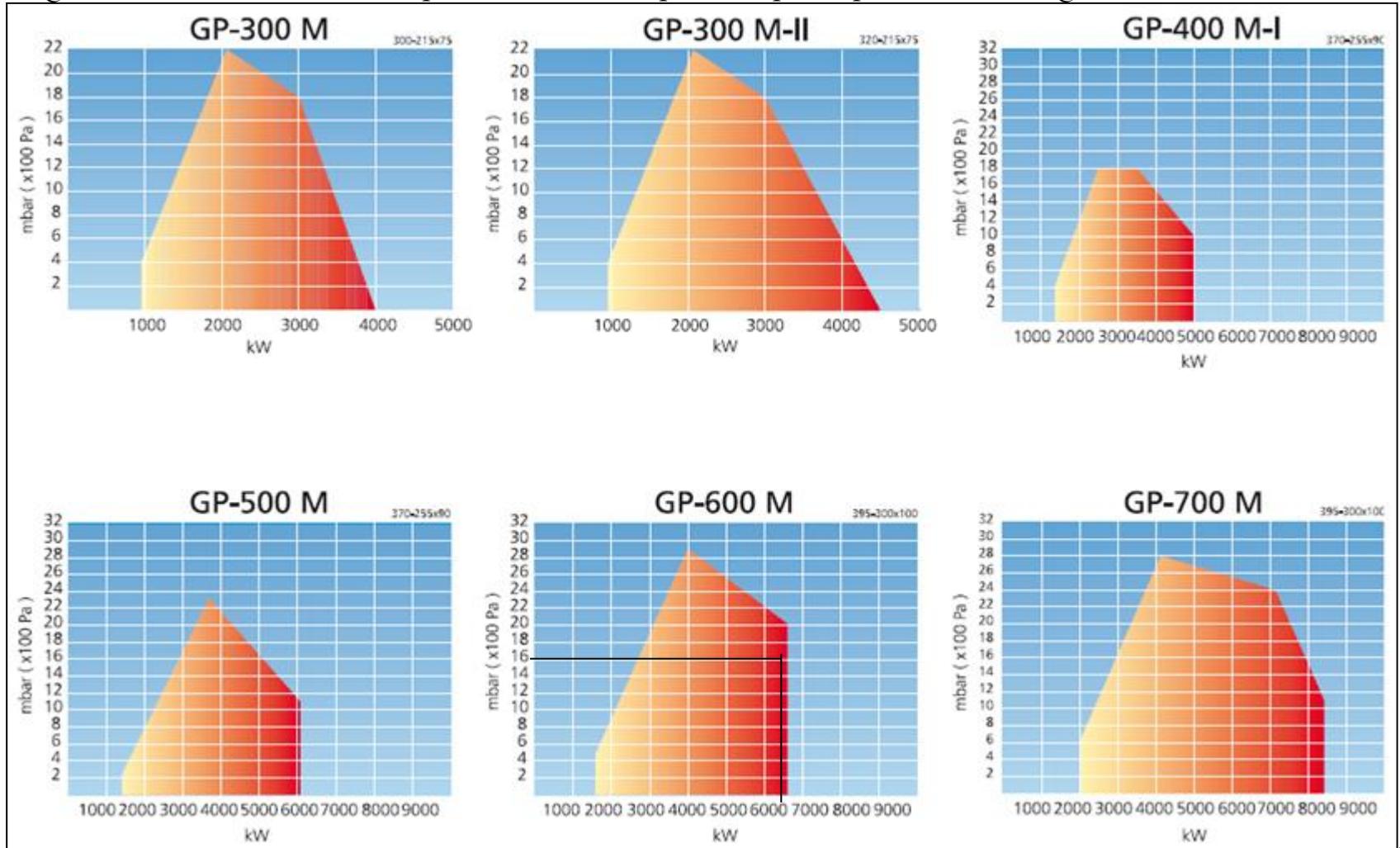
$$\dot{B}_{comb} = \frac{6111,11 \cdot 3,6}{35,8} = 614,52 \left[ \frac{m^3 N}{h} \right]$$





# Problema 19.5 – Resolução (III)

Figura 18.25 Gráficos de capacidade/contrapressão para queimadores à gás



## ***Problema 19.5 – Resolução (IV)***

Usa-se a Tabela 18.14 de selecção de válvula de gás, para escolher uma válvula suficientemente grande. Observe-se que os valores apresentados na tabela de selecção são aplicáveis quando a contrapressão da fornalha é de 0 mbar. Ou seja, o tamanho da válvula dependerá do valor obtido ao subtrair-se o valor de contrapressão da caldeira do valor da pressão de entrada de gás. Quando o valor da pressão de entrada de gás for de 60 mbar, a contrapressão da fornalha de 16 mbar, a capacidade requerida do queimador de 6111 kW, então a pressão efectiva é de  $60 \text{ mbar} - 16 \text{ mbar} = 44 \text{ mbar}$ .





## Problema 19.5 – Resolução (V)

**Tabela 18.14 Tabela de seleção de válvula de gás - QUEIMADORES SÉRIE 400...700**

QUEIMADOR	VÁLVULA DE GÁS	CAPACIDADE MÁX. DO QUEIMADOR kW *)					BOCAL DA CHAMA	
		PRESSÃO NA ENTRADA DO GÁS mbar						
	TAMANHO DN	TIPO **)	20	30	50	100		150
GP/GKP/GRP-400 M-I	50	DMV-D			2260	3200	3920	370
	65	DMV		2630	3390	4790	5000	370
	80	DMV	3050	3730	4820	5000	5000	370
	100	DMV	3810	4670	5000	5000	5000	370
	125	DMV	4780	5000	5000	5000	5000	370
GP/GKP/GRP-500 M	65	DMV			3390	4790	5870	370
	80	DMV	3050	3730	4820	6070	6070	370
	100	DMV	3810	4670	6070	6070	6070	370
	125	DMV	4780	5860	6070	6070	6070	370
GP/GKP/GRP-600 M	65	DMV			3430	4850	5940	395
	80	DMV	3110	3810	4900	6750	6750	395
	100	DMV	3900	4780	6170	6750	6750	395
	125	DMV	4960	6080	6750	6750	6750	395
GP/GKP/GRP-700 M	80	DMV		3810	4920	6960	8400	395
	100	DMV	3900	4780	6170	8400	8400	395
	125	DMV	4960	6080	7840	8400	8400	395