



I Simpósio Gaúcho de Engenharia Aeroespacial e Mecânica
9 e 10 de novembro de 2022, Santa Maria, RS, Brasil

EFEITOS DA ELEVÇÃO DE VÁLVULA NA VAZÃO DE AR E NO COEFICIENTE DE DESCARGA

Louise Bomfim Magalhães França

Cristian Douglas Rosa da Silva

UFSM Av. Roraima nº 1000 Cidade Universitária Bairro - Camobi, Santa Maria - RS, 97105-900
louise.franca@acad.ufsm.br e douglas.silva@acad.ufsm.br

Jean Lucca Fagundez

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Av. Roraima nº 1000, Camobi, Santa Maria - RS
jean.fagundez@acad.ufsm.br

Resumo. A perda de carga por fricção é uma das principais responsáveis pela perda de eficiência do sistema de troca de gases de um motor de combustão interna. É possível quantificá-la através do coeficiente de descarga, que é a razão entre as vazões real e ideal do escoamento através de uma restrição. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é estabelecer uma relação entre o coeficiente de descarga e a elevação das válvulas através da vazão de ar para realizar simulações do ciclo de um motor real em software de simulação unidimensional, para diminuir o custo e o tempo computacional necessário. A vazão do ar utilizada foi obtida por uma simulação fluidodinâmica computacional do escoamento de ar frio através das válvulas de admissão e exaustão, no sentido direto e no sentido reverso, utilizando o software comercial CONVERGE 3.0. Os resultados mostraram um aumento da vazão de ar e, portanto, do coeficiente de descarga à medida que as válvulas foram elevadas, tendo um comportamento de acordo com o apresentado na literatura e com ordens de grandeza similares. Dessa forma, é possível simular motores reais através de softwares, potencializando o uso de simulação para diminuir o uso de experimentos e, conseqüentemente, o custo de pesquisas com eles.

Palavras chave: Coeficiente de descarga, elevação de válvula, fluidodinâmica computacional

1. INTRODUÇÃO

Em um motor quatro tempos, os processos de admissão e exaustão são controlados pela abertura das válvulas, que controlam a passagem do escoamento pelas portas. A altura de elevação da válvula (L_v) influencia a vazão (\dot{m}) pois aumenta a área disponível para o escoamento pela abertura da válvula. Segundo Heywood, (2018), essa área varia instantaneamente, mas três estágios separados podem ser definidos, como mostra a Figura 1, em que a área efetiva é a área geométrica mínima de escoamento. Ela é uma função da elevação nas seções 1 e 2, mas não na 3, em que a razão entre a altura e o diâmetro da cabeça (D_v) da válvula é maior que, aproximadamente, 0,25, fato que foi validado experimentalmente por Ismail e Bakar (2008). Esse fenômeno ocorre pois a vazão de ar começa a se separar

das paredes da cabeça da válvula e do assento da válvula já no segundo perfil de escoamento e no terceiro a vazão de ar está completamente despreendida das paredes, aumentando a região de estagnação próxima das paredes, de forma que a área efetiva deixa de aumentar com a elevação da válvula, então a vazão passa a ser governada por outros fatores, como a diferença de pressão.

De acordo com Blair (2008), um fator importante no desempenho de um motor de combustão interna é a eficiência da válvula, que está relacionada com a estrutura da vazão de ar no cilindro. O coeficiente de descarga (C_D) é utilizado para caracterizar a capacidade de escoamento pelos sistemas de admissão e exaustão, pois é a razão entre a vazão real e a teórica, indicando uma das principais perdas de carga de um sistema hidráulico. A partir dele, define-se a área efetiva de escoamento, que está diretamente relacionada com a vazão mássica. Ele



depende da razão entre a elevação das válvulas durante cada processo com o diâmetro da cabeça de cada uma (L_v/D_v), posto que a área de escoamento também depende da geometria da válvula.

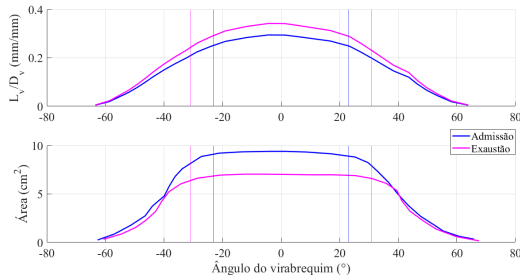


Figura 1. Adaptada de Heywood (2018), representa, respectivamente, a razão de elevação da válvula e área disponível para o escoamento pela abertura da válvula em função do ângulo do virabrequim.

É possível medir a vazão e, portanto, calcular o coeficiente de descarga utilizando uma bancada de fluxo. A fim de reduzir o custo e o número de experimentos realizados, é necessário determinar esses fatores para permitir a simulação de motores. O estabelecimento da relação entre o coeficiente de descarga e a elevação das válvulas possibilita simular o ciclo de um motor real em *software* de simulação unidimensional, diminuindo o custo computacional necessário e acelerando o processo de simulação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O motor simulado foi um motor monocilindro termodinâmico de pesquisas Ricardo Proteus 1200 adaptado para ciclo Otto. Ele possui um cilindro e duas válvulas, uma de admissão e outra de exaustão, sendo o diâmetro da cabeça da válvula de admissão igual a 49 mm e o de exaustão, 39,5 mm, com uma razão de compressão de 12,5. Foi realizada uma variação paramétrica da altura de elevação das válvulas de 1 até 9 mm, com um passo de 2 mm em relação a L_v/D_v .

O processo de cálculo do coeficiente de descarga parte da avaliação do escoamento frio de ar pelo cilindro, com o pistão removido, e por cada válvula, em suas aberturas máximas, nos processos de admissão e exaustão do ar com diferentes elevações. Para tanto, um diferencial de pressão foi imposto no cilindro, sendo a pressão nas portas sempre atmosférica. Foram avaliadas quatro situações: admissão direta e reversa, e exaustão direta e reversa. Nas configurações diretas, o ar entra pela porta das válvulas e sai pelo cilindro, enquanto o contrário ocorre nos casos reversos. As condições de contorno usadas na simulação, foram as mesmas usadas em ensaios

experimentais em banco de fluxo para avaliação do coeficiente de descarga, como dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições de contorno da simulação.

Configuração	Propriedade	Valor	Unidade
Todas	T_{entrada}	323	K
	$T_{\text{saída}}$	313	
	T_{paredes}	298	
Direta	P_{entrada}	101325	Pa
	$P_{\text{saída}}$	96325	
Reversa	P_{entrada}	1063225	Pa
	$P_{\text{saída}}$	101325	

Experimentalmente, o teste é realizado por um curto período de tempo, de forma que não ocorre transferência de calor com paredes. Assim, uma temperatura ambiente de 25°C, ou 298 K, foi adotada nelas. Adotou-se uma temperatura de entrada de 40°C, ou 323 K, e uma de 30°C, ou 313 K, na saída, com um diferencial de pressão de 5000 Pa. Assim, nas configurações diretas o ar foi succionado do cilindro, aplicando uma pressão de saída de 96325 Pa nele, enquanto a pressão de entrada das válvulas foi de 101325 Pa. Já nos casos reversos, impôs-se uma pressão de entrada de 106325 Pa no cilindro, sendo a pressão de saída 101325 Pa nas válvulas.

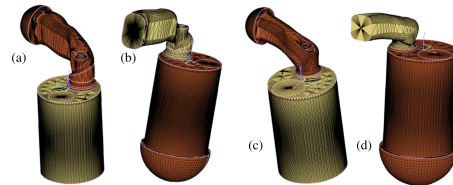


Figura 2. Esquemático dos modelos computacionais admitidos, sendo (a) admissão direta, (b) admissão reversa, (c) exaustão reversa e (d) exaustão direta. Em marrom, as regiões volumétricas de *upstream*, e em amarelo, de *downstream*.

O modelo de solução da turbulência adotado foi o RANS através do *software* CONVERGE 3.0. Como mostra a Figura 2, somente a válvula da configuração foi mantida na geometria. Uma semiesfera foi utilizada para representar a entrada de ar, pela porta da válvula no caso direto ou pelo cilindro no caso reverso, enquanto uma superfície plana caracteriza a saída. Em todos os casos, a vazão mássica é medida na saída, que faz parte da região volumétrica de *downstream*, enquanto a entrada, da *upstream*.

Para calcular o coeficiente de descarga com base nos dados de vazão mássica fornecidos pela análise da

simulação fluidodinâmica computacional (CFD), é necessário estabelecer uma relação entre eles. Segundo Heywood (2018), essa é definida pela Equação 1, em que R e γ são constantes do ar, mostradas na Tabela 2, P_0 é a pressão de estagnação na entrada, P_T e T_0 a pressão e a temperatura, respectivamente, depois da restrição no escoamento, isto é, das válvulas, ou seja, as condições na saída.

$$C_D = \frac{\dot{m}_{CFD}}{\frac{\pi D^2}{4} \frac{P_0}{\sqrt{RT_0}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{P_T}{P_0}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_T}{P_0}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]}} \quad (1)$$

Tabela 2. Propriedades do ar nas condições consideradas.

Propriedade	Valor
Razão de capacidade térmica (γ)	1,401
Constante universal dos gases (R) [J/kg.K]	286,986

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3 e 4 mostram os resultados calculados do coeficiente de descarga a partir dos dados obtidos através do CONVERGE 3.0.

É possível observar o aumento linear do coeficiente de descarga em função da elevação de válvula, representada por sua razão com o diâmetro da válvula, a fim de parametrizar a análise. Nota-se que valores de C_D próximos de 0,4 são atingidos quando a razão L_V/D_V se aproxima de 0,25. Esses fatores são, de acordo com a teoria e com dados experimentais da literatura.

Constata-se também que aumento da vazão mássica de ar e, conseqüentemente, do coeficiente de descarga é atenuado com maiores elevações das válvulas. Isto é, a diferença entre o C_D com um L_V/D_V de 0,02 para o de 0,06 é muito expressiva que o de 0,14 mm para o de 0,18 mm. Dessa forma, é possível depreender que o coeficiente de descarga também tende a se estabilizar para elevadas razões de L_V/D_V com essa metodologia.

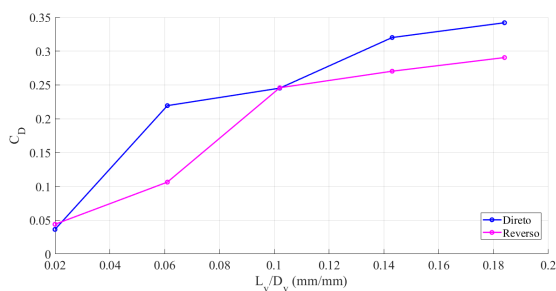


Figura 3. Coeficiente de descarga nas configurações reversa e direta através da válvula de admissão.

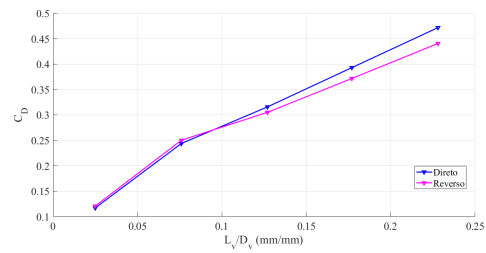


Figura 4. Coeficiente de descarga nas configurações reversa e direta através da válvula de exaustão.

4. CONCLUSÕES

Conforme resultados obtidos por CFD, infere-se que há um aumento linear do coeficiente de descarga com a elevação da altura da válvula, o que provoca uma maior de ar na saída. Esse comportamento está de acordo com o esperado pela teoria e com resultados experimentais da literatura. Assim, é possível utilizar esse modelo para avaliar a perda eficiência de trocas gasosas em motores através de simulações, reduzindo os custos experimentais.

Em estudos futuros, é desejável avaliar uma maior faixa de alturas de elevação de válvula com uma melhor discretização, para observar e identificar todos os estágios de desenvolvimento da área de escoamento, incluindo a estabilização do C_D em razões L_V/D_V maiores que 0,25. Além disso, os modelos de turbulência LES e DES podem ser implementados no CONVERGE 3.0, possibilitando a comparação entre seus resultados e os mostrados anteriormente, obtidos utilizando RANS. Como eles resolvem o escoamento turbulento de maneiras diferentes, isso permite definir o melhor modelo para a realização desse tipo de simulação ao adicionar uma avaliação experimental precisa desses coeficientes, contribuindo para diversos trabalhos técnicos futuros.

5. REFERÊNCIAS

- ISMAIL, Abdul Rahim; BAKAR, Rosli Abu. An Investigation of Valve Lift Effect on Air Flow and Coefficient of Discharge of Four Stroke Engines Based on Experiment. American Journal of Applied Sciences, v. 5, i. 8, p. 963-971, 2008. Doi: 10.3844/ajassp.2008.963.971.
- BLAIR, Gordon Purves. Back to Basics. Race Engine Technology Magazine, i. 27, p. 36-45, 2008. Disponível em: http://www.profbclairandassociates.com/pdfs/Back_to_basics.pdf
- HEYWOOD, John. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2ª ed, Nova Iorque: McGraw-Hill, 2018. 1721p.

