

6

Conclusões e perspectivas

A pesquisa bibliográfica efetuada a fim de estabelecer o estado da arte das entradas *NACA* mostrou que existe uma enorme lacuna entre a metade dos anos 1950 e o final dos anos 1990, durante a qual aparentemente não foram realizados trabalhos relacionados às entradas submersas. Nos primeiros trabalhos experimentais, realizados nos anos 1940 e 1950, foi investigada a influência dos parâmetros aerodinâmicos e geométricos das entradas submersas sobre seu desempenho. O resultado mais importante destes trabalhos é que a espessura da camada limite, a montante da entrada de ar é o parâmetro que mais influencia a eficiência deste tipo de entrada. Com o advento das técnicas de CFD os trabalhos mais recentes, desenvolvidos a partir dos anos 1990, aliam freqüentemente esforços experimentais aos numéricos. O objetivo principal destes trabalhos recentes foi estudar a melhoria de desempenho das entradas de ar submersas. Para este fim foram utilizadas técnicas baseadas na otimização de parâmetros geométricos e no uso de geradores de vórtices, jatos pulsantes e defletores de escoamento.

Os resultados das simulações correspondentes à configuração da entrada *NACA* convencional mostraram que a escolha do modelo de turbulência possui uma influência determinante sobre a estrutura do escoamento e os parâmetros de desempenho calculados. Assim, tomando-se como referência o modelo de Spalart e Allmaras, as simulações usando o modelo *k-ε realizável*, tanto com funções de parede “padrão” como com funções de “não-equilíbrio”, apresentam discrepâncias da ordem de 14% e 34%, em termos de eficiência, e da ordem de 7% e 19%, em termos de vazão mássica que ingressa na entrada de ar, respectivamente. Uma vez que dados experimentais não se encontram disponíveis para as condições nas quais são feitas as simulações numéricas neste trabalho, uma escolha do modelo de turbulência mais adequado não é possível.

Comparando-se a influência da escolha do modelo de turbulência e do valor da pressão estática na saída do duto sobre os resultados obtidos, é possível

verificar que as discrepâncias obtidas usando diferentes modelos de turbulência são maiores que do que aquelas que são obtidas variando-se a pressão estática na saída do duto. Para uma variação de pressão estática na saída do duto de 2%, as modificações obtidas, em termos de eficiência de recuperação de pressão dinâmica, são da ordem de 1%.

Em relação ao nível de refinamento da malha computacional utilizada, os resultados mostraram que o processo de refinamento adaptativo de malha adotado não influencia significativamente os resultados obtidos. As diferenças obtidas em relação à malha original, as quais são apenas da ordem de 1% em termos de eficiência, vazão mássica e coeficiente de arrasto, permitem concluir que, em relação aos parâmetros de desempenho, os resultados obtidos das simulações apresentam convergência de malha.

Os valores dos parâmetros de desempenho da entrada *NACA* convencional, os quais foram calculados a partir dos resultados das simulações correspondentes, quando comparados aos seus respectivos dados de projeto, assim como também os valores calculados do coeficiente de sustentação do gerador de vórtices, mostram que existe uma coerência entre os resultados obtidos numericamente e os dados experimentais. Especificamente, no relacionado ao coeficiente de sustentação do gerador de vórtices projetado, os resultados mostram que existe uma boa concordância entre estes valores numéricos e os valores experimentais. As diferenças encontradas são inferiores a 10%.

O aspecto mais importante a ressaltar neste trabalho, e que constitui a maior contribuição aportada, é a drástica redução da espessura da camada limite a montante da entrada de ar com o uso do gerador de vórtices. Os resultados mostraram que esta redução é responsável por uma melhoria significativa nos parâmetros de desempenho da entrada de ar. Além disto, os resultados apresentados permitem uma maior compreensão da influência do gerador de vórtices sobre a estrutura do escoamento e, especificamente, sobre o desenvolvimento da camada limite à montante da entrada de ar. Acredita-se que este tipo de configuração é factível de ser utilizada nas aplicações práticas.

Em todas as configurações de entrada *NACA* estudadas, os ganhos obtidos para diferentes posições horizontais do gerador de vórtices livre atingem valores de até 44%, em termos de eficiência, e de até 16% em termos de vazão mássica ingerida pela entrada. Estes ganhos diminuem quando o gerador de vórtices é

aproximado à entrada *NACA*, porém permanecem significativos, isto é, 26% em termos de eficiência, e 13%, em termos de vazão mássica, na posição horizontal do gerador de vórtices mais próxima da entrada de ar.

Quando o ângulo de ataque (α) do gerador de vórtices tem seu valor aumentado para 25° os ganhos na eficiência e na vazão mássica também aumentam para 45% e 17%, respectivamente. Porém, quando o ângulo de ataque do gerador de vórtices é aumentado para 35° estes ganhos diminuem para 40% e 15%, respectivamente. Isto indica que, para uma determinada configuração de entrada *NACA* com gerador de vórtices, é possível determinar um valor ótimo do ângulo de ataque do gerador de vórtices.

Os ganhos obtidos, em termos de eficiência e vazão mássica, quando a área do gerador de vórtices é incrementada em 50% são de ordem de 54% e 19%, respectivamente. Quando a área é incrementada em 100% estes ganhos são de ordem de 58% e 21%, respectivamente. Assim, aumentar a área do gerador de vórtices estudado é mais interessante do que aumentar o ângulo de ataque do mesmo.

Para todas as posições horizontais testadas, a contribuição do gerador de vórtices no arrasto total do conjunto é inferior a 7%. Quando o ângulo de ataque (α) do gerador de vórtices é incrementado, a contribuição do gerador de vórtices ao arrasto total alcança um valor de até 26%. Quando a área do gerador de vórtices foi incrementada, a contribuição do arrasto provocado pela presença do gerador de vórtices no arrasto total do conjunto entrada *NACA* e gerador de vórtices é inferior a 13%. Os aumentos observados no coeficiente de arrasto total calculado são principalmente consequência direta do aumento da vazão mássica ingerida pela entrada de ar.

O uso do mastro projetado do gerador de vórtices resultou em ganhos adicionais nos parâmetros de desempenho da entrada *NACA*. Assim, para o ângulo de derrapagem do mastro igual a 10°, incrementos de 53% e 19% foram obtidos, em termos de eficiência de recuperação de pressão dinâmica e vazão mássica, respectivamente. A contribuição do arrasto do mastro para o arrasto total do conjunto entrada *NACA* com gerador de vórtices e mastro é menor que 3%.

A fim de validar os resultados obtidos no presente trabalho, é indispensável a realização de um estudo experimental associado, no qual medidas detalhadas do escoamento permitam confirmar os resultados numéricos obtidos. Este estudo

combinado numérico/experimental também deve permitir avaliar a possibilidade de que o gerador de vórtices projetado, ou variantes do mesmo, sejam implementadas nas aplicações práticas. Adicionalmente, os resultados obtidos neste trabalho abrem a porta para estudos numéricos paramétricos deste tipo de geradores de vórtices, visando a otimização. Estes estudos devem levar em conta outras condições de operação, em particular o regime transsônico.