

1 Introdução

Diversos sistemas de uma aeronave, tais como motor, ar-condicionado, ventilação e turbinas auxiliares, necessitam captar ar externo para operar. Esta captura é feita através da instalação de entradas de ar. Após a passagem pelo sistema, este ar é descarregado no ambiente externo. Em função dos requisitos e características geométricas e operacionais dos sistemas, as entradas e saídas de ar são usualmente divididas em dois grandes grupos: entrada e exaustão de ar do motor, e entradas e saídas de ar auxiliares. Este trabalho trata deste segundo tipo de entradas.

Atualmente dois tipos de entradas de ar auxiliares são tipicamente utilizados na indústria aeronáutica: *NACA* e *scoop* (concha). As entradas de ar tipo *NACA* (*National Advisory Committee for Aeronautics*), tal como aquela mostrada na Figura 1-1, não possuem saliências externas, resultam em baixo arrasto aerodinâmico e não exigem reforços estruturais específicos, não acarretando impactos no peso da aeronave. Em contrapartida, este tipo de entrada de ar é, em geral, menos eficiente do que as entradas *scoop*, pois grande parte do ar ingerido é proveniente da camada limite que se desenvolve à montante da entrada. Seu funcionamento baseia-se no desvio do escoamento de ar para a garganta da entrada de ar, desvio este ocasionado pela rampa divergente e pela geração de vórtices na suas paredes laterais.



Figura 1-1. Entrada de ar tipo *NACA*.¹

As entradas de ar tipo *scoop*, uma das quais é mostrada na Figura 1-2, são excrescências externas projetadas para captar ar de fora da camada limite,

recuperando assim maior pressão dinâmica e levando a uma maior eficiência. A grande desvantagem deste tipo de instalação, em relação às entradas de ar tipo *NACA*, é o seu expressivo arrasto, o que acarreta aumento de peso e prejudica o desempenho aerodinâmico do avião. Outra desvantagem é que as entradas do tipo *scoop* são mais propensas à ingestão de líquidos de dreno e objetos estranhos, e à formação de gelo, do que as entradas *NACA*.¹



Figura 1-2. Entrada de ar tipo *scoop*.¹

A indústria aeroespacial passou por um imenso desenvolvimento científico e tecnológico nas últimas décadas. Paralelamente a este desenvolvimento, a análise de situações e fenômenos práticos através de metodologias e ferramentas de simulação numérica também avançou a passos gigantes. Estas ferramentas se tornaram um dos pontos-chave para o sucesso das equipes de engenheiros envolvidos nos processos de desenvolvimento de produtos. A melhoria da qualidade dos resultados obtidos por essas equipes, juntamente com os ganhos de produtividade associada, possibilitam um aumento real na competitividade de uma empresa, justificando plenamente investimentos feitos no desenvolvimento dessas metodologias e ferramentas.

De forma complementar a outros métodos de análise, tais como métodos experimentais ou ensaios em vôo, as técnicas baseadas em Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), ganharam importância estratégica para a indústria aeroespacial ao longo das últimas décadas. Esta é a razão pela qual o projeto aerodinâmico de aeronaves de transporte regional operando em regime de escoamento transônico é realizado com auxílio de ferramentas de *CFD*, cada dia mais sofisticadas.

Neste trabalho uma ferramenta comercial de *CFD* é utilizada para investigação da melhoria do desempenho de entradas de ar submersas. Esta ferramenta consiste de um gerador de malhas computacionais, o *ICEM/CFD 5.0*,

de um programa de cálculo, o *Fluent 6.1²*, e de um pós-processador dos resultados, o *Enight 8.0*. A melhoria das entradas de ar é obtida pela utilização de um gerador de vórtices situado a montante da entrada de ar. É investigada a influência dos parâmetros geométricos do gerador de vórtices sobre a eficiência de recuperação de pressão dinâmica e o arrasto total da entrada de ar.

Dado o atual nível de sofisticação das aeronaves de transporte de passageiros, a diminuição do coeficiente de arrasto de frações percentuais pode traduzir-se em ganhos operacionais significativos ao longo da vida útil do aparelho. Neste contexto, as entradas de ar secundárias convencionais, projetadas ainda hoje com métodos desenvolvidos há 50 anos, aparecem como candidatas a serem modificadas visando uma melhoria de eficiência e/ou diminuição do arrasto através da utilização de técnicas de *CFD*.

Além disto, a pequena quantidade de informação disponível na literatura aberta com respeito à utilização de geradores de vórtices destinados a aumentar a eficiência das entradas de ar tipo *NACA* e posicionados à montante da entrada de ar e distantes da superfície da aeronave, constitui outra razão que motiva o estudo deste tipo de configuração.

Finalmente, cabe ressaltar que o presente trabalho se insere dentro do contexto mais amplo do projeto Núcleo de CFD, financiado pela FAPESP e pela Embraer, o qual, certamente, constituiu uma motivação especial para os desenvolvimentos realizados.

Entradas de ar, tais como as mostradas na Figura 1-1 e na Figura 1-2, são objetos sobre os quais o escoamento é tridimensional (3D). Estudos em duas dimensões (2D) mostraram que os resultados obtidos não representam o comportamento 3D do escoamento na entrada de ar, pois a influência do degrau é preponderante sobre a estrutura do escoamento.³ Assim, levar em conta a geometria da entrada de ar é fundamental na determinação da eficiência do processo de captura de ar externo.

Além disto, entradas de ar encontram-se geralmente imersas em camadas limites cuja espessura é da mesma ordem de grandeza que a altura das mesmas. Isto ocorre porque estas entradas normalmente são situadas na segunda metade da fuselagem. Desta forma, o escoamento a montante da entrada de ar é não homogêneo e turbulento.

No caso de aeronaves de transporte, as entradas de ar devem funcionar seja no solo ou em vôo. A necessidade de dar partida em vôo a um gerador auxiliar de potência, por exemplo, constitui uma situação crítica na qual a entrada de ar deve fornecer a vazão mássica de ar e a pressão total de projeto, as quais devem ser tão altas quanto possível.

Além disto, no caso de aeronaves de transporte operando em regime de vôo transônico, os fenômenos de compressibilidade aerodinâmica influenciam o escoamento.⁴ No caso de entradas de ar com gerador de vórtice, introduz-se um complicador adicional; que é a presença de corpos afilados numa região turbulenta e não homogênea do escoamento, que é a camada limite.

Experimentalmente foi mostrado que a espessura da camada limite é o fator que mais influencia a eficiência da entrada de ar^{5,6}, razão pela qual geradores de vórtices são utilizados neste trabalho com a finalidade de perturbar o escoamento e, especificamente, no intuito de reduzir a espessura da camada limite. Esta perturbação é feita através da geração de um par de vórtices contra-rotativos e, conseqüentemente, através da mistura de ar que contém maior quantidade de movimento, proveniente do escoamento não perturbado, com ar que contém baixa quantidade de energia, oriundo da camada limite.

Em suma, analisar os processos envolvidos no funcionamento de uma entrada de ar, implica em lidar com fenômenos que são tridimensionais (3D), compressíveis, transônicos e turbulentos.

O segundo capítulo apresenta a pesquisa bibliográfica desenvolvida a fim de estabelecer o estado da arte da aplicação aeronáutica das entradas de ar tipo *NACA*. Um resumo das publicações tanto dos primeiros trabalhos, como dos trabalhos mais recentes em relação a este tipo de entradas, também é apresentado neste capítulo.

No terceiro capítulo são descritas as equações governantes dos escoamentos presentes nas aplicações em aerodinâmica, as condições de contorno impostas na modelagem do problema e o método numérico empregado para solucionar estas equações.

O quarto capítulo relata as principais características das diferentes configurações de entrada *NACA*, gerador de vórtices e *NACA* com gerador de vórtices que foram estudadas. Além disto, são apresentadas as malhas

computacionais e as condições contorno usadas nas simulações destas configurações.

Os resultados obtidos para a entrada *NACA*, para o gerador de vórtices e para a entrada *NACA* com gerador de vórtices são apresentados e discutidos no quinto capítulo. Finalmente, no sexto e último capítulo, as conclusões e as perspectivas do trabalho são apresentadas.