

ESTUDO EXPERIMENTAL PARA OTIMIZAÇÃO DO FORMATO DE UMA TOMADA DE AR DO TIPO NACA

Experimental study for a format optimization of an naca type air intake

Jonas Matté Madalozzo¹; Alexandre Vagtinski de Paula²

¹ Engenheiro Mecânico formado pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim. E-mail: jonas@madalozzo.it.

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Brasil, atualmente é professor dos Cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Energia da UFRGS. E-mail: depaula@ufrgs.br.

Data do recebimento: 12/02/2016 - Data do aceite: 31/03/16

RESUMO: Diversos sistemas presentes em automóveis e aeronaves necessitam da captação de ar exterior para seu funcionamento, tais como ventilação, refrigeração e admissão de motores. As tomadas de ar submersas do tipo NACA surgiram em meados dos anos 1940 e, desde então, vêm sendo largamente utilizadas na indústria aeronáutica e automotiva. Este trabalho apresenta um estudo experimental em canal aerodinâmico da influência da modificação de geometria em dutos NACA. Foram analisados alguns parâmetros de desempenho destas entradas, tais como o arrasto, a vazão volumétrica de ar e a eficiência de recuperação de pressão dinâmica. Dois modelos de dutos foram confeccionados, sendo um duto NACA original e outro duto modificado, que ainda recebeu um par de geradores de vórtices para sua avaliação. Os resultados mostraram que as modificações geométricas realizadas levaram à diminuição de arrasto em torno de 11,57%, a um aumento de vazão de 56,88%, e ainda, a um aumento da eficiência de recuperação de pressão dinâmica em 38,35%, quando comparados ao duto NACA original. Estudos mais aprofundados do emprego de geradores de vórtice são necessários, pois observa-se que os valores medidos com sua utilização apresentam desempenho inferior em todos os parâmetros avaliados.

Palavras-chave: Análise experimental. Otimização de formato. Visualização de escoamento. Duto NACA.

ABSTRACT: Several systems found in automobiles and aircraft require capturing outside air for its operation, such as ventilation, cooling and engine inlet. Submerged NACA intakes were developed around the 1940s, and since then are been widely used in aerospace and automotive industry. This paper presents an experimental study in wind tunnel about the influence of geometry modification in NACA ducts. Some performance parameters of these entries, such as drag, volumetric flow rate and efficiency of dynamic pressure recovery were analyzed. Two duct models were built, one original NACA duct and one modified duct, which also received a pair of vortex generators for evaluation. The results showed that the geometric modifications made led to a decrease in drag around 11.57%, an increase in volumetric flow rate of 56.88%, and an increase in the efficiency of dynamic pressure recovery at 38.35%, when compared to the original NACA duct. Besides that, further studies on the use of vortex generators are necessary because it was observed that their use resulted in lower performance in all parameters evaluated.

Keywords: Experimental analysis. Format optimization. Visualization. NACA duct.

Introdução

A captação de ar necessária em sistemas automotivos e aeronáuticos é realizada através de uma tomada de ar, que pode ser do tipo *scoop* (que são excrescências externas em formato de concha que captam ar de fora da camada limite) ou um duto de admissão submerso (que captam o ar na camada limite), usualmente referenciado como duto NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*).

Uma tomada de ar NACA é um tipo de duto de admissão submerso. Dutos submersos não apresentam saliências externas, resultando em baixo arrasto. Estes são largamente utilizados em projetos de aeronaves comerciais de grande e pequeno porte, jatos militares e automóveis de alto desempenho, conforme ilustra a Fig.1. Nestas aplicações, a diminuição do coeficiente de arrasto de frações percentuais pode traduzir-se em ganhos operacionais significativos ao longo da vida útil do aparelho.

Figura 1 - Exemplo de aplicação de dutos NACA em automóvel.



Fonte: adaptado de Wired, 2010.

Nesse contexto, as entradas de ar secundárias convencionais, projetadas, ainda hoje, com métodos desenvolvidos há 50 anos, aparecem como candidatas a serem modificadas, visando a uma melhoria de eficiência e/ou diminuição do arrasto. O arrasto aerodinâmico, neste caso, tem papel importante em questões como velocidade de cruzeiro, consumo de combustível, velocidade final e na própria potência necessária para manutenção de determinada velocidade (PÉREZ, 2006).

A pesquisa para tornar mais eficiente este tipo de duto pode seguir três caminhos distintos: na diminuição de arrasto; em uma maior admissão de ar no duto; ou em uma

maior pressão do ar admitido, dependendo da aplicação. Várias pesquisas têm sido desenvolvidas em âmbito mundial, como descrito por Vale e Ringrow (2011), em que foi proposta a mudança da geometria de um duto NACA nas pontas das asas de aeronaves Airbus da classe A300/310. Nestas aeronaves, estes dutos têm como funcionalidade a manutenção da pressão interna dos tanques de combustível, evitando diferenças de pressão com o ambiente externo de baixa pressão em altitudes elevadas. A mudança proposta gerou uma redução de arrasto total de 0,3% da aeronave. Segundo a empresa, isso equivale a uma economia de, aproximadamente, 30 kg de combustível em cada voo.

Na indústria automotiva, muito se discute sobre a eficiência aerodinâmica de automóveis. Neste quesito, grandes aberturas para arrefecimento em automóveis de alto desempenho vêm sendo substituídas por pequenas aberturas, utilizando dutos NACA ou pequenos *scoops*, onde a diminuição do arrasto gerado pelo duto tem relações diretas com o consumo de combustível e a velocidade final.

Durante anos de pesquisas, foi concluído que os dutos NACA têm características que os tornam ineficientes em dutos de admissão para motores a reação, em velocidades próximas a Mach 1 (SÓBESTER, 2007). No entanto, estes atributos os tornam ideais para aplicações automotivas, por serem pequenos, com perfil baixo e promoverem um ar turbilhonado ideal para atomização de combustíveis, além de terem um grande apelo estético.

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo propor modificações a fim de otimizar o formato de uma entrada de ar do tipo NACA. As mudanças propostas foram a utilização de raios de concordância nas paredes de entrada dos dutos, maiores ângulos de rampa e o uso de suavização na rampa de descida. Foram avaliados com

testes experimentais em canal aerodinâmico parâmetros como: arrasto total da tomada de ar, vazão volumétrica de ar no interior do duto, coeficiente de resistência aerodinâmica e eficiência de recuperação de pressão dinâmica. Também foi estudada a utilização de geradores de vórtices nestas entradas de ar, avaliando todos os parâmetros acima descritos.

Os Dutos NACA e Seu Projeto

Diversos sistemas aeronáuticos e automotivos necessitam de captação de ar externo. Segundo Pérez (2006), atualmente, dois tipos de entradas são utilizados nessas indústrias: NACA e *scoop* (concha). Em geral, entradas NACA são menos eficientes que dutos do tipo *scoop*, pois grande parte do ar admitido é proveniente da camada limite que se desenvolve a montante da entrada. No entanto, dutos submersos não apresentam área frontal exposta ao escoamento, causando grandes reduções de arrasto, acarretando em maior eficiência aerodinâmica.

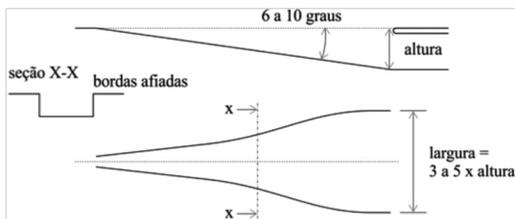
Seu funcionamento baseia-se no desvio do escoamento de ar para a entrada de ar, desvio este ocasionado pela rampa divergente e pela geração de vórtices nas suas paredes laterais. Conforme McBeath (2011), para que este tipo de duto funcione com eficácia, ele deve ser posicionado paralelo ao escoamento e, de preferência, em uma área onde a camada limite seja muito fina.

Segundo McBeath (2011), a curvatura característica de um duto NACA faz com que o ar que flui na direção da abertura estreita do canal flua suavemente para baixo da rampa inclinada, enquanto o ar que passa pelas extremidades flui sobre as arestas divergentes do duto. Tal como em qualquer situação em que o ar flui sobre uma aresta em ângulo, forma-se um vórtice. Neste caso,

são formados dois vórtices contra rotativos, fazendo com que mais ar seja puxado para dentro do duto.

Para determinar as dimensões de um duto NACA, primeiro, é necessário determinar a área necessária para suprir a vazão de ar na aplicação, definindo a altura e largura da entrada, conforme Fig. 2. Após a definição da entrada do duto, deve-se definir o ângulo da rampa. Menores ângulos gerarão dutos mais longos, porém com menor arrasto. A definição da inclinação fica dependente do espaço disponível para a acomodação do duto.

Figura 2 - Requisitos básicos de um duto NACA.



Fonte: adaptado de McBeath, 2011.

Para determinar o perfil de curvatura do perfil NACA, pode-se utilizar a Tab. I. Nela, são fornecidas as coordenadas para que a linha seja desenhada conforme as especificações.

Tabela I - Fatores multiplicativos para curvatura do duto NACA.

Comprimento/x	Largura/2y
0,0	0,083
0,1	0,158
0,2	0,236
0,3	0,312
0,4	0,388
0,5	0,466
0,6	0,614
0,7	0,766
0,8	0,916
0,9	0,996
1,0	1,000

Fonte: adaptado de McBeath, 2011.

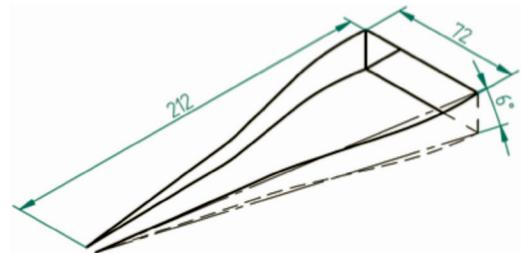
cações desenvolvidas pela NACA. A coluna da esquerda representa o valor a ser multiplicado pelo comprimento do duto, gerando a coordenada x do ponto. Para a coordenada y , deve-se multiplicar metade da largura do duto por um fator multiplicativo, gerando, assim, os pontos para posterior desenho da curvatura do duto.

Metodologia

Foram projetados dois modelos para a avaliação experimental: um duto NACA clássico e um duto modificado com e sem geradores de vórtices.

A largura do canal foi definida em 72 mm, com profundidade final de 22,4 mm e 212 mm de comprimento, encontrado através de relações trigonométricas. Assim, com o auxílio de um software de CAD (*Computer Aided Design*) pode-se gerar as curvas do duto (Fig. 3).

Figura 3 - Perfil da curvatura do duto NACA. Dimensões em milímetros.



O duto NACA, utilizado neste estudo, tem como finalidade servir de base para as medições dos parâmetros que serão avaliados. Buscou-se, então, projetar um duto que tenha o menor arrasto possível, dentro das especificações propostas por McBeath (2011). Assim, foi escolhido um ângulo de rampa de 6° , configuração esta que gera o menor arrasto.

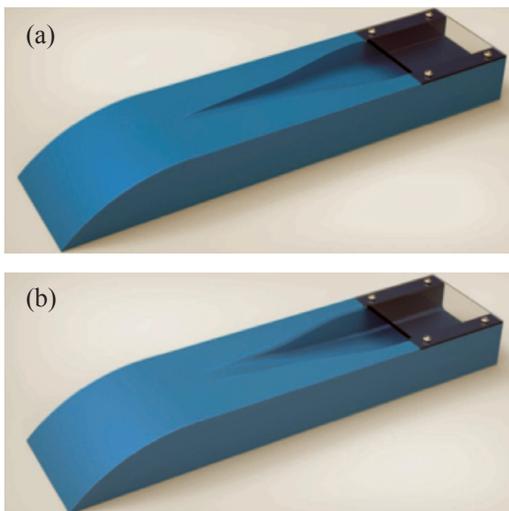
Com este desenho, pode-se projetar o duto NACA para realizar os experimentos, conforme ilustra a Fig. 4a.

O modelo do duto já tem a forma e tamanho necessários para possibilitar a medição dos parâmetros relativos ao estudo. Visando a uma melhor clareza durante os testes de visualização com tufos e fumaça, utilizou-se uma peça de acrílico para o fechamento do canal dos dutos.

O duto modificado teve como base o duto NACA, de forma a possibilitar a comparação direta entre os dois modelos. Avaliando uma vasta gama de dutos NACA pré-fabricados presentes no mercado, decidiu-se estudar o uso de suavização nas arestas do canal de entrada do duto, assim como o aumento da inclinação da rampa de descida. Uma análise comparativa deste tipo não foi encontrada na literatura, mostrando esta oportunidade de realizar um comparativo experimental.

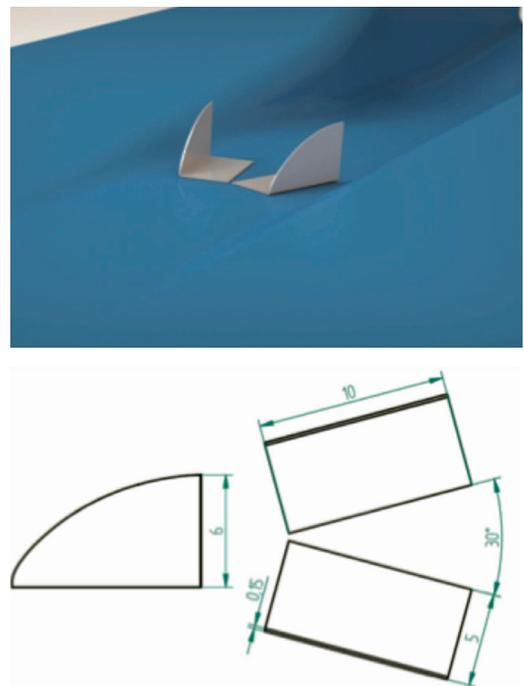
Desse modo, utilizou-se um raio de 5 mm para suavizar todas as arestas da entrada do duto NACA. Outra modificação foi no ângulo de rampa, que foi aumentado para 9° , totalizando uma profundidade de canal de 29,6 mm. Ainda foi realizada a suavização da rampa de descida, utilizando raios no início e final da mesma (Fig. 4b).

Figura 4 - Projeto: (a) duto NACA e (b) duto NACA modificado.



O uso de geradores de vórtices em dutos submersos, segundo a literatura, acarreta em um aumento da eficiência de recuperação de pressão dinâmica, assim como no aumento da vazão de ar. Para avaliação dos parâmetros deste estudo, utilizou-se um par de geradores de vórtices do tipo aleta, com espessura de 0,15 mm e instalados a uma distância de 50 mm a jusante da entrada do duto. O posicionamento e tamanho foram baseados nos estudos de Choroszuca et al. (2008). Porém, houve uma modificação no formato, conforme ilustra a Fig. 5.

Figura 5 - Detalhes de posicionamento e dimensões dos geradores de vórtice.



Canal Aerodinâmico

A fim de analisar o escoamento de ar através dos dutos propostos e avaliar os parâmetros pertinentes ao estudo, utilizou-se o canal aerodinâmico do Laboratório de Fenômenos de Transporte da URI, Câmpus

de Erechim (Fig. 6). A seção transversal deste canal possui dimensões de 280 x 350 mm, e seu ventilador centrífugo possui uma potência de 3,7 kW.

Figura 6 - Instalações do canal aerodinâmico da URI, Câmpus de Erechim.



Os trabalhos realizados com dutos NACA são usualmente avaliados em velocidades altas e, muitas vezes, dentro da região de compressibilidade do ar. Observando o trabalho de Choroszuca et al. (2008), é possível concluir que dutos submersos apresentam comportamento linear em regimes incompressíveis, podendo, assim, ser utilizada a velocidade máxima do canal aerodinâmico (25 m/s, correspondente a um número de Mach de 0,074), referente a uma frequência de 60 Hz do inversor de frequência.

Conforme cita Pérez (2006), podem-ser utilizados três diferentes parâmetros para avaliar o desempenho de um duto submerso: seu arrasto, sua vazão de ar e sua eficiência de recuperação de pressão dinâmica. Outros parâmetros podem ser ainda adicionados, como as pressões estáticas na linha central dos modelos e seus respectivos coeficientes de resistência aerodinâmica.

Resultados

Durante o desenvolvimento deste trabalho, vários parâmetros comparativos foram medidos. Neste quesito, teve-se o cuidado de realizar todas as medições quantitativas

(arrasto, vazão e pressões estáticas) em um mesmo dia, visto que variações de velocidade do canal aerodinâmico são observadas em diferentes condições climáticas.

Em diversos cálculos, uma propriedade fundamental utilizada é a massa específica do ar. Segundo as condições climáticas no dia dos testes, como a temperatura de 15,6 °C e a pressão atmosférica de 91881 Pa, tem-se que a massa específica do ar é de 1,109 kg/m³.

Arrasto

Para obtenção desses valores, o procedimento adotado foi o acionamento do ventilador do canal aerodinâmico a 60 Hz, produzindo uma velocidade média de 17,66 m/s. Após atingir o regime permanente, foi realizada a medição, e o ventilador desligado. Assim, foram realizadas, sucessivamente, 10 medições de deformação em cada modelo.

Os resultados de deformação e arrasto resultantes, assim como seus erros relativos, são apresentados na Tab. II. Percebe-se uma redução significativa de 0,311 N para 0,275 N (11,57%) no arrasto gerado pelo duto NACA modificado, quando comparado ao NACA original. Esta redução se deve às suavizações realizadas na geometria deste modelo.

O modo de avaliar a quantidade de ar admitido foi realizado através da soma das vazões volumétricas de cada área determinada pelo tubo de Pitot, como ilustrado na Fig. 7.

Essa forma de cálculo se torna mais precisa e coerente do que uma média das velocidades obtidas através dos tubos de Pitot. Na Tab. III, estão presentes os resultados encontrados para vazão em cada um dos modelos. Avaliando os resultados de vazão, percebe-se um aumento total de 13,64 l/s (56,88%) na vazão de ar comparando o duto NACA com o modificado. Esse resultado pode ser considerado muito bom e indica a razão pelo uso comercial de dutos suavizados

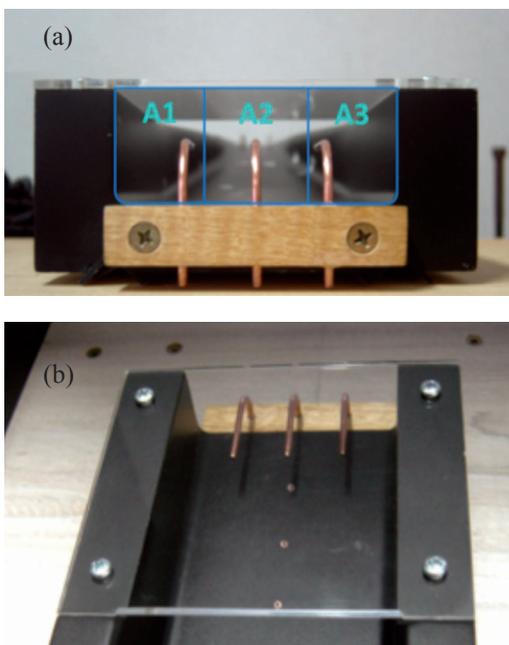
Tabela II – Arrasto gerado pelos modelos de dutos submersos testados.

Modelo	Deformação (mm)	Desvio Padrão (mm)	Arrasto (N)	Erro Relativo
NACA	63,39	0,16	0,311	± 0,28 %
Modificado	56,09	0,11	0,275	± 0,20 %
Modificado com GV	57,42	0,14	0,282	± 0,25 %

Tabela III - Vazão de ar no canal de entrada dos modelos testados.

Modelo	Vazão (m³/s)	Vazão (l/s)	Erro Relativo
NACA	0,02398	23,98	± 0,58 %
Modificado	0,03762	37,62	± 0,37 %
Modificado com Geradores de Vórtices	0,03569	35,69	± 0,39 %

Figura 7 - (a) Determinação da vazão por áreas e (b) detalhe dos tubos de Pitot montados nos dutos.



com maior ângulo de rampa, já que junto com o aumento de vazão, o duto modificado apresentou menor arrasto. Por outro lado, o uso de geradores de vórtice no duto modificado mostrou resultados inferiores para vazão e arrasto. Nesse caso, com 1,93 l/s (5,13%) de redução na vazão volumétrica.

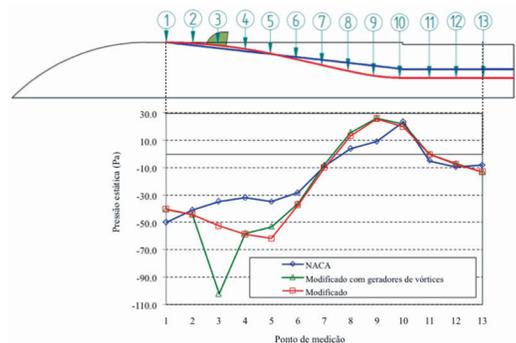
Esse resultado está em concordância com os resultados apresentados por Choroszuca

et al. (2008), que observaram uma redução entre 21,26% e 23,29% na quantidade de ar admitido ao utilizar geradores de vórtices em seus modelos de dutos submersos.

Pressão Estática

As tomadas de pressão estática foram realizadas através de medições com manômetro digital, e seu erro é de ± 1 Pa. Foram realizadas 10 medições em cada ponto. A pressão estática média na linha central dos modelos de dutos pode ser visualizada no gráfico da Fig. 8.

Figura 8 - Medições de pressões estáticas nos modelos e indicação dos pontos medidos.



Analisado a Fig. 8, percebe-se uma das possíveis causas do aumento de arrasto com o uso de geradores de vórtices. No ponto de medição junto ao gerador, tem-se uma queda abrupta na pressão estática, devido ao efeito

de mistura de ar na camada limite proporcionado pelos geradores de vórtices. Este efeito acarreta um aumento do arrasto local e, conseqüentemente, o arrasto total do modelo.

Comparando a linha de pressões estáticas da entrada de ar NACA e a modificada, pode-se dizer que o duto NACA apresenta as menores variações. Porém, o duto modificado apresenta um comportamento semelhante a uma curva sinuosa, evidenciando transições mais suaves entre os pontos, gerando, assim, menor arrasto.

Coeficiente de Resistência Aerodinâmica

Com base na velocidade obtida através da sonda estática de Pitot presente no escoamento livre e tendo as áreas transversais externas dos modelos, pode-se determinar o coeficiente de arrasto dos modelos de dutos submersos (Tab. IV).

Tabela IV - Coeficiente de resistência aerodinâmica dos modelos testados.

Modelo	C_d	Erro Relativo
NACA	0,3207	± 1,09 %
Modificado	0,2871	± 1,23 %
Modificado com Geradores de Vórtices	0,2939	± 1,20 %

Deve-se observar, nesse caso, que os coeficientes de arrasto são relativos aos modelos testados, não aos dutos submersos. Visto que estes não têm área transversal exposta em escoamentos, sendo este tipo de avaliação inaplicável em dutos submersos.

Eficiência de Recuperação de Pressão Dinâmica

Este parâmetro é usualmente o mais indicado para avaliação do desempenho de uma tomada de ar submersa, pois indica uma base de cálculo para a determinação do tamanho e

forma de um duto submerso perante uma demanda de vazão. Na Tab. V, são apresentadas as eficiências de recuperação de pressão dinâmica dos modelos de dutos avaliados.

Tabela V - Eficiência de recuperação de pressão dinâmica dos modelos testados.

Modelo	η_{pd}	Erro Relativo
NACA	0,73	± 0,97 %
Modificado	1,01	± 0,81 %
Modificado com Geradores de Vórtices	0,92	± 0,85 %

Segundo os resultados obtidos, tem-se que o duto modificado apresenta eficiência semelhante à dos dutos do tipo *scoop*, por este apresentar pressões dinâmicas semelhantes na região interna e no escoamento livre (a interna é ligeiramente maior, tornando o valor de eficiência maior que 1).

Visualizações de Escoamento

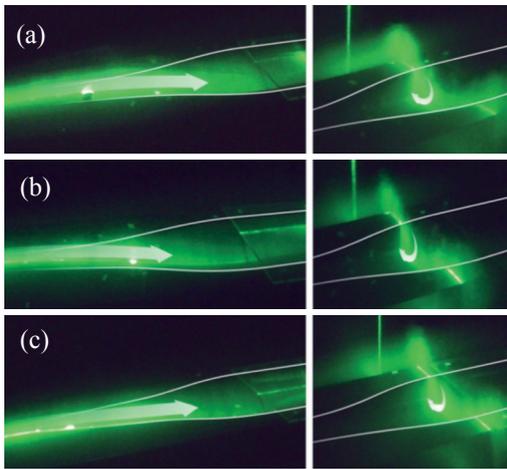
Injeção de Fumaça Com Plano de Laser

As avaliações do comportamento do escoamento com plano de laser podem ser realizadas longitudinalmente e transversalmente em relação aos modelos testados. Na Fig. 9, podem ser observadas as visualizações do escoamento no plano longitudinal e transversal dos três modelos, respectivamente.

Pouca diferença pode ser observada entre os três dutos. Constatam-se somente as características normais de escoamento em dutos submersos. Isso se deve, em parte, pela falta de iluminação e, em parte, pelo sistema de inserção de fumaça, onde o equipamento não injetava fumaça de forma contínua e com pressão ligeiramente superior à do sistema.

Essa visualização foi afetada negativamente pela baixa potência do laser utilizado. A utilização de equipamentos específicos

Figura 9 - Visualização de escoamento com fumaça nos planos longitudinais e transversais. (a) duto NACA, (b) duto NACA modificado e (c) duto NACA modificado com geradores de vórtices.



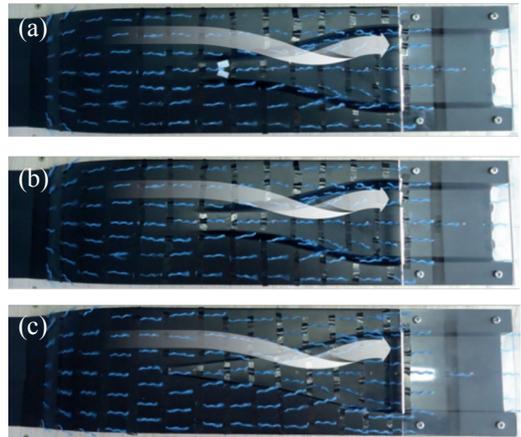
para este fim proporciona uma melhor visualização da fumaça, já que o plano de laser continua visível mesmo sob iluminação externa. Esses ainda apresentam o uso de lentes de melhor qualidade, aliados a vários lasers com feixe muito fino.

Tufos

Nas visualizações com tufos sobre as estruturas do escoamento pouco pode ser observado. Avaliando as bordas dos dutos, tem-se que as correntes de ar nas bordas dos modelos tendem a se deslocar para o canal de entrada, porém sem gerar grandes estruturas de vórtices que apresentem turbulência visível (Fig. 10). Outra característica presente em todos os modelos é a tendência de o escoamento se deslocar da linha central para as paredes dos canais de descida, causada pela presença dos vórtices nas paredes dos dutos.

Observando o comportamento dos tufos no duto modificado e comparando-o com o duto modificado com geradores de vórtices, não há uma diferença perceptível nas movimentações dos tufos, representando que não houve melhorias significativas nos parâmetros com o uso de geradores de vórtices.

Figura 10 - Visualização de escoamento com tufos: (a) duto NACA, (b) duto NACA modificado e (c) duto NACA modificado com geradores de vórtices.



Conclusões

O presente trabalho apresenta um estudo experimental da influência da mudança geométrica de dutos NACA, empregados como tomadas de ar, visando avaliar o arrasto aerodinâmico, a vazão volumétrica e a eficiência de recuperação dinâmica nestes dispositivos, buscando melhorias de desempenho dos mesmos. Este estudo foi conduzido em um canal aerodinâmico de circuito aberto com o emprego de três modelos de tomadas de ar: um duto NACA original e outro duto NACA modificado, com e sem geradores de vórtices.

Avaliando os resultados obtidos, tem-se que o modelo proposto modificado sem o uso dos geradores de vórtices obteve melhora de desempenho em todos os parâmetros avaliados, gerando, principalmente, um aumento de 56,88% na vazão de ar e reduzindo o arrasto em 11,57%. Como observado nos testes de visualização, a ausência de estruturas turbulentas é uma característica desse tipo de duto submerso, evidenciado pelo baixo arrasto obtido em todos os modelos.

Assim, pode-se afirmar que o objetivo deste estudo foi alcançado, já que diversos autores tiveram de partir para o uso de ge-

radores de vórtices para obter um resultado positivo. No presente trabalho, somente as modificações geométricas proporcionaram resultados semelhantes, e muitas vezes, melhores que o uso de geradores de vórtices.

Tendo em vista as variações de pressões estáticas nos dutos, tem-se uma evidência do menor arrasto gerado pelo duto modificado, utilizando um canal de descida com curvatura contínua, evitando áreas com grandes variações de pressão estática. O aumento do ângulo de rampa gerou um grande aumento na eficiência de recuperação de pressão dinâmica, de 38,35%, chegando a valores semelhantes aos observados em dutos do tipo *scoop*.

Os erros relativos às medições, que não passaram de 1,23%, indicam confiabilidade dos resultados. Essas pequenas variações estão baseadas na alta precisão dos equipamen-

tos utilizados para medições. Porém, deve-se observar que estes valores terão validade e comportamento linear em escoamentos incompressíveis, e acima de Mach 0,3, devem ser reavaliados.

O uso de geradores de vórtices se mostrou totalmente desvantajoso no modelo testado, indicando que maiores estudos devem ser realizados, visando ao uso de geradores do tipo delta, que já foram estudados por outros autores e estes tiveram resultados positivos em seu uso.

O modelo de duto NACA modificado ainda se mostra vantajoso durante sua produção. Como esses são usualmente confeccionados a partir de compósitos ou por formação a vácuo, o uso de raios e suavizações neste formato evita maiores problemas com quinas vivas, tornando a construção mais simples e menos onerosa.

REFERÊNCIAS

- CHOROSZUCHA R.B., SZUCH T., FERRARA T., WILSON N. An Investigation of Vortex Generation on NACA Ducts for Dodge Racing. **AEROSP 405**. Ann Arbor, abr. 2008. Disponível em: <www-personal.umich.edu/~riboch/publications/NACADuct.pdf> Acesso em: 5 fev. 2016.
- McBEATH, S. **Competition Car Aerodynamics**. 2. ed. Sparkford: Haynes Publishing, 2011.
- PÉREZ, C. C. **Entradas de Ar Submersas para Aeronaves: Estudo Numérico da Melhoria de Desempenho Obtida pelo Uso de Gerador de Vórtices**. 2006. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, PUCRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- SÓBESTER, A. Tradeoffs in Jet Inlet Design: A Historical Perspective. **Journal of Aircraft**, Southampton, Rampshire, UK, v. 44, n. 3, p. 705-717, 2007.
- VALE, C., RINGROW, H. A300/A310 Family Optimized Air-Vent Inlet NACA Duct, Continuous Engineering Solutions for Fuel Savings. **Airbus Fast Technical Magazine**, n. 47, p. 21-23, 2011.
- WIRED. **King of All Cars, Bugatti Veyron Super Sport**. New York NY, 2010. Home page <www.wired.com/2010/07/bugatti-veyron-super-sport-268-mph/> Acesso em: 5 fev. 2016.