

VENTILADOR SEM PÁS: ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS AERODINÂMICOS

Guilherme P.R. Bacelar¹ (IC), Jesús Antonio García Sanchez (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá, Graduando Engenharia Mecânica Aeronáutica

²Universidade Federal de Itajubá, Departamento de Engenharia Mecânica

Palavras-chave: Ventilador Sem Pás, Computacional Fluid Dynamics (CFD), Otimização, Aerodinâmica

Introdução

Ventiladores sem pás operam através da indução e amplificação do ar, a partir do efeito coanda e do fluxo de ar arrastado, utilizando um motor para puxar o ar através da base do dispositivo e expulsá-lo por uma abertura estreita, gerando um fluxo de ar contínuo. No entanto, apesar dos avanços já alcançados, ainda existem desafios significativos a serem superados para otimizar o desempenho desses dispositivos. Entre os principais desafios estão a minimização das zonas mortas de fluxo e redução da turbulência, fatores que afetam diretamente a eficiência e a qualidade do fluxo de ar. Este produto se propõe a ser uma tecnologia inovadora que elimina a necessidade de pás aerodinâmicas para geração de uma corrente de ar, oferecendo maior segurança e eficiência quando comparados a ventiladores tradicionais. Comercializados pela primeira vez pela Dyson [1], esse tipo de ventilador não necessita de pás visíveis para o desenvolvimento de um fluxo de ar suave e contínuo. A Figura 1, retirada da patente de Dyson [1], exemplifica a constituição do ventilador sem pás e demonstra seu perfil e seções transversais de entrada de fluxo e saída de fluxo.

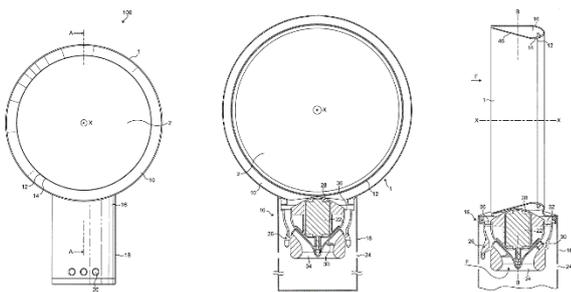


Figura 1- Patente Dyson

O objetivo proposto nesta pesquisa se consiste no fato de buscar apresentar um projeto de otimização que seja aplicável e que denote eficiência, visto que, um ventilador sem pás, quando comparada a um ventilador axial com pás comum, apresenta baixa eficiência em projeção de ar. Com isso, é necessário entender e analisar

a dinâmica dos fluidos do sistema e suas problemáticas.

Metodologia

Inicialmente foi feita a análise do referencial teórico adotado para desenvolvimento do sistema e a validação, posteriormente, foi feito o desenvolvimento da geometria de referência, e, por fim a fluidodinâmica computacional aplicada à geometria de referência. O fluxograma da Figura 2 indica as etapas realizadas neste trabalho para validação do referencial teórico e otimização da geometria, partindo da análise do referencial teórico para entender os métodos e metodologias do autor, depois foi replicada a geometria, feita a análise de malha, análise CFD da geometria e, com isso, obtenção dos resultados. Enquanto a segunda etapa da pesquisa foi feita com a mesma metodologia da primeira etapa, mas para a geometria otimizada que foi feita a partir da análise dos resultados da geometria de referência, por final, foi obtido os resultados da geometria otimizada e feita a comparação entre os resultados de cada geometria.

A geometria base, tratada como referência para validação das análises computacionais realizadas neste trabalho teve suas cotas e perfil aerodinâmico retirados do trabalho de referência [2]. Neste trabalho o autor retrata que o perfil mais próximo ao estipulado pela patente de Dyson é o NACA0012. Dessa forma, foi feito o desenvolvimento da seção transversal do sistema junto às costas estipuladas pelo autor, de forma a gerar a menor defasagem possível do que foi estabelecido previamente. A Figura 3 mostra o perfil aerodinâmico da seção transversal do sistema, juntamente com suas cotas principais.

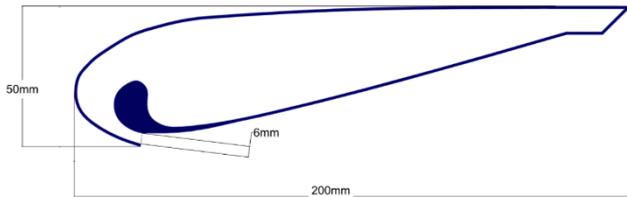


Figura 2 - Perfil aerodinâmico seção transversal do ventilador

Para as análises de CFD foi necessário a inclusão dos volumes internos ao sistema assim como a área enclausurada de análise. Dessa forma, foi feita uma caixa com dimensões de $4,2 \times 4,2 \times 8,4$ (m) como descrito na referência. O ventilador foi posicionado no centro de uma caixa de simulação de $4,2 \times 4,2 \times 8,4$ metros, replicando o ambiente descrito no artigo. A Figura 4 descreve o ambiente no qual o VSP está enclausurado

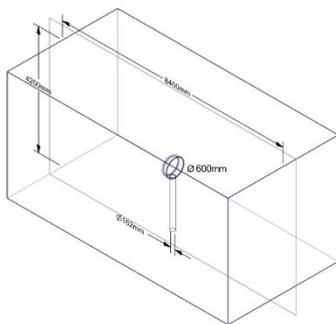


Figura 3 - Área de análise para CFD

Após o desenvolvimento da geometria, seguiu-se para a validação do artigo de referência em si. Para validar as simulações realizadas no artigo de referência foi utilizado o software Fluent do ANSYS, foram seguidos os mesmos métodos descritos pelo referencial [2]. Primeiramente, o *setup* foi configurado conforme especificado pela referência: utilizou-se o modelo de turbulência k-epsilon padrão. O esquema SIMPLE foi empregado para a resolução das equações de Navier-Stokes. Adicionalmente, adotou-se um *time-step* de 0,0001 segundos. As variações de condições de entrada (*inlet*) foram implementadas conforme demonstrado na Tabela 1 do artigo.

Tabela 1 – Condições de inlet das simulações realizadas

Análise	Velocidade Inlet (m/s)	Vazão Inlet (m ³ /s)
01	5,96831	0,12
02	6,76408	0,136
03	7,46038	0,15
04	8,45510	0,17
05	9,69850	0,195

Após atingir uma malha comparável à da literatura em

número de elementos, e alto grau de qualidade (*element quality* acima de 0.6, *Skewness* abaixo de 0.5 e *y+* menor que 30) foi observado que a análise transiente utilizando do *time-step* assinalado pelo autor não condizia com fatores reais de uma condição CFL. Com isso, optou-se, primordialmente, por fazer testes em um sistema *steady* acreditando que o autor se utilizou de um sistema pseudo-transiente. Além do mais, foram alteradas as opções do modelo de turbulência em paredes, visto que o modelo “*standart*” é inferior em termos de análise de turbulência quando comparado ao “*realizable*” (sendo esses modelos de formulação, dentro da solução k-epsilon, para condições de turbulência próximo a paredes). Com isso, foi obtido os valores de vazões volumétricas para o modelo *steady* e *transiente*.

Análise da independência de malha foi realizada para conferir a convergência dos resultados e custo computacional. Foram feitas 4 malhas com diferentes tamanhos de elemento, buscando obter a velocidade máxima identificada em cada um dos casos e seu perfil de velocidades. Dessa forma, foi plotado o perfil de velocidades descrito por cada uma das malhas, denotado de Figura 5, os detalhes de cada malha são descritos na Tabela 2.

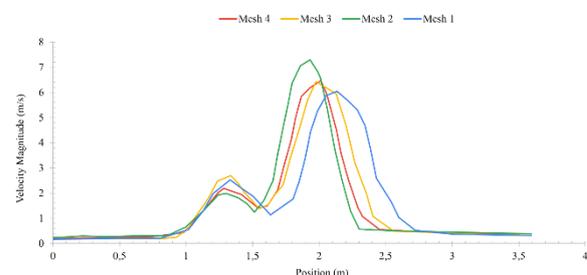


Figura 2 - Perfil de velocidades a 1,5m de cada malha

Tabela 2 – Dados estudo independência de malha

Element size (mm)	Elements	Max Velocity (m/s)	Tempo Simulação (s)	Erro %
515	1328460	8,27	5400	0
260	2556963	8,363	10800	1,135
130	3925764	8,421	19800	0,692
65	5450718	8,408	86400	0,251

Analisando a Figura 5 e Tabela 2 é possível observar que a qualidade da malha, por comparação à velocidade máxima e perfil resultado pela malha base, “*mesh 1*”, todas as três malhas apresentaram bons resultados, demonstrando um erro inferior a 1% entre elas. Entretanto, é possível observar pela tabela 2 que o tempo

de simulação entre elas, mesmo que por um erro muito próximo, é discrepante, enquanto a “*mesh 03*” apresentou um tempo de simulação de, aproximadamente, 5 horas, a malha “*mesh 04*” resultou em um tempo de simulação de quase 24 horas.

Com os dados obtidos nas análises de CFD utilizando os métodos explicitados anteriormente foi possível obter os dados e analisar as problemáticas da geometria de referência com relação à turbulência no canal de saída e zona morta de fluxo na entrada do anel. A partir disso, foi desenvolvido uma geometria otimizada para tentar reduzir os efeitos observados na geometria de referência. Foi desenvolvido um canal de *intake* que comprimissem o ar de uma forma gradual e suave, reduzindo assim a turbulência e acelerando o fluxo. A Figura 6 indica a geometria otimizada e suas vistas com um corte em $\frac{1}{4}$ da geometria para observar o canal interno gerado.

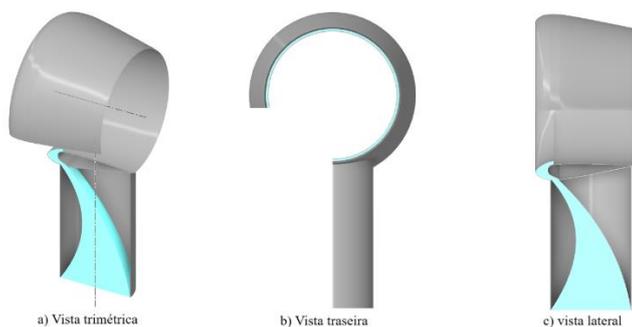


Figura 3- Vistas da geometria otimizada

A Figura 7 indica as condições de contorno das geometrias no software

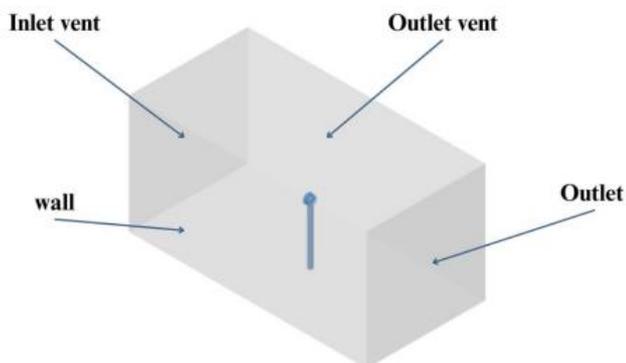


Figura 4- Condições de contorno aplicadas às geometrias

Resultados e discussão

A partir dos métodos descritos anteriormente, foi realizado as simulações CFD e obtido os resultados das

vazões volumétricas para cada uma das condições de inlet estipuladas, a partir disso, foi possível analisar a validação da metodologia comparando com os dados de referência. A princípio, utilizando o *time-step* (TS) estipulado pelo autor, a convergência dos resultados, analisando como resposta a vazão volumétrica no *outlet*, não foi satisfatória, visto que não condizia com um valor real aplicável, pois os resultados eram na ordem de 100 vezes o resultado proposto no artigo de referência, com isso entendia-se que a condição CFL proposta era irreal. Portanto, partiu-se do pressuposto que não havia sido realmente feito uma análise transiente como foi descrito. Dessa forma foi feita uma análise *steady* para tentativa de confirmar esse pressuposto, resultando na convergência dos resultados e validação dos dados computacionais fornecidos pelo autor. Após isso, foi realizada uma análise em modelo transiente com TS propriamente calculados conforme a condição CFL, note que os cálculos não foram embasados em uma referência, mas sim conduzidos por conta própria por meio de uma equação tratada como conservadora. Com isso, foram obtidos resultados que condizem com os experimentais propostos pelo autor de referência, indicando que as análises foram muito bem sucedidas. A Figura 8 indica a comparação de resultados entre as análises de referência e os resultados de validação produzidos neste artigo, tratados como “*present study*”.

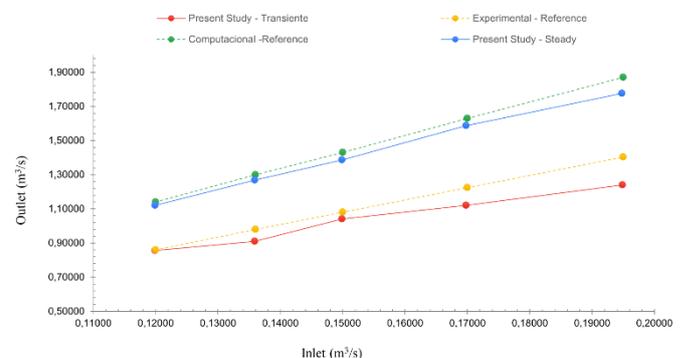


Figura 5- Validação dos resultados da geometria de referência

Após a validação dos resultados foi realizada a otimização da geometria de referência, conferindo a ela um canal de entrada que gerasse uma compressão do fluxo de forma gradual. Os dados de CFD obtidos com a análise da geometria otimizada foram muito satisfatórios quando comparados aos obtidos pela geometria de referência, por indicar que houve um aumento no ar projetado e redução da turbulência no canal de saída assim como uma redução da zona morta de fluxo onde antes havia. A Figura 9 indica os resultados obtidos pela geometria otimizada e um comparativo entre a de

referência.

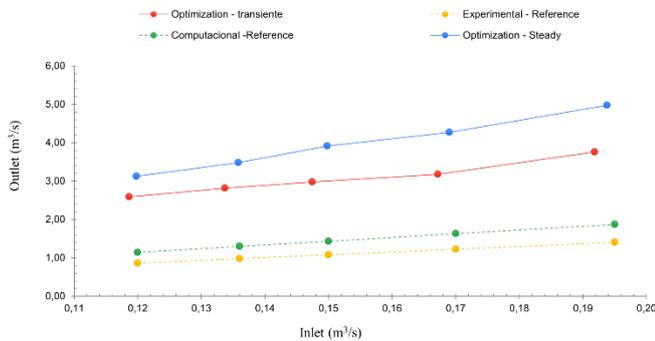


Figura 6- Comparativo dos resultados de vazão entre geometria de referência e otimizada

A Figura 10 indica o comparativo do perfil de velocidades das geometrias a uma distância de 1,5m. Enquanto a Figura 11 demonstra os contornos de velocidade obtidos no software.

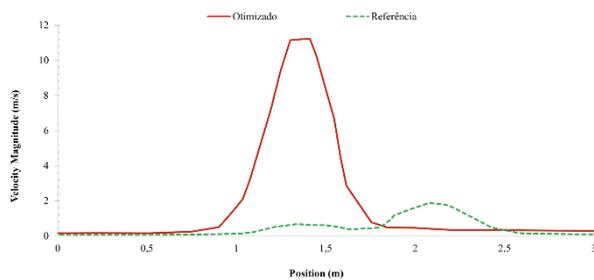


Figura 7- Comparativo Perfil de velocidades a 1,5m

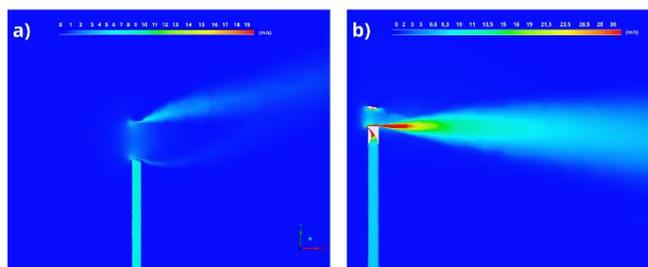


Figura 8- Contorno de velocidades comparativo entre a geo.referência, "a)", e geo.otimizada, "b)"

Conclusões

Ao analisar os resultados obtidos neste estudo, é evidente que a otimização da geometria impactou de maneira extremamente positiva no desempenho geral do sistema. Houve um aumento significativo na vazão do ar projetado, bem como uma notável regularização do escoamento, destacando-se especialmente pela redução da turbulência na saída do canal e na mitigação de zonas mortas de fluxos, que eram problemas críticos na

geometria original. Além disso, os jatos gerados pela geometria otimizada apresentaram velocidades consideravelmente superiores em comparação à geometria de referência, indicando que o processo de compressão do fluido no interior do sistema foi altamente eficiente em potencializar a vazão. Esse comportamento sugere que as modificações implementadas no ventilador foram bem sucedidas em aprimorar sua eficiência aerodinâmica. Por fim, entende-se que alterar o canal de entrada da geometria garante um perfil otimizado de velocidades em qualquer ponto na região de análise e, esse aumento de velocidade, garante um aumento da vazão final por conta do efeito de fluxo arrastado de ar, expandindo a atuação do ventilador no ambiente. Assim, foi garantida a otimização do sistema que possibilita novas aplicações, especialmente em áreas residenciais por conta de sua maior segurança quando comparado à ventiladores axiais comumente utilizados.

Agradecimentos

Dirijo meus agradecimentos a todos que me auxiliaram no decorrer desta pesquisa, especialmente à CNPq pela bolsa prestada e à UNIFEI, também ao meu orientador Dr. Jesús Antonio García Sánchez e à professora Dr^a. Carolina Quintero Ramirez por seus auxílios e revisões na escrita deste trabalho. Por fim, ao grupo de pesquisa Metamaterial And Structures UNIFEI (MSU).

Referências

GAMMACK, P. D.; NICOLAS, F.; SIMMONDS, K. J. Fan. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US8308445B2/en>>.

JAFARI, Mohammad; AFSHIN, Hossein; FARHANIEH, Bijan; et al. Experimental and Numerical Investigation of a 60cm Diameter bladeless fan. Journal of Applied Fluid Mechanics, v. 9, n. 2, p. 935–944, 2015