



ANÁLISE EXPERIMENTAL DO ESCOAMENTO EM TORNO DE UM CILINDRO CIRCULAR POSICIONADO A FRENTE DE UM AEROFÓLIO NACA 0012

Ralfe Luiz Grote Chaves Machado de Queiroz, ralfegq@gmail.com¹
Fernando Augusto Alves Mendes, fernandomendes@ufgd.edu.br¹
Augusto Salomão Bornschlegell, augustosalomao@ufgd.edu.br¹

¹Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, rodovia Dourados - Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Cx. Postal 364 - CEP 79804-9702

Resumo. A visualização de escoamentos é de grande relevância para estudos de mecânica dos fluidos. O presente trabalho tem como propósito visualizar o escoamento em torno de um cilindro circular posicionado a frente de um aerofólio NACA 0012. A técnica utilizada para visualizar o escoamento no túnel de vento subsônico foi a do fio aquecido embebido com glicerina, assim gerando fumaça para traçar as linhas de corrente. O traçador permite avaliar a geração, desenvolvimento, interações e dissipação de estruturas turbilhonares características do escoamento. Foi analisado as mudanças no escoamento com a variação da distância entre o cilindro e o aerofólio. Utilizou-se quatro distâncias com o centro do cilindro alinhado a corda do aerofólio e duas distâncias com o centro do cilindro deslocado em 50 mm da corda do aerofólio, o mesmo diâmetro do cilindro. A velocidade do fluido variou entre 3 e 6 m/s. As mudanças no comportamento do fluido são perceptíveis, pois pela visualização verificou-se alterações na região de esteira do cilindro. Com as imagens obtidas no presente trabalho foi possível concluir que a região de esteira formada pelo cilindro sofre forte influência com a presença do aerofólio.

Palavras chave: Visualização de Escoamento. Escoamento em aerofólio. Vórtices. Região de esteira.

1. INTRODUÇÃO

É importante entender como a presença de corpos sólidos afeta o comportamento de um fluido em movimento. Ao longo dos anos, pesquisas e estudos vêm sendo feitos para melhor compreender os fenômenos que envolvem o escoamento em corpos com perfis distintos. Em cilindros, tem-se a formação de vórtices de esteira, que ocorre a partir de um Número de Reynolds (Re_{osc}), onde Re_{osc} pode variar, em razão do aparato experimental, entre 45 e 65 (Zdravkovich 1997). A percepção de algo é melhorada quando se pode visualizar empiricamente o processo, pois através disso é possível se ter ideia do que está ocorrendo. As técnicas de visualização, mesmo ao longo do tempo, até atualmente, se mostram de extrema importância, visto que permitem tornar evidente a dinâmica do movimento de um fluido. Os princípios de visualização de escoamento baseiam-se na observação de partículas, injeção de corantes, técnicas de emissão de fumaça e indicadores de fios para observação da trajetória do escoamento (ALÉ, 2001). Dentre todas as técnicas, a utilização de cortina de fumaça será reasaltada, devido à facilidade e aplicabilidade para gases. A injeção direta de traçadores alia baixo custo e relativa facilidade de implementação, constituindo, seguramente, a mais empregada das técnicas de visualização de escoamentos (MANSUR e VIEIRA, 2004). No século XX o engenheiro aeronáutico Bernard T. von Karman notou que cilindros circulares exibiam um comportamento interessante. Em baixas velocidades, as linhas de corrente acompanham o formato do objeto. Ao aumentar a velocidade, as linhas não mais acompanham o formato do corpo, separando-se do contorno. Esta separação, com o aumento da velocidade, gera um perfil inflexional de velocidades, assim surgindo os vórtices. Esse fenômeno de desprendimento alternado dos vórtices, por sua vez, constrói um padrão de emissão conhecido como esteira de von Karman (GAMBARINE, 2017). O presente trabalho tem como objetivo visualizar os fenômenos e resultados da interação entre estruturas turbilhonares formadas por cilindro em um perfil aerodinâmico NACA 0012 posicionado a jusante. Os estudos feitos por Derakhshandeh (2015) e WU (2015) são alguns dos poucos estudos encontrados que trata da influência da região de esteira formada por um cilindro, em um aerofólio. Recentemente, Sarioglu (2017) traz a análise do escoamento de um aerofólio posicionado a frente de um cilindro, tratando da influência do cilindro na região de esteira formada pelo aerofólio. Então, é extremamente relevante a investigação realizada pelo presente trabalho, pois agrega conhecimento sobre o fenômeno estudado. Ademais, para acréscimo a investigação, será realizado a variação da posição do cilindro em seis pontos distintos, sendo quatro alinhados a frente do aerofólio, e dois posicionados a frente, porém deslocados em 50 milímetros abaixo.

2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em um túnel de vento subsônico de circuito aberto, mostrado na Fig. 1, fabricado pela empresa brasileira, Aeroalcool Tecnologia Ltda, modelo AA-TVSH1, montado em bancada móvel, com nível de turbulência inferior a 5%, relação entre a entrada e a saída do convergente de 4,5:1 e um divergente com razão de aspecto de 3:1, razão entre a saída e a entrada. A região de testes é constituída por uma área quadrada 462x462 mm de lado e 1200 mm de comprimento, com as laterais de acrílico para possibilitar a visualização do escoamento. No começo do túnel há uma colmeia, com o objetivo de estabilizar o escoamento na seção de testes.

Figura 1. Túnel de vento, marca Aeroalcool, modelo AA-TVSH1



Para a análise, foi utilizado um aerofólio NACA 0012, de fibra de carbono, que possui uma superfície lisa e devido a isso, sua rugosidade relativa foi desprezada. A largura L de 457 mm, comprimento de corda c igual a 180 mm e espessura h de 21,6 mm, são as dimensões do aerofólio. Um cilindro circular de comprimento 457 mm e diâmetro D de 50 mm, também foi utilizado. Na Fig. 2 é mostrada a seção de testes com o aerofólio e o cilindro fixados. A cortina de fumaça, utilizada para revelar o escoamento, foi gerada com a adição de glicerina ao um fio de aço inox aquecido em decorrência a passagem de uma corrente elétrica. A queima da glicerina em contato com o fio aquecido produz uma cortina de fumaça, possibilitando a observação do escoamento. A diferença de potencial no fio foi gerada por uma fonte de alimentação digital, com saída ajustável, marca Cidepe, modelo EQ030F, pode ser observada na Fig. 3.

Figura 2. Seção de testes



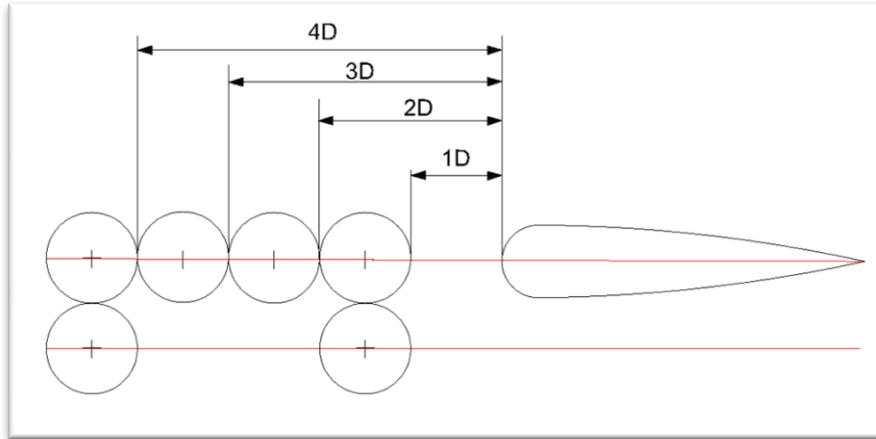
Figura 3. Fonte de alimentação, marca Cidepe, modelo EQ030F



Para possibilitar a realização dos testes foi preciso fazer algumas modificações. A lateral de acrílico a qual são fixados os corpos de prova foi removida. Em seu lugar instalada uma placa de MDF pintada na cor preto fosco, para

permitir a execução de novos pontos para fixação do cilindro. Foram realizados 6 furos na placa para variar a posição do cilindro, na figura 4 pode-se ver a ilustração da placa lateral com as indicações de cada ponto. Sendo D o diâmetro do cilindro que é de 50 mm tem-se a primeira posição do cilindro a $1D$ do aerofólio, o segundo $2D$, o terceiro $3D$, o quarto $4D$, todas as posições com o centro do cilindro alinhado a corda do aerofólio. Com o centro do cilindro deslocado em $1D$ para baixo da corda do aerofólio o cilindro foi posicionado em $1D$ e $4D$.

Figura 4. Ilustração da posição do cilindro na placa de fixação



Para obtenção de registros satisfatórios é necessário um paciente trabalho no ajuste da iluminação e do aparelho de captura. As imagens congeladas foram obtidas a partir de câmera digital Canon, modelo EOS 6D, com lente de distância focal de 50mm. A velocidade ISO foi ajustada a um valor de 12800 e tempo de exposição de $1/2000$ segundo. Também, a abertura do diafragma foi escolhida como $f/2,8$ para que, juntamente com o ISO, realizassem uma maior captação de luz. Além disso, as imagens foram registradas em formato de arquivo JPEG de 24 bits, e para destacar o escoamento aplicou-se efeito de cores negativo e aumento do contraste. Para a iluminação do local, foram utilizadas duas lâmpadas de 70 W, cada uma com softbox para suavizar a saída de luz, e perfeitamente difundida. Na Fig. 5, é possível ver a montagem de todo aparato experimental para a realização do procedimento.

Figura 5. Seção de testes montada para experimentação.



Portanto, tendo seis pontos diferentes, sendo eles, $1D$, $2D$, $3D$ e $4D$ superiores, e $1D$ e $4D$ inferiores, para cada posição do cilindro foi aplicado, quatro velocidades diferentes, sendo elas 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s e 6 m/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Posteriormente a obtenção das fotografias, foi feita a seleção das melhores imagens que representassem com mais clareza e nitidez os fenômenos do escoamento em torno do cilindro e do aerofólio. Desse modo, o tratamento para destacar os aspectos mais importantes, foi a aplicação de efeito de cores tons de cinza (8bit), junto com o efeito

negativo e o aumento de contraste. A seguir, estão as figuras da variação de posição do cilindro alinhado com o aerofólio para a velocidade de 3 m/s. Na Fig. 6 a posição 1D, na Fig. 7 a posição 2D, Fig. 8 posição 3D, Fig. 9 posição 4D.

Figura 6. Posição 1D, 3 m/s

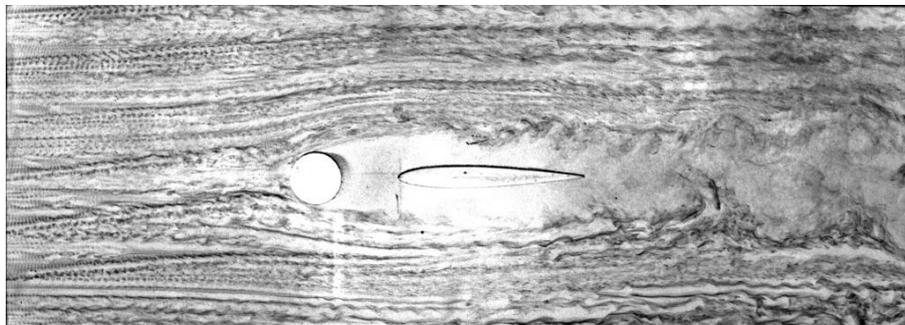


Figura 7. Posição 2D, 3 m/s

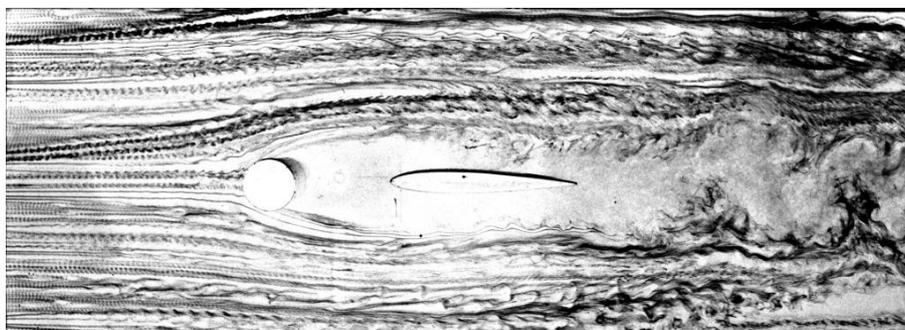


Figura 8. Posição 3D, 3 m/s

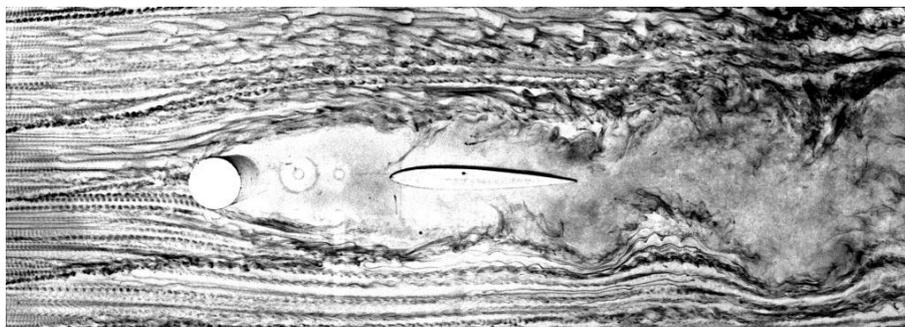
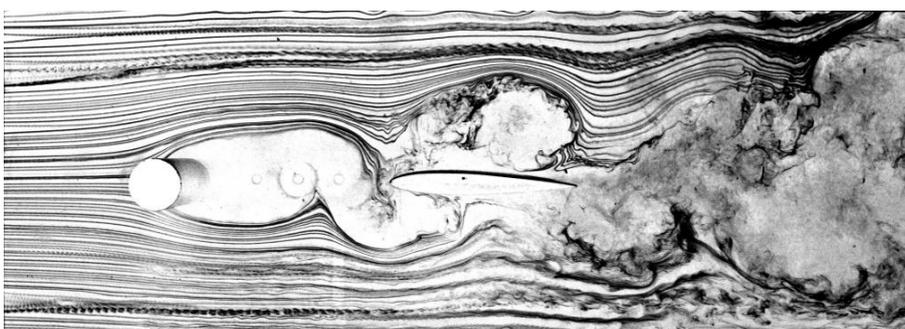


Figura 9. Posição 4D, 3 m/s



Analisando as imagens, pode-se ver que a maiores distâncias longitudinais, o aerofólio está alternadamente sob o efeito dos regimes de vórtices primários ou totalmente desenvolvidos (DERAKHSHANDEH, et al. 2015). Quando o

cilindro está na posição 1D, o aerofólio tem forte influência em seu escoamento, principalmente na região de esteira. Os vórtices formados nessa região são reduzidos devido a presença do aerofólio a jusante. Conforme a distância aumenta, nota-se que a região de esteira é completamente desenvolvida. A partir da posição 3D (Fig. 8) já é possível analisar vórtices mais visíveis, ainda mais, na posição 4D (Fig. 9). O aerofólio já não influencia tão significativamente o escoamento do cilindro na região de esteira, porém o aerofólio sofre maior influência devido aos vórtices formados.

Figura 10. Posição 4D, 3 m/s

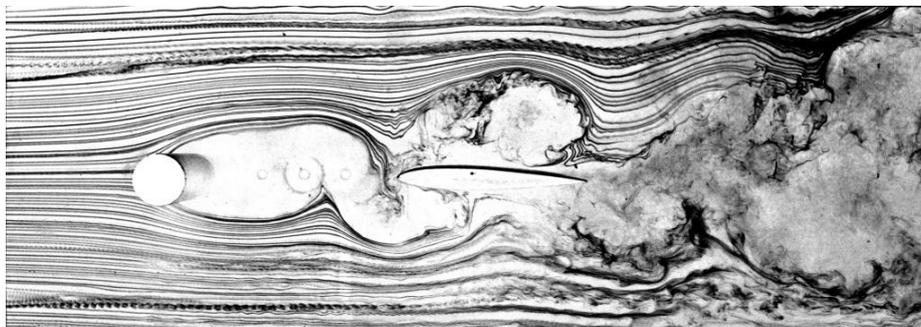


Figura 11. Posição 4D, 5 m/s

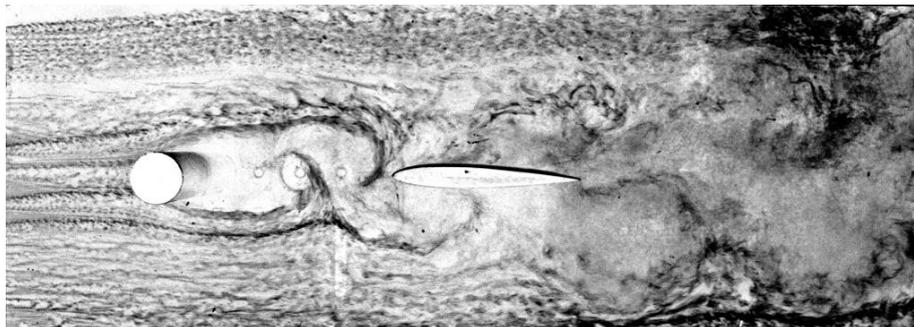


Figura 12. Posição 4D, 4 m/s

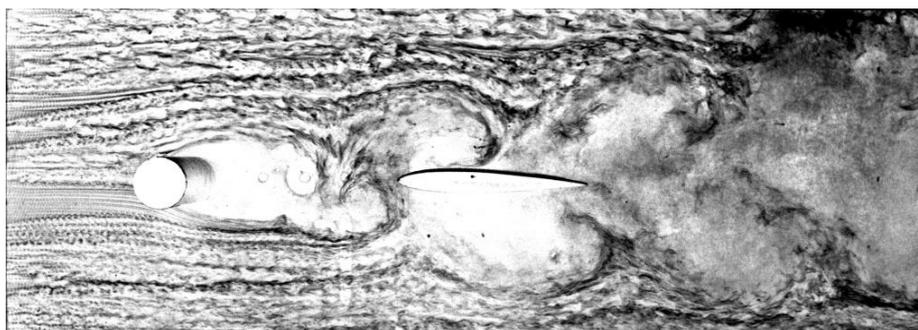
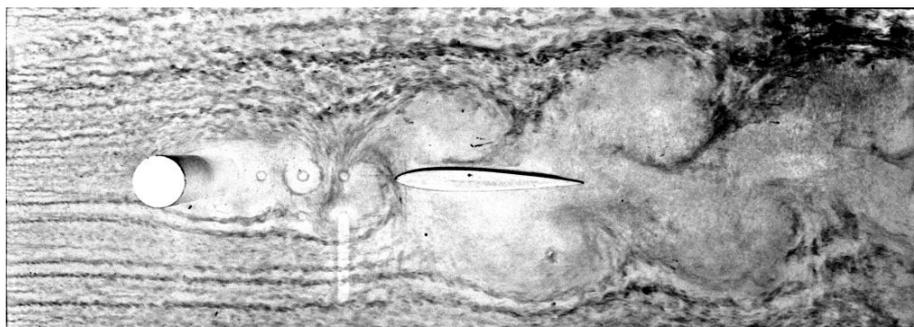


Figura 13. Posição 4D, 6 m/s



Comparando a Fig. 10 com a Fig. 13, devido ao aumento da velocidade, pode-se observar um descolamento tardio da camada limite do cilindro. De acordo com Çengel (2015), o atraso da separação no escoamento é causado pelas rápidas flutuações do fluido na direção transversal, o que permite que a camada limite avance mais ao longo da superfície antes de ocorrer a separação. Na região de esteira pode-se ver a formação de vórtices mais volumosos e maior turbulência. As Figuras com o cilindro deslocado para baixo apresentam semelhanças com os testes com o cilindro alinhado. O aerofólio causa interferência ao escoamento do cilindro, porém a região inferior a esteira mantém a emissão periódica de vórtices.

Figura 15. Posição 1D, inferior

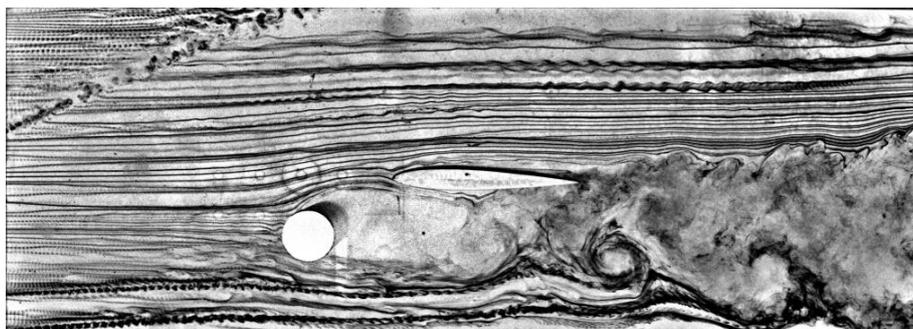
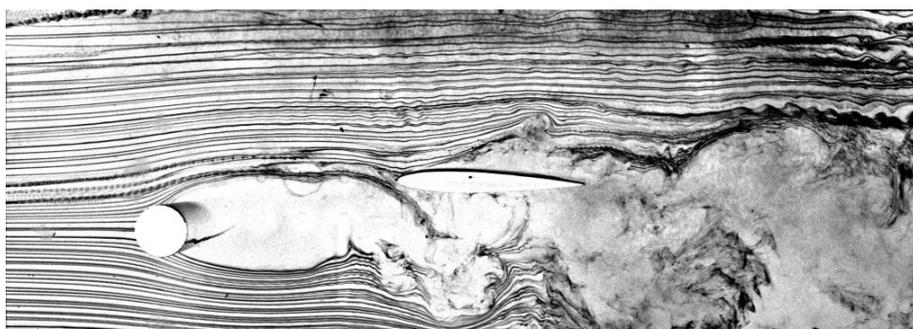


Figura 16. Posição 4D, inferior



4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, infere-se que a região de esteira formada pelo cilindro e o escoamento em torno do aerofólio sofrem forte influência. Quando o cilindro está próximo ao aerofólio, na posição 1D, é notória a influência na região de esteira do cilindro. Os vórtices são reduzidos e suavizados pelo aerofólio que não permite o completo desenvolvimento da região de esteira. Assim, quando posicionados próximos um do outro temos estruturas turbilhonares menos agressivas, devido à interferência do aerofólio. Afastando o cilindro do aerofólio, é possível notar que os vórtices estão sendo formados, e há uma região de esteira praticamente desenvolvida, portando o aerofólio não influencia tanto no escoamento do cilindro, porém sofre forte influência dos vórtices gerados, devido a grande turbulência. Ademais, com o cilindro deslocado abaixo se pode ver que a região do escoamento no cilindro sofre influência do aerofólio, pois é possível ver uma periodicidade dos vórtices abaixo do aerofólio, girando em um sentido definido. Então, foi possível analisar os fenômenos em torno do escoamento entre um cilindro e um aerofólio a partir de visualização empírica, e notar as mudanças na região de esteira do cilindro circular.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao suporte técnico prestado pelo colaborador Evandro Fernandes de Melo na montagem do experimento. Adicionalmente, os agradecimentos também são dirigidos a UFGD, que forneceu os instrumentos de medição e a utilização do laboratório para a realização dos experimentos.

6. REFERÊNCIAS

- ALÉ, Jorge A. Villar et al., 2001. “Desenvolvimento de equipamentos didáticos para visualização de fluxo”. Porto Alegre.
- ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M., 2015. “Mecânica dos fluidos: Fundamentos e Aplicações”. 3º Edição.

- DERAKHSHANDEH, J.f. et al. 2015. “Flow-induced vibration of an elastically mounted airfoil under the influence of the wake of a circular cylinder”. School Of Mechanical Engineering, University Of Adelaide.
- GAMBARINE, Dênnis Maluf, 2017. “Vibração induzida por vórtices em cilindros flutuantes com baixa razão de aspeito e diferentes condições de geometria na extremidade imersa”. São Paulo.
- MANSUR, Sérgio Said; VIEIRA, Edson del Rio, 2004. “Visualização experimental de escoamentos”. Ilha Solteira.
- SARIOGLU, Mustafa, 2017. “Aerodynamic characteristics of the flow around an airfoil and a circular cylinder”. Trabzon, Turkey.
- WU, J. et al., 2015. “Flow over NACA0012 airfoil influenced by upstream circular cylinder wake”. Cambridge, Uk.
- Zdravkovich, M. M., 1997. “Flow Around Circular Cilinders”. Oxford University Press.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.