

Efeitos de Ressaltos em Instabilidades na Camada Limite

Rafael Estornio

Victor Barcelos Victorino, Felipe Oliveira Aguirre

Marcello Augusto Faraco de Medeiros

Escola de Engenharia de São Carlos - USP

rafael.estornio@usp.br

Objetivos

Irregularidades em superfícies aerodinâmicas podem antecipar o processo de transição para turbulência em camadas limite, o que resulta em um aumento substancial do coeficiente de arrasto da aeronave. Essas irregularidades podem ser classificadas como ressaltos, cavidades, degraus, entre outros.

Wang e Gaster (2005) utilizaram experimentos para quantificar o impacto no fator de crescimento (ΔN) de ondas Tollmien-Schlichting (TS) em respeito à altura do degrau normalizado pela espessura de deslocamento (h/δ^*). Crouch e Kosorygin (2020) realizaram experimentos com objetivo similar. Os resultados indicaram que para um ressalto o ΔN pode ser estimado como uma combinação linear do ΔN previsto para degraus com face para frente e face para trás.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é quantificar o ΔN causado por um ressalto e compará-lo com a literatura num regime no qual a TS é o mecanismo de transição. Com isso, espera-se uma melhor compreensão do impacto de um ressalto nos fenômenos de transição.

Métodos e Procedimentos

Os experimentos foram realizados no túnel de vento de baixo ruído acústico e turbulência (LANT) da EESC-USP. O modelo de ensaio consiste em uma placa plana de alumínio com

dimensões 2 m x 1 m x 10 mm, possuindo um ressalto retangular de quinas afiadas localizado a 0,6 m do bordo de ataque do modelo. Este possui um comprimento de 30 mm, cobre uma envergadura de $\pm 0,3$ m em torno da linha de centro do modelo e sua altura é ajustável remotamente, variando de 0-20 mm.

As medições de velocidade (média e flutuação) foram realizadas pelo anemômetro de fio quente modelo AN-1002 e sonda do tipo camada limite 55P15 da Dantec. A tensão de saída do anemômetro é enviada para dois módulos de aquisição, um para medições de tensão média (USB DAq-6002) e o outro para flutuações (PXI-4498), ambos da National Instruments. A tensão é convertida em velocidade a partir de calibração, usando a velocidade do escoamento livre do próprio túnel de vento através de um tubo de Pitot estático.

Resultados

O experimento consistiu em medir a evolução ao longo do escoamento da flutuação de velocidade dentro da camada limite. A velocidade do escoamento empregada foi 13 m/s e além da placa plana lisa, um ressalto com altura de 1 mm foi utilizado. A evolução do espectro de frequências é apresentada a seguir. Uma banda de frequências de 45 – 90 Hz apresentou crescimento ao longo da direção do escoamento para o caso liso. Para o caso de 1mm, o ressalto amplificou o crescimento da TS, além de ampliar a largura da banda, que passou a ser de 50 – 120 Hz. .

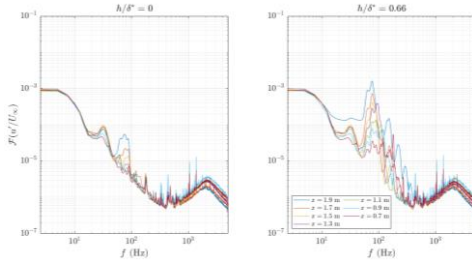


Figura 1: PSD da série temporal de cada sinal

Essa banda de frequências é atribuída a onda TS, pois concorda com a teoria para a condição do escoamento empregada, conforme figura abaixo. As barras de erro indicam a banda de frequências para cada posição, sendo as grossas para o caso liso e as finas para o com ressalto. Os marcadores representam a frequência de máxima amplificação. Os marcadores fechados indicam o caso liso e os vazios o com o ressalto. É perceptível que a frequência máxima ocorre dentro da zona de instabilidade, perto do ramo 2 (superior), conforme a teoria.

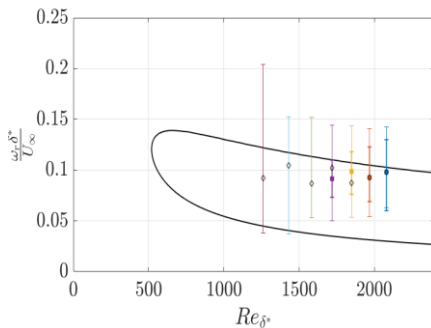


Figura 2: Dados experimentais comparados com o Diagrama de Instabilidade

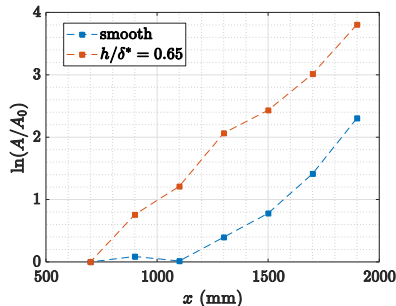


Figura 3: Comparação das Amplitudes

Quantificando o impacto do ressalto no crescimento da onda TS, o ΔN foi estimado em 1,5. Esse ΔN está em concordância com a correlação para degraus com face para trás estabelecida por Wang (2005), que é 1,27. Entretanto, não está em concordância com a combinação linear proposta por Crouch (2020), que foi de 3,96. Uma diferença que pode explicar essa variação é que os autores empregaram um número de Reynolds maior (25-40%) sobre a rugosidade, apesar de alturas não-dimensionais similares, o que pode impactar no ΔN .

Conclusões

A presença de ressaltos amplificou o crescimento das ondas TS. Com a análise dos PSDs, é possível perceber que a presença do ressalto aumentou a banda da TS, principalmente nas proximidades do ressalto. O ΔN estimado foi de 1,5. Apresentou boa concordância com o valor proposto por Wang (2005), entretanto não houve boa concordância com o modelo de Crouch (2020).

Referências

AMARAL JUAN CARLOS SERRANO RICO, C. S. B. M. M. B. V. B. V. E. M. G. M. A. F. d. M. Filipe Ramos do. The low acoustic noise and turbulence wind tunnel of the university of sao paulo. The Aeronautical Journal, p. 1–45, 2021.

CROUCH, J. D.; KOSORYGIN, V. S. Surface step effects on boundary-layer transition dominated by tollmien–schlichting instability. AIAA Journal, v. 58, n. 7, p. 2943–2950, 2020. ISSN 00011452.

KLEBANOFF, P. S.; TIDSTROM, K. D. Mechanism by which a twodimensional roughness element induces boundarylayer transition. The Physics of Fluids, v. 15, p. 1173–1178, 1972.

WANG, Y. X.; GASTER, M. Effect of surface steps on boundary layer transition. Experiments in Fluids, v. 39, p. 679–686, 2005. 10