

## VISUALIZAÇÃO DE INSTABILIDADES GERADAS PELA COLISÃO DE DOIS VÓRTICES TOROIDAIS.

André Gonzalez Ribeiro, Sérgio Said Mansur – Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Em escoamento turbulentos ou transicionais, é comum a formação de filamentos de vórtices. Quando dois ou mais filamentos contra-rotativos se aproximam, uma forte interação pode ocorrer entre eles, atribuindo grande complexidade ao escoamento, como mostram os estudos de Crow (1970). Situação similar pode ser encontrada na colisão de dois vórtices toroidais, onde, embora a geometria seja relativamente simples, identificam-se algumas características importantes dos vórtices, como junção, cancelamento, rompimento, reconecção, concentração e estiramento de vorticidade, num processo ainda pouco compreendido. Embora tal fenômeno tenha sido identificado há várias décadas, a literatura sobre o assunto é, ainda hoje, razoavelmente escassa. Os artigos de Saffman(1989), Khorrami(1990) e Mansfield *et al*(1999) figuram entre os poucos estudos numéricos dedicados a este tema.

No presente trabalho, as instabilidades geradas pela colisão de dois vórtices toroidais são estudadas experimentalmente, utilizando-se a visualização de escoamentos como ferramenta de investigação. Para isso foi construído um tanque em acrílico (10mm de espessura), com dimensões de 450 x 580 x 500mm, equipado com suportes móveis para o posicionamento dos dispositivos de injeção. Os geradores de vórtices toroidais possuem um diâmetro de saída de 7mm e são munidos de uma placa perfurada e de uma tela, para retificar o escoamento. Dois reservatórios pressurizados foram confeccionados com garrafas pet, para alimentar os dispositivos de injeção. O fluido de um dos reservatórios foi tingido com corante azul, à base de PVA, e o outro com corante vermelho. O aparato experimental é mostrado nas Figuras 1, 2 e 3.



Figura 1 – Tanque



Figura 2 – Retificador



Figura 3 – Reservatórios

Os ensaios foram realizados para números de Reynolds compreendidos entre 500 e 1000. Neste caso o número de Reynolds é definido como  $Re = UD/\nu$ , onde  $U$  é a velocidade inicial de translação do vórtice toroidal,  $D$  é o diâmetro de saída do dispositivo de injeção (7mm) e  $\nu$  a viscosidade cinemática do fluido.

A Figura 4 mostra que, após o choque, ocorre o crescimento dos anéis, com a formação de pequenas ondas. Em instantes posteriores, instabilidades são formadas na periferia do anel, mas elas são incapazes de interagirem entre si, devido ao baixo número de Reynolds e o cancelamento da vorticidade que se dá quase por completa.

Na Figura 5, a formação de ondas torna-se ainda mais visível e, em sua periferia, já se observa a reconexão de pequenos anéis de vórtices. Segundo Lim e Nickels (1992), o número  $N$  de anéis pode ser estimado dividindo-se o perímetro da circunferência pelo comprimento de onda

calculado por Crow (1970). Ainda segundo os autores, para  $860 \leq Re \leq 1500$ ,  $N$  deve variar entre 11 e 24. Estes resultados são consistentes com os resultados da Figura 5, que revelou a presença de 9 anéis de reconexão, para  $Re \cong 790$ .

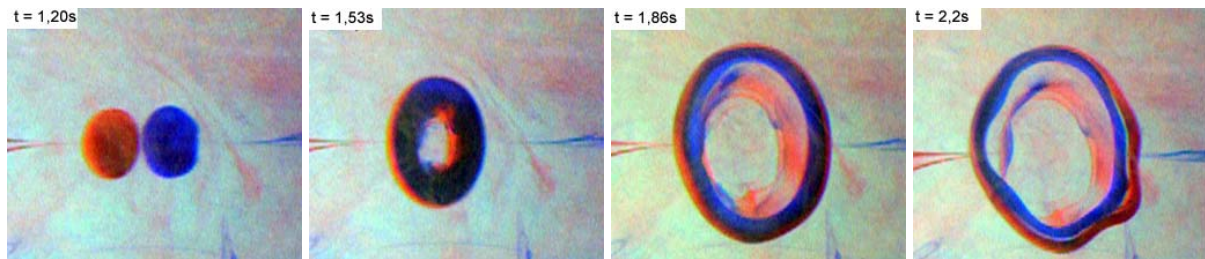


Figura 4 – Evolução temporal da colisão de vórtices toroidais, para  $Re \cong 520$

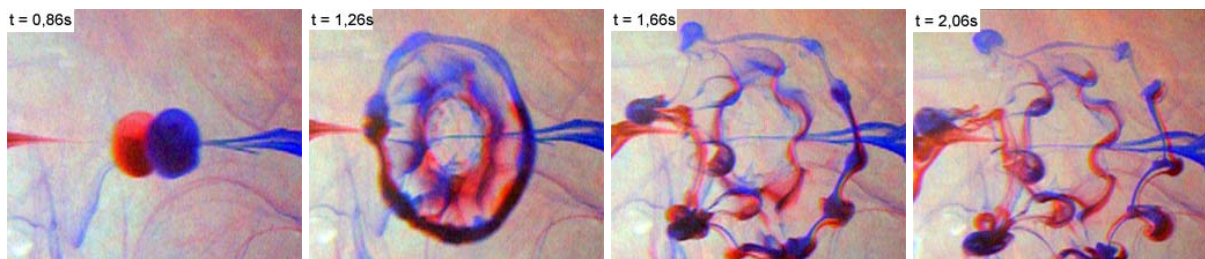


Figura 5 – Evolução temporal da colisão de vórtices toroidais, para  $Re \cong 790$ .

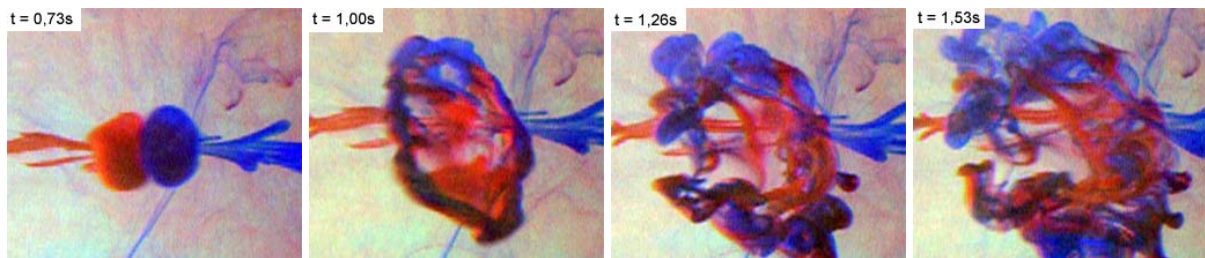


Figura 6 – Evolução temporal da colisão de vórtices toroidais, para  $Re \cong 1000$ .

Na Figura 6, pode-se verificar que um aumento do número de Reynolds dificulta a visualização da formação dos anéis, embora seja perceptível o aumento do número  $N$  de anéis de reconexão ao longo do perímetro dos vórtices toroidais, o que implica na diminuição do comprimento de onda de Crow.

Segundo Mansfield *et al*(1999) em seu trabalho numérico, o choque de dois vórtices toroidais, para  $Re = 1000$ , também é fortemente dependente do diâmetro interno, ou seja, a abertura do anel toroidal, como ilustra a Figura 7. Usando modelos de turbulência e Simulação de Grandes Escalas (LES), Mansfield conclui que existe diferença entre o uso e o não uso de tais modelos. A diferença consiste em parte à propagação da velocidade no crescimento do anel, onde os modelos de turbulência não indicaram a reconecção e formação dos pequenos anéis, como mostram as Figuras 8 e 9..

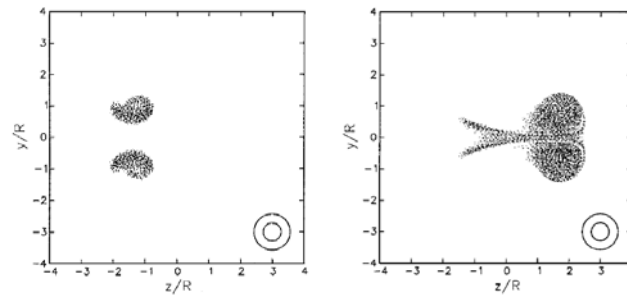


Figura 7 – Diferença de abertura de dois vórtices toroidais – retirado de Mansfiel *et al*(1999).

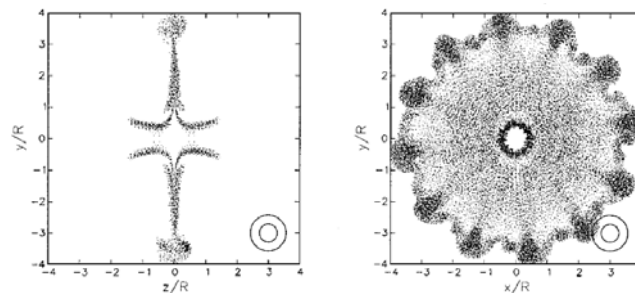


Figura 8 – Colisão de dois vórtices toroidais sem o uso de modelos de turbulência,  $Re = 1000$  - retirado de Mansfiel *et al*(1999).

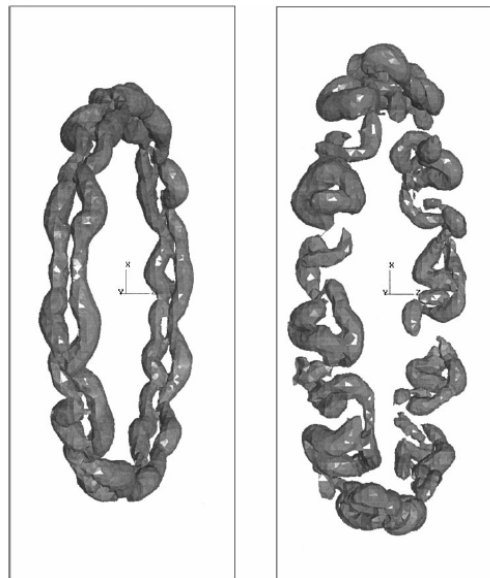


Figura 9 – Colisão de dois vórtices toroidais com o uso de modelos de turbulência,  $Re = 1000$ . As estruturas de interação sem formação dos pequenos anéis - retirado de Mansfiel *et al*(1999).

Conclui-se que o processo de rompimento e reconecção das estruturas turbilhonares presentes na colisão de dois vórtices toroidais é fortemente dependente de vários parâmetros. A formação dos anéis de reconecção é detectada para uma pequena faixa do número de Reynolds. Isso sugere que tal fenômeno ocorre em escoamentos transicionais, pois para baixos números de

Reynolds, não acontece reconecção, e para números de Reynolds acima de 1000, os filamentos de vórtices se interagem de tal forma que a visualização dos anéis é muito dificultada, característica essa de escoamentos turbulentos. O processo é bastante sensível ao número de Reynolds e fisicamente complicado.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Crow, S.C.: Stability theory for a pair of trailing vórtices, *AIAA Journal*, v.8, pp.2172-2179, 1970.
- Khorrami, M. R.: On the viscous modes of instability of a trailing line vortex, *J. Fluid. Mech.*, v.225, pp.197-212, 1991.
- Lim, T.T & Nickels, T.B.: Instability and reconnection in head-on collision of two vortex rings, *Nature*, v.357, pp.225-227, 1992.
- Mansfield, J.R., Knio, M. O & Meneveau, C.: Dynamic LES of colliding vortex rings using a 3D model method, *Journal of Computation Physics*, v.152, pp.305-345, 1999.
- Saffman, P.G: A model of vortex reconnection, *J. Fluid. Mech.*, v.212, pp.395-402, 1990.