



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**TM-179 Tóp. Esp. em Eng. Mecânica VIII – Escoamentos Compressíveis**  
**Prof. Luciano Kiyoshi Araki**

**SEMESTRE 2011/2 (Segunda lista de exercícios)**

**Observações:**

- 1. Os exercícios devem ser entregues individualmente.**
- 2. Recomenda-se mostrar passo a passo a obtenção das soluções, explicando ao máximo os procedimentos adotados.**
- 3. Data de entrega: 24 de novembro de 2011 (quinta-feira).**

1. (valor: 30) Considere um escoamento supersônico com número de Mach a montante igual a 4, pressão de 200 kPa e temperatura de 700 K. Este escoamento é inicialmente expandido através de uma quina de expansão com ângulo  $\theta$  igual a 12 graus e posteriormente comprimido através de uma quina de compressão com ângulo  $\theta$  igual a 12 graus, de modo que o escoamento retorna à direção original. Calcule o número de Mach e a pressão a jusante (atrás) da quina de compressão e também a geração de entropia. Refaça os cálculos, considerando primeiro a quina de compressão e em seguida a quina de expansão. Considere que o gás em questão seja o ar:  $\gamma = 1,40$ ;  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ;  $c_p = 1004,5 \text{ J/kgK}$ .

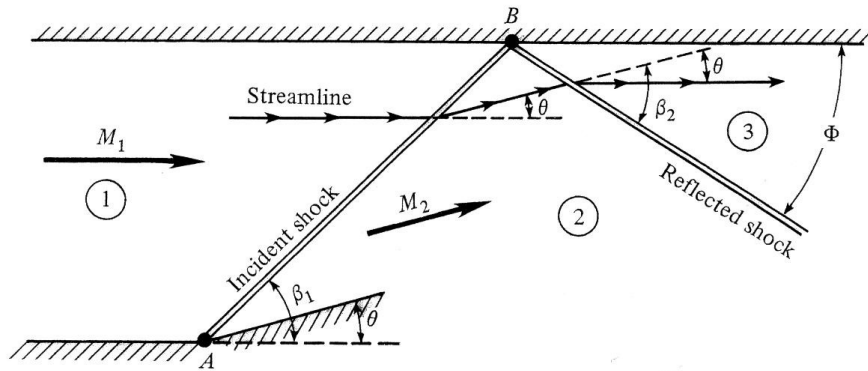
2. (valor: 15) Para o exercício anterior, plote os diagramas polares correspondentes às duas situações. Para os diagramas, pode-se empregar uma planilha eletrônica.

3. (valor: 25) Uma importante relação para o estudo de choques oblíquos, obtida de relações geométricas e da equação da energia, é chamada de relação  $\theta$ - $\beta$ -M ( $\theta$ , ângulo de deflexão;  $\beta$ , ângulo da onda de choque; M, número de Mach a montante do choque):

$$\tan(\theta) = 2 \cdot \cot(\beta) \cdot \left\{ \frac{M_1^2 \cdot \sin^2(\beta) - 1}{M_1^2 \cdot [\gamma + \cos(2 \cdot \beta)] + 2} \right\}$$

A partir dessa equação pode-se traçar o diagrama  $\theta$ - $\beta$ -M, para diversos casos. Baseando-se na relação anterior, obtenha a expressão para  $\theta$ - $\beta$ -M, para o caso em que  $M_1 \rightarrow \infty$ . Faça um esboço do diagrama  $\theta$ - $\beta$ -M, com os valores de  $M = 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 10; 20$  e  $M \rightarrow \infty$ . Utilize  $\gamma = 1,20$ . Para o esboço do diagrama, recomenda-se o uso de uma planilha eletrônica.

4 (valor: 30). Um escoamento supersônico horizontal entre placas passa sobre uma quina de compressão localizada em um ponto A, sofrendo um choque oblíquo. Tal choque se propaga até atingir a outra superfície no ponto B, de onde ela é refletida. Tem-se, assim, a formação de três regiões distintas: região 1, antes (a montante) do choque; região 2, atrás (a jusante) do choque; e região 3, atrás (a jusante) do choque refletido. Considere que na região 1, tenha-se um escoamento com Mach igual a 3,2, que o ângulo de deflexão ( $\theta$ ) seja de 15 graus, que o escoamento seja de ar ( $\gamma = 1,40$ ) e que a temperatura e a pressão estática sejam, respectivamente, de 300 K e 100 kPa. Determine o ângulo  $\Phi$  existente entre o choque refletido em relação à respectiva parede, bem como o número de Mach, a pressão e a temperatura atrás do choque refletido (região 3).



Se ao invés do conjunto de choques (choque oblíquo e choque refletido), houvesse apenas um choque normal, quais seriam os valores relativos ao número de Mach, à pressão e à temperatura na região atrás (a jusante) do choque?