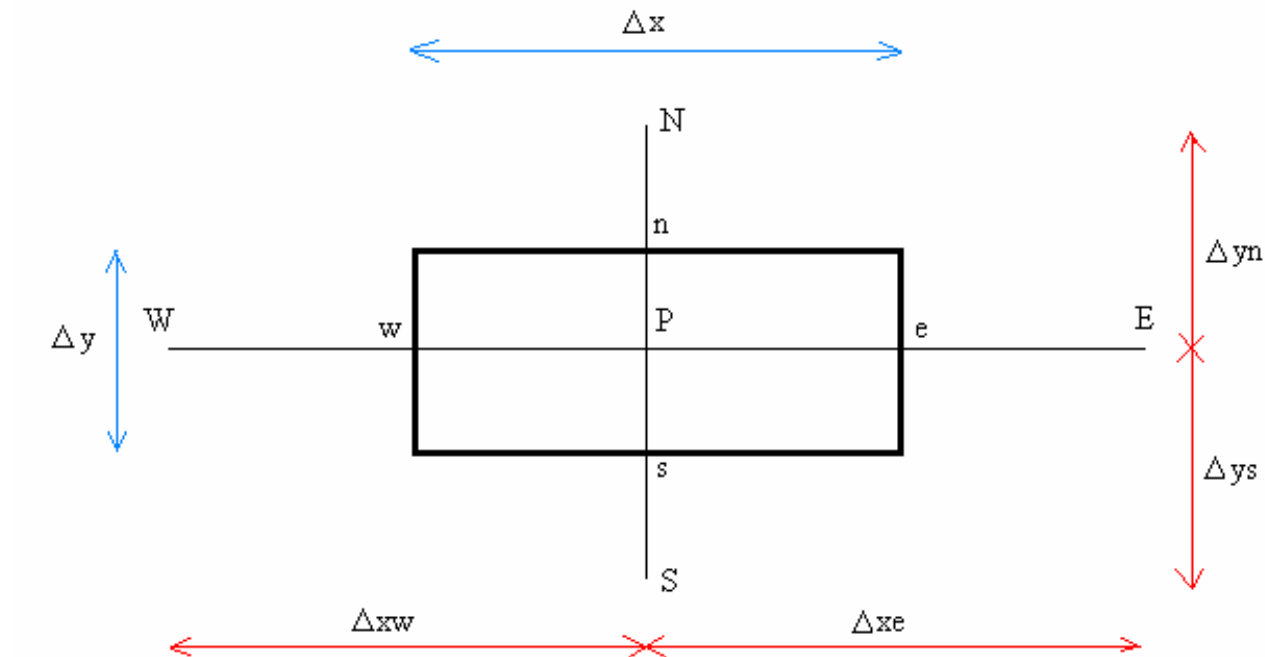


PME 2556 – Dinâmica dos Fluidos Computacional

Aula 6 - Condições de Contorno para
solução de escoamentos usando
métodos derivados do Algoritmo
SIMPLE

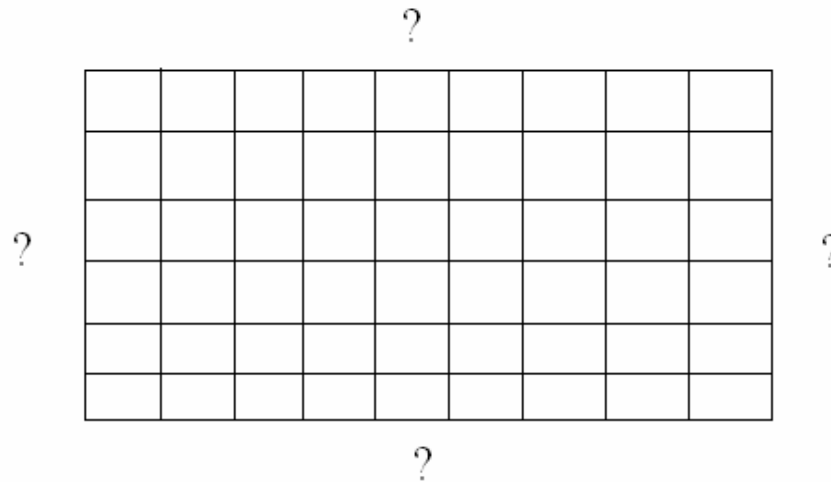
6.1 Método dos Volumes Finitos



$$C_e \phi_e + C_w \phi_w + C_n \phi_n + C_s \phi_s =$$

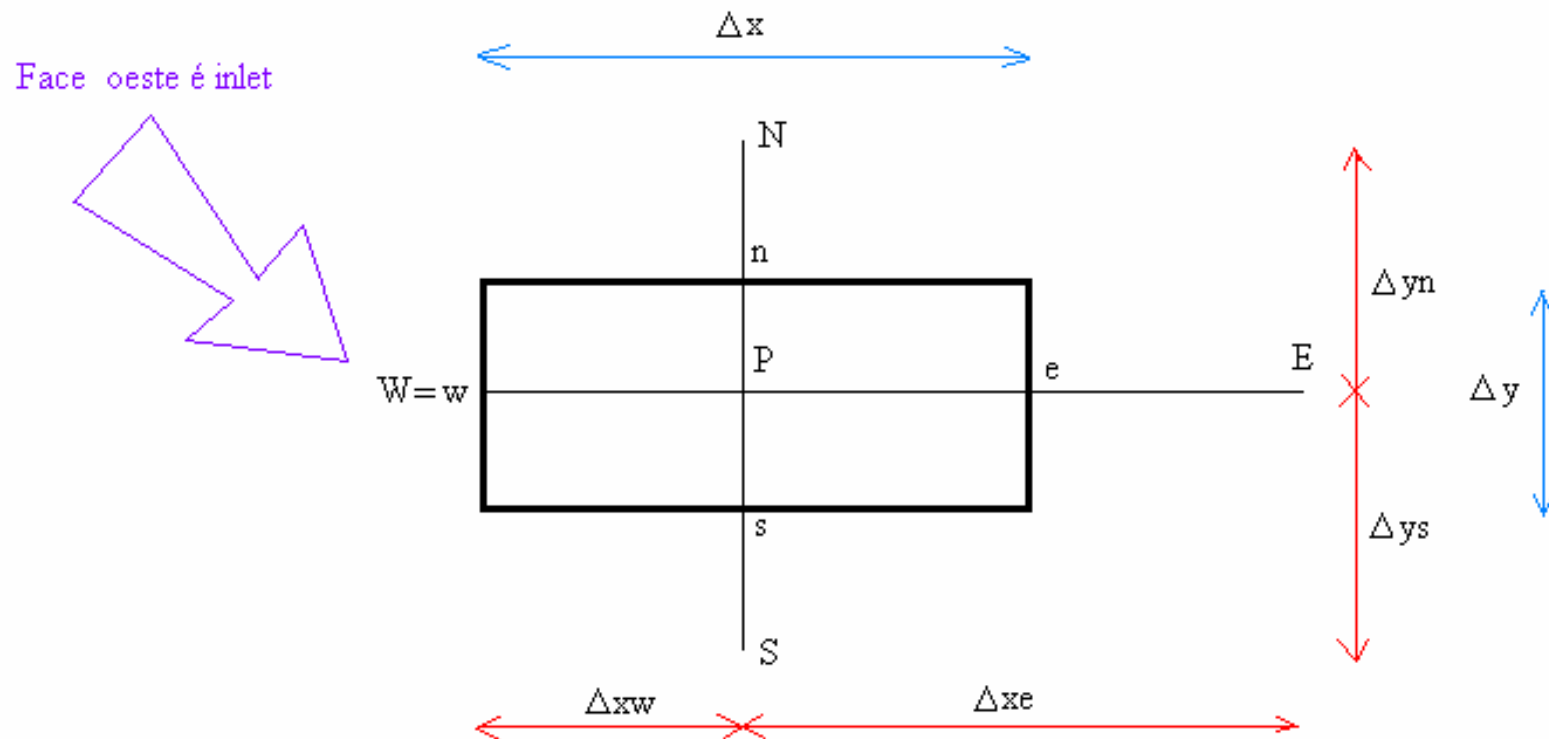
$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_W - \phi_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi \Delta x \Delta y$$

Condições de Contorno



- Entrada ou *Inlet*
- Parede ou *Wall*
- Saída ou *Outlet* ou *outflow*
- Simetria ou *Simetry*
- Condição Periódica ou Cíclica ou *Periodic* ou *Cyclic*

Inlet



Nos *inlets*, as grandezas ϕ como velocidades u e v tem que ter seus valores especificados.

Inlet

$$C_e \phi_e + C_w \phi_w + C_n \phi_n + C_s \phi_s =$$
$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_W - \phi_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi \Delta x \Delta y$$

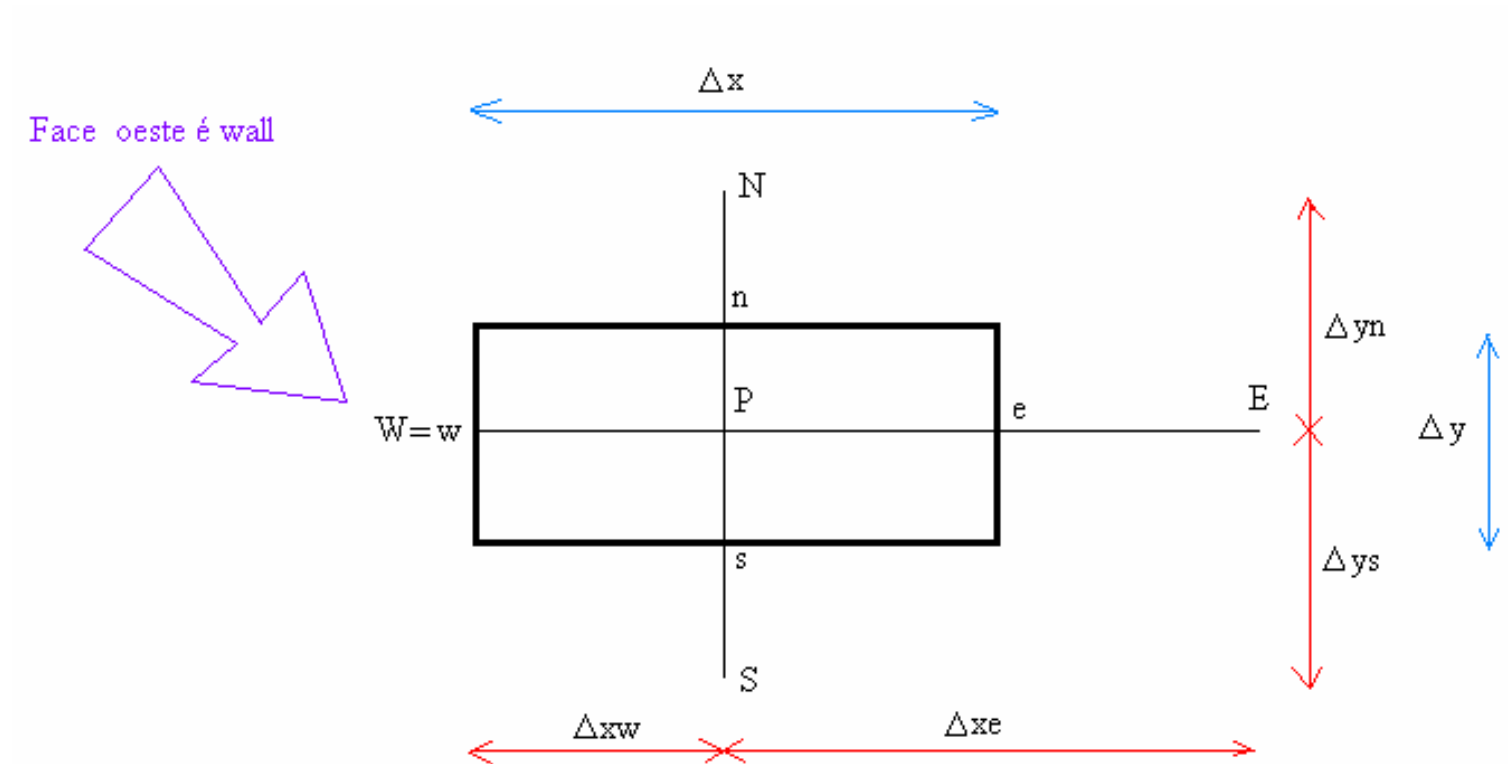
Como $\Phi_w = \Phi_{\text{inlet}}$, a equação acima resulta:

$$C_e \phi_e + C_n \phi_n + C_s \phi_s =$$
$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi^* \Delta x \Delta y$$

onde

$$S_\phi^* \Delta x \Delta y = S_\phi \Delta x \Delta y - C_w \phi_{\text{inlet}} + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_{\text{inlet}} - \phi_P}{\Delta x_w}$$

Wall



Nas paredes, as grandezas Φ também precisam ser especificadas (as velocidades serão tipicamente nulas) e o fluxo de massa é nulo.

Wall

$$C_e \phi_e + C_w \phi_w + C_n \phi_n + C_s \phi_s =$$

$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_W - \phi_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi \Delta x \Delta y$$

Como $\Phi_w = \Phi_{\text{wall}}$ e o fluxo de massa pela face oeste é nulo, a equação acima resulta:

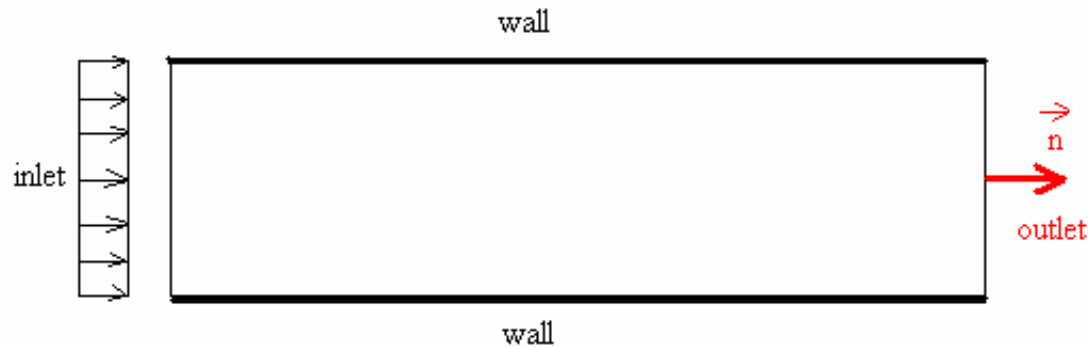
$$C_e \phi_e + C_n \phi_n + C_s \phi_s =$$

$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi^* \Delta x \Delta y$$

onde

$$S_\phi^* \Delta x \Delta y = S_\phi \Delta x \Delta y + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_{\text{wall}} - \phi_P}{\Delta x_w}$$

Outlet ou Outflow

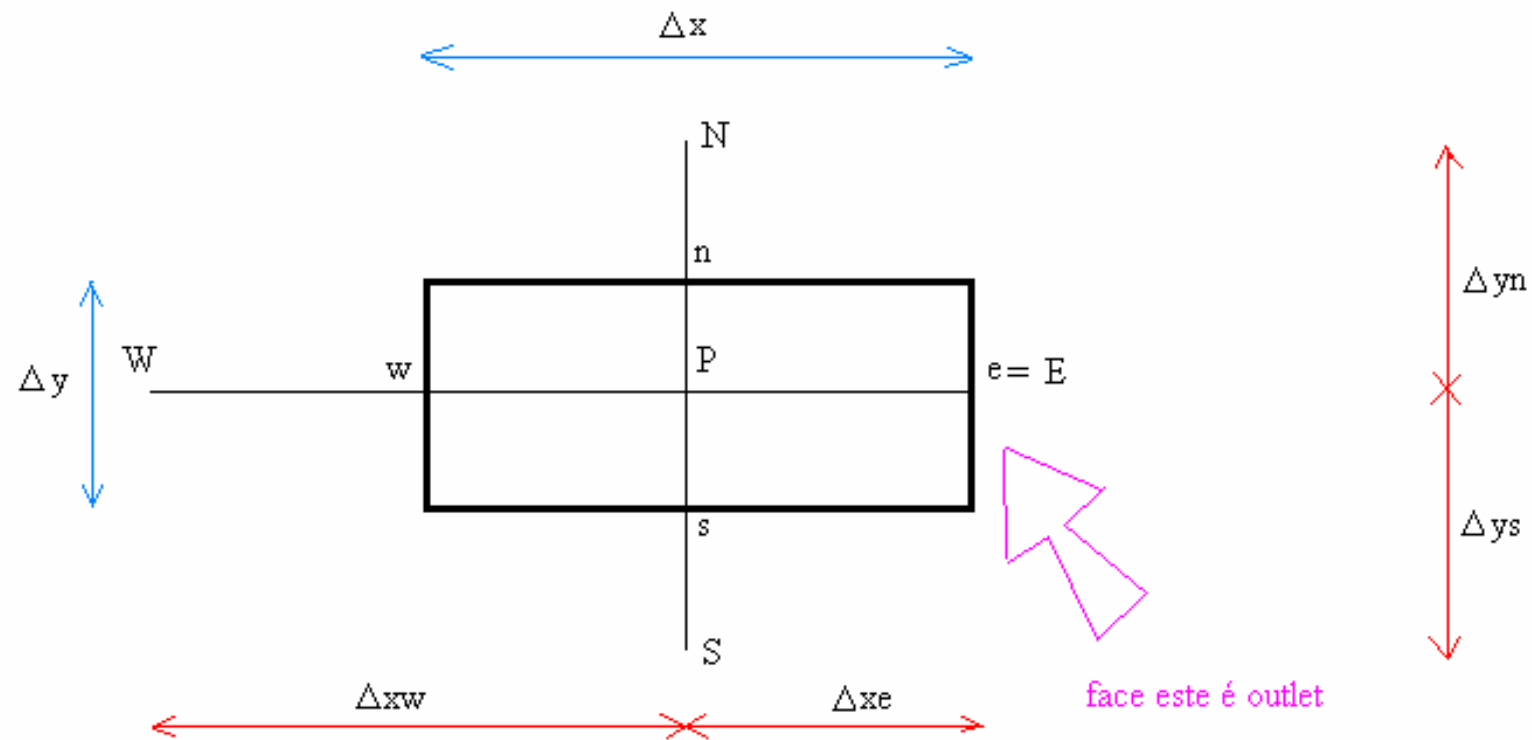


Tipicamente, nas regiões de saída de fluxo, temos:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$$

Explicação: nas regiões de saída de fluxo, se aplicarmos interpolação upwind, a derivada na direção normal à superfície de saída se torna nula.

Exemplo – *Outlet* ou *Outflow*



Exemplo – *Outlet* ou *Outflow*

$$C_e \phi_e + C_w \phi_w + C_n \phi_n + C_s \phi_s =$$

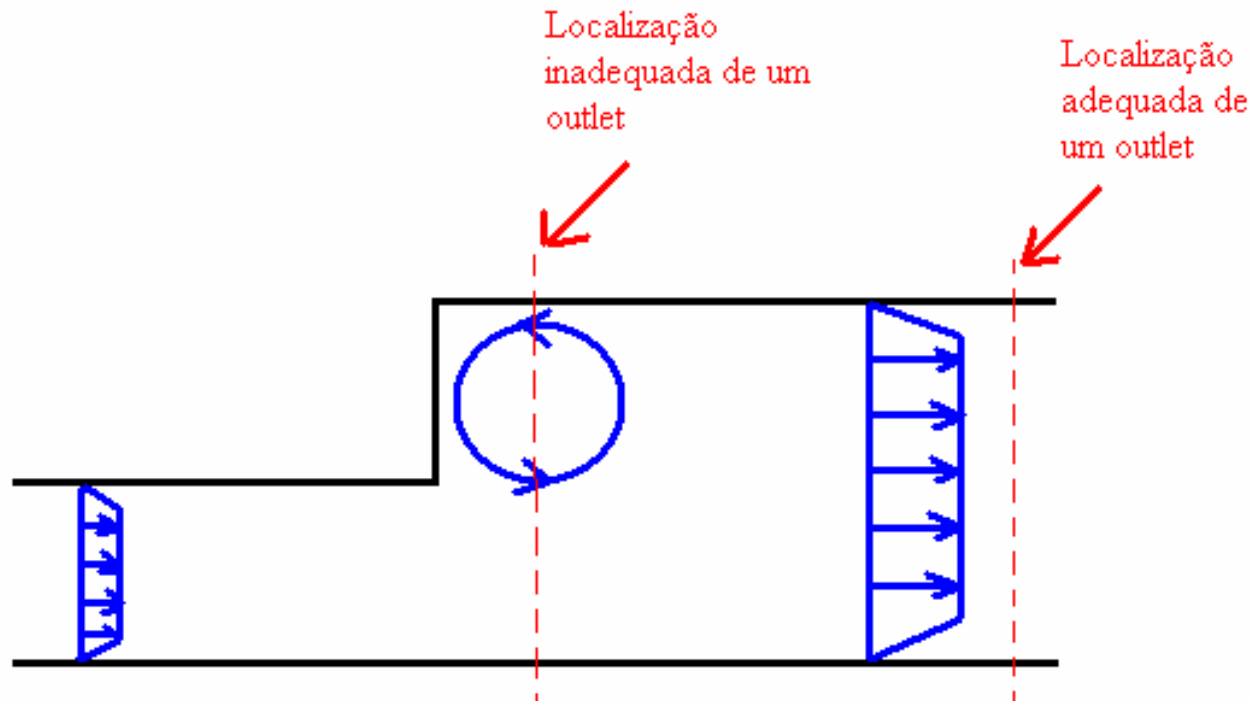
$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_W - \phi_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi \Delta x \Delta y$$

Com $\phi_e = \phi_P$, pois na face leste temos uma saída de fluxo e podemos aplicar interpolação *upwind*, resulta:

$$C_w \phi_w + C_n \phi_n + C_s \phi_s + C_e \phi_P =$$

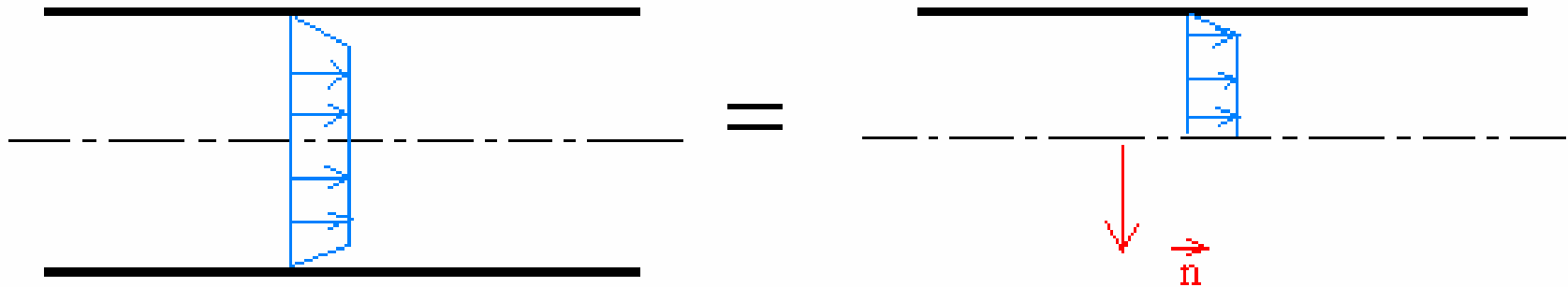
$$\Gamma_w \Delta y \frac{\phi_W - \phi_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi \Delta x \Delta y$$

Detalhe importante – localização de *outlet*



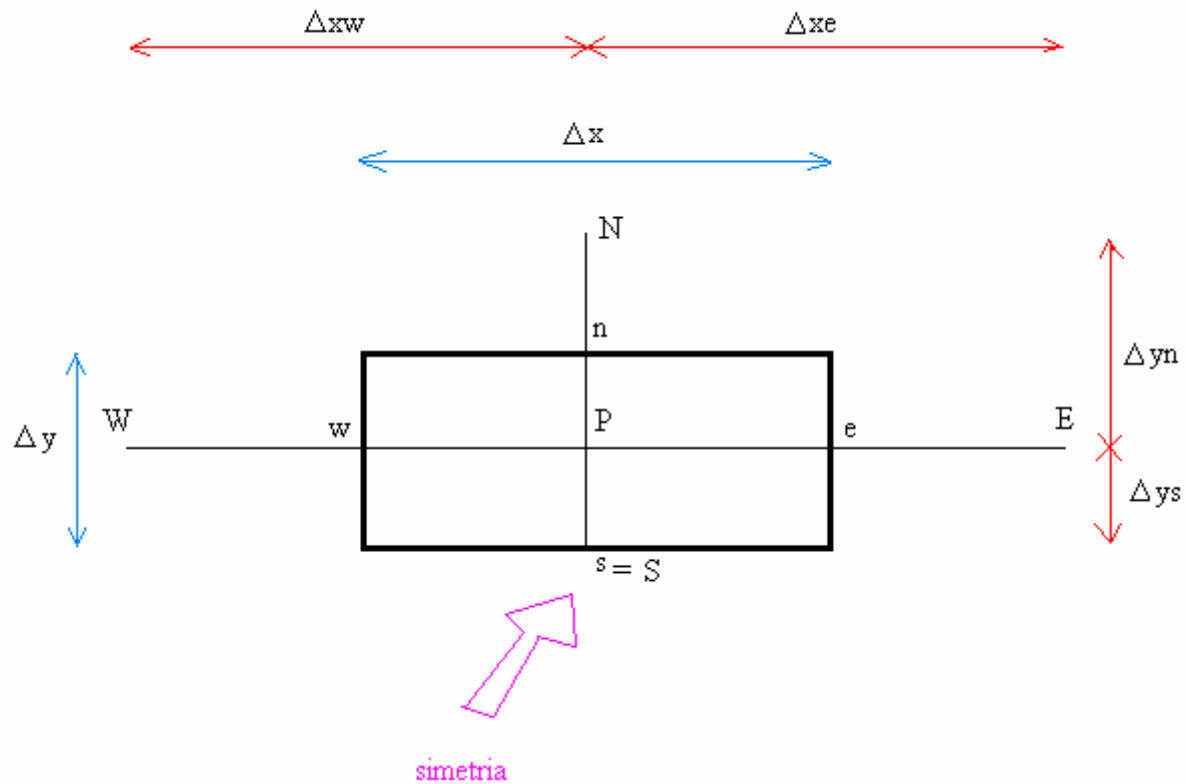
Outlets precisam ser localizados em regiões onde o fluido **obrigatoriamente** deixa o domínio de cálculo.

Simetry



Nas condições de contorno de simetria, $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$ para todas as variáveis menos para a velocidade na direção normal v_n , que tem que ser nula.

Exemplo- Simetria



Neste caso, como v é nulo na face sul, não temos fluxo de massa por essa face.

Exemplo- Simetria

$$C_e \phi_e + C_w \phi_w + C_n \phi_n + C_s \phi_s =$$

$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_W - \phi_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + \Gamma_s \Delta x \frac{\phi_S - \phi_P}{\Delta y_s} + S_\phi \Delta x \Delta y$$

Se $\Phi \neq v$, como $\Phi_S = \Phi_P$ e não temos fluxo de massa pela face sul, resulta:

$$C_e \phi_e + C_w \phi_w + C_n \phi_n =$$

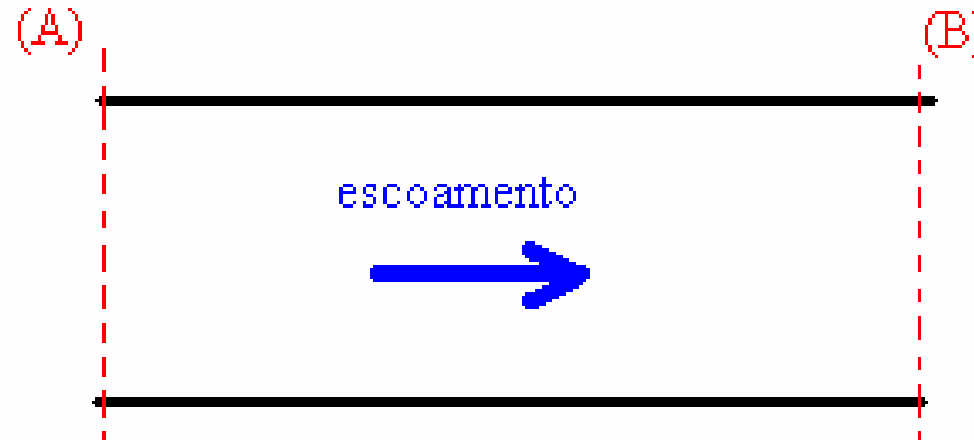
$$\Gamma_e \Delta y \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_e} + \Gamma_w \Delta y \frac{\phi_W - \phi_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_n} + S_\phi \Delta x \Delta y$$

Se $\Phi = v$:

$$C_e v_e + C_w v_w + C_n v_n =$$

$$\Gamma_e \Delta y \frac{v_E - v_P}{\Delta x_e} + \Gamma_w \Delta y \frac{v_W - v_P}{\Delta x_w} + \Gamma_n \Delta x \frac{v_N - v_P}{\Delta y_n} - \underbrace{\Gamma_s \Delta x \frac{v_P}{\Delta y_s}}_{S_v^* \Delta x \Delta y} + S_v \Delta x \Delta y$$

Periodic ou Cyclic



A condição periódica ou cíclica é implementada imaginando que os nós “oeste” da fronteira “A” são dados pelos nós sobre a fronteira “B”, e os nós “este” da fronteira “B” são dados pelos nós sobre a fronteira “A”.

Particularidades das condições de contorno da correção de pressão p' (algoritmo SIMPLE)

- Em fronteiras com a velocidade normal especificada, a derivada dp'/dn é nula. Assim, em *inlets*, paredes ou fronteiras de simetria essa é a condição usada.
- Em *outlets*, normalmente se deseja especificar uma pressão. Essa pressão é especificada nos dados de entrada e a correção de pressão sobre o *outlet* é mantida nula.

Bibliografia

Versteeg, H,K; Malalasekera, W., “An introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method”, 2nd Edition, Pearson Education Limited, 2007.

Maliska, C.R., “Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional, LTC editora, 1995.

Apsley, D., CFD Lecture Notes, University of Manchester, Spring 2007.

ANSYS CFX 14 Theory Guide, 2012.