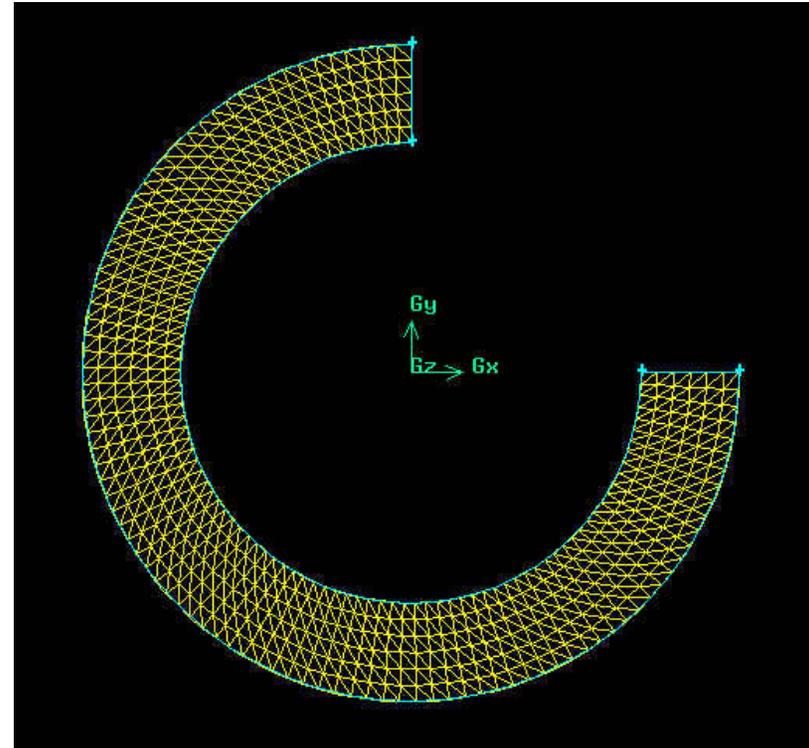
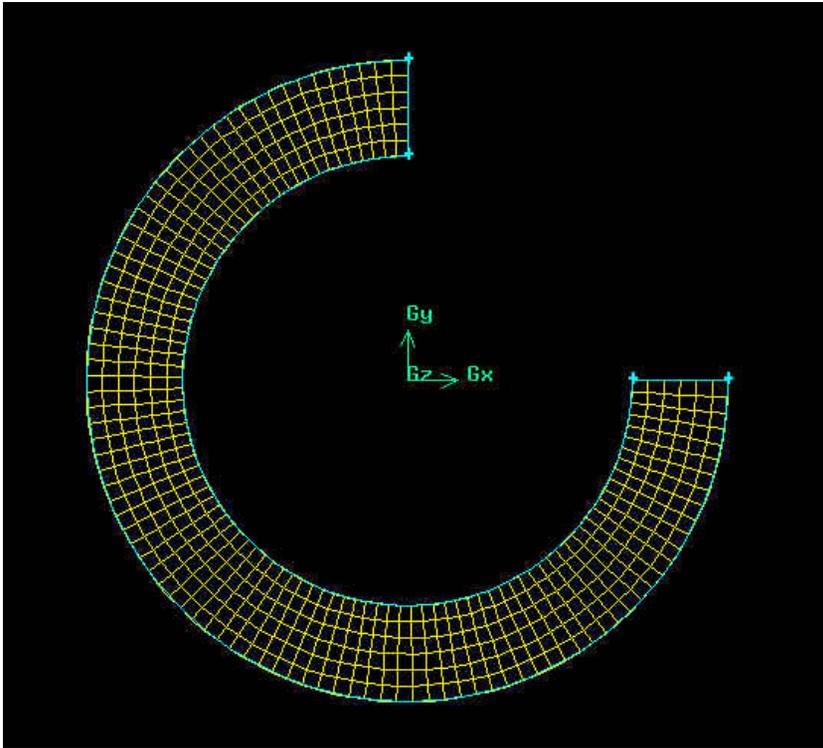


PME 2556 – Dinâmica dos Fluidos Computacional

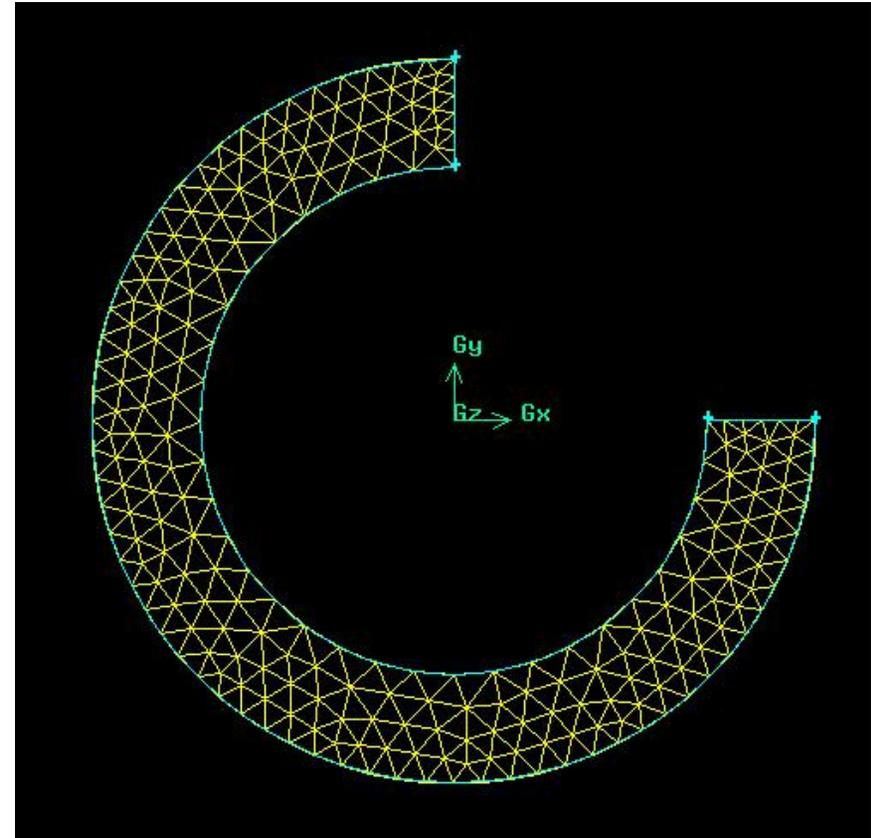
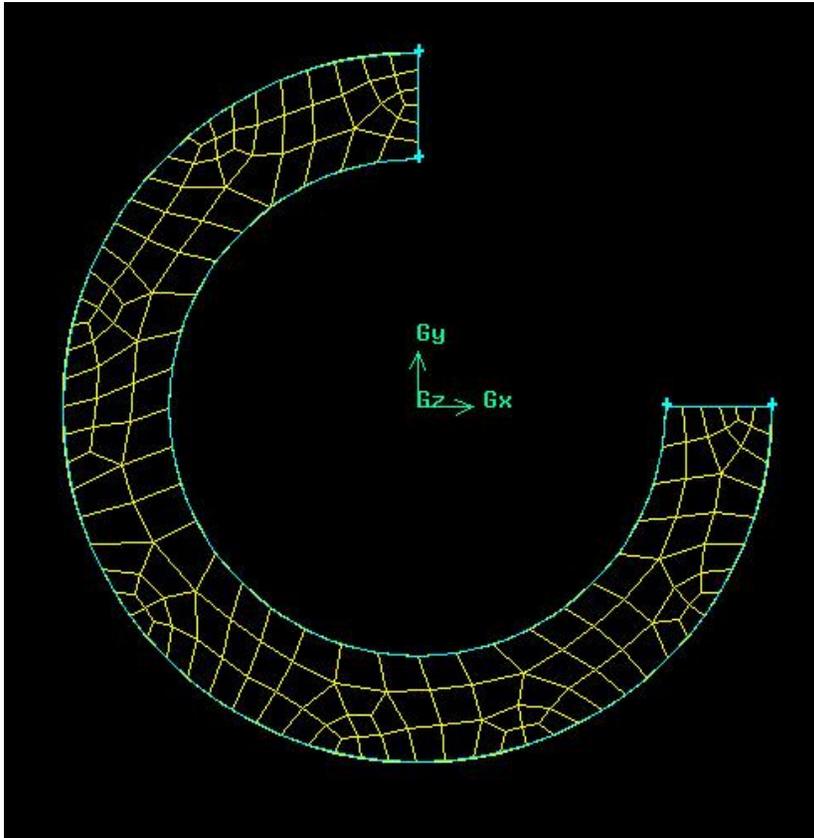
Aula 8 - Malhas não-estruturadas;
aplicação ao Método dos Volumes
Finitos

Malhas estruturadas



Elementos estão claramente distribuídos numa estrutura de linhas e colunas.

Malhas não-estruturadas



Elementos parecem ter sido gerados de forma quase aleatório de modo a preencher o espaço.

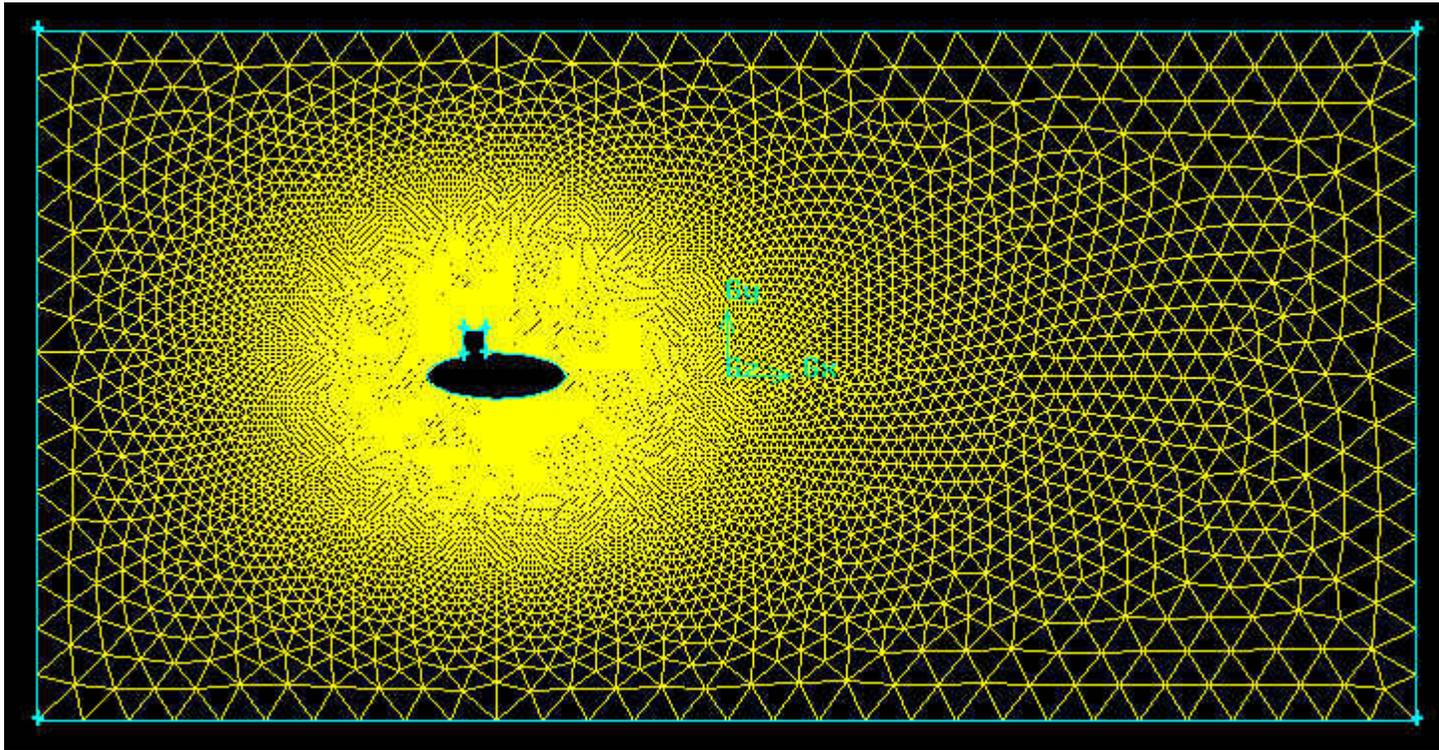
Vantagens e desvantagens – Malhas estruturadas

- Em geral, a programação do método é mais fácil: os vizinhos de cada elemento são conhecidos (conectividade da malha é obtida facilmente). Isso faz com que a exigência de memória seja menor.
- Pode ser difícil ou até impossível gerar uma malha para uma geometria muito complexa.

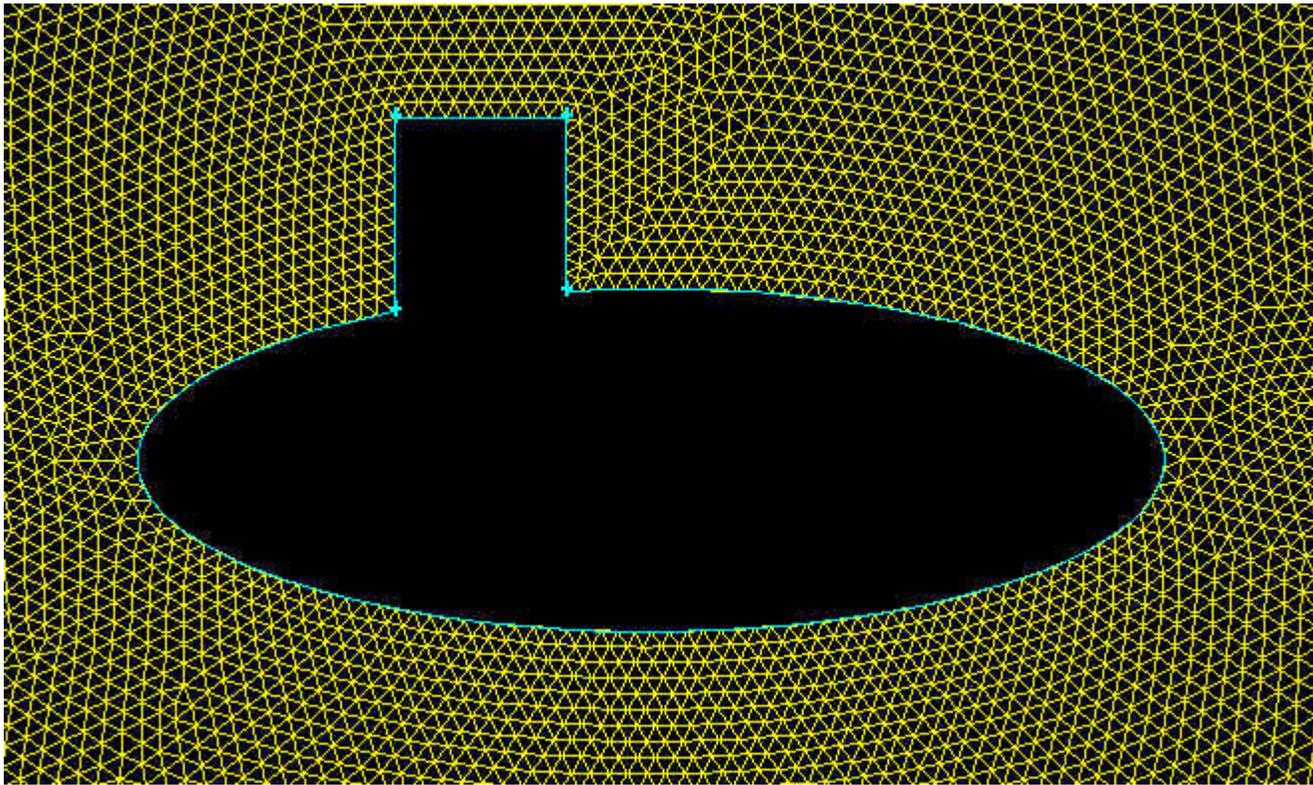
Vantagens e desvantagens – Malhas não-estruturadas

- Programação do método é mais difícil: os vizinhos de cada elemento não são facilmente conhecidos. É preciso estabelecer a conectividade da malha. Em geral, é preciso usar geradores de malha especiais. Armazenar a conectividade torna a exigência de memória maior.
- É mais fácil gerar malhas para geometrias complexas.

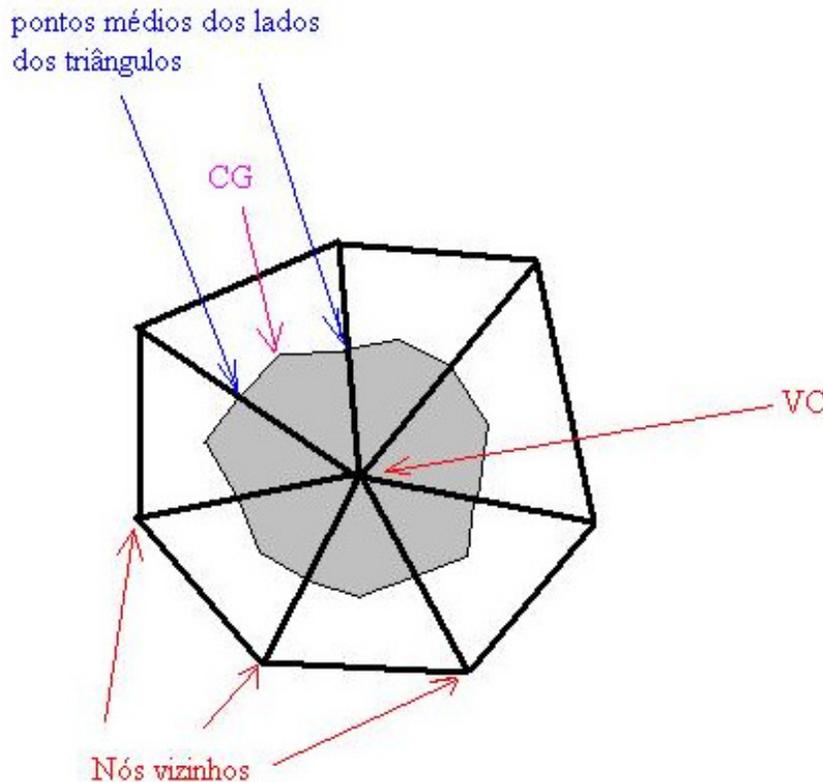
Exemplos – malha não-estruturada e geometria complexa



Exemplo – Detalhe



Formulação – Método híbrido de Elementos Finitos e Volumes Finitos



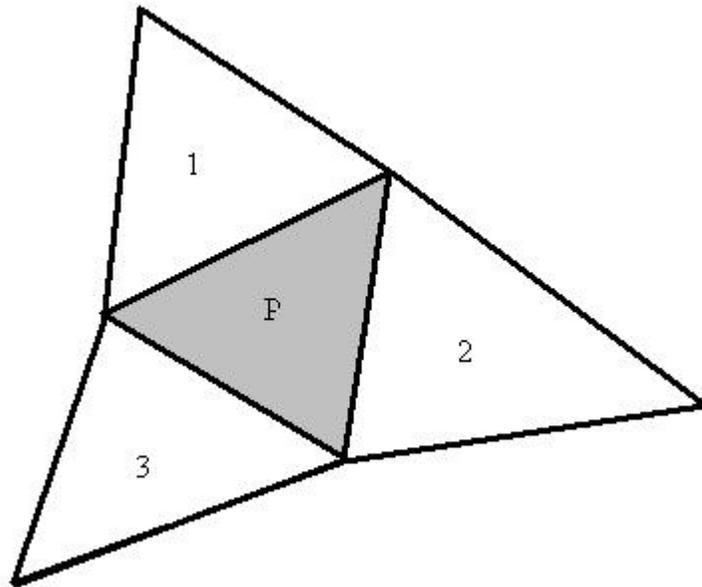
-Os volumes são formados ligando os pontos médios dos lados dos elementos aos baricentros.

-São usadas funções de forma típicas do método dos elementos finitos para fazer interpolações. Por exemplo, para triângulos:

$$\phi = ax + by + c.$$

-É a formulação usada no CFX.

Formulação – Método dos Volumes Finitos



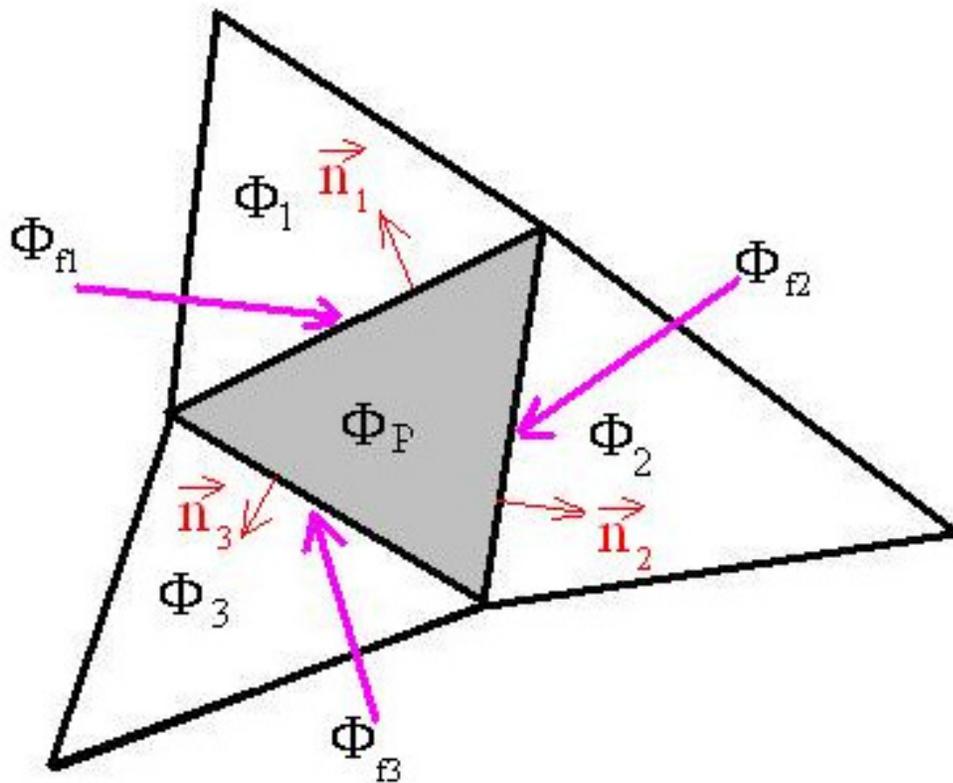
- Os próprios elementos são os volumes de integração das equações de transporte.
- É a formulação usada no FLUENT e OpenFOAM.

Equação de Transporte

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S_\phi$$

$$\int_{\forall C} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV + \int_{SC} \rho \phi \vec{u} \cdot \vec{n} dA = \int_{SC} \Gamma \nabla \phi \cdot \vec{n} dA + \int_{\forall C} S_\phi dA$$

Ponto crucial – avaliação dos gradientes



$$\int_{\forall C} \nabla \phi d\forall = \int_{SC} \phi \vec{n} dA$$

$$\nabla \phi = \frac{1}{\forall} \int_{SC} \phi \vec{n} dA = \frac{1}{\forall} \sum_{i=1}^3 \phi_{fi} \vec{n}_i A_i$$

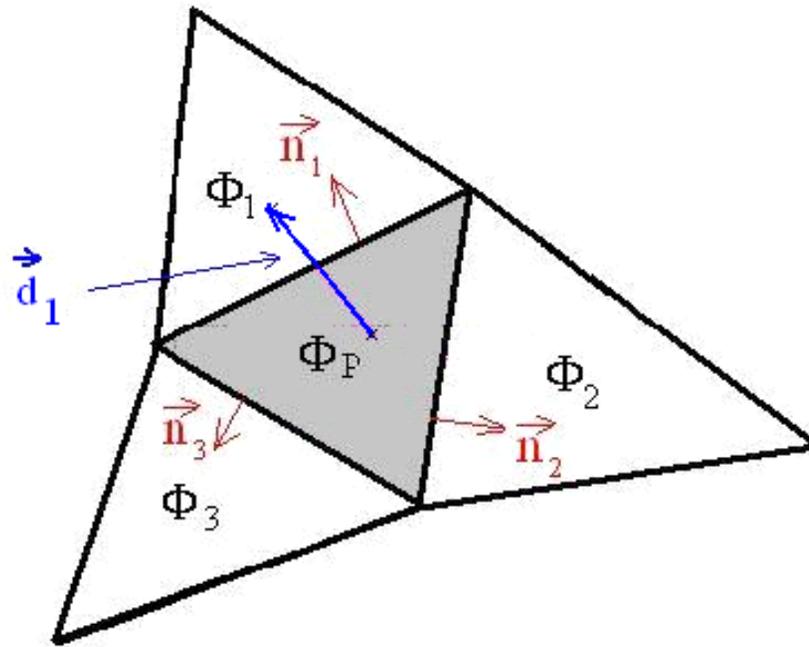
$$\text{com } \phi_{fi} = \frac{\phi_P + \phi_i}{2}$$

Avaliação do termo difusivo

$$\int_{SC} \Gamma \nabla \phi \cdot \vec{n} dA = \sum_{i=1}^3 \Gamma_{fi} \nabla \phi_{fi} \cdot \vec{n}_i A_i$$

onde $\nabla \phi_{fi} = \frac{\nabla \phi_P + \nabla \phi_i}{2}$

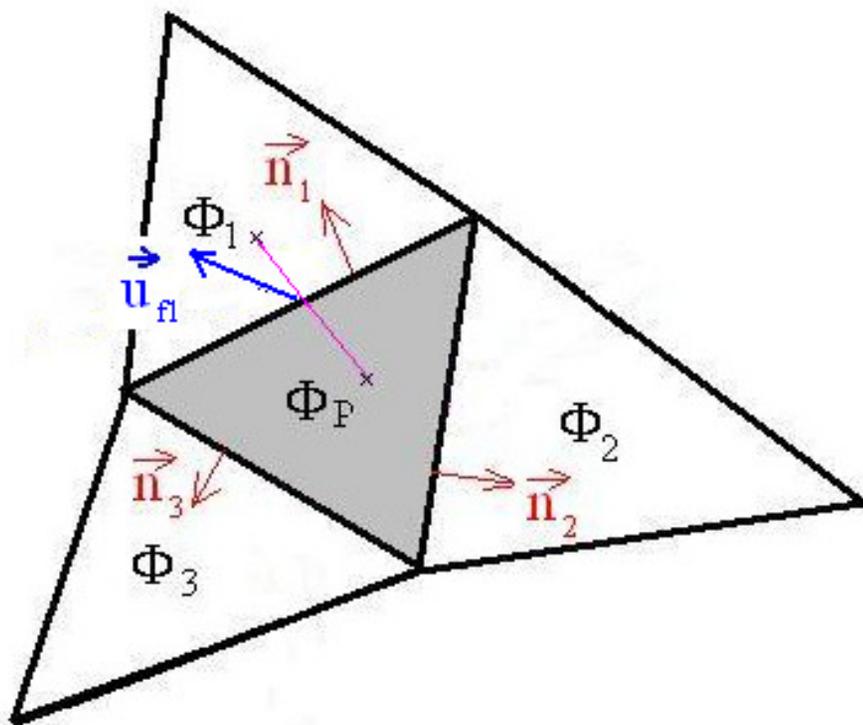
Avaliação do termo difusivo – forma alternativa



$$\Gamma_{fi} \nabla \phi_{fi} \cdot \vec{n}_j A_j = \underbrace{\frac{\Gamma_{fi} A_j}{\vec{d}_j \cdot \vec{n}_j} (\phi_j - \phi_P)}_{\text{esta parte forma o coeficiente de difusão}} + \underbrace{\Gamma_{fi} \nabla \phi_{fi} \cdot \vec{n}_j A_j - \frac{\Gamma_{fi} A_j}{\vec{d}_j \cdot \vec{n}_j} (\nabla \phi_{fi} \cdot \vec{d}_j)}_{\text{correção deferida somada ao termo fonte}}$$

Avaliação do termo convectivo – upwind de 1ª ordem

$$\int_{SC} \rho \phi \vec{u} \cdot \vec{n} dA = \sum_{i=1}^3 \rho_{fi} \phi_{fi} \vec{u}_{fi} \cdot \vec{n}_i A_i$$



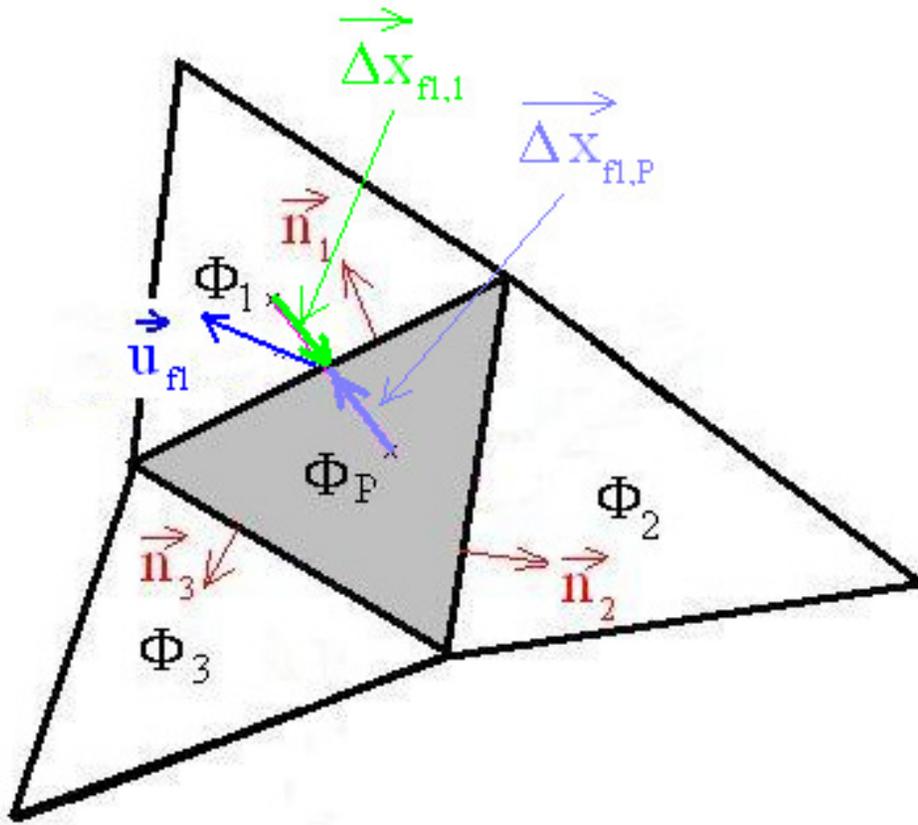
$$\vec{u}_{fi} \cdot \vec{n}_i > 0 \Rightarrow \phi_{fi} = \phi_P$$

$$\vec{u}_{fi} \cdot \vec{n}_i < 0 \Rightarrow \phi_{fi} = \phi_i$$

Avaliação do termo convectivo – upwind de 2ª ordem

$$\vec{u}_{fi} \cdot \vec{n}_i > 0 \Rightarrow \phi_{fi} = \phi_P + \nabla \phi_P \cdot \Delta \vec{x}_{fi,P}$$

$$\vec{u}_{fi} \cdot \vec{n}_i < 0 \Rightarrow \phi_{fi} = \phi_i + \nabla \phi_i \cdot \Delta \vec{x}_{fi,i}$$



Arranjo co-localizado

- Todas as variáveis (pressão, componentes da velocidade, temperaturas) são consideradas nos centróides dos elementos.
- Para evitar campos espúrios de pressão é usada a interpolação de Rhie&Chow.