



UM SISTEMA COMPUTACIONAL FLEXÍVEL PARA GERAÇÃO E ADAPTAÇÃO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS BIDIMENSIONAIS

Carvalho D. K. E.

Departamento de Engenharia Mecânica
Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE
Av. Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Recife/PE, 50740-530
Email: darlan@demec.ufpe.br

Lyra P. R. M.

Departamento de Engenharia Mecânica
Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE
Av. Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Recife/PE, 50740-530
Email: prmlyra@demec.ufpe.br

Resumo. Neste trabalho, é apresentado um sistema computacional, composto basicamente de dois programas “Gera_Tri e Gera_Quad_Mix”, capaz de gerar malhas não-estruturadas triangulares, quadrilaterais e mistas, sobre domínios planos quaisquer. O sistema de geração de malhas desenvolvido permite a definição de múltiplos subdomínios e o tratamento de malhas anisotrópicas (com elementos alongados numa direção) além de possibilitar a redefinição local ou global de malhas num dado domínio, objetivando a adaptação automática das malhas utilizadas numa simulação numérica. Um gerador de malhas triangulares o qual utiliza-se da técnica do “Avanço de Frente” é usado como base do nosso processo de geração de malhas. A técnica conhecida como “Avanço em Camadas” é utilizada para a obtenção de malhas triangulares alongadas, adequadas ao tratamento de problemas envolvendo regiões de elevados gradientes, tais como camada limite. As malhas quadrilaterais e mistas são construídas de maneira indireta a partir de uma malha triangular inicial. Nas malhas mistas, as regiões quadrilaterizadas podem ser definidas automaticamente pelo programa ou podem ser estabelecidas previamente pelo usuário. As facilidades no controle da qualidade, gradação e alongamento direcional dos elementos, e a flexibilidade para a definição automática do tipo dos elementos que devem ser usados numa dada análise são características importantes do sistema computacional desenvolvido.

Palavras Chave: Malhas Não-Estruturadas, Múltiplos Subdomínios, Malhas Mistas, Adaptação, Redefinição de Malhas.

1. INTRODUÇÃO

Já há algum tempo, a geração automática de malhas em duas dimensões, e mais recentemente em três dimensões, têm recebido atenção especial dos analistas numéricos que têm por principais objetivos, minimizar a intervenção humana no processo de geração, bem como maximizar a eficiência na obtenção automática das malhas (Thompson et al, 1999). A despeito de alguma controvérsia sobre a utilização de malhas estruturadas ou malhas não-estruturadas, estas últimas têm se tornado largamente empregadas devido à facilidade de sua utilização na representação de geometrias complexas e devido a estas se apresentarem como o ambiente natural para a

incorporação da adaptação de malhas, a qual representa uma ferramenta poderosa na solução de problemas complexos com soluções pouco previsíveis ou transientes, onde, os fenômenos envolvidos variam tanto no espaço quanto no tempo. De modo geral os analistas têm preferido usar elementos triangulares (ou tetraédricos) devido principalmente à flexibilidade geométrica, e ao baixo custo computacional, quando aproximações de baixa ordem são utilizadas. Além disso, também é verdade, que existem hoje disponíveis, diversos geradores comerciais e/ou acadêmicos de malhas não-estruturadas triangulares e tetraédricas com reconhecida robustez e capazes de lidar com geometrias extremamente complicadas. Contudo, devido a algumas formulações possuírem um melhor desempenho com elementos quadriláteros (ou hexaédricos), especialmente onde a solução é essencialmente unidimensional (ex. ondas de choque), pode ser interessante o uso de malhas totalmente quadriláteras ou mesmo mistas, com quadriláteros concentrados nas regiões de interesse.

Este trabalho se concentrou na tarefa de desenvolver uma ferramenta computacional flexível e robusta para a geração e adaptação de malhas não-estruturadas isotrópicas ou anisotrópicas (com alongamento preferencial ao longo de uma direção) triangulares, quadriláteras ou mistas (compostas de triângulos e quadriláteros) sobre geometrias planas quaisquer em 2-D. Esta ferramenta permite ao analista definir múltiplos domínios com diferentes configurações de malhas. Pode-se escolher adequadamente o tipo de malha a utilizar no problema, ou pode-se permitir que o programa o faça automaticamente de acordo com um critério previamente estabelecido. Além disso, existe a possibilidade da adaptação de malhas através de estratégias de redefinição global ou local da malhas (Global or Local Remeshing) num certo domínio. Os principais procedimentos desenvolvidos e empregados na construção do sistema de geração de malhas são aqui sumarizados. Diversos exemplos são apresentados para demonstrar a robustez e a flexibilidade do referido sistema de geração e adaptação de malhas.

2. GERAÇÃO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS TRIANGULARES, QUADRILÁTERAS E MISTAS EM 2-D

2.1 Geração de Malhas Triangulares

O ponto de partida de nosso trabalho foi um gerador de malhas não-estruturadas triangulares em 2-D o qual utiliza-se da técnica do Avanço de Frente (Peraire et al, 1999) para a discretização do domínio em estudo. Algumas modificações foram introduzidas no programa inicial para que tivéssemos a flexibilidade de lidar com múltiplos domínios e malhas anisotrópicas. Alguns algoritmos de otimização da qualidade da malha foram introduzidos especialmente para o tratamento das malhas anisotrópicas com o objetivo de minimizar o número de elementos com elevado grau de distorção e cuja qualidade pudesse comprometer a análise numérica (Lyra et al 1998). O procedimento de geração de malhas através da técnica do avanço de frente é apresentado nas Fig. (1), (2) e (3), e é resumido a seguir:

1. Fornecimento dos Dados de Entrada: *Geometria e parâmetros de controle da malha (espaçamento, direção e fator de alongamento) fornecidos através de uma malha de fundo (Background Mesh) que recobre todo o domínio.*

2. Discretização do Contorno: *Novos pontos nodais são criados sobre os segmentos do contorno de acordo com os parâmetros de controle da malha.*

3. Geração dos Elementos Triangulares: *Nós e elementos são criados simultaneamente de acordo com os parâmetros de controle da malha.*

4. Otimização da Malha Final: *Modificações topológicas e geométricas são realizadas sobre a malha objetivando melhorar a qualidade final dos elementos.*

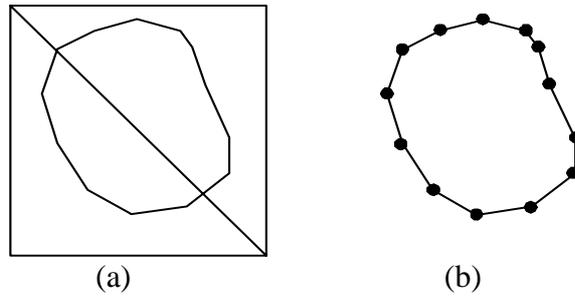


Figura 1. Malha de fundo (Background) sobre o domínio (a) e discretização inicial do contorno (b).

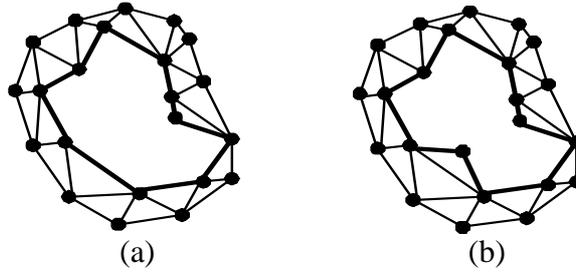


Figura 2. Etapas intermediárias de geração (a) e (b), com a criação de um triângulo (b).

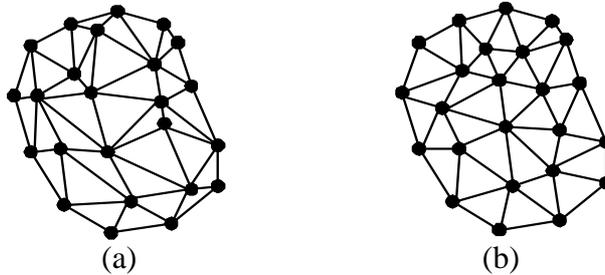


Figura 3. Malha não otimizada (a) e malha após o processo de otimização (b).

Para auxiliar a construção de malhas anisotrópicas, utilizamos uma transformação T , que é função dos parâmetros de controle da malha triangular, os quais são representados por duas direções de alongamento (α_i) e seus correspondentes tamanhos de elementos (δ_i) (Fig. 4).

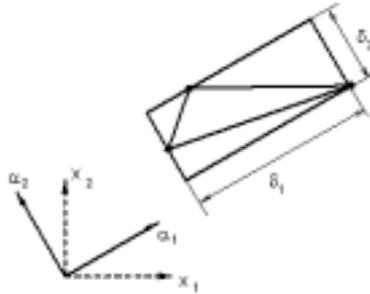


Figura 4. Parâmetros de controle da malha triangular.

Esta transformação é representada por uma matriz (2x2) (Eq. 1), que mapeia o domínio físico num domínio normalizado onde são gerados triângulos aproximadamente equiláteros e com dimensões unitárias de tal forma que, aplicando-se a transformação inversa (T^{-1}), obtemos elementos alongados na direção desejada no domínio físico.

$$T(\alpha_i, \delta_i) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\delta_i} \alpha_i \otimes \alpha_i \quad (1)$$

2.3 Geração de Malhas Quadrilaterais

A técnica utilizada neste trabalho para a geração de quadriláteros em duas dimensões foi uma das variações da abordagem indireta de geração de quadriláteros na qual inicialmente constrói-se uma malha triangular sobre o domínio em estudo e posteriormente converte-se esta malha, numa malha quadrilateral através de algum processo geométrico (Lee & Hobbs 1999,). O nosso programa funciona em princípio de acordo com o algoritmo proposto por Alquati & Groehs (1995), onde, em geral, impedimos a formação de quadriláteros não convexos e de má qualidade já na etapa inicial do processo de conversão, sendo que uma série de adaptações foi introduzida de modo que nosso sistema de geração de malhas nos permitisse gerar malhas totalmente quadrilaterais ou mistas, com quadriláteros concentrados nas regiões de interesse. Além disso, podemos tratar problemas que envolvam múltiplos subdomínios, malhas anisotrópicas e a adaptação de malhas de uma forma adequada. O procedimento utilizado para quadrilaterizarmos um dado domínio, é sumarizado a seguir:

- 1. Triangulação Inicial do Domínio:** *Através da técnica do avanço de frente (Fig. 5a).*
- 2. Construção de uma Malha Intermediária, Composta de Triângulos e Quadriláteros:** *Através da retirada de um lado comum a dois triângulos vizinhos (Fig. 5b).*
- 3. Subdivisão dos Elementos da Malha Intermediária:** *Triângulos e quadriláteros são subdivididos em quadriláteros (Fig. 6a).*
- 4. Otimização da Malha Final:** *Através de mudanças topológicas (permutação de diagonais) e mudanças geométricas (suavização laplaciana) (Fig. 6b).*

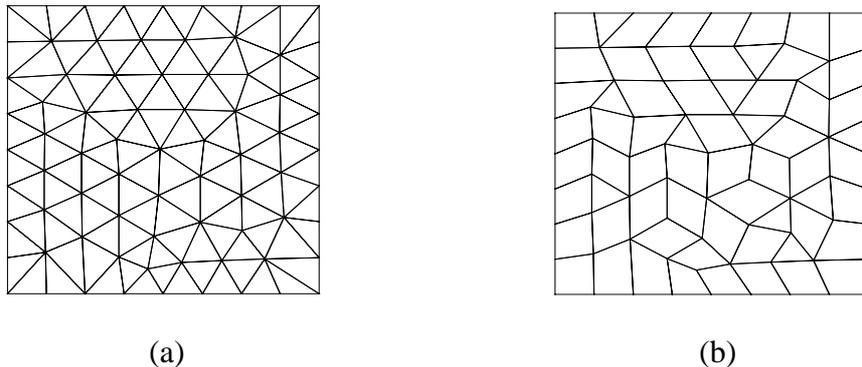


Figura 5. Malha inicial triangular (a) e malha intermediária obtida após a etapa de remoção de diagonais (b).

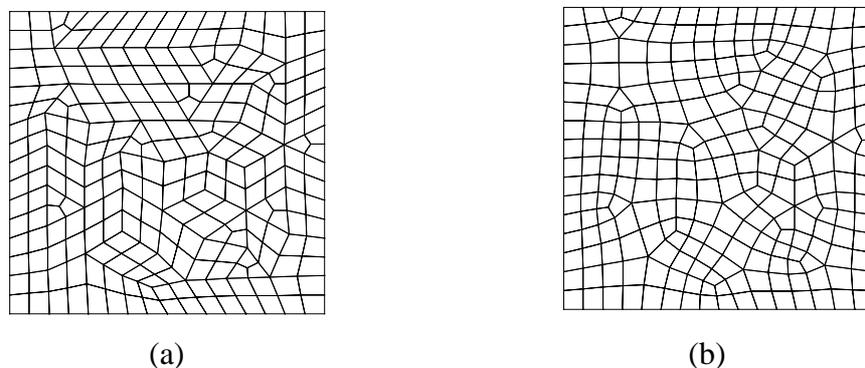


Figura 6. Malha quadrilateral sem otimização (a) e malha otimizada (b).

Como especificado no algoritmo anterior, os procedimentos de otimização da malha incluem as tradicionais técnicas de suavização laplaciana (Alquati, 1995) e algumas técnicas de permutação de diagonais. Um detalhe importante de nossa implementação no passo 2 do algoritmo anterior, diz respeito ao critério utilizado na remoção de diagonais (lados comuns a dois triângulos). Para malhas isotrópicas, as diagonais são removidas segundo um critério que privilegia a qualidade dos elementos (Alquati, 1995), e para malhas anisotrópicas, removem-se as diagonais segundo um critério que privilegia a direção de alongamento (Lyra & Carvalho, 2000 e Carvalho, 2001). Alguns algoritmos adicionais foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar especificamente a qualidade das malhas anisotrópicas (Carvalho, 2001).

2.4 Múltiplos Subdomínios e Malhas Mistas

Sempre que tratamos problemas acoplados (ex. problemas envolvendo interações fluido-estrutura), escoamentos multifásicos imiscíveis e certos problemas de mecânica dos sólidos em que materiais de diferentes propriedades são tratados em diferentes porções do domínio, precisamos construir malhas adequadas para cada parte deste domínio. Dentre as modificações implementadas no gerador de malhas triangulares, está a capacidade de gerar malhas consistentes, sobre múltiplos subdomínios. Esta flexibilidade foi introduzida através da triangulação independente de cada subdomínio, mantendo-se, é claro, a consistência entre as malhas nas interfaces entre os diferentes subdomínios.

Uma consequência natural de nosso sistema gerador de malhas ser capaz de lidar com múltiplos subdomínios é a possibilidade de se construir malhas mistas, compostas de triângulos e quadriláteros, nas quais podemos estabelecer previamente diferentes tipos de elementos em diferentes subdomínios. Além disso, também temos a flexibilidade de, num mesmo subdomínio, gerarmos elementos de diferentes tipos, determinados automaticamente através de um critério em que elementos triangulares adjacentes, considerados excessivamente alongados, são identificados formando uma 'subregião' em que os triângulos devem ser convertidos em quadriláteros pelo programa. É interessante notar que, por esta abordagem, um mesmo subdomínio pode possuir elementos de diferentes tipos, triangulares e quadriláteros, localizados em diferentes porções deste subdomínio (subregiões).

3. MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS EM REGIÕES DE CAMADA LIMITE

Muito se tem feito no desenvolvimento de procedimentos para geração de malhas não-estruturadas para a simulação de escoamentos aerodinâmicos não viscosos. Contudo, os maiores obstáculos ao desenvolvimento desta abordagem no tratamento dos escoamentos viscosos têm sido as dificuldades encontradas quando se tenta generalizar os procedimentos padrões de geração de malhas não-estruturadas para garantir a construção de elementos muito alongados, que são reconhecidamente os mais adequados à solução destes problemas nas regiões próximas às paredes sólidas.

A estratégia que adotamos consiste na utilização da técnica conhecida por "Avanço em Camadas" (Advancing Layers), com a qual se obtém malhas com elementos alongados nas adjacências de paredes sólidas. Este método foi apresentado por Hassan et al (1991) e posteriormente desenvolvido e estendido para três dimensões em Hassan et al (1996). Nesta técnica são utilizados, o método do avanço de frente e uma função padrão de controle da malha para a criação de elementos com fator de alongamento elevado (i.e. elementos muito alongados numa direção específica que é ditada pela direção da parede sólida neste caso). Esta estratégia é claramente adequada, para lidar com quaisquer problemas físicos que envolvam a presença de camadas limites com posição e direção pré-estabelecidas.

Através da técnica do avanço de frente, uma camada de elementos é produzida adjacente aos componentes da geometria que representam paredes sólidas. Assim que todos os elementos desta camada são formados Fig. (8a), os pontos que não pertencem à fronteira são movidos em direção às paredes sólidas Fig. (8b), mantendo obviamente a consistência da malha. Os pontos são movidos ao

longo dos lados dos elementos que os contém, até que eles se encontrem a uma distância da fronteira, especificada previamente pelo usuário. Os elementos cujos pontos movidos concorrem simultaneamente a uma mesma posição, não têm as características desejadas e são, portanto, eliminados formando-se desta maneira uma primeira camada de elementos Fig. (8b).

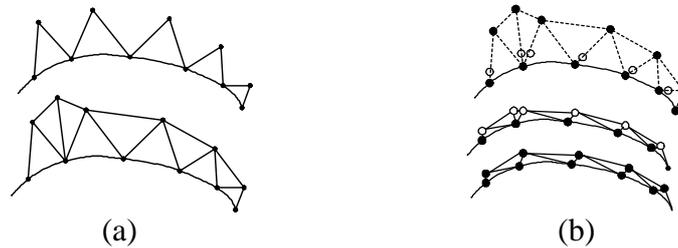


Figura 8. Avanço em Camadas: (a) Criação de uma camada; (b) Redução da espessura da camada e eliminação de elementos indesejáveis.

Ao final da formação desta camada de elementos, o processo é repetido de forma análoga para produzir um determinado número de camadas. Este número pode ser previamente especificado pelo usuário ou determinado automaticamente através de uma referência contínua à função de controle da malha, para garantir que a malha final exiba uma variação razoavelmente suave na distribuição de seus elementos. No primeiro caso, a espessura das camadas remanescentes, a partir da segunda, é fornecida pelo usuário de forma a permitir espessuras com valores arbitrários. No segundo caso, estas espessuras podem ser obtidas a partir de uma progressão geométrica cuja razão é também definida pelo usuário. Nas Figuras (8a) e (8b), resumimos o processo de formação das camadas, enquanto que nas Figs. (9), (10a) e (10b), apresentamos, um exemplo acadêmico com seus respectivos detalhes, em que uma malha mista foi gerada sobre dois subdomínios, sendo que, em ambos os subdomínios, sete camadas de elementos alongados foram construídas nas adjacências dos contornos. É interessante notar que esta técnica, do modo como foi descrita acima, apresenta dificuldades de ser utilizada em problemas tridimensionais. A extensão deste método para três dimensões é conhecida como "Avanço Sobre Normais" ou "Avanço das Normais" (Advancing Normals), (Hassan et al, 1996). A diferença fundamental deste procedimento para o descrito anteriormente consiste em que os novos pontos são criados sobre uma direção que coincide com a direção normal à superfície em questão, em relação aos pontos sobre o contorno. No caso de arestas representando quinas, esta direção normal é definida a partir de uma média entre as normais às superfícies que concorrem nesta aresta.

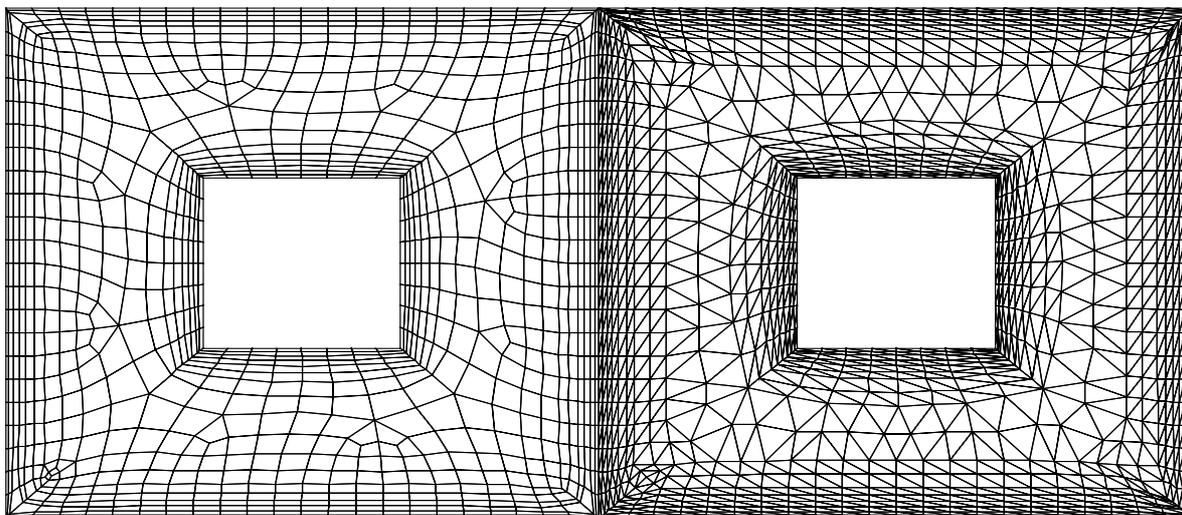


Figura 9. Malha mista sobre dois subdomínios utilizando-se a estratégia do avanço em camadas.

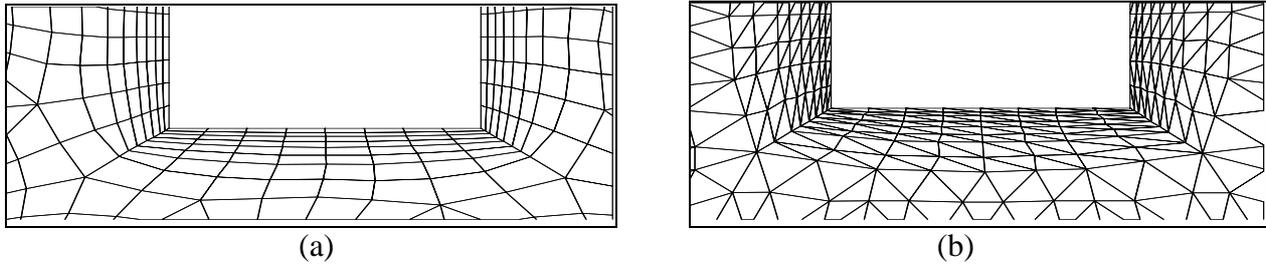


Figura 10. Detalhes dos furos da Figura 9: (a) subdomínio quadrilateral; (b) subdomínio triangular.

4. ADAPTAÇÃO DE MALHAS

A precisão da simulação numérica de um problema de engenharia depende, dentre outras coisas, tanto da ordem de aproximação quanto da distribuição dos pontos da malha ao longo do domínio computacional. A densidade, forma e gradação dos elementos de uma malha utilizada na resolução de um problema físico específico dependem tanto das características geométricas do problema, quanto do esquema numérico a ser usado na solução do problema em questão. Usualmente, a partir de algum tipo de estimativa de erro ou do conhecimento prévio do comportamento da solução do problema, desenvolve-se um procedimento de adaptação da malha, acoplando-se o processo de geração de malhas com o procedimento numérico de análise. Um algoritmo genérico para a adaptação de malhas é mostrado a seguir:

1. Construa um modelo numérico inicial (Elementos Finitos, Volumes Finitos, etc);
2. Calcule a solução na malha atual;
3. Calcule, de algum modo, uma estimativa de erro;
4. Escolha um critério para determinar a malha ótima;
5. Estime os parâmetros de controle para a nova malha;
6. Construa a nova malha e o correspondente modelo numérico;
7. Repita o processo até que um critério de tolerância global seja alcançado.

As estratégias de adaptação de malhas adotadas no presente trabalho foram a "Redefinição Adaptativa Global" (Peraire et al, 1987) e a "Redefinição Adaptativa Local" (Hassan et al, 1991 e Lyra et al, 2001) de malhas. Estas técnicas têm como virtudes, o fato de não aumentarem desnecessariamente o número de nós da malha, e conseqüentemente, o número de incógnitas do problema. Neste processo, a malha tanto é refinada nas regiões onde ocorrem elevados gradientes na solução, como é disrefinada nas regiões onde estes gradientes são muito baixos. A redefinição local de malhas é ainda mais atrativa que a redefinição global, pois, a cada etapa da adaptação, a malha é regenerada apenas nas regiões onde se faz necessário, economizando assim memória, tempo de CPU e minimizando a região que requer interpolação entre malhas, reduzindo portanto os erros associados a esta interpolação. No nosso sistema gerador de malhas, fizemos a extensão deste procedimento para tratarmos malhas triangulares, quadrilaterais ou mistas iso ou anisotrópicas (Carvalho, 2001 e Lyra et al 2001).

Conforme visto anteriormente, a idéia básica destes procedimentos é, a cada etapa da adaptação, usar a solução calculada sobre uma malha da etapa anterior para fornecer informação a respeito da distribuição espacial de certos parâmetros da malha. Esta informação é então usada pelo gerador na obtenção de uma nova malha, que atende à nova distribuição de parâmetros determinada pela análise de erros. A forma como estas duas estratégias foram implementadas pode ser resumida conforme o seguinte esquema:

1. Adaptando malhas triangulares, o procedimento consiste essencialmente em:

- 1.1 Gerar uma malha inicial sobre o domínio computacional;

- 1.2 Determinar os parâmetros de controle da nova malha (espaçamento, direções 'principais' e fator de alongamento), de acordo com uma análise de erros;
- 1.3 Estabelecer a malha atual como a nova malha de fundo (Background Grid);
- 1.4 Redefinir global ou localmente a malha, gerando uma nova malha triangular, usando a técnica do Avanço de Frente;
- 1.5 Caso a nova malha não seja satisfatória, voltar ao item 1.2.

2. Adaptando malhas quadrilaterais ou mistas, o procedimento é o seguinte:

- 2.1 Triangularizar os elementos quadrilaterais da malha atual (simplesmente dividindo os elementos quadrilaterais em dois triângulos);
- 2.2 Redefinir global ou localmente a malha, usando esta malha triangularizada como malha de fundo, conforme descrito para malhas triangulares;
- 2.3 Converter a nova malha triangular obtida após a redefinição da malha, de volta numa malha quadrilateral ou mista;
- 2.4 Caso a nova malha não seja satisfatória, volte ao passo 2.1.

Este procedimento, que de início pode parecer trabalhoso, pode ser totalmente automatizado e, além disso, a conversão de quadriláteros em triângulos envolve um custo computacional desprezível. No caso de problemas no regime transiente, para quaisquer tipos de malhas, o procedimento é repetido a cada intervalo de tempo ou conjunto de intervalos de tempo conforme estabelecido pelo analista.

A seguir, nas Figuras (11) e (12), apresentamos as malhas utilizadas na solução do problema da reflexão regular de um choque em um escoamento supersônico ($\text{mach}=2,0$) não-viscoso, cujo ângulo de ataque é de $-10,0^\circ$ (Lyra et al, 2001). A solução teórica consiste num choque refletido segundo um ângulo de $29,3^\circ$ com uma placa plana. Um domínio retangular é adotado, de tal forma que o choque está posicionado ao longo de sua diagonal. Nas Figuras (11a) e (11b), apresentamos duas malhas quadrilaterais anisotrópicas obtidas através da estratégia de adaptação que envolve a redefinição global de malhas. A malha da Fig. (11a) é a primeira malha obtida no processo adaptativo. Na malha final da Fig. (11b) o fator de alongamento máximo permitido foi da ordem de 150. A estratégia de adaptação de malhas isotrópicas levaria provavelmente a uma malha final com um número de elementos “ordens de grandeza” maior que o obtido com a presente estratégia. Nas Figuras (12a) e (12b), apresentamos o mesmo problema só que desta vez usamos uma estratégia de adaptação na qual nos utilizamos da redefinição local de malhas triangulares. Na Figura (12a) mostramos as regiões em que os nós e elementos foram eliminados e na Fig. (12b) mostramos a malha anisotrópica final obtida após três etapas da adaptação.

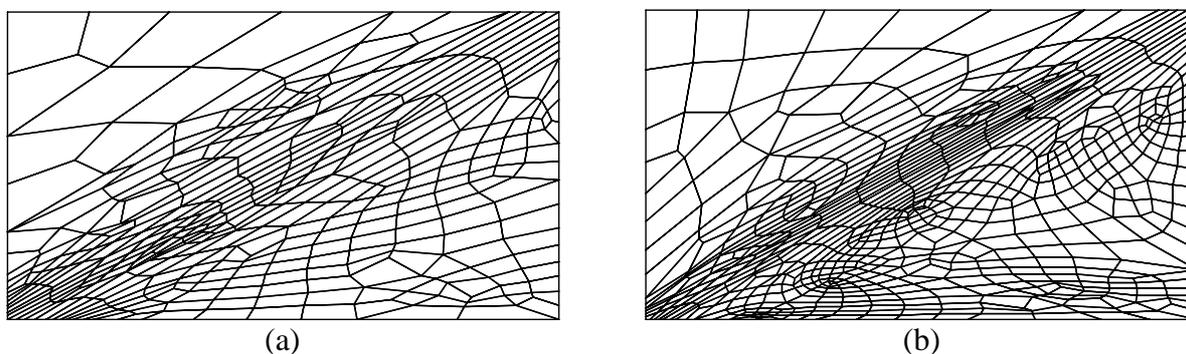
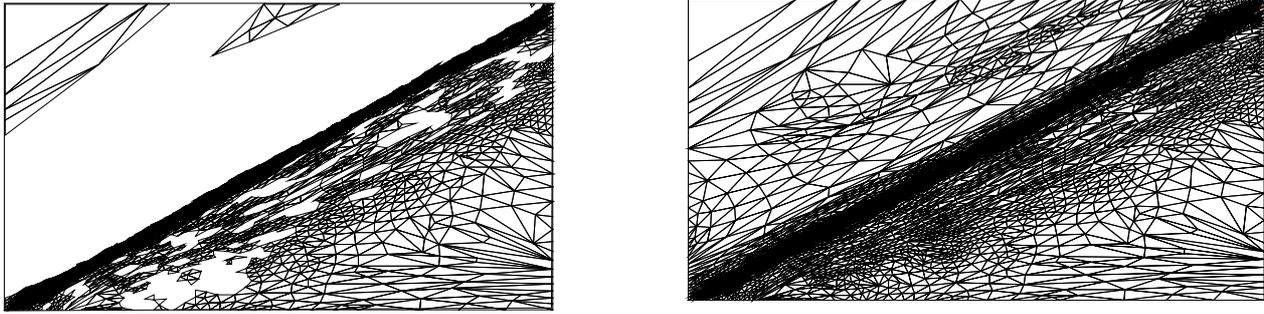


Figura 11. Primeira (a) e última (b) malhas anisotrópicas adaptadas num processo que envolve a redefinição global de malhas.

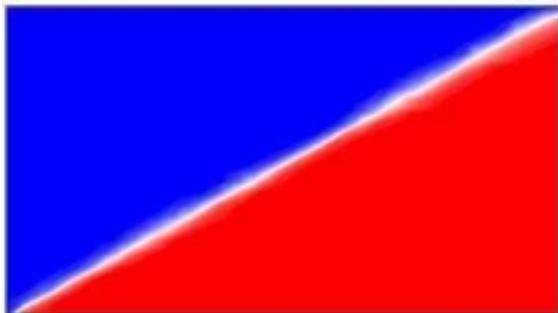


(a)

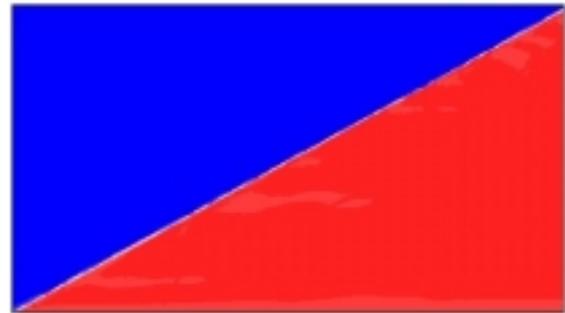
(b)

Figura 12. Duas etapas de um processo adaptativo que envolve a redefinição local de malhas anisotrópicas: (a) eliminação de nós e elementos; (b) malha final adaptada.

As Figuras (13a) e (13b) apresentam o mapa de cores para a distribuição de massa específica do problema do choque oblíquo descrito anteriormente. Na Figura (13a) utilizou-se uma malha quadrilateral (não mostrada) em que não foram empregados procedimentos de otimização da qualidade dos elementos da malha, os quais por sua vez estão alongados na direção do choque.



(a)



(b)

Figura 13. Mapa de cores para a massa específica do problema do choque oblíquo: em (a) resultado obtido com uma malha não otimizada; em (b) resultado obtido com uma malha em que foram aplicados os critérios de otimização da malha citados no item 2.3.

A Figura (13b) apresenta o mesmo fenômeno da Fig. (13a), sendo que o resultado apresentado na Fig. (13b) foi obtido utilizando-se uma malha quadrilateral em que foram aplicados os procedimentos de otimização da malha conforme descritos em Carvalho, 2001.

Apesar das características ‘comportadas’ da solução do problema (duas regiões de solução constante, em azul e vermelho, separadas por um choque) pode-se observar uma pequena melhoria (menor dispersão numérica) na captura do choque com a solução obtida com a malha onde foi realizado o procedimento de otimização da qualidade dos elementos. Deve-se ressaltar ainda que, em certos casos, a não realização da etapa de otimização da qualidade dos elementos das malhas pode dificultar, ou mesmo impedir a convergência do ‘solver’ utilizado, devido ao fato da matriz do sistema de equações algébricas resultante, tornar-se mal condicionada (Lyra et al, 1998).

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram mostradas as principais características do sistema gerador de malhas bidimensionais desenvolvido. Através dos exemplos apresentados, procuramos mostrar que o objetivo de gerar (em 2-D) malhas isotrópicas ou anisotrópicas, triangulares, quadrilaterais ou mistas consistentes em geometrias quaisquer, foi alcançado com sucesso. Como consequência das estratégias adotadas para a geração dos elementos quadrilaterais, muitas das características das malhas triangulares de partida estão presentes nas malhas quadrilaterais e mistas finais. Para a geração de malhas

com elementos alongados nas imediações dos contornos, a técnica do “Avanço em Camadas” foi estendida diretamente para o uso em múltiplos subdomínios, sendo que as malhas quadrilaterais e mistas correspondentes apresentaram basicamente as mesmas características em termos de alongamento e qualidade dos elementos. Os programas desenvolvidos incorporam elementos que permitem o seu uso na adaptação de malhas através de técnicas de redefinição global e redefinição local de malhas em múltiplos subdomínios (Global and Local Remeshing).

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à O. Hassan, K. Morgan e a J. Peraire por fornecerem o gerador de malhas triangulares que serviu de base para o nosso sistema gerador de malhas. Agradecemos também a CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro durante a realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- ALQUATI, E. L. G. & GROEHS, A. G., 1995, “Geração de malhas não estruturadas de elementos quadriláteros a partir de triangulações”, Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, “s.p.”.
- CARVALHO, D. K. E., 2001, “Um sistema computacional para geração e adaptação de malhas não-estruturadas bidimensionais”, Depto. de Eng. Mecânica UFPE, Dissertação de Mestrado.
- HASSAN, O.; MORGAN, K.; PROBERT, E. J.; PERAIRE, J., 1996, “Unstructured tetrahedral mesh generation for three-dimensional viscous flows”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 39, pp. 549-567.
- HASSAN, O.; MORGAN, K.; PERAIRE, J.; PROBERT, J.; THAREJÁ, R. R., 1991, “Adaptive unstructured mesh methods for steady viscous flows”, Technical Report, 91-1538, AIAA.
- LEE, C. K. & HOBBS, R. E., 1999, “Automatic adaptive finite element mesh generation over arbitrary two-dimensional domain using advancing front technique”, *Computers & Structures*, vol. 71, pp. 9-34.
- LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. DE; PEREIRA M. R.; ALMEIDA R. C., 2001, “Finite element compressible flow computation using a transient anisotropic remeshing procedure”, *European Cong. on Comp. Meth. in Appl. Scienc. and Eng. (ECCOMAS)*, Swansea, UK.
- LYRA, P. R. M. & CARVALHO, D. K. E. DE., 2000, “A flexible unstructured mesh generator for transient anisotropic remeshing” *European Congress on Computational methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS)*, Barcelona.
- LYRA, P. R. M.; CARVALHO, D. K. E. DE; WILLMERSDORF, R. B., 1998, “Adaptive triangular, quadrilateral and hybrid unstructured mesh generation with classical resequencing techniques”, 4th World Cong. on Computational Mechanics (IV WCCM), Buenos Aires, Argentina.
- PERAIRE, J.; PEIRÓ, J.; MORGAN, K., 1999, “Advancing front grid generation”, In: *Handbook of Grid Generation*. Florida, CRC Press, pp. 17.1-17.22.
- PERAIRE, J.; VAHDATI M.; MORGAN, K.; ZIENKIEWICZ, O. C., 1987, “Adaptive remeshing for compressible flow computations”, *Journal of Computational Physics*, vol. 72, pp. 449-466.
- THOMPSON, J. F.; SONI, B. K.; WEATHERILL, N. P., 1999, In: *Handbook of Grid Generation*, Florida, CRC Press.
- WEATHERILL, N. P., 1988 “A method for generating irregular computational grids in multiple connected planar domains”, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 8, pp 181-197.

A FLEXIBLE COMPUTATIONAL SYSTEM FOR THE GENERATION AND ADAPTATION OF BIDIMENSIONAL UNSTRUCTURED MESHES

Carvalho D. K. E.

Departamento de Engenharia Mecânica
Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE
Av. Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Recife/PE, 50740-530
Email: darlan@demec.ufpe.br

Lyra P. R. M.

Departamento de Engenharia Mecânica
Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE
Av. Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Recife/PE, 50740-530
Email: prmlyra@demec.ufpe.br

Abstract.

In this work we present a computational system that basically comprises two programs, “Gera_Tri” and “Gera_Quad_Mix”, which are capable of generating triangular, quadrilateral and mixed unstructured meshes over any planar domain. The developed mesh generation system, allows for the definition of multiples subdomains and the correct treatment of anisotropic meshes (with directional stretched elements), and it also allows for the use of remeshing procedures that aim the automatic adaptation of meshes used in a numerical simulation. A triangular mesh generator based in the advancing front technique is used as the core of our generation process. The so called advancing layers technique is used to obtain stretched meshes that are fitted to deal with problems concerning regions of high gradients (ex. boundary layers). The quadrilateral and mixed meshes are built using an indirect approach from an initial triangular mesh. In the mixed meshes the quadrilateral regions can be automatically defined by the program or they can be predefined by the user. The easiness in the control of the quality, gradation and stretching of the elements, and the flexibility for the automatic definition of the type of the elements that can be used in a certain analysis are some of the most important features of the developed computational system.

Keywords. *Unstructured Meshes, Multiple Subdomains, Mixed Meshes, Adaptation, Remeshing.*