



# XIII CILAMCE

Av. Osvaldo Aranha 99 3o Andar - CEP - 90035-190 - Porto Alegre - RS - Brasil  
Fone (051) 228-16-33 - Ramal 3486 - Fax (051) 227-18-07

## ISO-3D - VISUALIZADOR TRIDIMENSIONAL PARA CAMPOS ESCALARES E VETORIAIS

Clovis Raimundo Maliska Jr.  
Axel Dihlmann

SINMEC - Laboratório de Simulação Numérica  
em Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor

Depto. de Eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis, SC

### SUMÁRIO

Neste trabalho são apresentados os aspectos fundamentais de um software de pós-processamento tridimensional, desenvolvido para atender as necessidades dos analistas numéricos envolvidos com dinâmica dos fluidos computacional. O objetivo principal que norteou o desenvolvimento do software foi a criação de um aplicativo robusto, de fácil uso pelos analistas numéricos e com a característica de ser "enxuto", isto é, sem carregar os excessos de determinadas rotinas gráficas estabelecidas, que ao executarem uma certa tarefa, muitas vezes trazem junto estruturas desnecessárias quando a aplicação é em mecânica dos fluidos computacional. O aplicativo permite a manipulação genérica de imagens, incluindo-se cortes para a visualização interna dos campos de propriedades escalares e vetoriais e linhas escondidas. Através dos recursos de rotação, translação e escalonamento, bem como apresentação de figuras em perspectiva e atribuição de uma escala de cores relacionada aos valores do campo em estudo, obtêm-se imagens que permitem facilitar substancialmente a análise e interpretação de resultados numéricos para geometrias complexas. São abordadas as técnicas utilizadas nestes procedimentos de manipulação de imagens, e finalmente apresentam-se exemplos das potencialidades do programa.

### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e facilidade de acesso aos grandes computadores permitiu que a simulação de problemas de engenharia, através de modelos numéricos, possa ser realizada com custo significativamente menor, quando comparada com aqueles de processos de simulação experimental. Concomitantemente, inúmeras comparações de resultados numéricos com experimentais e analíticos tem sido realizadas, visando validar modelos matemáticos e

metodologias numéricas. Pode-se atualmente afirmar que resultados obtidos em simulações numéricas apresentam alto grau de confiabilidade, e podem ser utilizados com segurança na previsão de fenômenos físicos cujos modelos matemáticos são bem estabelecidos.

A solução numérica de problemas tridimensionais de mecânica dos fluidos envolve a resolução de um conjunto de equações diferenciais parciais. Estas equações são transformadas num sistema de equações algébricas pela aplicação dos princípios de conservação a volumes elementares obtidos com a discretização em volumes finitos do domínio de solução.

Em um problema de médio porte, podemos ter malhas da ordem de dezenas de milhares de volumes elementares, sendo associado a cada um deles os valores de  $x$ ,  $y$  e  $z$ , que definem a malha, e os valores de todas as variáveis do problema, em número de seis em um problema tridimensional. São, portanto, milhares de números que são fornecidos pelo computador na solução do problema. A única maneira de interpretá-los na sua forma global é através da visualização gráfica.

O presente trabalho apresenta o aplicativo ISO-3D, que tem como finalidade a representação tridimensional de malhas e de resultados obtidos em simulação numérica. Apesar de ter sido desenvolvido para visualização de resultados de simulações em mecânica dos fluidos, o aplicativo já foi empregado para a representação de dados obtidos por satélite, e pode ser usado para visualização gráfica de fenômenos de outras áreas da física e engenharia.

### 2. PROCEDIMENTOS DE MANIPULAÇÃO DE FIGURAS

O processo de discretização abordado anteriormente resulta numa malha que descreve o domínio físico do problema, ou seja, suas fronteiras e sua configuração interna, no que concerne à distribuição dos volumes. Portanto, cada ponto da malha possui suas respectivas coordenadas, relacionadas ao sistema de referência utilizado. Para a representação destes pontos de forma realista num monitor de vídeo, onde o sistema de referência é bidimensional, é necessário algum tratamento algébrico destes valores, como será visto a seguir.

#### 2.1 ROTAÇÃO

O processo de rotação é baseado no sistema de matrizes de rotação. A malha a ser transformada possui três matrizes de coordenadas:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Cada uma dessas matrizes é multiplicada pela matriz de rotação.

Os eixos de rotação desta matriz são fixos no plano cartesiano. Como exemplo é apresentada a rotação em torno do eixo  $Z$ .

$$X_{novo} = (X_{ant} - E_x) * \cos(\theta) - (Y_{ant} - E_y) * \sin(\theta) + E_x \quad (2.1.1)$$

$$Y_{novo} = (X_{ant} - E_x) * \sin(\theta) + (Y_{ant} - E_y) * \cos(\theta) + E_y \quad (2.1.2)$$

onde  $E_x$  é a posição cartesiana do eixo em  $X$  e  $E_y$  é a posição cartesiana do eixo em  $Y$ . Para a realização das demais rotações, segue-se o mesmo procedimento.

#### 2.2 TRANSLAÇÃO

O processo de translação é feito pela soma das matrizes da malha pelo valor de translação especificado.

#### 2.3 ESCALONAMENTO

O processo de escalonamento é executado pela multiplicação das matrizes  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  pelo coeficiente especificado. Existe ainda a opção de escalonar as matrizes em relação à um ponto  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Tem-se, assim,

$$X_{novo} = (X_{ant} - P_x) * coef + P_x \quad (2.3.1)$$

$$Y_{novo} = (Y_{ant} - P_y) * coef + P_y \quad (2.3.2)$$

$$Z_{novo} = (Z_{ant} - P_z) * coef + P_z \quad (2.3.3)$$

onde  $(P_x, P_y, P_z)$  são as coordenadas do ponto referencial de escalonamento, e *coef* é o valor do escalonamento.

## 2.4 PERSPECTIVA

O processo de perspectiva é feito alterando os valores  $X$  e  $Y$  da matriz da malha, onde os pontos mais profundos (com um valor  $Z$  maior) serão aproximados a um determinado eixo, perpendicular ao plano  $x, y$ .

$$X_{novo} = \frac{X_{ant} - P_x}{(Z_{ant} 10^{-3}) + 1} + P_x \quad (2.4.1)$$

$$Y_{novo} = \frac{Y_{ant} - P_y}{(Z_{ant} 10^{-3}) + 1} + P_y \quad (2.4.2)$$

onde  $(P_x, P_y)$  são as coordenadas  $x$  e  $y$  do eixo. Neste caso a coordenada  $Z$  do observador não aparece na equação, uma vez que este está sempre voltado para a direção crescente do eixo  $Z$ , sobre a coordenada de origem do mesmo.

## 3. ATRIBUIÇÃO DE CORES

### 3.1 INTERPOLAÇÃO

Existem procedimentos diversos para atribuição de cores a campos discretos. Usualmente, devido à simplicidade, atribui-se uma cor a todo o volume elementar, sendo esta correspondente ao valor médio das propriedades neste volume. Como consequência, obtêm-se figuras que apresentam saltos descontínuos nas isolinhas resultantes do processamento. Isto dificulta a interpretação dos gradientes da propriedade, além de produzir um aspecto visual desagradável.

Torna-se imperativo, portanto, obter uma interpretação visual que amenize tais problemas, o que é feito através de uma interpolação de valores nas posições dos píxeis onde estes não são disponíveis (Menezes, Dihlmann, 1991). Observe-se que a discretização necessária para a solução de um determinado problema físico dificilmente coincide com aquela utilizada pelo equipamento de visualização, ou seja, o monitor de vídeo do computador. Ressalte-se que uma forte tendência em técnicas modernas de simulação que utilizam malhas estruturadas, é o uso de um sistema coordenado coincidente com as fronteiras do domínio em estudo, visando facilitar a aplicação das condições de contorno (Thompson et. al., 1977). Portanto é necessário um tratamento para que a representação visual seja coerente com o campo em estudo.

Observando-se a Fig. 1, nota-se que as propriedades estão disponíveis no centro de cada volume de controle da malha curvilínea representada pelas linhas cheias. Suponhamos agora que necessitemos dos valores para a malha pontilhada que representa a configuração dos píxeis num determinado monitor de vídeo. Para isto escolhemos, optando por uma varredura no sentido vertical, um determinado volume ou píxel da malha do monitor, representado pelo quadrado hachurado na Fig. 1.

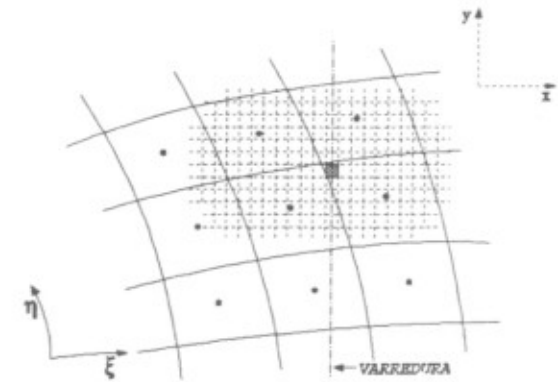


Figura 1 - Discretização da malha curvilínea utilizada para a solução do problema físico, comparada com aquela utilizada pelo dispositivo de visualização (monitor de vídeo).

Reportando-nos à Fig. 2, notamos que o valor da propriedade no ponto  $E$  pode ser calculado utilizando-se o valor da posição  $x$  do píxel  $P_1$ , escolhido para a representação, substituído na equação da reta  $A-B$ . Note-se que os pontos que formam a reta  $A-B$  têm suas posições coordenadas e o valor da propriedade previamente conhecidos. Executa-se o mesmo procedimento sobre a reta  $C-D$ , obtendo-se o valor interpolado na posição  $F$ . Finalmente interpola-se novamente entre os valores nas posições  $E$  e  $F$ , chegando-se ao valor da propriedade na posição  $P_1$ . Ainda na Fig. 2 é possível observar o processo acima descrito aplicado à posição do ponto  $P_2$ . Os valores assim obtidos são comparados com a variação total do campo e relacionados com a escala de cores, que é definida no tópico 3.2.

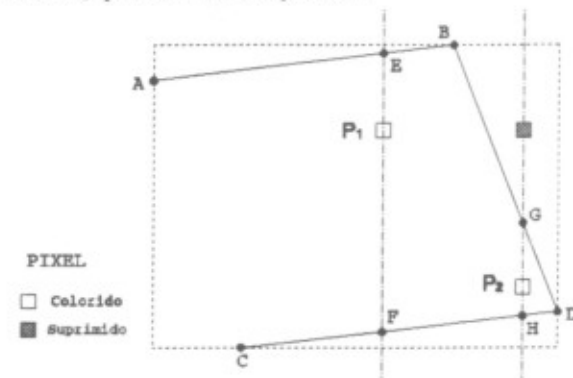


Figura 2 - Metodologia para a obtenção dos valores interpolados internos ao volume elementar a ser representado.

Deve-se notar que para o preenchimento de todos os píxeis contidos no volume de controle dado pela malha física, é necessário executar o procedimento acima descrito entre os

limites formados pelas linhas pontilhadas que constam na Fig. 2, excluindo do processo os píxeis que estão fora deste volume elementar. Uma vez feito o cálculo das propriedades em todo este volume e atribuídas as cores correspondentes a cada um dos píxeis, passa-se para o próximo elemento, até que todo o domínio formado pela malha seja representado.

### 3.2 ESCALA DE CORES

A escala de cores é basicamente um vetor onde estão armazenadas as características das cores (vermelho, verde, e azul, comumente mencionadas como RGB) que devem ser relacionadas com a variação total dos valores do campo. Foi implementado um procedimento em que a definição da escala de cores pode ser feita da maneira desejada. A possibilidade de ter-se várias escalas de cores confere generalidade à representação de diferentes fenômenos físicos. O processo de definição da escala de cores utiliza uma técnica de escolha de objetos, onde cada um destes possui, como propriedades, a sua cor (RGB) e a sua posição relativa na escala. Assim é possível modificar-se os valores de um determinado objeto e a escala se configura de maneira a formar um degradê entre este e os demais objetos.

### 4. LINHAS ESCONDIDAS

Até o momento, dois procedimentos para a eliminação das linhas escondidas foram implementados.

#### 4.1 PROCESSO NUMÉRICO

O processo a seguir descrito visa a geração de arquivos de saída com linhas escondidas para posterior plotagem em periféricos.

1 - Inicialmente é necessário que se determine quais pontos são visíveis e quais estão escondidos. Para isso, adotou-se o mesmo esquema que aquele anteriormente descrito, usado para a atribuição de cores dentro de cada volume, obtendo-se como valor interpolado a coordenada de profundidade em relação à tela do monitor.

2 - Executado este processo, conhecemos quais os segmentos de reta que ligam pontos que são totalmente visíveis (1), parcialmente visíveis (2) e totalmente invisíveis (3). Os segmentos de retas (1) são plotados por inteiro. Nos segmentos (2), é necessário determinar-se a parcela visível, isto é, o ponto onde a reta passa a ser escondida. Para isso, determina-se qual a face de volume que esconde aquela parte do segmento de reta, e determina-se o ponto de intersecção resultante. Plota-se somente do ponto visível até a intersecção calculada. Os segmentos de reta (3) não são plotados.

#### 4.2 PROCESSO VISUAL

O processo de linhas escondidas visual é muito simples, mas possui algumas restrições. A representação é executada a partir da face do volume com coordenada Z média mais profunda em relação ao monitor de vídeo, seguindo em ordem decrescente de profundidade. Assim, se algum outro objeto estiver atrás daquele que atualmente está sendo representado, será então encoberto. À medida que este procedimento é executado, pode-se implementar também o tratamento de interpolação do campo.

Este algoritmo, embora significativamente mais rápido que o anterior, apresenta como inconveniente a impossibilidade de saída em dispositivo de plotagem.

### 5. ISOLINHAS

O processo de isolinhas tem o mesmo objetivo do tratamento de interpolação e atribuição de cores ou seja, permitir a observação das características do campo em estudo. Neste caso, plotar-se-ão curvas de valor constante, possibilitando a saída de campos em periféricos.

### 5.1 DETERMINAÇÃO DE ISOLINHAS

Para a sua determinação, estabeleceu-se os seguintes tipos de curvas, caracterizadas pelos seus pontos iniciais e finais:

- A - Inicia e termina numa fronteira;
- B - Inicia numa fronteira e termina dentro do campo;
- C - Inicia dentro do campo e termina dentro do campo;
- D - Isocurva fechada, impossível determinar início e fim.

O algoritmo para a determinação das isolinhas é a seguir explicado:

- 1 - Faz-se um loop em que varia-se o valor da isolinha procurada, determinando, assim, as isolinhas valor por valor.
- 2 - Faz-se um rastreamento das fronteiras para verificar a existência de isolinhas com o valor procurado. Caso existir, dentro do volume achado, executa-se o mesmo processo da interpolação anteriormente explicado, tendo como variáveis o valor de  $x$  e da propriedade, e como incógnita o valor de  $y$ . Após executado o procedimento dentro daquele volume, procura-se qual o próximo elemento a ser interpolado. Para isso precisa-se saber por qual das fronteiras do volume a isolinha passa. Repete-se este processo até a verificação da não existência de mais nenhuma isolinha deste tipo no campo.
- 3 - Faz-se agora um rastreamento interno do campo, para determinar-se as isolinhas fechadas, seguindo o mesmo processo explicado anteriormente.
- 4 - Tem-se agora determinadas todas as isolinhas de um valor especificado existentes no campo. Passa-se para a determinação da próxima, se desejado.

Também dentro do módulo de isolinhas podemos pintá-las com o seu valor correspondente na escala, ou podemos colorí-la com a cor de um outro campo interpolado, possibilitando a visualização de dois campos escalares simultaneamente.

### 6. VETORES

A representação de vetores obedece ao seguinte procedimento: acha-se o centro geométrico do volume em foco e liga-se uma reta deste ponto  $(x, y, z)$  até o ponto  $(x+u, y+v, z+w)$ , onde  $u, v$  e  $w$  são, respectivamente, os valores da projeção do vetor velocidade nos planos  $(x, y)$ ,  $(x, z)$  e  $(y, z)$ .

Também há a opção de plotar-se o vetor com uma cor relacionada com o valor de um determinado campo de propriedade no local onde está sendo feita a representação, visualizando-se simultaneamente um campo escalar e um campo vetorial.

### 7. MULTI-BLOCOS

É bastante comum em simulações numéricas de problemas de escoamento de fluidos fazer o particionamento do domínio de solução quando este é muito complexo ou quando a malha global é excessiva para a memória da máquina disponível. Por este motivo foi também necessário o desenvolvimento da opção de visualização dos múltiplos blocos empregados na simulação. Nesta opção pode-se manipular (rotacionar, translacionar, escalonar e etc.) independentemente cada domínio, podendo-se, assim, posicioná-los numa mesma tela. Esta técnica é particularmente importante em simulações transientes, onde se deseja visualizar, de uma só vez, a evolução temporal do fenômeno. Nas Figs. 5, 8, 9 e 10 pode ser observada a utilização desta técnica, apesar do problema físico não ter sido calculado através do método de multi-blocos. Em todas as três figuras observa-se, simultaneamente, mais de um domínio, posicionados independentemente no espaço.

## 8. EXEMPLOS

No apêndice deste trabalho encontram-se exemplos de casos simulados no Laboratório de Simulação Numérica em Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor - SINMEC. Os resultados foram obtidos através dos códigos computacionais **MACH3D** (Marchi et. al., 1990), desenvolvido para a simulação de escoamentos em qualquer regime de velocidade; e com o **SIRP2D** (Maliska et. al., 1992), destinado à simulação de reservatórios de petróleo.

As figuras originalmente foram geradas fazendo uso das possibilidades de representação colorida, existentes nas estações gráficas do Grupo. Por limitações editoriais, apresenta-se os exemplos em escala de cinza, onde as tonalidades precisaram ser repetidas, objetivando uma melhor visualização.

Através da observação destas figuras, tem-se a noção da potencialidade deste pós-processador na representação de domínios tridimensionais.

## 9. CONCLUSÕES

Um procedimento para a representação de campos escalares e vetoriais foi apresentado. A simplicidade e eficiência do algoritmo comprovaram a viabilidade de sua utilização para auxiliar o pesquisador na árdua tarefa de interpretação de grandes campos de valores discretos. Os processos de manipulação de imagens como rotação, translação e escalonamento; de atribuição de cores e supressão de linhas escondidas, além de todas as outras opções anteriormente apresentadas neste trabalho, tornaram o código uma versátil e poderosa ferramenta para a interpretação de resultados obtidos numericamente. Também comprovou-se a sua potencialidade na visualização de outros campos discretos, podendo-se imaginar inúmeras aplicações para este.

A adoção de um gerenciador exclusivo do X-View tornou o pós-processador fácil de usar. Os ícones que constam das telas de chamada são auto-explicativos, estando já em desenvolvimento um help on-line, o que simplifica a função do operador.

## 10. REFERÊNCIAS

- Menezes, P.E. e Dihlmann, A., (1991), "Representação Gráfica de Isoregiões Bidimensionais de Variáveis de Campo", Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional - CNMAC.
- Thompson, F., Thames, F.C. and Mastin, C.W., (1977), "Boundary-Fitted Curvilinear Coordinate Systems for Solution of Partial Differential Equations on Fields Containing Any Number of Arbitrary Two-Dimensional Bodies", Research Sponsored by NASA Langley Research Center, Grant NGR 25-001-055, Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi 39.762.
- Marchi, C.H., Maliska, C.R. and Silva, A.F.C., (1990), "A Boundary-Fitted Numerical Method for the Solution of Three-Dimensional All Speed Flows Using Co-Located Variables", III Encontro Nacional de Ciências Térmicas, Vol. 1, Itapema - SC, Brasil.
- Maliska, C.R., Silva, A.F.C., Jucá, P.C.S., Cunha, A.R. e Lopes, M.N., (1992), "Simulação de Reservatórios de Petróleo - Solução Numérica do Problema Bifásico Imiscível - Parte II", Relatório preparado para o CENPES/PETROBRÁS.

## APÊNDICE

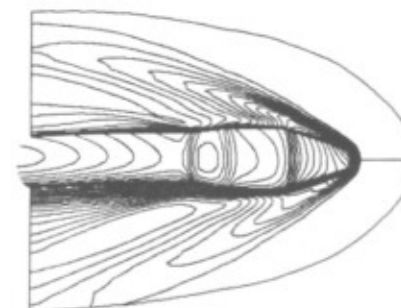


Figura 3

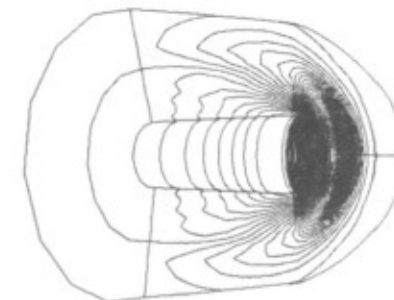


Figura 4

Figuras 3 e 4 - Exemplos de isolinhas obtidas de campos tridimensionais.

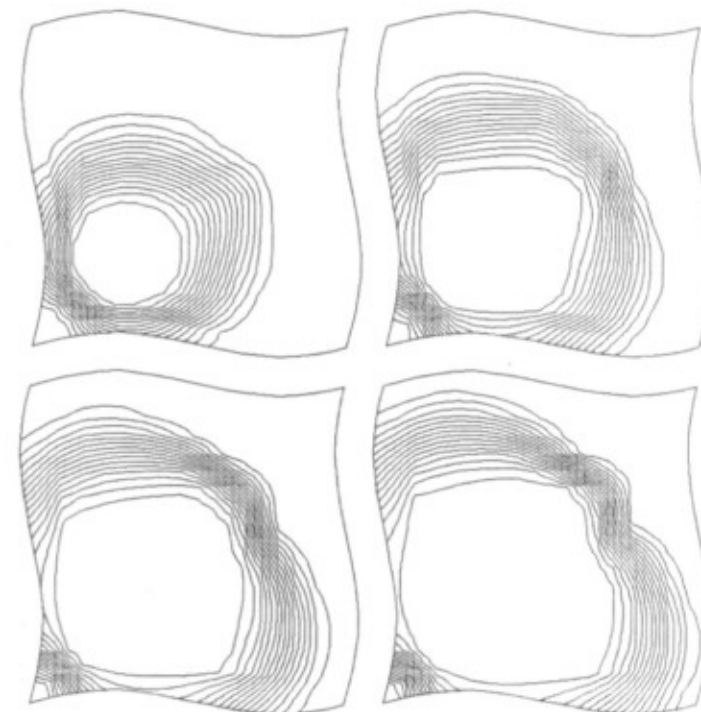


Figura 5 - Exemplo de isolinhas de um problema de simulação de reservatórios de petróleo.

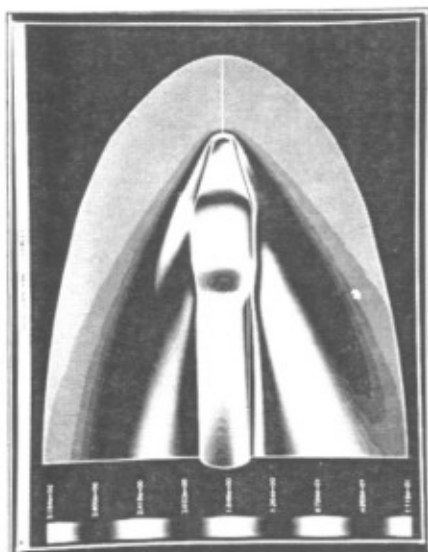


Figura 6



Figura 7

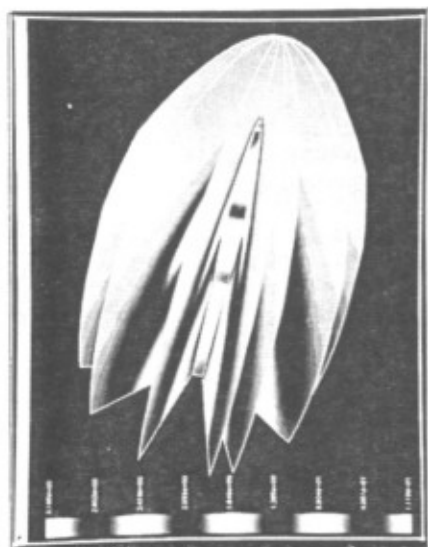


Figura 8

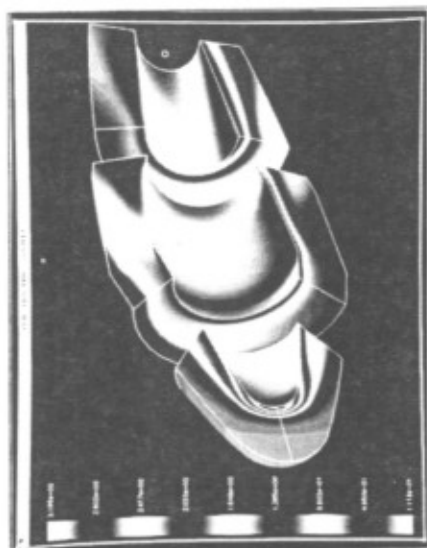


Figura 9

Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 - escoamento sobre um foguete tipo *hammer-head*. Apresentam-se diversos campos de propriedades, mostrando-se o potencial de visualização do ISO-3D.



Figura 10



Figura 11

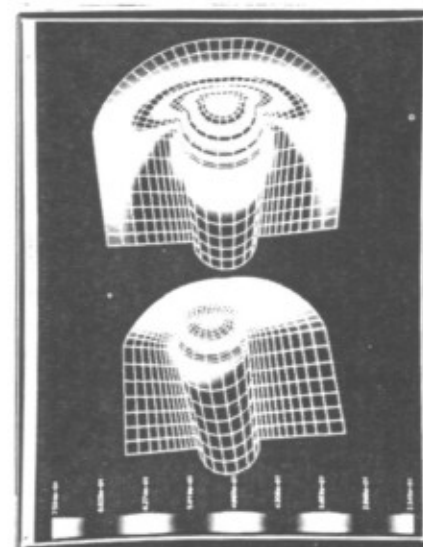


Figura 12

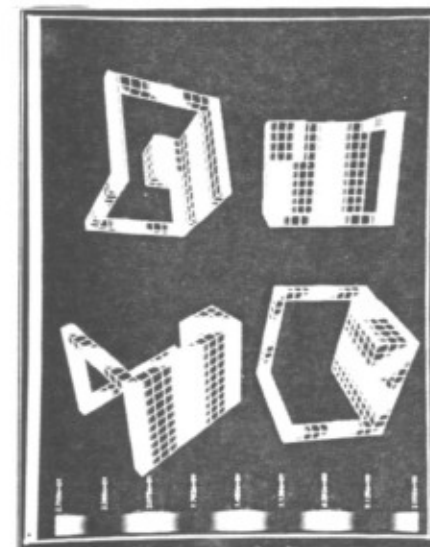


Figura 13

Figura 11 - Campo de pressão sobre um perfil de aerofólio.

Figura 12 - Malha e campo de pressão para escoamento sobre o perfil de um projétil tipo *hemisfério cilíndrico*.

Figura 13 - Figura hipotética para a visualização do recurso de hidden-lines e multi-blocos.