

POS2D : UM PROGRAMA GRÁFICO DE APOIO À ANÁLISE  
DE ESTRUTURAS BI-DIMENSIONAIS E AXISSIMÉTRICAS

Julio Ricardo Barreto Cruz  
Ulisses Pereira de Araújo

Divisão de Mecânica Estrutural  
Departamento de Reatores  
Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/CNEN)  
Caixa Postal 2186  
20001-Rio de Janeiro-RJ

SUMÁRIO:

É apresentada uma implementação de um programa para pós-processamento gráfico de dados relativos à análise de estruturas realizada com programas baseados no método dos elementos finitos.

1. INTRODUÇÃO

O programa POS2D foi desenvolvido com o objetivo de agilizar a análise de resultados obtidos com programas de cálculo estrutural baseados no método dos elementos finitos e não dotados de processamento gráfico próprio. Utiliza como núcleo gráfico o sistema padrão GKS e é composto de módulos para desenho da malha de elementos finitos, desenho da configuração deformada da estrutura ou representação dos vetores de deslocamentos nodais, traçado de isolinhas (curvas de isotensões e isotemperaturas), mapa de estado (por exemplo, indicação dos pontos plastificados da estrutura) e representação das tensões e deformações principais.

2. INTERFACE COM O USUÁRIO

O diálogo com o usuário é feito mediante o uso de 4 janelas na tela gráfica, conforme ilustra a figura 1. A janela 1 refere-se à região de desenho. Na janela 2 são apresentados os vários menus. Algumas teclas de controle são listadas na janela

3. E a janela 4 presta-se como área de mensagens e de entrada de comandos.

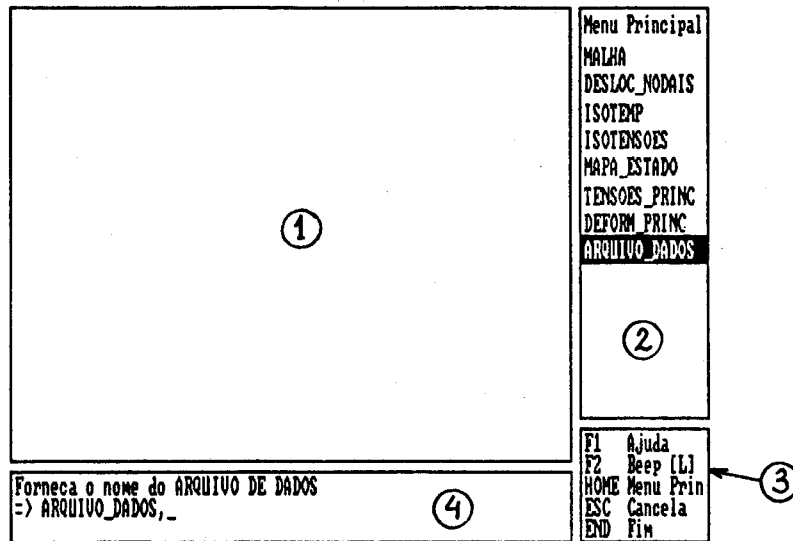


Figura 1

O programa tem apenas 2 níveis de menu. O menu principal possui um comando para leitura do arquivo de dados do problema e dá acesso aos menus secundários correspondentes aos vários módulos do programa. Cada item dos menus secundários corresponde a um comando que é selecionado através do deslocamento de uma barra em fundo reverso até que esta esteja sobre o item escolhido. Nesta posição, se a tecla F1 for pressionada a sintaxe do comando será apresentada na janela 4. Pressionando-se a tecla RETURN, o comando aparecerá nesta janela e em seguida o usuário entrará com os parâmetros correspondentes, separados por vírgulas, bastando entrar com aqueles para os quais esteja sendo alterado o seu valor "default". O comando pode ser cancelado teclando-se ESC. Caso se deseje executá-lo, basta pressionar novamente a tecla RETURN.

Na janela 4 é simulada uma tela de 3 linhas em "scroll", de forma que sempre se tem disponíveis a antepenúltima e penúltima informações. As teclas de controle da janela 3 ainda não mencionadas são a tecla HOME para retorno ao menu principal, a tecla F2 para ativar e desativar um "beep" que indica o final da execução de algumas tarefas e a tecla END para encerramento do programa.

### 3. DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS

Alguns comandos são comuns aos vários módulos. Portanto, antes de se iniciar a descrição de cada módulo, serão tecidos alguns comentários a respeito desses comandos. São eles :

-ZOOM,fator

O "zoom" é obtido escolhendo-se um fator que pode ser positivo (ampliação) ou negativo (redução) e localizando-se na figura um ponto que será o centro de "zoom".

-ZOOM?

Como o "zoom" pode ser feito de maneira progressiva, aplicando-se um novo "zoom" à figura já ampliada ou reduzida, este comando serve para informar ao usuário qual o fator de "zoom" corrente.

-IMPRESSORA,nome do arquivo,dimensão do desenho

Através deste comando o desenho mostrado na tela é gravado em um arquivo que depois poderá ser enviado para uma impressora.

-PLOTTER,nome do arquivo,dimensão do desenho

Da mesma forma que no comando anterior, o desenho é gravado em um arquivo para depois ser enviado a um plotter.

É feita a seguir uma descrição sumária de cada módulo. A relação completa dos comandos, bem como maiores informações a respeito do programa podem ser encontradas na referência [1].

#### 3.1. MALHA DE ELEMENTOS FINITOS

Este módulo é usado para o desenho da malha de elementos finitos utilizada na análise da estrutura. O programa permite a numeração de nós, numeração de elementos e a colocação de uma marca indicativa dos nós, bastando para isto ativar estas opções através dos comandos NUM\_NO, NUM\_ELEMENTO e MARCA antes de executar o comando DESENHA ou ZOOM.

A figura 2 mostra o desenho de uma malha de elementos finitos, enquanto na figura 3 é apresentado um "zoom" de uma região desta malha com a opção para numeração de elementos ativada.

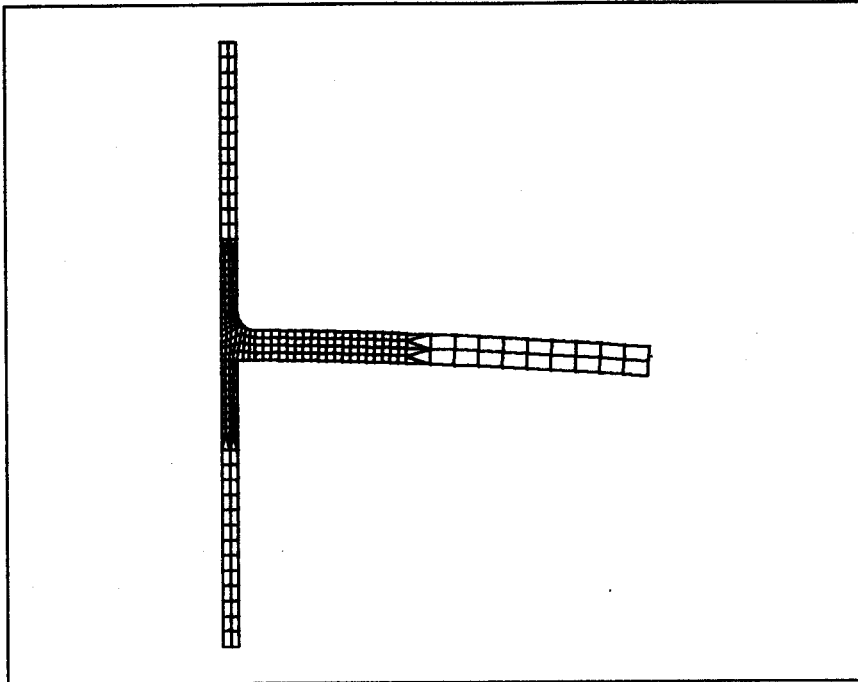


Figura 2

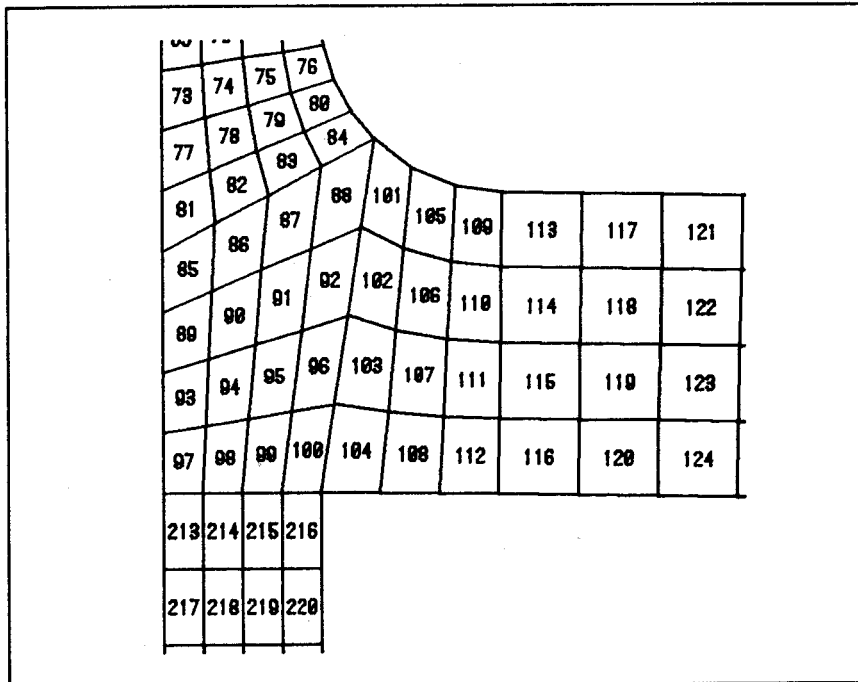


Figura 3

### 3.2. DESLOCAMENTOS NODAIS

Este módulo utiliza os deslocamentos nodais obtidos da análise para fazer o desenho da estrutura deformada ou a representação do campo de deslocamentos através de setas que indicam os módulos e direções dos vetores de deslocamentos nodais. Ao se desenhar a malha deformada ou os vetores de deslocamentos nodais, pode-se optar pelo desenho somente do contorno da estrutura ou de sua malha completa. No desenho da malha deformada, pode-se optar ainda pela superposição ou não da malha indeformada.

A figura 4 mostra o desenho de uma estrutura deformada superposta à sua configuração original indeformada. Na figura 5 encontram-se representados os vetores de deslocamentos nodais.

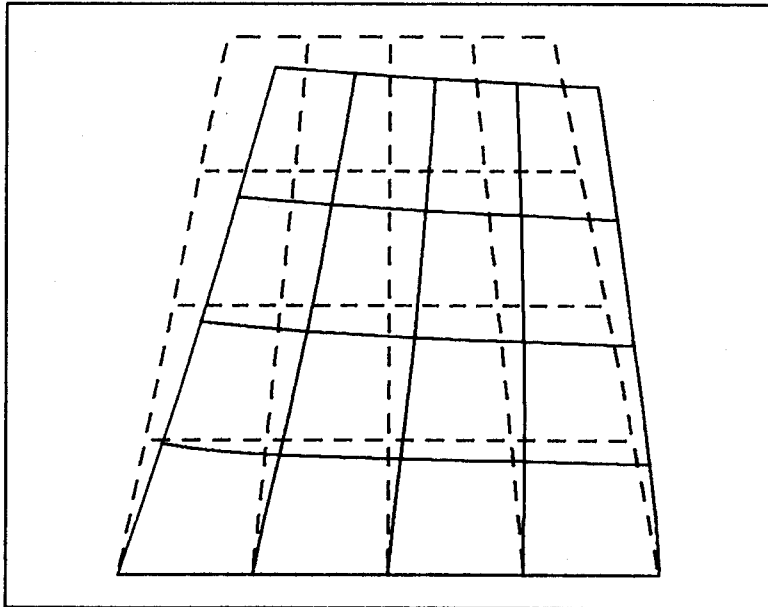


Figura 4

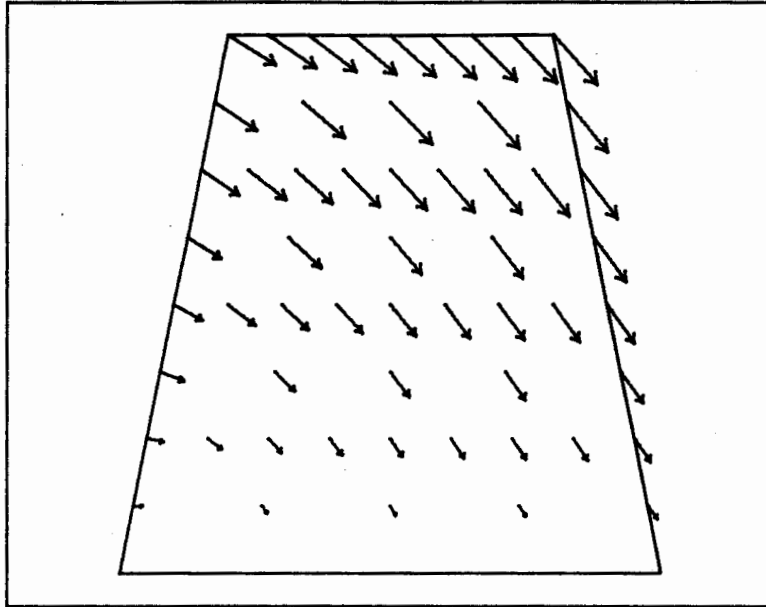


Figura 5

### 3.3. ISOLINHAS

Existem dois módulos para o traçado de isolinhas, um para isotensões e outro para isotemperaturas. A diferença básica entre os dois se deve ao fato das temperaturas serem fornecidas nos pontos nodais, enquanto que as tensões são normalmente obtidas nos pontos de integração de Gauss, havendo, portanto, neste caso uma etapa preliminar em que os valores das tensões são extrapolados dos pontos de Gauss para os pontos nodais.

A partir dos valores nodais é feita uma interpolação no interior do elemento para localizar os pontos da isocurva. O programa utiliza dois métodos para o traçado das isocurvas. O primeiro baseia-se numa interpolação linear semelhante à apresentada na referência [2]; o traçado é rápido, porém as curvas não apresentam um contorno suave (figura 6). Já o segundo método (referência [3]) é baseado numa interpolação não-linear usando as próprias funções de forma do elemento e embora o traçado seja lento, as curvas têm um contorno suave, apesar de ainda existirem pontos angulosos na interface entre elementos (figura 7).

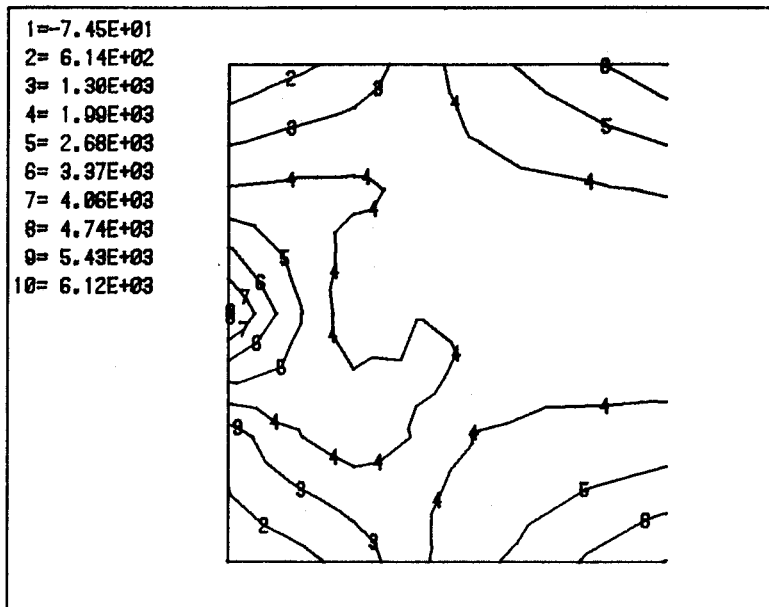


Figura 6

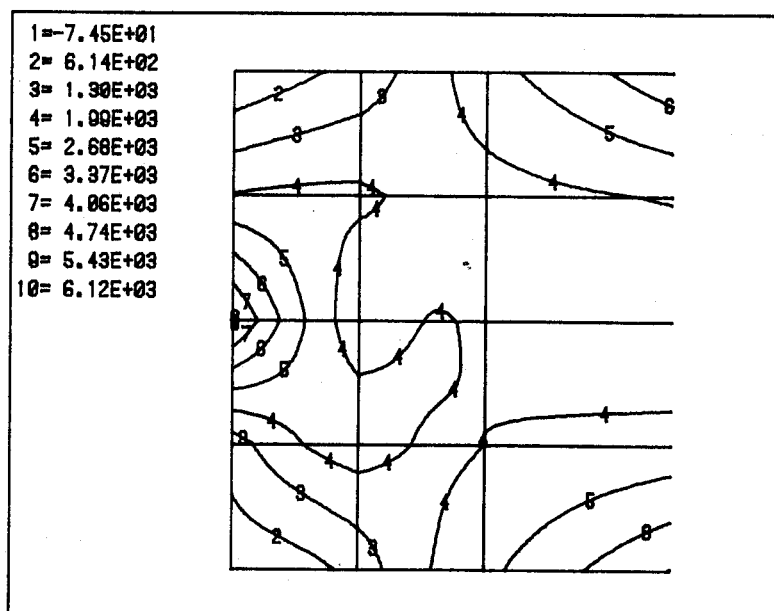


Figura 7

O usuário escolhe através do comando DEF\_CURVAS o número de curvas e a faixa de valores para a qual se deseja o traçado das isocurvas. Com o comando LEGENDA pode ser ativada a opção para a colocação de uma legenda que serve para identificar as curvas e seus respectivos valores (vide figuras 6 e 7).

### 3.4. MAPA DE ESTADO

Numa análise em que se considera efeitos não-lineares decorrentes do comportamento do material, existe para cada ponto de integração de Gauss uma informação referente ao estado em que se encontra aquele ponto num determinado instante da análise (por exemplo, um índice indicando se o ponto está no estado elástico ou plástico). Neste módulo é feito o desenho da estrutura (somente seu contorno ou a malha completa) e em cada ponto de Gauss é colocada uma marca indicativa do estado em que se encontra o material.

### 3.5. TENSÕES E DEFORMAÇÕES PRINCIPAIS

Esses 2 últimos módulos são utilizados para se fazer o desenho, em cada ponto de integração de Gauss, de 2 segmentos de reta perpendiculares indicando os módulos e direções das tensões / deformações principais. As tensões / deformações positivas são representadas por linhas cheias e as negativas por linhas tracejadas.

## 4. AMBIENTE COMPUTACIONAL

O programa foi desenvolvido em um ambiente limitado, composto, em termos de "hardware", de um microcomputador de 16 bits (PC-XT), com co-processador de ponto flutuante 8087, monitor monocromático, disco rígido de 10 MB e uma unidade de disco flexível. Em termos de periféricos gráficos dispunha-se de uma impressora matricial padrão EPSON e um "plotter" DIGICON TDD-43. Com relação a "software", o programa foi escrito em FORTRAN e utilizou-se o sistema gráfico padrão GKS numa implementação desenvolvida pela PUC/RJ (referência [4]), dispondo-se de



"drivers" para placa CGA, placa HÉRCULES e para a impressora e o "plotter" mencionados anteriormente.

Pretende-se, para breve, a implantação do programa num ambiente mais poderoso em termos de capacidade de processamento e memória. Tratam-se de estações de trabalho, que estão sendo adotadas atualmente na CNEN para processamento científico. Cada estação compõe-se de um microcomputador PC-XT ou PC-AT no qual é instalada uma placa co-processadora DATANAV CPR-2020, baseada em microprocessador MOTOROLA 68020 e co-processador 68881, operando com um "clock" de até 25 MHz e com até 16 MB de memória. Já se dispõe também do GKS para esta placa de 32 bits, o NAV-GKS (referência [5]). Como se trata de outra implementação da norma padrão GKS, a migração do programa para este novo ambiente deverá ser feita sem maiores problemas.

## 5. CONCLUSÕES

O programa aqui apresentado está sendo utilizado na Divisão de Mecânica Estrutural do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/CNEN) que, apesar de dispor de vários programas para a análise de estruturas, tem uma carência de pós-processadores gráficos que auxiliem o analista na tarefa de interpretar os resultados. Na versão atual do POS2D são aceitos os seguintes tipos de elementos: triangular de 3 nós e retangular de 4, 8 e 9 nós, podendo a malha ser heterogênea (composta de elementos triangulares e retangulares). A implementação do programa para PC-XT limita o número de elementos em 500 e o de nós em 600, no entanto o desenvolvimento com base no GKS garante a sua portabilidade para ambientes de maior porte onde estes limites podem ser bastante ampliados.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Cruz, J.R.B. e Araújo, U.P., "Programa POS2D para Pós-processamento Gráfico de Apoio à Análise de Estruturas", Comunicação Técnica, IEN/CNEN, (em preparo).

[2] Meek, J.L. and Beer, G., "Contour Plotting of Data Using Isoparametric Element Representation", Int. J. Num. Meth. Engng., 10, 954-957 (1976).

[3] Gray, W.H. and Akin, J.E., "An Improved Method for Contouring on Isoparametric Surfaces", Int. J. Num. Meth. Engng., 14, 451-472, (1979).

[4] GKS/PUC, Grupo de Computação Gráfica da PUC/RJ.

[5] NAV-GKS, Sisnav Informática Ltda.