

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

REDE DE TUBULAÇÕES : PROJETO E DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ LAURÊNIO ACCIOLY FILHO

FLORIANÓPOLIS - SC
JULHO DE 1989

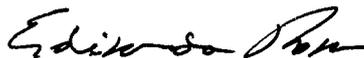
REDE DE TUBULAÇÕES : PROJETO E DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR

JOSÉ LAURÊNIO ACCIOLY FILHO

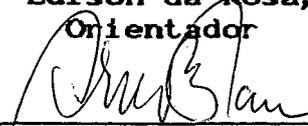
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO PROJETO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA MECÂNICA.



Prof. Edison da Rosa, M. Eng.
Orientador



Prof. Arno Blass, Ph.D.
Coordenador do Curso

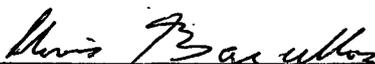
BANCA EXAMINADORA :



Prof. Edison da Rosa, M. Eng. Mec.



Prof. Nelson Back, Ph.D.



Prof. Clóvis Sperb de Barcelos, Ph.D.

Aos meus Pais e minha
família.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina, e em especial ao seu Departamento de Engenharia Mecânica, por ter proporcionado a realização deste trabalho.

Ao professor Arno Blass, na figura de Coordenador do Curso, pelo exemplo.

À Universidade Federal de Pernambuco, pelo incentivo ao Plano de Capacitação Docente.

Ao professor Edison da Rosa, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do curso, pela transmissão do conhecimento.

Ao colega Maurício Kuster, pela cessão de uso do EGG - Editor Gráfico.

Aos alunos bolsistas de Iniciação Científica do GRANT, pela ajuda e o exemplo de dedicação ao trabalho.

Aos colegas de turma, pelo ambiente de sincera amizade.

À minha esposa Rosane e filhos Bruno, Gustavo e Renata, pelo apoio e coragem com que enfrentaram toda esta jornada.

Í N D I C E

	pag.
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	1
1.1. Definição e Equacionamento	1
1.2. Revisão Bibliográfica	4
1.3. Proposta do Trabalho	14
CAPÍTULO 2	
DESENVOLVIMENTO	18
2.1. Ambiente de Trabalho	18
2.2. Estrutura do Sistema	19
2.3. Desenvolvimento do Bloco Gráfico	22
2.3.1. Aspectos do ISOTUB	23
2.3.2. O Software de CAD	26
2.3.3. Obtenção do Desenho Global	27
2.3.4. Biblioteca de Símbolos	27
2.4. Desenvolvimento do Bloco de Análise	28
2.4.1. Aspectos do FLEXTUB	29
2.5. Arquivos	34
2.5.1. Arquivos ".ISO"	35
2.5.2. Arquivos ".DES"	38
2.5.3. Arquivos ".FLX"	39

CAPÍTULO 3

PROGRAMAS AUXILIARES	40
3.1. Menu	40
3.2. Número	41
3.3. Coniso	43

CAPÍTULO 4

PRINCIPAIS ALGORÍTIMOS UTILIZADOS	44
4.1. Perspectiva Isométrica	44
4.2. Coordenadas de Tela	46
4.3. Inserção dos Símbolos	50
4.4. Formulação do Elemento	54
4.5. Interpolação Gráfica	67
4.6. Sistemas Locais para os Elementos	68

CAPÍTULO 5

RESULTADOS	72
5.1. Desenhos de Ramais em Perspectiva Isométrica .	73
5.2. Desenho de Conjunto da Instalação	75
5.3. Lista de Materiais	77
5.4. Análise Estrutural	78
5.5. Comprovação dos Resultados	81

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES	85
6.1. Sugestões para Continuidade do Trabalho	86

BIBLIOGRAFIA	88
---------------------------	-----------

APENDICE A - Transformações de Visão	91
---	-----------

APENDICE B - ISOTUB - Manual do Usuário	97
--	-----------

APENDICE C - FLEXTUB - Manual do Usuário	118
---	------------

APENDICE D - Listagens de resultados	149
---	------------

R E S U M O

Este trabalho apresenta uma proposta de um Sistema de CAE/CAD dedicado, para elaboração de projetos de tubulações, com obtenção de desenhos da rede em perspectiva isométrica, via plotter ou impressora, associando uma análise de flexibilidade pelo Método dos Elementos Finitos. No processo de análise são levados em consideração efeitos combinados de temperatura, peso próprio e cargas concentradas.

Estruturado em dois blocos, um gráfico e outro de análise, o sistema em relação à parte gráfica trabalha como pré-processador de Softwares de CAD ou Editores Gráficos, incorporando, desta forma, recursos adicionais necessários para o detalhamento final do desenho.

Em relação ao bloco de análise, é possível determinar o comportamento estrutural da rede com verificação de resultados tais como: deslocamentos nodais, esforços e tensões sobre os elementos, além de um módulo gráfico capaz de fornecer desenhos da estrutura deformada/indeformada, com diversas opções de visualização.

A B S T R A C T

A dedicated CAE/CAD system for the design of piping network using isometric drawings is presented in this work. The flexibility analysis of the piping network is made by Finite Element Method (FEM), with the inclusion of the combined effects of the temperature, weight and forces acting on the elements.

The system involves essentially two distinct parts: graphic block and the analysis block. The graphic block works as a pre-processor for the CAD software, furnishing essential elements for the final drawings. In relation to the block analysis, it is possible to determine the structural behaviour of the network obtaining the following informations: nodal displacements and stresses in the elements and, also, a graphic module capable to give deformed/undeformed structural design of it with several options for visualization.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de softwares de CAE/CAD, dedicados a áreas específicas de atividades, tem cada vez mais despertado interesse por parte de usuários. Esta preferência dá-se ao fato de que, tratando-se de programas dedicados, a manipulação dos dados referentes ao projeto é feita de forma mais objetiva, podendo-se até mesmo conjugar diversos procedimentos dentro de um só comando, o que não seria facilmente obtido em "softwares" gráficos de uso geral.

Fundamentado nesta tendência, este trabalho propõe uma estrutura computacional para abordagem de projetos de tubulações interfaceando as etapas de concepção e análise estrutural da rede.

1.1. DEFINIÇÃO E EQUACIONAMENTO

A elaboração de um projeto adequado de Rede de Tubulações, no contexto de uma unidade produtiva, é de fundamental importância na sua performance, tanto no que diz respeito ao escoamento do fluido, de forma a atender às

necessidades especificadas pela análise do processo, quanto na confiabilidade estrutural da rede, pois muitas vezes o fluido conduzido possui características de alta periculosidade ao ser humano e ao meio ambiente.

Em instalações mais complexas, é usual subdividir e classificar todo o conjunto em diversas redes independentes, normalmente pelo critério do fluido conduzido, e tratá-las separadamente, facilitando assim, a definição dos critérios de projeto utilizados para cada ramal.

Em função da diversificação dos tipos de fluidos conduzidos, condições de trabalho e níveis de segurança contra acidentes, os critérios de projeto utilizados no dimensionamento estrutural variam quanto à seleção dos materiais utilizados nos tubos e acessórios, como ao uso de métodos de análise de tensões envolvendo: situações dinâmicas, comportamento não linear da estrutura, verificação do dimensionamento quanto aos critérios de falhas dos materiais, ações provocadas pela interação fluido/estrutura, análise de transientes etc... exigindo normalmente para solução, elevados recursos a níveis de "software" e "hardware".

Uma análise que leve em consideração os procedimentos de cálculos anteriormente citados, justifica-se nos casos onde são exigidos rigorosos requisitos de qualidade e funcionalidade da rede.

Uma outra etapa importante durante a elaboração de um projeto é a de confecção dos desenhos necessários para um perfeito entendimento dos objetivos e execução da obra. Neste ponto, com o desenvolvimento da computação gráfica, tem-se verificado uma tendência cada vez maior da associação dessas

técnicas a projetos de tubulações.

O fato de se trabalhar com "softwares" de CAD dedicados a esta área, implica em uma série de vantagens em relação ao processo tradicional, dentre os quais pode-se citar:

- Maior uniformização dos desenhos em função dos padrões gráficos previamente estabelecidos;
- Maior velocidade e qualidade na execução dos desenhos;
- Facilidades na obtenção de novos desenhos que foram atualizados ou corrigidos;
- Interfaceamento para obtenção da lista de materiais utilizados;
- Possibilidade de geração de arquivos de dados capazes de serem interpretados por software de análise estrutural e
- Arquivamento de trabalhos já executados em unidades de disco ou fita magnética, ocupando bem menos espaço no arquivo morto da empresa, que as tradicionais pranchas de desenho.

Outro aspecto a ser levado em consideração, é que estes procedimentos, como ferramentas, auxiliam o projetista no desenvolvimento de projetos mais elaborados tendo em vista os

poderosos recursos normalmente disponíveis.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Antes do desenvolvimento das técnicas computacionais, o processo utilizado para elaboração dos projetos de tubulações seguia os métodos clássicos com procedimentos de cálculos estruturais analíticos e desenhos, desenvolvidos manualmente. Estes processos atendiam normalmente às necessidades da época, em função dos requisitos de qualidade e margens de segurança aceitáveis, bem diferentes dos atuais.

Como primeira evolução do processo verificou-se, com o desenvolvimento dos computadores, uma tendência para aplicação de métodos numéricos para análise do comportamento estrutural da tubulação, sendo inicialmente utilizado o Método de Análise Matricial e posteriormente o Método dos Elementos Finitos.

Nesta fase, as pesquisas na área concentraram-se na ampliação do universo dos tipos de problemas estruturais capazes de serem abordados. Em relação à parte gráfica, eram poucas as motivações em função das deficiências de " hardware " e " software ", encontradas nas estações gráficas disponíveis na época.

Com o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais poderosos em recursos gráficos, tem-se verificado uma tendência crescente na associação das técnicas de computação gráfica a problemas de Engenharia, com trabalhos importantes desenvolvidos nesta área específica de projetos de tubulações.

Em função da complexidade e do número de parâmetros envolvidos em projetos desta natureza, os " softwares " nesta

área são desenvolvidos, na sua maioria, para operar em estações gráficas de médio e grande porte.

Nesta categoria de equipamentos, os recursos gráficos oferecidos são inúmeros e suficientes para enfrentar os requisitos de detalhamentos de projetos de maior porte. Dentre outros pode-se citar como principais recursos os seguintes itens:

- Trabalhar associado com módulos dedicados a projetos arquitetônicos prediais, também desenvolvidos na estação gráfica, facilitando a definição do leiaute da rede;
- Recursos completos de manipulação de imagens;
- Possibilidade de trabalhar com múltiplas vistas ao mesmo tempo;
- Representação da tubulação, acessórios e equipamentos como elementos sólidos, elevando o " status " de apresentação do projeto;
- Recursos de " hidden line " facilitando o entendimento do desenho em regiões de maior saturação de componentes [2];
- Verificação de interferências, com ordem de grandeza de 0.1 inch [3], entre os componentes da rede e com a parte predial, caso tenha sido definida na

própria estação;

- Banco de dados contendo informações sobre equipamentos e acessórios utilizados em projetos de tubulações, de acordo com os padrões estabelecidos por normas técnicas internacionais, inclusive aspectos dimensionais;
- Identificação automática do uso de acessórios típicos e indispensáveis em certos casos, tais como: flanges, reduções, joelhos e tês;
- Cotação automática, com desenhos obtidos por plotters;
- Lista de materiais completas e
- Interface de comunicação para programas de análise de tensões.

Estes sistemas utilizados como ferramentas, são capazes de racionalizar o processo de elaboração do projeto, como relatado por [1], em que o projeto de uma unidade de " Hidrodesulfurização " (retirada do enxofre do petróleo cru) com prazo de conclusão, pelo métodos tradicionais, previsto de 08 meses, foi elaborado em 06 semanas e com um índice de erros bem menor.

Em seguida serão relacionados alguns desses " software " disponíveis [1] com as características de

" hardware " requeridas.

- *CSA* - Desenvolvido por " A.M. BURGER and T.K. DUCAN Construction Systems Associates, Inc." [3].

Hardware: Data General's 32 bits, MV 100000 ou Vax 11/780.

- *DIMENSION III* - Desenvolvido pela " CALMA ", subsidiária da General Electric Company.

Hardware: Equipamentos da linha Vax, com estações de trabalho Apolo.

- *CADDS4* - Desenvolvido pela " COMPUTERVISION "

Hardware: Equipamentos específicos fabricados pela Computervision.

A nível de equipamentos da linha pessoal, tipo IBM.PC e compatíveis, os desenvolvimentos concentram-se mais nas linhas de " software " para análise estrutural da rede. Este fato prende-se às limitações desses equipamentos em termos de velocidades de operação e recursos gráficos, necessários para a definição de projetos mais elaborados.

Alguns desses sistemas serão relacionados a seguir, com indicações a respeito de suas principais características.

- *PIPEPLUS* - Desenvolvido pela " CREATIVE ENGINEERING SOFTWARE " [4] [5].

Principais características:

- .Análise estática e dinâmica.
- .Cargas de vento.
- .Análise espectral.
- .Capacidade para 1000 nós.
- .Hardware → IBM.PC e compatíveis.

- TRIFLEX - Desenvolvido por "AAA TECHNOLOGY & SPECIALTIES CO.,INC. ".

Principais características:

- .Análise estática e dinâmica.
- .Efeitos da pressão sobre a flexão.
- .Restrições não lineares.
- .Múltiplos casos de carregamentos.
- .Hardware → IBM.PC e compatíveis.

Alguns trabalhos em áreas específicas, no contexto de projetos de tubulações, têm sido desenvolvidos, como é o caso de um " software " de apoio a projetos de suportes de tubulações [6], tendo como objetivo a geração dos desenhos a nível de detalhamento, além de contribuir para uma padronização da metodologia do projeto utilizado pela empresa. Esta padronização foi alcançada pela definição de primitivas, representando desenhos dos elementos, que agrupadas adequadamente definem o suporte.

A opção de entrada de dados deste sistema é feita através de planilhas preenchidas com códigos preestabelecidos para as primitivas do desenho, que serão posteriormente

digitados em terminais alfa-numéricos. Algoritmos de verificação de interferências e viabilidade da junção de primitivas, foram implementados, diminuindo as possibilidades de erros.

Uma outra opção para a elaboração de projetos assistidos por computadores, é a utilização de " Software para Edição Gráfica " [7], como suporte para o desenvolvimento.

Nestes casos, programas dedicados elaboram os procedimentos de engenharia envolvidos no processo e repassam as informações, normalmente sob a forma de arquivos, ao editor utilizado. Este procedimento permite, já no ambiente do editor, a visualização gráfica do modelo, além de condições para implementações e detalhamentos do desenho.

Com relação aos processos de análise de tensões, em função dos requisitos de qualidades exigidos para a instalação, diversos métodos de verificação são propostos.

No âmbito de aplicações industriais mais comuns, identifica-se categorias de tubulações, definidas por normas técnicas, onde o uso de hipóteses simplificadoras atendem aos requisitos de qualidade, inclusive com resultados historicamente comprovados na prática.

De forma mais abrangente, pode-se citar [8], dentre outras, as seguintes simplificações utilizadas para estes casos:

- Todas as restrições aos graus de liberdade (ancoragem, guias, batentes, etc.) são supostas com eficiência total;

- Comportamento linear da estrutura;
- Temperaturas uniformemente distribuídas ao longo da superfície do tubo e
- Suposição de ligações rígidas nas uniões dos tubos.

Dentre os métodos mais usuais para análise de flexibilidade de tubulações pode-se citar:

- Verificação de Linhas com Adequada Flexibilidade
[8] [9] [10]

Admitido pelas Normas Técnicas ASA B31.1 para tubulações classificadas pela Normas ANSI B31.3, em função do tipo de serviço, como categoria " D ", este método consiste basicamente na verificação entre as relações dos comprimentos dos elementos e a distância entre os pontos de ancoragem da rede, para cada estado de deformação linear devido à variação da temperatura.

De uma forma geral, este método dispensa o cálculo mais refinado para os casos em que a seguinte relação é satisfeita:

$$\frac{D \cdot Y}{U^2 (R - 1)^2} \leq 0.03$$

onde:

D → Diâmetro nominal do tubo (in)

Y → Resultante das deformações térmicas ou

deslocamentos dos pontos de ancoragem (in)

U → Distância entre os pontos de ancoragem (ft)

R → Relação " U/L " onde L é o comprimento de tubulação do ramal desenvolvido.

- Método da Viga em Balanço Guiada [8] [9] [10]

Este método consiste em um procedimento aproximado para o cálculo das tensões internas e esforços de reações nos extremos dos elementos, fundamentado na premissa que eles se comportem como uma viga em balanço guiada.

Certas imposições quanto à geometria da estrutura são colocadas pelo método, tais como:

- O sistema deverá ter apenas dois pontos com ancoragem e elementos com as mesmas propriedades de seções;
- Formado apenas por elementos retos e paralelos às direções principais;
- Ângulos retos nas interseções e
- A deformação térmica de um dos lados é totalmente absorvida pelos lados perpendiculares a esta direção.

Outras hipóteses simplificadoras, além das já descritas, tais como: a não consideração de esforços de torção e

deformações dos elementos sem que haja rotações nas extremidades em relação às direções principais, fazem parte do método, o que torna seu uso restrito a análises preliminares de aproximação de resultados ou para sistemas em que os requisitos de qualidade não sejam tão importantes.

- Métodos Gráficos [8] [9] [10]

São métodos utilizados em situações particulares de estruturas mais simples. Normalmente são pouco preferidos em função da precisão dos resultados e à falta de sensibilidade transmitida ao projetista em relação ao peso que cada variável, envolvida no processo, induz aos resultados.

- Métodos Energéticos [8] [9] [10]

Estes são os métodos que oferecem resultados mais precisos, para cada conjunto de "hipóteses simplificadoras" impostas ao problema.

Um dos caminhos mais usados para soluções analíticas é a aplicação do " Teorema de Castigliano ", que relaciona os deslocamentos e esforços sobre um ponto da estrutura com a energia de deformação elástica absorvida pela mesma.

A aplicação deste método resulta na montagem e solução de um sistema de equações lineares para obtenção dos resultados. No caso de estruturas espaciais mais complexas, a ordem de grandeza dos sistemas gerados cresce consideravelmente, só se tornando viável sua aplicação, com o auxílio de sistemas computacionais.

Um outro processo seria o uso do método dos elementos finitos que em função da potencialidade e facilidades operacionais para os usuários, tem sido bastante utilizado na solução dos problemas estruturais em redes de tubulações.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos, em busca de resultados mais precisos sobre o comportamento de redes de tubulações, associados ao método dos elementos finitos. Com relação ao comportamento não linear da estrutura, a referência [13], propõe uma formulação lagrangeana atualizada, utilizando para os elementos retos as funções de interpolação convencionais de vigas de Euler Bernoulli, definidas em relação ao sistema local e, para os elementos curvos, uma degeneração do elemento isoparamétrico tridimensional, utilizando como funções de interpolação polinômios do 3º grau.

Como resultados, chega-se à conclusão que para deslocamentos relativamente pequenos (relação $V_n/L < 0.25$ onde L e V_n correspondem ao comprimento e deslocamento na extremidade do elemento respectivamente), o modelo linear representa satisfatoriamente o comportamento do elemento.

A referência [14], apresenta uma análise detalhada com relação ao comportamento do Elemento Finito Viga-Tubo, proposto por Bathe e Almeida [15][16]. Neste trabalho são comentados aspectos influentes no modelo, limitações e potencialidades, comparando os resultados obtidos com soluções analíticas e experimentais. As conclusões apresentadas pelo trabalho, indicam uma considerável precisão com respeito às tensões desenvolvidas no elemento, exceto para as tensões circunferenciais quando a relação entre os raios de curvatura (R) do eixo médio da curva e

o raio médio (a) da seção transversal for pequena (da ordem de $R/a < 3$). As diferenças apresentadas nos resultados são justificadas pelo aparecimento de tensões circunferenciais de membrana.

Um outro fator a ser levado em consideração, em cálculos mais refinados, é a variação da rigidez dos elementos devido à pressão interna exercida. A referência [17], propõe uma formulação estendida para o elemento de viga-tubo levando-se em consideração as parcelas de energia de deformação devido aos efeitos de ovalização da seção. Este procedimento resulta em termos adicionais na matriz de rigidez do elemento, permitindo verificar consideráveis alterações de rigidez, principalmente para tubos com paredes finas, como demonstrado por gráficos que relacionam o " fator de flexibilidade " com as pressões internas exercidas.

Como se pode notar, existe um universo de situações para as quais os recursos disponíveis, a níveis de computação gráfica e de análise de tensões, descritos anteriormente, excedem às necessidades requeridas para a elaboração do projeto, tanto no aspecto técnico quanto no econômico. Tendo como objetivo o preenchimento desta lacuna, ou seja, elaboração de projetos com maior grau de simplificação, enquadra-se os propósitos deste trabalho.

1.3. PROPOSTA DO TRABALHO

A dissertação tem como objetivo principal, a proposição de um " software " para projetos de tubulações, buscando uma interação entre as etapas de concepção e análise

estrutural da rede.

O sistema desenvolvido contém uma parte gráfica com a qual é possível, de forma direta, conceber a instalação e obter desenhos sob a forma final, interagindo com um módulo de análise estrutural de flexibilidade por elementos finitos, via arquivo de comunicação.

Para uma perfeita definição do projeto de uma instalação a nível de execução, é necessário um conjunto de desenhos envolvendo, fluxograma de processo, planta baixa, isométricas, suportes, além de, em certos casos, desenhos auxiliares de detalhamento. Porém na etapa de concepção do leiaute, é usual, por parte dos projetistas, trabalhar utilizando uma perspectiva isométrica para visualização. Tendo em vista o intuito de auxiliar a elaboração do projeto nesta fase, o software gráfico proposto utiliza, como ambiente de trabalho, uma perspectiva isométrica, onde recursos internos oferecem facilidades para desenhar sob esta condição.

Para a obtenção do desenho sob o aspecto final, são necessários recursos gráficos adicionais tais como: fontes para manipulação de textos e comentários; primitivas para cotagem dos desenhos e drivers para plotter/impressora, encontrados em " Software de CAD " de uso geral e Editores Gráficos.

Em sendo assim, para atingir este objetivo, o sistema desenvolvido funciona como um pré-processador para " Softwares de CAD " já existentes, que oferece condições para o detalhamento do desenho.

A possibilidade de interfaceamento com os " Software de CAD " dá-se mediante a geração de um arquivo gráfico com formatação adequada para o editor gráfico escolhido.

O sistema conta ainda com um "software" auxiliar, para promover a concatenação de isométricas desenvolvidas separadamente, em um único desenho.

A padronização dos desenhos finais é conseguida pela existência de uma biblioteca de símbolos, gerada e atualizada pelo próprio usuário em função das necessidades dos projetos.

Em muitos casos a configuração geométrica definida para um determinado sub-ramal, implica em uma estrutura com pouca flexibilidade induzindo elevados níveis de esforços e tensões nos tubos e acessórios. Para contornar estes inconvenientes, uma das soluções é tornar a estrutura mais flexível através de liberação de graus de liberdade em suportes ou modificações no leiaute. Quando estas soluções não podem ser aplicadas ou são insuficientes, a saída é utilizar acessórios especiais como por exemplo: juntas de expansão e suportes com molas ou contrapesos.

Identifica-se desta forma a necessidade de um trabalho interativo com respostas rápidas, entre a concepção e a análise de tensões geradas sob as condições de trabalho. Esta condição justifica o desenvolvimento da segunda parte do trabalho, que consiste no desenvolvimento de um software de elementos finitos para análise de tensões.

Portanto, com as duas opções de trabalho oferecidas pelo sistema proposto: concepção e análise de tensões da rede de tubulação, é possível o desenvolvimento de um projeto de forma interativa dentro de um único "ambiente", em busca de uma condição ótima.

Na etapa inicial de desenvolvimento foi utilizada para uma análise linear, a formulação de elementos de viga de Euler

Bernoulli com seis graus de liberdade por nó, ligações rígidas nas uniões dos tubos e eficiência total dos vínculos.

As condições acima estabelecidas representam um ponto de partida para solução de problemas desta natureza. Em função das condições de estruturação e modularidade empregada no desenvolvimento do programa, a implementação de novos elementos, bem como formulações mais complexas, poderão ser incorporadas com relativa facilidade, ampliando seu universo de atuação.

CAPÍTULO 2

2. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão apresentadas as etapas de desenvolvimento e procedimentos utilizados no sistema.

2.1. AMBIENTE DE TRABALHO

Em trabalhos desta natureza, é importante a definição, a que nível de "hardware" deve-se trabalhar em função dos objetivos a alcançar. Esta opção passa por decisões técnicas e até de ordem econômica, tendo em vista o alto custo das estações gráficas de maior porte disponíveis no mercado, o que restringe consideravelmente o universo de possíveis usuários.

Por sua vez, o uso de equipamentos com recursos mais limitados, quase sempre impõe limitações técnicas ao trabalho que deverão ser avaliadas e levadas em consideração para seu uso.

Em função da disponibilidade e objetivos definidos na proposta de trabalho, verificou-se que os recursos de "hardware" oferecidos pelos microcomputadores da linha IBM - PC e compatíveis atendiam às necessidades operacionais do sistema,

sendo assim definida sua utilização.

Para a decisão, em termos da linguagem computacional utilizada, foram levados em consideração os aspectos de estruturação e recursos gráficos disponíveis. Estas condições eram preenchidas por várias linguagens de alto nível, dentre elas pelo PASCAL v.3.0 [18] [19] que por opção do autor foi a escolhida.

2.2. ESTRUTURA DO SISTEMA

A estruturação de um sistema computacional é fundamental para um bom andamento das etapas de desenvolvimento e operação. Na sua concepção certos parâmetros são decisivos para o modelo proposto, entre eles pode-se citar: disponibilidade e recursos de " hardware/software "; porte e operacionalidade do sistema.

A tendência de estruturação em um único bloco, normalmente atende a sistemas de pequeno porte levando quase sempre a uma boa condição operacional. Porém, em sistemas mais complexos, conduz a estruturas pesadas, dificultando a manipulação e desenvolvimento. Nestes casos deve-se partir para uma estruturação definida em blocos ou módulos com ou sem sub-divisões, de tal forma a atender objetivos específicos dentro de um contexto geral.

Para o sistema proposto, foi definido no mais alto nível, um bloco gráfico e outro de análise de tensões, interligados via arquivo de transferência de dados.

Como objetivo de cada módulo pode-se citar:

- BLOCO GRAFICO

- Oferecer recursos que auxiliem a elaboração de projetos de tubulações em perspectiva isométrica;
- Existência de uma biblioteca de símbolos;
- Obtenção de desenhos em perspectiva isométrica com aspectos finais, utilizando-se para a complementação pós-processamento com "software" de CAD já existentes no mercado;
- Possibilidade de concatenar isométricas desenvolvidas isoladamente, de forma a se obter um desenho de todo o conjunto e
- Fornecimento automático da lista de materiais utilizados na instalação.

- BLOCO DE ANALISE DE TENSÕES

- Obtenção de resultados numéricos de deslocamentos, esforços e tensões, além de um módulo gráfico auxiliar que permita uma visão da estrutura indeformada/deformada com recursos de transformações de visão.

Para atender aos requisitos propostos, foi elaborada uma forma estrutural para o sistema, demonstrada pela (Fig.4.1).

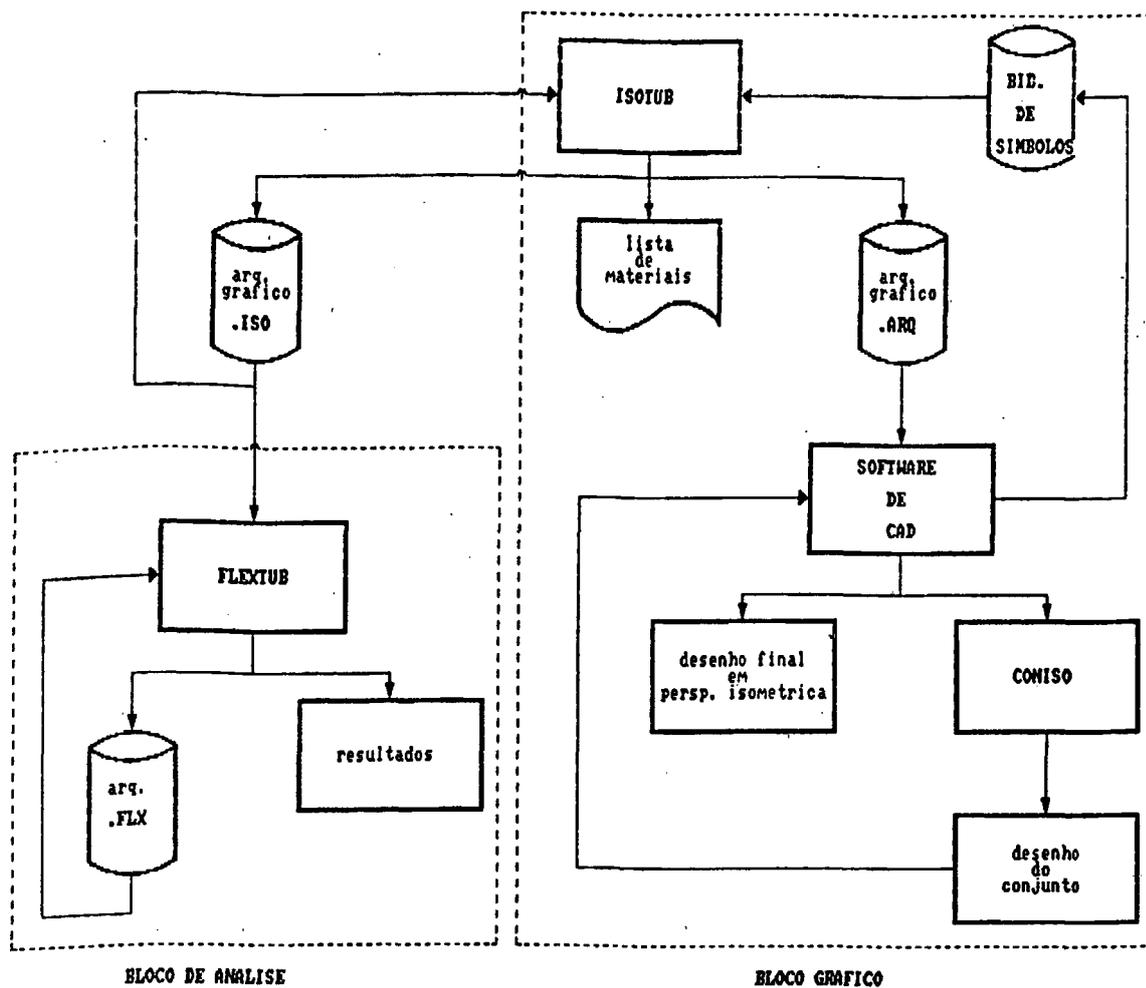


Fig. 2.1 - Estrutura do sistema

onde:

- ISOTUB ⇒ Programa utilizado na etapa de concepção da instalação.
- .ISO ⇒ Arquivo gerado pelo ISOTUB que alimenta o bloco de análise.
- .ARQ ⇒ Arquivo gerado pelo ISOTUB que alimenta o "software de CAD"
- FLEXTUB ⇒ Programa utilizado para análise de tensões.
- .FLX → Arquivo acrescentado com os dados complementares.
- CONISO → Programa auxiliar para concatenação de isométricas

2.3. DESENVOLVIMENTO DO BLOCO GRAFICO

Na estrutura do bloco gráfico foram definidas três fases correspondentes aos objetivos a serem alcançados.

São elas:

Fase 1

Fase em que são fornecidas informações inerentes ao projeto, ou seja: concepção e construção da instalação. Esta etapa é cumprida pelo " ISOTUB ", onde recursos específicos descritos posteriormente, são colocados à disposição do usuário, permitindo um trabalho interativo entre o fornecimento dos dados e visualização dos efeitos.

Neste estágio também é possível obter uma lista completa dos materiais usados na instalação projetada.

Fase 2

Nesta fase, deverá ser ativado o " software de CAD ", para obtenção do desenho final. A transferência de informações, é feita através de arquivo específico gerado pelo " ISOTUB ", permitindo, desta forma, verificar-se no monitor todo o desenho da instalação, inclusive os símbolos correspondentes aos acessórios utilizados.

Em seguida o desenho deverá ser concluído com informações complementares, tais como: cotas; comentários; desenho de símbolos especiais não constantes da biblioteca

e finalmente obtê-los via plotter ou impressora.

Fase 3

Esta etapa permite que, se for o caso, diversas isométricas concluídas de uma mesma instalação possam ser concatenadas de forma a se obter um desenho global da instalação, mediante a utilização do programa auxiliar o " CONISO ", que será descrito com mais detalhes posteriormente.

2.3.1. ASPECTOS DO ISOTUB

Pode-se imaginar o projeto global de uma instalação como sendo composto por trechos ou ramais isolados, que em fase de projeto são representados por perspectivas isométricas.

Afim de manter um controle sobre a posição de cada um desses trechos no contexto global, foi estabelecido um critério de definição de sistemas de coordenadas locais, referenciados a um sistema global, para cada ramal.

Este procedimento, além de facilitar a entrada de dados, viabiliza a opção de concatenação dos ramais, de forma a possibilitar a montagem do desenho global da instalação.

Para o " ISOTUB " os tubos que compõem os ramais são chamados de elementos, e são definidos por dois nós com coordenadas especificadas no sistema local.

Em seguida são relacionados alguns aspectos e soluções utilizadas no seu desenvolvimento.

-Entrada de Dados

O programa conta com um " MENU " principal gerenciador do tipo " window " onde serão selecionadas as opções de entrada de dados (Fig. 2.2).

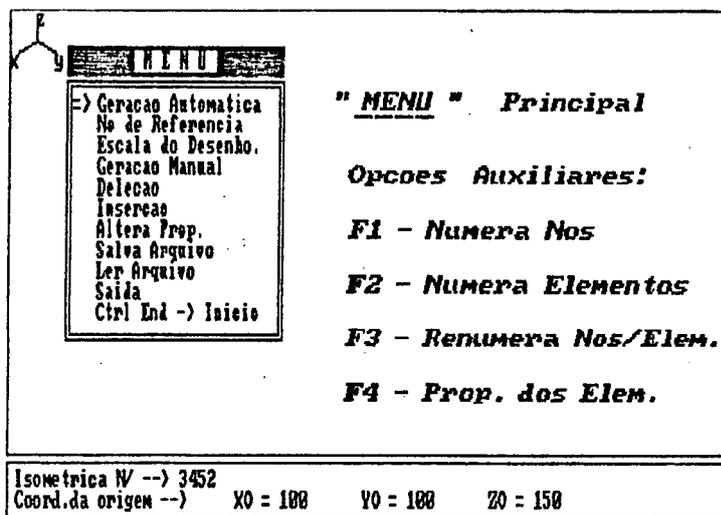


Fig. 2.2 - Menu principal

Afim de não quebrar a sequência na elaboração do projeto, o " MENU " poderá ser acionado a qualquer instante e posicionado na própria tela do desenho. Este fato é bastante importante pois permite ao projetista um contato visual permanente com a instalação, mesmo quando necessitar de uma troca de opção.

Como leiaute de tela, foi definida simultaneamente uma janela gráfica onde será montado o desenho e outra alfa-numérica para entrada de dados. Esta opção estabelece uma ligação direta entre o fornecimento dos dados e efeitos, importante em projetos desta natureza.

Os desenhos sob a condição de perspectiva isométrica, são obtidos automaticamente na tela em função das matrizes de

transformação de visão, aplicadas sobre os dados de entrada. Ver item 4.1.

-Manipulação de Dados e Imagens

Opções básicas em programas gráficos tais como: escalamento do desenho, deleção e alteração de dados já fornecidos, etc... foram implementadas ao programa e serão descritas com maiores detalhes no Apêndice B referente à operação.

- Inserção de Símbolos

Associada ao programa existe uma biblioteca contendo os símbolos utilizados em projetos de tubulações, sob a forma de arquivos gráficos. Esta biblioteca poderá ser gerada e atualizada pelo próprio usuário, utilizando para isto o software de CAD que irá interagir com o sistema.

Uma vez definido pelo usuário a direção e plano em que o símbolo está contido, o aspecto final no desenho de isométrica será elaborado automaticamente pelo programa, mediante matrizes de transformação de visão. Para maiores detalhes ver item 4.3.

- Geração de Arquivos

Concluída a etapa de concepção, o programa tem como opção de saída a geração de dois arquivos.

O primeiro caracterizado pela extensão ".ISO ", além de permitir uma realimentação do programa para continuação ou

modificação do projeto, fornece para o bloco de análise os dados referentes à topologia da estrutura, permitindo uma interação entre concepção e análise. Ver item 2.5.

O segundo tem como objetivo possibilitar o interfaceamento com o software de CAD utilizado.

2.3.2. O SOFTWARE DE CAD

Como citado anteriormente, para atingir o objetivo de um desenho final em perspectiva isométrica de um ramal projetado pelo sistema, é necessária a utilização de um software de CAD de uso geral para sua complementação.

Atualmente existem no mercado diversos pacotes gráficos com características que atendem aos requisitos necessários em termos de recursos gráficos e portabilidade para comunicação via arquivo. Dentre eles poder-se-ia citar o AUTOCAD, CADTEC, além de editores gráficos desenvolvidos especificamente para dar suporte a projetos de engenharia.

Os fatores levados em consideração quanto à escolha do editor gráfico a ser utilizado no contexto do sistema proposto, foram quanto aos recursos gráficos oferecidos, facilidade de comunicação através de arquivos e, principalmente, pela documentação disponível.

A opção de escolha foi pelo "EGG - EDITOR GRÁFICO PARA PROJETOS MECANICOS ", desenvolvido no laboratório de CAE/CAD da Universidade Federal de Santa Catarina como Dissertação de Mestrado [7]. Este editor, além de preencher os requisitos técnicos exigidos, possui uma vasta documentação com níveis de detalhes não vistos em pacotes comerciais.

2.3.3. OBTENÇÃO DO DESENHO GLOBAL

A etapa de concatenação dos desenhos isolados de ramais, afim de gerar um desenho global da instalação, é cumprida pelo programa " CONISO ".

A estrutura de desenvolvimento deste programa, é voltada para a possibilidade de geração de um arquivo formado pela junção de arquivos secundários. Este procedimento atende exatamente aos objetivos, tendo em vista que cada desenho isolado corresponde a um arquivo em termos computacionais.

Maiores informações sobre este programa serão descritas no Capítulo 3 referente a programas auxiliares.

2.3.4. BIBLIOTECA DE SÍMBOLOS

Como visto anteriormente, a fim de uniformização dos desenhos e facilidades operacionais, foi definido no bloco gráfico uma biblioteca de símbolos, representativa dos acessórios utilizados em projetos de tubulações, constituída por arquivos e interpretada pelo " ISOTUB ".

A construção de um símbolo a ser incorporado à biblioteca, deverá ser feita através do próprio editor gráfico utilizado, no caso o " EGG ", o que torna a tarefa bastante simples, tendo em vista os recursos de que dispõe.

O aspecto de um símbolo deverá obedecer aos padrões e proporcionalidade especificados por Normas Técnicas, e construído utilizando-se apenas a primitiva LINHA do EGG. Isto deve-se ao fato de que a interface desenvolvida no " ISOTUB ", responsável pela deformação adequada do símbolo no

desenho, só reconhece esta primitiva no arquivo gráfico do " EGG ".

Outro detalhe importante é que a coordenada (0,0) no desenho do símbolo, seja o ponto em que irá coincidir com o nó em que foi definido.

A biblioteca de símbolos gerada junto com o " ISOTUB ", foi montada seguindo a N-57a da Petrobrás [30].

A Fig. 2.3 mostra o desenho de um símbolo gerado no " EGG ", utilizando como recurso gráfico uma grade com bloqueio de cursor.

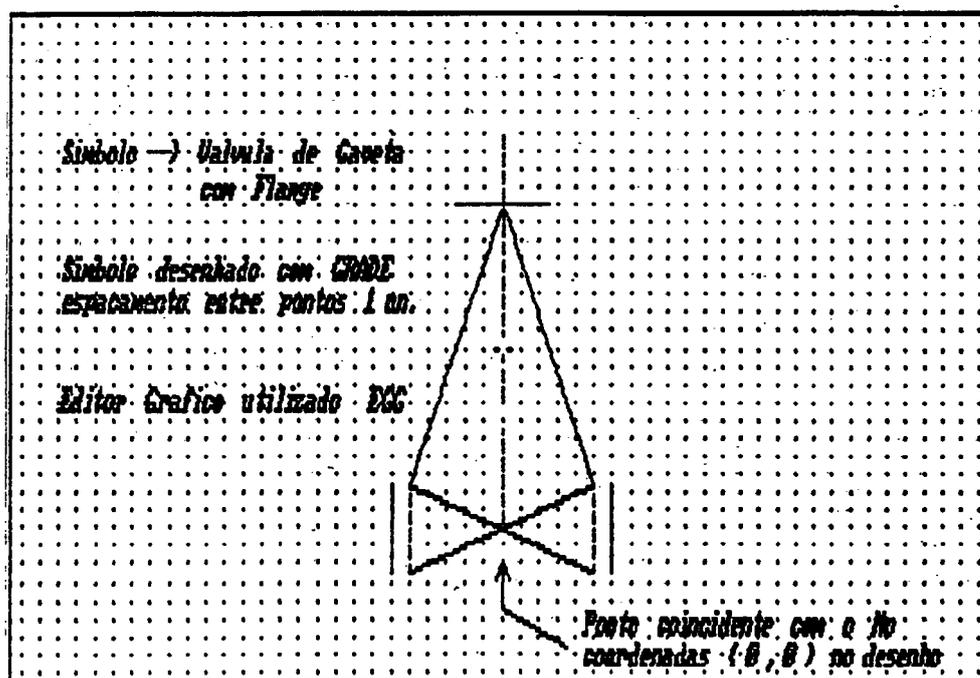


Fig. 2.3 - Desenho de um símbolo gerado no " EGG "

2.4. DESENVOLVIMENTO DO BLOCO DE ANÁLISE

Na estruturação do sistema, o bloco de análise é composto pelo programa principal " FLEXTUB ", responsável pelo processo de análise e arquivos auxiliares internos de

realimentação gerados pelo próprio programa, caracterizados pela extensão " .FLX "

Dentro da filosofia de integração entre as etapas de concepção e análise proposta pelo trabalho, a alimentação de dados deste bloco é feita através dos próprios arquivos gráficos com extensão " .ISO ", gerados pelo " ISOTUB ".

Estes arquivos transferem para o " FLEXTUB " os dados referentes à topologia da estrutura, sendo os dados restantes: propriedades dos materiais e seções dos tubos, tipos de vinculações nos apoios, cargas concentradas atuantes, etc... necessários para o processo de análise, fornecidos já no ambiente do programa.

A existência dos arquivos " .FLX " dentro do bloco gráfico, justifica-se por serem arquivos completos em termos de informações, oferecendo condições integrais de retomar o processo de análise.

2.4.1. ASPECTOS DO FLEXTUB

O " FLEXTUB " é um programa desenvolvido para análise estrutural da rede, fundamentado no método de elementos finitos, associado ao princípio da mínima energia potencial. Tendo-se as seguintes relações [23]:

$$[K] \langle U_i \rangle = \langle F_i \rangle \quad (2.1)$$

onde:

- K → Matriz de rigidez do elemento
- U_i → Vetor de deslocamentos nodais
- F_i → Vetor de carregamentos

com a matriz de rigidez expressa por:

$$K^{(e)} = \int_v B^{(e)T} C^{(e)} B^{(e)} dv \quad (2.2)$$

onde:

$B^{(e)}$ → Matriz que relaciona deformações/deslocamentos

$C^{(e)}$ → Matriz das relações constitutivas

Para a modelagem da rede de tubulações foram utilizados elementos de viga com seis graus de liberdade por nó. Ver item 4.4 (formulação do elemento).

O algoritmo utilizado para a montagem e armazenamento da matriz global foi o de "meia banda superior" [25], com os elementos definidos por variáveis com alocação dinâmica na memória.

Com as opções disponíveis no programa, é possível obter os seguintes resultados:

- Deslocamentos e rotações nos nós;
- Esforços e tensões desenvolvidos sobre os elementos;

- Reações nos apoios;
- Valores extremos de deslocamentos/tensões e
- Recursos de visão da estrutura indeformada/deformada com diversas possibilidades de manipulação de imagens.

Em seguida serão relacionados alguns aspectos e soluções utilizadas no seu desenvolvimento.

- Entrada de Dados

Alguns sistemas de análise de tensões, pelo método dos elementos finitos, utilizam como forma de entrada de dados o critério de edição de um arquivo fora do ambiente do programa, para depois ser lido e interpretado pelos módulos de solução. Portanto, para cada alteração de dados é necessário deixar o programa, editar no arquivo as modificações e retornar ao sistema. Esta condição impõe uma certa descontinuidade ao processo, e justifica-se para sistemas de grande porte, onde é inevitável uma estrutura modular.

No caso do " FLEXTUB ", em função de uma estrutura única e visando uma operacionalidade direta, optou-se por uma forma de entrada de dados via um " MENU " gerenciador de todo o programa (Fig. 2.4).

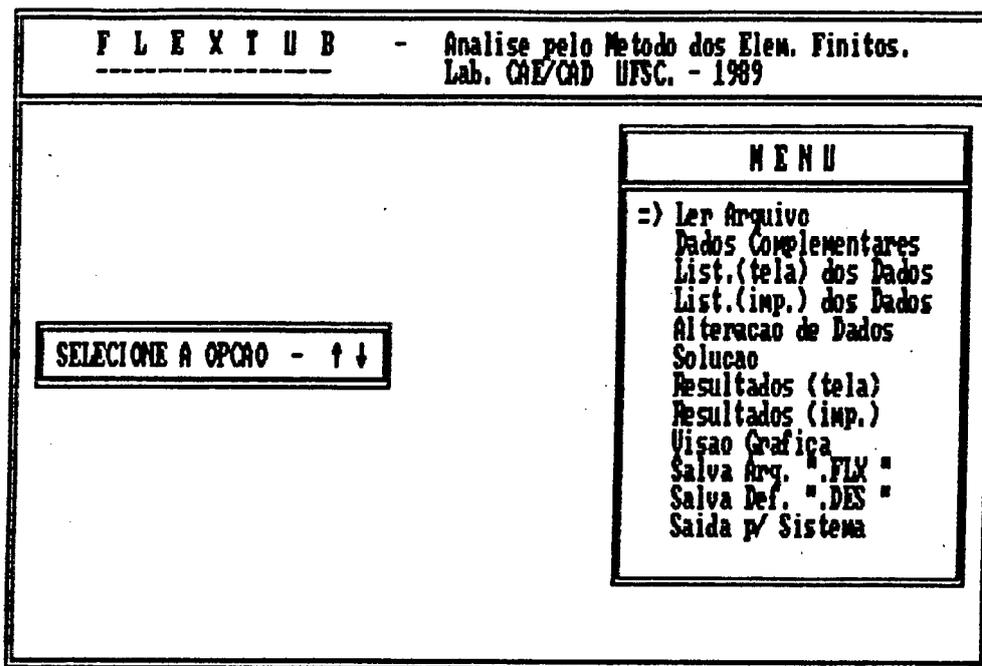


Fig. 2.4 - Menu principal do " FLEXTUB "

- Consistência dos Dados de Entrada

O programa oferece a condição de verificação da consistência dos dados de entrada com saídas para tela e impressora.

- Alteração de Dados

Com esta opção é possível, alterando-se os dados de entrada, analisar o comportamento da rede sob as mais diversas condições de solicitações e vinculações.

As facilidades oferecidas ao projetista para a análise, mediante simples reprocessamento, das possíveis condições estabelecidas, contribuem para o desenvolvimento de projetos mais elaborados.

- Capacidade do Programa

Em um programa de análise por elementos finitos, a etapa que requer maior capacidade de armazenamento de dados é durante a montagem da matriz de rigidez global do sistema. A solução adotada, afim de usar de forma otimizada a memória disponível no equipamento, foi a definição de variáveis com alocação dinâmica, disponível na linguagem PASCAL, associando um processo de armazenamento da matriz sob a forma de " meia banda superior ".

Portanto, a capacidade de solução quanto ao número de nós e elementos, será função da largura de banda e da capacidade de memória disponível. Porém, como limitante superior, tem-se as matrizes, que definem os nós e elementos, dimensionadas para 300 nós e 300 elementos, suficiente para abordagem da maioria dos problemas desta natureza.

- Tipos de Análise

O programa permite uma análise linear da rede submetida a carregamentos, de forma combinada ou individual, dos tipos: esforços concentrados (forças e momentos); peso próprio levando em consideração tubo/fluido e carregamentos impostos por deformações térmicas com a opção de entrada de temperaturas diferentes para cada nó.

Para a solução de peso próprio foi utilizada a substituição do carregamento uniforme por solicitações nodais consistentes. No caso de temperaturas nodais diferentes, é feito sobre o elemento uma interpolação linear para cálculo das

deformações térmicas.

Resultados

A apresentação dos resultados numéricos pode ser feita em janelas de texto no vídeo ou via impressora, fundamental para a documentação do caso analisado.

Para uma melhor interpretação física dos resultados, os deslocamentos e reações de apoios são especificados em um sistema de eixos global, e esforços e tensões sobre cada elemento, em sistemas locais definidos pelo próprio programa. Os critérios de definição destes sistemas locais serão explicados com mais detalhes no item 4.6.

Em termos de saída gráfica, é possível uma visualização da rede nas condições indeformada/deformada, contando para isto, com recursos de transformação de visão comandados por um sub-menu na própria tela gráfica, que auxilia a compreensão e interpretação dos resultados.

Uma outra opção gráfica disponível é a condição de poder acrescentar aos arquivos ".DES" (usados pelo EGG), parâmetros referentes à estrutura deformada. Esta condição permite a obtenção de desenhos com melhor resolução gráfica via "drive" de impressora ou "plotter". A associação é feita em um nível de desenho (folha visível) especificada pelo usuário.

2.5. ARQUIVOS

Neste item serão apresentados os formatos e definições dos arquivos envolvidos no sistema.

2.5.1. ARQUIVOS ".ISO "

São arquivos do tipo texto, gerados pelo " ISOTUB ", contendo informações suficientes para se retornar ao processo do desenho e concepção da instalação, bem como alimentar o bloco de análise.

Contando com notas de comentários, sua interpretação torna-se fácil e possibilita obter informações diretas sobre a instalação sem a necessidade de acionar o programa.

As Fig. 2.5a e 2.5b mostram o desenho de uma instalação no " ISOTUB " e seu arquivo ".ISO " correspondente.

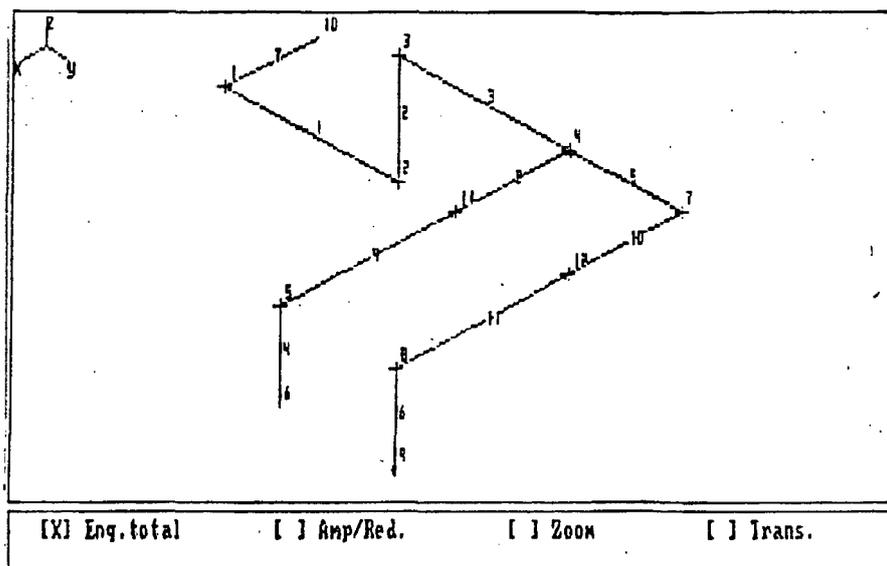


Fig. 2.5a - Desenho da instalação no " ISOTUB "

ARQUIVO -->	FIGIS ISO	N/ ISOMETRICA -->	3452	→ Campo 1
100.0000	100.0000	150.0000	Oriem	
17		N/ de Nos		→ Campo 2
11		N/ de Elem.		
281	26	Inicio do Desenho		
9		No de Ref.		
1.1714		Fator de Escala		
1	0	Status no e elem		
DADOS RELATIVOS AOS NOS				
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	
0.0000	150.0000	0.0000	0.0000	
0.0000	150.0000	100.0000	0.0000	
0.0000	300.0000	100.0000	0.0000	
250.0000	300.0000	100.0000	0.0000	→ Campo 3
250.0000	300.0000	20.0000	0.0000	
0.0000	400.0000	100.0000	0.0000	
250.0000	400.0000	100.0000	0.0000	
250.0000	400.0000	20.0000	0.0000	
-80.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
100.0000	300.0000	100.0000	0.0000	
100.0000	400.0000	100.0000	0.0000	
DADOS RELATIVOS AOS NOS TRANSFORMADOS				
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
124.2491	-32.6085	0.0000	0.0000	
124.2491	10.8658	0.0000	0.0000	
248.4982	-21.7427	0.0000	0.0000	
41.4164	-76.0902	0.0000	0.0000	
41.4164	110.8697	0.0000	0.0000	
331.3310	-43.4817	0.0000	0.0000	
124.2491	-97.8293	0.0000	0.0000	
124.2491	132.6088	0.0000	0.0000	
66.2667	17.3912	0.0000	0.0000	
165.6655	-43.4818	0.0000	0.0000	
248.4982	-65.2208	0.0000	0.0000	
DADOS RELATIVOS AOS ELEH.				
1 2 1 0				
2 3 1 0				
3 4 1 0				
5 6 1 0				
4 7 2 0				
6 9 7 0				
1 10 2 0				
4 11 1 0				
11 5 1 0				
7 12 2 0				
12 8 7 0				
DADOS RELATIVOS AOS SIMBOLOS				
9		N/ de Simbolos		
1	B:JOE90.DES	D	0	
2	B:JOE90.OES	D	0	
3	B:JOE90.DES	D	0	
4	B:TE90.DES	D	0	
7	B:JOE90.DES	D	0	
5	B:JOE90.DES	D	0	
8	B:JOE90.DES	D	0	
11	B:CAUF.DES	X	0	
12	B:CAUF.DES	X	0	→ Campo 6

Fig. 2.5b - Arquivo ".ISO" da instalação

Definição dos campos dos Arquivos ".ISO":

Campo 1:

Definição do nome do arquivo e o número da isométrica.

Campo 2:

Definição da origem do sistema local, onde foi desenvolvido o projeto, em relação ao sistema global.

Campo 3:

As três primeiras colunas deste campo referem-se às coordenadas reais dos nós (X,Y,Z), no sistema local, com a numeração dos nós obedecendo à sequência de impressão; a quarta coluna é reservada para o status do nó, se 0 (zero) → ativo, se 1 (um) → deletado.

Campo 4:

Este campo é constituído pelas coordenadas dos nós, transformadas de 3D → 2D, por uma matriz de transformação de perspectiva isométrica. As duas primeiras colunas representam as coordenadas (X,Y), e a terceira indica o status do nó, de forma semelhante ao anteriormente descrito.

Campo 5:

Os dados referentes às conectividades dos elementos, numerados de acordo com a sequência de impressão, são definidos neste campo pelas duas primeiras colunas, onde representam o primeiro e o segundo nó do elemento, respectivamente.

A terceira coluna indica o código numérico atribuído à propriedade daquele elemento, e a quarta coluna define o status de forma semelhante ao anteriormente descrito para os nós.

Campo 6:

Este campo refere-se aos símbolos que foram definidos durante a execução do projeto. Inicialmente é indicado o número total de símbolos constantes no desenho, e em seguida, por ordem das colunas tem-se: número do nó onde foi inserido; nome do símbolo constante na biblioteca; direção sobre a qual foi

definido; ângulo de rotação em relação ao eixo, e finalmente um caracter que indica o status se (-) → ativo, se (*) → deletado.

2.5.2. ARQUIVOS ".DES "

São arquivos também gerados pelo " ISOTUB ", montados dentro dos padrões do Editor Gráfico " EGG ".[7]

Durante a sua gravação, são pesquisados em disco os dados referentes aos símbolos da biblioteca e sobre eles aplicadas as operações de transformação. Com isso, forma-se um único bloco, tubulação/acessórios, capaz de representar em perspectiva isométrica o desenho com aspecto final da instalação.

A Fig.2.6 mostra o desenho final visto pelo " EGG " da instalação comentada no item 2.5.1, mediante a geração do arquivo ".DES " correspondente.

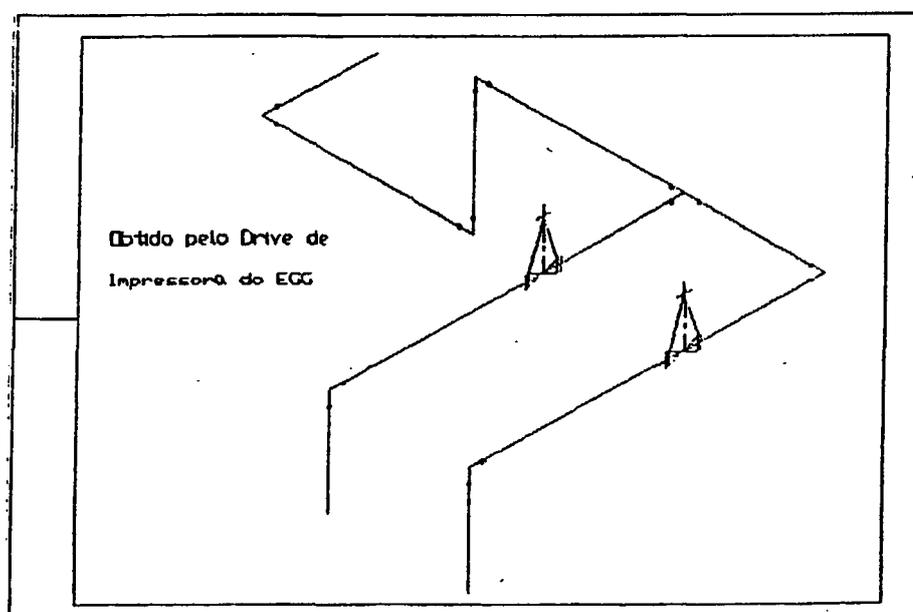


Fig. 2.6 - Desenho final obtido pelo " EGG "

2.5.3. ARQUIVOS ".FLX"

Estes são arquivos, internos ao bloco de análise, e contém, a mais que os arquivos ".ISO", os dados complementares necessários para o processo de análise.

Gerados pelo próprio "FLEXTUB" para sua realimentação, estes arquivos são do tipo texto, e contam com comentários que os tornam auto-explicativo e de fácil interpretação (Fig. 2.7).

```

ARQUIVO ==> FIG26.FLX
12
11
2
60
18
( n/ de nos )
( n/ de elem. )
( n/ de prop. )
( largura de banda )
( n/ de restricoes )

COORDENADAS DOS NOS
0.0000 0.0000 0.0000
0.0000 150.0000 0.0000
0.0000 150.0000 100.0000
0.0000 300.0000 100.0000
250.0000 300.0000 100.0000
250.0000 300.0000 20.0000
0.0000 400.0000 100.0000
250.0000 400.0000 100.0000
250.0000 400.0000 20.0000
-50.0000 0.0000 0.0000
100.0000 300.0000 100.0000
100.0000 400.0000 100.0000

1/2/3 NOS E PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS
1 2 13 1
2 3 14 1
3 4 15 1
5 8 16 1
4 7 17 2
8 9 18 2
1 10 19 2
4 11 20 1
11 6 21 1
7 12 22 2
12 8 23 2

COORDENADAS DOS 3/ NOS
0.0000 0.0000 75.0000
80.0000 150.0000 0.0000
0.0000 150.0000 175.0000
200.0000 300.0000 100.0000
0.0000 300.0000 150.0000
200.0000 400.0000 100.0000
0.0000 0.0000 40.0000
0.0000 300.0000 150.0000
100.0000 300.0000 175.0000
0.0000 300.0000 150.0000
100.0000 400.0000 150.0000
100.0000 400.0000 175.0000

NUMERO DAS PROPRIEDADES
1
2

PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS
Propriedade --> 1
3.0000000000E+00
2.0000000000E+00
2.1000000000E+00
8.5000000000E+05
2.3000000000E-01
1.2000000000E-09
2.90999917UC+00
3.190600388E+00
0.3913600778E+00
2.1271200258E+00
4.2542400517E+00
( diam. ext. )
( diam. int. )
( mod. elect. long. )
( mod. elect. trans. )
( peso p/m )
( coef. dilat. termica )
( area de secao )
( mto. de inercia )
( mto. polar )
( mod. flexao )
( mod. torcao )

Propriedade --> 2
2.5000000000E+00
1.7000000000E+00
2.1000000000E+00
8.5000000000E+05
1.0000000000E-01
1.2000000000E-05
2.9285378280E+00
1.5074932348E+00
3.0149884897E+00
1.2059945870E+00
2.4119991757E+00
( diam. ext. )
( diam. int. )
( mod. elect. long. )
( mod. elect. trans. )
( peso p/m )
( coef. dilat. termica )
( area de secao )
( mto. de inercia )
( mto. polar )
( mod. flexao )
( mod. torcao )

GRAUS DE LIBERDADE RESTRINGIDOS
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64

CARGAS CONCENTRADAS (gran de lib. / corpo)
63 -40.0000
64 -32.0000
0

TEMPERATURA INICIAL DA REDE
23.0000

VARIACAO DE TEMPERATURA DOS NOS (temp.float - temp.inicial)
146.0000
147.0000
148.0000
140.0000
131.0000
127.0000
137.0000
130.0000
124.0000
151.0000
128.0000
124.0000

PESO ESPECIFICO DO FLUIDO
0.0010
    
```

Fig. 2.7 - Formato do arquivo ".FLX"

CAPÍTULO 3

3. PROGRAMAS AUXILIARES

Alguns programas auxiliares foram desenvolvidos de forma a manter a estrutura principal do sistema mais simples e operacional. Estes programas serão descritos a seguir, ressaltando-se suas características e objetivos.

3.1. MENU

O programa " MENU " foi desenvolvido para atender à necessidade do " ISOTUB " de um Menu do tipo " Window ", gerenciador do programa e capaz de aparecer na tela gráfica sobrepondo-se ao desenho sem destruí-lo.

Basicamente consiste em gerar o Menu na tela, e mediante o uso do recurso de linguagem " GETPIC " [18], disponível no " TURBO PASCAL ", converter esta imagem em um arquivo formado por uma matriz de bytes, representativa do estado de permanência dos pixels que compõem esta região .

Este arquivo, definido com o nome de " MENUARQ ", é lido pelo " ISOTUB " e alocado dinamicamente na memória, permitindo expor o Menu a qualquer momento na tela, usando o

comando de linguagem "PUTPIC" [18].

A região do desenho onde será exposto o Menu, também deverá ser convertida em uma matriz de bytes temporária, pelo mesmo processo, afim de restituir o desenho na sua forma original quando o Menu for descartado.

A Fig. 3.1 mostra a tela do programa após sua operação.

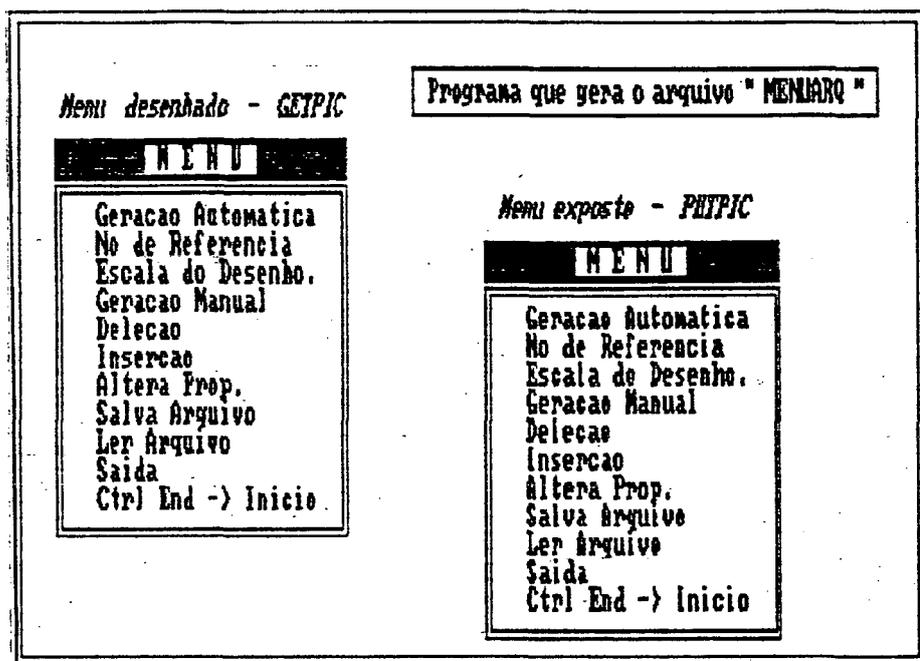


Fig. 3.1 - Menu representado por uma matriz de bytes - "MENUARQ"

3.2. NÚMERO

Este programa tem como objetivo o desenvolvimento de uma "fonte" de números a ser utilizada pelo sistema na numeração de nós e elementos.

Neste caso, os números são desenhados numa matriz de pixel (4 x 5), ponto a ponto, e por um processo idêntico ao

anteriormente descrito, transformado em um arquivo com o nome de " NUMARQ " (Fig. 3.2), que também será lido pelos programas " ISOTUB " e " FLEXTUB " e alocado dinamicamente na memória.

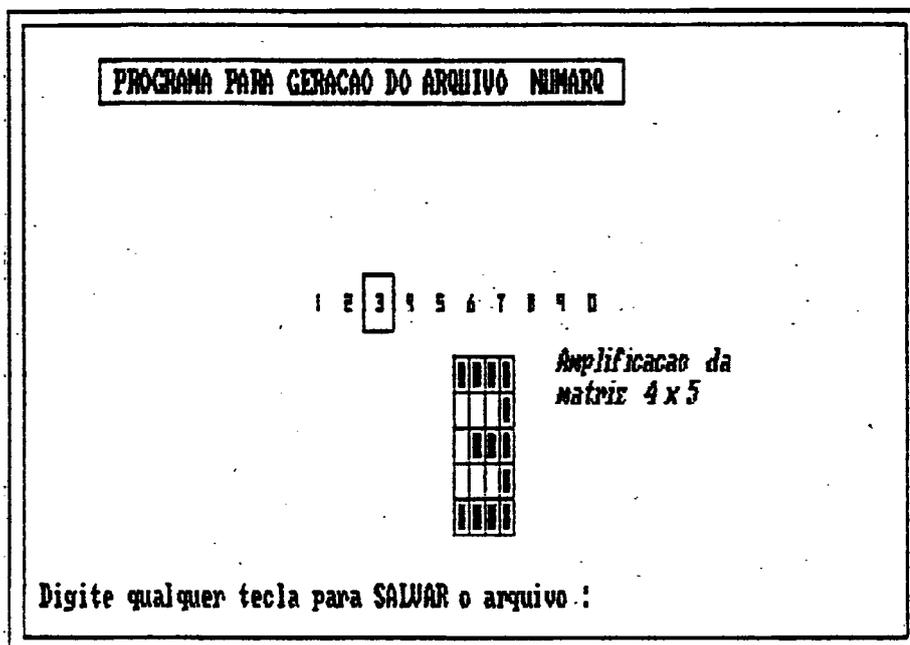


Fig. 3.2 - Geração do arquivo " NUMARQ "

Este procedimento justifica-se, em função de que a opção natural da linguagem oferece apenas uma matriz de 80 colunas por 25 linhas para posicionamento dos caracteres, o que implicaria numa plotagem dos números em locais inadequados. Outro fator contrário seria o tamanho dos caracteres, que sendo maior que o indicado, provocaria uma saturação na imagem da estrutura quando numerada.

Com o uso da " fonte " desenvolvida, os parâmetros de posicionamento passam a ser as coordenadas expressas em pixels, que somando-se a um tamanho adequado dos caracteres, melhoram consideravelmente o visual na tela da estrutura numerada.

3.3. CONISO

Com a definição de sistemas de coordenadas local, já mencionado anteriormente, torna-se possível concatenar desenhos de isométricas, construídos individualmente, em um único desenho, através do programa " CONISO ".

O processo de concatenação dar-se-á com os arquivos ".DES", a fim de que os complementos elaborados nos desenhos individuais pelo Editor gráfico, não sejam perdidos.

O arquivo global é montado de tal forma que cada isométrica concatenada constitui um " *Nível de Desenho* ", portanto para a sua visualização deve-se selecionar no ambiente do " EGG ", os níveis visíveis correspondentes.

Em termos de operação, o " CONISO ", é bastante simples, bastando apenas, após a indicação dos drivers de origem e destino, digitar os nomes dos arquivos a serem concatenados.

A Fig. 3.3 mostra a única tela do programa, suficiente para a sua completa operação.

C O N I S O - Concatena Arquivos de Isométricas		Lab: CAE/CAD	UFSC
Nome do arquivo -> TOTAL.DES		Arquivos a Concatenar ----- AREA1 AREA3 AREA7	
Arq. Gerado Drive -> B:			
Arq. Fonte Drive -> A:			
Arquivo a concatenar (s/ext):			
F1 --> Deleta Arquivo			
F2 --> Fim dos Dados			

Fig 3.3 - Tela de operação do " CONISO "

CAPÍTULO 4

4. PRINCIPAIS ALGORÍTIMOS UTILIZADOS

Diversos algoritmos computacionais foram utilizados no desenvolvimento do sistema, porém para compor este capítulo foram selecionados os de maior interesse no contexto do trabalho.

4.1. PERSPECTIVA ISOMÉTRICA

Pode-se afirmar, sem perda de generalidade, que todas as transformações de visão passíveis de serem aplicadas a um objeto no espaço (3D), podem sempre ser representadas pela aplicação de uma matriz única, definida por aplicações sucessivas de matrizes elementares que individualmente representam operações, tais como: rotações; translações; escalamento.

Portanto, sendo " P " o vetor representativo de um ponto do objeto em 3D, pode-se obter um novo vetor " P' ", transformado, mediante a aplicação da matriz de transformação " T ", tal que:

$$P' = T \cdot P \quad (4.1)$$

Para permitir uma uniformidade na representação das transformações, é necessário usar a definição de coordenadas homogêneas, ou seja, um ponto no espaço terá como coordenadas:

$$P = (X, Y, Z, 1)^T \quad (4.2)$$

e portanto a matriz " T " será de dimensão (4x4).

Definida como um caso particular de uma perspectiva axonométrica em que se promove uma redução de igual intensidade nos três eixos, a transformação isométrica pode ser representada pela seguinte matriz: [33]

(4.3)

$$T = \begin{bmatrix} 0,70711 & 0 & -0,70711 & 0 \\ -0,40827 & 0,81647 & -0,40827 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

onde os termos da matriz, correspondem a cossenos e senos de ângulos de rotações em torno dos eixos principais, definidos univocamente para a perspectiva isométrica.

Uma abordagem mais detalhada sobre este assunto poderá ser encontrada no APENDICE " A ".

Desta forma, ao se definir um nó da instalação no espaço com coordenadas (x,y,z), pode-se encontrar suas coordenadas transformadas (x',y',z'), da seguinte forma:

(4.4)

$$\begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,70711 & 0 & -0,70711 & 0 \\ -0,40827 & 0,81647 & -0,40827 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{Bmatrix}$$

onde a coordenada " z' " é sempre igual a 0 (zero), indicando uma transformação 3D \Rightarrow 2D.

Estas novas coordenadas obtidas pela operação acima, são em seguida convertidas em coordenadas de tela e plotadas no monitor.

4.2. COORDENADAS DE TELA

Nos dispositivos de vídeo dos equipamentos da linha IBM - PC e compatíveis, que utilizam placa gráfica *CGA - Color Graphics Adapter*, dispõe-se de 640 pontos na horizontal contra 200 na vertical, no modo de alta resolução. Percebe-se desta forma a necessidade de um fator de compatibilização de escala que seria a princípio igual ao quociente entre 640/200, ou seja, para cada ponto caminhado na direção " Y ", dever-se-ia caminhar 3.2 pontos na direção " X ".

Além do fato da desigualdade em termos dos números de pontos, verifica-se também uma desigualdade nas dimensões (x,y), que definem a área de imagem do dispositivo. Na maioria dos equipamentos esta relação ly/lx , varia no intervalo de 0,687 \Rightarrow 0,760.

Assim sendo, a combinação dos dois itens define um

Fator de Aspecto [33], que torna possível a reprodução do desenho no seu aspecto original. Portanto efetivamente:

$$F_{\text{Aep.}} = 640/200 * ly/lx \quad (4.5)$$

para uma relação $ly/lx = 0,752$ dos equipamentos IBM tem-se:

$$F_{\text{Aep.}} = 2,40$$

o que corresponde; a cada ponto caminhado na direção " Y ", deve-se caminhar 2,4 pontos na direção " X ".

Outro fator a ser levado em consideração, é com relação à origem (0,0), do sistema de coordenadas de tela, que originalmente corresponde ao canto superior esquerdo da tela. No caso do " ISOTUB ", este ponto foi deslocado para o centro da tela gráfica, ou seja, coordenadas (319,84) em pixels, já que o VIEWPORT está definido com canto superior esquerdo (0,0) e canto inferior direito (619,170).

Este deslocamento pode ser obtido mediante a aplicação de uma matriz de translação às coordenadas dos pontos do desenho, explicada com mais detalhes posteriormente.

Com relação ao escalamento do desenho, este se processa em relação à origem do sistema local que corresponde sempre ao ponto de início do desenho. Consiste basicamente na aplicação de um fator de escala, definido pelo usuário, sobre as coordenadas de todos os nós transformados. Esta transformação pode ser representada por uma matriz de escalamento [34] conforme a Eq. 4.6, já em 2D.

$$\begin{Bmatrix} x'_{esc} \\ y'_{esc} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (4.6)$$

onde " f " é o fator de escala definido.

Uma translação do desenho sem escalamento, poderá ser obtida mediante a aplicação de uma matriz [34], como mostra a Eq. 4.7.

$$\begin{Bmatrix} x'_{tra} \\ y'_{tra} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Tx \\ 0 & 1 & Ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (4.7)$$

onde " Tx " e " Ty ", são os deslocamentos nas direções " X " e " Y " respectivamente.

Quando se deseja um enquadramento total do desenho na tela gráfica, as duas operações acima citadas, escalamento e translação, deverão ser aplicadas às coordenadas dos nós transformados. A aplicação sucessiva destas matrizes, por ordem escalamento e em seguida translação, resulta em uma outra matriz (eq. 4.8), capaz de sozinha representar a operação de enquadramento.

$$\begin{Bmatrix} x'_{enq} \\ y'_{enq} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{enq} & 0 & Tx_{enq} \\ 0 & f_{enq} & Ty_{enq} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (4.8)$$

onde f_{enq} , Tx_{enq} , Ty_{enq} são fatores que definem o enquadramento, calculados automaticamente quando esta opção é acionada.

O procedimento utilizado para o cálculo do fator de escala " f_{enq} ", capaz de promover o enquadramento do desenho, é fundamentado nas seguintes etapas:

- Pesquisa no arquivo de coordenadas dos nós, os máximos valores positivo e negativo das coordenadas " X ", ou seja, " X_{maxp} " e " X_{maxn} ". O mesmo procedimento é repetido para as coordenadas " Y ", definindo-se " Y_{maxp} " e " Y_{maxn} ".
- Cálculo dos fatores de escala de enquadramento por " X " ou por " Y ".

(4.9)

$$f_{x_{\text{enq}}} = \left(\begin{array}{l} \text{nº de pixels em X} \\ \text{da janela gráfica} \end{array} \right) / (X_{\text{maxp}} - X_{\text{maxn}})$$

(4.10)

$$f_{y_{\text{enq}}} = \left(\begin{array}{l} \text{nº de pixels em y} \\ \text{da janela gráfica} \end{array} \right) / \left[(Y_{\text{maxp}} - Y_{\text{maxn}}) / F_{\text{asp}} \right]$$

- Escolha do menor valor entre $f_{x_{\text{enq}}}$ e $f_{y_{\text{enq}}}$, pois, só assim, garante-se o enquadramento nas duas direções.

Em seguida, é necessário promover uma translação do

desenho, de tal forma que o ponto de centro de um retângulo imaginário envolvente coincida com o centro da tela gráfica, ou seja, ponto com coordenadas (319,84). Para isto, deve-se transladar a origem do desenho para as coordenadas " O_x " e " O_y ", calculadas pelas eq. 4.11 e eq. 4.12.

$$O_x = 319 - (X_{maxp} - X_{maxn}) / 2 - X_{maxn} \quad (4.11)$$

$$O_y = 84 + (Y_{maxp} - Y_{maxn}) / 2 + Y_{maxn} \quad (4.12)$$

O procedimento de Zoom em torno de um nó, é obtido de forma semelhante à anterior, ou seja, a coordenada do nó selecionado é transladada para o centro da tela gráfica, e em seguida, é feito um escalamento com fator de escala definido pelo usuário.

4.3. INSERÇÃO DOS SÍMBOLOS

Os símbolos pertencentes à biblioteca, são desenhados pelo " EGG ", (ver item 2.3.4), no plano. Porém no desenho de perspectiva isométrica, condições de formas de representações diferentes para um mesmo símbolo são impostas em função do plano em que está contido e do ângulo de rotação em torno do eixo.

Ao ser elaborado no " EGG ", cada ponto que define o símbolo corresponderá, no arquivo gráfico, a um par de coordenadas (x,y) representadas por letras minúsculas, que deverão ser compatibilizadas com as coordenadas (X,Y,Z) do desenho em 3D, representadas por letras maiúsculas.

Para tal, em função da direção especificada na opção inserção de símbolo, foram criadas três condições de compatibilização das coordenadas (Fig. 4.1b a Fig. 4.1d) para as posições de default, representada pela Fig. 4.1a.

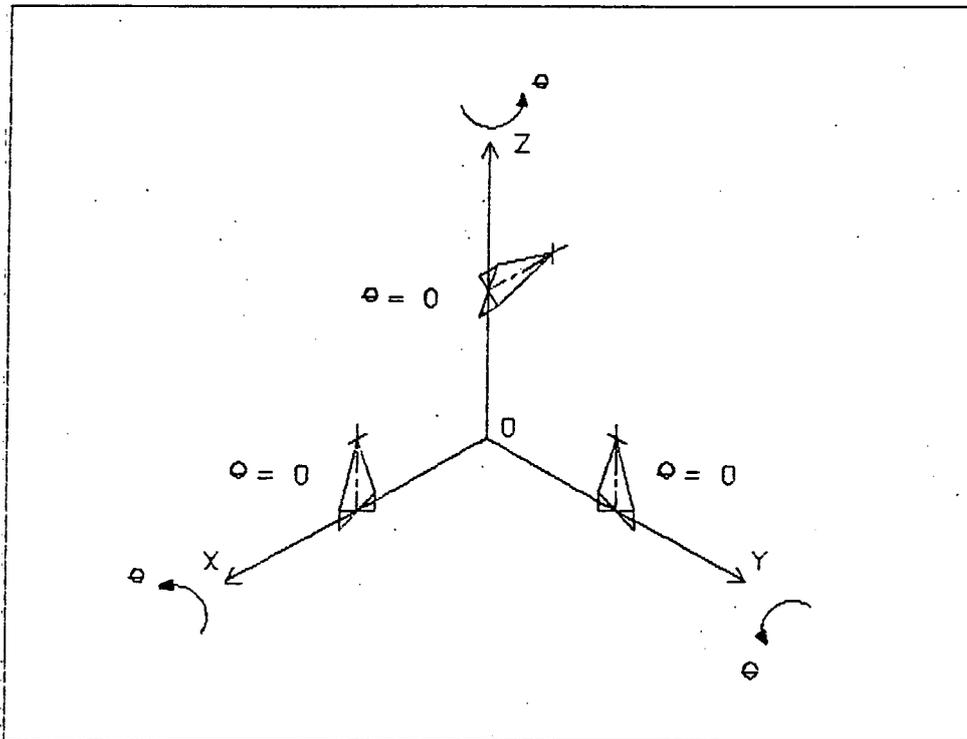
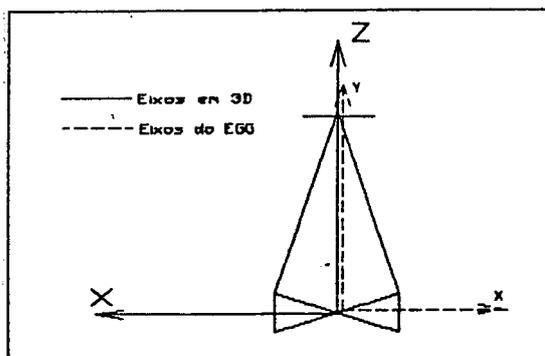


Fig. 4.1a - Posições de Default dos Símbolos

CONDICÃO 1 - Direção " X "

Contido no plano X-Z e parte superior na direção Z(+).

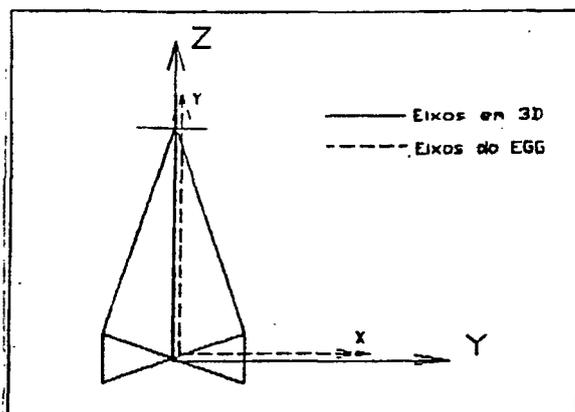


$$\left\{ \begin{array}{l} X = -x \\ Y = 0 \\ Z = y \\ \theta = 0 \end{array} \right.$$

Fig. 4.1b - Inserção sobre " X "

CONDICÃO 2 - Direcção " Y "

Contido no plano Y-Z e parte superior na direcção Z(+).

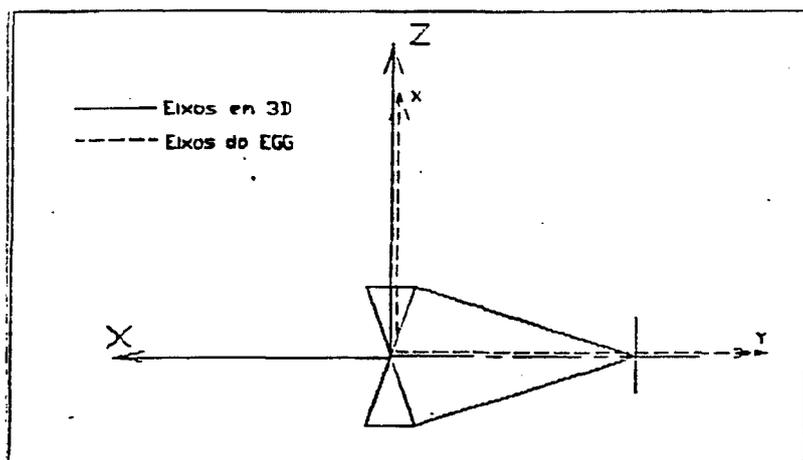


$$\begin{cases} X = 0 \\ Y = x \\ Z = y \\ \theta = 0 \end{cases}$$

Fig. 4.1c - Inserção sobre " Y "

CONDICÃO 3 - Direcção " Z "

Contido no plano X-Z e parte superior na direcção X(-).



$$\begin{cases} X = -y \\ Y = 0 \\ Z = x \\ \theta = 0 \end{cases}$$

Fig. 4.1d - Inserção sobre " Z "

Após a compatibilização das coordenadas e antes de aplicar as matrizes de perspectiva isométrica e coordenadas de tela, pode-se promover uma rotação no símbolo em torno do eixo

em que foi definido. Esta rotação de um ângulo " θ ", deve ser especificada de acordo com a Fig. 4.1a.

As matrizes responsáveis por estas rotações, são mostradas a seguir: [34]

Rotação em torno de " X "

(4.13)

$$\begin{Bmatrix} X_{rot} \\ Y_{rot} \\ Z_{rot} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \text{sen } \theta & 0 \\ 0 & -\text{sen } \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Rotação em torno de " Y "

(4.14)

$$\begin{Bmatrix} X_{rot} \\ Y_{rot} \\ Z_{rot} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\text{sen } \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Rotação em torno de " Z "

(4.15)

$$\begin{Bmatrix} X_{rot} \\ Y_{rot} \\ Z_{rot} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta & 0 & 0 \\ -\text{sen } \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{Bmatrix}$$

4.4. FORMULAÇÃO DO ELEMENTO [23] [24] [26] [27] [28]

Como já mencionado no item 2.4.1, o modelo matemático utilizado para representar a rede de tubulação foi o de um elemento de viga definido no espaço, conseqüentemente oferecendo seis graus de liberdade por nó (deslocamentos e rotações para cada uma das direções principais).

No processo de obtenção da matriz de rigidez do elemento, foi utilizado o Princípio da Mínima Energia Potencial que, para análise de tensões e deformações, diz que as equações da elasticidade e de equilíbrio são satisfeitas quando existe uma condição de estacionariedade da energia do sistema em relação aos deslocamentos. No caso em questão, esta condição se caracteriza como um estágio de mínima energia.

A energia potencial total do sistema é dada pela soma da energia de deformação do elemento " U_e " e do trabalho realizado pelas forças externas " W ".

$$\Pi_p = U_e + W \quad (4.16)$$

onde:

$$U_e = \frac{1}{2} \int_V \langle \epsilon \rangle^T \langle \sigma \rangle dv \quad (4.17)$$

$\langle \epsilon \rangle^T \rightarrow$ Vetor deformação transposto

$\langle \sigma \rangle \rightarrow$ Vetor tensão

ϵ ;

$$\Pi = - \int_V \langle u \rangle^T \langle P_b \rangle dv - \int_s \langle u \rangle^T \langle P_s \rangle ds - \sum_{i=1}^n \langle u_i \rangle^T \langle P_i \rangle \quad (4.18)$$

$\langle u \rangle^T \Rightarrow$ Vetor deslocamento transposto

$\langle P_b \rangle \Rightarrow$ Forças de corpo

$\langle P_s \rangle \Rightarrow$ Forças de superfície

$\langle u_i \rangle^T \Rightarrow$ Vetor dos deslocamentos nodais transposto

$\langle P_i \rangle \Rightarrow$ Forças concentradas aplicadas nos nós

Da elasticidade sabe-se que:

$$\langle \sigma \rangle = [D] \langle \epsilon \rangle ,$$

onde:

$[D] \Rightarrow$ Matriz das relações constitutivas

portanto pode-se escrever (4.16) da seguinte forma:

(4.19)

$$\Pi_p = \frac{1}{2} \int_V \langle \epsilon \rangle^T [D] \langle \epsilon \rangle dv - \int_V \langle u \rangle^T \langle P_b \rangle dv - \int_s \langle u \rangle^T \langle P_s \rangle ds - \sum_{i=1}^n \langle u_i \rangle^T \langle P_i \rangle$$

Os deslocamentos no domínio de cada elemento, podem ser expressos em função dos valores nodais. Para tal, é adotado um campo de deslocamentos compatíveis entre os elementos e interpolado os valores através de funções adequadas para cada tipo de elemento e seu comportamento. Estas funções são

conhecidas como as funções de interpolação do elemento.

$$u = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 + \dots + N_i u_i$$

na forma matricial:

$$\langle u \rangle = [N] \langle u_i \rangle \quad (4.20)$$

$\langle u \rangle \rightarrow$ Deslocamentos no domínio do elemento

$\langle u_i \rangle \rightarrow$ Vetor dos deslocamentos nodais

$[N] \rightarrow$ Matriz das funções de interpolação

Com isso, o vetor representativo das deformações $\langle \epsilon \rangle$ poderá ser expresso em função dos deslocamentos nodais através de uma matriz $[B]$, que relaciona as deformações com os deslocamentos nodais.

$$\langle \epsilon \rangle = [B] \langle u_i \rangle \quad (4.21)$$

$\langle \epsilon \rangle \rightarrow$ Vetor deformação do elemento

$[B] \rightarrow$ Matriz que relaciona deformação/deslocamentos

$\langle u_i \rangle \rightarrow$ Vetor dos deslocamentos nodais

Onde a matriz $[B]$ é obtida mediante a correta diferenciação dos termos da matriz $[N]$.

Portanto substituindo-se (4.20) e (4.21) em (4.19)

tem-se:

$$\Pi_p = \frac{1}{2} \int_v \langle u_i \rangle^T [B]^T [D] [B] \langle u_i \rangle dv - \int_v \langle u_i \rangle^T [N]^T \langle P_b \rangle dv -$$

$$- \int_s \langle u_i \rangle^T [N]^T \langle P_s \rangle ds - \sum_{i=1}^n \langle u_i \rangle^T \langle P_i \rangle$$

ou ainda:

$$\begin{aligned} \Pi_p = & \frac{1}{2} \langle u_i \rangle^T [K] \langle u_i \rangle - \langle u_i \rangle^T \int_v [N]^T \langle P_b \rangle dv - \\ & - \langle u_i \rangle^T \int_s [N]^T \langle P_s \rangle ds - \langle u_i \rangle^T \sum_{i=1}^n \langle P_i \rangle \end{aligned} \quad (4.22)$$

onde:

$$[K] = \int_v [B]^T [D] [B] dv \quad (4.23)$$

é a matriz de rigidez do elemento.

Aplicando-se agora o princípio da mínima energia potencial em (4.22), que corresponde à igualar a zero a primeira variação da energia total do sistema " $\delta\Pi_p$ ", obtém-se as equações de equilíbrio.

A primeira variação pode ser interpretada, neste caso, como composta de uma série de derivadas parciais de " Π_p " em relação às coordenadas independentes ou variáveis em termos das quais ela é expressa. Ou seja:

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial \langle u_i \rangle} = 0 = [K] \langle u_i \rangle - \int_v [N]^T \langle P_b \rangle dv - \int_s [N]^T \langle P_s \rangle ds - \sum_{i=1}^n \langle P_i \rangle$$

ou ainda:

$$[K] \langle u \rangle = \langle f \rangle \quad (4.24)$$

onde:

$[K]$ \Rightarrow Matriz de rigidez do elemento

$\langle u \rangle$ \Rightarrow Vetor dos deslocamentos nodais

$\langle f \rangle$ \Rightarrow Vetor de forças nodais consistentes

- Cálculo da matriz de rigidez do elemento

O comportamento no espaço de um elemento unidimensional, retilíneo e de seção constante, referenciado a um sistema de coordenadas local, pode ser avaliado como sendo a composição de esforços de flexão pura em dois planos, axiais (tração ou compressão) e torção pura. Esta condição impõe 06 (seis) graus de liberdade para cada nó do elemento, ou seja: três deslocamentos (u_x, u_y, u_z) e três rotações ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$), segundo as direções principais do sistema Fig. (4.2).

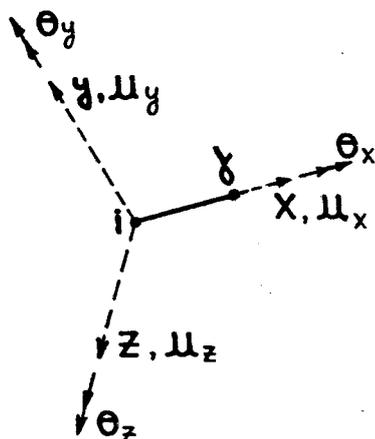


Fig. 4.2 - Graus de liberdade de um elem. de viga no espaço

Desta forma, sua rigidez pode ser representada por uma matriz de dimensões 12×12 .

Para cada tipo de sollicitação, definida anteriormente,

correspondem determinados graus de liberdade afetados, conforme demonstrado a seguir:

- Flexão no plano "XY" $\rightarrow (u_y, \theta_z)$
- Flexão no plano "XZ" $\rightarrow (u_z, \theta_y)$
- Esforços axiais $\rightarrow (u_x)$
- Esforços de torção $\rightarrow (\theta_x)$

Em termos de energia de deformação total do elemento nestas condições pode-se escrever:

$$U_{e_T} = (U_{e_{\text{flexão}}} + U_{e_{\text{cizalhamento}}}) + U_{e_{\text{axial}}} + U_{e_{\text{torção}}}$$

Para os casos em que o comprimento da viga é bem maior que a altura (da ordem de 10 vezes), a parcela relativa ao cizalhamento é consideravelmente menor que a de flexão podendo portanto ser desprezada. Esta simplificação caracteriza a teoria proposta por Euler Bernuilli para vigas e será utilizada por ser bastante coerente para o caso de projeto de tubulações.

Da teoria da elasticidade pode-se, portanto, escrever que a energia de deformação total é dada por:

$$\begin{aligned}
 U_{e_T} = & \underbrace{\frac{1}{2} \int_0^L E I \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx}_{\text{flexão}} + \underbrace{\frac{1}{2} \int_0^L E A \left(\frac{du}{dx} \right)^2 dx}_{\text{axial}} + \\
 & + \underbrace{\frac{1}{2} \int_0^L G K \left(\frac{d\phi}{dx} \right)^2 dx}_{\text{torção}} \quad (4.25)
 \end{aligned}$$

onde:

$E \Rightarrow$ Módulo de elasticidade longitudinal

$I \Rightarrow$ Momento de inércia da seção

$A \Rightarrow$ Área da seção

$G \Rightarrow$ Módulo de elasticidade transversal

$K \Rightarrow$ Coeficiente de torção (para seções circulares coincide com o momento de inércia polar "J")

$u \Rightarrow$ Deslocamentos

$\phi \Rightarrow$ Ângulo de torção

Identificação das matrizes [D]; [N] e [B]

Para flexão:

A matriz [D] pode ser definida por intermédio da relação momento fletor/curvatura válida para vigas:

$$M_f = E I \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)$$

portanto: $[D] = [E I]$ (4.26)

A matriz [N], composta pelas funções de interpolação, expressas em termos de coordenadas intrínsecas $\xi = x/l$, com $\theta_i = \frac{du_i}{dx} = \frac{du_i}{d\xi} \cdot \frac{d\xi}{dx} = L \frac{du_i}{d\xi}$, pode ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$u(\xi) = N_1(\xi) u_1 + N_2(\xi) L \theta_1 + N_3(\xi) u_2 + N_4(\xi) L \theta_2$$

na forma matricial:

$$u(\xi) = \begin{bmatrix} N(\xi) \end{bmatrix} \{u\}$$

onde:

$$\begin{aligned} N_1(\xi) &= 1 - 3\xi^2 + 2\xi^3 & N_3(\xi) &= 3\xi^2 - 2\xi^3 \\ N_2(\xi) &= \xi - 2\xi^2 + \xi^3 & N_4(\xi) &= \xi^3 - \xi^2 \end{aligned}$$

Estas funções são conhecidas como os Polinômios de Hermite e possuem a característica de garantir a continuidade da função e de sua primeira derivada.

A matriz [B] que relaciona deformação/deslocamento, é obtida a partir da segunda derivada da expressão dos deslocamentos. Ou seja:

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{1}{L^2} \cdot \frac{d^2 u}{d\xi^2} = \frac{1}{L^2} \cdot \frac{d^2}{d\xi^2} [N] \{u\}$$

onde:

$$[B] = \frac{1}{L^2} \cdot \frac{d^2}{d\xi^2} [N]$$

portanto:

$$[B] = \frac{1}{L^2} \begin{bmatrix} (-6 + 12\xi) & L(-4 + 6\xi) & (6 - 12\xi) & L(6\xi - 2) \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

Para o cálculo da matriz de rigidez $[K]_{\text{flexão}}$ a expressão (4.23), pode ser escrita da seguinte forma:

(4.28)

$$[K]_{\text{flexão}} = \int_0^L [B]^T [D] [B] dx \rightarrow \int_0^1 [B]^T [D] [B] L d\xi$$

substituindo-se (4.26) e (4.27) em (4.28) e efetuando-se as integrações tem-se:

(4.29)

$$[K]_{\text{flexão}} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ & & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ & & & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

simétrica

Para esforços axiais:

Para solicitações uniaxiais a seguinte relação é válida:

$$\sigma = E \epsilon = E \frac{du}{dx}$$

portanto:

$$[D] = [E] \quad (4.30)$$

O campo de deslocamentos expresso em função dos

valores nodais e das funções de interpolação em coordenadas intrinsecas $\xi = \frac{x}{L}$, é dado por:

$$u(\xi) = N_1(\xi) u_1 + N_2(\xi) u_2$$

na forma matricial:

$$u(\xi) = \begin{bmatrix} N(\xi) \end{bmatrix} \{u_i\}$$

onde:

$$N_1(\xi) = 1 - \xi \qquad N_2(\xi) = \xi$$

Estas funções são conhecidas como os Polinômios de Lagrange que garantem apenas a continuidade do valor da função.

Para a obtenção da matriz [B], tem-se:

$$\frac{du}{dx} = \frac{1}{L} \cdot \frac{du}{d\xi} = \frac{1}{L} \cdot \frac{d}{d\xi} [N] \{u_i\}$$

onde:

$$[B] = \frac{1}{L} \cdot \frac{d}{d\xi} [N]$$

portanto:

$$[B] = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad (4.31)$$

Para a matriz de rigidez [k] tem-se:

$$[K]_{\text{axial}} = \int_0^L [B]^T [D] [B] A dx \Rightarrow \int_0^1 [B]^T [D] [B] A L d\xi \quad (4.32)$$

substituindo-se (4.30) e (4.31) em (4.32) e efetuando-se as integrações tem-se:

$$[K]_{\text{axial}} = \frac{E A}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.33)$$

Para esforços de torção:

Para o caso de torção pura tem-se a seguinte relação:

$$M_t = G J \left(\frac{d\phi}{dx} \right)$$

portanto: $[D] = [G J]$ (4.34)

Para o campo de deslocamentos (rotações das seções), serão utilizados os Polinômios de Lagrange como funções de interpolação. Ou seja:

$$\phi(\xi) = N_1(\xi) \phi_1 + N_2(\xi) \phi_2$$

na forma matricial:

$$\phi(\xi) = \begin{bmatrix} N(\xi) \end{bmatrix} \langle \phi_i \rangle$$

onde:

$$N_1(\xi) = 1 - \xi \qquad N_2(\xi) = \xi$$

Para determinar a matriz [B], tem-se:

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{1}{L} \cdot \frac{d\phi}{d\xi} = \frac{1}{L} \cdot \frac{d}{d\xi} [N] (\phi_i)$$

onde:

$$[B] = \frac{1}{L} \cdot \frac{d}{d\xi} [N]$$

portanto:

$$[B] = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad (4.35)$$

Para a matriz de rigidez [k] tem-se:

(4.36)

$$[K]_{\text{torção}} = \int_0^L [B]^T [D] [B] dx \rightarrow \int_0^1 [B]^T [D] [B] L d\xi$$

substituindo-se (4.34) e (4.35) em (4.36) e efetuando-se as integrações tem-se:

(4.37)

$$[K]_{\text{torção}} = \frac{G J}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Para a obtenção da matriz de rigidez completa do elemento [K], basta compor de forma adequada as equações (4.29); (4.33) e (4.37), levando-se em consideração os graus de liberdade afetados por cada tipo de solicitação. Ou seja:

(4.38)

u_{x1}	u_{y1}	u_{z1}	θ_{x1}	θ_{y1}	θ_{z1}	u_{x2}	u_{y2}	u_{z2}	θ_{x2}	θ_{y2}	θ_{z2}
$\frac{EA}{L}$						$\frac{EA}{L}$					
0	$\frac{12EI}{L^3}$					0	$\frac{12EI}{L^3}$				
0	0	$\frac{12EI}{L^3}$				0	0	$\frac{12EI}{L^3}$			
0	0	0	$\frac{GJ}{L}$			0	0	0	$\frac{GJ}{L}$		
0	0	$\frac{-6EI}{L^2}$	0	$\frac{4EI}{L}$		0	0	$\frac{6EI}{L^2}$	0	$\frac{4EI}{L}$	
0	$\frac{6EI}{L^2}$	0	0	0	$\frac{4EI}{L}$	0	$\frac{6EI}{L^2}$	0	0	$\frac{4EI}{L}$	
$-\frac{EA}{L}$	0	0	0	0	0	$\frac{EA}{L}$	0	0	0	0	0
0	$\frac{-12EI}{L^3}$	0	0	0	$\frac{-6EI}{L^2}$	0	$\frac{12EI}{L^3}$	0	0	$\frac{-6EI}{L^2}$	
0	0	$\frac{-12EI}{L^3}$	0	$\frac{6EI}{L^2}$	0	0	0	$\frac{12EI}{L^3}$	0	$\frac{6EI}{L^2}$	
0	0	0	$\frac{-GJ}{L}$	0	0	0	0	0	$\frac{GJ}{L}$	0	
0	0	$\frac{-6EI}{L^2}$	0	$\frac{2EI}{L}$	0	0	0	$\frac{6EI}{L^2}$	0	$\frac{4EI}{L}$	
0	$\frac{6EI}{L^2}$	0	0	0	$\frac{2EI}{L}$	0	$\frac{6EI}{L^2}$	0	0	$\frac{4EI}{L}$	

SIMÉTRICA

OBS: Por se tratar de seções circulares $I_y = I_z = I$

4.5. INTERPOLAÇÃO GRÁFICA

Uma das opções gráficas do " FLEXTUB ", é montar na tela o desenho da estrutura deformada. Na solução do problema, são calculados apenas os valores de deslocamentos e rotações nos nós definidos, não sendo conhecidos portanto, valores intermediários sobre um elemento.

Com isso, para a representação da curva da elástica dos elementos, é necessário promover uma interpolação para os deslocamentos em função dos valores nodais.

No caso do " FLEXTUB ", foram utilizadas as próprias funções de interpolação empregadas na formulação do elemento de viga. Estas funções compõem um polinômio que pertence à família dos " Polinômios de Hermite ", [27][32] capaz de garantir a continuidade da função e de sua primeira derivada.

Portanto para valores dos deslocamentos em pontos intermediários do elemento tem-se:

(4.39)

$$u_i(\xi) = H_n^0(\xi) u_{in} + H_n^1(\xi) \left(\frac{du_i}{d\xi} \right)_n \quad \begin{array}{l} (n = 1, 2) \\ (i = 1, 2, 3) \end{array}$$

onde:

$$\begin{array}{ll} H_1^0 = 1 - 3\xi^2 + 2\xi^3 & H_1^1 = \xi - 2\xi^2 + \xi^3 \\ H_2^0 = 3\xi^2 - 2\xi^3 & H_2^1 = \xi^3 - \xi^2 \end{array}$$

sendo: $\xi = x/L$ onde " L " é o comprimento do elemento

Como foi utilizada uma formulação parametrizada em coordenadas intrínsecas (ξ), as parcelas referentes às derivadas devem ser multiplicadas pelo comprimento do elemento "L". Visto que:

$$\frac{du_i}{dx} = \frac{du_i}{d\xi} \cdot \frac{d\xi}{dx} \quad \text{como,} \quad \frac{d\xi}{dx} = \frac{1}{L}$$

$$\frac{du_i}{d\xi} = L \cdot \frac{du_i}{dx} \quad (4.40)$$

Para a aproximação da curva da elástica, foram tomados 4 pontos sobre o elemento, gerando 5 sub-intervalos que foram ligados por segmentos de reta.

4.6. SISTEMAS LOCAIS PARA OS ELEMENTOS

No tratamento de vigas tridimensionais, é necessário especificar pontos de referência a fim de definir as orientações dos sistemas de coordenadas locais sobre cada elemento.

Esta orientação normalmente é feita definindo-se um terceiro nó para o elemento, de tal forma que os eixos coincidam com as direções principais onde são fornecidos os momentos de inércia dos perfis utilizados (Fig. 4.3a).

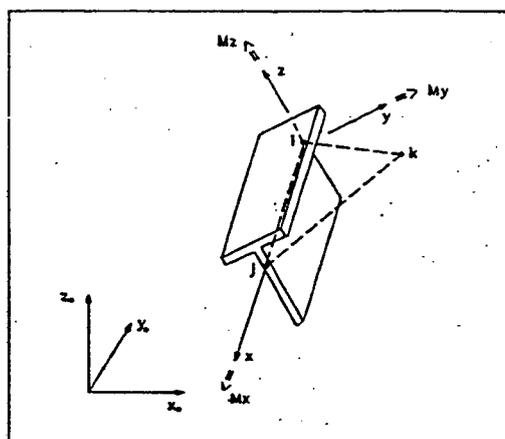


Fig. 4.3a - Orientação dos sistemas locais

No caso em estudo, a geração desses pontos de referência poderão ser feitas de forma automática sem prejuízo da análise de flexão, em função da simetria apresentada pelas seções dos tubos.

Os critérios de definição desses sistemas locais no " FLEXTUB " obedecem às seguintes regras.

- Eixo " x " local sempre alinhado com o elemento e orientado do 1° para o 2° nó.
- Para elementos na vertical (alinhados com o eixo " Z_0 " do sistema global), o eixo " y " local alinha-se com o eixo " X_0 " global.
- Para qualquer outra posição do elemento, o eixo " y " local estará: contido em um plano perpendicular ao plano " $Z_0 = 0$ " global, perpendicular ao eixo " x " local e orientado na direção crescente de " Z_0 " global.
- Eixo " z " local obtido sempre pelo produto vetorial.

As Fig. 4.3b a Fig. 4.3f mostram as orientações dos sistemas de coordenadas locais para os elementos em diversas situações.

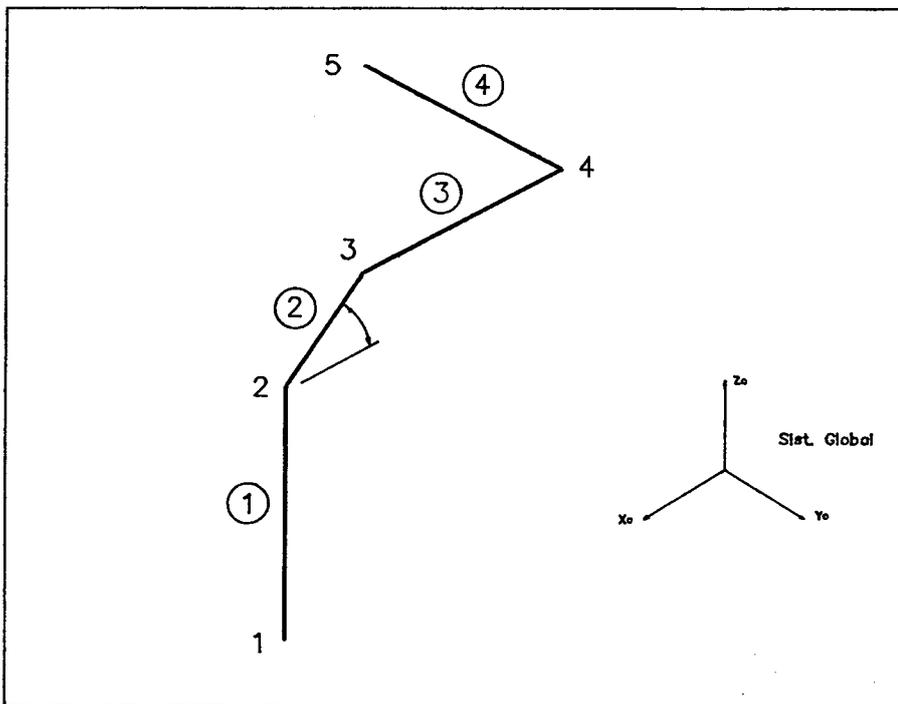


Fig. 4.3b - Estrutura global

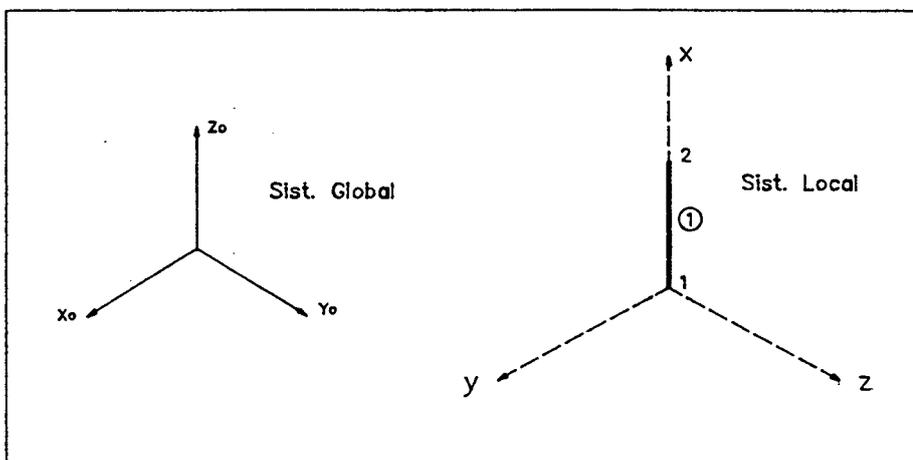


Fig. 4.3c - Sistema local para o elem. 1

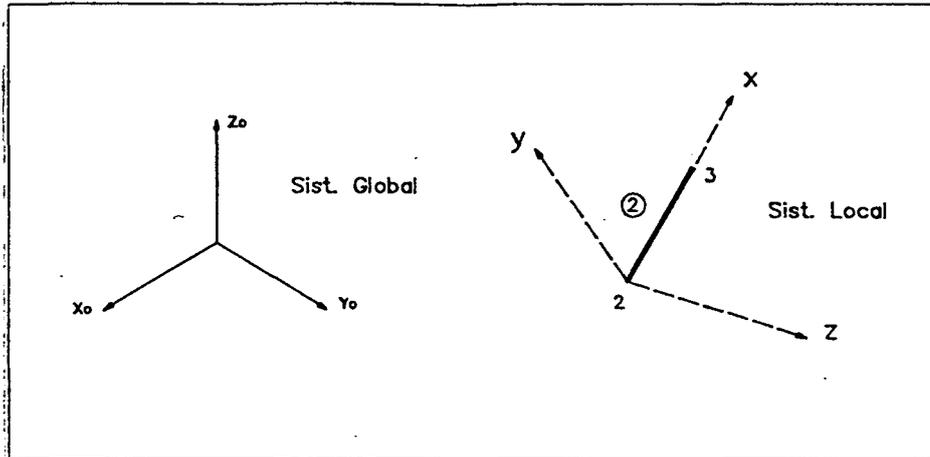


Fig. 4.3d - Sistema local para o elem. 2

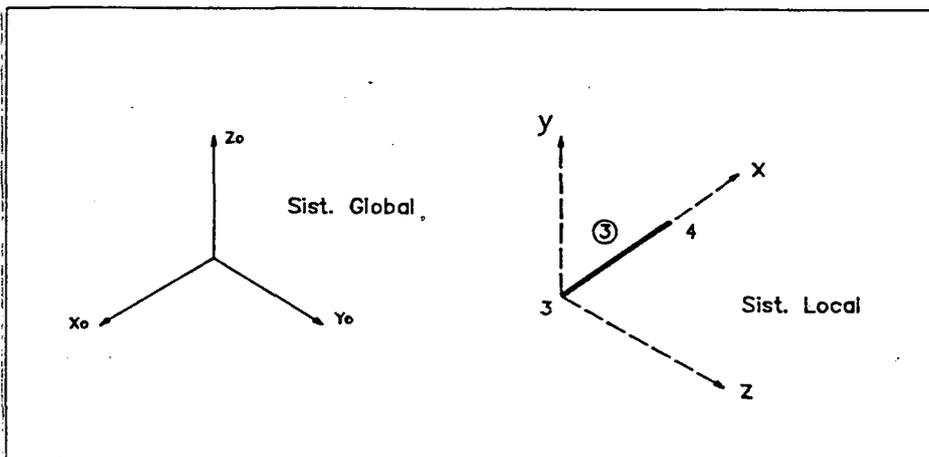


Fig. 4.3e - Sistema local para o elem. 3

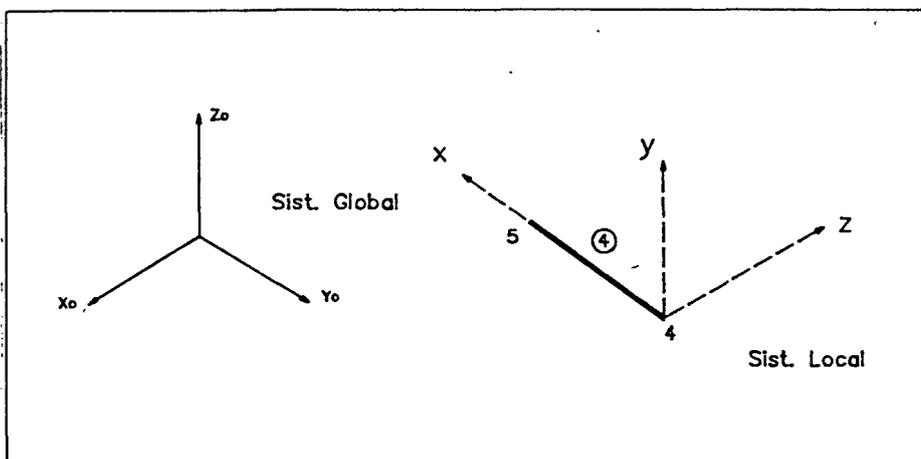


Fig. 4.3f - Sistema local para o elem. 4

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão comentados os resultados obtidos pelo sistema, envolvendo as etapas gráficas e de análise.

Como principais resultados de saída, o sistema proposto oferece:

- Obtenção de desenhos em perspectiva isométrica dos ramais da instalação.
- Obtenção do desenho de conjunto da instalação.
- Lista de materiais dos ramais projetados.
- Análise estrutural da rede de tubulações pelo método dos elementos finitos.

Os itens seguintes referem-se a estas opções, fornecendo maiores detalhes a respeito.

5.1. DESENHOS DE RAMAIS EM PERSPECTIVA ISOMÉTRICA

Os desenhos em perspectiva isométrica dos ramais projetados, podem ser obtidos mediante o uso dos drivers de plotter/impressora do software de CAD utilizado, no caso o " EGG ".

As Fig. 5.1a a Fig. 5.1c representam alguns exemplos de ramais projetados pelo sistema.

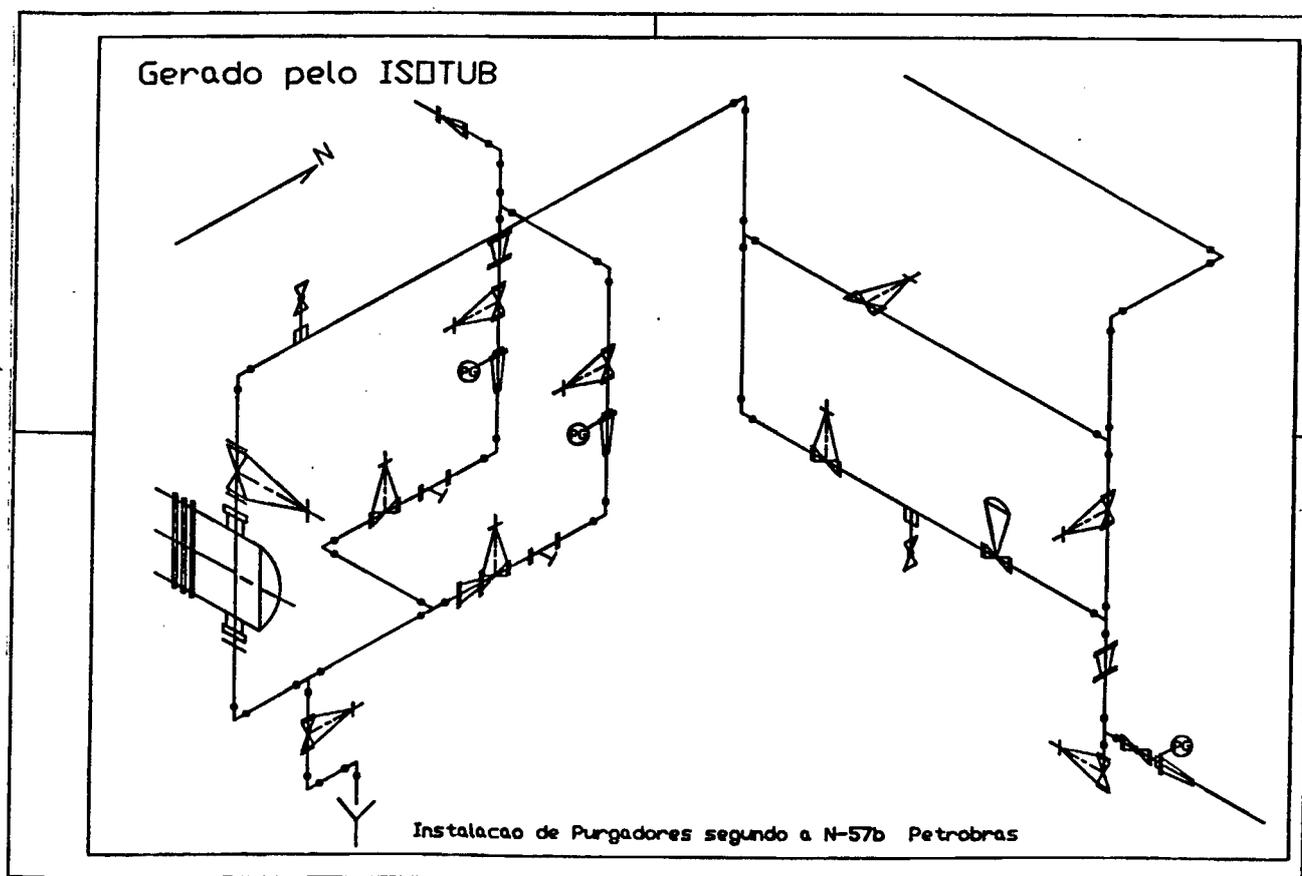


Fig. 5.1a - Instalação de purgadores

Gerado pelo ISOTUB

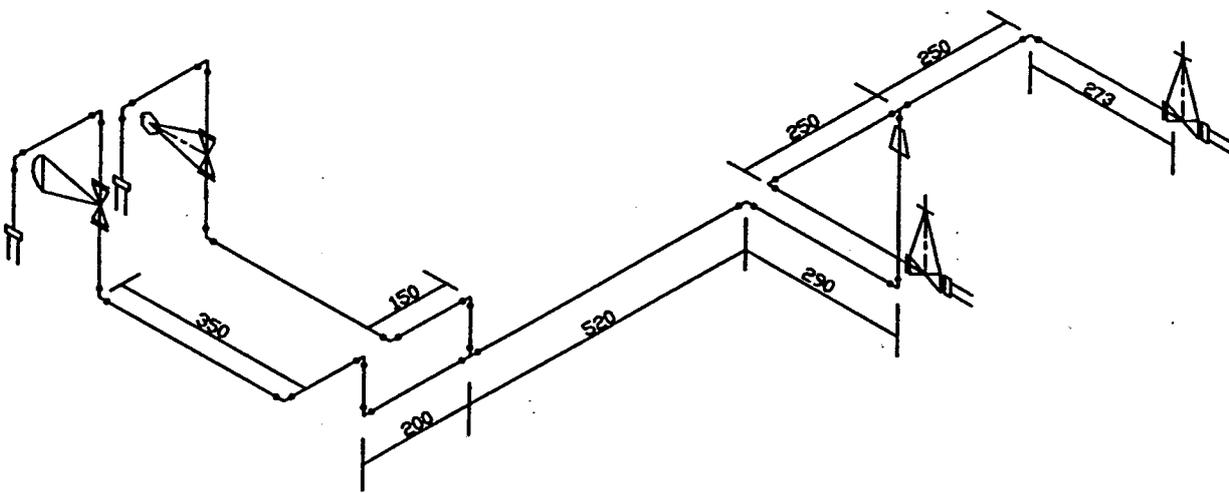


Fig. 5.1b - Ramal com válvula de controle

Gerado pelo ISOTUB

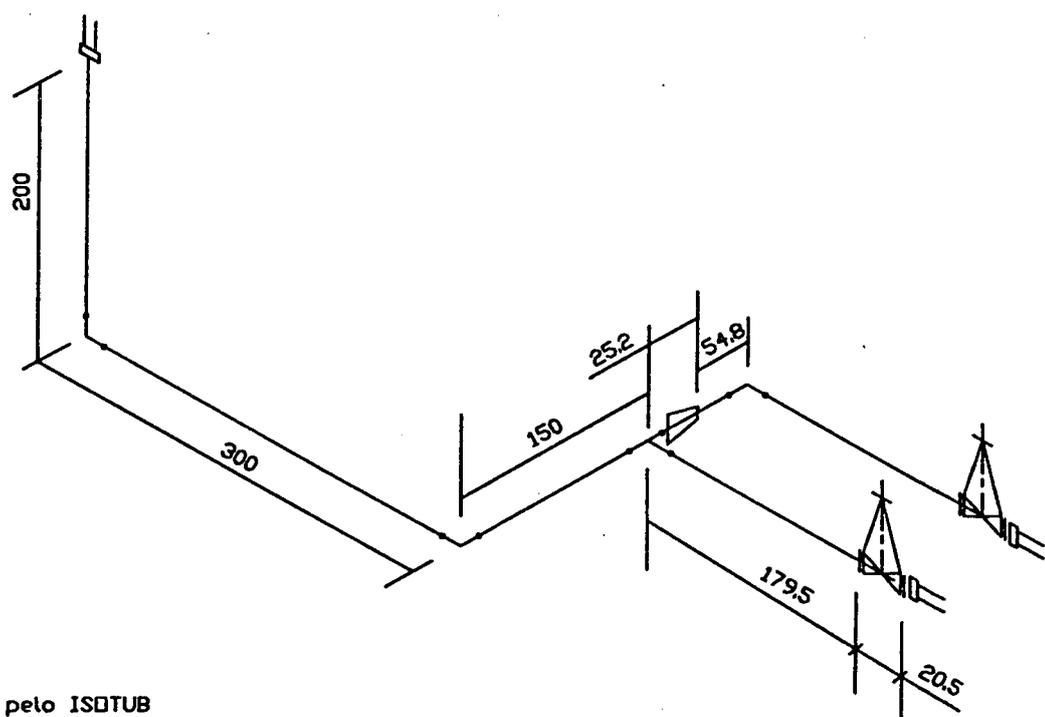


Fig. 5.1c - Ramal duplo com redução

5.2. DESENHO DE CONJUNTO DA INSTALAÇÃO

O desenho de conjunto da instalação pode ser obtido por uma concatenação de ramais desenvolvidos separadamente.

Para demonstrar esta opção, será utilizado o exemplo de uma instalação (Fig. 5.2a) constituída de 2 ramais representados pelas Fig. 5.2b e Fig. 5.2c.

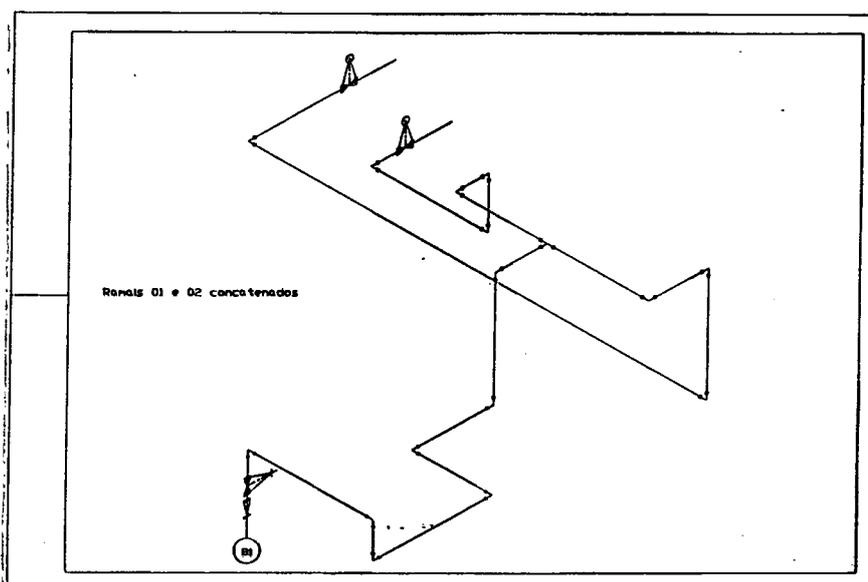


Fig. 5.2a - Desenho completo da instalação

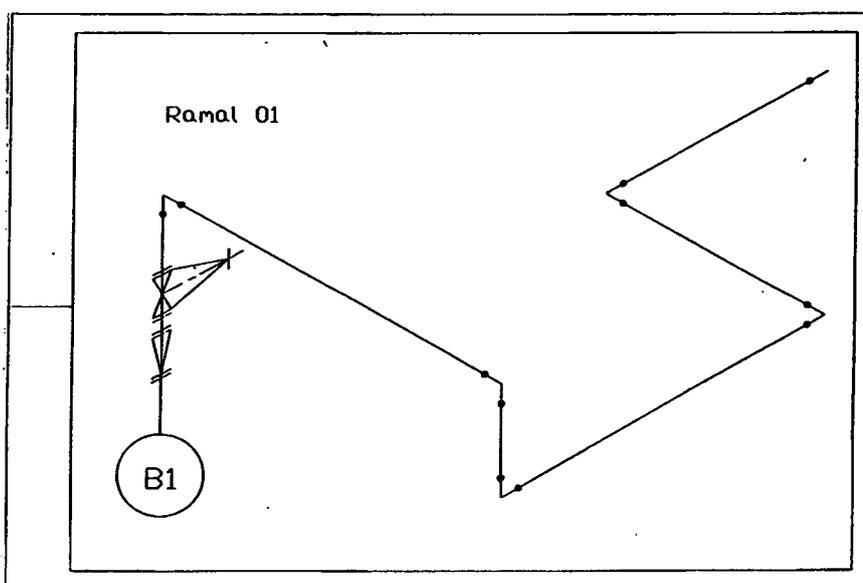


Fig. 5.2b - Ramal 01

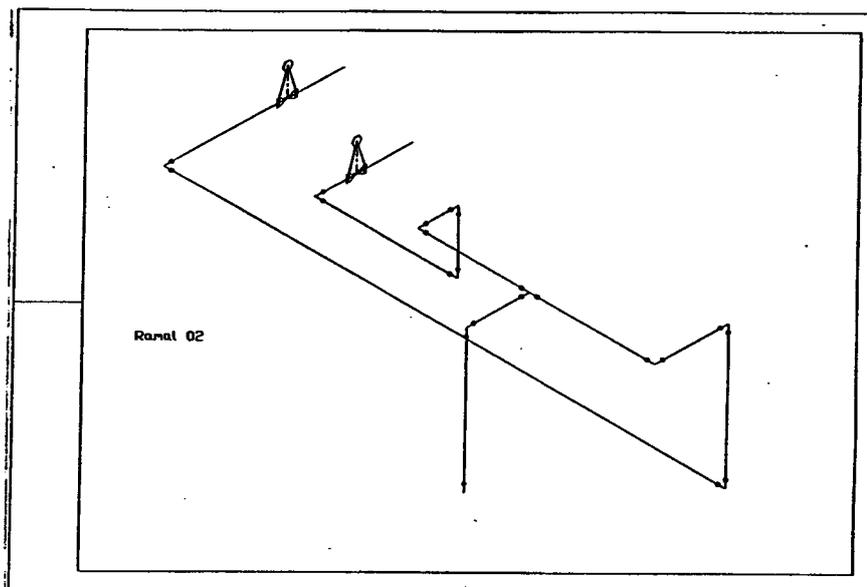


Fig. 5.2c - Ramal 02

No processo de definição dos sub-ramais que serão projetados individualmente, e que concatenados representam a instalação como um todo, são necessários certos critérios quanto a escolha do nó que servirá de ligação entre os sub-ramais. Isto deve-se ao fato de que, para o processo de análise estrutural, uma escolha inadequada poderá complicar a especificação das condições de contorno neste nó, como bem caracterizado no exemplo anterior.

Para contornar este problema, a escolha deve ser feita em cima de um nó onde as condições de contorno são previamente conhecidas como por exemplo: nos apoios; vinculações e engastamentos.

5.3. LISTA DE MATERIAIS

Após a conclusão do projeto de um ramal, é possível tirar uma lista dos materiais utilizados. As Fig. 5.3a-b mostram respectivamente, o desenho de uma instalação e a lista de materiais correspondente.

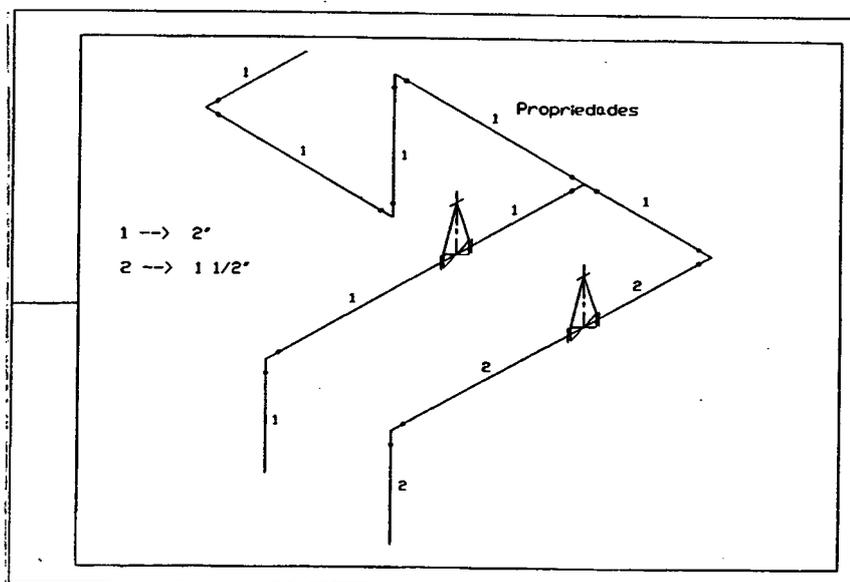


Fig. 5.3a - Desenho da instalação

1 S O T U B - Relatorios

Isometrica N/ ----> 3452
Nome do Arquivo --> RB3A

LISTA DE MATERIAIS

Relacao Propriedade/Bitola :

Prop. (1) --> Bitola 2"
Prop. (2) --> Bitola 1 1/2"

Dados referentes aos Tubos :

Tubos com Propriedades --> 1 / Bitola --> 2"

Elemento 1 Comprimento -->	150.00
Elemento 2 Comprimento -->	100.00
Elemento 3 Comprimento -->	150.00
Elemento 4 Comprimento -->	00.00
Elemento 5 Comprimento -->	100.00
Elemento 7 Comprimento -->	90.00
Elemento 8 Comprimento -->	100.00
Elemento 9 Comprimento -->	150.00
T O T A L	810.00

Tubos com Propriedades --> 2 / Bitola --> 1 1/2"

Elemento 6 Comprimento -->	90.00
Elemento 10 Comprimento -->	100.00
Elemento 11 Comprimento -->	150.00
T O T A L	330.00

Dados referentes aos Acessorios :

Tipo do Acessorio --> JOE80
Sobre o No 1 Bitola --> 2"
Sobre o No 2 Bitola --> 2"
Sobre o No 3 Bitola --> 2"
Sobre o No 7 Bitola --> 2" 1 1/2"
Sobre o No 5 Bitola --> 2"
Sobre o No 0 Bitola --> 1 1/2"

Tipo do Acessorio --> TEB0

Sobre o No 4 Bitola --> 2"

Tipo do Acessorio --> BAVF

Sobre o No 11 Bitola --> 2"
Sobre o No 12 Bitola --> 1 1/2"

Fig. 5.3b - Lista de materiais utilizados.

5.4. ANÁLISE ESTRUTURAL

Para a análise estrutural da rede, o sistema utiliza o método dos elementos finitos, com uma formulação para elementos de viga com 6 graus de liberdade por nó. Como resultados de saída tem-se: deslocamentos e rotações nodais; esforços e tensões sobre os elementos; reações nas vinculações; valores extremos, além de um módulo gráfico auxiliar que serve de apoio para a interpretação dos resultados.

As opções de carregamentos disponíveis no programa são cargas concentradas, peso próprio e cargas referentes a deformações térmicas, podendo ser usadas de forma independente ou combinadas.

Na sequência serão apresentados como exemplo, os resultados da análise de um ramal mostrado nas Fig. 5.4a-c, para uma condição de carregamento de peso próprio.

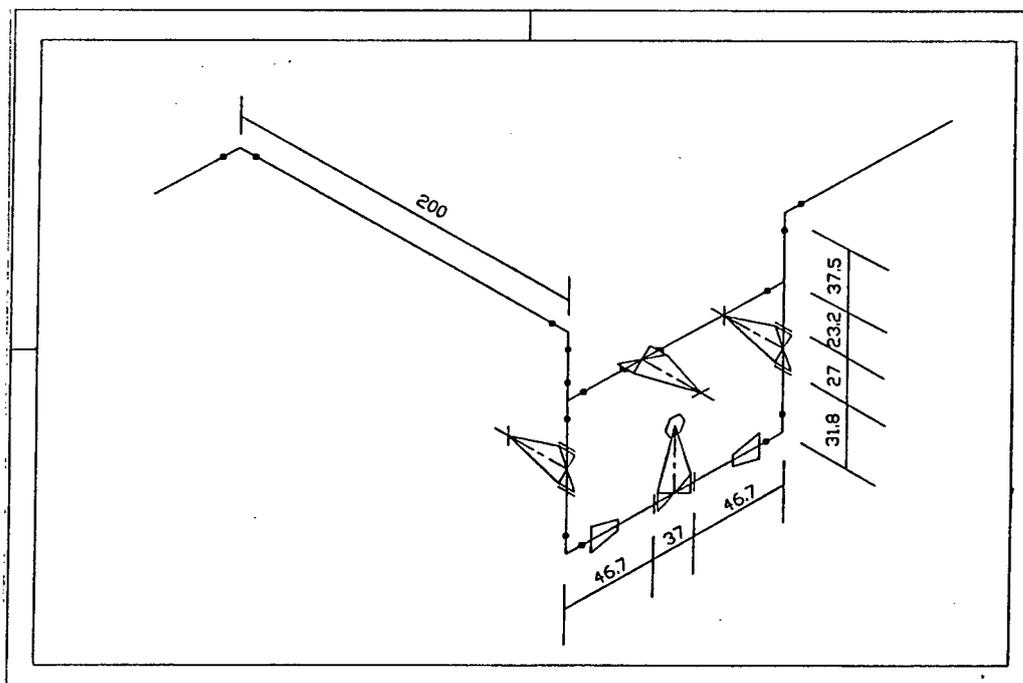


Fig. 5.4a - Desenho do ramal com aspecto final

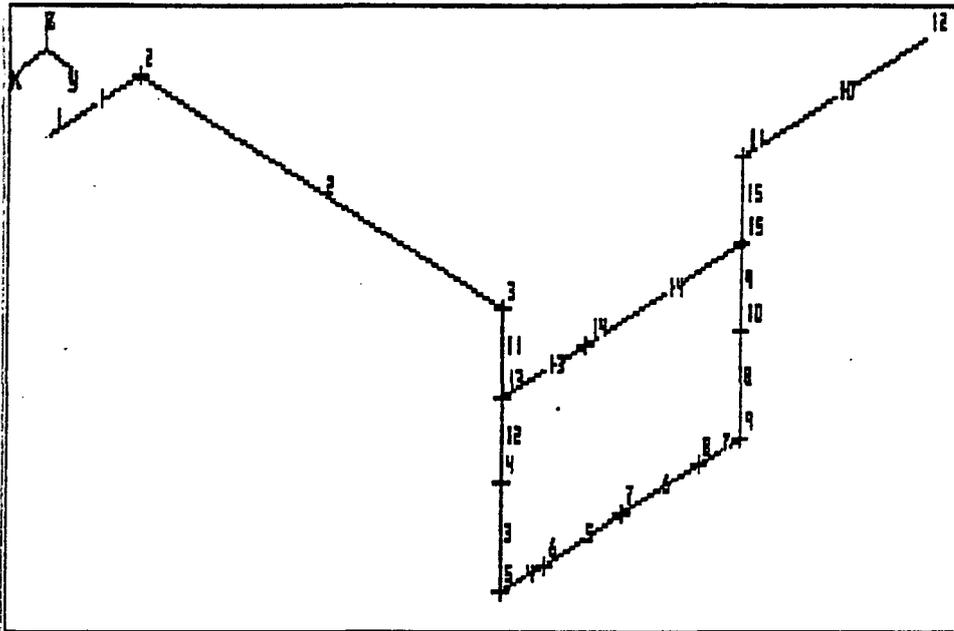


Fig. 5.4b - Modelo gerado para a análise do ramal

```

-----> F L E X T U B - RELACAO DOS DADOS DE ENTRADA <-----
-----> F L E X T U B - RELACAO DOS DADOS DE ENTRADA <-----

NOME DO ARQUIVO ---> RESULT1.FLX

NUMERO DE NOS -----> 15
NUMERO DE ELEMENTOS ---> 15

*****
COORDENADAS NODAIS
*****
N/ do No   Coord. ( X )   Coord. ( Y )   Coord. ( Z )
-----
1          0.00         0.00         0.00
2          -50.00        0.00         0.00
3          -50.00        200.00        0.00
4          -50.00        200.00        -74.20
5          -50.00        200.00        -118.50
6          -73.25        200.00        -118.50
7          -118.20        200.00        -118.50
8          -157.05        200.00        -118.50
9          -180.40        200.00        -118.50
10         -180.40        200.00        -74.20
11         -180.40        200.00         0.00
12         -280.40        200.00         0.00
13         -50.00        200.00        -37.50
14         -84.75        200.00        -37.50
15         -180.25        200.00        -37.50

*****
DEFINICAO DAS PROPRIEDADES
*****
Propriedade --> 1

Diam. Externo -----> 3.0000E+00
Diam. Interno -----> 2.0000E+00
Area de Secao -----> 3.9270E+00
2nd Mto. de Area -----> 3.1807E+00
Mto. Inercia Polar ---> 8.3814E+00
Modulo de Flexao ---> 2.1271E+00
Modulo de Torcao ---> 4.2542E+00
Mod. Elast. Long. ---> 2.1000E+06
Mod. Elast. Trans. ---> 8.5000E+05
Peso/un.comp. -----> 8.0856E-02
Coef. Dilat. Term. ---> 1.2000E-06

*****
DEFINICAO DOS ELEMENTOS
*****
N/ Elem.  Prim.No  Seg.No  Prop.
-----
1         1         2       1
2         2         3       1
3         3         4       1
4         4         5       1
5         5         6       1
6         6         7       1
7         7         8       1
8         8         9       1
9         9        10       1
10        10       11       1
11        11       12       1
12        12       13       1
13        13       14       1
14        14       15       1
15        15       16       1

*****
RESTRICOES NODAIS
*****
N/ No  Desl.(X)  Desl.(Y)  Desl.(Z)  Rot.(X)  Rot.(Y)  Rot.(Z)
-----
1      S      S      S      S      S      S
12     S      S      S      S      S      S

*****
CARGACEMENTOS NODAIS
*****
N/ No  Forc.(X)  Forc.(Y)  Forc.(Z)  Mto.(Mx)  Mto.(My)  Mto.(Mz)
-----
3      0.00    0.00    -20.00    0.00     0.00     0.00

*****
TEMPERATURAS NODAIS
*****
TEMPERATURA INICIAL DA REDE ---> 29.00

TODOS OS NOS TEM A MESMA TEMPERATURA FINAL ---> 123.00

*****
PESO ESPECIFICO
*****
PESO ESPECIFICO DO FLUIDO ---> 0.0010
    
```

Fig. 5.4c - Dados de entrada

RESULTADOS:

Os resultados de saída podem ser encontrados no APENDICE D de forma completa. A listagem resumida, apresentada a seguir, tem como objetivo uma demonstração da formatação dos dados.

-----) F L E X T U B - RELACAO DOS DADOS DE SAIDA (-----

NOME DO ARQUIVO --> RESULT1.FLX

NUMERO DE NOS -----> 15

NUMERO DE ELEMENTOS -----> 15

TIPOS DE CARREGAMENTOS --> | Peso Prop. |

DESLOCAMENTOS NODAIS (sist. de Coord. Global)

Numero do no --> 1

Desl. [X] --> 0.00000E+00 | Rot. [X] --> 0.00000E+00
Desl. [Y] --> 0.00000E+00 | Rot. [Y] --> 0.00000E+00
Desl. [Z] --> 0.00000E+00 | Rot. [Z] --> 0.00000E+00

Numero do no --> 2

Desl. [X] --> -3.8074E-04 | Rot. [X] --> -9.3484E-03
Desl. [Y] --> -1.5581E-03 | Rot. [Y] --> 4.91617E-04
Desl. [Z] --> -1.9603E-04 | Rot. [Z] --> 1.20842E-04

Numero do no --> 3

Desl. [X] --> -1.7763E-02 | Rot. [X] --> -1.5435E-02
Desl. [Y] --> -1.5853E-03 | Rot. [Y] --> 1.42162E-02
Desl. [Z] --> -3.1767E+00 | Rot. [Z] --> -5.6898E-04

Numero do no --> 4

Desl. [X] --> -1.1930E+00 | Rot. [X] --> -1.2595E-02
Desl. [Y] --> -1.0174E+00 | Rot. [Y] --> 1.66942E-02
Desl. [Z] --> -3.1768E+00 | Rot. [Z] --> -1.7930E-03

Numero do no --> 5

Desl. [X] --> -1.9569E+00 | Rot. [X] --> -1.1980E-02
Desl. [Y] --> -1.5725E+00 | Rot. [Y] --> 1.69488E-02
Desl. [Z] --> -3.1768E+00 | Rot. [Z] --> -2.5720E-03

ESFORÇOS NOS ELEMENTOS (sist. de Coord. Local)

Numero do Elem. --> 1

Primeiro No --> 1
Axial Fx --> -0.63 | Tensao --> 0.16
Cort. Fy --> 12.10 | Tensao --> 3.08
Cort. Fz --> -0.94 | Tensao --> 0.24
Torque Mx --> -1016.31 | Tensao --> 238.89
Fletor My --> 7.33 | Tensao --> 3.45
Fletor Mz --> 195.60 | Tensao --> 91.96

Segundo No --> 2

Axial Fx --> 0.63 | Tensao --> 0.16
Cort. Fy --> -10.40 | Tensao --> 2.65
Cort. Fz --> 0.94 | Tensao --> 0.24
Torque Mx --> 1016.31 | Tensao --> 238.89
Fletor My --> 39.72 | Tensao --> 18.67
Fletor Mz --> 366.80 | Tensao --> 172.44

Numero do Elem. --> 2

Primeiro No --> 2

Axial Fx --> -0.94 | Tensao --> 0.24
Cort. Fy --> 10.40 | Tensao --> 2.65
Cort. Fz --> -0.63 | Tensao --> 0.16
Torque Mx --> -366.80 | Tensao --> 86.22
Fletor My --> -39.72 | Tensao --> 18.67
Fletor Mz --> 1016.31 | Tensao --> 477.79

Segundo No --> 3

Axial Fx --> 0.94 | Tensao --> 0.24
Cort. Fy --> -3.60 | Tensao --> 0.92
Cort. Fz --> -0.63 | Tensao --> 0.16
Torque Mx --> 366.80 | Tensao --> 86.22
Fletor My --> -85.00 | Tensao --> 40.37
Fletor Mz --> 383.10 | Tensao --> 180.10

Numero do Elem. --> 3

Primeiro No --> 4

Axial Fx --> -2.14 | Tensao --> 0.55
Cort. Fy --> 1.21 | Tensao --> 0.31
Cort. Fz --> 1.33 | Tensao --> 0.34
Torque Mx --> -93.28 | Tensao --> 21.93
Fletor My --> -120.86 | Tensao --> 56.02
Fletor Mz --> 47.77 | Tensao --> 31.86

Segundo No --> 5

Axial Fx --> 2.14 | Tensao --> 0.55
Cort. Fy --> -1.21 | Tensao --> 0.31
Cort. Fz --> -1.33 | Tensao --> 0.34
Torque Mx --> 93.28 | Tensao --> 21.93
Fletor My --> 40.84 | Tensao --> 28.60
Fletor Mz --> -12.86 | Tensao --> 6.05

Numero do Elem. --> 4

Primeiro No --> 5

Axial Fx --> -1.21 | Tensao --> 0.31
Cort. Fy --> 1.37 | Tensao --> 0.35
Cort. Fz --> -1.33 | Tensao --> 0.34
Torque Mx --> 60.84 | Tensao --> 14.30
Fletor My --> 93.28 | Tensao --> 43.85
Fletor Mz --> -12.86 | Tensao --> 6.05

Segundo No --> 6

Axial Fx --> 1.21 | Tensao --> 0.31
Cort. Fy --> -0.58 | Tensao --> 0.15
Cort. Fz --> 1.33 | Tensao --> 0.34
Torque Mx --> -60.84 | Tensao --> 14.30
Fletor My --> -62.34 | Tensao --> 29.31
Fletor Mz --> 35.58 | Tensao --> 16.73

REAÇÕES DE APOIO (sist. de Coord. Global)

Reacoes no No N/ --> 1

Fx --> 0.63 | Mx --> 1016.31
Fy --> -0.94 | My --> 195.60
Fz --> 12.10 | Mz --> 7.33

Reacoes no No N/ --> 12

Fx --> -0.63 | Mx --> 383.10
Fy --> 0.94 | My --> -1782.26
Fz --> 16.80 | Mz --> 130.93

DESLOCAMENTOS MAXIMOS (sist. de Coord. Global)

No N/ --> 9 Max Desl.[X] --> -1.9569E+00
No N/ --> 5 Max Desl.[Y] --> -1.5725E+00
No N/ --> 5 Max Desl.[Z] --> -3.1768E+00
No N/ --> 3 Max Rot. [X] --> -1.5435E-02
No N/ --> 14 Max Rot. [Y] --> 1.73954E-02
No N/ --> 7 Max Rot. [Z] --> -3.0594E-03

ESFORÇOS MAXIMOS (Vir. absolutos no sist. Local)

Tracao Fx --> 12.76 Tensao --> 3.25 EI --> 15 No --> 1
Comp. Fx --> 0.58 Tensao --> 0.15 EI --> 13 No --> 1
Cort. Fy --> 16.80 Tensao --> 4.28 EI --> 10 No --> 1
Cort. Fz --> 1.33 Tensao --> 0.34 EI --> 12 No --> 1
Torcao Mx --> 1016.31 Tensao --> 238.89 EI --> 1 No --> 1
Fletor My --> 383.24 Tensao --> 180.17 EI --> 15 No --> 1
Fletor Mz --> 1782.26 Tensao --> 837.68 EI --> 10 No --> 1

Fig. 5.4 - Listagem resumida dos resultados

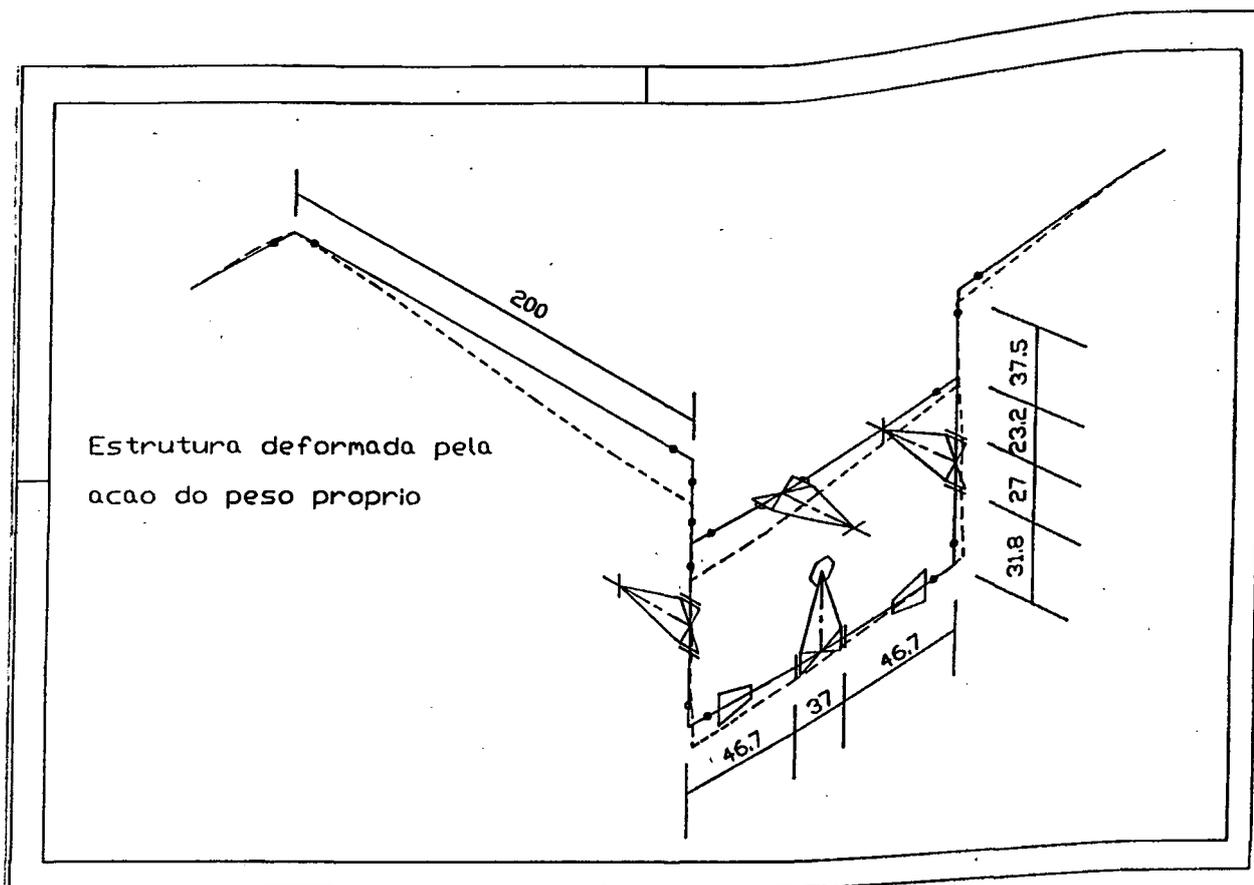


Fig. 5.4d - Desenho da estrutura indeformada/deformada para o carregamento de peso próprio.

5.5. COMPROVAÇÃO DOS RESULTADOS

Para confirmação dos resultados obtidos pelo programa de análise, foram feitos testes comparativos com programas de reconhecido desempenho tais como: "SAP.80 - Structural Analysis Programs" [35] e "ANSYS - Swanson Analysis Systems" [36], usando o mesmo tipo de elemento.

Os resultados desses testes, para o exemplo da Fig. 5.4a, são apresentados nas Tab. 5.5a a Tab. 5.5c, diferenciando apenas no que diz respeito ao formato numérico.

As tabelas foram construídas apenas com os dados referentes a um nó e um elemento, tendo em vista a similaridade entre os resultados para toda a estrutura. Maiores informações poderão ser obtidas através das listagens completas dos resultados colecionadas no APÊNDICE D.

DADOS RELATIVOS A DESLOCAMENTOS E ROTAÇÕES			
****	FLEXTUB	ANSYS	SAP.80
Nó 5	CARGAS DE PESO PRÓPRIO		
U [X]	-1.9569 E+00	-1.957 E+00	-1.9570 E+00
U [Y]	-1.5725 E+00	-1.573 E+00	-1.5725 E+00
U [Z]	-3.1768 E+00	-3.177 E+00	-3.1769 E+00
Ω [X]	-1.1980 E-02	-1.198 E-02	-1.1981 E-02
Ω [Y]	1.6968 E-02	1.697 E-02	1.6970 E-02
Ω [Z]	-2.5720 E-03	-2.572 E-03	-2.572 E-03
Nó 5	CARGAS TÉRMICAS		
U [X]	2.5994 E-01	2.599 E-01	2.5994 E-01
U [Y]	2.3098 E-01	2.310 E-01	2.3098 E-01
U [Z]	-1.6975 E-01	-1.698 E-01	-1.6975 E-01
Ω [X]	-1.3702 E-04	-1.370 E-04	-1.37 E-04
Ω [Y]	1.3289 E-04	1.326 E-04	1.33 E-04
Ω [Z]	7.1029 E-04	7.103 E-04	7.10 E-04
Nó 5	CARGAS EXTERNAS		
U [X]	-4.3516 E+00	-4.352 E+00	-4.3515 E+00
U [Y]	-3.6372 E+00	-3.637 E+00	-3.6371 E+00
U [Z]	-6.8369 E+00	-6.837 E+00	-6.8368 E+00
Ω [X]	-2.7758 E-02	-2.776 E-02	-2.7758 E-02
Ω [Y]	3.8848 E-02	3.885 E-02	3.8848 E-02
Ω [Z]	-6.1090 E-03	-6.109 E-03	-6.109 E-03

Tab. 5.5a - Dados comparativos para deslocamentos/rotações do exemplo da Fig. 5.4a

DADOS RELATIVOS AOS ESFORÇOS			
Elem. 2	FLEXTUB	ANSYS	SAP. 80
1 • N6 2	CARGAS DE PESO PRÓPRIO		
F [X]	-0.94	-0.9410	-0.94
F [Y]	10.40	10.398	10.40
F [Z]	0.63	0.6280	0.63
M [X]	-366.80	-366.82	-366.82
M [Y]	-39.72	-39.722	-39.72
M [Z]	1016.31	1016.4	1016.38
2 • N6 3			
F [X]	0.94	0.9410	0.94
F [Y]	-3.60	-3.5965	-3.60
F [Z]	-0.63	-0.6280	-0.63
M [X]	366.80	366.82	366.82
M [Y]	-85.88	-85.886	-85.89
M [Z]	383.10	383.12	383.12
1 • N6 2	CARGAS TÉRMICAS		
F [X]	1.38	1.3804	1.38
F [Y]	-0.08	-0.07911	-0.08
F [Z]	-1.58	-1.5808	-1.58
M [X]	4.89	4.8852	4.89
M [Y]	153.27	153.27	153.27
M [Z]	2.11	2.1103	2.11
2 • N6 3			
F [X]	-1.38	-1.3804	-1.38
F [Y]	0.08	0.07911	0.08
F [Z]	1.58	1.5808	1.58
M [X]	-4.89	-4.8852	-4.89
M [Y]	162.89	162.89	162.89
M [Z]	-17.93	-17.933	-17.93
1 • N6 2	CARGAS EXTERNAS		
F [X]	-1.91	-1.9132	-1.91
F [Y]	14.56	14.559	14.56
F [Z]	0.98	0.9848	0.98
M [X]	-809.44	-809.44	-809.44
M [Y]	-38.70	-38.699	-38.70
M [Z]	2028.52	2028.5	2028.50
2 • N6 3			
F [X]	1.91	1.9132	1.91
F [Y]	-14.56	-14.559	-14.56
F [Z]	-0.98	-0.9848	-0.98
M [X]	809.44	809.44	809.44
M [Y]	-158.27	-158.27	-158.27
M [Z]	883.34	883.34	883.34

Tab. 5.5b - Dados comparativos para os esforços do exemplo da Fig. 5.4a

DADOS RELATIVOS AS REAÇÕES DE APOIO			
****	FLEXTUB	ANSYS	SAP.80
*** N6 1 ***			
F [X]	0.63	0.6280	0.6280
F [Y]	-0.94	-0.9411	-0.9411
F [Z]	12.10	12.10	12.0990
M [X]	1016.31	1016.4	1016.3773
M [Y]	195.60	195.6	195.6152
M [Z]	7.33	7.332	7.3323
*** N6 12 ***			
F [X]	-0.63	-0.6280	-0.6280
F [Y]	0.94	0.9411	0.9411
F [Z]	16.80	16.80	16.7976
M [X]	383.10	383.1	383.1212
M [Y]	-1782.26	-1782.4	-1782.3794
M [Z]	130.93	130.9	130.9406

Tab. 5.5c - Dados comparativos para as reações de apoio do exemplo da Fig. 5.4a

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÕES

Este trabalho propõe uma ferramenta para o desenvolvimento de projetos de tubulações, auxiliados por computador.

Dentro do processo proposto, buscou-se uma interação entre as fases de concepção e análise estrutural da rede, permitindo, mediante troca de informações, a execução de projetos com maior grau de elaboração.

A definição da estrutura do sistema, constituída por um bloco gráfico e outro de análise de tensões, interligados por arquivos de dados, favoreceu o desenvolvimento dos programas, tornando-os mais compactos.

As facilidades operacionais obtidas no bloco gráfico durante a etapa de concepção da instalação, deve-se ao fato da implementação de comandos específicos formados pela junção de vários procedimentos, características dos "softwares" dedicados.

A filosofia do uso de Editores Gráficos gerais para pós-processamento, foi fundamental para a obtenção dos desenhos com aspecto final, tendo em vista os recursos gráficos de que

dispõem, tornando-se portanto, desnecessário o desenvolvimento de algo similar no contexto do sistema.

A interação entre as etapas de concepção/análise e as facilidades na obtenção de resultados, comparado aos métodos tradicionais, colocadas a disposição do projetista, constituem uma ferramenta de auxílio no desenvolvimento de projetos mais elaborados.

Verificou-se também, com o uso do sistema, que a resolução de tela dos computadores da linha IBM - PC e compatíveis, equipados com placa gráfica " *CGA - Color Graphics Adapter* ", compromete um pouco o desempenho do sistema, principalmente pela expectativa criada para um " software " com características gráficas.

É bem verdade que um " sistema fechado " para projetos de tubulações, exigiria requisitos além dos desenvolvidos no presente trabalho tais como: módulo para elaboração do fluxograma de processo, desenhos em planta baixa, cotação automática, módulo com mais opções para análise estrutural, etc... , que extrapolam a proposta inicial do trabalho.

6.1. SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO

Neste item são colocadas algumas sugestões para trabalhos subsequentes.

- Adequação do sistema para operar em equipamentos da linha IBM - PC e similares dotados de placa gráfica " *EGA - Enhanced Graphics Adapter*".

- Desenvolvimento de algoritmo para cotagem automática dos desenhos.
- Desenvolvimento de algoritmo para verificação de interferência.
- Implementar saída para obtenção de desenhos em planta baixa.
- Desenvolvimento de um módulo para elaboração do fluxograma de processo.
- Interface para outros " Softwares de CAD " gerais disponíveis tais como: "Autocad"; "Cadtec".
- Adaptação do sistema para operar em estações gráficas de maiores recursos.
- Implementar o módulo de análise com outras formulações de elementos, análise dinâmica, aspectos de não linearidade.

Bibliografia

- [1] Stephen Wolfe, L.P.E., "CAD in Process Plant Design", Mechanical Engineering, April 1985, pp. 56-62.
- [2] Dow, M.R., "Integration of Calculation Models and CAD Systems in Building Services Design", Computer Aided Design, Vol.19 June 1987, pp. 226-232.
- [3] Burger, A.M. and Ducan, T.k., "Three Dimensional Design Modeling of Plants", Mechanical Engineering, April 1985, pp. 56-62.
- [4] Wang, B.P., "Pipeplus Interactive Support Analysis", Algor Technical Bulletin, September 1988, pp. 4-6.
- [5] Algor Newsletter, "Features of Algor's New Pipeplus Software", August 1988.
- [6] Schulz, M. ; Krause, W.G. ; Siquieroli, E.P. ; Pinto, F.A.N.C., "Projeto e Desenho de Suportes de Tubulações Auxiliado por Computador", XX Congresso Nacional de Informática, pp. 451-459, 1987.
- [7] Kuster, M., "EGG - Editor Gráfico para Projetos Mecânicos", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1989.
- [8] Silva Teles, P.C., "Tubulações Industriais - Cálculo", Livro Técnico e Científico, 1987.
- [9] Design of Piping Systems, The M.W. Kellogg Company, 1964.

- [10] Howard, F.R., "Piping Design for Process Plants", John Wiley & Sons, INC., 1963.
- [11] Silva Teles, P.C., "Tubulações Industriais - Materiais Projeto e Desenho", Livro Técnico e Científico, 1983.
- [12] Sabin Crocker, M.E., "Piping Handbook", McGraw-Hill Book Company, Inc., 1945.
- [13] Benjamim, A.C. ; Ebecken, N.F.F., "Elementos Finitos para Análise Não-Linear de Tubulações", II Simpósio Brasileiro sobre Tubulações e Vasos de Pressão, pp. 251-271, 1982.
- [14] Guimarães Santos, F.C., "Estudo de um Elemento Finito para Análise de Tensões em Sistemas Estruturais de Tubulações", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1986.
- [15] Bathe, K.J., Almeida, C.A., "A simple and Effective Pipe Elbow Element-Linear Analysis", J. Appl. Mech, vol. 47, 1980, pp. 93-100.
- [16] Bathe, K.J., Almeida, C.A., "A simple and Effective Pipe Elbow Element-Interaction Effects", J. Appl. Mech, vol. 49, 1982, pp. 165-171.
- [17] Almeida, C.A., "Efeito da Pressão Interna no Comportamento Geral de Tubulações o Elemento Viga-Tubo", II Simpósio Brasileiro sobre Tubulações e Vasos de Pressão, pp. 241-250, 1982.
- [18] Turbo Pascal Reference Manual v.3.0. Borland, 1985.
- [19] Berger, M., "Computer Graphics with Pascal", Benjamin Cummings, 1986.
- [20] O'Brien S.K., "Turbo Pascal The Complete Reference", Borland Osborne/McGraw-Hill, 1986.

- [21] Newman, W.M. and Sproull, R.F., "Principles of Interactive Computer Graphics", McGraw-Hill, 1982.
- [22] AutoCad User Guide, AutoDesk Inc., 1985.
- [23] Bathe, K.J., "Finite Element Procedures in Engineering Analysis", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1982.
- [24] Zienkiewicz, O.C., "The Finite Element Method", McGraw-Hill Book Company Limited, 1977.
- [25] Ross, C.T.F., "Computational Methods in Structural and Continuum Mechanics", Ellis Horwood Limited, 1982.
- [26] Cook, R.D., "Concepts and Applications of Finite Elements Analysis", John Wiley & Sons, Inc., 1974.
- [27] Chung, T.J., "Finite Element Analysis in Fluid Dynamics", McGraw-Hill International Book Company.
- [28] Ross, C.T.F., "Finite Element Methods in Structural Mechanics", Ellis Horwood Limited, 1985.
- [29] Projeto Mecânico de Tubulações Industriais N-57b, Normas Técnicas Petrobrás, 1984.
- [30] Símbolos Gráficos para Desenhos de Tubulações Industriais N-59a, Normas Técnicas Petrobrás, 1979.
- [31] Apresentação de Projetos de Detalhamentos de Tubulações N-1692, Normas Técnicas Petrobrás, 1983.
- [32] Tozzi, C.L., "Projeto Auxiliado por Computador", Papirus, 1986.
- [33] Rosa, E., "CAE/CAD/CAM", Publicação interna da Universidade Federal de Santa Catarina, 1988.
- [34] Magalhães, L.P., "Computação Gráfica", Papirus, 1986.
- [35] Sap.80, "Structural Analysis Program", Computer & Structures Inc., 1986.
- [36] Ansys, "Swanson Analysis Systems", 1989.

APÊNDICE A

TRANSFORMAÇÕES DE VISÃO

A representação em 2D de um modelo geométrico espacial pode ser obtida mediante as técnicas de projeções. Em computação gráfica estas técnicas são comumente utilizadas, tendo em vista serem bidimensionais os dispositivos de saída.

As projeções geométricas planares, são obtidas com o traçado de linhas (projetantes) que saem do ponto de observação e passam pelos pontos que definem o objeto. As interseções destes projetantes com o plano de projeção, definem novos pontos transformados, que correspondem ao modelo representado em 2D.

A depender das coordenadas do ponto de observação e a posição do plano de projeção, pode-se obter para um mesmo modelo diversos aspectos de visão na sua representação em 2D.

No caso de desenhos de tubulações, uma das opções de visão frequentemente utilizada é a perspectiva isométrica que se caracteriza como um caso particular de projeções Axonométricas.

1. PROJEÇÕES AXONOMÉTRICAS

As projeções axonométricas são classificadas como Projeções Paralelas Ortogonais [34], tendo em vista as definições de que: o ponto de observação está localizado no infinito, induzindo projetantes paralelos e o plano de projeção normal a eles. Estas condições permitem que mais de uma face do modelo seja vista.

Esta transformação, pode ser obtida, fazendo-se com que o eixo " Z " do sistema de coordenadas fique alinhado com o ponto de observação, definindo-se desta forma um novo sistema (X',Y',Z'), seguido de uma projeção no plano (X',Y').

O alinhamento do eixo " Z " com o ponto de observação é feito mediante um giro de um ângulo " ϕ " em torno do eixo " Y ", e uma nova rotação em torno de " X' " de um ângulo " θ " (Fig. A1).

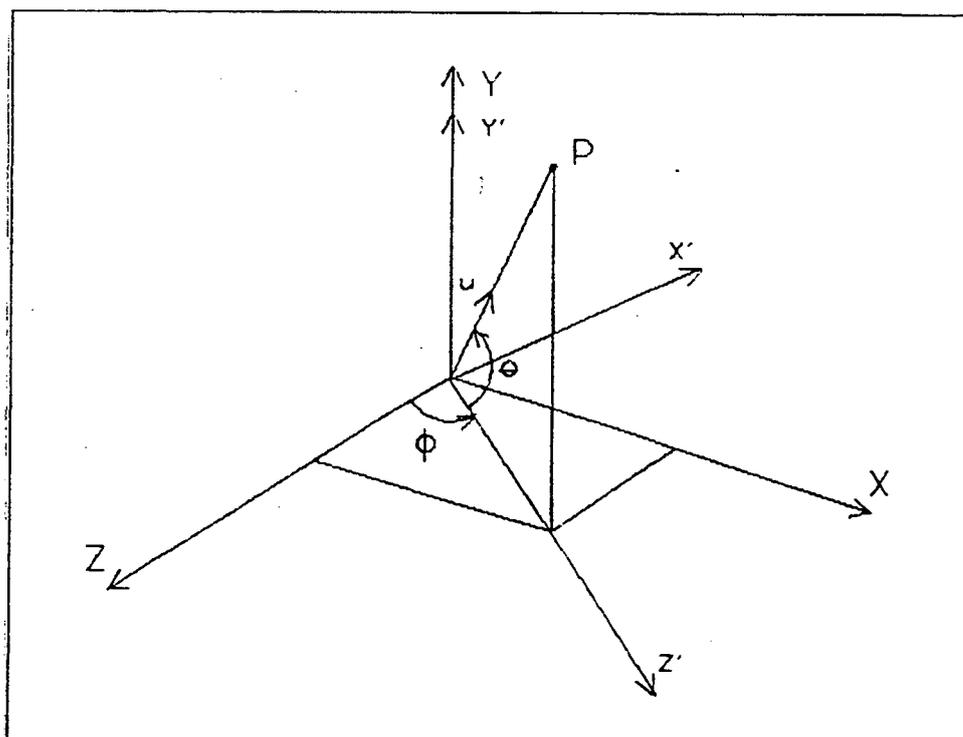


Fig. A1 - Definição do novo Sistema (X',Y',Z')

Em termos matriciais pode-se escrever:

(a.1)

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rot. de θ em torno de X' Rot. de ϕ em torno de Y'

Realizando-se o produto tem-se:

(a.2)

$$T = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi \sin \theta & \cos \theta & \cos \phi \sin \theta & 0 \\ \sin \phi \cos \theta & -\sin \theta & \cos \phi \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A projeção sobre o plano (X', Y') , é feita aplicando-se sobre "T" a matriz "P" de projeção sobre o plano $Z' = 0$ dada por:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (a.3)$$

$$\text{Tal que : } T_{\text{axo}} = T \cdot P \quad (a.4)$$

portanto:

$$T_{\text{axo}} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\text{sen } \phi & 0 \\ \text{sen } \phi \text{ sen } \theta & \cos \theta & \cos \phi \text{ sen } \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{a. 5})$$

2. PERSPECTIVA ISOMÉTRICA

Como foi dito anteriormente, uma projeção isométrica caracteriza-se por uma redução de igual intensidade nos três eixos, definindo assim, de forma unívoca, os ângulos " ϕ " e " θ ". A determinação destes ângulos é feita projetando-se os três vetores unitários das direções principais e em seguida impõe-se a condição de módulos iguais.

Sejam,

$$X_o = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad Y_o = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad Z_o = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

vetores unitários nas direções principais, aplicando-se sobre eles a matriz " T_{axo} ", tem-se:

$$X'_0 = \begin{Bmatrix} \cos \phi \\ \text{sen } \phi \text{ sen } \theta \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad Y'_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ \cos \theta \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad Z'_0 = \begin{Bmatrix} -\text{sen } \phi \\ \cos \phi \text{ sen } \theta \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

igualando-se os módulos dos três vetores tem-se:

$$\begin{cases} \cos^2 \phi + \text{sen}^2 \phi \text{ sen}^2 \theta = \cos^2 \theta \\ \cos^2 \phi + \text{sen}^2 \phi \text{ sen}^2 \theta = \text{sen}^2 \phi + \cos^2 \phi \text{ sen}^2 \theta \\ \cos^2 \theta = \text{sen}^2 \phi + \cos^2 \phi \text{ sen}^2 \theta \end{cases}$$

resolvendo-se o sistema obtém-se:

$$\begin{cases} \phi = 45^\circ \\ \theta = \pm 35^\circ 16' \end{cases}$$

As opções de rotações positiva ou negativa para " θ " definirão as direções dos eixos (X,Y,Z), em relação ao plano de projeção (X',Y') como mostra a Fig. A2.

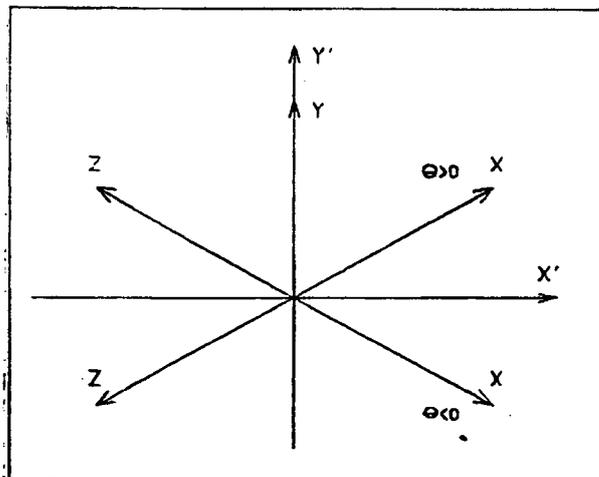


Fig. A2 - Eixos da Perspectiva Isométrica

Portanto substituindo-se os valores destes ângulos particulares na matriz de transformação axonométrica, tem-se:

$$\text{para } \phi = 45^\circ \quad \text{e} \quad \theta = + 35^\circ 16'$$

(a.6)

$$T_{iso} = \begin{bmatrix} 0,70711 & 0 & -0,70711 & 0 \\ 0,40827 & 0,81647 & 0,40827 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{para } \phi = 45^\circ \quad \text{e} \quad \theta = - 35^\circ 16'$$

(a.7)

$$T_{iso} = \begin{bmatrix} 0,70711 & 0 & -0,70711 & 0 \\ -0,40827 & 0,81647 & -0,40827 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

com as coordenadas transformadas de um ponto " P " sendo obtida por:

$$P' = T_{iso} \cdot P \quad \text{(a.8)}$$

No programa é usada a equação (a.7), representando o ilustrado na Fig. A1.

APÊNDICE B

ISOTUB - MANUAL DO USUÁRIO

Este apêndice trata da parte operacional do sistema, com descrição dos comandos básicos, instalação e procedimentos necessários para elaboração de um projeto.

1. INTRODUÇÃO

O "ISOTUB" é um sistema que tem como objetivo auxiliar o usuário no desenvolvimento de projetos de redes de tubulações, nas etapas de concepção e definição do leiaute. Funcionando como um pré-processador para "Editores Gráficos", é possível, com os recursos adicionais desses, obter o desenho com aspecto final da instalação em perspectiva isométrica, via plotter ou impressora.

1.1. ARQUIVOS DO SISTEMA

São os seguintes os arquivos que compõem o sistema, com suas respectivas funções:

TUB ⇒ Arquivo do tipo "batch" (início e controle do sistema);

ISOTUB ⇒ Programa principal;

MENUARQ ⇒ Arquivo que contém o "MENU" gerenciador do sistema sob a forma de uma matriz de bytes;

NUMARQ ⇒ Arquivo que contém uma fonte de números com aspecto adequado para numeração dos nós e elementos;

CONISO ⇒ Programa auxiliar para concatenar desenhos de ramais desenvolvidos separadamente;

BIBLIOTECA DE SÍMBOLOS ⇒ Arquivos que representam os acessórios de linhas. (Válvulas, reduções, etc.).

1.2. REQUISITOS MÍNIMOS DE HARDWARE

Computadores da linha IBM - PC e compatíveis com um mínimo de 256 Kbytes de memória RAM, 02 drivers de discos flexíveis. Aconselhável uma unidade de disco rígido.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sistema oferece uma condição de trabalho interativo entre a entrada de dados e os efeitos. Para tal, são definidas sobre a tela duas janelas sendo: uma gráfica, onde o desenho da instalação que está sendo projetada se apresenta sob a forma de

perspectiva isométrica e outra reservada para o processamento de entrada de dados. Fig. B1.

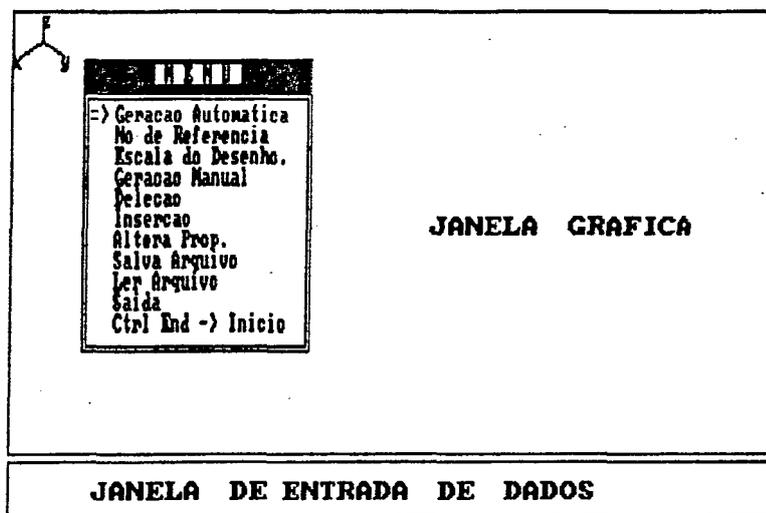


Fig. B1 - Tela de operação

O gerenciamento é feito através de um "MENU" principal do tipo "window", posicionado sobre a tela gráfica apenas enquanto a opção desejada é selecionada. Para algumas opções existentes no "MENU" principal, associam-se sub-opções requerendo o fornecimento de dados complementares. Estas necessidades são especificadas e apresentadas ao usuário de forma bastante clara na tela de entrada de dados, para que sejam fornecidas.

3. DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES BÁSICAS

Neste item serão descritas, por ordem de apresentação no "MENU", as funções básicas disponíveis, bem como as sub-opções referentes a cada uma delas.

GERAÇÃO AUTOMÁTICA

Permite a geração de nós e elementos mediante incrementos segundo as direções principais X; Y e Z, fornecidos em relação a um nó anteriormente definido ou "Nó de Referência". Simultaneamente são mostradas na tela, informações auxiliares com relação ao número e coordenadas do nó de referência, além do código da propriedade do elemento gerado. Fig. B2.

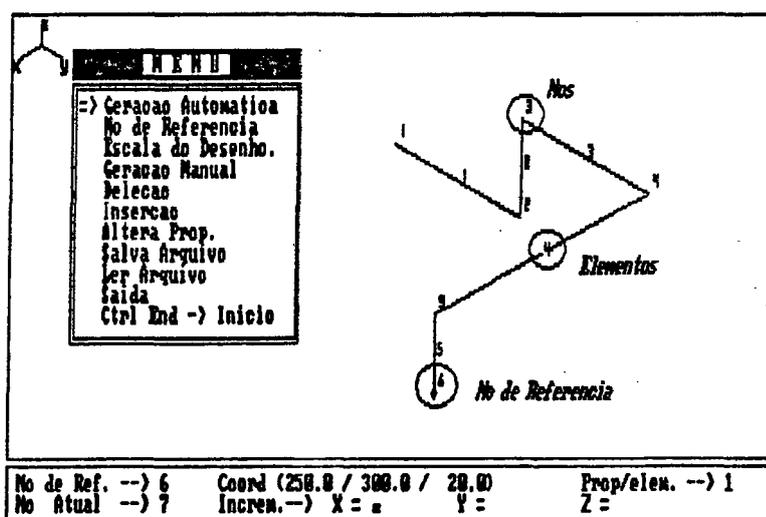


Fig. B2 - Tela da opção "Geração Automática"

NÓ DE REFERENCIA

Utilizada sempre que se deseja mudar a condição de nó de referência para um outro nó já existente. Com esta alteração é possível reiniciar o desenho de qualquer nó, voltando-se para a opção de geração automática.

Dentro desta opção também é possível alterar o código de propriedade do novo lote de elementos a serem gerados, fato

comum em derivações com diferentes diâmetros nominais dos tubos. Fig. B3.

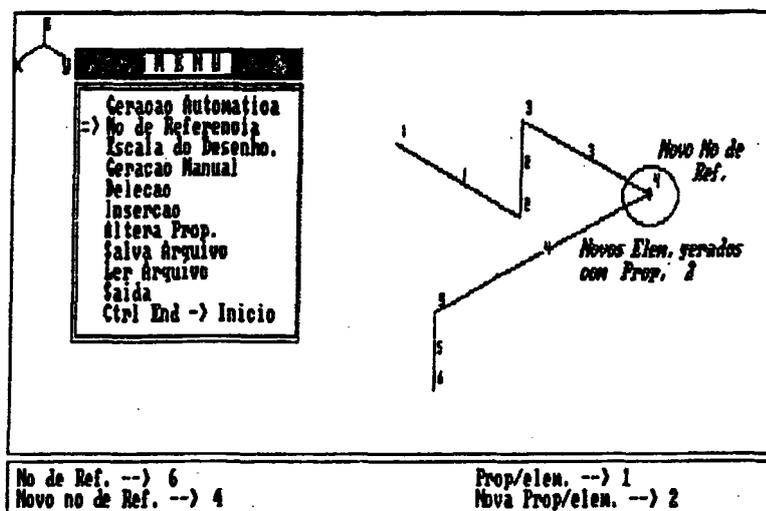


Fig. B3 - Tela da opção "Nó de Referência"

ESCALA DO DESENHO

Promove um escalamento ou translação do desenho, tornando-se possível, desta forma, trabalhar com maior riqueza de detalhes em sub-regiões. Esta condição é plenamente satisfeita com as sub-opções disponíveis (Fig. B4) descritas a seguir:

- Enquadramento total do desenho;
- Amplificação ou redução;
- Zoom em torno de um nó;
- Translação do desenho sem escalamento.

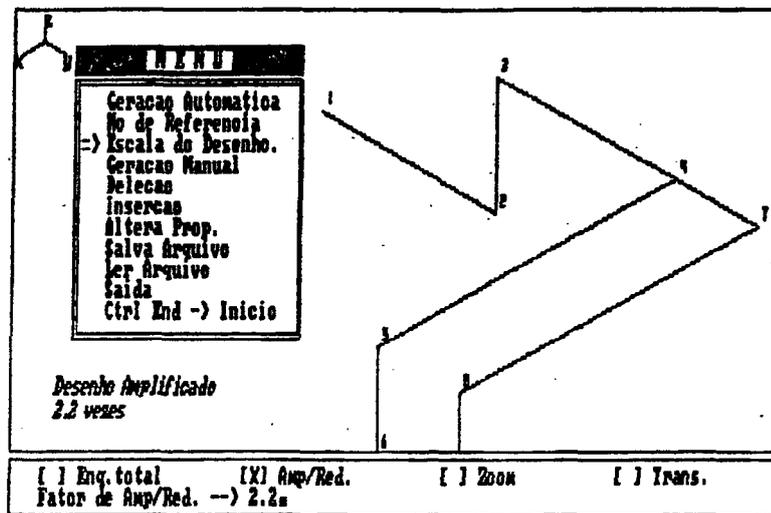


Fig. B4 - Tela da opção "Escala do Desenho"

GERAÇÃO MANUAL

Com esta opção (Fig. B5) é possível gerar nós e elementos de formas independentes. Para os nós, as coordenadas são fornecidas de forma absoluta em relação ao sistema local, sem a vinculação de elementos a eles. Em relação aos elementos, estes podem ser definidos a partir de nós já existentes.

A condição de verificação da coordenada de um nó já existente, disponível dentro desta opção, poderá vir a facilitar as operações anteriormente mencionadas.

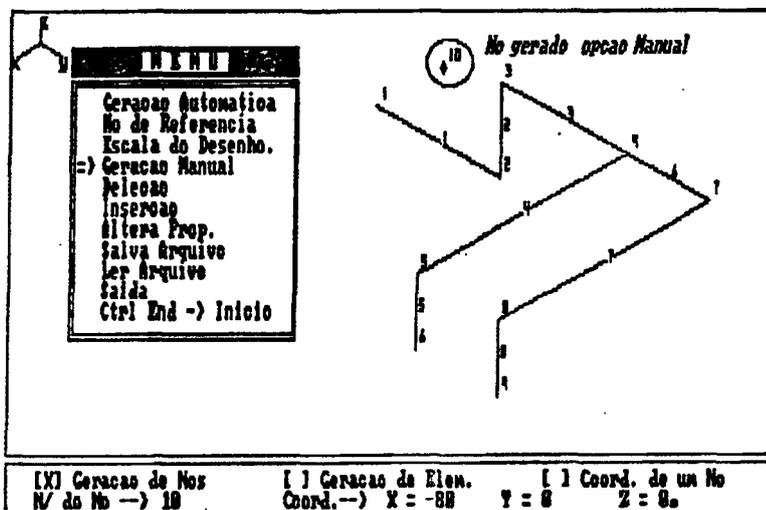


Fig. B5 - Tela da opção "Geração Manual"

DELEÇÃO

Permite a deleção de nós, elementos e símbolos já definidos (Fig. B6). Estas operações são seguidas de regras descritas a seguir:

- A deleção de um nó implica também na deleção dos elementos a ele vinculados;
- A deleção de um elemento não implica na deleção dos nós que o definem;
- A deleção de um nó que contenha um símbolo, acarreta também a deleção do símbolo.

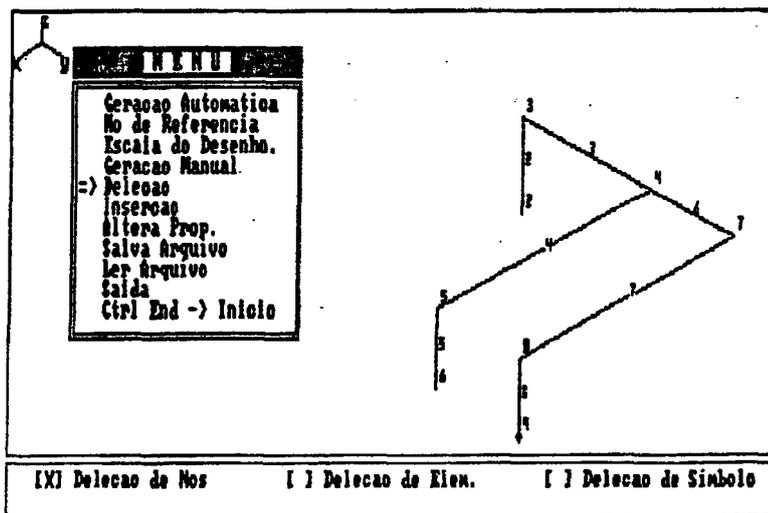


Fig. B6 - Tela da opção "Deleção"

Ao se deletar um nó ou um elemento, verifica-se uma descontinuidade na sequência de numeração. Para correção deste

efeito o sistema possui uma rotina de renumeração capaz de restituir a condição de continuidade, podendo ser acionada a qualquer momento. Ver a observação ao final deste item.

INSERÇÃO

Permite a inserção de símbolos sobre os nós já existentes e inclusão de um novo nó ao longo de um elemento já definido. Neste último caso, o elemento original é deletado e gerado em seu lugar dois novos elementos.

Como apoio ainda estão disponíveis duas sub-opções de identificação de elementos e símbolos. Maiores detalhes sobre esta opção, são fornecidos no item 6 deste apêndice, relativo a particularidades do sistema.

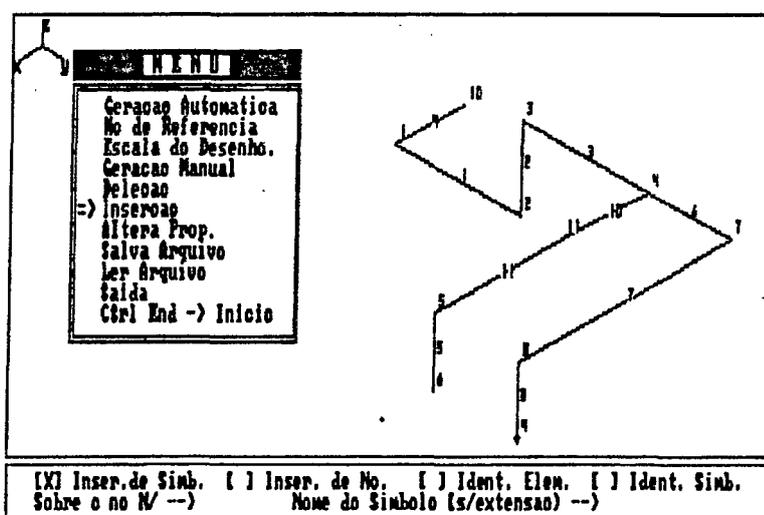


Fig. B7 - Tela da opção "Inserção"

ALTERAÇÕES

Pode-se alterar nesta opção os seguintes itens:

- Código de propriedades dos elementos;
- Número da isométrica;
- Origem do sistema local;
- Orientação do do sistema local.

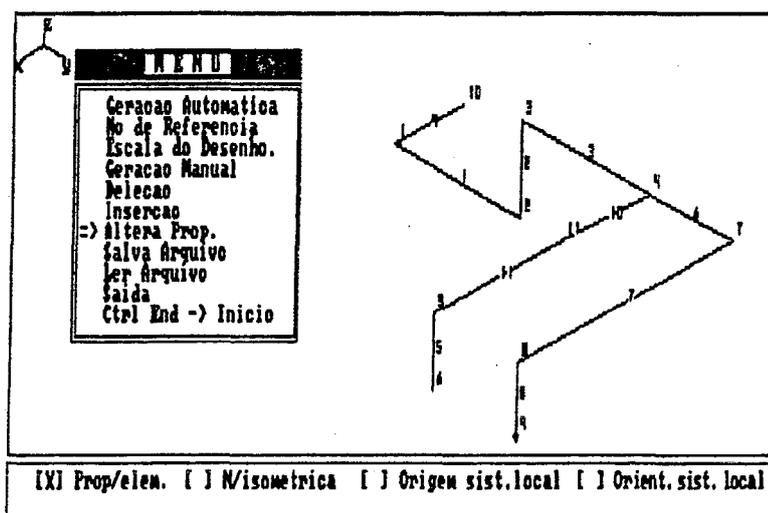


Fig. B8 - Tela da opção "Alteração"

SALVA ARQUIVOS

Salva para disco as informações fornecidas até o momento, capazes de reiniciar o processo após uma interrupção.

Esta opção implica na gravação de dois arquivos com o mesmo nome e extensões diferentes, sendo: um com extensão ".ISO" utilizado pelo próprio sistema e outro ".DES" no formato do Editor Gráfico utilizado, no caso o "EGG" [7].

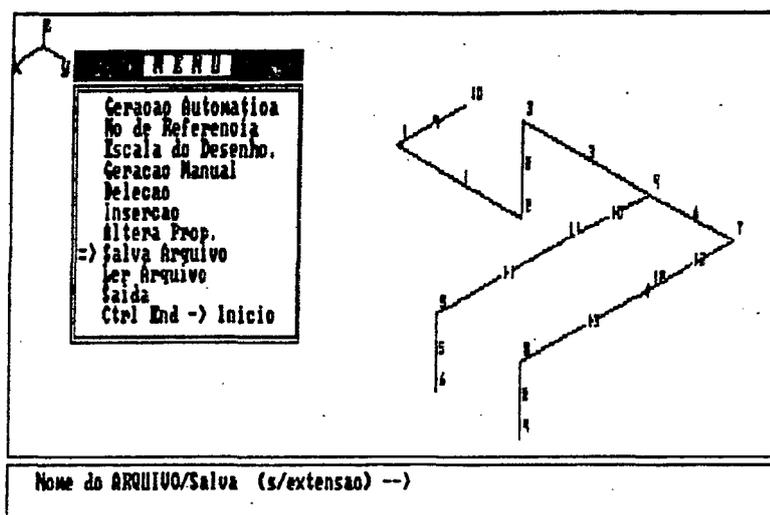


Fig. B9 - Tela da opção "Salva Arquivo"

LER ARQUIVO

Esta opção ler do disco as informações contidas em um arquivo ".ISO" já editado pelo "ISOTUB". Com isso, é possível promover alterações ou dar continuidade na elaboração de um projeto.

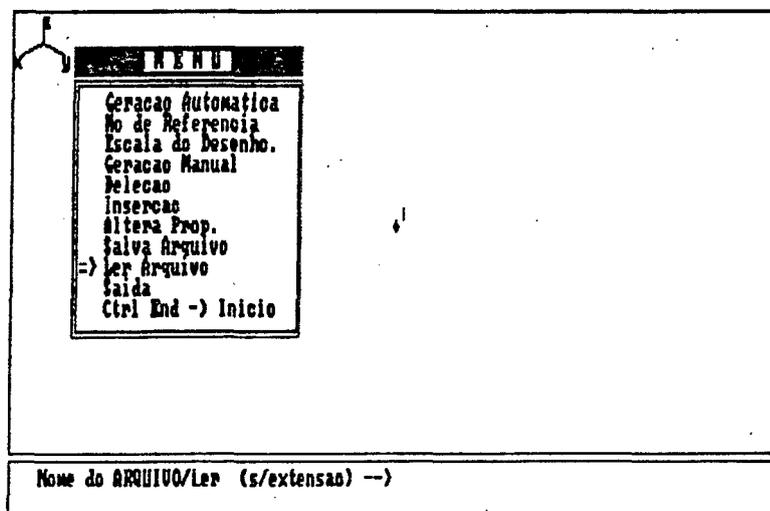


Fig. B10 - Tela da opção "Ler Arquivo"

SAIDA DO PROGRAMA

É possível sair do programa por três vias: com a primeira obtem-se uma lista de materiais completa da instalação projetada; com a segunda o Editor Gráfico é acionado permitindo a conclusão do desenho e com a terceira atinge-se o Sistema Operacional.

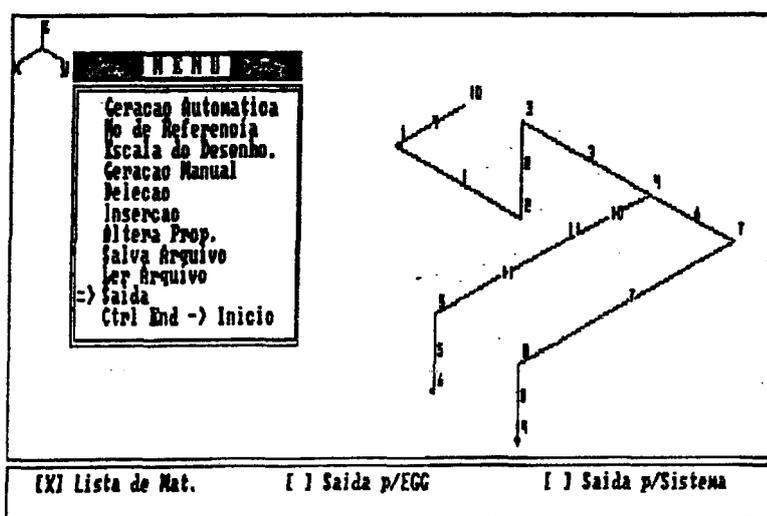


Fig. B11 - Tela da opção "Saída do Programa"

INICIO

Esta opção deve ser utilizada sempre que se deseja iniciar um novo desenho. Tem a característica de um "reset", zerando todas as informações anteriormente fornecidas. Com o "MENU" principal ativado, seu acionamento é executado ao pressionar simultaneamente as tecla "Ctrl" e "End".

Observação:

Quatro outras opções auxiliares, não constantes do "MENU", fazem parte do sistema e acessadas em qualquer estágio do programa através das teclas de funções F1; F2; F3 e F4 de forma "on/off". São elas:

- F1 - Mostra a numeração dos nós;
- F2 - Mostra a Numeração dos elementos;
- F3 - Renumeração (nós e elementos);
- F4 - Mostra o código de propriedades dos elementos.

4. ACIONANDO O SISTEMA

Para acionar o "ISOTUB", após o sistema operacional ter sido carregado e o sinal de "prompt" aparecer, digite "TUB" seguido de "enter" e surgirá no monitor uma tela de apresentação. Fig. B12.

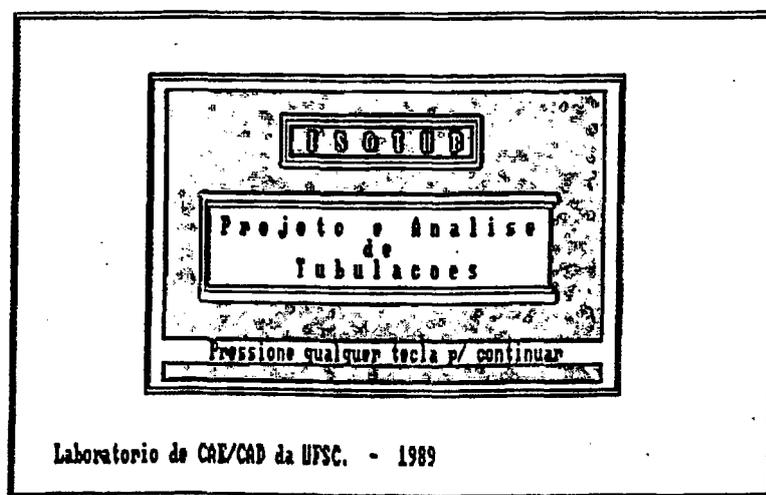
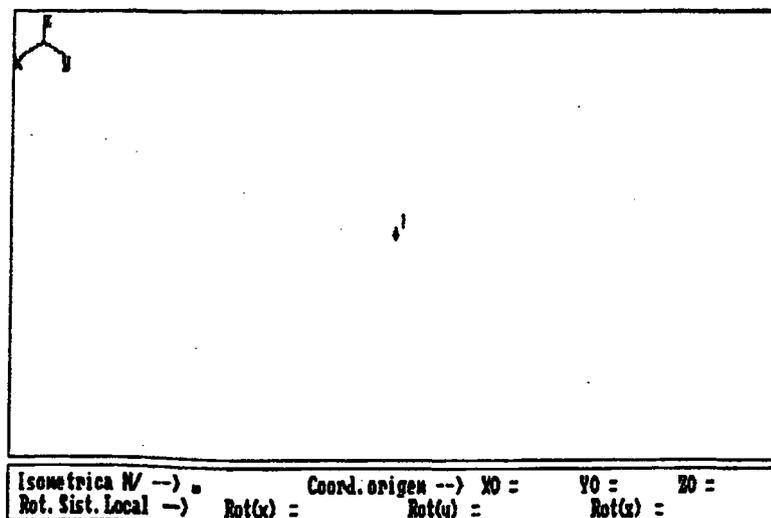


Fig. B12 - Tela de apresentação

Em seguida ao pressionar qualquer tecla, aparecerá uma tela de abertura (Fig. B13) onde deverão ser fornecidas as seguintes informações:



Isométrica N/ →) *	Coord. origem -->	X0 =	Y0 =	Z0 =
Rot. Sist. Local →)	Rot(x) =	Rot(y) =	Rot(z) =	

Fig. B13 - Tela de abertura

- Isométrica N/ →) * → Código de projeto utilizado para identificação do ramal;
- Coord. Origem → Define as coordenadas de origem, em relação ao sistema global, de um sistema de eixos auxiliar local, no qual, serão definidos os dados do ramal;
- Rot. Sist. Local → Define a orientação do sistema local, em relação ao global, mediante ângulos de rotação em torno de X; Y e Z. Esta condição facilita a entrada dos dados em direções diferentes das principais.

Após o fornecimento desses dados, o "MENU" é exposto automaticamente na tela para a escolha da opção e início do desenho.

5. SELECIONANDO AS OPÇÕES

Sempre que se deseja uma troca de opção no decorrer do trabalho, deve-se antes ativar o "MENU" bastando para isto pressionar a qualquer momento a tecla "espaço". Uma vez posicionado sobre a tela, a opção poderá ser selecionada pelo cursor utilizando-se as teclas (↑ ↓) do bloco numérico, seguido de "enter". No caso das sub-opções seu processo de seleção é feito na janela de entrada de dados através das teclas (← →) seguido de "enter".

Convém lembrar que as opções auxiliares vinculadas às teclas de funções F1; F2; F3 e F4 podem ser acionadas independentemente da ativação do "MENU".

6. PARTICULARIDADES DO SISTEMA

A maioria das funções existentes no programa têm seu uso de forma auto-explicativo, tornando-se de fácil operação para o usuário. Porém em alguns casos para a utilização plena da função, são necessárias explicações adicionais, caracterizadas como particularidades e relacionadas a seguir.

6.1. DEFINIÇÃO DOS NÓS E ELEMENTOS

Nas opções de geração automática e manual, os nós e

elementos são numerados automaticamente e em ordem crescente, sendo necessário para sua identificação em outras operações. Uma descontinuidade nesta numeração poderá ocorrer ao ser deletado um nó ou um elemento, sendo, porém, facilmente corrigida através da tecla de função F4 correspondente a renumeração.

A identificação de um elemento é feita por quatro parâmetros relacionados a seguir:

- N/ do elemento;
- Primeiro nó;
- Segundo nó;
- Código da sua propriedade

O código da propriedade do elemento corresponde a um "rótulo" (um número) que representará, mediante posterior definição, as propriedades de materiais e geometria de seções (diâmetros nominais). Ao iniciar o programa é definido para a condição "default" o código "1".

6.2. INSERINDO UM SÍMBOLO

Os símbolos representativos dos acessórios devem constar da biblioteca e só poderão ser inseridos em um nó já existente. Seu posicionamento no desenho, está vinculado a uma direção (a dos eixos principais) e a um ângulo de rotação em torno de seu eixo. A Fig. B14 mostra a condição de "default" do programa para as direções X; Y e Z e um ângulo de rotação de zero graus.

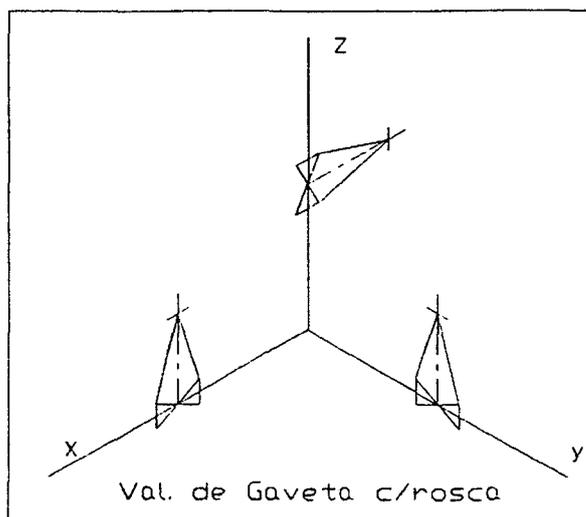


Fig. B14 - Posições de "default"
para os símbolos

As condições para ângulos de rotações diferentes de zero graus, são ilustradas pela Fig. B15.

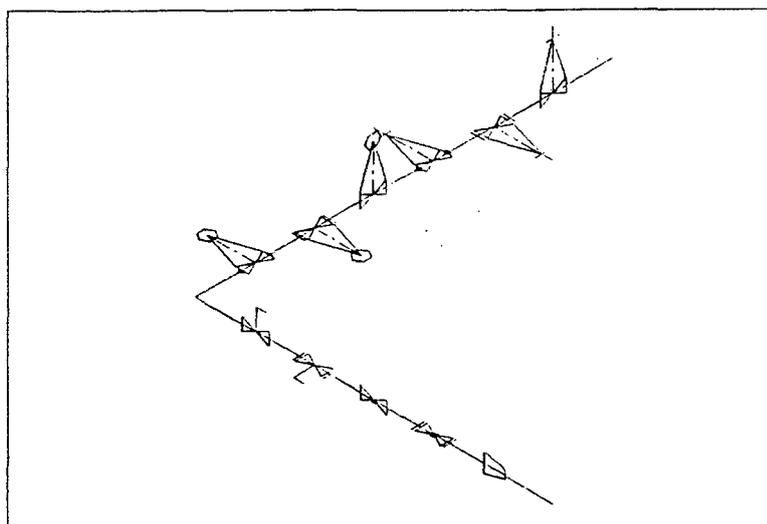


Fig. B15 - Símbolos rotacionados

As Fig. B16 e Fig. B17 mostram as telas onde são fornecidas as informações necessárias para a operação completa de inserção de um símbolo.

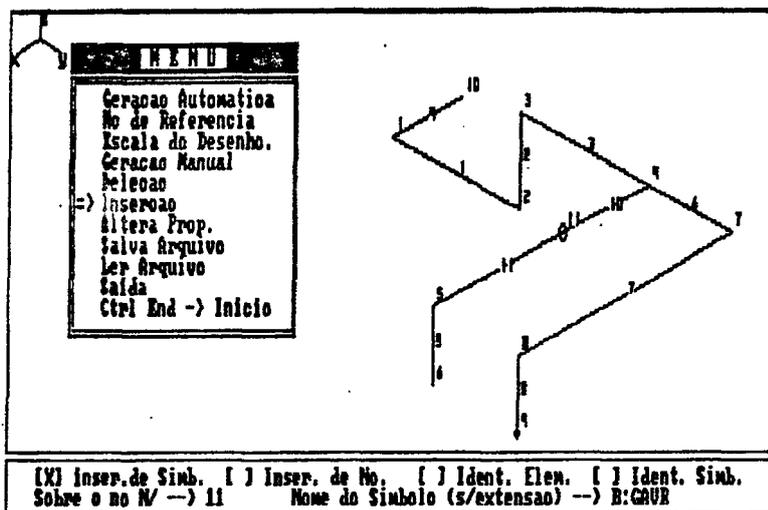


Fig. B16 - Inserção de um símbolo

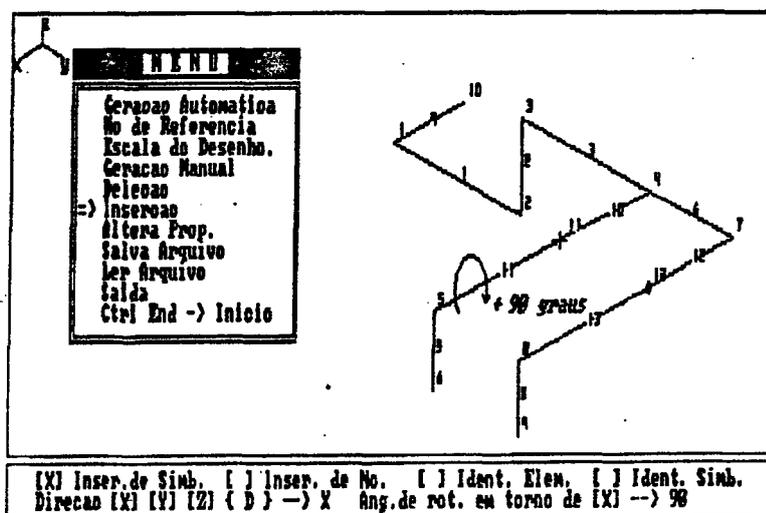


Fig. B17 - Dados referentes à posição

Comentários:

- I - Deve-se indicar o nome do arquivo representativo do símbolo, referenciando o "drive" onde se encontra. Ver Fig. B16;
- II - Na indicação da direção do símbolo (ver Fig. B17), a direção <D> é reservada para os acessórios tês e joelhos, e só nesses casos deverá ser usada;

III - A representação gráfica do símbolo no "ISOTUB" é feita por um sinal " + " sobre o nó. Sua adequada visualização é conseguida no Editor Gráfico já na etapa de conclusão do desenho.

6.3. INSERINDO UM NÓ SOBRE O ELEMENTO

Nesta operação, após a indicação do número do elemento, o nó de referência passa a ser automaticamente o primeiro nó do elemento original; é fornecido pelo sistema o comprimento do elemento e finalmente deve ser indicado pelo usuário a que distância do nó de referência deseja-se posicionar o novo nó (Fig. 18). Como este procedimento provoca deleção do elemento original substituindo-o por dois novos, verifica-se uma descontinuidade na numeração que pode ser corrigida através da tecla de funções "F3".

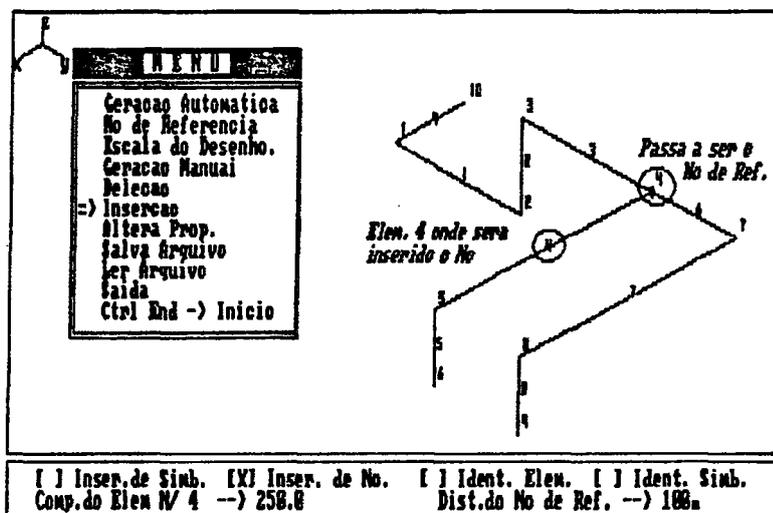


Fig. B18 - Inserção de um nó

6.4. SALVANDO UM ARQUIVO ".DES"

Na opção "Salva Arquivo", depois de gravar o arquivo com extensão ".ISO" (Fig. B19) e antes da gravação do correspondente ".DES" (Fig. B20), o usuário deverá fornecer um fator de amplificação apenas para os símbolos.

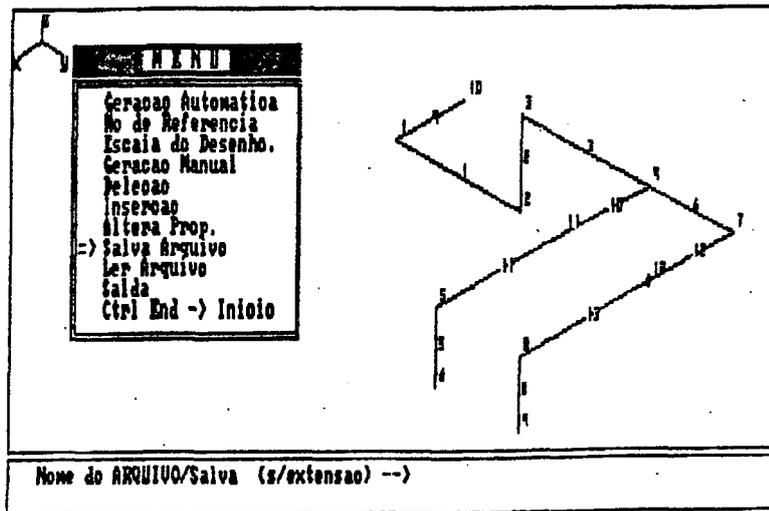


Fig. B19 - Salva arquivo ".ISO"

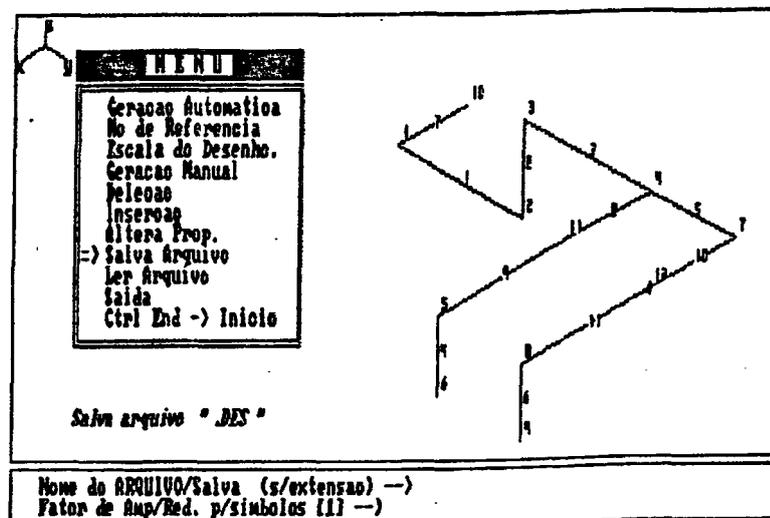


Fig. B20 - Salva arquivo ".DES"

Esta condição é colocada a disposição pois, apesar dos símbolos serem afetados pelo fator de escala global do desenho, muitas vezes é desejado, para uma melhor compreensão e apresentação do projeto, ampliações ou reduções apenas nos tamanhos dos símbolos. Com relação ao fator tem-se as seguintes condições:

$f > 1$ → Amplificação;

$f = 1$ → "Default";

$0 < f < 1$ → Redução.

Para situações intermediárias de desenvolvimento do projeto, em que se deseja apenas que o arquivo ".ISO" seja gravado, pode-se, ao final desta operação e antes de definir o fator de escala para os símbolos, retornar ao "MENU" pressionando a tecla "espaço". Com este procedimento evita-se a gravação do arquivo ".DES", reservando esta operação apenas quando a etapa de concepção estiver concluída.

6.5. ABANDONANDO UMA OPÇÃO

A seleção de uma opção do "MENU" principal ou sub-opções de forma enganada, poderá ser anulada em qualquer instante do programa pressionando a tecla "espaço". Este procedimento faz com que a opção atual seja abandonada e ativa o "MENU" principal para nova seleção.

6.6. ACIONANDO O EDITOR GRAFICO

O editor gráfico "EGG", utilizado pelo sistema para a etapa de pós-processamento, pode ser acionado através de uma das opções de saída do "ISOTUB" ou diretamente a partir do sistema operacional digitando "EGG" seguido de "enter". Para operação do editor "EGG" ver Referência [7].

APÊNDICE C

FLEXTUB - MANUAL DO USUÁRIO

Neste apêndice serão abordados os aspectos operacionais do sistema, com descrição dos comandos básicos, instalação e procedimentos para o processo de análise de tensões de um ramal.

1. INTRODUÇÃO

O "FLEXTUB" é um sistema desenvolvido para análise de tensões em ramais de tubulações, utilizando o Método dos Elementos Finitos. Idealizado para trabalhar em uma etapa de pós-processamento do ramal projetado pelo "ISOTUB", incorporando assim a topologia da estrutura, permite a análise levando-se em consideração a ação do peso próprio (tubo + fluido), cargas concentradas e o efeito da temperatura, de forma individual ou combinadas.

O sistema associa ao módulo de análise um módulo gráfico para visualização da estrutura nas condições indeformada/deformada, auxiliando consideravelmente na interpretação dos resultados.

1.1. ARQUIVOS DO SISTEMA

São os seguintes os arquivos que compõem o sistema com suas respectivas funções:

FLEXTUB.COM → Programa principal;

FLEXTUB.000 → Arquivo de "overlay" do programa principal;

FLEXTUB.001 → Arquivo de "overlay" do programa principal;

NUMARQ → Arquivo que contém uma fonte de números com aspecto adequado para numeração dos nós e elementos.

1.2. REQUISITOS MÍNIMOS DE HARDWARE

Computadores da linha IBM-PC e compatíveis com dois drivers de discos flexíveis, sendo aconselhável uma unidade de disco rígido e um mínimo de 256 Kbytes de memória RAM. Porém, como o programa utiliza a solução na memória, tanto maior será a capacidade de análise de uma estrutura em número de nós e elementos, quanto maior for a memória do equipamento.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sistema é gerenciado por um "MENU" principal contendo as funções básicas para efeito de seleção da opção desejada (Fig. A1).

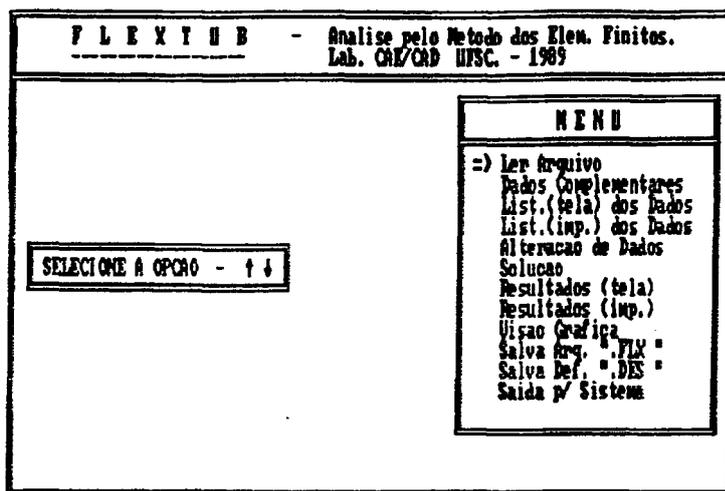


Fig. A1 - "MENU" principal gerenciador do sistema

Para o processo de análise, os dados referentes a topologia da estrutura a ser analisada são importados dos arquivos com extensão ".ISO", gerados pelo "ISOTUB". A complementação das informações necessárias, deverão ser fornecidas pelo usuário, constando basicamente de dados tais como: propriedades dos materiais; geometria das seções; restrições nodais; carregamentos e temperaturas nodais.

Em relação ao sistema de unidades utilizado, o programa não oferece nenhuma restrição, desde que, seja mantida por parte do usuário uma coerência para as variáveis envolvidas.

Para a modelagem da rede de tubulações foram utilizados elementos de viga com seis graus de liberdade por nó, sendo possível obter os seguintes resultados em relação a estrutura:

- Deslocamentos e rotações nos nós;
- Esforços e tensões desenvolvidos sobre os elementos;

- Reações nos apoios;
- Valores extremos de deslocamentos, rotações e tensões na rede;
- Recursos de visão da estrutura indeformada/deformada com diversas possibilidades de manipulação de imagens.

3. DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES BÁSICAS

Neste item serão descritas, por ordem de apresentação no "MENU", as funções básicas disponíveis bem como as sub-opções referentes a cada uma delas.

LER ARQUIVO

Esta deve ser sempre a primeira opção acionada pois, só assim, tem-se definido o ramal a ser analisado (Fig. A2).

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989	
F1	-> Arquivos com Extensão .ISO
F2	-> Arquivos com Extensão .FLX
ESC	-> Retorna ao..... MENU
Nome do Arquivo (s/ext) ->	

Fig. A2 - Opção "Ler Arquivo"

Dois tipos de arquivos, caracterizados pelas extensões ".ISO" e ".FLX", podem ser lidos pelo "FLEXTUB". Ou seja:

".ISO" ⇒ Arquivo gerado pelo "ISOTUB" contendo apenas informações referentes a topologia da estrutura;

".FLX" ⇒ Arquivo "completo" contendo todas as informações necessárias para o processo de análise (arquivo ".ISO" + dados complementares). Estes arquivos serão comentados com mais detalhes posteriormente.

DADOS COMPLEMENTARES

Nesta opção deverão ser fornecidas as informações complementares que, associadas às obtidas pela leitura do arquivo ".ISO" correspondente, comporão o volume de dados necessários para a análise.

A sequência de fornecimento destes dados é comandada pelo próprio sistema e relatada a seguir:

- DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES

Nesta etapa deverão ser especificadas as características das seções e materiais dos tubos referentes a cada propriedade existente, compondo assim, uma biblioteca na qual os elementos serão associados (Fig. A3).

F L E X T O B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CNE/CAD UFSC. - 1989	
<u>Definição das Propriedades:</u>	
Propriedade --) ①	Número da Propriedade definida
*** Dados Calculados ***	
Diam. Externo --) 3	Área da seção -----) 3.9270E+00
Diam. Interno --) 2	2nd Momento de Área --) 3.1987E+00
Mod. Elast. Long. --) 2.1E5 (aco)	Mto. Inercia Polar --) 6.3814E+00
Mod. Elast. Trans. --) 8.5E5 (aco)	Módulo de Flexão -----) 2.1271E+00
Peso/un.comprimento --) .23	Módulo de Torção -----) 4.2542E+00
Coef. Dilat. Térmica --) 12E-6 (aco)	--) Digite uma Tecla p/ Continuar (--)

Fig. A3 - Tela de definição das propriedades

Por se tratar de seções circulares, algumas características são calculadas automaticamente a partir dos dados básicos, vindo a facilitar o cumprimento desta etapa. O programa oferece ainda para tubulações em aço, valores de "default" para as propriedades do material, bastando para a sua confirmação acionar a tecla "enter".

- DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES

Para definição das restrições nodais o programa coloca à disposição do usuário um sub-menu (Fig. A4), com opções que facilitam a aplicação das condições de contorno de deslocamento e rotações sobre os nós.

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989											
<u>Definição das Restrições Nodais:</u>											
Restrições Ref. ao Nó --> 1											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Opções de entrada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - Todos Deslc./Rotac.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 - Todos Deslocamentos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 - Todas Rotacoes</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 - Mistas</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Opções de entrada		1 - Todos Deslc./Rotac.		2 - Todos Deslocamentos		3 - Todas Rotacoes		4 - Mistas	
Opções de entrada											
1 - Todos Deslc./Rotac.											
2 - Todos Deslocamentos											
3 - Todas Rotacoes											
4 - Mistas											
Escolha a Opção -->											

Fig. A4 - Sub-Menu para aplicação das restrições nodais

Estas restrições podem ser aplicadas aos graus de liberdade de forma automática através das opções 1 ; 2 e 3, ou de forma individual em cada grau de liberdade pela opção 4. A Fig. A5 mostra a tela de operação correspondente a opção 4 deste sub-menu, cabendo ao usuário responder com "S" (sim) ou "N" (não) à condição de restrição do grau de liberdade.

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989											
<u>Definição das Restrições Nodais:</u>											
Restrições Ref. ao Nó --> 1	Continua S/N -->										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Opções de entrada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - Todos Deslc./Rotac.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 - Todos Deslocamentos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 - Todas Rotacoes</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 - Mistas</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Opções de entrada		1 - Todos Deslc./Rotac.		2 - Todos Deslocamentos		3 - Todas Rotacoes		4 - Mistas		Desloc. na Direção [X] S/N --> S
Opções de entrada											
1 - Todos Deslc./Rotac.											
2 - Todos Deslocamentos											
3 - Todas Rotacoes											
4 - Mistas											
	Desloc. na Direção [Y] S/N --> S										
	Desloc. na Direção [Z] S/N --> S										
	Rotacao na Direção [Rx] S/N -->										
	Rotacao na Direção [Ry] S/N -->										
	Rotacao na Direção [Rz] S/N --> S										
Escolha a Opção --> 4											

A Fig. A5 - Restrições aplicadas individualmente em cada grau de liberdade do nó

A aplicação dessas restrições são referenciadas ao Sistema de Coordenadas Global. No caso de restrições em direções diferentes (apoios inclinados), estas deverão ser simuladas através de elementos com propriedades definidas de forma especial, sendo comentado com mais detalhes no item "Alteração de Dados".

- DEFINIÇÃO DAS CARGAS CONCENTRADAS

Definidas também no Sistema de Coordenadas Global, as cargas concentradas deverão ser especificadas nos graus de liberdade do nó correspondente (A Fig. A6).

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989	
<u>Definição das Cargas Concentradas:</u>	
<u>Cargas Ref. ao Nó</u> → 6	<u>Continua S/N</u> →
Força na Direção [X]	valor → 85
Força na Direção [Y]	valor →
Força na Direção [Z]	valor → -145
Momento na Direção [Mx]	valor →
Momento na Direção [My]	valor → 1200
Momento na Direção [Mz]	valor →

Fig. A6 - Definição das cargas concentradas

- DEFINIÇÃO DAS TEMPERATURAS NODAIS

A definição das temperaturas nodais podem ser feitas de duas formas: a primeira deve ser utilizada quando todos os nós da estrutura possuem a mesma temperatura final, bastando

para isto, apenas especificá-la (Fig. A7); a segunda permite a entrada das temperaturas finais dos nós individualmente (Fig. A8). Em ambos os casos, é necessário definir previamente a temperatura inicial da rede, configurando-se desta forma um diferencial de temperatura sobre o elemento.

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC. - 1989				
<u>Temperaturas Modais:</u>				
<table border="1"> <tr> <td>Opcoes de entrada</td> </tr> <tr> <td>1 - Iguais em todos Nos</td> </tr> <tr> <td>2 - Entrada No a No</td> </tr> </table>	Opcoes de entrada	1 - Iguais em todos Nos	2 - Entrada No a No	Temperatura Inicial da Rede --> 23 ----- Temperatura Final da Rede --> 153 -----
Opcoes de entrada				
1 - Iguais em todos Nos				
2 - Entrada No a No				
Escolha a Opcao --> 1				

Fig. A7 - Mesma temperatura final

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC. - 1989																
<u>Temperaturas Modais:</u>																
<table border="1"> <tr> <td>Opcoes de entrada</td> </tr> <tr> <td>1 - Iguais em todos Nos</td> </tr> <tr> <td>2 - Entrada No a No</td> </tr> </table>	Opcoes de entrada	1 - Iguais em todos Nos	2 - Entrada No a No	Temperatura Inicial da Rede --> 23 ----- <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><u>Temperaturas Finais dos Nos</u></td> </tr> <tr> <td>Temp. ref. ao No [1]</td> <td>--> 123</td> </tr> <tr> <td>Temp. ref. ao No [2]</td> <td>--> 128</td> </tr> <tr> <td>Temp. ref. ao No [3]</td> <td>--> 135</td> </tr> <tr> <td>Temp. ref. ao No [4]</td> <td>--> 142</td> </tr> <tr> <td>Temp. ref. ao No [5]</td> <td>--> 151</td> </tr> </table>	<u>Temperaturas Finais dos Nos</u>		Temp. ref. ao No [1]	--> 123	Temp. ref. ao No [2]	--> 128	Temp. ref. ao No [3]	--> 135	Temp. ref. ao No [4]	--> 142	Temp. ref. ao No [5]	--> 151
Opcoes de entrada																
1 - Iguais em todos Nos																
2 - Entrada No a No																
<u>Temperaturas Finais dos Nos</u>																
Temp. ref. ao No [1]	--> 123															
Temp. ref. ao No [2]	--> 128															
Temp. ref. ao No [3]	--> 135															
Temp. ref. ao No [4]	--> 142															
Temp. ref. ao No [5]	--> 151															
Escolha a Opcao --> 2																

Fig. A8 - Temperatura final nó a nó

- DEFINIÇÃO DO PESO ESPECÍFICO DO FLUIDO

O último campo a ser fornecido desta etapa, diz respeito ao peso específico do fluido a ser conduzido pela tubulação (Fig. A9). Este valor será internamente convertido em um carregamento uniformemente distribuído ao longo da tubulação e posteriormente somada ao peso próprio do tubo.

F L E X I B	- Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CNE/CAD UFSC - 1989
<p><u>Peso Especifico:</u></p>	
<p>Entre com o Peso Especifico do Fluido --) .001</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> *** F I N *** --) Enter (- volta ao MENU </div>	

Fig. A9 - Definição do peso específico do fluido

LISTA DADOS NA TELA

Com esta opção é possível verificar na tela a consistência de todos os dados de entrada, inclusive os dados complementares, caso já tenham sido fornecidos. Estes dados são mostrados em janelas, em ordem crescente ou decrescente, com comandos através de teclas do bloco numérico, conforme indicação na parte inferior de cada tela.

As Fig. A10 a Fig. A18 mostram a sequência destas informações, por ordem de apresentação.

F L E X T U B - Analise pelo Metodo dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC. - 1989	
<u>Relacao dos Dados de Entrada:</u>	
Numero de Nos --> 15	
Numero de Elementos --> 14	
--> Enter (- Para continuar	

Fig. A10 - Número de nós e elementos

F L E X T U B - Analise pelo Metodo dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC. - 1989																					
<u>Relacao dos Dados de Entrada:</u>	Coordenadas Nodais:																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº do No</th> <th>Coord. [X]</th> <th>Coord. [Y]</th> <th>Coord. [Z]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>-58.00</td> <td>200.00</td> <td>-74.20</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>-50.00</td> <td>200.00</td> <td>-119.50</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>-73.95</td> <td>200.00</td> <td>-119.50</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>-115.20</td> <td>200.00</td> <td>-119.50</td> </tr> </tbody> </table>	Nº do No	Coord. [X]	Coord. [Y]	Coord. [Z]	4	-58.00	200.00	-74.20	5	-50.00	200.00	-119.50	6	-73.95	200.00	-119.50	7	-115.20	200.00	-119.50	
Nº do No	Coord. [X]	Coord. [Y]	Coord. [Z]																		
4	-58.00	200.00	-74.20																		
5	-50.00	200.00	-119.50																		
6	-73.95	200.00	-119.50																		
7	-115.20	200.00	-119.50																		
Selecione : K(+1) ↑(-1) PyDn(+5) PyUp(-5) Esc(fin)																					

Fig. A11 - Coordenadas dos nós

F L E X T U B - Analise pelo Metodo dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC. - 1989																					
<u>Relacao dos Dados de Entrada:</u>	Definicao dos Elementos:																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Elem.</th> <th>Prim. No</th> <th>Seg. No</th> <th>Prop.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Elem.	Prim. No	Seg. No	Prop.	3	4	5	1	4	5	6	1	5	6	7	2	6	7	8	2	
Nº Elem.	Prim. No	Seg. No	Prop.																		
3	4	5	1																		
4	5	6	1																		
5	6	7	2																		
6	7	8	2																		
Selecione : K(+1) ↑(-1) PyDn(+5) PyUp(-5) Esc(fin)																					

Fig. A12 - Definição e propriedades dos elementos

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos.
Lab. CNE/CAD UFSC. - 1989

Relação dos Dados de Entrada: Definição das Propriedades:

Propriedade -> 1	
Mod. Elast. Long. -> 2.1000E+06	Diam. Externo ----> 3.6930E+00
Mod. Elast. Trans. -> 8.5000E+05	Diam. Interno ----> 2.0000E+00
Peso/un.comp. ----> 2.3000E-01	Área da Secão ----> 3.9270E+00
Coef. Dilat. Term. -> 1.2000E-05	2nd Mto. de Área ----> 3.1907E+00
	Mto. Inercia Polar -> 6.3814E+00

Seleção: ↓(+1) ↑(-1) Esc(fim)

Fig. A13 - Dados de uma propriedade

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos.
Lab. CNE/CAD UFSC. - 1989

Relação dos Dados de Entrada: Restrições Nodais:

N/ No	Desl. [X]	Desl. [Y]	Desl. [Z]	Rot. [Ox]	Rot. [Oy]	Rot. [Oz]
5	\$	\$	\$			
9			\$			
12	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		***	Fin-Rest.	***		

Seleção: ↓(+1) ↑(início) Esc(fim)

Fig. A14 - Restrições nodais

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos.
Lab. CNE/CAD UFSC. - 1989

Relação dos Dados de Entrada: Carregamentos Nodais:

N/ No	Foro. [X]	Foro. [Y]	Foro. [Z]	Mto. [Mx]	Mto. [My]	Mto. [Mz]
3	0.00	0.00	-50.00	0.00	0.00	0.00
6	65.00	0.00	-70.00	1350.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	-45.00	700.00	0.00	0.00
		***	Fin-Cargas	***		

Seleção: ↓(+1) ↑(início) Esc(fim)

Fig. A15 - Cargas concentradas

OBS. - As Fig. A16 e A17 seguintes, referem-se a temperaturas nodais e são mostradas na tela de forma excludente, ou seja: a primeira para os casos de temperaturas finais iguais para todos os nós a segunda para os casos de temperaturas finais diferentes nó a nó.

F L E X T U B - Analise pelo Metodo dos Elem. Finitos. Lab. CRE/CAD UFSC. - 1989	
<u>Relacao dos Dados de Entrada:</u>	Temperaturas Nodais:
Temp. Inicial da Rede -> 23.00	
Todos os Nos tem a mesma Temperatura Final -> 165.00	
-> Enter (-- Para continuar	

Fig. A16 - Temperaturas nodais iguais

F L E X T U B - Analise pelo Metodo dos Elem. Finitos. Lab. CRE/CAD UFSC. - 1989									
<u>Relacao dos Dados de Entrada:</u>	Temperaturas Nodais:								
Temp. Inicial da Rede -> 23.00									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N/ No</th> <th>Temp.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>123.00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>129.00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>136.00</td> </tr> </tbody> </table>	N/ No	Temp.	1	123.00	2	129.00	3	136.00	
N/ No	Temp.								
1	123.00								
2	129.00								
3	136.00								
-> Enter (-- Para continuar									

Fig. A17 - Temperaturas nodais diferentes

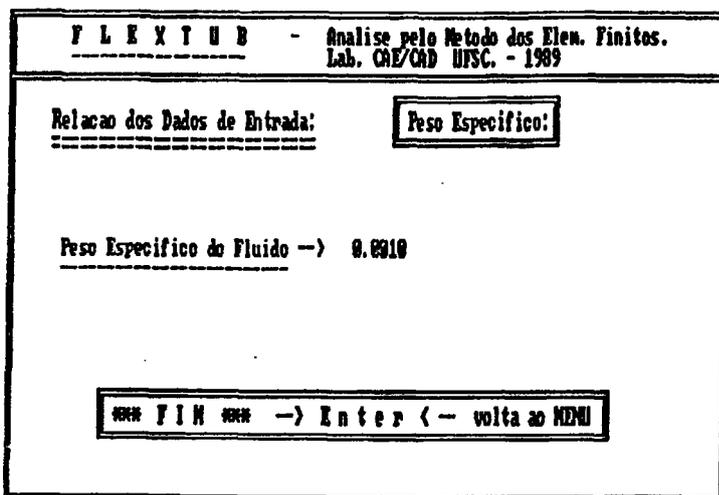


Fig. A18 - Peso especifico do fluido

LISTA DADOS NA IMPRESSORA

Os dados de entrada também podem ser listados pela impressora facilitando desta forma, a documentação do caso que se esta analisando (Fig. A19).

```

-----> FLEXUB - RELACAO DOS DADOS DE ENTRADA <-----
.....
NOME DO ARQUIVO --> L01.PLX
.....
NUMERO DE NOS -----> 5
NUMERO DE ELEMENTOS ---> 4
.....
COORDENADAS NODAIS
.....
N/ do No   Coord. [ X ]   Coord. [ Y ]   Coord. [ Z ]
1           0.00         0.00          0.00
2          120.00        0.00          0.00
3          120.00        0.00          80.00
4          120.00       -180.00       80.00
5           310.00       -180.00       80.00
.....
DEFINICAO DOS ELEMENTOS
.....
N/ Elem.   Prim.No   Seg.No   Prop.
1          1         2         1
2          2         3         1
3          3         4         1
4          4         5         1
.....
DEFINICAO DAS PROPRIEDADES
.....
Propriedade --> 1
.....
Diam. Externo -----> 3.5000E+00
Diam. Interno -----> 2.0000E+00
Area do Bocal -----> 6.4795E+00
Rad Mto. de Area -----> 6.5809E+00
Mto. Inercia Polar ---> 1.3182E+01
Modulo de Flexao -----> 3.7804E+00
Modulo de Torcao -----> 7.5208E+00
Mod. Elast. Long. -----> 2.1000E+05
Mod. Elast. Trans. -----> 9.5000E+05
Peso/un. Comp. -----> 1.2000E-01
Cost. Dilot. Term. -----> 1.2000E-05
.....
RESTRICOES NODAIS
.....
N/ No   Desl. [X]   Desl. [Y]   Desl. [Z]   Rot. [X]   Rot. [Y]   Rot. [Z]
1      S         S         S         S         S         S
5      S         S         S         S         S         S
.....
CARREGAMENTOS NODAIS
.....
N/ No   Forc. [X]   Forc. [Y]   Forc. [Z]   Mto. [Mx]   Mto. [My]   Mto. [Mz]
5      0.00        0.00       -40.00      0.00        0.00        0.00
.....
TEMPERATURAS NODAIS
.....
TEMPERATURA INICIAL DA REDE ----> 29.00
.....
TEMPERATURAS FINAIS DOS NOS:
.....
N/ No   Temperatura
1       165.00
2       161.00
3       157.00
4       162.00
5       149.00
.....
PESO ESPECIFICO
.....
PESO ESPECIFICO DO FLUIDO ----> 0.0010
    
```

Fig. A19 - Listagem dos dados de entrada

ALTERAÇÃO DE DADOS

Esta opção permite a alteração dos dados de entrada, possibilitando, mediante reprocessamento, definir o comportamento da estrutura sob diversas condições de solicitações.

Ao selecionar esta opção, um sub-menu de alterações é ativado e colocado a disposição do usuário para que escolha o campo a ser alterado (Fig. A20).

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CNE/CAD UFSC. - 1989															
<u>Alteracao dos Dados de Entrada:</u>															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Opcoes de Alteracoes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>- Propriedades</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>- Restricoes Nodais</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>- Carregamentos</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>- Temperaturas</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>- Peso Esp. do Fluido</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>- F i n</td> </tr> </tbody> </table>	Opcoes de Alteracoes		1	- Propriedades	2	- Restricoes Nodais	3	- Carregamentos	4	- Temperaturas	5	- Peso Esp. do Fluido	6	- F i n	Escolha a Opcao -->
Opcoes de Alteracoes															
1	- Propriedades														
2	- Restricoes Nodais														
3	- Carregamentos														
4	- Temperaturas														
5	- Peso Esp. do Fluido														
6	- F i n														

Fig. A20 - Sub-Menu de alterações

Em seguida serão descritas, por ordem de sequência, as opções deste sub-menu de alterações.

- ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES

Permite alterações na biblioteca de propriedades dos elementos. Os novos valores para os dados básicos deverão ser fornecidos item a item, seguindo a sequência apresentada na

tela, conforme mostra a Fig. A21. Ao final desta operação, através das teclas "F1" e "F2" do bloco de funções, é possível optar se os dados restantes serão calculados automaticamente ou fornecidos individualmente.

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989	
<u>Alteração dos Dados de Entrada:</u>	<u>Alteração das Propriedades:</u>
<u>Propriedade a Alterar --> 1</u>	
Diam. Externo --> 2.5	*** Dados Restantes ***
Diam. Interno --> 1.5	F1 - Calculados
Mod. Elast. Long.--> 2.1E6	F2 - Entrada um a um
Mod. Elast. Trans.--> 8.5E5	
Peso/un.comprimento --> 8.17	
Coef. Dilat. Termica --> 1.2E-5	

Fig. A21 - Alterações de propriedades

Esta última condição, permite a simulação de elementos e situações comumente encontradas em projetos de tubulações, tais como: representação no modelo de uma junta de expansão, mediante a definição de baixo módulo de elasticidade longitudinal para o elemento e, tirantes de sustentação, simulado por um elemento de treliça, bastando para tal, defini-lo com um módulo de flexão igual a zero.

Esta condição também permite a simulação de apoios inclinados (restrições em direções diferentes das definidas pelo sistema de coordenadas global), mediante o uso de um elemento com seu eixo alinhado com a direção da restrição imposta e, definindo-o com propriedades de módulo de flexão igual a zero e área de elevada ordem de grandeza. Um exemplo desta condição pode ser visto na Fig. A22.

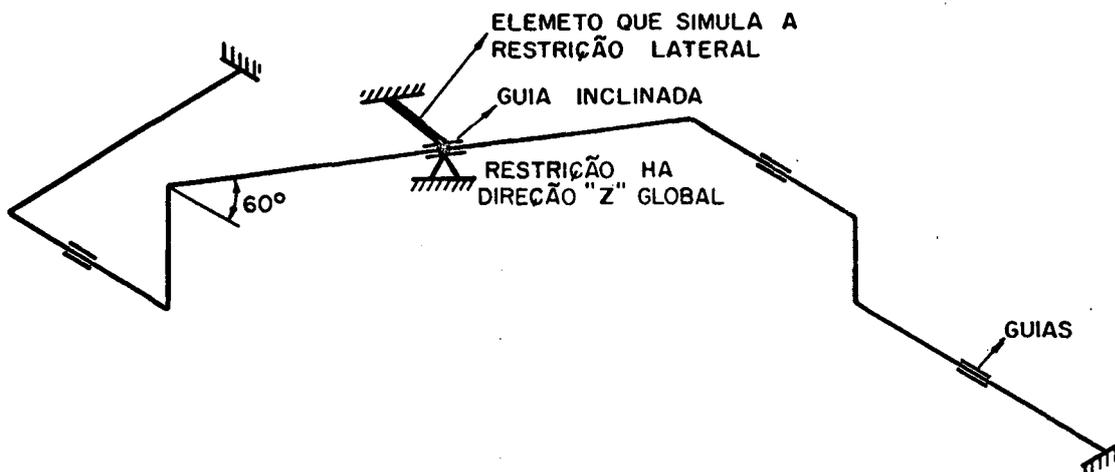


Fig. A22 - Restrições em direções diferentes das globais

- ALTERAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

As restrições impostas aos graus de liberdade de um nó podem ser alteradas com esta opção, redefinindo-se para cada grau de liberdade sua nova condição (restringido "S"; não restringido "N"), conforme mostra a Fig. A23. As condições anteriores de restrições do nó em questão, são colocadas no canto esquerdo da tela como suporte operacional.

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989	
Alteração dos Dados de Entrada:	Alteração das Restrições:
=====	
Novas Restrições Ref. ao Nó --> 5	
Ulr. -> S	Desloc. na Direção [X] S/N -->
Ulr. -> S	Desloc. na Direção [Y] S/N -->
Ulr. -> S	Desloc. na Direção [Z] S/N -->
Ulr. ->	Rotacao na Direção [α_x] S/N -->
Ulr. ->	Rotacao na Direção [α_y] S/N -->
Ulr. ->	Rotacao na Direção [α_z] S/N -->

Fig. A23 - Alterações de restrições

- ALTERAÇÃO DOS CARREGAMENTOS

A alteração das cargas concentradas atuantes sobre um nó, se processa de forma semelhante à descrita no item anterior. Ou seja: redefinindo-se as novas cargas em cada grau de liberdade do nó. A Fig. A24 mostra a tela correspondente para esta operação, onde também é informado os valores das cargas definidas anteriormente.

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elen. Finitos. Lab. CAZ/CAD UFSC. - 1989	
<u>Alteracao dos Dados de Entrada:</u>	<u>Alteracao das Cargas:</u>
<u>Novas Cargas Ref. ao No --> 6</u>	
Vir. --> 65.00	Forca na Direcao [X] valor -->
Vir. --> 0.00	Forca na Direcao [Y] valor -->
Vir. --> -78.00	Forca na Direcao [Z] valor -->
Vir. --> 1350.00	Momento na Direcao [Mx] valor -->
Vir. --> 0.00	Momento na Direcao [My] valor -->
Vir. --> 0.00	Momento na Direcao [Mz] valor -->

Fig. A24 - Alteração de cargas concentradas

- ALTERAÇÃO DAS TEMPERATURAS

Para alteração das temperaturas nodais é colocado à disposição do usuário um sub-menu onde constam 03 opções descritas a seguir:

Opção 1 - Utilizada para alterar a temperatura inicial da rede. Ao ser acionada, informa o valor definido anteriormente e solicita o novo valor da temperatura inicial para todos os nós (Fig. A25).

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC. - 1989					
Alteração dos Dados de Entrada: Alteração das Temperaturas Nodais: =====					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Opcões de Alteração</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - Temp. Inicial</td> </tr> <tr> <td>2 - Iguais p/ todos Nds</td> </tr> <tr> <td>3 - Alterações Nb a Nb</td> </tr> </tbody> </table>	Opcões de Alteração	1 - Temp. Inicial	2 - Iguais p/ todos Nds	3 - Alterações Nb a Nb	Val. Anterior -> 23.00 Nova Temperatura Inicial da Rede -->
Opcões de Alteração					
1 - Temp. Inicial					
2 - Iguais p/ todos Nds					
3 - Alterações Nb a Nb					
Escolha a Opção --> 1					

Fig. A25 - Alteração da temperatura inicial da rede

Opção 2 - Utilizada para alteração da temperatura final da rede, nos casos em que todos os nós têm a mesma temperatura. De forma semelhante, apresenta o valor anterior da temperatura e solicita o novo valor (Fig. A26).

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC. - 1989					
Alteração dos Dados de Entrada: Alteração das Temperaturas Nodais: =====					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Opcões de Alteração</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - Temp. Inicial</td> </tr> <tr> <td>2 - Iguais p/ todos Nds</td> </tr> <tr> <td>3 - Alterações Nb a Nb</td> </tr> </tbody> </table>	Opcões de Alteração	1 - Temp. Inicial	2 - Iguais p/ todos Nds	3 - Alterações Nb a Nb	Val. Anterior -> 165.00 Temperatura Final da Rede ->
Opcões de Alteração					
1 - Temp. Inicial					
2 - Iguais p/ todos Nds					
3 - Alterações Nb a Nb					
Escolha a Opção --> 2					

Fig. A26 - Alteração da temperatura final da rede

Opção 3 - Utilizada quando deseja-se alterar as temperaturas finais dos nós individualmente. Neste caso deve-se especificar o número do nó a ser alterado; sendo em seguida mostrado o valor anterior da temperatura e solicitado o novo valor (Fig. A27).

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989					
<u>Alteracao dos Dados de Entrada:</u>	<u>Alteracao das Temperaturas Nodais:</u>				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Opcoes de Alteracao</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - Temp. Inicial</td> </tr> <tr> <td>2 - Iguais p/ todos Nos</td> </tr> <tr> <td>3 - Alteracoes No a No</td> </tr> </tbody> </table>	Opcoes de Alteracao	1 - Temp. Inicial	2 - Iguais p/ todos Nos	3 - Alteracoes No a No	Temperatura Ref. ao No IV --> 7 ----- Val. Anterior --> 165.00 Nova Temp. do No (7) -->
Opcoes de Alteracao					
1 - Temp. Inicial					
2 - Iguais p/ todos Nos					
3 - Alteracoes No a No					
Escolha a Opcao --> 3					

Fig. A27 - Alteração da temperatura final de um nó

- ALTERAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO DO FLUIDO

Com esta opção é possível alterar o peso específico do fluido conduzido como demonstrado pela Fig. A28.

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989	
<u>Alteracao dos Dados de Entrada:</u>	<u>Alteracao do Peso Especifico:</u>
Val. Anterior --> 0.0010 ----- Novo Peso Especifico do Fluido -->	

Fig. A28 - Alteração do peso específico do fluido

SOLUÇÃO

Confirmados os dados de entrada, pode-se obter os resultados de saída com a solução do sistema de equações.

Para o processo de análise, deve-se indicar os tipos de carregamentos que deverão ser levados em consideração (Fig. A29), combinados a critério do projetista. Durante todo o processo de solução, são fornecidas na parte inferior da tela informações das etapas em curso, permitindo o acompanhamento do processamento.

F L E X T I B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CBE/CAD UFSC. - 1989	
Indique os Carregamentos a serem considerados :	
Devido a Cargas Externas S/N ----->	5
Devido a Variaçao de Temperatura S/N -->	5
Devido ao Peso Proprio S/N ----->	5
Zerando as Matrizes -->	66
Processando o Elemento N/ -->	14
Resolvendo o Sistema de Equações --> 90 x 90	Etapas --> 90
Calculando Forças e Momentos sobre o Elem. -->	4

Fig. A29 - Opções para solução

RESULTADOS NA TELA

A apresentação dos resultados de saída é feita em módulos, seguindo uma sequência definida pelo sistema. Estes módulos são acionados automaticamente ao término das informações referentes a cada um deles.

São os seguintes os módulos apresentados pelo programa:

- Deslocamentos e rotações nodais
- Esforços e tensões sobre os elementos
- Reações nos apoios
- Valores extremos para os deslocamentos e rotações
- Valores extremos para os esforços e tensões

Dentro de cada módulo, o sistema conta com recursos para localização das informações através de teclas do bloco numérico, indicadas sempre na parte inferior da tela. Estes recursos permitem avanços ou recuos, em relação a numeração dos nós ou elementos, com incrementos de 1 (um) ou 5 (cinco), facilitando o enquadramento das informações desejadas.

Para uma melhor interpretação dos resultados, os deslocamentos e reações de apoios são especificados no sistema de eixos global e esforços e tensões em um sistema local definido pelo próprio programa. Ver item 4.6.

As Fig. A30 a Fig. A34 mostram, por ordem de sequência, a forma como são apresentados os resultados dentro de cada um deles.

FLEXIB - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CIE/CAD UFSC - 1989	
Relacao dos Dados de Saída: C. Ext. C. Temp. Peso Prop.	Deslocamentos Nodais:
Dados sobre o No -> 3	Obs: Sist. de Coord. Global
Deslocamentos	Rotações
[X] --> -6.2265E-02	[α_x] --> -2.8056E-01
[Y] --> 2.12374E-02	[α_y] --> 1.39097E-01
[Z] --> -3.8527E+01	[α_z] --> -1.2277E-02
Selecione : K(+1) I(-1) PqIn(+5) PqIp(-5) Esc(fin)	

Fig. A30 - Deslocamentos e rotações

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos.
Lab. CAE/CAD UFSC - 1989

Relacao dos Dados de Saida: C. Ext. Esforços s/ os Elementos no Sist. de Coord. Local
C. Temp.
Peso Prop.

Elem. N°	Primeiro N° -> 7		Segundo N° -> 8	
	Esforços	Tensoes	Esforços	Tensoes
6				
Axial Fx	-11.51	2.93	11.51	2.93
Cont. Fy	-69.11	17.60	78.87	29.08
Cont. Fz	-20.26	5.16	20.26	5.16
Torque Mx	1443.97	339.42	-1443.97	339.42
Fletor My	287.94	135.18	360.35	263.43
Fletor Mz	-178.79	88.29	-2925.60	1375.38

Seleçõe : ↓(+1) ↑(-1) FyDn(+5) FyDp(-5) Esc(fin)

Fig. A31 - Esforços e tensões

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos.
Lab. CAE/CAD UFSC - 1989

Relacao dos Dados de Saida: C. Ext. Reacoes
C. Temp.
Peso Prop.

Reacoes no N° N° --> 1

Forças		Momentos	
Fx -->	11.51	Mx -->	11661.44
Fy -->	-20.26	My -->	1760.18
Fz -->	112.60	Mz -->	328.29

Seleçõe : ↓ Orden Crescente ↑ Orden Decrescente

Fig A32 - Reações nos apoios

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos.
Lab. CAE/CAD UFSC - 1989

Relacao dos Dados de Saida: C. Ext. Valores Extremos
C. Temp.
Peso Prop.

Para Deslocamentos

N° N°	Valores Extremos
2 5 5	Max Desl. [X] --> -2.1817E+01
	Max Desl. [Y] --> -2.8698E+01
	Max Desl. [Z] --> -3.8540E+01
3 7 7	Max Rot. [X] --> -2.8366E-01
	Max Rot. [Y] --> 2.3683E-01
	Max Rot. [Z] --> -5.6939E-02

--> Digite uma Tecla p/ continuar (-

Fig. A33 - Valores extremos para deslocamentos/rotações

F L E X T U B - Análise pelo Método dos Elem. Finitos. Lab. CAE/CAD UFSC - 1989				
Relação dos Dados de Saída: C. Ext. C. Temp. Peso Prop.		Valores Extremos		
Esforços em Valores Absolutos no Sist. Local				
Vir. Max.	Esforços	Tensões	Elem.	Nº
Tração Fx	183.52	26.36	9	10-11
Comp. Fx	48.63	12.38	3	4-5
Cort. Fy	155.48	34.59	10	12
Cort. Fz	28.26	5.16	1	1-2
Torção Mx	3838.72	1378.63	1	1-2
Fletor My	1932.33	988.58	11	3
Fletor Mz	1583.84	744.59	10	12
--> Digite uma Tecla p/ continuar <--				

Fig. A34 - Valores extremos para esforços e tensões

RESULTADOS NA IMPRESSORA

Esta opção permite a obtenção de um relatório com os resultados de saída (Fig. A35), fundamental na documentação do caso analisando.

```

.....
----> F L E X T U B - RELACAO DOS DADOS DE SAIDA <--
.....

NOME DO ARQUIVO --> L01.FLX

NUMERO DE NOS -----> 5
NUMERO DE ELEMENTOS -----> 4
TIPOS DE CARREGAMENTOS --> | Externos |

.....
DESLGAMENTOS NODAIS (sist. de Coord. Global)
.....

Numero do no --> 1

    Desl. (X) --> 0.00000E+00 | Rot. (X) --> 0.00000E+00
    Desl. (Y) --> 0.00000E+00 | Rot. (Y) --> 0.00000E+00
    Desl. (Z) --> 0.00000E+00 | Rot. (Z) --> 0.00000E+00

Numero do no --> 2

    Desl. (X) --> -4.0411E-05 | Rot. (X) --> -4.1718E-03
    Desl. (Y) --> -1.0888E-01 | Rot. (Y) --> 1.16488E-02
    Desl. (Z) --> -1.0757E+00 | Rot. (Z) --> -2.0688E-03

Numero do no --> 3

    Desl. (X) --> 7.88488E-01 | Rot. (X) --> -8.0888E-03
    Desl. (Y) --> 3.06184E-01 | Rot. (Y) --> 7.91780E-03
    Desl. (Z) --> -1.0768E+00 | Rot. (Z) --> -4.3674E-03

Numero do no --> 4

    Desl. (X) --> 8.38848E-08 | Rot. (X) --> -5.7438E-03
    Desl. (Y) --> 3.06180E-01 | Rot. (Y) --> 1.82078E-03
    Desl. (Z) --> -3.3617E-02 | Rot. (Z) --> -9.8328E-03

Numero do no --> 5

    Desl. (X) --> 0.00000E+00 | Rot. (X) --> 0.00000E+00
    Desl. (Y) --> 0.00000E+00 | Rot. (Y) --> 0.00000E+00
    Desl. (Z) --> 0.00000E+00 | Rot. (Z) --> 0.00000E+00

```

continua...

ESFORÇOS NOS ELEMENTOS (sist. de Coord. Local)

Numero do Elem. --> 1

Primeiro No --> 1

Axial Fx -->	4.68		Tensao -->	-0.71
Cort. Fy -->	86.18		Tensao -->	5.68
Cort. Fz -->	1.40		Tensao -->	0.22
Torque Mx -->	388.83		Tensao -->	61.71
Flator My -->	153.18		Tensao -->	40.73
Flator Mz -->	3510.87		Tensao -->	939.83

Segundo No --> 2

Axial Fx -->	-4.68		Tensao -->	-0.71
Cort. Fy -->	-36.18		Tensao -->	5.68
Cort. Fz -->	-1.40		Tensao -->	0.22
Torque Mx -->	-388.83		Tensao -->	61.71
Flator My -->	-321.29		Tensao -->	85.44
Flator Mz -->	827.84		Tensao -->	220.14

Numero do Elem. --> 2

Primeiro No --> 2

Axial Fx -->	86.18		Tensao -->	-5.68
Cort. Fy -->	4.68		Tensao -->	0.71
Cort. Fz -->	-1.40		Tensao -->	0.22
Torque Mx -->	321.29		Tensao -->	42.72
Flator My -->	388.83		Tensao -->	103.49
Flator Mz -->	827.84		Tensao -->	220.14

Segundo No --> 3

Axial Fx -->	-36.18		Tensao -->	-5.68
Cort. Fy -->	-4.68		Tensao -->	0.71
Cort. Fz -->	-1.40		Tensao -->	0.22
Torque Mx -->	-321.29		Tensao -->	42.72
Flator My -->	-270.85		Tensao -->	73.82
Flator Mz -->	-481.25		Tensao -->	122.68

Numero do Elem. --> 4

Primeiro No --> 4

Axial Fx -->	4.68		Tensao -->	-0.71
Cort. Fy -->	-3.84		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	1.40		Tensao -->	0.22
Torque Mx -->	-838.20		Tensao -->	44.87
Flator My -->	-411.88		Tensao -->	108.83
Flator Mz -->	-481.25		Tensao -->	122.68

Segundo No --> 8

Axial Fx -->	-4.68		Tensao -->	-0.71
Cort. Fy -->	3.84		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	-1.40		Tensao -->	0.22
Torque Mx -->	838.20		Tensao -->	44.87
Flator My -->	145.88		Tensao -->	38.74
Flator Mz -->	-268.12		Tensao -->	71.87

REAÇÕES DE APOIO (sist. de Coord. Global)

Reações no No N/ --> 1

Fx -->	4.68		Mx -->	388.83
Fy -->	-1.40		My -->	-3510.87
Fz -->	38.18		Mz -->	153.18

Reações no No N/ --> 8

Fx -->	-4.68		Mx -->	838.20
Fy -->	1.40		My -->	268.12
Fz -->	3.84		Mz -->	145.88

DESLOCAMENTOS MÁXIMOS (sist. de Coord. Global)

No N/ -->	3	Max Desl. (X) -->	7.88468E-01
No N/ -->	4	Max Desl. (Y) -->	3.08180E-01
No N/ -->	3	Max Desl. (Z) -->	-1.0758E+00
No N/ -->	3	Max Rot. (X) -->	-8.0888E-03
No N/ -->	2	Max Rot. (Y) -->	1.18488E-02
No N/ -->	3	Max Rot. (Z) -->	-4.3574E-03

ESFORÇOS MÁXIMOS (Vir. absolutos no sist. Local)

Torca Fx -->	0.00	Tensao -->	0.00	El. -->	0	No -->	0-0
Comp. Fx -->	86.18	Tensao -->	5.68	El. -->	2	No -->	2-3
Cort. Fy -->	36.18	Tensao -->	5.68	El. -->	1	No -->	1-2
Cort. Fz -->	4.68	Tensao -->	0.71	El. -->	3	No -->	3-4
Torca Mx -->	481.25	Tensao -->	81.33	El. -->	3	No -->	3-4
Flator My -->	411.88	Tensao -->	108.83	El. -->	3	No -->	4
Flator Mz -->	3510.87	Tensao -->	939.83	El. -->	1	No -->	1

Fig. A35 - Relatório dos resultados

VISÃO GRAFICA

Com este módulo é possível uma visualização do ramal que está em estudo, facilitando a compreensão e interpretação dos resultados.

Um sub-menu na própria tela gráfica (Fig. 36), com opções acionadas diretamente através das teclas de funções, gerencia de forma interativa toda manipulação de imagens desejadas pelo usuário.

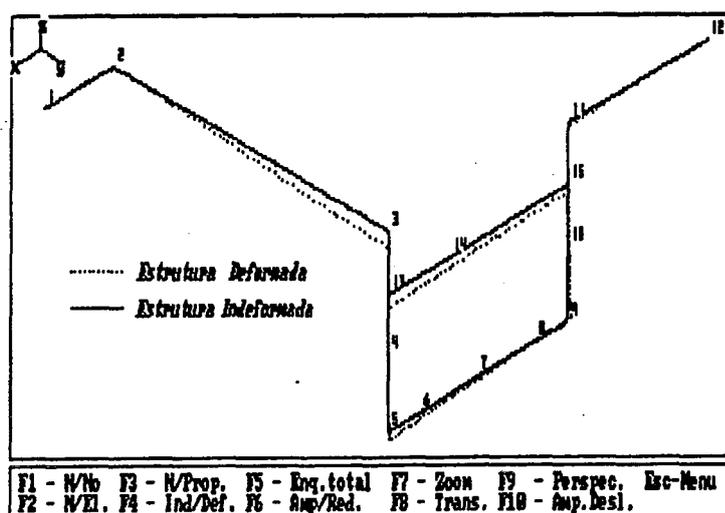


Fig. A36 - Tela gráfica com sub-menu gerenciador

São as seguintes as funções gráficas disponíveis com seus respectivos comentários:

- F1 ⇒ Numera os nós da estrutura de forma "On/Off";
- F2 ⇒ Numera os elementos da estrutura de forma "On/Off";
- F3 ⇒ Numera as propriedades dos elementos de forma "On/Off";
- F4 ⇒ Oferece recursos de visualização da estrutura indeformada, deformada ou simultaneamente as duas condições;
- F5 ⇒ Promove um enquadramento total da estrutura na tela;

- F6 ⇒ Promove ampliações ou reduções da estrutura como um todo;
- F7 ⇒ Promove um "zoom" de regiões em torno de um nó. Tudo se passa com se fosse um escalamento (amplificação ou redução) em relação a um ponto coincidente com um nó;
- F8 ⇒ Promove uma translação sem escalamento do desenho sobre a tela;
- F9 ⇒ Possibilidade de visualização da estrutura sobre uma perspectiva axonométrica, com as coordenadas do ponto de visão fornecidas pelo usuário;
- F10 ⇒ Amplificação visual dos deslocamentos nodais;
- ESC ⇒ Retorna ao "MENU" principal.

Das funções gráficas descritas anteriormente, cabe um destaque especial à que permite visão da estrutura sobre uma perspectiva axonométrica. Esta condição contribui consideravelmente no entendimento do comportamento da estrutura, em função dos detalhes possíveis de serem observados. As Fig. A37 e Fig. A38 mostram duas vistas da instalação representada pela Fig. A36, em perspectiva axonométrica, com diferentes coordenadas dos pontos de visão.

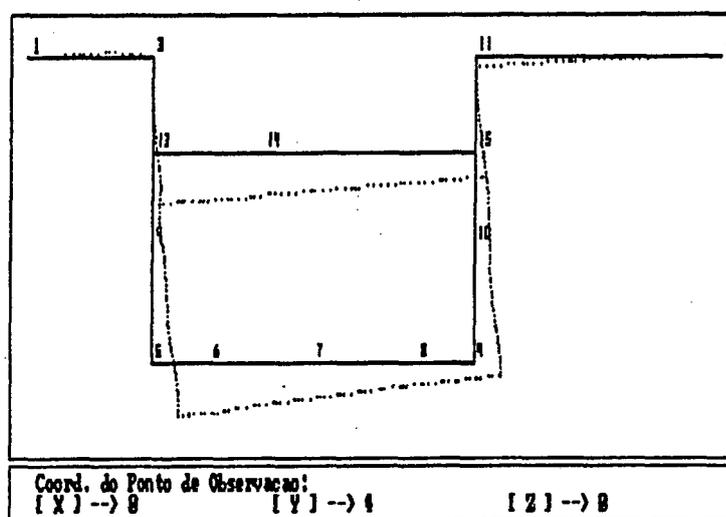


Fig. A37 - Vista em persp. axonométrica com ponto de observação (0,4,0)

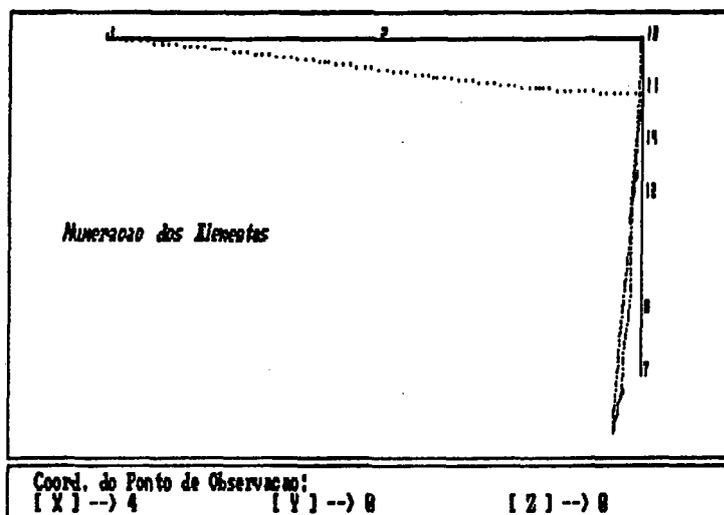


Fig. A38 - Vista em persp. axonométrica
com ponto de observação (4,0,0)

SALVA ARQUIVO ".FLX "

Após a leitura do arquivo com extensão ".ISO" correspondente a instalação a ser analisada e o fornecimento dos dados complementares, é possível salvar em disco um arquivo "completo" caracterizado pela extensão ".FLX ". Estes arquivos lidos com a opção "Ler Arquivo" do menu principal, são capazes de reiniciar o sistema e colocar diretamente à disposição do usuário a opção de solução. A Fig. A39 mostra a tela correspondente para esta opção.

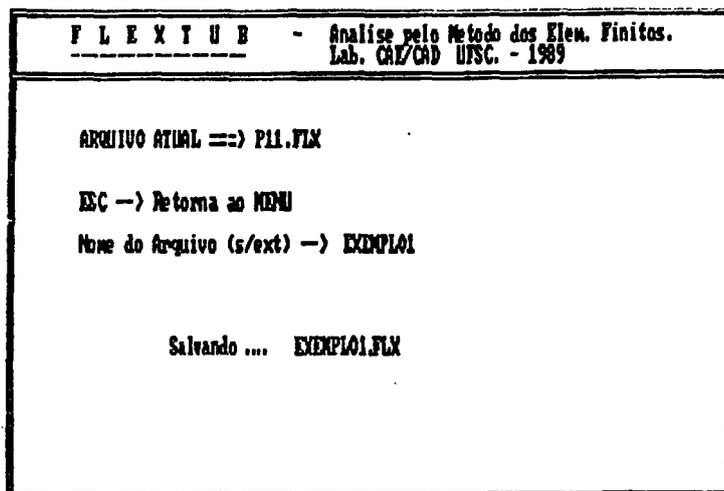


Fig. A39 - Salva arquivo com extensão ".FLX"

SALVA ESTRUTURA DEFORMADA EM ARQ. ".DES"

Esta opção permite adicionar ao arquivo da instalação, formatado no padrão do Editor Gráfico "EGG" (arquivos ".DES"), informações complementares referentes à desenhos da estrutura deformada.

Na sua execução (Fig. A40) deverá ser fornecido pelo usuário um número correspondente à folha de desenho ("default" folha 2) em que o desenho da estrutura deformada poderá ser visto no editor. Com isso, é possível repetindo-se a opção, anexar várias condições de deformação da estrutura e visualizá-las independentemente. Além disso, é possível definir um fator de amplificação visual para os deslocamentos, diferente do atual indicado pelo sistema (ver Fig. A40).

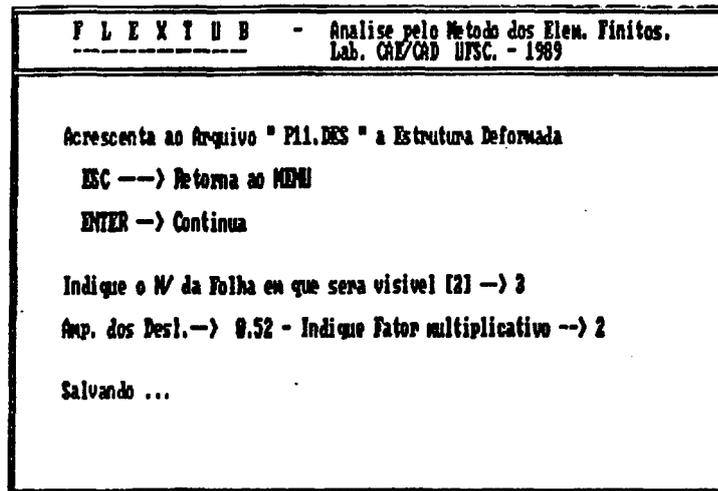


Fig. A40 - Tela para adicionar aos arquivos ".DES"
o desenho da estrutura deformada

Uma das principais vantagens desta condição, é a possibilidade de obter via drivers de plotter ou impressora do " EGG ", um desenho da estrutura deformada com melhor resolução que o obtido por um "hard-copy" de tela.

As Fig. A41 e Fig. A42 mostram os desenhos de uma mesma estrutura, obtidos pelos dois processos.

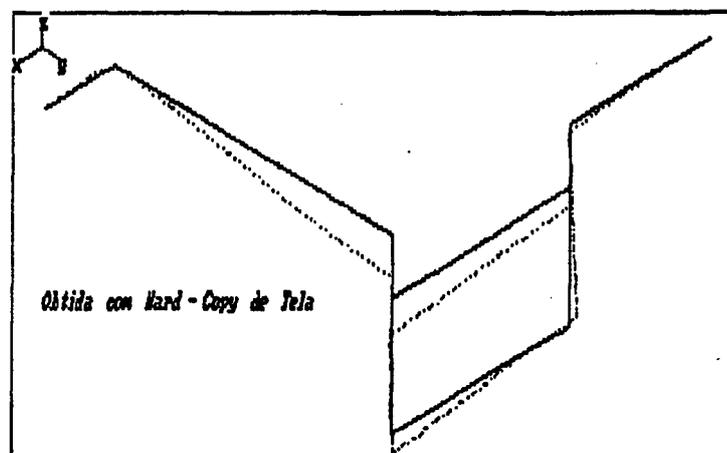


Fig. A41 - Desenho obtido por " hard-copy " de tela

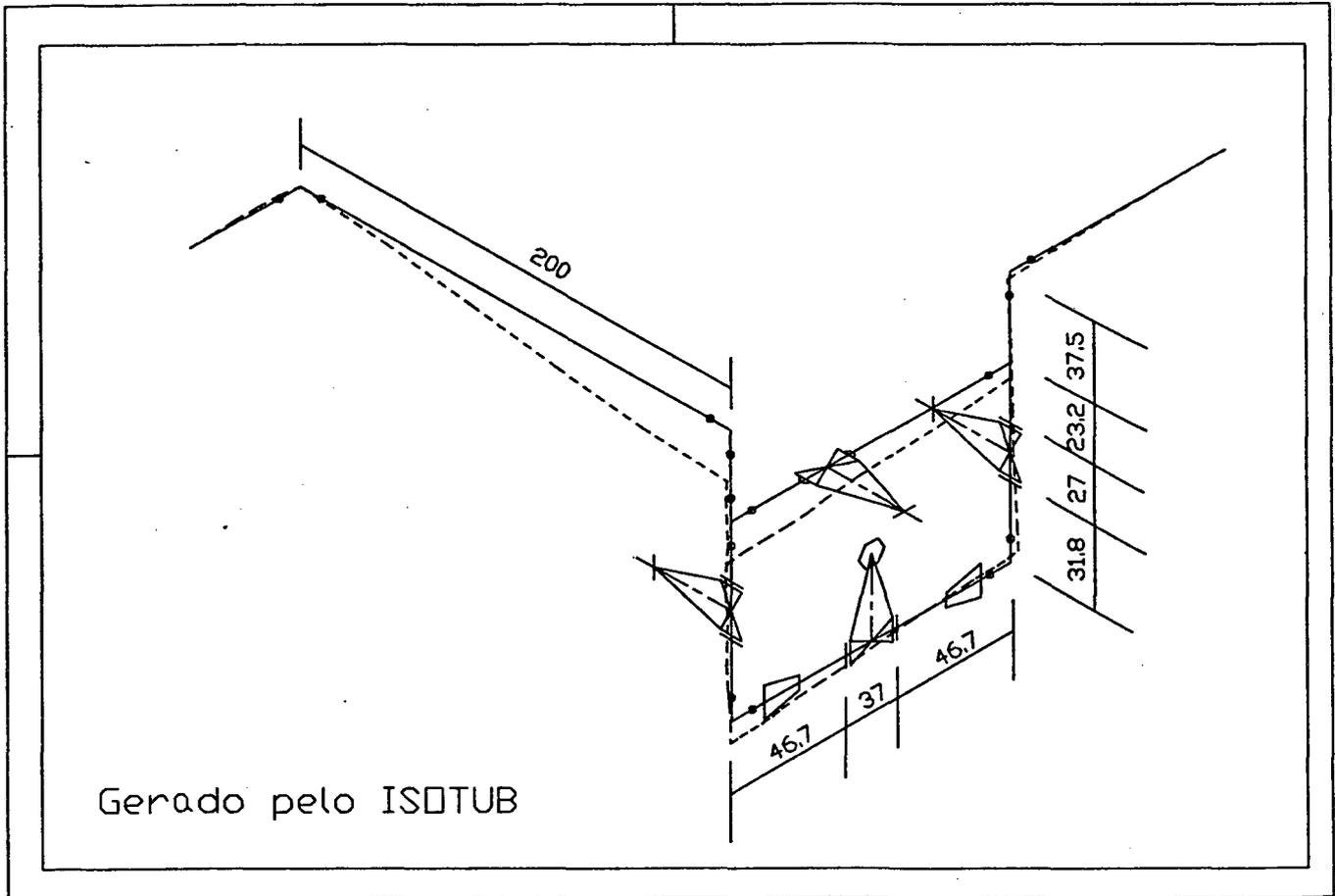


Fig. A42 - Desenho obtido pelo drive do " EGG "

APÊNDICE D

Este apêndice contém as listagens completas dos resultados obtidos pelo FLEXTUB, ANSYS e SAP.80, para carregamentos de peso próprio, cargas térmicas e cargas externas, referentes ao exemplo mostrado no item 5.4.

1 - FLEXTUB

Carregamento de Peso Próprio

```

=====
----) F L E X T U B - RELACAO DOS DADOS DE SAIDA <----
=====

NOHE DO ARQUIVO --> RESULT1.FLX
-----

NUMERO DE NOS -----> 15
NUMERO DE ELEMENTOS -----> 15
TIPOS DE CARREGAMENTOS --> | Peso Prop. |

=====
DESLOCAMENTOS NODAIS (sist. de Coord. Global)
=====

Numero do no --> 1
-----

Desl. [X] --> 0.00000E+00 | Rot. [X] --> 0.00000E+00
Desl. [Y] --> 0.00000E+00 | Rot. [Y] --> 0.00000E+00
Desl. [Z] --> 0.00000E+00 | Rot. [Z] --> 0.00000E+00

Numero do no --> 2
-----

Desl. [X] --> -3.8076E-06 | Rot. [X] --> -9.3684E-03
Desl. [Y] --> -1.5581E-03 | Rot. [Y] --> 6.91617E-04
Desl. [Z] --> -1.9603E-04 | Rot. [Z] --> 1.20842E-04

```

continua

Numero do no --> 3

Desl. [X] -->	-1.7763E-02	:	Rot. [X] -->	-1.5435E-02
Desl. [Y] -->	-1.5353E-03	:	Rot. [Y] -->	1.42162E-02
Desl. [Z] -->	-3.1767E+00	:	Rot. [Z] -->	-5.6808E-04

Numero do no --> 4

Desl. [X] -->	-1.1930E+00	:	Rot. [X] -->	-1.2595E-02
Desl. [Y] -->	-1.0174E+00	:	Rot. [Y] -->	1.66962E-02
Desl. [Z] -->	-3.1768E+00	:	Rot. [Z] -->	-1.7930E-03

Numero do no --> 5

Desl. [X] -->	-1.9569E+00	:	Rot. [X] -->	-1.1980E-02
Desl. [Y] -->	-1.5725E+00	:	Rot. [Y] -->	1.69688E-02
Desl. [Z] -->	-3.1768E+00	:	Rot. [Z] -->	-2.5720E-03

Numero do no --> 6

Desl. [X] -->	-1.9569E+00	:	Rot. [X] -->	-1.1718E-02
Desl. [Y] -->	-1.5090E+00	:	Rot. [Y] -->	1.70586E-02
Desl. [Z] -->	-2.7796E+00	:	Rot. [Z] -->	-2.8432E-03

Numero do no --> 7

Desl. [X] -->	-1.9569E+00	:	Rot. [X] -->	-1.1249E-02
Desl. [Y] -->	-1.3843E+00	:	Rot. [Y] -->	1.72941E-02
Desl. [Z] -->	-2.0607E+00	:	Rot. [Z] -->	-3.0594E-03

Numero do no --> 8

Desl. [X] -->	-1.9569E+00	:	Rot. [X] -->	-1.0780E-02
Desl. [Y] -->	-1.2578E+00	:	Rot. [Y] -->	1.73082E-02
Desl. [Z] -->	-1.3352E+00	:	Rot. [Z] -->	-2.9292E-03

Numero do no --> 9

Desl. [X] -->	-1.9569E+00	:	Rot. [X] -->	-1.0518E-02
Desl. [Y] -->	-1.1918E+00	:	Rot. [Y] -->	1.70820E-02
Desl. [Z] -->	-9.3329E-01	:	Rot. [Z] -->	-2.7061E-03

Numero do no --> 10

Desl. [X] -->	-1.1953E+00	:	Rot. [X] -->	-9.9035E-03
Desl. [Y] -->	-7.2773E-01	:	Rot. [Y] -->	1.66076E-02
Desl. [Z] -->	-9.3327E-01	:	Rot. [Z] -->	-2.0421E-03

Numero do no --> 11

Desl. [X] -->	7.61522E-06	:	Rot. [X] -->	-7.0628E-03
Desl. [Y] -->	-7.4297E-02	:	Rot. [Y] -->	1.49112E-02
Desl. [Z] -->	-9.3331E-01	:	Rot. [Z] -->	-1.2519E-03

Numero do no --> 12

Desl. [X] -->	0.00000E+00	:	Rot. [X] -->	0.00000E+00
Desl. [Y] -->	0.00000E+00	:	Rot. [Y] -->	0.00000E+00
Desl. [Z] -->	0.00000E+00	:	Rot. [Z] -->	0.00000E+00

Numero do no --> 13

Desl. [X] -->	-5.8854E-01	:	Rot. [X] -->	-1.3390E-02
Desl. [Y] -->	-5.4138E-01	:	Rot. [Y] -->	1.62032E-02
Desl. [Z] -->	-3.1767E+00	:	Rot. [Z] -->	-1.1618E-03

Numero do no --> 14

Desl. [X] -->	-5.8854E-01	:	Rot. [X] -->	-1.1919E-02
Desl. [Y] -->	-4.8964E-01	:	Rot. [Y] -->	1.73954E-02
Desl. [Z] -->	-2.4221E+00	:	Rot. [Z] -->	-1.1698E-03

continua

Numero do no --> 15

```

Desl. [X] --> -5.8853E-01   |   Rot. [X] --> -9.1079E-03
Desl. [Y] --> -3.7832E-01   |   Rot. [Y] -->  1.64976E-02
Desl. [Z] --> -9.3572E-01   |   Rot. [Z] --> -1.5041E-03

```

```

=====
ESFORÇOS NOS ELEMENTOS (sist. de Coord. Local)
=====

```

Numero do Elem. --> 1

Primeiro No --> 1

```

Axial Fx -->   -0.63   |   Tensao -->    0.16
Cort. Fy -->   12.10   |   Tensao -->    3.08
Cort. Fz -->   -0.94   |   Tensao -->    0.24
Torque Mx --> -1016.31 |   Tensao -->   238.89
Fletor My -->    7.33   |   Tensao -->    3.45
Fletor Mz -->   195.60 |   Tensao -->   91.96

```

Segundo No --> 2

```

Axial Fx -->    0.63   |   Tensao -->    0.16
Cort. Fy -->  -10.40   |   Tensao -->    2.65
Cort. Fz -->    0.94   |   Tensao -->    0.24
Torque Mx -->  1016.31 |   Tensao -->   238.89
Fletor My -->   39.72   |   Tensao -->   18.67
Fletor Mz -->  366.80 |   Tensao -->  172.44

```

Numero do Elem. --> 2

Primeiro No --> 2

```

Axial Fx -->   -0.94   |   Tensao -->    0.24
Cort. Fy -->   10.40   |   Tensao -->    2.65
Cort. Fz -->    0.63   |   Tensao -->    0.16
Torque Mx --> -366.80 |   Tensao -->   86.22
Fletor My -->  -39.72   |   Tensao -->   18.67
Fletor Mz -->  1016.31 |   Tensao -->  477.79

```

Segundo No --> 3

```

Axial Fx -->    0.94   |   Tensao -->    0.24
Cort. Fy -->   -3.60   |   Tensao -->    0.92
Cort. Fz -->   -0.63   |   Tensao -->    0.16
Torque Mx -->  366.80 |   Tensao -->   86.22
Fletor My -->  -85.88 |   Tensao -->   40.37
Fletor Mz -->  383.10 |   Tensao -->  180.10

```

Numero do Elem. --> 3

Primeiro No --> 4

```

Axial Fx -->   -2.14   |   Tensao -->    0.55
Cort. Fy -->    1.21   |   Tensao -->    0.31
Cort. Fz -->    1.33   |   Tensao -->    0.34
Torque Mx -->  -93.28 |   Tensao -->   21.93
Fletor My --> -120.86 |   Tensao -->   56.82
Fletor Mz -->   67.77 |   Tensao -->   31.86

```

Segundo No --> 5

```

Axial Fx -->    2.14   |   Tensao -->    0.55
Cort. Fy -->   -1.21   |   Tensao -->    0.31
Cort. Fz -->   -1.33   |   Tensao -->    0.34
Torque Mx -->   93.28 |   Tensao -->   21.93
Fletor My -->   60.84 |   Tensao -->   28.60
Fletor Mz -->  -12.86 |   Tensao -->    6.05

```

Numero do Elem. --> 4

Primeiro No --> 5

```

Axial Fx -->   -1.21   |   Tensao -->    0.31
Cort. Fy -->    1.37   |   Tensao -->    0.35
Cort. Fz -->   -1.33   |   Tensao -->    0.34
Torque Mx -->   60.84 |   Tensao -->   14.30
Fletor My -->   93.28 |   Tensao -->   43.85
Fletor Mz -->  -12.86 |   Tensao -->    6.05

```

continua

Segundo No --> 6			
Axial Fx -->	1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fy -->	-0.58	:	Tensao --> 0.15
Cort. Fz -->	1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	-60.84	:	Tensao --> 14.30
Fletor My -->	-62.34	:	Tensao --> 29.31
Fletor Mz -->	35.58	:	Tensao --> 16.73
Numero do Elem. --> 5			

Primeiro No --> 6			
Axial Fx -->	-1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fy -->	0.58	:	Tensao --> 0.15
Cort. Fz -->	-1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	60.84	:	Tensao --> 14.30
Fletor My -->	62.34	:	Tensao --> 29.31
Fletor Mz -->	-35.58	:	Tensao --> 16.73
Segundo No --> 7			
Axial Fx -->	1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fy -->	0.85	:	Tensao --> 0.22
Cort. Fz -->	1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	-60.84	:	Tensao --> 14.30
Fletor My -->	-6.89	:	Tensao --> 3.24
Fletor Mz -->	29.91	:	Tensao --> 14.06
Numero do Elem. --> 6			

Primeiro No --> 7			
Axial Fx -->	-1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fy -->	-0.85	:	Tensao --> 0.22
Cort. Fz -->	-1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	60.84	:	Tensao --> 14.30
Fletor My -->	6.89	:	Tensao --> 3.24
Fletor Mz -->	-29.91	:	Tensao --> 14.06
Segundo No --> 8			
Axial Fx -->	1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fy -->	2.27	:	Tensao --> 0.58
Cort. Fz -->	1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	-60.84	:	Tensao --> 14.30
Fletor My -->	48.56	:	Tensao --> 22.83
Fletor Mz -->	-35.33	:	Tensao --> 16.61
Numero do Elem. --> 7			

Primeiro No --> 8			
Axial Fx -->	-1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fy -->	-2.27	:	Tensao --> 0.58
Cort. Fz -->	-1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	60.84	:	Tensao --> 14.30
Fletor My -->	-48.56	:	Tensao --> 22.83
Fletor Mz -->	35.33	:	Tensao --> 16.61
Segundo No --> 9			
Axial Fx -->	1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fy -->	3.06	:	Tensao --> 0.78
Cort. Fz -->	1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	-60.84	:	Tensao --> 14.30
Fletor My -->	79.50	:	Tensao --> 37.38
Fletor Mz -->	-97.61	:	Tensao --> 45.89
Numero do Elem. --> 8			

Primeiro No --> 9			
Axial Fx -->	-3.83	:	Tensao --> 0.98
Cort. Fy -->	1.21	:	Tensao --> 0.31
Cort. Fz -->	-1.33	:	Tensao --> 0.34
Torque Mx -->	-79.50	:	Tensao --> 18.69
Fletor My -->	-60.84	:	Tensao --> 28.60
Fletor Mz -->	97.61	:	Tensao --> 45.89

continua

Segundo No --> 10

Axial Fx -->	3.83	:	Tensao -->	0.98
Cort. Fy -->	-1.21	:	Tensao -->	0.31
Cort. Fz -->	1.33	:	Tensao -->	0.34
Torque Mx -->	79.50	:	Tensao -->	18.69
Fletor My -->	120.86	:	Tensao -->	56.82
Fletor Mz -->	-42.70	:	Tensao -->	20.08

Numero do Elem. --> 9

Primeiro No --> 10

Axial Fx -->	-5.22	:	Tensao -->	1.33
Cort. Fy -->	-1.23	:	Tensao -->	0.31
Cort. Fz -->	1.33	:	Tensao -->	0.34
Torque Mx -->	-80.00	:	Tensao -->	18.80
Fletor My -->	120.54	:	Tensao -->	56.67
Fletor Mz -->	-42.70	:	Tensao -->	20.08

Segundo No --> 15

Axial Fx -->	5.22	:	Tensao -->	1.33
Cort. Fy -->	1.24	:	Tensao -->	0.31
Cort. Fz -->	-1.33	:	Tensao -->	0.34
Torque Mx -->	80.00	:	Tensao -->	18.80
Fletor My -->	-169.17	:	Tensao -->	79.53
Fletor Mz -->	-2.57	:	Tensao -->	1.21

Numero do Elem. --> 10

Primeiro No --> 11

Axial Fx -->	-0.63	:	Tensao -->	0.16
Cort. Fy -->	-13.40	:	Tensao -->	3.41
Cort. Fz -->	-0.94	:	Tensao -->	0.24
Torque Mx -->	383.10	:	Tensao -->	90.05
Fletor My -->	-36.83	:	Tensao -->	17.31
Fletor Mz -->	272.65	:	Tensao -->	128.18

Segundo No --> 12

Axial Fx -->	0.63	:	Tensao -->	0.16
Cort. Fy -->	16.80	:	Tensao -->	4.28
Cort. Fz -->	0.94	:	Tensao -->	0.24
Torque Mx -->	-383.10	:	Tensao -->	90.05
Fletor My -->	130.93	:	Tensao -->	61.55
Fletor Mz -->	-1782.26	:	Tensao -->	837.88

Numero do Elem. --> 11

Primeiro No --> 3

Axial Fx -->	-2.96	:	Tensao -->	0.75
Cort. Fy -->	0.63	:	Tensao -->	0.16
Cort. Fz -->	0.94	:	Tensao -->	0.24
Torque Mx -->	-85.88	:	Tensao -->	20.19
Fletor My -->	-383.10	:	Tensao -->	180.10
Fletor Mz -->	366.80	:	Tensao -->	172.44

Segundo No --> 13

Axial Fx -->	2.96	:	Tensao -->	0.75
Cort. Fy -->	-0.63	:	Tensao -->	0.16
Cort. Fz -->	-0.94	:	Tensao -->	0.24
Torque Mx -->	85.88	:	Tensao -->	20.19
Fletor My -->	347.81	:	Tensao -->	163.51
Fletor Mz -->	-343.25	:	Tensao -->	161.37

Numero do Elem. --> 12

Primeiro No --> 13

Axial Fx -->	-3.53	:	Tensao -->	0.90
Cort. Fy -->	1.21	:	Tensao -->	0.31
Cort. Fz -->	1.33	:	Tensao -->	0.34
Torque Mx -->	-93.28	:	Tensao -->	21.93
Fletor My -->	-169.49	:	Tensao -->	79.68
Fletor Mz -->	112.26	:	Tensao -->	52.78

continua

Segundo No --> 4

Axial Fx -->	3.53	:	Tensao -->	0.90
Cort. Fy -->	-1.21	:	Tensao -->	0.31
Cort. Fz -->	-1.33	:	Tensao -->	0.34
Torque Mx -->	93.28	:	Tensao -->	21.93
Fletor My -->	120.86	:	Tensao -->	56.82
Fletor Mz -->	-67.77	:	Tensao -->	31.86

Numero do Elem. --> 13

Primeiro No --> 13

Axial Fx -->	0.58	:	Tensao -->	-0.15
Cort. Fy -->	-1.84	:	Tensao -->	0.47
Cort. Fz -->	0.38	:	Tensao -->	0.10
Torque Mx -->	178.32	:	Tensao -->	41.91
Fletor My -->	-7.40	:	Tensao -->	3.48
Fletor Mz -->	-230.99	:	Tensao -->	108.59

Segundo No --> 14

Axial Fx -->	-0.58	:	Tensao -->	-0.15
Cort. Fy -->	3.36	:	Tensao -->	0.86
Cort. Fz -->	-0.38	:	Tensao -->	0.10
Torque Mx -->	-178.32	:	Tensao -->	41.91
Fletor My -->	-9.78	:	Tensao -->	4.60
Fletor Mz -->	114.70	:	Tensao -->	53.92

Numero do Elem. --> 14

Primeiro No --> 14

Axial Fx -->	0.58	:	Tensao -->	-0.15
Cort. Fy -->	-3.36	:	Tensao -->	0.86
Cort. Fz -->	0.38	:	Tensao -->	0.10
Torque Mx -->	178.32	:	Tensao -->	41.91
Fletor My -->	9.78	:	Tensao -->	4.60
Fletor Mz -->	-114.70	:	Tensao -->	53.92

Segundo No --> 15

Axial Fx -->	-0.58	:	Tensao -->	-0.15
Cort. Fy -->	6.27	:	Tensao -->	1.60
Cort. Fz -->	-0.38	:	Tensao -->	0.10
Torque Mx -->	-178.32	:	Tensao -->	41.91
Fletor My -->	-42.62	:	Tensao -->	20.03
Fletor Mz -->	-296.85	:	Tensao -->	139.56

Numero do Elem. --> 15

Primeiro No --> 15

Axial Fx -->	-12.76	:	Tensao -->	3.25
Cort. Fy -->	0.58	:	Tensao -->	0.15
Cort. Fz -->	-0.94	:	Tensao -->	0.24
Torque Mx -->	-35.30	:	Tensao -->	8.30
Fletor My -->	-347.95	:	Tensao -->	163.58
Fletor Mz -->	294.29	:	Tensao -->	138.35

Segundo No --> 11

Axial Fx -->	12.76	:	Tensao -->	3.25
Cort. Fy -->	-0.57	:	Tensao -->	0.15
Cort. Fz -->	0.94	:	Tensao -->	0.24
Torque Mx -->	35.30	:	Tensao -->	8.30
Fletor My -->	383.24	:	Tensao -->	180.17
Fletor Mz -->	-272.65	:	Tensao -->	128.18

=====

REACOES DE APOIO (sist. de Coord. Global)

=====

Reacoes no No N/ --> 1

Fx -->	0.63	:	Mx -->	1016.31
Fy -->	-0.94	:	My -->	195.60
Fz -->	12.10	:	Mz -->	7.33

continua

Reacoes no No N/ --> 12

Fx -->	-0.63		Mx -->	383.10
Fy -->	0.94		My -->	-1782.26
Fz -->	16.80		Mz -->	130.93

=====

DESLOCAMENTOS MAXIMOS (sist. de Coord. Global)

=====

No N/ -->	9	Max Desl. [X]	-->	-1.9569E+00
No N/ -->	5	Max Desl. [Y]	-->	-1.5725E+00
No N/ -->	5	Max Desl. [Z]	-->	-3.1768E+00
No N/ -->	3	Max Rot. [X]	-->	-1.5435E-02
No N/ -->	14	Max Rot. [Y]	-->	1.73954E-02
No N/ -->	7	Max Rot. [Z]	-->	-3.0594E-03

=====

ESFORCOS MAXIMOS (Vir. absolutos no sist. Local)

=====

Tracao Fx -->	12.76	Tensao -->	3.25	E1.--> 15	No -> 15-11
Comp. Fx -->	0.58	Tensao -->	0.15	E1.--> 13	No -> 13-14
Cort. Fy -->	16.80	Tensao -->	4.28	E1.--> 10	No -> 12
Cort. Fz -->	1.33	Tensao -->	0.34	E1.--> 12	No -> 13-4
Torcao Mx -->	1016.31	Tensao -->	238.89	E1.--> 1	No -> 1-2
Fletor My -->	383.24	Tensao -->	180.17	E1.--> 15	No -> 11
Fletor Mz -->	1782.26	Tensao -->	837.88	E1.--> 10	No -> 12

Cargas Térmicas

=====

----> F L E X T U B - RELACAO DOS DADOS DE SAIDA (<-----

=====

NOME DO ARQUIVO --> RESULT1.FLX

NUMERO DE NOS -----> 15

NUMERO DE ELEMENTOS -----> 15

TIPOS DE CARREGAMENTOS --> | Termica |

=====

DESLOCAMENTOS NODAIS (sist. de Coord. Global)

Numero do no --> 1

Desl. [X] -->	0.00000E+00	:	Rot. [X] -->	0.00000E+00
Desl. [Y] -->	0.00000E+00	:	Rot. [Y] -->	0.00000E+00
Desl. [Z] -->	0.00000E+00	:	Rot. [Z] -->	0.00000E+00

Numero do no --> 2

Desl. [X] -->	-5.9990E-02	:	Rot. [X] -->	-1.9453E-05
Desl. [Y] -->	2.00090E-02	:	Rot. [Y] -->	-2.1695E-05
Desl. [Z] -->	-4.1940E-04	:	Rot. [Z] -->	-8.8620E-04

continua

Numero do no --> 3

Desl. [X]	-->	2.60178E-01	:	Rot. [X]	-->	-3.1858E-04
Desl. [Y]	-->	2.59976E-01	:	Rot. [Y]	-->	-2.0182E-04
Desl. [Z]	-->	-2.6352E-02	:	Rot. [Z]	-->	-7.4266E-04

Numero do no --> 4

Desl. [X]	-->	2.65466E-01	:	Rot. [X]	-->	-2.1483E-04
Desl. [Y]	-->	2.38976E-01	:	Rot. [Y]	-->	8.58901E-05
Desl. [Z]	-->	-1.1539E-01	:	Rot. [Z]	-->	5.29741E-04

Numero do no --> 5

Desl. [X]	-->	2.59944E-01	:	Rot. [X]	-->	-1.3702E-04
Desl. [Y]	-->	2.30987E-01	:	Rot. [Y]	-->	1.32591E-04
Desl. [Z]	-->	-1.6975E-01	:	Rot. [Z]	-->	7.10296E-04

Numero do no --> 6

Desl. [X]	-->	2.31922E-01	:	Rot. [X]	-->	-8.5830E-05
Desl. [Y]	-->	2.13527E-01	:	Rot. [Y]	-->	1.16972E-04
Desl. [Z]	-->	-1.6684E-01	:	Rot. [Z]	-->	7.84951E-04

Numero do no --> 7

Desl. [X]	-->	1.81700E-01	:	Rot. [X]	-->	5.91521E-06
Desl. [Y]	-->	1.77934E-01	:	Rot. [Y]	-->	8.61866E-05
Desl. [Z]	-->	-1.6257E-01	:	Rot. [Z]	-->	9.15323E-04

Numero do no --> 8

Desl. [X]	-->	1.31477E-01	:	Rot. [X]	-->	9.76600E-05
Desl. [Y]	-->	1.36976E-01	:	Rot. [Y]	-->	5.18152E-05
Desl. [Z]	-->	-1.5967E-01	:	Rot. [Z]	-->	1.04129E-03

Numero do no --> 9

Desl. [X]	-->	1.03456E-01	:	Rot. [X]	-->	1.48849E-04
Desl. [Y]	-->	1.11861E-01	:	Rot. [Y]	-->	3.10793E-05
Desl. [Z]	-->	-1.5870E-01	:	Rot. [Z]	-->	1.10966E-03

Numero do no --> 10

Desl. [X]	-->	1.05074E-01	:	Rot. [X]	-->	2.26660E-04
Desl. [Y]	-->	1.03337E-01	:	Rot. [Y]	-->	6.56856E-05
Desl. [Z]	-->	-1.0434E-01	:	Rot. [Z]	-->	1.27186E-03

Numero do no --> 11

Desl. [X]	-->	1.19981E-01	:	Rot. [X]	-->	3.30604E-04
Desl. [Y]	-->	8.14502E-02	:	Rot. [Y]	-->	2.85903E-04
Desl. [Z]	-->	-1.5279E-02	:	Rot. [Z]	-->	1.28563E-03

Numero do no --> 12

Desl. [X]	-->	0.00000E+00	:	Rot. [X]	-->	0.00000E+00
Desl. [Y]	-->	0.00000E+00	:	Rot. [Y]	-->	0.00000E+00
Desl. [Z]	-->	0.00000E+00	:	Rot. [Z]	-->	0.00000E+00

Numero do no --> 13

Desl. [X]	-->	2.66185E-01	:	Rot. [X]	-->	-2.7408E-04
Desl. [Y]	-->	2.47958E-01	:	Rot. [Y]	-->	-6.3278E-05
Desl. [Z]	-->	-7.1351E-02	:	Rot. [Z]	-->	3.83462E-04

Numero do no --> 14

Desl. [X]	-->	2.12497E-01	:	Rot. [X]	-->	-8.1650E-05
Desl. [Y]	-->	2.12727E-01	:	Rot. [Y]	-->	4.75859E-05
Desl. [Z]	-->	-7.1629E-02	:	Rot. [Z]	-->	1.12318E-03

continua

Numero do no --> 15

```

Desl. [X] --> 1.07918E-01 | Rot. [X] --> 2.86017E-04
Desl. [Y] --> 9.41190E-02 | Rot. [Y] --> 2.05062E-04
Desl. [Z] --> -6.0320E-02 | Rot. [Z] --> 1.40333E-03

```

=====

ESFORÇOS NOS ELEMENTOS (sist. de Coord. Local)

=====

Numero do Elem. --> 1

Primeiro No --> 1

```

Axial Fx --> 1.58 | Tensao --> -0.40
Cort. Fy --> -0.08 | Tensao --> 0.02
Cort. Fz --> 1.38 | Tensao --> 0.35
Torque Mx --> -2.11 | Tensao --> 0.50
Fletor My --> 84.25 | Tensao --> 39.61
Fletor Mz --> 0.93 | Tensao --> 0.44

```

Segundo No --> 2

```

Axial Fx --> -1.58 | Tensao --> -0.40
Cort. Fy --> 0.08 | Tensao --> 0.02
Cort. Fz --> -1.38 | Tensao --> 0.35
Torque Mx --> 2.11 | Tensao --> 0.50
Fletor My --> -153.27 | Tensao --> 72.05
Fletor Mz --> -4.89 | Tensao --> 2.30

```

Numero do Elem. --> 2

Primeiro No --> 2

```

Axial Fx --> 1.38 | Tensao --> -0.35
Cort. Fy --> -0.08 | Tensao --> 0.02
Cort. Fz --> -1.58 | Tensao --> 0.40
Torque Mx --> 4.89 | Tensao --> 1.15
Fletor My --> 153.27 | Tensao --> 72.05
Fletor Mz --> 2.11 | Tensao --> 0.99

```

Segundo No --> 3

```

Axial Fx --> -1.38 | Tensao --> -0.35
Cort. Fy --> 0.08 | Tensao --> 0.02
Cort. Fz --> 1.58 | Tensao --> 0.40
Torque Mx --> -4.89 | Tensao --> 1.15
Fletor My --> 162.89 | Tensao --> 76.58
Fletor Mz --> -17.93 | Tensao --> 8.43

```

Numero do Elem. --> 3

Primeiro No --> 4

```

Axial Fx --> 0.01 | Tensao --> -0.00
Cort. Fy --> 0.50 | Tensao --> 0.13
Cort. Fz --> -0.02 | Tensao --> 0.00
Torque Mx --> 21.62 | Tensao --> 5.08
Fletor My --> -11.13 | Tensao --> 5.23
Fletor Mz --> 18.14 | Tensao --> 8.53

```

Segundo No --> 5

```

Axial Fx --> -0.01 | Tensao --> -0.00
Cort. Fy --> -0.50 | Tensao --> 0.13
Cort. Fz --> 0.02 | Tensao --> 0.00
Torque Mx --> -21.62 | Tensao --> 5.08
Fletor My --> 11.89 | Tensao --> 5.59
Fletor Mz --> 4.32 | Tensao --> 2.03

```

Numero do Elem. --> 4

Primeiro No --> 5

```

Axial Fx --> -0.50 | Tensao --> 0.13
Cort. Fy --> -0.01 | Tensao --> 0.00
Cort. Fz --> 0.02 | Tensao --> 0.00
Torque Mx --> 11.89 | Tensao --> 2.80
Fletor My --> -21.62 | Tensao --> 10.16
Fletor Mz --> 4.32 | Tensao --> 2.03

```

continua

Segundo No --> 6

Axial Fx -->	0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fy -->	0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fz -->	-0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	-11.89		Tensao -->	2.80
Fletor My -->	21.23		Tensao -->	9.98
Fletor Mz -->	-4.64		Tensao -->	2.18

Numero do Elem. --> 5

Primeiro No --> 6

Axial Fx -->	-0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fy -->	-0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fz -->	0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	11.89		Tensao -->	2.80
Fletor My -->	-21.23		Tensao -->	9.98
Fletor Mz -->	4.64		Tensao -->	2.18

Segundo No --> 7

Axial Fx -->	0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fy -->	0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fz -->	-0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	-11.89		Tensao -->	2.80
Fletor My -->	20.52		Tensao -->	9.65
Fletor Mz -->	-5.22		Tensao -->	2.45

Numero do Elem. --> 6

Primeiro No --> 7

Axial Fx -->	-0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fy -->	-0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fz -->	0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	11.89		Tensao -->	2.80
Fletor My -->	-20.52		Tensao -->	9.65
Fletor Mz -->	5.22		Tensao -->	2.45

Segundo No --> 8

Axial Fx -->	0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fy -->	0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fz -->	-0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	-11.89		Tensao -->	2.80
Fletor My -->	19.82		Tensao -->	9.32
Fletor Mz -->	-5.79		Tensao -->	2.72

Numero do Elem. --> 7

Primeiro No --> 8

Axial Fx -->	-0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fy -->	-0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fz -->	0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	11.89		Tensao -->	2.80
Fletor My -->	-19.82		Tensao -->	9.32
Fletor Mz -->	5.79		Tensao -->	2.72

Segundo No --> 9

Axial Fx -->	0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fy -->	0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fz -->	-0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	-11.89		Tensao -->	2.80
Fletor My -->	19.42		Tensao -->	9.13
Fletor Mz -->	-6.11		Tensao -->	2.87

Numero do Elem. --> 8

Primeiro No --> 9

Axial Fx -->	-0.01		Tensao -->	0.00
Cort. Fy -->	0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fz -->	0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	-19.42		Tensao -->	4.57
Fletor My -->	-11.89		Tensao -->	5.59
Fletor Mz -->	6.11		Tensao -->	2.87

continua

Segundo No --> 10

Axial Fx -->	0.01	:	Tensao -->	0.00
Cort. Fy -->	-0.50	:	Tensao -->	0.13
Cort. Fz -->	-0.02	:	Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	19.42	:	Tensao -->	4.57
Fletor My -->	11.13	:	Tensao -->	5.23
Fletor Mz -->	16.35	:	Tensao -->	7.69

Numero do Elem. --> 9

Primeiro No --> 10

Axial Fx -->	-0.01	:	Tensao -->	0.00
Cort. Fy -->	-0.50	:	Tensao -->	0.13
Cort. Fz -->	-0.02	:	Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	-19.47	:	Tensao -->	4.58
Fletor My -->	11.05	:	Tensao -->	5.19
Fletor Mz -->	16.35	:	Tensao -->	7.69

Segundo No --> 15

Axial Fx -->	0.01	:	Tensao -->	0.00
Cort. Fy -->	0.50	:	Tensao -->	0.13
Cort. Fz -->	0.02	:	Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	19.47	:	Tensao -->	4.58
Fletor My -->	-10.43	:	Tensao -->	4.90
Fletor Mz -->	-34.54	:	Tensao -->	16.24

Numero do Elem. --> 10

Primeiro No --> 11

Axial Fx -->	1.58	:	Tensao -->	-0.40
Cort. Fy -->	-0.08	:	Tensao -->	0.02
Cort. Fz -->	1.38	:	Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	-17.93	:	Tensao -->	4.22
Fletor My -->	17.12	:	Tensao -->	8.05
Fletor Mz -->	15.20	:	Tensao -->	7.15

Segundo No --> 12

Axial Fx -->	-1.58	:	Tensao -->	-0.40
Cort. Fy -->	0.08	:	Tensao -->	0.02
Cort. Fz -->	-1.38	:	Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	17.93	:	Tensao -->	4.22
Fletor My -->	-155.16	:	Tensao -->	72.95
Fletor Mz -->	-23.11	:	Tensao -->	10.87

Numero do Elem. --> 11

Primeiro No --> 3

Axial Fx -->	0.08	:	Tensao -->	-0.02
Cort. Fy -->	-1.58	:	Tensao -->	0.40
Cort. Fz -->	-1.38	:	Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	162.89	:	Tensao -->	38.29
Fletor My -->	17.93	:	Tensao -->	8.43
Fletor Mz -->	-4.89	:	Tensao -->	2.30

Segundo No --> 13

Axial Fx -->	-0.08	:	Tensao -->	-0.02
Cort. Fy -->	1.58	:	Tensao -->	0.40
Cort. Fz -->	1.38	:	Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	-162.89	:	Tensao -->	38.29
Fletor My -->	33.83	:	Tensao -->	15.91
Fletor Mz -->	-54.39	:	Tensao -->	25.57

Numero do Elem. --> 12

Primeiro No --> 13

Axial Fx -->	0.01	:	Tensao -->	-0.00
Cort. Fy -->	0.50	:	Tensao -->	0.13
Cort. Fz -->	-0.02	:	Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	21.62	:	Tensao -->	5.08
Fletor My -->	-10.51	:	Tensao -->	4.94
Fletor Mz -->	36.33	:	Tensao -->	17.08

continua

Segundo No --> 4

Axial Fx -->	-0.01		Tensao -->	-0.00
Cort. Fy -->	-0.50		Tensao -->	0.13
Cort. Fz -->	0.02		Tensao -->	0.00
Torque Mx -->	-21.62		Tensao -->	5.08
Fletor My -->	11.13		Tensao -->	5.23
Fletor Mz -->	-18.14		Tensao -->	8.53

Numero do Elem. --> 13

Primeiro No --> 13

Axial Fx -->	2.08		Tensao -->	-0.53
Cort. Fy -->	-0.07		Tensao -->	0.02
Cort. Fz -->	1.36		Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	23.32		Tensao -->	5.48
Fletor My -->	-141.27		Tensao -->	66.41
Fletor Mz -->	-18.06		Tensao -->	8.49

Segundo No --> 14

Axial Fx -->	-2.08		Tensao -->	-0.53
Cort. Fy -->	0.07		Tensao -->	0.02
Cort. Fz -->	-1.36		Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	-23.32		Tensao -->	5.48
Fletor My -->	80.25		Tensao -->	37.73
Fletor Mz -->	15.14		Tensao -->	7.12

Numero do Elem. --> 14

Primeiro No --> 14

Axial Fx -->	2.08		Tensao -->	-0.53
Cort. Fy -->	-0.07		Tensao -->	0.02
Cort. Fz -->	1.36		Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	23.32		Tensao -->	5.48
Fletor My -->	-80.25		Tensao -->	37.73
Fletor Mz -->	-15.14		Tensao -->	7.12

Segundo No --> 15

Axial Fx -->	-2.08		Tensao -->	-0.53
Cort. Fy -->	0.07		Tensao -->	0.02
Cort. Fz -->	-1.36		Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	-23.32		Tensao -->	5.48
Fletor My -->	-36.34		Tensao -->	17.08
Fletor Mz -->	9.55		Tensao -->	4.49

Numero do Elem. --> 15

Primeiro No --> 15

Axial Fx -->	-0.07		Tensao -->	0.02
Cort. Fy -->	-1.58		Tensao -->	0.40
Cort. Fz -->	1.38		Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	17.05		Tensao -->	4.01
Fletor My -->	-33.77		Tensao -->	15.87
Fletor Mz -->	-44.09		Tensao -->	20.73

Segundo No --> 11

Axial Fx -->	0.07		Tensao -->	0.02
Cort. Fy -->	1.58		Tensao -->	0.40
Cort. Fz -->	-1.38		Tensao -->	0.35
Torque Mx -->	-17.05		Tensao -->	4.01
Fletor My -->	-18.00		Tensao -->	8.46
Fletor Mz -->	-15.20		Tensao -->	7.15

=====

REACOES DE APOIO (sist. de Coord. Global)

=====

Reacoes no No N/ --> 1

Fx -->	-1.58		Mx -->	2.11
Fy -->	1.38		My -->	0.93
Fz -->	-0.08		Mz -->	84.25

continua

Reacoes no No N/ --> 12

```

Fx -->      1.58   |   Mx -->     -17.93
Fy -->     -1.38   |   My -->     -23.11
Fz -->      0.08   |   Mz -->    -155.16

```

=====

DESLOCAMENTOS MAXIMOS (sist. de Coord. Global)

=====

```

No N/ --> 13   Max Desl. [X] --> 2.66185E-01
No N/ --> 3    Max Desl. [Y] --> 2.59976E-01
No N/ --> 5    Max Desl. [Z] --> -1.6975E-01
No N/ --> 11   Max Rot.  [X] --> 3.30604E-04
No N/ --> 11   Max Rot.  [Y] --> 2.85903E-04
No N/ --> 15   Max Rot.  [Z] --> 1.40333E-03

```

=====

ESFORÇOS MAXIMOS (Vlr. absolutos no sist. Local)

=====

```

Tracao Fx -->      0.50   Tensao -->      0.13   El.-> 5   No -> 6-7
Comp.  Fx -->      2.08   Tensao -->      0.53   El.-> 14  No -> 14-15
Cort.  Fy -->      1.58   Tensao -->      0.40   El.-> 15  No -> 15-11
Cort.  Fz -->      1.58   Tensao -->      0.40   El.-> 2   No -> 2-3
Torcao Mx -->    162.89   Tensao -->    38.29   El.-> 11  No -> 3-13
Fletor My -->    162.89   Tensao -->    76.58   El.-> 2   No -> 3
Fletor Mz -->     54.39   Tensao -->    25.57   El.-> 11  No -> 13

```

Cargas Externas

=====

----> F L E X T U B - RELACAO DOS DADOS DE SAIDA (<----

=====

NOME DO ARQUIVO --> RESULT1.FLX

NUMERO DE NOS -----> 15

NUMERO DE ELEMENTOS -----> 15

TIPOS DE CARREGAMENTOS --> ! Externas !

=====

DESLOCAMENTOS NODAIS (sist. de Coord. Global)

=====

Numero do no --> 1

```

Desl. [X] --> 0.00000E+00   |   Rot. [X] --> 0.00000E+00
Desl. [Y] --> 0.00000E+00   |   Rot. [Y] --> 0.00000E+00
Desl. [Z] --> 0.00000E+00   |   Rot. [Z] --> 0.00000E+00

```

Numero do no --> 2

```

Desl. [X] --> -5.9711E-06   |   Rot. [X] --> -1.8699E-02
Desl. [Y] --> 4.67773E-03   |   Rot. [Y] --> 3.32409E-03
Desl. [Z] --> 6.04681E-02   |   Rot. [Z] --> -6.8137E-05

```

Numero do no --> 3

```

Desl. [X] --> 9.40856E-02   |   Rot. [X] --> -3.5790E-02
Desl. [Y] --> 4.72413E-03   |   Rot. [Y] --> 3.31698E-02
Desl. [Z] --> -6.8370E+00   |   Rot. [Z] --> -1.8527E-03

```

Numero do no --> 4

```

Desl. [X] --> -2.6167E+00   |   Rot. [X] --> -2.9195E-02
Desl. [Y] --> -2.3508E+00   |   Rot. [Y] --> 3.78654E-02
Desl. [Z] --> -6.8369E+00   |   Rot. [Z] --> -4.3621E-03

```

continua

Numero do no --> 5

Desl. [X] -->	-4.3516E+00	:	Rot. [X] -->	-2.7758E-02
Desl. [Y] -->	-3.6372E+00	:	Rot. [Y] -->	3.88487E-02
Desl. [Z] -->	-6.8369E+00	:	Rot. [Z] -->	-6.1090E-03

Numero do no --> 6

Desl. [X] -->	-4.3516E+00	:	Rot. [X] -->	-2.7142E-02
Desl. [Y] -->	-3.4870E+00	:	Rot. [Y] -->	3.94325E-02
Desl. [Z] -->	-5.9226E+00	:	Rot. [Z] -->	-6.7133E-03

Numero do no --> 7

Desl. [X] -->	-4.3516E+00	:	Rot. [X] -->	-2.6038E-02
Desl. [Y] -->	-3.1937E+00	:	Rot. [Y] -->	3.99358E-02
Desl. [Z] -->	-4.2593E+00	:	Rot. [Z] -->	-7.1725E-03

Numero do no --> 8

Desl. [X] -->	-4.3515E+00	:	Rot. [X] -->	-2.4934E-02
Desl. [Y] -->	-2.8979E+00	:	Rot. [Y] -->	3.97418E-02
Desl. [Z] -->	-2.5897E+00	:	Rot. [Z] -->	-6.8308E-03

Numero do no --> 9

Desl. [X] -->	-4.3515E+00	:	Rot. [X] -->	-2.4318E-02
Desl. [Y] -->	-2.7442E+00	:	Rot. [Y] -->	3.93306E-02
Desl. [Z] -->	-1.6661E+00	:	Rot. [Z] -->	-6.2921E-03

Numero do no --> 10

Desl. [X] -->	-2.5981E+00	:	Rot. [X] -->	-2.2881E-02
Desl. [Y] -->	-1.6716E+00	:	Rot. [Y] -->	3.79623E-02
Desl. [Z] -->	-1.6661E+00	:	Rot. [Z] -->	-4.7023E-03

Numero do no --> 11

Desl. [X] -->	1.19424E-05	:	Rot. [X] -->	-1.6285E-02
Desl. [Y] -->	-1.6324E-01	:	Rot. [Y] -->	2.94916E-02
Desl. [Z] -->	-1.6666E+00	:	Rot. [Z] -->	-2.7889E-03

Numero do no --> 12

Desl. [X] -->	0.00000E+00	:	Rot. [X] -->	0.00000E+00
Desl. [Y] -->	0.00000E+00	:	Rot. [Y] -->	0.00000E+00
Desl. [Z] -->	0.00000E+00	:	Rot. [Z] -->	0.00000E+00

Numero do no --> 13

Desl. [X] -->	-1.2334E+00	:	Rot. [X] -->	-3.1047E-02
Desl. [Y] -->	-1.2472E+00	:	Rot. [Y] -->	3.75966E-02
Desl. [Z] -->	-6.8369E+00	:	Rot. [Z] -->	-2.9469E-03

Numero do no --> 14

Desl. [X] -->	-1.2334E+00	:	Rot. [X] -->	-2.7605E-02
Desl. [Y] -->	-1.1204E+00	:	Rot. [Y] -->	4.08074E-02
Desl. [Z] -->	-5.0684E+00	:	Rot. [Z] -->	-2.7788E-03

Numero do no --> 15

Desl. [X] -->	-1.2335E+00	:	Rot. [X] -->	-2.1028E-02
Desl. [Y] -->	-8.6458E-01	:	Rot. [Y] -->	3.63271E-02
Desl. [Z] -->	-1.6716E+00	:	Rot. [Z] -->	-3.4141E-03

continua

=====

ESFORÇOS NOS ELEMENTOS (sist. de Coord. Local)

=====

Numero do Elem. --> 1

Primeiro No --> 1

Axial Fx -->	-0.98	:	Tensao -->	0.25
Cort. Fy -->	14.56	:	Tensao -->	3.71
Cort. Fz -->	-1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	-2028.52	:	Tensao -->	476.82
Fletor My -->	56.96	:	Tensao -->	26.78
Fletor Mz -->	-81.48	:	Tensao -->	38.30

Segundo No --> 2

Axial Fx -->	0.98	:	Tensao -->	0.25
Cort. Fy -->	-14.56	:	Tensao -->	3.71
Cort. Fz -->	1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	2028.52	:	Tensao -->	476.82
Fletor My -->	38.70	:	Tensao -->	18.19
Fletor Mz -->	809.44	:	Tensao -->	380.53

Numero do Elem. --> 2

Primeiro No --> 2

Axial Fx -->	-1.91	:	Tensao -->	0.49
Cort. Fy -->	14.56	:	Tensao -->	3.71
Cort. Fz -->	0.98	:	Tensao -->	0.25
Torque Mx -->	-809.44	:	Tensao -->	190.27
Fletor My -->	-38.70	:	Tensao -->	18.19
Fletor Mz -->	2028.52	:	Tensao -->	953.64

Segundo No --> 3

Axial Fx -->	1.91	:	Tensao -->	0.49
Cort. Fy -->	-14.56	:	Tensao -->	3.71
Cort. Fz -->	-0.98	:	Tensao -->	0.25
Torque Mx -->	809.44	:	Tensao -->	190.27
Fletor My -->	-158.27	:	Tensao -->	74.41
Fletor Mz -->	883.34	:	Tensao -->	415.27

Numero do Elem. --> 3

Primeiro No --> 4

Axial Fx -->	2.67	:	Tensao -->	-0.68
Cort. Fy -->	-2.35	:	Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-209.17	:	Tensao -->	49.17
Fletor My -->	-281.91	:	Tensao -->	132.53
Fletor Mz -->	92.20	:	Tensao -->	43.35

Segundo No --> 5

Axial Fx -->	-2.67	:	Tensao -->	-0.68
Cort. Fy -->	2.35	:	Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	-3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	209.17	:	Tensao -->	49.17
Fletor My -->	143.12	:	Tensao -->	67.28
Fletor Mz -->	-198.67	:	Tensao -->	93.40

Numero do Elem. --> 4

Primeiro No --> 5

Axial Fx -->	2.35	:	Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	-2.67	:	Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	-3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	143.12	:	Tensao -->	33.64
Fletor My -->	209.17	:	Tensao -->	98.34
Fletor Mz -->	-198.67	:	Tensao -->	93.40

Segundo No --> 6

Axial Fx -->	-2.35	:	Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	2.67	:	Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-143.12	:	Tensao -->	33.64
Fletor My -->	-137.63	:	Tensao -->	64.70
Fletor Mz -->	136.39	:	Tensao -->	64.12

continua

Numero do Elem. --> 5

Primeiro No --> 6

Axial Fx -->	2.35		Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	-2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	-3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	143.12		Tensao -->	33.64
Fletor My -->	137.63		Tensao -->	64.70
Fletor Mz -->	-136.39		Tensao -->	64.12

Segundo No --> 7

Axial Fx -->	-2.35		Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-143.12		Tensao -->	33.64
Fletor My -->	-9.41		Tensao -->	4.42
Fletor Mz -->	24.76		Tensao -->	11.64

Numero do Elem. --> 6

Primeiro No --> 7

Axial Fx -->	2.35		Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	-2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	-3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	143.12		Tensao -->	33.64
Fletor My -->	9.41		Tensao -->	4.42
Fletor Mz -->	-24.76		Tensao -->	11.64

Segundo No --> 8

Axial Fx -->	-2.35		Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-143.12		Tensao -->	33.64
Fletor My -->	118.82		Tensao -->	55.86
Fletor Mz -->	-86.87		Tensao -->	40.84

Numero do Elem. --> 7

Primeiro No --> 8

Axial Fx -->	2.35		Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	-2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	-3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	143.12		Tensao -->	33.64
Fletor My -->	-118.82		Tensao -->	55.86
Fletor Mz -->	86.87		Tensao -->	40.84

Segundo No --> 9

Axial Fx -->	-2.35		Tensao -->	-0.60
Cort. Fy -->	2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fz -->	3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-143.12		Tensao -->	33.64
Fletor My -->	190.36		Tensao -->	89.49
Fletor Mz -->	-149.15		Tensao -->	70.12

Numero do Elem. --> 8

Primeiro No --> 9

Axial Fx -->	-2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fy -->	-2.35		Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	-3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-190.36		Tensao -->	44.75
Fletor My -->	-143.12		Tensao -->	67.28
Fletor Mz -->	149.15		Tensao -->	70.12

Segundo No --> 10

Axial Fx -->	2.67		Tensao -->	0.68
Cort. Fy -->	2.35		Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	3.06		Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	190.36		Tensao -->	44.75
Fletor My -->	281.91		Tensao -->	132.53
Fletor Mz -->	-255.62		Tensao -->	120.17

continua

Numero do Elem. --> 9

Primeiro No --> 10

Axial Fx -->	-2.68	:	Tensao -->	0.68
Cort. Fy -->	2.34	:	Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-191.51	:	Tensao -->	45.02
Fletor My -->	281.13	:	Tensao -->	132.16
Fletor Mz -->	-255.62	:	Tensao -->	120.17

Segundo No --> 15

Axial Fx -->	2.68	:	Tensao -->	0.68
Cort. Fy -->	-2.34	:	Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	-3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	191.51	:	Tensao -->	45.02
Fletor My -->	-393.58	:	Tensao -->	185.03
Fletor Mz -->	341.47	:	Tensao -->	160.53

Numero do Elem. --> 10

Primeiro No --> 11

Axial Fx -->	-0.98	:	Tensao -->	0.25
Cort. Fy -->	-15.44	:	Tensao -->	3.93
Cort. Fz -->	-1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	883.34	:	Tensao -->	207.64
Fletor My -->	-91.21	:	Tensao -->	42.88
Fletor Mz -->	1204.03	:	Tensao -->	566.04

Segundo No --> 12

Axial Fx -->	0.98	:	Tensao -->	0.25
Cort. Fy -->	15.44	:	Tensao -->	3.93
Cort. Fz -->	1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	-883.34	:	Tensao -->	207.64
Fletor My -->	282.53	:	Tensao -->	132.82
Fletor Mz -->	-2748.10	:	Tensao -->	1291.94

Numero do Elem. --> 11

Primeiro No --> 3

Axial Fx -->	15.44	:	Tensao -->	-3.93
Cort. Fy -->	0.98	:	Tensao -->	0.25
Cort. Fz -->	1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	-158.27	:	Tensao -->	37.20
Fletor My -->	-883.34	:	Tensao -->	415.27
Fletor Mz -->	809.44	:	Tensao -->	380.53

Segundo No --> 13

Axial Fx -->	-15.44	:	Tensao -->	-3.93
Cort. Fy -->	-0.98	:	Tensao -->	0.25
Cort. Fz -->	-1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	158.27	:	Tensao -->	37.20
Fletor My -->	811.59	:	Tensao -->	381.55
Fletor Mz -->	-772.51	:	Tensao -->	363.17

Numero do Elem. --> 12

Primeiro No --> 13

Axial Fx -->	2.67	:	Tensao -->	-0.68
Cort. Fy -->	-2.35	:	Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	-209.17	:	Tensao -->	49.17
Fletor My -->	-394.35	:	Tensao -->	185.39
Fletor Mz -->	5.95	:	Tensao -->	2.80

Segundo No --> 4

Axial Fx -->	-2.67	:	Tensao -->	-0.68
Cort. Fy -->	2.35	:	Tensao -->	0.60
Cort. Fz -->	-3.06	:	Tensao -->	0.78
Torque Mx -->	209.17	:	Tensao -->	49.17
Fletor My -->	281.91	:	Tensao -->	132.53
Fletor Mz -->	-92.20	:	Tensao -->	43.35

continua

Numero do Elem. --> 13

Primeiro No --> 13

Axial Fx -->	-3.34	:	Tensao -->	0.85
Cort. Fy -->	-12.77	:	Tensao -->	3.25
Cort. Fz -->	1.15	:	Tensao -->	0.29
Torque Mx -->	417.24	:	Tensao -->	98.08
Fletor My -->	-50.90	:	Tensao -->	23.93
Fletor Mz -->	-766.56	:	Tensao -->	360.37

Segundo No --> 14

Axial Fx -->	3.34	:	Tensao -->	0.85
Cort. Fy -->	12.77	:	Tensao -->	3.25
Cort. Fz -->	-1.15	:	Tensao -->	0.29
Torque Mx -->	-417.24	:	Tensao -->	98.08
Fletor My -->	-0.59	:	Tensao -->	0.28
Fletor Mz -->	194.95	:	Tensao -->	91.65

Numero do Elem. --> 14

Primeiro No --> 14

Axial Fx -->	-3.34	:	Tensao -->	0.85
Cort. Fy -->	-12.77	:	Tensao -->	3.25
Cort. Fz -->	1.15	:	Tensao -->	0.29
Torque Mx -->	417.24	:	Tensao -->	98.08
Fletor My -->	0.59	:	Tensao -->	0.28
Fletor Mz -->	-194.95	:	Tensao -->	91.65

Segundo No --> 15

Axial Fx -->	3.34	:	Tensao -->	0.85
Cort. Fy -->	12.77	:	Tensao -->	3.25
Cort. Fz -->	-1.15	:	Tensao -->	0.29
Torque Mx -->	-417.24	:	Tensao -->	98.08
Fletor My -->	-98.98	:	Tensao -->	46.53
Fletor Mz -->	-897.17	:	Tensao -->	421.78

Numero do Elem. --> 15

Primeiro No --> 15

Axial Fx -->	-15.44	:	Tensao -->	3.93
Cort. Fy -->	0.92	:	Tensao -->	0.24
Cort. Fz -->	-1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	-87.68	:	Tensao -->	20.61
Fletor My -->	-811.95	:	Tensao -->	381.71
Fletor Mz -->	1238.65	:	Tensao -->	582.31

Segundo No --> 11

Axial Fx -->	15.44	:	Tensao -->	3.93
Cort. Fy -->	-0.92	:	Tensao -->	0.24
Cort. Fz -->	1.91	:	Tensao -->	0.49
Torque Mx -->	87.68	:	Tensao -->	20.61
Fletor My -->	883.70	:	Tensao -->	415.44
Fletor Mz -->	-1204.03	:	Tensao -->	566.04

=====

REACOES DE APOID (sist. de Coord. Global)

=====

Reacoes no No N/ --> 1

Fx -->	0.98	:	Mx -->	2028.52
Fy -->	-1.91	:	My -->	-81.48
Fz -->	14.56	:	Mz -->	56.96

Reacoes no No N/ --> 12

Fx -->	-0.98	:	Mx -->	883.34
Fy -->	1.91	:	My -->	-2748.10
Fz -->	15.44	:	Mz -->	282.53

continua

```
=====
DESLOCAMENTOS MAXIMOS (sist. de Coord. Global)
=====
```

```
No N/ --> 5 Max Desl.[X] --> -4.3516E+00
No N/ --> 5 Max Desl.[Y] --> -3.6372E+00
No N/ --> 3 Max Desl.[Z] --> -6.8370E+00
No N/ --> 3 Max Rot. [X] --> -3.5790E-02
No N/ --> 14 Max Rot. [Y] --> 4.08074E-02
No N/ --> 7 Max Rot. [Z] --> -7.1725E-03
```

```
=====
ESFORÇOS MAXIMOS (Vlr. absolutos no sist. Local)
=====
```

```
Tracao Fx --> 15.44 Tensao --> 3.93 El.-> 15 No -> 15-11
Comp. Fx --> 15.44 Tensao --> 3.93 El.-> 11 No -> 3-13
Cort. Fy --> 15.44 Tensao --> 3.93 El.-> 10 No -> 11-12
Cort. Fz --> 3.06 Tensao --> 0.78 El.-> 12 No -> 13-4
Torcao Mx --> 2028.52 Tensao --> 476.82 El.-> 1 No -> 1-2
Fletor My --> 883.70 Tensao --> 415.44 El.-> 15 No -> 11
Fletor Mz --> 2748.10 Tensao --> 1291.94 El.-> 10 No -> 12
```

2 - ANSYS

Carregamento de Peso Próprio

ANSYS-PC/LINEAR REV. 4.3A2 UNIVERSITY POST1 ROUTINE
 Copyright(C) 1971 1978 1982 1985 1986 1987
 Swanson Analysis Systems, Inc. As an Unpublished Work.
 PROPRIETARY DATA - Unauthorized Use, Distribution
 or Duplication is Prohibited. All Rights Reserved.

NEITHER SWANSON ANALYSIS SYSTEMS, INC. NOR THE DISTRIBUTOR
 SUPPLYING THIS PROGRAM ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR THE
 VALIDITY, ACCURACY, OR APPLICABILITY OF ANY RESULTS OBTAINED
 FROM THE ANSYS SYSTEM. USERS MUST VERIFY THEIR OWN RESULTS.

*** ANSYS REV 4.3 UFSCAR CP= 0.00 ***
 FOR SUPPORT CALL SMI PHONE PROF. EDISON TWX

UNIVERSITY VERSION FOR EDUCATIONAL PURPOSES ONLY

***** ANSYS RESULTS INTERPRETATION (POST1) *****

GEOMETRY STORED FOR 15 NODES 15 ELEMENTS

TITLE= RESULT1 -----> PESO PROPRIO

PRINT ELEMENT STRESS ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT STRESS LISTING *****

LOAD CASE = 1

ELEM	FXI	FXJ	FYI	FYJ	FZI	FZJ
1	-0.62804	0.62804	0.84109	-0.84109	12.099	-10.398
2	-0.84109	0.84109	-0.62804	0.62804	10.398	-3.5965
3	-2.8108	1.3702	-1.3251	1.3251	1.2122	-1.2122
4	-1.2122	1.2122	1.3251	-1.3251	1.3702	-0.57604
5	-1.2122	1.2122	1.3251	-1.3251	0.57604	0.84728
6	-1.2122	1.2122	1.3251	-1.3251	-0.84728	2.2706
7	-1.2122	1.2122	1.3251	-1.3251	-2.2706	3.0647
8	-3.0647	4.8054	-1.3251	1.3251	-1.2122	1.2122
9	-4.6004	5.8486	-1.3251	1.3251	-1.2310	1.2361
10	-0.62804	0.62804	0.84109	-0.84109	-13.397	18.798
11	-3.5965	2.3211	-0.84109	0.84109	0.62804	-0.62804
12	-4.1580	2.8108	-1.3251	1.3251	1.2122	-1.2122
13	0.58418	-0.58418	-0.38404	0.38404	-1.8378	3.3598
14	0.58418	-0.58418	-0.38404	0.38404	-3.3588	6.2877
15	-12.124	13.398	0.84108	-0.84108	0.57855	-0.57445

continua

PRINT ELEMENT STRESS ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT STRESS LISTING *****

LOAD CASE = 1

ELEM	MXI	MXJ	MYI	MYJ	MZI	MZJ
1	-1016.4	1016.4	-185.62	-368.82	7.3322	38.722
2	-368.82	368.82	-1016.4	-383.12	-38.722	-85.886
3	-83.288	83.288	-67.778	12.865	-120.87	60.844
4	60.844	-80.844	12.865	-35.587	83.288	-62.348
5	60.844	-80.844	35.587	-29.811	62.346	-6.8886
6	60.844	-80.844	28.811	35.330	6.8886	48.567
7	60.844	-80.844	-35.330	87.820	-48.567	78.508
8	-78.508	78.508	87.820	-42.707	60.844	-120.87
9	-80.002	80.002	42.707	2.5664	120.55	-169.18
10	383.12	-383.12	-272.67	1782.4	-38.832	130.94
11	-85.886	85.886	-368.82	343.27	-383.12	347.83
12	-83.288	83.288	-112.27	67.778	-169.50	120.87
13	178.33	-178.33	231.00	-114.71	-7.4018	-9.7838
14	178.33	-178.33	114.71	286.87	8.7838	-42.618
15	-35.288	35.288	-284.30	272.67	-347.87	383.27

PRINT NODAL DISPLACEMENTS

***** POST1 NODAL DISPLACEMENT LISTING *****

LOAD CASE = 1

THE FOLLOWING X,Y,Z DISPLACEMENTS ARE IN NODAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	ROTX	ROTY	ROTZ
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	-0.3808E-05	-0.1558E-02	-0.1850E-03	-0.8368E-02	0.6817E-03	0.1208E-03
3	-0.1778E-01	-0.1535E-02	-3.177	-0.1544E-01	0.1422E-01	-0.5881E-03
4	-1.193	-1.017	-3.177	-0.1280E-01	0.1870E-01	-0.1783E-02
5	-1.857	-1.573	-3.177	-0.1188E-01	0.1897E-01	-0.2572E-02
6	-1.857	-1.508	-2.780	-0.1172E-01	0.1708E-01	-0.2843E-02
7	-1.857	-1.384	-2.081	-0.1125E-01	0.1730E-01	-0.3080E-02
8	-1.857	-1.258	-1.335	-0.1078E-01	0.1731E-01	-0.2829E-02
9	-1.857	-1.182	-0.8333	-0.1052E-01	0.1708E-01	-0.2706E-02
10	-1.195	-0.7278	-0.9333	-0.9804E-02	0.1661E-01	-0.2042E-02
11	0.7818E-05	-0.7430E-01	-0.9334	-0.7063E-02	0.1481E-01	-0.1252E-02
12	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
13	-0.5886	-0.5414	-3.177	-0.1338E-01	0.1620E-01	-0.1162E-02
14	-0.5886	-0.4887	-2.422	-0.1192E-01	0.1740E-01	-0.1170E-02
15	-0.5886	-0.3783	-0.9358	-0.9108E-02	0.1650E-01	-0.1504E-02

MAXIMUMS

NODE	9	5	5	3	14	7
VALUE	-1.857	-1.573	-3.177	-0.1544E-01	0.1740E-01	-0.3060E-02

PRINT REACTION FORCES PER NODE

***** POST1 REACTION FORCE LISTING *****

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN NODAL COORDINATES

LOAD CASE = 1

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	0.6280	-0.9411	12.10	1016.	185.6	7.332
12	-0.6280	0.9411	16.80	383.1	-1782.	130.9
TOTAL	-0.1138E-08	-0.7462E-12	28.80	1398.	-1587.	138.3

Cargas Térmicas

ANSYS-PC/LINEAR REV. 4.3A2 UNIVERSITY POST1 ROUTINE
 Copyright(C) 1971 1978 1982 1985 1986 1987
 Swanson Analysis Systems, Inc. As an Unpublished Work.
 PROPRIETARY DATA - Unauthorized Use, Distribution
 or Duplication Is Prohibited. All Rights Reserved.

NEITHER SWANSON ANALYSIS SYSTEMS, INC. NOR THE DISTRIBUTOR
 SUPPLYING THIS PROGRAM ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR THE
 VALIDITY, ACCURACY, OR APPLICABILITY OF ANY RESULTS OBTAINED
 FROM THE ANSYS SYSTEM. USERS MUST VERIFY THEIR OWN RESULTS.

*** ANSYS REV 4.3 UFSCAR CP= 0.00 ***
 FOR SUPPORT CALL SMI PHONE PROF. EDISON TWX

UNIVERSITY VERSION FOR EDUCATIONAL PURPOSES ONLY

***** ANSYS RESULTS INTERPRETATION (POST1) *****

GEOMETRY STORED FOR 15 NODES 15 ELEMENTS

TITLE= RESULT2 -----> TERMICA

PRINT ELEMENT STRESS ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT STRESS LISTING *****

LOAD CASE= 2

ELEM	FXI	FXJ	FYI	FYJ	FZI	FZJ
1	1.5808	-1.5808	-1.3804	1.3804	-0.79111E-01	0.79111E-01
2	1.3804	-1.3804	1.5808	-1.5808	-0.79111E-01	0.79111E-01
3	0.13719E-01	-0.13719E-01	0.16857E-01	-0.16857E-01	0.49577	-0.49577
4	-0.49577	0.49577	-0.16857E-01	0.16857E-01	-0.13719E-01	0.13719E-01
5	-0.49577	0.49577	-0.16857E-01	0.16857E-01	-0.13719E-01	0.13719E-01
6	-0.49577	0.49577	-0.16857E-01	0.16857E-01	-0.13719E-01	0.13719E-01
7	-0.49577	0.49577	-0.16857E-01	0.16857E-01	-0.13719E-01	0.13719E-01
8	-0.13719E-01	0.13719E-01	0.16857E-01	-0.16857E-01	-0.49577	0.49577
9	-0.11892E-01	0.11892E-01	0.16857E-01	-0.16857E-01	-0.49582	0.49582
10	1.5808	-1.5808	-1.3804	1.3804	-0.79111E-01	0.79111E-01
11	0.79111E-01	-0.79111E-01	1.3804	-1.3804	-1.5808	1.5808
12	0.13719E-01	-0.13719E-01	0.16857E-01	-0.16857E-01	0.49577	-0.49577
13	2.0766	-2.0766	-1.3636	1.3636	-0.65393E-01	0.65393E-01
14	2.0766	-2.0766	-1.3636	1.3636	-0.65393E-01	0.65393E-01
15	-0.72788E-01	0.72788E-01	-1.3804	1.3804	-1.5811	1.5811

PRINT ELEMENT STRESS ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT STRESS LISTING *****

LOAD CASE= 2

ELEM	MXI	MXJ	MYI	MYJ	MZI	MZJ
1	-2.1103	2.1103	-0.92984	4.8852	84.248	-153.27
2	4.8852	-4.8852	-2.1103	17.933	153.27	162.88
3	21.620	-21.620	-18.137	-4.3215	-11.129	11.891
4	11.891	-11.891	-4.3215	4.8418	-21.620	21.228
5	11.891	-11.891	-4.8418	5.2160	-21.226	20.521
6	11.891	-11.891	-5.2160	5.7901	-20.521	18.815
7	11.891	-11.891	-5.7901	6.1104	-18.815	18.422
8	-19.422	19.422	6.1104	16.348	11.891	-11.129
9	-19.467	19.467	-16.348	34.545	11.048	-10.429
10	-17.933	17.933	-15.201	23.112	17.121	-155.17
11	162.88	-162.88	4.8852	54.395	17.933	33.834
12	21.620	-21.620	-36.332	18.137	-10.509	11.129
13	23.325	-23.325	18.063	-15.137	-141.27	80.248
14	23.325	-23.325	15.137	-9.5457	-80.248	-36.338
15	17.048	-17.048	44.080	15.201	-33.768	-18.001

continua

PRINT NODAL DISPLACEMENTS

***** POST1 NODAL DISPLACEMENT LISTING *****

LOAD CASE= 2

THE FOLLOWING X,Y,Z DISPLACEMENTS ARE IN NODAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	ROTX	ROTY	ROTZ
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	-0.5888E-01	0.2001E-01	-0.4184E-03	-0.1194E-04	-0.2170E-04	-0.8862E-03
3	0.2602	0.2600	-0.2635E-01	-0.3186E-03	-0.2018E-03	-0.7427E-03
4	0.2655	0.2390	-0.1154	-0.2148E-03	0.8588E-04	0.5297E-03
5	0.2589	0.2310	-0.1888	-0.1370E-03	0.1328E-03	0.7103E-03
6	0.2319	0.2135	-0.1688	-0.8583E-04	0.1170E-03	0.7850E-03
7	0.1817	0.1779	-0.1626	0.5815E-05	0.8818E-04	0.9153E-03
8	0.1315	0.1370	-0.1597	0.8788E-04	0.5182E-04	0.1041E-02
9	0.1035	0.1119	-0.1587	0.1488E-03	0.3108E-04	0.1110E-02
10	0.1051	0.1033	-0.1043	0.2267E-03	0.8569E-04	0.1272E-02
11	0.1200	0.8145E-01	-0.1528E-01	0.3308E-03	0.2859E-03	0.1286E-02
12	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
13	0.2682	0.2480	-0.7135E-01	-0.2741E-03	-0.6328E-04	0.3835E-03
14	0.2125	0.2127	-0.7163E-01	-0.8185E-04	0.4758E-04	0.1123E-02
15	0.1089	0.8412E-01	-0.6032E-01	0.2880E-03	0.2051E-03	0.1403E-02

MAXIMUMS

NODE	13	3	5	11	11	15
VALUE	0.2682	0.2600	-0.1888	0.3308E-03	0.2859E-03	0.1403E-02

PRINT REACTION FORCES PER NODE

***** POST1 REACTION FORCE LISTING *****

LOAD CASE= 2

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN NODAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	-1.581	1.380	-0.7911E-01	2.110	0.9288	04.25
12	1.581	-1.380	0.7911E-01	-17.93	-23.11	-155.2
TOTAL	0.4520E-11	0.8726E-13	-0.3351E-11	-15.82	-22.18	-70.92

Cargas Externas

ANSYS-PC/LINEAR REV. 4.3A2 UNIVERSITY POST1 ROUTINE
 Copyright(C) 1971 1978 1982 1985 1986 1987
 Swanson Analysis Systems, Inc. As an Unpublished Work.
 PROPRIETARY DATA - Unauthorized Use, Distribution
 or Duplication is Prohibited. All Rights Reserved.

NEITHER SWANSON ANALYSIS SYSTEMS, INC. NOR THE DISTRIBUTOR
 SUPPLYING THIS PROGRAM ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR THE
 VALIDITY, ACCURACY, OR APPLICABILITY OF ANY RESULTS OBTAINED
 FROM THE ANSYS SYSTEM. USERS MUST VERIFY THEIR OWN RESULTS.

*** ANSYS REV 4.3 UFSCAR CP= 0.00 ***
 FOR SUPPORT CALL SMI PHONE PROF. EDISON TWX

***UNIVERSITY VERSION FOR EDUCATIONAL PURPOSES ONLY**

***** ANSYS RESULTS INTERPRETATION (POST1) *****

GEOMETRY STORED FOR 15 NODES 15 ELEMENTS

TITLE= RESULTS -----> CARGAS EXTERNAS

PRINT ELEMENT STRESS ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT STRESS LISTING *****

LOAD CASE= 3

ELEM	FXI	FXJ	FYI	FYJ	FZI	FZJ
1	-0.98484	0.98484	1.9132	-1.9132	14.559	-14.559
2	-1.9132	1.9132	-0.98484	0.98484	14.559	-14.559
3	2.6673	-2.6673	-3.0639	3.0639	-2.3503	2.3503
4	2.3503	-2.3503	3.0639	-3.0639	-2.6673	2.6673
5	2.3503	-2.3503	3.0639	-3.0639	-2.6673	2.6673
6	2.3503	-2.3503	3.0639	-3.0639	-2.6673	2.6673
7	2.3503	-2.3503	3.0639	-3.0639	-2.6673	2.6673
8	-2.6673	2.6673	-3.0639	3.0639	2.3503	-2.3503
9	-2.6768	2.6768	-3.0639	3.0639	2.3384	-2.3384
10	-0.98484	0.98484	1.9132	-1.9132	-15.441	15.441
11	15.441	-15.441	-1.9132	1.9132	0.98484	-0.98484
12	2.6673	-2.6673	-3.0639	3.0639	-2.3503	2.3503
13	-3.3351	3.3351	-1.1507	1.1507	-12.773	12.773
14	-3.3351	3.3351	-1.1507	1.1507	-12.773	12.773
15	-15.445	15.445	1.9132	-1.9132	0.92307	-0.92307

PRINT ELEMENT STRESS ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT STRESS LISTING *****

LOAD CASE= 3

ELEM	MXI	MXJ	MYI	MYJ	MZI	MZJ
1	-2028.5	2028.5	81.476	-808.44	56.861	38.688
2	-808.44	808.44	-2028.5	-883.34	-38.688	-158.27
3	-208.17	208.17	-82.204	198.67	-281.81	143.12
4	143.12	-143.12	198.67	-136.39	208.17	-137.63
5	143.12	-143.12	136.39	-24.781	137.63	-9.4065
6	143.12	-143.12	24.781	86.866	9.4065	118.82
7	143.12	-143.12	-86.866	148.15	-118.82	180.36
8	-190.36	190.36	148.15	-255.62	143.12	-281.81
9	-181.51	181.51	255.62	-341.47	281.13	-383.58
10	883.34	-883.34	-1204.0	2748.1	-91.211	282.53
11	-158.27	158.27	-808.44	772.51	-883.34	811.60
12	-208.17	208.17	-5.8481	82.204	-394.35	281.81
13	417.24	-417.24	766.56	-184.85	-50.803	-0.59050
14	417.24	-417.24	184.85	887.17	0.59050	-88.878
15	-87.677	87.677	-1204.0	-1204.0	-811.95	603.70

continua

PRINT NODAL DISPLACEMENTS

***** POST1 NODAL DISPLACEMENT LISTING *****

LOAD CASE= 3

THE FOLLOWING X,Y,Z DISPLACEMENTS ARE IN NODAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	ROTX	ROTY	ROTZ
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	-0.5971E-05	0.4678E-02	0.6047E-01	-0.1870E-01	0.3324E-02	-0.6814E-04
3	0.9408E-01	0.4724E-02	-8.837	-0.3578E-01	0.3317E-01	-0.1853E-02
4	-2.617	-2.351	-8.837	-0.2918E-01	0.3787E-01	-0.4362E-02
5	-4.352	-3.837	-8.837	-0.2778E-01	0.3885E-01	-0.8108E-02
6	-4.352	-3.487	-5.923	-0.2714E-01	0.3943E-01	-0.8713E-02
7	-4.352	-3.194	-4.258	-0.2604E-01	0.3994E-01	-0.7172E-02
8	-4.352	-2.898	-2.590	-0.2493E-01	0.3974E-01	-0.6831E-02
9	-4.352	-2.744	-1.666	-0.2432E-01	0.3933E-01	-0.6292E-02
10	-2.598	-1.672	-1.666	-0.2288E-01	0.3796E-01	-0.4702E-02
11	0.1184E-04	-0.1632	-1.667	-0.1629E-01	0.2949E-01	-0.2788E-02
12	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
13	-1.233	-1.247	-8.837	-0.3105E-01	0.3760E-01	-0.2947E-02
14	-1.233	-1.120	-5.068	-0.2760E-01	0.4081E-01	-0.2778E-02
15	-1.233	-0.8648	-1.672	-0.2103E-01	0.3633E-01	-0.3414E-02

MAXIMUMS

NODE	5	5	3	3	14	7
VALUE	-4.352	-3.637	-8.837	-0.3578E-01	0.4081E-01	-0.7172E-02

PRINT REACTION FORCES PER NODE

***** POST1 REACTION FORCE LISTING *****

LOAD CASE= 3

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN NODAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	0.9848	-1.913	14.56	2029.	-81.48	56.86
12	-0.9848	1.913	15.44	883.3	-2748.	282.5
TOTAL	-0.2558E-09	-0.1719E-11	30.00	2912.	-2830.	339.5

3 - SAP. 80

Nota: Condição de Carga 1 ⇒ Peso Próprio

2 ⇒ Cargas Térmicas

3 ⇒ Cargas Externas

SAP80 V84.04

 ***** JOINT DISPLACEMENTS *****

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
2	-.000004	-.001558	-.000196	-.009369	.000692	.000121
3	-.017764	-.001535	-3.176909	-.015436	.014217	-.000568
4	-1.193058	-1.017444	-3.176938	-.012595	.016697	-.001793
5	-1.957017	-1.572568	-3.176950	-.011981	.016970	-.002572
6	-1.957021	-1.509133	-2.779811	-.011719	.017060	-.002843
7	-1.957027	-1.384407	-2.060814	-.011250	.017295	-.003060
8	-1.957033	-1.257880	-1.335296	-.010780	.017309	-.002929
9	-1.957036	-1.191875	-.933344	-.010518	.017083	-.002706
10	-1.195323	-.727773	-.933323	-.009904	.016609	-.002042
11	.000000	-.074302	-.933368	-.007063	.014912	-.001252
12	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
13	-.588574	-.541417	-3.176923	-.013391	.016204	-.001162
14	-.588571	-.489673	-2.422213	-.011919	.017396	-.001170
15	-.588564	-.378344	-.935780	-.009108	.016499	-.001504

LOAD CONDITION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
2	-.059990	.020009	-.000419	-.000019	-.000022	-.000886
3	.260178	.259976	-.026352	-.000319	-.000202	-.000743
4	.265466	.238976	-.115391	-.000215	.000086	.000530
5	.259944	.230987	-.169751	-.000137	.000133	.000710
6	.231923	.213527	-.166835	-.000086	.000117	.000785
7	.181700	.177934	-.162572	.000006	.000086	.000915
8	.131478	.136976	-.159671	.000098	.000052	.001041
9	.103456	.111861	-.158701	.000149	.000031	.001110
10	.105075	.103336	-.104341	.000227	.000066	.001272
11	.119981	.081450	-.015279	.000331	.000286	.001286
12	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
13	.266185	.247958	-.071351	-.000274	-.000063	.000383
14	.212497	.212727	-.071629	-.000082	.000048	.001123
15	.109918	.094119	-.060320	.000286	.000205	.001403

LOAD CONDITION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
2	-.000006	.004678	.060468	-.018699	.003324	-.000068
3	.094085	.004724	-6.836973	-.035790	.033170	-.001853
4	-2.616699	-2.350758	-6.836891	-.029195	.037865	-.004362
5	-4.351546	-3.637198	-6.836876	-.027758	.038848	-.006109
6	-4.351539	-3.487013	-5.922526	-.027142	.039432	-.006713
7	-4.351527	-3.193661	-4.259324	-.026038	.039936	-.007172
8	-4.351515	-2.897851	-2.589649	-.024934	.039742	-.006831
9	-4.351508	-2.744157	-1.666062	-.024318	.039330	-.006292
10	-2.598117	-1.671574	-1.666047	-.022881	.037962	-.004702
11	.000012	-.163241	-1.666608	-.016285	.029491	-.002789
12	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
13	-1.233424	-1.247208	-6.836903	-.031047	.037596	-.002947
14	-1.233442	-1.120379	-5.068387	-.027605	.040807	-.002779
15	-1.233476	-.864578	-1.671613	-.021028	.036327	-.003414

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.6280	-.9411	12.0990	1016.3773	195.6152	7.3323
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
3	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
5	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
6	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
7	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
8	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
10	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
11	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
12	-.6280	.9411	16.7976	383.1212	-1782.3794	130.9406
13	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
14	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
15	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
TOTAL	-.5150E-11	-.7277E-12	.2890E+02	.1399E+04	-.1587E+04	.1383E+03

continua

LOAD CONDITION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	-1.5808	1.3804	-.0791	2.1103	.9296	84.2484
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
3	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
5	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
6	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
7	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
8	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
10	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
11	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
12	1.5808	-1.3804	.0791	-17.9326	-23.1125	-155.1657
13	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
14	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
15	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
TOTAL	.1110E-11	-.2326E-12	.2820E-11	-.1582E+02	-.2218E+02	-.7092E+02

LOAD CONDITION 3 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	.9848	-1.9132	14.5593	2028.5163	-81.4753	56.9608
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
3	.0000	.0000	-30.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
5	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
6	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
7	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
8	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
10	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
11	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
12	-.9848	1.9132	15.4407	883.3397	-2748.1026	282.5310
13	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
14	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
15	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
TOTAL	-.4575E-10	.1329E-11	.1016E-09	.2912E+04	-.2830E+04	.3395E+03

 ***** FRAME MEMBER FORCES *****

MEMBERS WITH NUMBERS BETWEEN 1 & 32000

MEM #	LOAD #	AXIAL FORCE	DIST I	1-2 PLANE SHEAR	1-2 PLANE MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	1-3 PLANE MOMENT	AXIAL TORQUE
1	1	.63	.0	12.10	-195.62	-.94	7.33	1016.38
			50.0	10.40	366.82	-.94	-39.72	
2	1	-1.58	.0	-.08	-.93	1.38	84.25	2.11
			50.0	-.08	-4.89	1.38	153.27	
3	1	.98	.0	14.56	81.48	-1.91	56.96	2028.52
			50.0	14.56	809.44	-1.91	-38.70	
2	1	.94	.0	10.40	-1016.38	.63	-39.72	366.82
			200.0	3.60	383.12	.63	85.89	
2	2	-1.38	.0	-.08	-2.11	-1.58	153.27	-4.89
			200.0	-.08	-17.93	-1.58	-162.89	
3	1	1.91	.0	14.56	-2028.52	.98	-38.70	809.44
			200.0	14.56	883.34	.98	158.27	
3	1	2.13	.0	-1.21	67.78	-1.33	120.87	93.29
			45.3	-1.21	12.86	-1.33	60.84	
2	1	-.01	.0	-.50	18.14	.02	11.13	-21.62
			45.3	-.50	-4.32	.02	11.89	
3	1	-2.60	.0	2.35	92.21	-3.06	281.91	209.17
			45.3	2.35	198.67	-3.06	143.12	

continua

4	1	1.22				-60.84
		.0	1.37	12.85	-1.33	93.29
		23.4	.58	35.60	-1.33	-62.34
	2	.49				-11.89
		.0	-.01	-4.32	.02	-21.62
		23.4	-.01	-4.64	.02	-21.23
	3	-2.36				-143.12
		.0	-2.67	198.69	-3.06	209.17
		23.4	-2.67	136.37	-3.06	137.64

5	1	1.20				-60.84
		.0	.58	35.59	-1.33	62.35
		16.9	.00	40.47	-1.33	39.91
		41.9	-.85	29.91	-1.33	6.89
	2	.50				-11.89
		.0	-.01	-4.64	.02	-21.23
		41.9	-.01	-5.22	.02	-20.52
	3	-2.35				-143.11
		.0	-2.67	136.39	-3.06	137.63
		41.9	-2.67	24.76	-3.06	9.40

6	1	1.22				-60.84
		.0	-.85	29.91	-1.33	6.89
		41.9	-2.27	-35.33	-1.33	-48.57
	2	.50				-11.89
		.0	-.01	-5.22	.02	-20.52
		41.9	-.01	-5.79	.02	-19.82
	3	-2.35				-143.12
		.0	-2.67	24.76	-3.06	9.40
		41.9	-2.67	-86.86	-3.06	-118.82

7	1	1.22				-60.84
		.0	-2.27	-35.33	-1.32	-48.57
		23.4	-3.07	-97.62	-1.32	-79.51
	2	.50				-11.89
		.0	-.01	-5.79	.02	-19.81
		23.4	-.01	-6.11	.02	-19.42
	3	-2.36				-143.12
		.0	-2.67	-86.87	-3.06	-118.81
		23.4	-2.67	-149.15	-3.06	-190.37

8	1	3.84				79.51
		.0	1.21	-97.62	-1.33	-60.84
		45.3	1.21	-42.71	-1.33	-120.87
	2	.01				19.42
		.0	.50	-6.11	.02	-11.89
		45.3	.50	16.35	.02	-11.13
	3	2.67				190.36
		.0	-2.35	-149.14	-3.06	-143.11
		45.3	-2.35	-255.62	-3.06	-281.91

9	1	5.22				80.00
		.0	1.23	-42.71	-1.33	-120.55
		36.7	1.24	2.57	-1.33	-169.18
	2	.01				19.47
		.0	.50	16.35	.02	-11.05
		36.7	.50	34.54	.02	-10.43
	3	2.68				191.51
		.0	-2.34	-255.62	-3.06	-281.13
		36.7	-2.34	-341.47	-3.06	-393.57

10	1	.63				-383.12
		.0	-13.40	-272.67	-.94	-36.83
		100.0	-16.80	-1782.38	-.94	-130.94
	2	-1.58				17.93
		.0	-.08	-15.20	1.38	17.12
		100.0	-.08	-23.11	1.38	155.17
	3	.98				-883.34
		.0	-15.44	-1204.03	-1.91	-91.21
		100.0	-15.44	-2748.10	-1.91	-282.53

11	1	2.94				85.89
		.0	-.63	366.82	-.94	383.12
		37.5	-.63	343.27	-.94	347.83
	2	-.08				-162.89
		.0	1.58	-4.89	1.38	-17.93
		37.5	1.58	54.40	1.38	33.83
	3	-15.52				158.27
		.0	-.98	809.44	-1.91	883.34
		37.5	-.98	772.51	-1.91	811.60

continua

12						
1	3.54	.0	-1.21	112.26	-1.33	93.29
		36.7	-1.21	67.78	-1.33	169.50
						120.87
2	-.01	.0	-.50	36.33	.02	-21.62
		36.7	-.50	18.14	.02	10.51
						11.13
3	-2.68	.0	2.35	5.95	-3.06	209.17
		36.7	2.35	92.21	-3.06	394.36
						281.91

13						
1	-.58	.0	-1.84	231.01	.38	-178.33
		44.8	-3.36	114.70	.38	-7.40
						9.78
2	-2.08	.0	-.07	18.06	1.36	-23.33
		44.8	-.07	15.14	1.36	-141.27
						-80.25
3	3.34	.0	-12.77	766.56	1.15	-417.24
		44.8	-12.77	194.95	1.15	-50.90
						.59

14						
1	-.59	.0	-3.36	114.70	.38	-178.33
		85.5	-6.27	-296.87	.38	9.78
						42.62
2	-2.08	.0	-.07	15.14	1.36	-23.33
		85.5	-.07	9.55	1.36	-80.25
						36.34
3	3.33	.0	-12.77	194.95	1.15	-417.24
		85.5	-12.77	-897.17	1.15	.59
						98.98

15						
1	12.76	.0	.58	-294.31	-.94	35.30
		37.5	.57	-272.67	-.94	-347.97
						-383.27
2	.07	.0	-1.58	44.09	1.38	-17.05
		37.5	-1.58	-15.20	1.38	-33.77
						18.00
3	15.44	.0	.92	-1238.65	-1.91	87.68
		37.5	.92	-1204.03	-1.91	-811.95
						-883.70

FIM