

A N A I S

DO
III CONGRESSO BRASILEIRO
DE ENGENHARIA MECANICA

RIO DE JANEIRO, DEZ. 1975

PAPER NO. D - 17
PP. 1067 - 1078



COPPE/CAPEB

PROCEEDINGS

OF THE THIRD
BRAZILIAN CONGRESS
OF
MECHANICAL ENGINEERING

PROGRAMA ANALISADOR DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

Domingos Boechat ALVES, Professor Titular.
Departamento de Engenharia Mecânica,
Universidade Federal de Santa Catarina

1. Introdução

Este trabalho descreve suscintamente as principais características do Programa Analisador de Sistemas Estruturais (PROASE), um programa geral de elementos finitos capaz de analisar estaticamente, desde um simples edifício, a uma máquina complexa. O PROASE, codificado em FORTRAN IV, é ferramenta básica para um outro programa, PROASED, atualmente em início de elaboração, que analisará dinamicamente grandes e complexas estruturas, determinando suas características vibratórias.

Devido ao rápido desenvolvimento das sucessivas gerações

ções de computadores na década dos sessenta, uma vasta gama de programas de elementos finitos foram elaborados, destacando-se entre eles o *NANTRAN* [1], o *ICES STRUDL* [1], o *MAGIC* [1], o *MASA* [2] etc.

No Brasil poucas são as universidades que possuem um programa geral de elementos finitos próprio, sendo portanto importante a elaboração de tais sistemas como ferramenta de suporte e pesquisa.

2. Características do Programa

Um sistema estrutural é considerado como um conjunto de pontos denominados *nós* interligados aos nós (vértices) de elementos polinodais (vigas, arcos, membranas, placas, cascas, poliedros sólidos) através de ligaduras rígidas desprovidas de massa, e com vinculação suficiente tal que cada subsistema esteja em equilíbrio.

Três sistemas de referência são definidos para maior versatilidade e facilidade na obtenção de matrizes de rigidez e tensões, na introdução de carregamentos, na sub-estruturação etc. O sistema global (1,2,3), ao qual estão referidos os sistemas locais (1', 2', 3') e os sistemas intrínsecos (x, y, z) que são referidos ao sistema global através das respectivas matrizes de transição, estão esquematizados na figura 1. Estes, são sistemas ortogonais destrógeros (cartesiano, cilíndrico ou esférico). Optativamente em cada um poderá ser definido um sistema de referência local de grande utilidade na introdução de deslocamentos, e condições vinculares em direções arbitrárias como também na consideração da estrutura como um conjunto de subestruturas.

Inicialmente o PROASE (fig.2) constrói várias bibliotecas de dados que serão utilizados pelo analista através do registro de entrada inerente a cada grupo de dados que constituem a biblioteca. Por exemplo, a biblioteca de constantes físicas dos materiais contém no registro de entrada os seguintes dados

K, E, ν , DENSIDADE, COEF. DILATAÇÃO, TENSÃO NO ESCOAMENTO

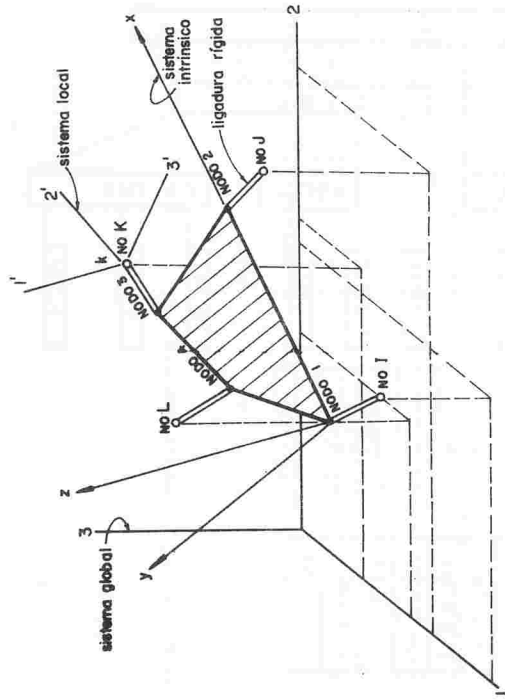
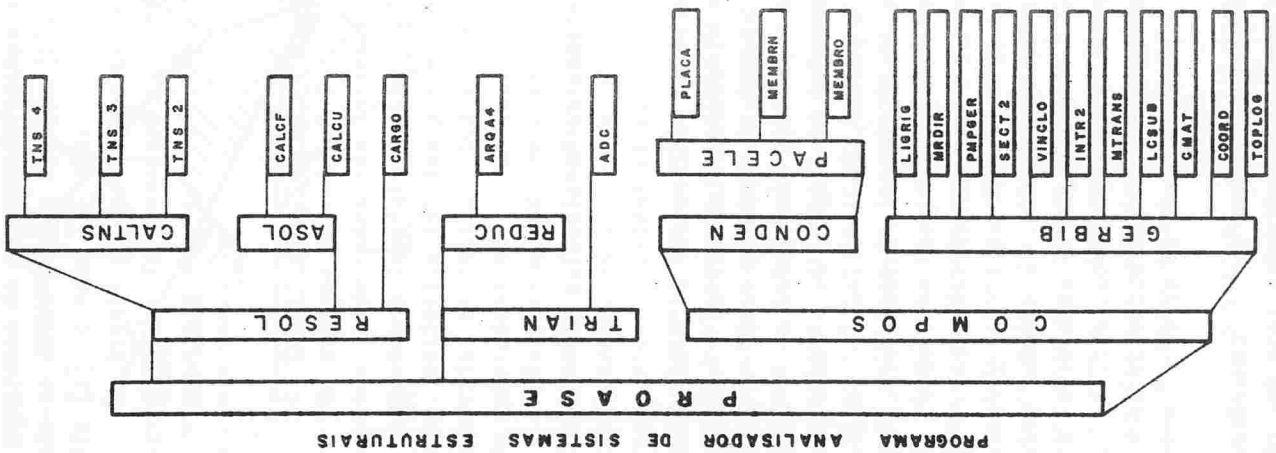


Fig. 1 - Sistemas de Referências

Destacam-se entre elas as bibliotecas de constantes físicas dos materiais, de elementos finitos, de sistemas de referência locais, de sistema de referência de elementos binodais, de vínculos especiais (condições de contorno), de propriedades seccionais das vigas, de propriedade seccionais das membranas e placas, de matrizes de rigidez diretamente especificadas, de ligaduras rígidas, etc. Cada registro de entrada nestas bibliotecas pode ser usado para todos os elementos que tenham propriedades idênticas. Na construção destas bibliotecas, o PROASE utiliza geradores multi-dimensionais de dados de entrada, tais como geradores de coordenadas dos nós, de topologia de elementos finitos, condições de contorno e de carregamentos, etc, o que reduz enormemente o trabalho manual na confecção da deck de dados, minimizando assim a possibilidade de erros acidentais.

Se dois nós são coincidentes, deve ser considerado entre eles um elemento binodal de comprimento zero ou uma



ARQUIVOS DE ARMAZENAMENTO DE DADOS

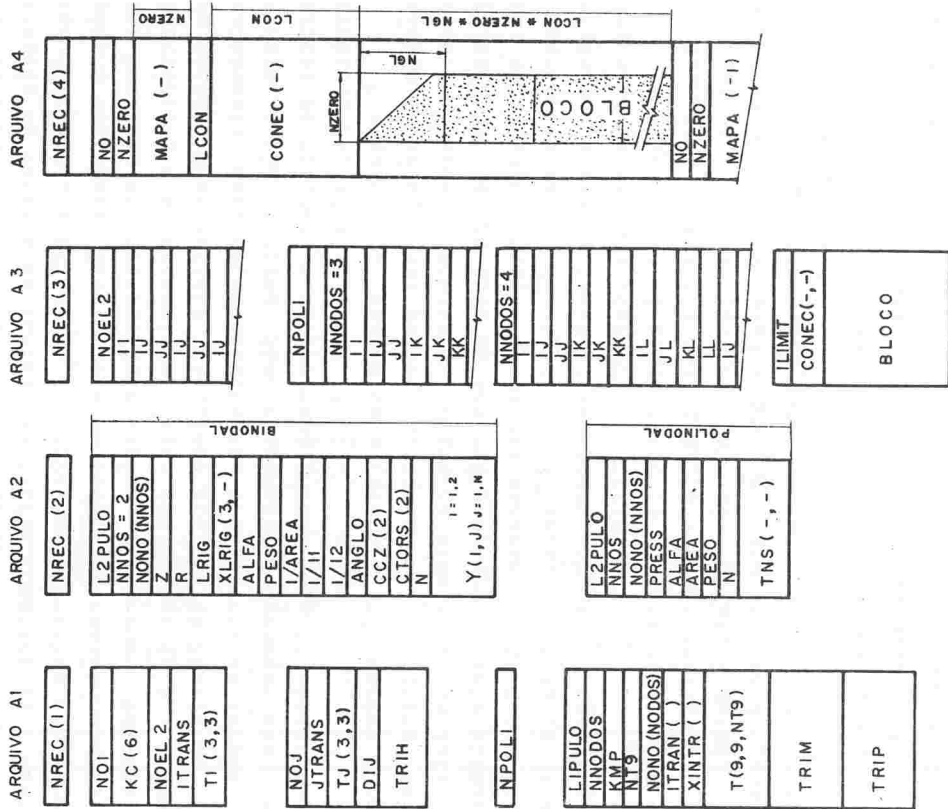


Fig. 2

CONFIGURAÇÃO DA MATRIZ A (-) NO COMPOSITOR

ISEQ
TOP (9, -)
X (3, -)
CM (6, -)
TR (9,9, -)
TR2 (5, -)
KC (-)
SCT (25, -)
PMP (18, -)
S (21, -)
XORIG
XOFF
A1 (-)
A2 (-)
A3 (-)
CONLIN (-)
NORDEM
ICON
IBLOC
CONRNG
CONEC
BLOCO
DISPON

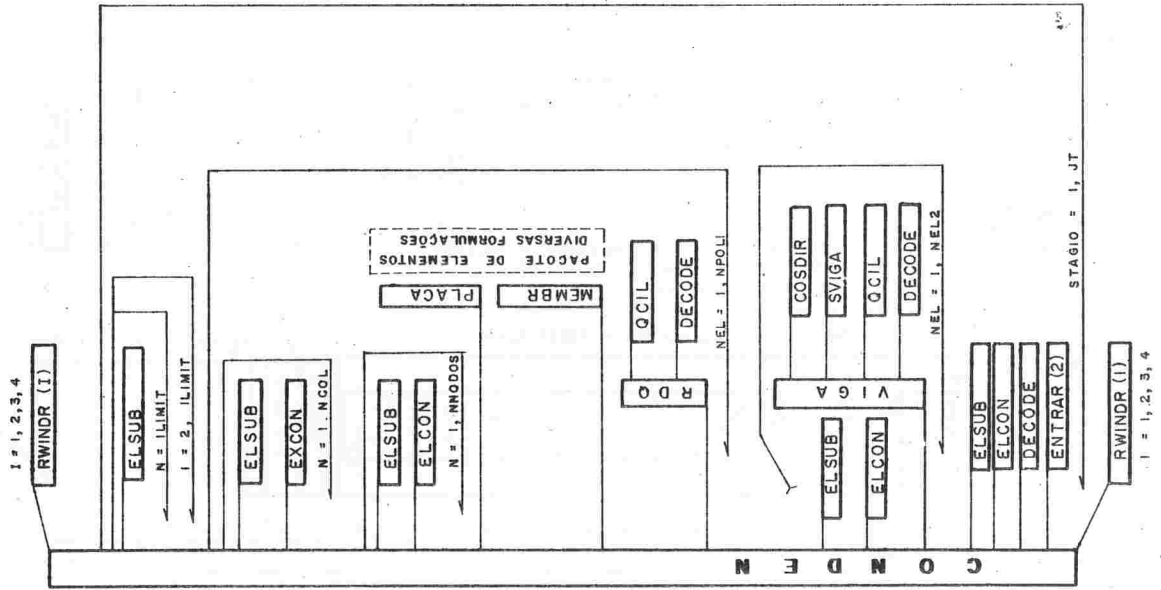
matriz de rigidez diretamente especificada. Esta característica é sumamente importante nas especificações de acoplamento de eixos de máquinas onde os pontos podem ter duas condições vinculares distintas.

O subprograma COMPOS (fig.2) através da subrotina GERBIB e suas derivadas constrói as dez bibliotecas utilizadas das pelo PROASE, e a seguir chama a subrotina CONDEN que através da bateria de subrotinas PACELE constrói as matrizes de rigidez intrínsecas dos diversos elementos que compõem a estrutura. Este pacote de elementos contém subrotinas baseadas em diversas formulações, incluindo materiais isotrópicos e anisotrópicos, vigas com formas mais comuns de seções transversais, incluindo efeitos de centro de cizalhamento, deformação cizalhante, coeficiente de torção uniforme e não uniforme. Simultaneamente à formação das matrizes de rigidez, o subprograma CONDEN (fig.4) constrói os arquivos A1, A2 e A3 (Fig. 3).

O arquivo A1 contém para cada nó, informações necessárias à execução das partes subsequentes do programa, tais como, condições vinculares, número de elementos binodais e polinodais ligando este nó aos nós subsequentemente eliminados na triangularização da matriz esparsa, parte triangular superior da matriz de rigidez intrínseca, matrizes de tração dos sistemas locais (se especificadas), designação dos nodos e de suas coordenadas intrínsecas.

O arquivo A2 é constituído de um subarquivo para cada elemento, contendo a designação dos nós interligados pelo elemento, as matrizes de ligaduras rígidas, a matriz de equilíbrio e as coordenadas dos nós. Este arquivo é usado no subprograma CALTNS para determinação das tensões relativas ao sistema intrínseco.

O arquivo A3 contém informações da topologia de armazenamento das submatrizes não nulas, topologia esta obtida através de uma simulação do processo de redução a ser executado posteriormente no subprograma TRIAN. Note que a esta altura tais matrizes não foram ainda determinadas e só a serem durante a redução do sistema geral em TRIAN.



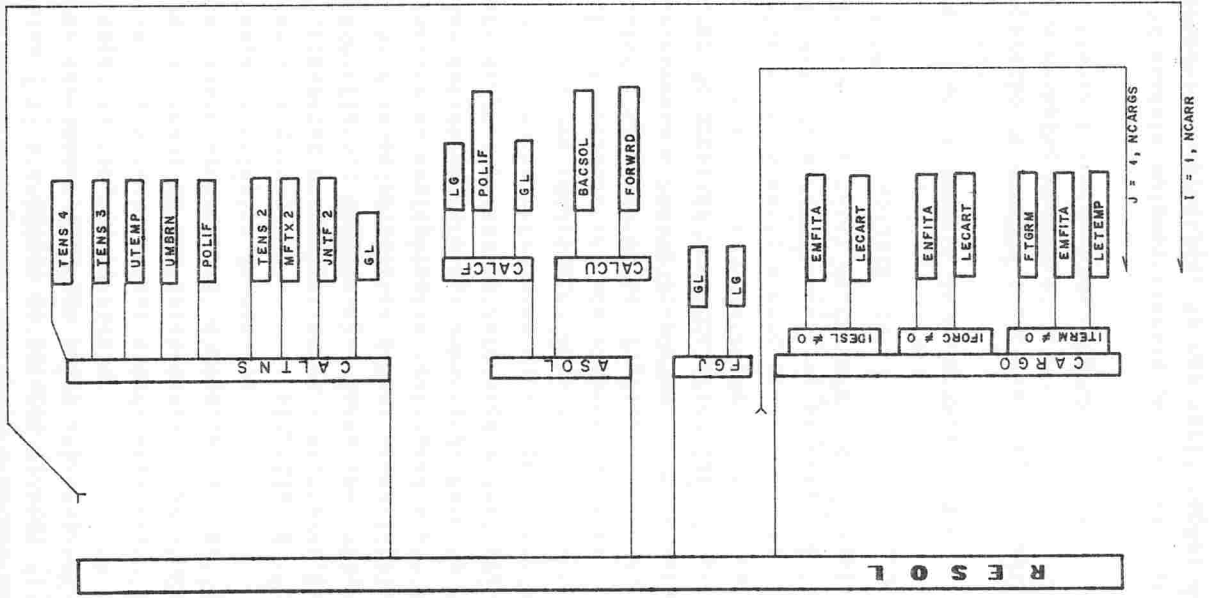


Fig. 6

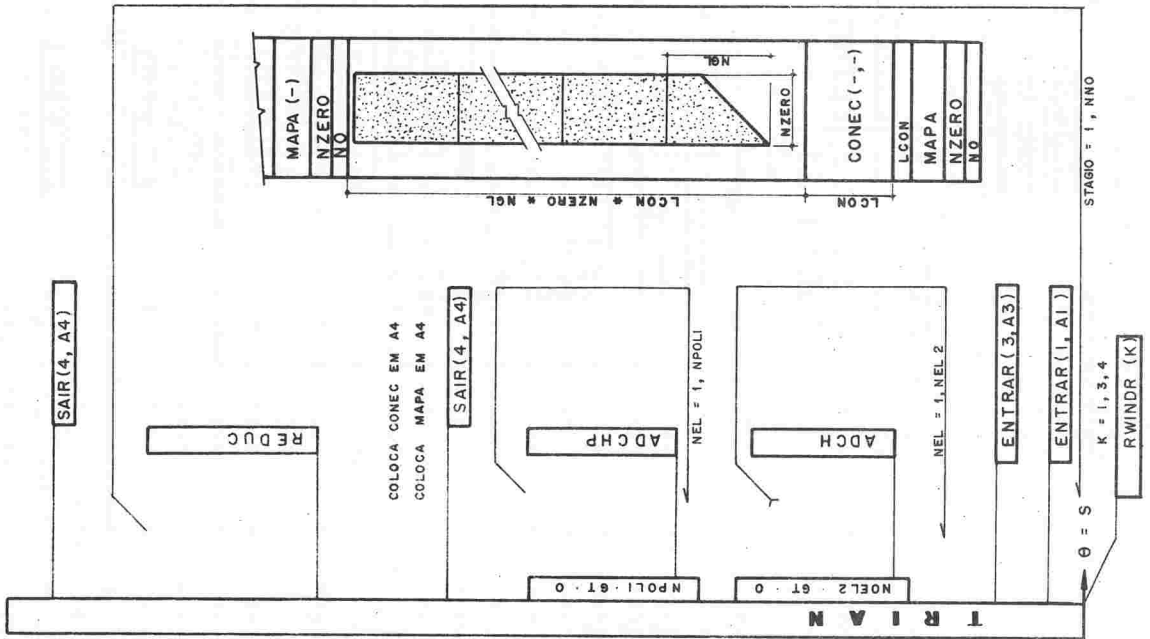


Fig. 5

Na solução do sistema o PROASE usa o método das matrizes esparsas [2] que embora apresentando uma metodologia de armazenamento um pouca complexa, sobrepuja o método das matrizes em faixa [3] e o método de solução frontal [1] por somente operar com submatrizes não nulas e por não ficar sujeito a limitação da largura de faixa.

Em TRIAN (fig.5) as matrizes intrínsecas dos elementos interligados a cada nó são adicionadas e reduzidas simultaneamente, sendo armazenadas no arquivo A4 de acordo com a localização topológica do arquivo A3.

Formados os arquivos A3 e A4, são lidas as cargas (forças, deslocamentos ou temperatura nos nós) através da subrotina CARGO (fig.6). Estas cargas podem ser introduzidas por meio de fita ou cartões de acordo com o desejo do analista. A seguir as configurações deslocamento e forças vinculares são determinadas pelas subrotinas CALCV e CALCF.

A seguir são calculadas as deformações dos elementos (deslocamentos dos nodos referentes ao sistema intrínseco) que com as informações contidas no arquivo A2 nos permite a determinação das tensões em cada elemento através da subrotina CALTNS e suas derivadas (fig.6).

Automaticamente o PROASE efetua um conjunto detalhado de verificações de precisão numérica. Para tal o programa retorna as definições básicas do sistema. Portanto esta verificação reflete não somente o erro acumulado como também os efeitos do erro de arredondamento no processo de montagem e redução da matriz total do sistema. São realizadas três verificações:

- a) comparação da energia de deformação com o trabalho externo,
- b) comparação da energia total das forças aplicadas com o trabalho externo,
- c) equilíbrio individual de cada nó.

O PROASE executa automaticamente um processo iterativo de aprimoramento da precisão. Se nas verificações de a

cuidado o programa descobre erros numéricos maiores do que uma tolerância fornecida pelo analista, o processo iterativo é efetuado salvando, na maioria dos casos, soluções que de outra maneira não seriam aceitáveis.

Uma gama de opções permitem a impressão de deslocamentos de um número selecionado de nós, tensões nodais dos elementos, forças nodais e reações, energia de deformação, cota do erro de arredondamento e truncamento, arquivos de transmissão, peso de cada tipo de elementos.

3. Aplicações

O PROASE está sendo usado para pesquisas em dissipação de energia, tensões de contato e deslizamento em juntas e verificação de diversas formulações de matrizes intrínsecas de rigidez e de tensões que fazem parte de seu pacote de elementos. Devido a sua generalidade e modulação é uma ferramenta básica para pesquisas em mecânica do contínuo.

Bibliografia

- [1] Mac Neal, R. H., "On General Purpose Finite Element Computer Program" Collection Presented at The Winter Annual Meeting of the ASME, New York, November 1970.
- [2] Zienkiewicz, O. C., The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill, London, 1970.
- [3] Brooks, D. F. and Broton D. M., "Computer System for Analysis of Large Framework", Journal of the Structural Division - ASCE, December 1964.
- [4] Whetstone, W. D. "Computer Analysis of Large Linear Frames" Journal of Structural Division - ASCE, November 1969.

ALVES D.B.

PROGRAMA ANALISADOR DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

Sumário

As principais características do Programa Analisador de Sistemas Estruturais (PROASE), um programa geral de elementos finitos, são descritas sucintamente. O PROASE foi elaborado especialmente para análise linear estática de estruturas complexas sujeitas a configurações de forças, de deslocamentos ou de temperaturas estacionárias. Devido a sua generalidade e modulação o PROASE é ferramenta de grande utilidade em pesquisas em mecânica dos sólidos. O PROASE é subprograma básico de um programa analisador dinâmico de estruturas ora em elaboração.

STRUCTURAL SYSTEM ANALYSER PROGRAM

Summary

The main features of the Structural System Analyser Program (PROASE), a general finite element program, are succinctly described. Elaborated especially for static linear analysis of complexed structural systems subjected to forces, displacements or thermic loads, the PROASE, due to its generality and a modulation is an indispensable tool in solid mechanics researches. PROASE is a basic part of a general dynamics analyser structural system program actually in elaboration.

A N A I S

DO
III CONGRESSO BRASILEIRO
DE ENGENHARIA MECANICA

RIO DE JANEIRO DEZ. 1975

PAPER NO. D - 18
PP. 1079 - 1092



COPPE/CAPEs

PROCEEDINGS

OF THE THIRD
BRAZILIAN CONGRESS
MECHANICAL ENGINEERING

FACILIDADES PARA ANÁLISE DINÂMICA NO
SISTEMA LORANE

Edison C. PRAIES DE LIMA, Doutorando.

COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro - Pesquisador Visitante, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Agustin J. FERRANTE, Ph.D., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. USA, Professor Visitante, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

1. Introdução

A implantação das facilidades para análise dinâmica dentro do sistema LORANE [1,2] é desenvolvida através de um projeto de pesquisa apoiado financeiramente pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico |BNDE|.