

FLÁVIO JOSÉ BORGES FORTES FRANCO

Eng. Mecânico - UFRGS, 1965

ANÁLISE DE TENSÕES EM ESTRUTURAS

SUBMETIDAS A TEMPERATURAS ELEVADAS

Dissertação apresentada à Escola Politécnica  
da USP para a obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia



Orientador: Prof. Dr. Celio Taniguchi  
Professor Adjunto do Departamento  
de Engenharia Naval da EPUSP

São Paulo, 1982

FD-411

À minha esposa

Maria Bernadete

e aos meus filhos

Fernando, Márcio e Jorge

## AGRADECIMENTOS

Aos Profs. Alfredo Coaracy Gandolfo e Célio Taniguchi agradeço a valiosa orientação e o incentivo.

Aos professores dos cursos de pós-graduação, em especial aos Profs. Luiz Novaes Ferreira França, Eitaro Yamane, Octavio de M. Silveiras e Victor M. de Souza Lima, agradeço a atenção que deles recebi.

À HIDROSERVICE agradeço a permissão para processar os programas de computador em suas instalações.

Ao colega Antonio Ayrton Rodrigues, da HIDROSERVICE, agradeço o auxílio que me prestou, nos processamentos em computador, sacrificando horas de lazer e de repouso.

À Srta. Sonia Regina Amariz, da HIDROSERVICE, agradeço a boa vontade e ótimo trabalho de datilografia.

Aos meus filhos peço que me perdoem pelas longas horas em que estive ausente de suas vidas, numa idade em que tanto precisavam de mim.

Para o final ficou o maior agradecimento: à minha esposa. Que ela me perdoe o sacrifício que lhe impus ao longo de todos estes anos.

## RESUMO

Descrevem-se modelos experimentais e teóricos de fluência e relaxação no concreto e nos metais. Mostram-se os procedimentos de análise de tensões em estruturas submetidas a temperaturas elevadas, pelo método de elementos finitos, com a inclusão dos modelos reológicos. Os programas de computador desenvolvidos com base nesses procedimentos são aplicados a análises de componentes metálicos de equipamentos e discute-se a influência da evolução das tensões sobre a vida da estrutura.

## ABSTRACT

Experimental and theoretical creep models for concrete and metals are described. Procedures for finite element stress analysis of structures under elevated temperature, including rheological models, are showed. Computer programs developed, based on these procedures, are applied to the analysis of equipment steel components and the influence of stress evolution on structure life is discussed.

## ÍNDICE

- . Notação
- . Lista de Figuras
  
- I - Introdução
  
- II - Modelos Reológicos: Princípios Teóricos e sua Utilização na Análise de Tensões
  - II.1 - Conceitos Básicos
  - II.2 - Modelos Reológicos do Concreto
  - II.3 - Modelos Reológicos dos Metais
  - II.4 - O Método de Elementos Finitos: Formulação Geral e Tratamento dos Modelos Reológicos
  
- III - Estudo de Componentes de Equipamentos
  - III.1 - Análise de um Tubo de Aço
  - III.2 - Análise da Tampa de um Vaso de Pressão
  
- IV - Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros
  
- . Bibliografia
- . Apêndice

## NOTAÇÃO

$E$	= módulo de elasticidade
$k$	= rigidez de uma mola
$\epsilon$	= deformação elástica
$\epsilon^F$	= deformação de fluência
$\epsilon^T$	= deformação térmica
$\psi$	= parâmetro na fórmula de Straub
$A$	= constante em fórmulas de fluência, com significado dependente da fórmula
$\bar{C}$	= constante de amortecimento relacionando força e aceleração
$C$	= constante de amortecimento relacionando tensão e velocidade de deformação
$\mu$	= coeficiente de viscosidade
$p$	= $C/E$
$B$	= constante na fórmula de Bailey
$b, n, m$	= constantes em fórmulas de fluência, com significado dependente da fórmula
$\eta$	= constante na fórmula de Rabotnov
$T$	= temperatura (escala indeterminada quando não indicada)
$F', F''$	= funções genéricas na fórmula genérica de fluência
$\beta', \beta''$	= constantes na fórmula de Andrade
$K$	= fator que pode ser 1 ou 0 na fórmula de Odqvist
$e$	= energia interna na lei de Maxwell

- $R$  = constante universal dos gases perfeitos  
 $\epsilon^a$  = deformação anelástica  
 $\epsilon^p$  = deformação permanente que inclui a deformação plástica  
 $\sigma^*$  = dureza na expressão de Hart  
 $\gamma()$  = função que define a dureza  
 $\mathcal{F}$  = função obtida experimentalmente por Hart  
 $k_x, k_y$  = condutividade térmica  
 $q$  = calor gerado internamente por unidade de volume e por unidade de tempo  
 $\rho$  = densidade  
 $c$  = calor específico  
 $l_x, l_y$  = cossenos diretores  
 $h$  = coeficiente de convecção  
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  = coeficientes da expressão linear da temperatura ou do deslocamento  
 $a_i, b_i, c_i$  = quantidades que aparecem na formação da matriz deformação/deslocamento  
 $\Delta$  = área do elemento finito triangular ou símbolo de incremento, de acordo com o texto  
 $I$  = funcional  
 $[K]$  = matriz de condutibilidade ou matriz de rigidez, de acordo com o contexto  
 $\{T\}$  = vetor de temperaturas  
 $\{Q\}$  = vetor de geração interna de calor

- [C] = matriz de capacidade térmica
- $T_a$  = temperatura adiabática
- V = energia potencial
- $V_o$  = energia de deformação
- $\delta$  = símbolo de variação
- [B] = matriz relacionando deformação e deslocamento
- {d} = vetor de deslocamentos nodais
- [D] = matriz de elasticidade, relacionando tensões e deformações
- {f} = vetor de funções deslocamento
- $F_s$  = forças de superfície
- $F_v$  = forças de massa
- {F} = vetor de cargas
- $\alpha$  = coeficiente de expansão térmica
- $\theta$  = variação de temperatura
- $\nu$  = coeficiente de Poisson
- $a_r, b_r$  = constantes de um elemento r do modelo de Kelvin
- [A] = matriz dependente do coeficiente de Poisson
- $\sigma_e$  = tensão equivalente ou efetiva
- $\epsilon_e$  = deformação de uma barra de material incompressível sob tração ou compressão simples



## LISTA DE FIGURAS

- I.1 Curvas típicas da evolução das temperaturas e das tensões térmicas em uma estrutura de concreto
- II.1 Resultado típico de um ensaio de fluência
- II.2 Sistema ilustrativo de fluência e relaxação puras
- II.3 Amortecedor
- II.4 Modelo do Fluido de Maxwell
- II.5 Comportamento do Fluido de Maxwell
- II.6 Resultado típico de um ensaio de fluência de metais
- II.7 Lei de Odqvist
- II.8 Exemplo de variação da tensão aplicada
- II.9 Lei de Endurecimento por Deformação
- II.10 Lei de Endurecimento por Envelhecimento
- II.11 Comparação entre os endurecimentos por deformação e por envelhecimento
- II.12 Malha de elementos
- II.13 Elemento de Kelvin
- III.1 Modelo de elementos finitos do tubo
- III.2 Taxa de fluência em % por 1000 horas para o aço 2 1/4 Cr 1 Mo
- III.3 Evolução da tensão equivalente nas paredes do tubo
- III.4 Tensões na parede do tubo
- III.5 Malha de elementos finitos para o cálculo das temperaturas
- III.6 Malha de elementos finitos para o cálculo das tensões
- III.7 Regra de operação do vaso de pressão
- III.8 Tempo para ruptura do aço 2 1/4 Cr 1 Mo em horas
- III.9 Tempo para ruptura do aço 2 1/4 Cr 1 Mo em horas

## I. INTRODUÇÃO

### I.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo do comportamento de peças estruturais, submetidas à ação de temperaturas elevadas, apresenta enorme importância em diversos problemas de engenharia. São exemplos típicos o projeto de equipamentos como geradores de vapor, torres de destilação, trocadores de calor, tubulações e turbinas; o planejamento da operação desses equipamentos e o projeto e o planejamento da construção de grandes estruturas de concreto.

Nestas estruturas observa-se que, sob certas condições que serão comentadas adiante, o material estrutural afasta-se do comportamento elástico. Tal afastamento manifesta-se sob a forma de dois fenômenos físicos associados: fluência e relaxação.

Pode-se definir fluência como "a variação das deformações com o tempo, sob tensão constante" e relaxação como "a variação das tensões com o tempo sob deformação constante" (3). Em (7) prefere-se definir fluência como "a deformação dependente do tempo que é observada quando um material sólido é colocado sob carga a uma temperatura suficientemente elevada". Analogamente poder-se-ia definir relaxação como a variação da tensão dependente do tempo, que é observada quando um material sólido é submetido a deformação, a uma temperatura suficientemente elevada.

O conceito de "temperatura elevada" depende do material e da tensão aplicada. Por exemplo, para uma mesma deformação de fluência, pode ser necessária uma temperatura de milhares de graus em materiais cerâmicos, centenas de graus em aços e uma temperatura ligeiramente acima da ambiente para polímeros. Com a aplicação de grandes tensões e com instrumentos de medida bastante precisos pode-se observar a fluência nos aços mesmo à temperatura ambiente.

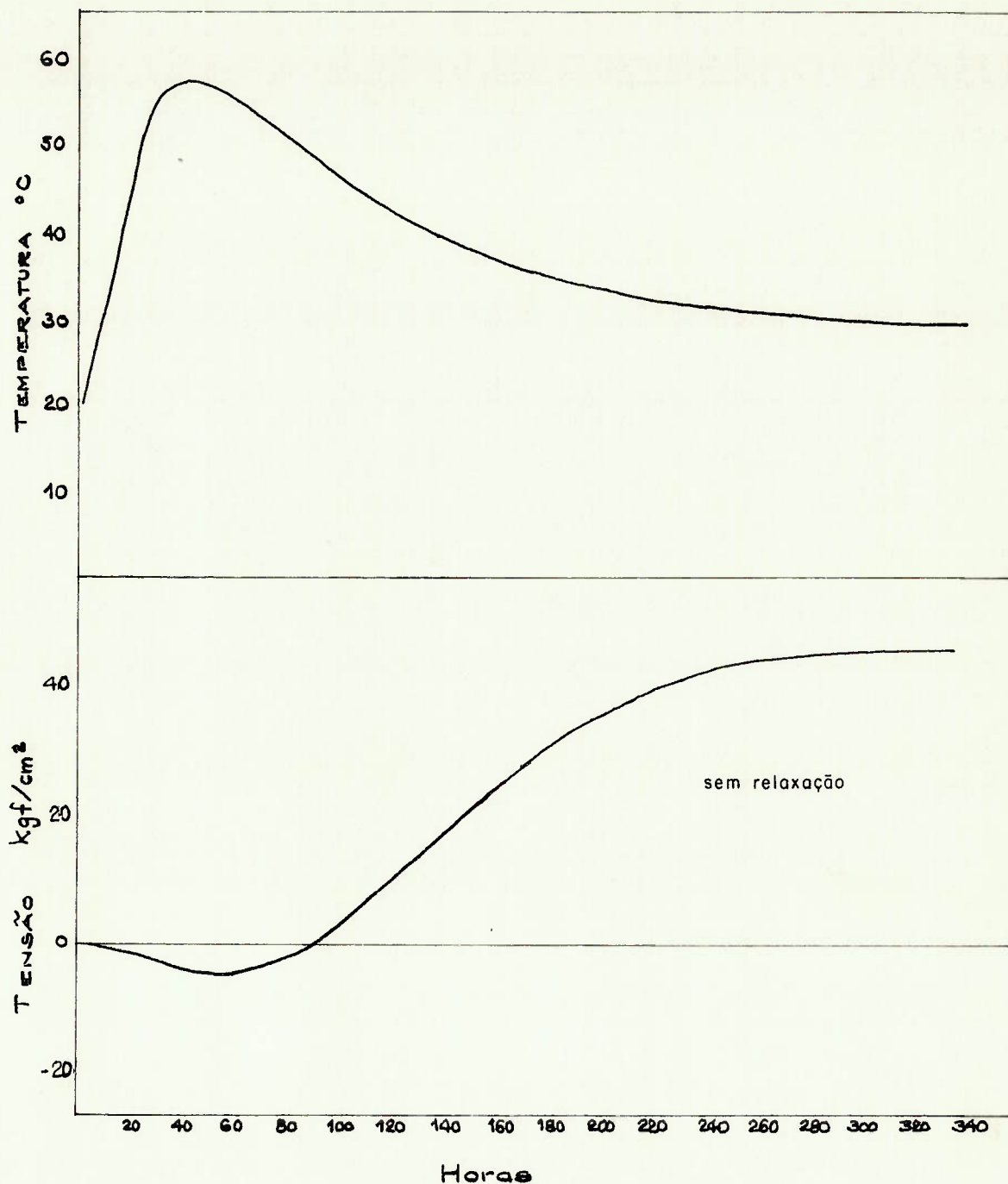
Igualmente no concreto observa-se fluência à temperatura ambiente, embora seja mais intensa a temperaturas algumas dezenas de graus acima da ambiente.

Dos materiais em que se observa a fluência diz-se também que apresentam comportamento reológico (da palavra grega rheo, que significa escoar).

Com relação a estruturas de concreto, é muito importante, na prática, o problema de tensões térmicas que ocorrem nos primeiros dias após a concretagem. Estas tensões são causadas pela reação exotérmica de hidratação do cimento. O campo de temperaturas varia com o tempo, o que causa a variação das tensões térmicas. As propriedades físicas do concreto também se alteram e o comportamento do material afasta-se do regime elástico, o que influi na evolução das tensões. As temperaturas diferem da ambiente em apenas algumas dezenas de graus mas as tensões resultantes podem ser a causa de defeitos graves na estrutura. Para minorá-las diversos meios são empregados. Sua descrição está fora do escopo deste trabalho, mas é importante lembrar que frequentemente são utilizadas dispendiosas instalações de refrigeração para que o campo de temperaturas não se eleve demasiadamente.

A Fig. I.1 mostra uma curva típica da evolução da temperatura em uma estrutura de concreto e a correspondente curva de evolução das tensões térmicas na estrutura.

Logo após o lançamento a temperatura do concreto sobe e ocorrem tensões de compressão. No início do resfriamento desaparecem as tensões de compressão e passam a atuar tensões de tração. Estas vão atingir valores bem mais altos do que as tensões de compressão porque o módulo de elasticidade cresce com o tempo. Por outro lado, a relaxação reduz as tensões de compressão. Assim, quando a temperatura cai, elas desaparecem mais rapidamente do que seria de se esperar na ausência da relaxação. Conseqüentemente, as tensões de tração aparecem mais cedo e podem atingir valores mais altos do que aqueles que seriam atingidos se não houvesse a relaxação. Finalmente, as tensões de tração também relaxam. Entretanto, a intensidade do fenômeno diminui com a idade do concreto e é bastante difícil prever, sem um estudo do problema específico, o efeito final da relaxação sobre os valores máximos das tensões.



Curvas típicas da evolução das temperaturas e das tensões térmicas em uma estrutura de concreto

Fig. I.1

É lógico, entretanto, que, se o resfriamento for suficientemente lento, a relaxação poderá reduzir sensivelmente as tensões de tração.

O conhecimento da evolução das tensões térmicas em uma estrutura de concreto não é importante apenas do ponto de vista de segurança. É extremamente importante também do ponto de vista econômico, uma vez que dele depende o planejamento adequado da construção: dimensionamento de camadas de concretagem, decisão de se utilizar ou não refrigeração e escolha da composição do concreto (10).

É interessante ainda observar que o estudo da fluência no concreto está muito ligado à estética das estruturas, que pode ficar comprometida por deformações excessivas.

Quanto a peças estruturais metálicas, em especial de aço, o problema mais frequente na prática é o do estudo do comportamento de equipamentos, como os citados acima, cuja temperatura de serviço difere substancialmente da ambiente. Quando se trata de temperatura de serviço superior a  $400^{\circ}\text{C}$ , o problema envolve também a previsão da vida útil da peça, além da determinação das tensões que atuarão no equipamento.

Acima daquela temperatura o aço deixa de se comportar elasticamente: tensões e deformações variam com o tempo. Após uma alteração do campo de tensões, através da relaxação das tensões correspondentes ao regime elástico, o material se deforma lentamente até a ruptura por fluência. Em certos tipos de equipamentos, a fluência pode reduzir a vida útil de peças móveis em que as dimensões são definidas com pequenas tolerâncias.

A estrutura deve então ser projetada de tal maneira que o prazo para que ocorra a ruptura por fluência ou para que as deformações atinjam valores tais que a tornem inutilizável seja suficientemente grande.

A resistência à fluência é muito variável com o tipo de aço (13), sendo maior nos aços inoxidáveis.

A consideração da evolução das tensões e deformações em equipamentos metálicos é então muito importante para a escolha do material que será utilizado em sua construção, bem como para seu dimensionamento.

Em uma estrutura submetida a temperaturas elevadas é essencial no cálculo das tensões térmicas, o conhecimento

da influência da temperatura sobre as propriedades do material. Nos metais, principalmente, as propriedades físicas variam bastante com a temperatura.

Os aços inoxidáveis, por exemplo, cujo módulo de elasticidade é de 2100000 kgf/cm<sup>2</sup> a 20°C, apresentam um módulo de 1700000 kgf/cm<sup>2</sup> a 400°C e de 1100000 kgf/cm<sup>2</sup> a 600°C (13). Além disso, as curvas de fluência, para uma dada tensão constante, variam rapidamente com a temperatura. Assim, um erro de poucos graus na estimativa da temperatura de operação de um equipamento, pode reduzir drasticamente sua vida útil.

Em geral, nos equipamentos metálicos, pode-se esperar uma rápida relaxação das tensões térmicas. Assim, um aquecimento lento evita excessivos gradientes térmicos, permitindo ao mesmo tempo a relaxação das tensões produzidas.

É interessante observar que a maior parte das modernas usinas térmicas opera com temperaturas para as quais os equipamentos estão na faixa de fluência: vapor com pressões da ordem de 150 a 200 kgf/cm<sup>2</sup> e temperaturas da ordem de 500 a 600°C (21,26). Constituem exceção as centrais nucleares do tipo PWR (Pressurized Water Reactor). Nestas, as temperaturas de projeto são da ordem de 300°C na saída do reator e a pressão da água é da ordem de 170 kgf/cm<sup>2</sup> (22). Os aços inoxidáveis utilizados nos vasos de pressão e tubulações dessas centrais trabalham, portanto, bem abaixo de sua faixa de fluência. As regras de operação indicadas pelas normas (22) estabelecem uma duração de aproximadamente 4,5hs para as operações de ligar e desligar os equipamentos, dado que, na ausência de relaxação, gradientes elevados de temperatura não devem ocorrer.

Cálculos de fluência e relaxação podem ser feitos por meio de expressões analíticas, empíricas ou por meio de gráficos obtidos de dados experimentais, para peças estruturais geometricamente simples, submetidas a estados simples de tensão ou deformação.

Para o concreto, a deformação de fluência, em um dado instante, pode ser calculada através das equações hereditárias,

obtidas no contexto da teoria da Viscoelasticidade Linear (9). Para metais, o cálculo é feito com base em fórmulas ou gráficos experimentais. A grande dificuldade está no fato de que os dados experimentais estão muito dispersos na literatura, apresentando-se, além disso, nas formas mais diversas (12, 18, 20, 27).

Para formas geométricas complexas, como normalmente são as que ocorrem na prática, e para estados múltiplos de tensão e deformação, o cálculo analítico ou por meio de gráficos pode ser impossível. Recorre-se então a métodos numéricos, como o método dos elementos finitos.

Já vêm sendo bastante estudados, no Brasil, os problemas de tensões térmicas e de fluência e relaxação em estruturas de concreto, em função, principalmente, da construção de grandes barragens nos últimos anos. São notáveis, entre outros, os trabalhos de Souza Lima, Zagottis e André; Amaral Filho e Pacelli de Andrade. Quanto a autores estrangeiros, os livros de Flügge e de Neville são bem conhecidos. Em se tratando de fluência e relaxação nos metais, foi fundamental, na elaboração deste trabalho, o livro de Rabotnov, que se constitui em um tratado completo sobre o assunto. Quanto ao método dos elementos finitos, qualquer estudo passa necessariamente pelo livro de Zienkiewicz. A aplicação do método dos elementos finitos à análise de fluência e relaxação foi apresentada por Greenbaum e Rubinstein, para os metais; e por Zienkiewicz, Watson e King para o concreto.

## I.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Neste trabalho procura-se mostrar a importância de se considerar a relaxação na análise de tensões em estruturas submetidas a temperaturas elevadas. Apresentam-se conceitos teóricos básicos e relações constitutivas para a fluência no concreto e no aço. Descreve-se a utilização dessas relações na análise de tensões. Finalmente aplicam-se os princípios teóricos a exemplos práticos.

No sentido de se generalizarem tanto quanto possível os resultados, este trabalho se desenvolve com base no emprego do método dos elementos finitos. Obviamente isto não dispensa as expressões analíticas ou empíricas e os dados experimentais. Apenas amplia sua aplicação.

Quando se deseja conhecer as tensões térmicas em uma estrutura, a análise de transmissão de calor por elementos finitos é de grande interesse prático, pois utilizando-se a mesma malha nas duas análises, as temperaturas obtidas na análise de transmissão de calor constituem-se em dados de entrada para a análise de tensões.

As estruturas de concreto em cuja construção se manifestam tensões térmicas relevantes podem ser estudadas, geralmente, através de uma análise de estado plano de tensão ou de deformação. Por outro lado, a forma geométrica mais comum dos equipamentos que operam em temperaturas de serviço elevadas é a cilíndrica circular. Nestes equipamentos é também muito comum que os carregamentos sejam axialmente simétricos. Assim, serão apresentados neste trabalho os desenvolvimentos para dois tipos de elementos finitos: o elemento triangular plano e o elemento axialmente simétrico de secção triangular. Para elementos mais complexos, como, por exemplo, elementos tridimensionais ou elementos casca, as alterações não são muito grandes.

No capítulo III apresentam-se exemplos de análises de peças estruturais de aço. Através desses exemplos procura-se mostrar a importância de se considerar, na análise de tensões em estruturas submetidas a temperaturas elevadas, o comportamento não elástico do material.

Finalmente, há que se fazerem duas observações. A primeira refere-se ao fato de que os materiais serão sempre tratados como meios contínuos ideais, não se fazendo considerações, por exemplo, sobre componentes do concreto ou sobre aspectos metalúrgicos do aço. Em segundo lugar, é importante esclarecer que no texto a palavra "fluência" será empregada algumas vezes, por conveniência, com o duplo significado de fluência propriamente dita e de relaxação.



## II. MODELOS REOLÓGICOS: PRINCÍPIOS TEÓRICOS E SUA UTILIZAÇÃO NA ANÁLISE DE TENSÕES

### II.1 Conceitos Básicos

Os primeiros experimentos relacionados com a fluência foram feitos em 1830 e nos anos seguintes, em três áreas distintas - pontes penséis na França, instrumentos de medida elétrica na Alemanha e projeto de máquinas a vapor na Grã Bretanha. Entretanto estudos analíticos somente se iniciaram cem anos mais tarde, motivados, no que se refere aos aços, pela necessidade de se projetarem peças para serviço a temperaturas elevadas. Esses estudos, considerando fluência sob estados múltiplos de tensão, tiveram como autores Odqvist, na Suécia, Bailey, na Grã Bretanha, e Kanter, Marin, Nadai e Soderberg nos Estados Unidos (7).

Os estudos experimentais são feitos normalmente com relação à fluência pura, causada por tração ou compressão constante uniaxial de um corpo de prova.

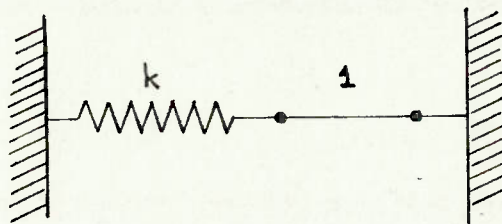
O resultado de um ensaio típico de fluência é mostrado na Fig. II.1.



Resultado típico de um ensaio de fluência  
Fig. II.1

Nos problemas da prática dificilmente se observam as condições em que se realizam os ensaios. Geralmente a carga que atua sobre o corpo é variável com o tempo e um componente sujeito a fluência está associado a outros componentes que se deformam apenas elasticamente. Assim, mesmo com carga

constante, as forças entre os componentes se redistribuem com o tempo. Ocorre o fenômeno da relaxação de tensões. O modelo da Fig. II.2 ilustra esses conceitos (12).



Sistema ilustrativo de fluência e relaxação puras  
Fig. II.2

Uma barra de comprimento unitário e seção de área unitária é ligada em série com uma mola de rigidez  $k$  por unidade de área.

Inicialmente a barra está sujeita a um alongamento  $\Delta l_0$  sob uma tensão  $\sigma_0$ . Para a mesma tensão, o alongamento da mola é  $\sigma_0/k$ . Como a soma dos alongamentos deve permanecer constante,

$$\Delta l + \frac{\sigma}{k} = \Delta l_0 + \frac{\sigma_0}{k} = \text{const.}$$

Se a barra tiver um alongamento por fluência, este alongamento será acompanhado por uma redução na tensão porque a energia do sistema não pode aumentar.. Este processo de diminuição da tensão com o tempo é a relaxação.

Se a mola for pouco rígida, o deslocamento de sua extremidade associado ao alongamento da barra terá pouca influência sobre a força de tração na mola. A tensão na barra pode ser considerada constante e o que se observa é a fluência pura.

Por outro lado, se a mola for extremamente rígida pode-se escrever

$$\frac{\sigma}{k} = \frac{\sigma_0}{k} \approx 0$$

e  $\Delta l = \text{const.}$

Este é o caso da relaxação pura.

As equações constitutivas que descrevem a fluência podem ser lineares e não lineares em relação à tensão aplicada. A seguir será aprofundada esta distinção.

## II.2 MODELOS REOLÓGICOS DO CONCRETO

### II.2.1 EXPRESSÕES BÁSICAS EXPERIMENTAIS

Várias tentativas foram feitas para se estabelecerem expressões definindo a dependência da fluência em relação ao tempo. Pela curva típica mostrada na Fig.II.1 percebe-se que a velocidade de deformação, muito grande no início, torna-se menor com o tempo. Para tensões que não sejam suficientemente altas para produzir a ruptura não se sabe se existe um limite finito para a fluência.

Embora tenham sido medidas deformações de fluência em corpos de prova 30 anos após o carregamento, admite-se, na prática, que a fluência significativa ocorre, no concreto, nos primeiros 4 a 5 anos.

Com relação ao que foi dito acima existem dois tipos de expressões básicas: as que tendem para um valor limite e as que mostram um crescimento indefinido. No primeiro tipo se incluem expressões exponenciais e hiperbólicas. No segundo tipo se incluem expressões de potência e logarítmicas (8).

Como exemplos dessas expressões podem-se citar a expressão de potência de Straub e a expressão exponencial de McHenry.

A primeira escreve-se

$$\epsilon^F = \psi \sigma^A t^B$$

II.1

em que

- $\epsilon^F$  = deformação de fluência
- $\sigma$  = tensão aplicada
- $t$  = tempo sob carga
- $\psi$  = parâmetro dependente das propriedades do concreto
- $A$  e  $B$  = constantes dependentes do concreto e do tempo de carregamento.

A segunda expressão pode tomar a forma:

$$\varepsilon^F = \varepsilon_\infty^F (1 - e^{-At})$$

II.2

em que

 $\varepsilon^F$  = deformação de fluência $\varepsilon_\infty^F$  = deformação limite

A = constante determinada experimentalmente

## II.2.2 MODELOS REOLÓGICOS VISCOELÁSTICOS

Os modelos viscoelásticos estão baseados, como o próprio nome indica, na combinação das teorias da viscosidade e da elasticidade. Em outras palavras, estão baseados em dois elementos básicos: "mola" e "amortecedor".

Em uma mola ou, de uma maneira mais geral, em uma barra de material elástico linear, a relação entre tensão e deformação é expressa pela lei de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon$$

II.3

em que

E = módulo de elasticidade

Em um amortecedor linear a força aplicada é dada por

$$P = \bar{c} \frac{du}{dt}$$

II.4

em que

 $\bar{c}$  = constante do amortecedor $\frac{du}{dt}$  = velocidade de deslocamento do pistão do amortecedor

Amortecedor

Fig. II.3

Em uma barra feita de um material com comportamento análogo ao de um amortecedor, tem-se uma relação entre tensão e velocidade de deformação:

$$\sigma = c \frac{d\varepsilon}{dt} \quad \text{II.5}$$

Um material que apresente esta proporcionalidade entre tensão e velocidade de deformação é chamado um material viscoso. Se se falar de tensão de cisalhamento e deformação de cisalhamento, escrever-se-ã:

$$\bar{\sigma} = \mu \frac{d\bar{\gamma}}{dt} \quad \text{II.6}$$

em que

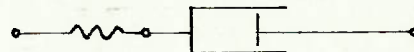
$\mu$  = coeficiente de viscosidade.

Esta é a equação constitutiva de um fluido viscoso linear, isto é, um fluido Newtoniano.

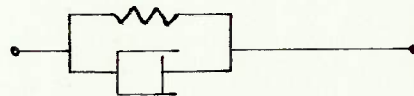
Diferentes combinações de "molas" e "amortecedores", isto é, de dispositivos elásticos puros e viscosos puros, levam a diversos modelos viscoelásticos lineares.

Em (9) apresenta-se interessante tabela de modelos em que aparecem, por exemplo:

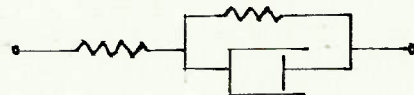
Fluido de Maxwell



Sólido de Kelvin



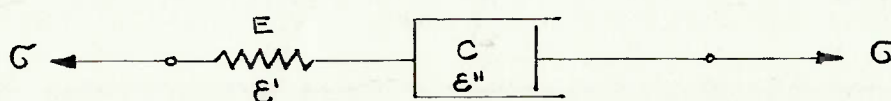
Sólido de 3 parâmetros



Fluido de 3 parâmetros



O fluido de Maxwell é um material para o qual pode-se escrever, de acordo com o modelo da Fig.II.4



Modelo do Fluido de Maxwell  
Fig. II.4

$$\begin{aligned}\sigma &= E \dot{\epsilon}' \\ \sigma &= C \dot{\epsilon}''\end{aligned}$$

II.7

em que o ponto indica derivação em relação ao tempo.

Como os elementos estão em série, escreve-se:

$$\epsilon = \epsilon' + \epsilon''$$

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}' + \dot{\epsilon}''$$

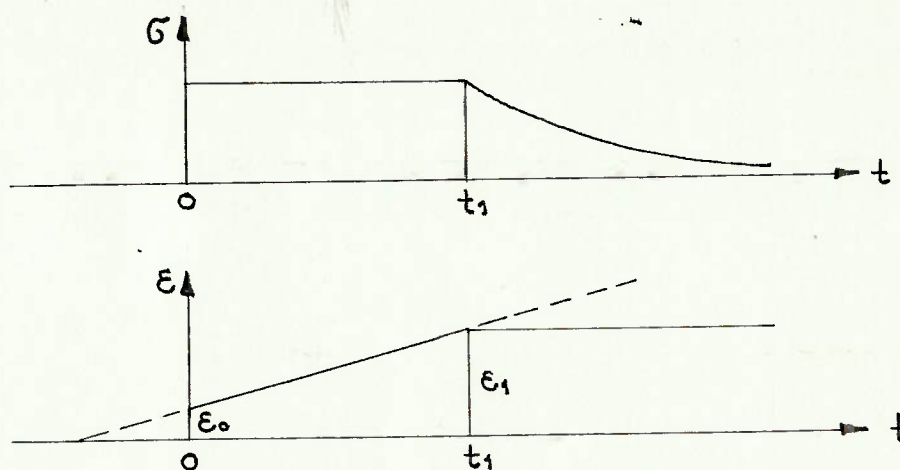
$$\dot{\sigma}/E + \sigma/C = \dot{\epsilon}$$

$$\sigma + p \dot{\sigma} = C \dot{\epsilon} \quad \text{com } p = C/E \quad \text{II.8}$$

Imagine-se uma barra de um material que se comporte de acordo com esta equação. No tempo  $t = 0$  carregue-se esta barra com uma tensão constante  $\sigma_0$ . A integração da equação diferencial II.8 fornece:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{C} (p_1 + t) \quad \text{II.9}$$

Este resultado é representado pelas curvas da Fig. II.5 entre  $t = 0$  e  $t = t_1$



Comportamento do Fluido de Maxwell  
Fig. II.5

No segundo estágio do ensaio fixa-se  $\epsilon$  em seu valor  $\epsilon_1$ . Com  $\epsilon = \epsilon_1$  e  $\dot{\epsilon} = 0$  a equação II.8 torna-se uma equação diferencial para a tensão, com a solução

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left[-(t-t_1)/p\right] \quad \text{II.10}$$

No primeiro estágio  $\epsilon$  aumenta sob tensão constante, isto é, tem-se fluência do material. No segundo estágio a tensão diminui sob deformação constante, isto é, o material relaxa.

Para o sólido de Kelvin uma análise semelhante é apresentada em (9). A equação diferencial obtida é

$$\sigma = E \epsilon + C \dot{\epsilon} \quad \text{II.11}$$

Consideram-se novamente dois estágios. No primeiro o material é carregado por uma tensão constante. A integração da equação diferencial para a deformação leva a:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E} (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{com } \lambda = E/C \quad \text{II.12}$$

que é a deformação de fluência.

No segundo estágio faz-se  $\epsilon = \epsilon_1$  e a integração da equação II.11 conduz a

$$\sigma = \sigma_0 (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad \text{II.13}$$

Esta é a expressão da relaxação da tensão.

No modelo de Maxwell a deformação não tem limites, embora se realize sob uma tensão constante finita. O modelo caracteriza-se portanto como o de um fluido. No modelo de Kelvin a deformação tende para a deformação de um sólido elástico. O modelo caracteriza-se portanto como o de um sólido de elasticidade retardada.

Em (3) adota-se para o concreto um modelo aparentemente mais complexo: o sólido de três parâmetros ou modelo de Boltzmann. Na realidade este é o modelo de Kelvin acrescido do modelo da elasticidade instantânea.

Uma grande coleção de modelos reológicos para o concreto, com vários graus de complexidade e pronostos por diversos pesquisadores é apresentada em (8).

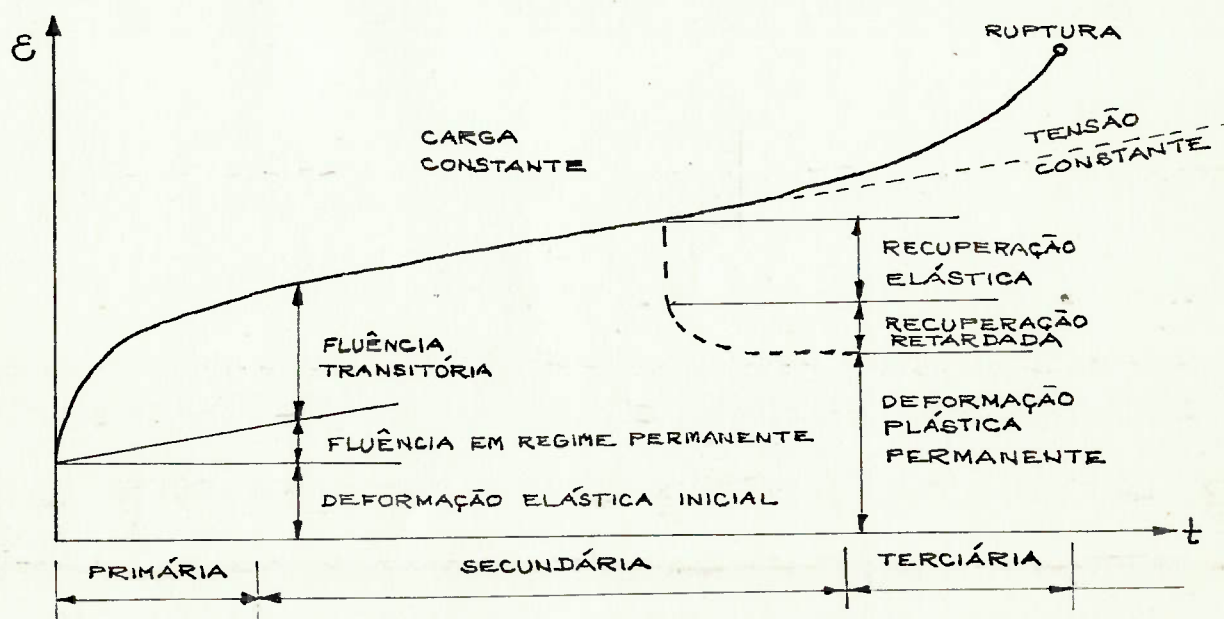
## II.3 MODELOS REOLÓGICOS DOS METAIS

## II.3.1 EXPRESSÕES BÁSICAS EXPERIMENTAIS

A fluência dos metais a altas temperaturas é caracterizada por dois aspectos distintos. Em primeiro lugar a maior parte da deformação de fluência é irreversível. A temperaturas relativamente baixas, quando a carga é removida, apenas parte da deformação total de fluência é recuperada. Em segundo lugar a dependência da deformação de fluência em relação à tensão é altamente não linear. Portanto a descrição do fenômeno nos metais não pode ser feita com os modelos que o descrevem no concreto.

Ensaio de fluência são normalmente uniaxiais, havendo grande dificuldade prática para a realização de ensaios multiaxiais. Mantém-se a carga constante e a temperatura constante. Admite-se que a deformação de fluência nos metais não produz variação de volume. Assim, a diminuição da área da secção do corpo de prova, em um ensaio de tração, é devida apenas ao alongamento do corpo. Para deformações maiores do que 1% é necessária uma correção da carga para que a tensão se mantenha constante.

O resultado de um ensaio típico é mostrado na Fig.II.6



Resultado típico de um ensaio de fluência de metais

Fig. II.6



Admite-se que , para uma tensão suficientemente grande produz-se uma deformação plástica inicial independente do tempo.

Entretanto não é possível fazer-se uma distinção entre deformação plástica inicial e fluência primária.

Se o corpo de prova for descarregado durante o ensaio de fluência haverá uma recuperação lenta. Este comportamento é chamado recuperação de fluência ou deformação anelástica. Dados experimentais indicam que em análise de tensões para metais é razoável desprezar a recuperação de fluência (7).

Em muitos casos a região de fluência secundária é muito prolongada e forma a maior parte da curva de fluência. Pode então ser razoável idealizar as curvas como linhas retas cuja inclinação depende somente da tensão.

Um dos primeiros investigadores da fluência nos materiais estruturais, Bailey, propôs em 1929 a seguinte expressão para relacionar a deformação de fluência em regime permanente  $\dot{\epsilon}$  e a tensão  $\sigma$  :

$$\dot{\epsilon} = B\sigma^n \quad \text{II.14}$$

onde B e n são constantes que variam com o material e com a temperatura (12).  $\dot{\epsilon}$  é a taxa de deformação de fluência no tempo, isto é

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$$

Para os metais n varia entre 3 e 7. Em cerâmicas e polímeros pode-se tomar n = 1.

A dependência de B em relação à temperatura pode ser aproximada pela expressão de Rabotnov (12):

$$B = b \exp (-\eta/T) \quad \text{II.15}$$

em que T é dada em graus Kelvin e b e  $\eta$  são constantes experimentais.

As teorias de fluência baseadas na substituição da curva de fluência por uma linha reta são chamadas teorias de fluência em regime permanente.

A aplicação destas teorias é razoável em dois casos extremos.

O primeiro é aquele em que a peça estrutural opera durante um tempo muito longo no qual a maior parte da deformação ocorre a uma taxa constante. O outro caso é aquele de fluência em prazo muito curto, a temperatura e tensão muito alta. Neste caso o período de fluência primária é praticamente inexistente e a taxa de deformação pode ser considerada constante desde o início.

A idealização da curva de fluência como uma linha reta não é possível quando a fluência transitória é muito grande. Entretanto, mesmo nesses casos pode-se introduzir uma simplificação devida à similaridade geométrica das curvas de fluência (7).

Sempre é possível descrever os primeiros estágios de fluência através de uma expressão do tipo

$$\dot{\epsilon} = F'(\sigma)F''(t) \quad \text{II.16}$$

Uma forma bastante usada dessa expressão é

$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n t^m \quad \text{II.17}$$

com  $m$  entre 0,25 e 0,5.

De qualquer maneira, em virtude da grande dispersão dos dados experimentais a aproximação da curva por uma reta passando pela origem é coerente com a precisão dos dados experimentais.

Andrade (12) tentou descrever a curva de fluência como um todo através da expressão:

$$\epsilon = \beta_1 t^{1/3} + \beta_2 t \quad \text{II.18}$$

correspondendo o primeiro termo à parte inicial da curva.

Nadai (12) propôs a fórmula

$$\dot{\epsilon}/a = 2 \operatorname{senh}(\sigma/b) \quad \text{II.19}$$

em que  $a$  e  $b$  são constantes experimentais.

Söderberg (12) propôs

$$\dot{\epsilon}/a = \exp(\sigma/b) - 1 \quad \text{II.20}$$

em que  $a$  e  $b$  são constantes experimentais.

Odqvist (12) propôs uma importante melhoria na teoria da fluência em regime permanente. Na fig. II.7 o prolongamento da linha reta da fluência permanente intercepta o eixo das deformações em um valor  $\epsilon_0$ , função da tensão  $\sigma$ . A curva é substituída pela linha OAB. A deformação  $\epsilon_0$  compõe-se de três partes: a deformação elástica, a deformação plástica instantânea e a deformação de fluência que corresponde à primeira parte da curva.

Segundo Odqvist (12), a lei de fluência é dada por:

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{E} \dot{\sigma} + K g'(\sigma) \dot{\sigma} + \dot{\bar{\epsilon}}(\sigma) \quad \text{II.21}$$

em que

$\dot{\epsilon}$  = derivada da deformação em relação ao tempo

$g(\sigma)$  = soma da deformação plástica inicial e da deformação de fluência correspondente à primeira parte da curva

$g'(\sigma)$  = derivada de  $g(\sigma)$  em relação a  $\sigma$

$\bar{\epsilon}(\sigma)$  = deformação de fluência correspondendo ao regime permanente

$K$  = a unidade quando  $\dot{\sigma} > 0$ , ou quando o valor da tensão é maior do que qualquer outro valor anterior.

Com auxílio da Fig. II.8 descreve-se abaixo o resultado que uma equação deste tipo fornece.

A partir do ponto A, em que a tensão começa a diminuir, continua a haver fluência, enquanto a deformação plástica acumulada  $g(\sigma_A)$  permanece constante e a deformação elástica diminui proporcionalmente à diminuição da tensão. A partir do ponto B a tensão aumenta novamente. Mas como  $K$  era zero antes, o novo ponto de escoamento é C, onde a tensão é novamente  $\sigma_A$ . Somente a partir de C ocorre deformação plástica adicional, com  $\sigma > \sigma_A$ .

A equação de Odqvist, com expressões exponenciais para  $g(\sigma)$  e  $\bar{\epsilon}(\sigma)$ , tem sido aplicada com sucesso a diversos tipos de problemas, em particular a estudos relacionados com ligas de alumínio.

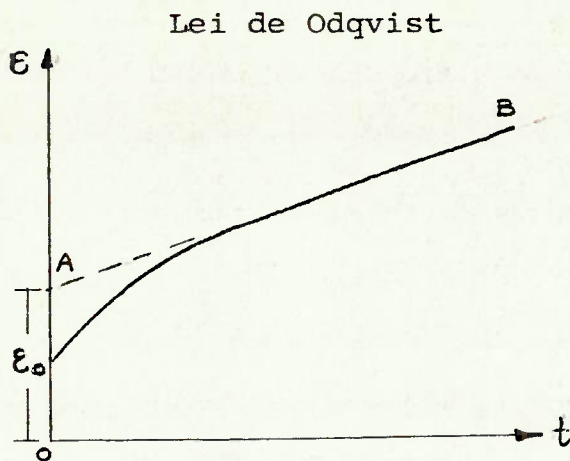


Fig. II.7

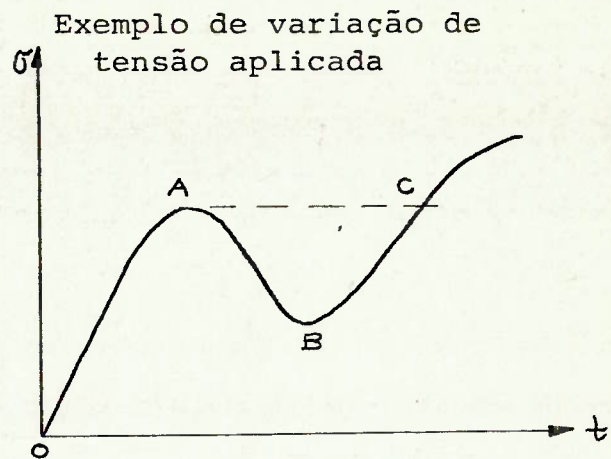


Fig. II.8

O principal aperfeiçoamento das curvas de fluência é aquele relacionado com a dependência da fluência em relação à temperatura. Teorias que tentam explicar esta dependência (12) baseiam-se em hipóteses sobre o mecanismo interno ao processo. Admite-se que a deformação plástica é associada ao movimento de certos elementos estruturais, causado pela temperatura.

Em um dado instante cada um dos elementos estruturais tem uma energia  $e$  e a distribuição de energia entre os elementos estruturais segue a lei de Maxwell.

Assim, se a probabilidade de que um elemento esteja entre  $e$  e  $e + de$  for  $pde$  o valor de  $p$  será dado pela expressão

$$p = \frac{1}{RT} \exp\left(-\frac{e}{RT}\right) \quad \text{II.22}$$

onde  $R$  é a constante universal dos gases perfeitos.

Admitindo-se que o elemento se desloque quando sua energia de ativação exceder um valor  $e_0$ , o número relativo de elementos que se deslocam é dado por

$$\int_{e_0}^{\infty} pde = \exp\left(-\frac{e_0}{RT}\right) \quad \text{II.23}$$

Como a taxa de fluência deve ser proporcional ao número de elementos ativados pode-se escrever

$$\dot{\epsilon} \approx \exp\left(-\frac{e_0}{RT}\right) f(\sigma) \quad \text{II.24}$$

em que o sinal  $\approx$  indica proporcionalidade.

Diversos autores derivaram expressões mais ou menos nas linhas expostas acima. Entre eles citam-se Dorn, Zhurkov, Mott e Nabarro, Livshits (12).

Como um dos grandes problemas dos ensaios de fluência é a sua grande duração, estudos foram feitos sobre a relação temperatura-tempo. O tempo de ensaio pode ser reduzido aumentando-se a temperatura. Larson e Miller propuseram um parâmetro dado por

$$(c + \log_{10} t) T = \text{constante} \quad \text{II.25}$$

em que

$t$  = tempo em horas

$c$  = constante aproximadamente igual a 20 para todos os materiais

$T$  = temperatura em graus Kelvin

Dois ensaios são equivalentes quando a expressão acima tem o mesmo valor.

### II.3.2 AS TEORIAS CLÁSSICAS DE ENDURECIMENTO POR DEFORMAÇÃO E POR ENVELHECIMENTO

Se os dados de fluência à tração constante forem representados por uma expressão do tipo

$$\epsilon = \sigma^n G(t) \quad \text{II.26}$$

bastará uma diferenciação em relação ao tempo para se ter a expressão na forma

$$\dot{\epsilon} = B \sigma^n$$

em que o valor de  $B$  será

$$dG/dt$$

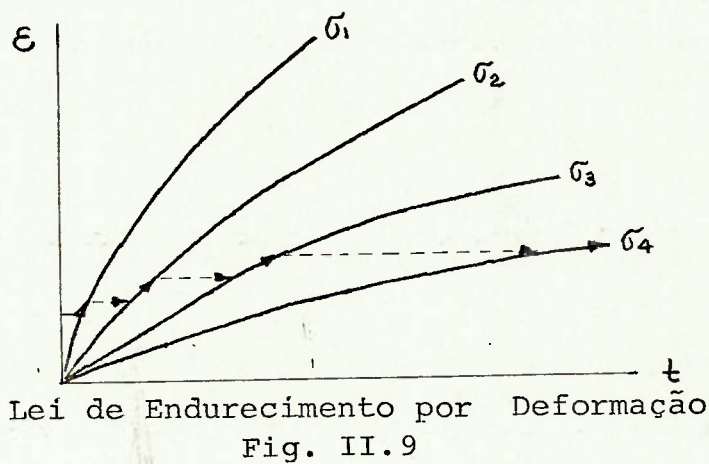
Considere-se agora o caso em que as tensões variam com o tempo.

Se o material for carregado com uma tensão  $\sigma_1$  durante um tempo  $t_1$  e depois por uma tensão  $\sigma_2$ , a resposta a  $\sigma_2$  dependerá das alterações estruturais que ocorrem durante o processo anterior de deformação.

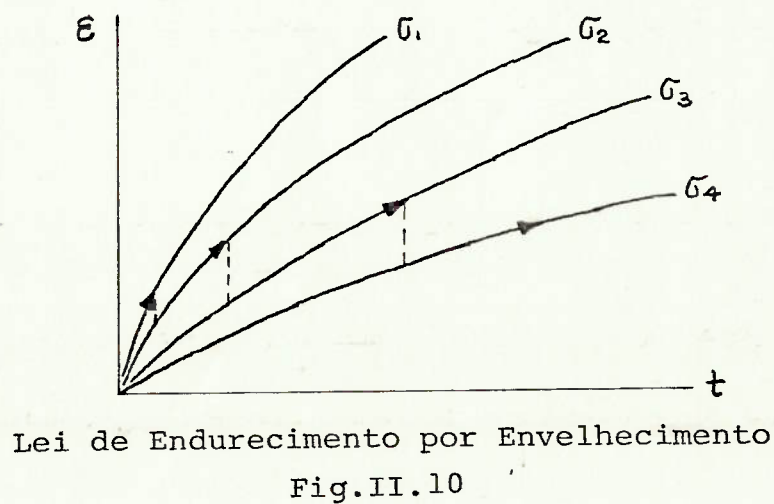
Além disso o caminho de carregamento parece influir sobre estas alterações.

Entretanto, no estado atual do conhecimento, uma análise de tensões deve basear-se em certas hipóteses sobre a dependência da fluência em relação ao que aconteceu antes.

Na lei de endurecimento por deformação admite-se que a taxa de fluência dependa da tensão instantânea, da temperatura e da deformação acumulada, e que independa do histórico de tensão e temperatura. Sob uma tensão variável a deformação é acumulada seguindo-se o caminho da Fig.II.9



Na lei de endurecimento por envelhecimento admite-se que a taxa de fluência dependa da tensão instantânea e da temperatura e seja também uma função do tempo total decorrido desde o início do processo de fluência. O caminho percorrido é mostrado na Fig. II.10



A comparação entre as predições dos dois modelos é ilustrada na Fig. II.11

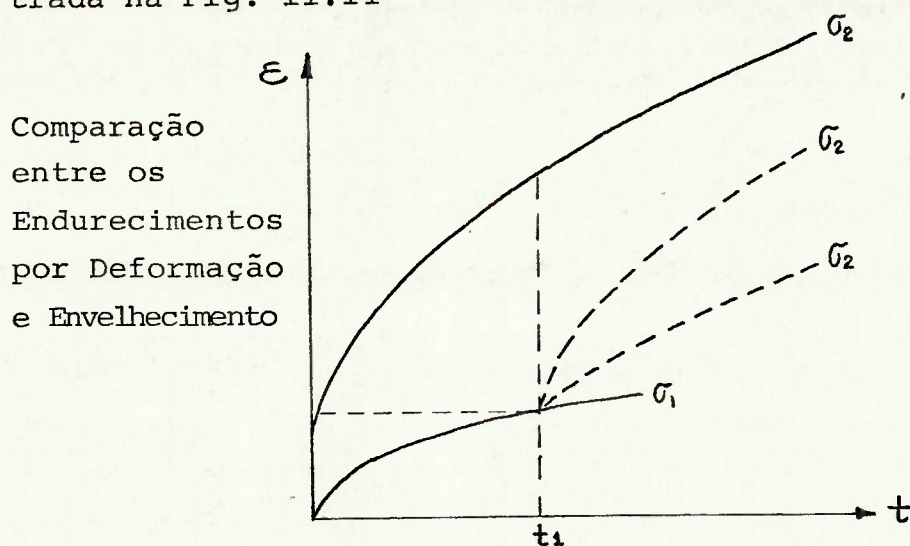


Fig.II.11

No endurecimento por deformação "desloca-se" a curva para a direita enquanto no endurecimento por envelhecimento "desloca-se" a curva para baixo.

Matematicamente os dois métodos podem ser descritos (7) admitindo-se que os dados de ensaios a tensão constante e a uma dada temperatura possam ser expressos por

$$\varepsilon = A \sigma^n t^m \quad \text{II.27}$$

Derivando-se em relação ao tempo obtém-se a expressão da lei de endurecimento por envelhecimento:

$$\dot{\varepsilon} = m A \sigma^n t^{m-1} \quad \text{II.28}$$

A expressão da lei de endurecimento por deformação é obtida tomando-se a raiz  $m$  antes da derivação:

$$\dot{\varepsilon} = m (A \sigma^n \varepsilon^{m-1})^{1/m} \quad \text{II.29}$$

Equações que, como II.29, consideram o histórico de deformação são chamadas equações de estado.

Para problemas nos quais as tensões relaxam gradualmente de um estado elástico inicial para o de fluência em regime permanente, as duas teorias fornecem resultados muito semelhantes (7).

Evidentemente uma expressão linear em relação ao tempo produzirá os mesmos resultados nos dois modelos.

### II.3.3 OUTRAS EQUAÇÕES DE ESTADO

Hart (14) admitiu que a deformação total acumulada pode ser decomposta, em qualquer tempo, em três componentes:

$$\epsilon_{TOTAL} = \epsilon^e + \epsilon^a + \epsilon^p \quad \text{II.30}$$

em que

$\epsilon^e$  é a deformação elástica

$\epsilon^a$  é a deformação anelástica, completamente recuperável na remoção da carga

$\epsilon^p$  é a deformação permanente, irrecuperável e dependente do caminho de carregamento.

Para um carregamento permanente a experiência mostra que  $\epsilon^a \cong 0$ . A deformação  $\epsilon^p$  inclui as deformações plásticas dependente e independente do tempo.

Hart observou que, para amostras do mesmo material, à mesma temperatura, mas com diferentes estados iniciais, as curvas  $\log \sigma - \log \dot{\epsilon}^p$  formam uma família de curvas de um parâmetro e que esta família de curvas obedece a uma equação de estado do tipo

$$\sigma^* = y(\sigma, \dot{\epsilon}^p) \quad \text{II.31}$$

em que

$\sigma^*$  é uma variável de estado bem definida, chamada dureza, que caracteriza o estado presente de deformação do material.

Em um certo tempo  $t$  a dureza depende do histórico de deformação até o tempo  $t$ . Quando se mantém constante a deformação  $\epsilon^p$ , o que aproximadamente ocorre em um ensaio de relaxação, a dureza permanece constante.



Baseado em suas experiências Hart chegou à seguinte expressão da equação de estado:

$$\dot{\epsilon}^P = A(\sigma, \sigma^*) = (\sigma^*/G)^m f \exp(-z/RT) \mathcal{F}(\sigma/\sigma^*) \quad \text{II.32}$$

em que

f = coeficiente arbitrário com as dimensões de frequência

R = constante dos gases

G = módulo isotérmico de rigidez

m = constante do material com valores entre 3 e 8

z = medida da energia de ativação térmica, função da temperatura

T = temperatura

$\mathcal{F}$  = função obtida experimentalmente.

A teoria de Hart foi aplicada a diversos metais e ligas e, segundo (14), forneceu resultados superiores às teorias expostas anteriormente, principalmente no que se refere à sensibilidade ao histórico de deformação.

Outras teorias envolvendo equações de estado foram apresentadas por Schapery, Rashid e Valanis.

Schapery (15) desenvolveu uma teoria de viscoelasticidade não linear, com base em considerações termodinâmicas. Tem uma forma semelhante ao modelo de Boltzman da viscoelasticidade linear. O tempo é substituído por um parâmetro chamado tempo reduzido. O modelo de Rashid também se baseia no conceito de tempo reduzido e o de Valanis baseia-se em considerações termodinâmicas.

Sanders e Haisler (15) aplicaram o modelo de Schapery a um aço inoxidável e obtiveram resultados que, como os próprios autores reconhecem, não são piores nem melhores do que aqueles obtidos através da teoria clássica de endurecimento por deformação, quando se comparam esses resultados com os dados experimentais.

Observe-se entretanto que as teorias baseadas em equações de estado mais complicadas vem sendo pesquisadas com o objetivo de se obterem melhores resultados nos casos em que a carga varia ciclicamente, seja ela térmica ou outra qualquer.

Estes casos são frequentes em equipamentos industriais e neles as novas teorias parecem ser bem sucedidas, segundo a literatura.

Um modelo viscoelástico para o aço inoxidável 304 foi desenvolvido por Findley (23), para temperaturas em torno de  $600^{\circ}\text{C}$ . A deformação é representada em suas componentes elástica, plástica (independente do tempo), viscoelástica (recuperável, dependente do tempo) e viscosa (não recuperável, dependente do tempo).

Como o comportamento da fluência é muito sensível a pequenas mudanças na tensão, na temperatura, na composição do material e no método de fabricação da peça, a escolha de uma expressão simples para o cálculo de fluência é geralmente justificada e assim na prática, a expressão mais utilizada é a de Bailey, equação II.14. Entretanto o emprego do método de elementos finitos torna relativamente simples o uso de qualquer expressão, se não se considerar o aumento no tempo de cálculo em computador.

## II.4 O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS: FORMULAÇÃO GERAL E TRATAMENTO DOS MODELOS REOLÓGICOS DO CONCRETO E DOS METAIS

### II.4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

No contexto deste trabalho foram elaborados dois programas de computador, um para análise de transmissão de calor e outro para análise de tensões, pelo método de elementos finitos. Os programas foram aplicados ao estudo dos exemplos do cap. III e são apresentados no Apêndice. Descrevem-se, a seguir, as diretrizes para sua aplicação, na análise de uma estrutura, e as formulações em que se baseiam estes programas.

Como já dito anteriormente, a análise de tensões, em estruturas submetidas a temperaturas elevadas, deve ser precedida da determinação da distribuição de temperaturas. Conhecendo-se as temperaturas, determinam-se os valores das propriedades físicas, como por exemplo, do módulo de elasticidade, e calculam-se as tensões térmicas.

A determinação do campo de temperaturas em uma estrutura de concreto, nos primeiros dias após a concretagem, é, essencialmente, um problema de análise de condução de calor em regime transitório.

O concreto é lançado à temperatura ambiente ou a uma temperatura inferior à ambiente com o emprego de refrigeração. A temperatura se eleva em virtude da reação exotérmica de hidratação do cimento, atingindo o valor máximo, normalmente da ordem de 35 a 60°C, em um prazo da ordem de 24 a 72 horas. Na análise de transmissão de calor acompanha-se, então, o processo de geração interna de energia térmica e o transporte desta energia para o meio ambiente, obtendo-se o histórico do campo de temperatura na estrutura. Como se pode deduzir da Fig. I.1, a análise deve ser feita para um período da ordem de 160 a 400 horas a partir do lançamento. Neste prazo já terão ocorrido as tensões térmicas significativas. A necessidade de se conhecerem as ten-

sões em diversos pontos da estrutura é, por si só, um motivo suficiente para o emprego de método numérico como o de diferenças finitas ou o de elementos finitos.

Da observação da Fig. I.1 deduz-se também que, dado que o módulo de elasticidade varia muito rapidamente nos primeiros dias após a concretagem, a análise de tensões térmicas deve ser feita ao longo do tempo, considerando-se acréscimos de tensão, calculados a partir dos acréscimos de temperatura, e considerando-se o valor do módulo de elasticidade correspondente a cada instante. Finalmente, levando-se em conta o comportamento viscoelástico do concreto, devem ser feitas, também ao longo do tempo, as correções devidas à relaxação das tensões.

Em componentes de equipamentos, com exceção dos reatores nucleares, não ocorre geração interna de energia térmica na estrutura. O que se tem, normalmente é a transmissão de calor de um meio a outro através da estrutura. O regime transitório tem lugar, geralmente, ao se ligar ou desligar o equipamento.

Nessas ocasiões podem ocorrer gradientes térmicos elevados cujo efeito só começa a ser reduzido pela relaxação quando as temperaturas atingem valores superiores àqueles em que se inicia a faixa de fluência do material (aproximadamente  $400^{\circ}\text{C}$  para os aços).

Assim, a análise de transmissão de calor em regime transitório, em equipamentos metálicos, tem interesse na determinação da evolução dos gradientes térmicos, a partir do momento em que o equipamento é ligado ou desligado. Uma vez determinado um campo de temperatura na faixa de fluência, a análise de tensões considerando a relaxação vai determinar o campo de tensões em que o material entra em regime permanente de fluência, bem como o tempo necessário para que isto aconteça. É possível, então, o cálculo da vida útil do equipamento, em função da fluência em regime permanente, como será mostrado nos exemplos.

Se o campo final de temperaturas estiver abaixo da faixa de fluência, as tensões correspondentes ao regime elástico permanecerão atuando na estrutura, pois esta estará operando no regime elástico.

Apresentam-se, a seguir, as formulações gerais para as análises de transmissão de calor e de tensões, através do método de elementos finitos, introduzindo-se, logo após, o tratamento dos modelos reológicos.

#### II.4.2 ANÁLISE DE TRANSMISSÃO DE CALOR

A equação diferencial que governa a condução de calor é, em sua forma mais geral, para duas dimensões:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + q = \frac{\partial}{\partial t} (\rho c T) \quad \text{II.33}$$

em que

$k_x, k_y$  = condutividade térmica

$q$  = quantidade de calor gerada internamente por unidade de volume e por unidade de tempo

$\rho$  = densidade

$c$  = calor específico

As condições de contorno comumente encontradas na prática podem ser assim resumidas:

a) temperaturas especificadas no contorno

b) coeficientes de transmissão de calor por convecção, especificados no contorno:

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} l_y + h(T_s - T_\infty) = 0$$

com

$l_x, l_y$  = cossenos diretores da normal externa à superfície de contorno

$h(T_s - T_\infty)$  = transmissão de calor por convecção, sendo  $h$  o coeficiente de convecção e  $T_s$  e  $T_\infty$  as temperaturas no contorno e no meio circundante

Demonstra-se (1) que a solução da equação II.33 torna mí-

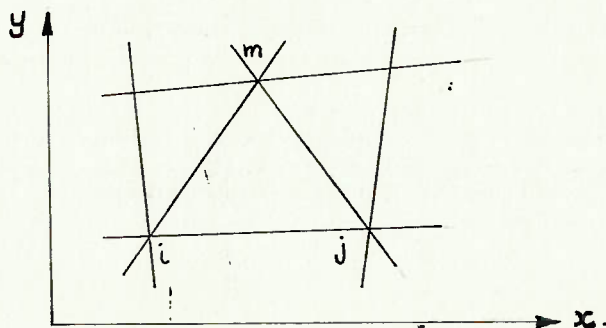
nimo o valor da expressão

$$I = \iint \left\{ \frac{1}{2} \left[ k_x \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + k_y \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right] - qT + \rho c T \frac{\partial T}{\partial t} \right\} dx dy + \int_S \frac{1}{2} h (T_S - T_{\infty})^2 dS \quad \text{II.34}$$

em que a segunda integral vale para as regiões do contorno em que há convecção.

Apresentam-se aqui as equações para duas dimensões, mas a extensão para três dimensões é imediata.

Considere-se a região de interesse dividida em sub-regiões ou elementos finitos triangulares, como mostra a Fig. II.12.



Malha de Elementos

Fig. II.12

A temperatura  $T$  em qualquer ponto do elemento pode ser representada por um polinômio linear da forma

$$T = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad \text{II.35}$$

Os três coeficientes  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  e  $\alpha_3$  podem ser calculados resolvendo-se o conjunto de equações que resulta da substituição das coordenadas dos nós em (II.35). Obtém-se então a seguinte expressão para a temperatura em qualquer ponto do elemento:

$$T(x, y) = \frac{1}{2\Delta} \left[ (a_i + b_i x + c_i y) T_i + (a_j + b_j x + c_j y) T_j + (a_m + b_m x + c_m y) T_m \right] \quad \text{II.36}$$

em que

$$\Delta = \text{área do triângulo}$$

$$a_i = x_j y_m - y_j x_m \quad b_i = y_j - y_m \quad c_i = x_m - x_j \quad \text{etc}$$

A minimização do funcional pode então ser realizada em relação às temperaturas dos nós, substituindo-se (II.36) em (II.34) e calculando-se as contribuições de cada elemento para cada derivada do tipo

$$\frac{\partial I}{\partial T_i} \quad \text{II.37}$$

e igualando-se a zero a soma das contribuições para cada nó.

Chega-se assim a um sistema de equações simultâneas que, em forma matricial, se escreve:

$$[K] \{T(t)\} = \{Q\} - [C] \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\} \quad \text{II.38}$$

em que

$[K]$  = matriz de condutibilidade da estrutura, dependente da geometria e das propriedades físicas do material e afetada pelas condições de convecção no contorno.

$\{T(t)\}$  = vetor de temperatura dos nós no instante  $t$

$[C]$  = matriz de capacidade térmica da estrutura, dependente da geometria e das propriedades físicas do material

$\{Q\}$  = vetor de geração interna de calor, afetado pelas condições de convecção no contorno.

Considerando-se um intervalo de tempo finito  $\Delta t$  e conhecendo-se as temperaturas no instante  $t - \Delta t$ , as temperaturas no instante  $t$  serão dadas por:

$$\{T(t)\} = \left( [K] + \frac{1}{\Delta t} [C] \right)^{-1} \left( \{Q\} + \frac{1}{\Delta t} [C] \{T(t - \Delta t)\} \right) \quad \text{II.39}$$

Havendo geração de calor variável o vetor  $\{Q\}$  deve ser calculado a cada intervalo de tempo.

O calor gerado por unidade de volume e por unidade de tempo, nas estruturas de concreto, é obtido através da determinação, em laboratório, da evolução da temperatura do concreto durante a hidratação em condições adiabáticas:

$$q = \rho c \frac{dT_a}{dt}$$

em que

$T_a$  = temperatura adiabática

Quanto às condições de contorno, há normalmente, uma parte do contorno da estrutura em que as temperaturas são especificadas, havendo no restante, transmissão de calor por convecção.

É fácil verificar que as condições em que se realiza a convecção têm uma influência desprezível sobre a evolução do campo de temperaturas no interior da estrutura.

Dois casos extremos ocorrem geralmente na prática: convecção livre, pela exposição da estrutura ao ar ambiente; e convecção forçada, pela exposição da estrutura à água corrente.

No primeiro caso o coeficiente de convecção é da ordem 2 a 10 Kcal/m<sup>2</sup>h°C.

A título de exemplo, considere-se uma parede vertical de 2 m de altura, exposta ao ar ambiente.

Admita-se que o ar longe da parede esteja à temperatura de 20°C e que a temperatura na superfície da parede seja de 30°C. Para estas condições o cálculo do coeficiente de convecção fornecerá o valor de 3,00 kcal/m<sup>2</sup>h°C aproximadamente. Admitindo-se que a condutividade térmica do concreto seja de 1 kcal/m h°C, o número de Biot, que relaciona as resistências térmicas interna e externa, será:

$$Bi = \frac{hL}{k} = \frac{3 \cdot 2}{1} = 6$$

Isto significa que a resistência térmica interna é seis vezes maior do que a resistência térmica externa.

Com a utilização da convecção forçada, o coeficiente de convecção aumentaria substancialmente e, com ele, o número de Biot.

Em outras palavras, pode-se dizer que a convecção tem uma influência muito pequena sobre a evolução do campo de temperaturas, a qual é controlada pela condução no interior da estrutura, pela taxa de geração interna de calor e pela capacidade térmica do concreto.

Em equipamentos metálicos, como por exemplo, em tubula-



ções e vasos de pressão, o coeficiente de transmissão de calor por convecção assume grande importância, ao contrário do que se viu para estruturas de concreto, uma vez que, além de os metais terem alta condutibilidade térmica, frequentemente esses equipamentos destinam-se justamente a proporcionar a transmissão de calor entre dois meios ou a conter fluídos a altas temperaturas, como é o caso dos trocadores de calor e das tubulações de vapor. Assim, nestes casos, a determinação do campo de temperaturas na peça exige uma análise de transmissão de calor mais complexa.

Para uma exposição mais detalhada da aplicação do método de elementos finitos à análise de condução de calor recomenda-se (2) ou (25).

#### II.4.3 ANÁLISE DE TENSÕES

O Princípio dos Trabalhos Virtuais estabelece que, em uma estrutura em equilíbrio, dada uma certa condição de carregamento, os deslocamentos reais  $u$ ,  $v$  e  $w$  são tais que a variação de primeira ordem da energia potencial total é estacionária (5). Demonstra-se que o extremo é um mínimo. O que foi dito pode ser expresso por:

$$\delta \left[ \int V_0 dV - \int (\bar{X}_u + \bar{Y}_v + \bar{Z}_w) dS - \int (X_u + Y_v + Z_w) dV \right] = 0 \quad \text{II.41}$$

em que

$\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ,  $\bar{Z}$  = forças de superfície por unidade de área

$X$ ,  $Y$ ,  $Z$  = forças de massa por unidade de volume

$\delta$  = símbolo de variação

$V_0$  é a energia ou trabalho de deformação por unidade de volume e se exprime por:

$$V_0 = \frac{1}{2} (\sigma_x \epsilon_x + \sigma_y \epsilon_y + \sigma_z \epsilon_z + \tau_{xy} \delta_{xy} + \tau_{yz} \delta_{yz} + \tau_{xz} \delta_{xz}) \quad \text{II.42}$$

Serão considerados a seguir problemas de elasticidade bidimensionais e, como na condução de calor, elementos triangulares planos.

Admitindo-se, como se fez para a temperatura, uma variação linear para os deslocamentos, estes podem ser expressos por:

$$u(x,y) = \frac{1}{2\Delta} \left\{ (a_i + b_i x + c_i y) u_i + (a_j + b_j x + c_j y) u_j + (a_m + b_m x + c_m y) u_m \right\} \quad \text{II.43}$$

$$v(x,y) = \frac{1}{2\Delta} \left\{ (a_i + b_i x + c_i y) v_i + (a_j + b_j x + c_j y) v_j + (a_m + b_m x + c_m y) v_m \right\} \quad \text{II.44}$$

As deformações no elemento são expressas em função dos deslocamentos, por:

$$\{\epsilon\}^e = [B] \{d\}^e$$

em que

$\{\epsilon\}^e$  = vetor de deformações no elemento

$[B]$  = matriz deformação/deslocamento do elemento

$$= \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_m & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_m \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_m & b_m \end{bmatrix}$$

$\{d\}^e$  = vetor dos deslocamentos nodais

As tensões são expressas em função das deformações por

$$\{\sigma\}^e = [D] \{\epsilon\}^e \quad \text{II.45}$$

em que

$\{\sigma\}^e$  = vetor das tensões no elemento

$[D]$  = matriz tensão/deformação ou matriz de elasticidade

A matriz de elasticidade é dada pela lei de Hooke e depende dos módulos de elasticidade e de Poisson.

A expressão da energia potencial total que aparece entre colchetes na equação (II.41) pode agora ser escrita, em forma matricial:

$$V = \frac{1}{2} \int_V \{E\}^T \{G\} dV - \int_S \{f\}^T \{F_s\} dS - \int_V \{f\}^T \{F_v\} dV \quad \text{II.46}$$

em que

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} u(x,y) \\ v(x,y) \end{Bmatrix}$$

$F_s$  = forças de superfície por unidade de área

$F_v$  = forças de massa por unidade de volume.

Substituindo-se  $\{f\}$  pelas expressões em função dos deslocamentos nodais, indicando-se o sistema de cargas por  $\{F\}$  e considerando-se as relações deformação/deslocamento e tensão/deformação vem, após algumas transformações:

$$V = \frac{1}{2} \{d\}^T \{K\} \{d\} - \{d\}^T \{F\} \quad \text{II.47}$$

em que

$[K]$  = matriz de rigidez da estrutura

$$e \quad [K_{ij}] = \sum [k_{ij}]^e$$

$[k]$  = matriz de rigidez do elemento

$$= \int_V [B]^T [D] [B] dV$$

Igualando-se a zero as derivadas parciais da energia potencial total do sistema em relação aos deslocamentos nodais, obtêm-se os valores desses deslocamentos que correspondem às condições de equilíbrio:

$$\left\{ \frac{\partial V}{\partial d} \right\} = [K] \{d\} - \{F\} = 0 \quad \text{II.48}$$

Os deslocamentos nodais são então

$$\{d\} = [K]^{-1} \{F\} \quad \text{II.49}$$

e as tensões em cada elemento são:

$$\{G\}^e = [D] [B]^e \{d\}^e \quad \text{II.50}$$

Quanto às tensões térmicas, considere-se o exemplo de

uma barra que sofra um acréscimo uniforme de temperatura, passando de  $T_1$  a  $T_2$ . Se a barra for livre para se expandir, haverá deformação térmica, mas não tensão térmica. Se for restringida a expansão segundo uma direção, a tensão térmica uniaxial será

$$\sigma = -E\alpha(T_2 - T_1) = -E\alpha\theta \quad \text{II.51}$$

sendo  $\alpha$  o coeficiente de expansão térmica.

Se a barra tiver duas restrições à expansão, as tensões correspondentes serão:

$$\sigma = -\frac{E\alpha\theta}{1-\nu} \quad \text{II.52}$$

Havendo restrição nas três direções, as três tensões serão dadas por

$$\sigma = -\frac{E\alpha\theta}{1-2\nu} \quad \text{II.53}$$

que é o máximo valor possível da tensão térmica e tem as características de uma pressão hidrostática. Observe-se que o aquecimento uniforme não produz tensões de cisalhamento.

Entretanto, tensões térmicas podem ser induzidas, na ausência de outras restrições, por aquecimento não uniforme. Neste caso, regiões mais aquecidas do corpo têm sua expansão restringida pelas menos aquecidas.

A partir das equações diferenciais do equilíbrio de um corpo e das expressões das condições de contorno na sua superfície, derivam-se (5) soluções analíticas para o problema de tensões térmicas em um corpo submetido a aquecimento não uniforme. Entretanto, no método de elementos finitos, em cada elemento a temperatura é, normalmente, considerada constante e igual à média das temperaturas dos nós. Assim, a região submetida a aquecimento não uniforme é discretizada em sub-regiões de aquecimento uniforme.

Basta então, para aquecimento uniforme ou não, que se considerem as deformações térmicas como deformações impostas inicialmente à estrutura e se acrescentem ao valor do carregamento forças que produziram essas deformações. As condições de contorno eliminam o efeito das forças quando está restringida a livre deformação.

As forças térmicas no elemento são então:

$$\{F^r\}^e = \int_V [B]^T [D] \{\epsilon^r\}^e dV \quad \text{II.54}$$

e as tensões finais são

$$\{\sigma\}^e = [D][B]^e \{d\}^e - [D]\{\epsilon^r\}^e \quad \text{II.55}$$

em que, para estado plano de tensões,

$$\{\epsilon^r\}^e = \begin{Bmatrix} \alpha \theta \\ \alpha \theta \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{II.56}$$

uma vez que não há deformações de cisalhamento na dilatação térmica livre.

Para estado plano de deformação, como mostra a exposição anterior, o vetor de deformação térmica passa a ser:

$$\{\epsilon^r\}^e = (1+\nu) \begin{Bmatrix} \alpha \theta \\ \alpha \theta \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{II.57}$$

#### II.4.4 ANÁLISE AXI-SIMÉTRICA

Na análise de um corpo axialmente simétrico deve-se levar em conta que, em adição às deformações e tensões axiais e radiais, correspondentes aos estados planos de tensão ou deformação, um deslocamento radial provoca uma deformação tangencial. Associada a esta deformação ocorre uma tensão tangencial.

O volume de material associado a um elemento no plano  $r, z$  é o de um corpo de revolução e as integrações devem ser feitas em relação a ele.

Os vetores de deformação e de tensões tomam as formas (2)

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_r \\ \epsilon_z \\ \epsilon_\phi \\ \gamma_{rz} \end{Bmatrix} \quad \text{e} \quad \{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_z \\ \sigma_\phi \\ \tau_{rz} \end{Bmatrix} \quad \text{II.58}$$

A matriz que define as relações deformação/deslocamento, para o elemento de secção triangular, é:

$$[B] = [B_i \mid B_j \mid B_m] \quad \text{II.59}$$

em que

$$[B_i] = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} 0 & c_i \\ b_i & 0 \\ \frac{a_i}{r} + b_i + c_i \frac{z}{r} & 0 \\ c_i & b_i \end{bmatrix} \quad \text{II.60}$$

A expressão da matriz de rigidez do elemento é dada pela expressão:

$$[k]^e = \int_V [B]^T [D] [B] dV \quad \text{II.61}$$

em que  $dV = 2\pi r dr dz$ .

Como a matriz  $[B]$  depende das coordenadas  $r$  e  $z$  há duas maneiras de se fazer a integração da expressão acima:

- Efetua-se o produto matricial e faz-se a integração de cada elemento da matriz produto. É a solução exata.
- Calcula-se  $[B]$  para as coordenadas  $\bar{r}$  e  $\bar{z}$  do centróide da secção do elemento. Obtém-se uma matriz média  $[\bar{B}]$  que conduz a um valor aproximado da integral.

Nos programas apresentados no Apêndice adotou-se a segunda solução.

No que se refere a tensões térmicas, o vetor das deformações térmicas toma a forma:

$$\{\epsilon^T\}^e = \begin{Bmatrix} \alpha \theta \\ \alpha \theta \\ \alpha \theta \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{II.62}$$

As forças nodais correspondentes às deformações térmicas escrevem-se

$$\{F\}^e = 2\pi [\bar{B}]^T [D] \{\epsilon^T\} \bar{r} \Delta \quad \text{II.63}$$

em que  $\bar{r}$  é o raio do centróide e  $\Delta$  a área da secção do elemento.

As tensões no elemento são

$$\{\bar{\sigma}\}^e = [D] [\bar{B}] \{d\}^e - [D] \{\epsilon^T\}^e \quad \text{II.64}$$

Para análise de transmissão de calor em corpos axialmente simétricos a formulação é análoga.

#### II.4.5 TRATAMENTO DOS MODELOS REOLÓGICOS

## II.4.5.1 ANÁLISE DO CONCRETO

Zienkiewicz, Watson e King (11) apresentaram a formulação de elementos finitos para a análise do concreto considerando o comportamento viscoelástico. O programa do Apêndice, em sua versão para concreto, segue esta referência.

Os autores citados admitiram que o material pode ser representado por uma série finita de elementos de Kelvin, acoplados a um dispositivo de resposta elástica.

Este modelo, com apenas um elemento de Kelvin, nada mais é do que o modelo de Boltzmann, descrito em (3).

Para tensão uni-axial, o modelo de Kelvin fornece a seguinte relação constitutiva de fluência:

$$\sigma = E \varepsilon^F + C \dot{\varepsilon}^F \quad \text{II.65}$$

na qual, de acordo com a figura tem-se:

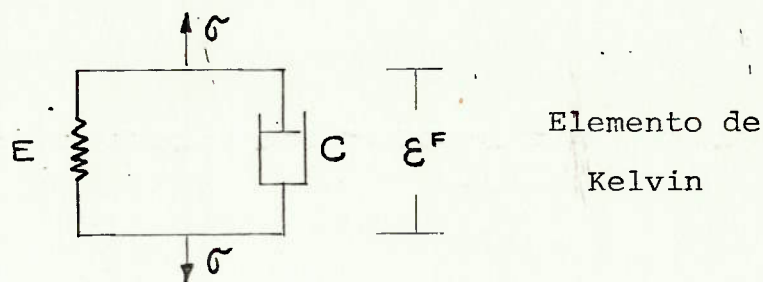


Fig.II.13

$\varepsilon^F$  = deformação de fluência, separada da deformação elástica instantânea

A equação pode ser escrita:

$$\dot{\varepsilon}^F = \frac{d\varepsilon^F}{dt} = \frac{1}{C} \sigma - \frac{E}{C} \varepsilon^F = a\sigma - b\varepsilon^F \quad \text{II.66}$$

Assim a taxa de fluência é uma função da tensão instantânea e da deformação de fluência total acumulada.

Havendo diversos elementos de Kelvin em série, a equação escreve-se simplesmente:

$$\dot{\varepsilon}^F = \sum_{r=1}^n \dot{\varepsilon}_r^F = \left( \sum_{r=1}^n a_r \right) \sigma - \sum_{r=1}^n b_r \varepsilon_r^F \quad \text{II.67}$$

em que o segundo somatório é o total acumulado das tensões de fluência dos vários elementos do modelo.

A fluência pode então ser calculada de duas maneiras. Em uma delas calcula-se o acréscimo de fluência que, para um intervalo de tempo pequeno é:

$$\Delta \varepsilon^F = \sum_{r=1}^n \Delta \varepsilon_r^F = \left[ \sum_{r=1}^n (a_r \sigma - b_r \varepsilon_r^F) \right] \Delta t \quad \text{II.68}$$

em que  $\sigma$  e  $\varepsilon_r^F$  são os valores no início do intervalo.

A outra maneira consiste em se calcular a fluência acumulada, através da integração da equação que fornece:

$$(\varepsilon_r^F)_{t+\Delta t} = (e^{-b_r \Delta t}) (\varepsilon_r^F)_t + \frac{a_r \sigma}{b_r} (1 - e^{-b_r \Delta t}) \quad \text{II.69}$$

em que

$(\varepsilon_r^F)_{t+\Delta t}$  é a fluência acumulada do elemento  $r$  no fim do intervalo

$(\varepsilon_r^F)_t$  é a fluência acumulada no início do intervalo

Os autores citados generalizam o procedimento acima para tensões multi-axiais no concreto, a partir da constatação experimental de que o coeficiente de Poisson deste material, para deformação de fluência tem aproximadamente o mesmo valor que intervem na deformação elástica.

A equação é então assim escrita:

$$\varepsilon^F = \frac{a}{D+b} \sigma \quad \text{II.70}$$

em que

$D$  é um operador diferencial

Como o operador  $a / (D + b)$  substitui o inverso do módulo de elasticidade pode-se escrever, para tensão multi-axial:

$$\{\varepsilon^F\} = \left( \frac{a}{D+b} \right) [A] \{\sigma\} \quad \text{II.71}$$

em que  $\{\varepsilon^F\}$  e  $\{\sigma\}$  são os vetores de componentes de deformação de fluência e de tensão e a matriz  $[A]$  depende apenas do coeficien



te de Poisson e toma a forma

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \text{ ou } \begin{bmatrix} (1+\nu)(1-\nu) & -\nu(1+\nu) & 0 \\ -\nu(1+\nu) & (1+\nu)(1-\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \quad \text{II.72}$$

para estado duplo de tensão e deformação, respectivamente.

As equações II.68 e II.69 transformam-se então, para estado múltiplo de tensões, em:

$$\Delta \{ \epsilon^F \} = \left[ \sum_{r=1}^n (a_r [A] \{ \sigma \} - b_r \{ \epsilon_r^F \}) \right] \Delta t \quad \text{II.73}$$

e

$$\{ \epsilon_r^F \}_{t+\Delta t} = e^{-b_r \Delta t} \{ \epsilon_r^F \}_t + a_r \frac{[A] \{ \sigma \}}{b_r} (1 - e^{-b_r \Delta t}) \quad \text{II.74}$$

O roteiro de calculo é o que se indica abaixo:

1. As cargas e temperaturas são aplicadas instantâneamente à estrutura no tempo  $t=0$ , passando a agir sobre a estrutura um campo de tensões

2. Durante um pequeno intervalo de tempo  $\Delta t$  admite-se que as tensões e as propriedades do material permaneçam constantes. Calcula-se a deformação de fluência  $\{ \epsilon^F \}_1$  no fim do intervalo.

3. No início do segundo intervalo tomam-se os acréscimos de forças e temperaturas. Obtem-se assim um vetor "atualizado" de deformações térmicas e um vetor "atualizado" de cargas. Alteram-se as propriedades, de acordo com sua lei de variação em relação ao tempo.  $\{ \epsilon^F \}_1$  é considerado como uma deformação inicial imposta e o problema elástico é resolvido novamente, obtendo-se um novo campo de tensões .

Admitindo-se como antes, que o novo campo de tensões e as propriedades permaneçam constantes durante o intervalo  $\Delta t_2$ , calcula-se a deformação de fluência total  $\{ \epsilon^F \}_2$  no fim deste intervalo.

Havendo acréscimo de temperatura, os acréscimos de forças no elemento, a cada intervalo de tempo são:

$$\{\Delta F\}^e = \int_V [B]^T [D] (\{\Delta \varepsilon^T\} + \{\Delta \varepsilon^F\}) dV \quad \text{II.75}$$

Para o cálculo das tensões substitui-se  $\varepsilon^T$  por  $\varepsilon^T + \varepsilon^F$  em II.55, obtendo-se:

$$\{\sigma\}^e = [D][B]^e \{d\}^e - [D] \{\varepsilon^T + \varepsilon^F\}^e \quad \text{II.76}$$

#### II.4.5.2 ANÁLISE DOS METAIS

Greenbaum e Rubinstein (16) apresentaram a solução por elementos finitos para análise de fluência em corpos axialmente simétricos. Mostraram a aplicação do método a um tubo de parede espessa submetido a pressão interna e a um vaso de pressão. O programa de computador elaborado para este trabalho baseia-se no artigo citado.

As principais hipóteses admitidas são:

- As deformações de fluência não causam alteração de volume
- As taxas principais de deformação de cisalhamento são proporcionais às correspondentes tensões principais de cisalhamento
- As direções das deformações normais principais coincidem com as direções das correspondentes tensões normais principais.

Estas hipóteses são satisfeitas pelas seguintes relações tensão-deformação da teoria do escoamento plástico de Saint Venant-von Mises, escritas em coordenadas cilíndricas:

$$\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} = \frac{3}{2} \frac{(\sigma_r - \bar{\sigma})}{\sigma_e} \quad \frac{\varepsilon_\phi}{\varepsilon_e} = \frac{3}{2} \frac{(\sigma_\phi - \bar{\sigma})}{\sigma_e} \quad \text{II.77}$$

$$\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_e} = \frac{3}{2} \frac{(\sigma_z - \bar{\sigma})}{\sigma_e} \quad \gamma_{rz} = \frac{3}{\sigma_e} (\tau_{rz})$$

em que as expressões entre parenteses são elementos do tensor antiesférico de tensões e

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_r + \sigma_\varphi + \sigma_z}{3}$$

$\bar{\sigma}_e$  = tensão de escoamento obtida no ensaio de tração ou compressão simples

$\bar{\epsilon}_e$  = deformação de uma barra de material incompressível sob tração ou compressão simples.

Nesta teoria do escoamento plástico a tensão  $\bar{\sigma}_e$  é relacionada com o estado múltiplo de tensões pela expressão:

$$\bar{\sigma}_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\varphi)^2 + (\sigma_\varphi - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + 6\tau_{rz}^2} \quad \text{II.78}$$

No ensaio de fluência a deformação  $\bar{\epsilon}_e$  é a deformação de fluência obtida no ensaio uniaxial, sob a tensão  $\bar{\sigma}_e$ . As equações podem ser escritas para o incremento de deformação de fluência como segue:

$$\Delta \epsilon_r^F = \frac{\Delta \epsilon_e^F}{2 \bar{\sigma}_e} (2 \sigma_r - \sigma_\varphi - \sigma_z)$$

$$\Delta \epsilon_\varphi^F = \frac{\Delta \epsilon_e^F}{2 \bar{\sigma}_e} (2 \sigma_\varphi - \sigma_r - \sigma_z) \quad \text{II.79}$$

$$\Delta \epsilon_z^F = \frac{\Delta \epsilon_e^F}{2 \bar{\sigma}_e} (2 \sigma_z - \sigma_r - \sigma_\varphi)$$

$$\Delta \gamma_{rz} = \frac{3 \Delta \epsilon_e^F}{\bar{\sigma}_e} \tau_{rz}$$

Como já se viu anteriormente, a taxa de deformação de fluência uniaxial e a tensão uniaxial podem ser relacionadas por diversas equações constitutivas.

Descreve-se a seguir o roteiro de cálculo.

Admite-se que a variação total de deformação em um dado

intervalo de tempo é:

$$\{\Delta \varepsilon\}_{\text{TOTAL}} = \{\Delta \varepsilon\} + \{\Delta \varepsilon^F\} \quad \text{II.80}$$

em que o índice F denota deformação de fluência. A variação na deformação elástica é então:

$$\{\Delta \varepsilon\} = \{\Delta \varepsilon\}_{\text{TOTAL}} - \{\Delta \varepsilon^F\} \quad \text{II.81}$$

Como foi feito para o concreto, a deformação de fluência é então tratada a cada intervalo de tempo como uma deformação inicial.

1. No tempo  $t=0$  determinam-se as deformações elásticas. Estas são admitidas constantes durante um pequeno intervalo de tempo  $\Delta t$ . Calculam-se os incrementos de deformação de fluência através da lei de fluência e do critério de escoamento plástico adotados.

2. As deformações de fluência são tomadas como deformações iniciais para o intervalo de tempo  $\Delta t_2$ . Análogamente ao que se faz para as deformações térmicas e para a fluência no concreto, calculam-se forças que produziram as deformações de fluência. São obtidos então deslocamentos compatíveis com as condições de contorno:

$$\{\Delta d\} = [K]^{-1} \{F^F\} \quad \text{II.82}$$

em que

$\{\Delta d\}$  = variação nos deslocamentos dos pontos nodais

$[K]$  = matriz de rigidez da estrutura.

As deformações totais são dadas por:

$$\{\Delta \varepsilon\}_{\text{TOTAL}} = [B] \{\Delta d\} \quad \text{II.83}$$

em que  $[B]$  define as relações deformação/deslocamento.

Os incrementos de tensão são então calculados pela equação

$$\{\Delta G\} = [D] (\{\Delta \varepsilon\}_{\text{TOTAL}} - \{\Delta \varepsilon^F\}) \quad \text{II.84}$$

em que [D] é a matriz de elasticidade.

Os incrementos de tensão são adicionados ao campo de tensões anterior, obtendo-se uma nova distribuição de tensões:

$$\{\sigma_{t+\Delta t}\} = \{\sigma_t\} + \{\Delta G\} \quad \text{II.85}$$

Com o novo campo de tensões repete-se o processo para o intervalo de tempo seguinte.

A cada intervalo de tempo haverá acréscimo de forças no elemento, em função das deformações iniciais. Havendo acréscimo de temperatura e levando-se em consideração o fato de que a fluência dos metais não envolve variação de volume, os acréscimos totais de forças no elemento, no intervalo de tempo, serão:

$$\{\Delta F\}^e = \int_V [B]^T [D] \{\Delta \varepsilon^T\} dV + 2G \int_V [B] \{\Delta \varepsilon^F\} dV \quad \text{II.86}$$

ou

$$\{\Delta F\}^e = 2\pi [\bar{B}]^T [D] \{\Delta \varepsilon^T\} \bar{r} \Delta + 4\pi G [\bar{B}]^T \{\Delta \varepsilon^F\} \bar{r} \Delta \quad \text{II.87}$$

Para os acréscimos de tensões escreve-se:

$$\{\Delta G\}^e = [D][B]\{\Delta d\} - [D]\{\Delta \varepsilon^T\}^e - 2G\{\Delta \varepsilon^F\}^e \quad \text{II.88}$$

## III. ESTUDO DE COMPONENTES DE EQUIPAMENTOS

## III.1 ANÁLISE DE UM TUBO DE AÇO

Descreve-se a seguir a análise de tensões e a previsão de vida útil de um tubo cilíndrico circular de parede espessa, com espessura constante, submetido a uma temperatura elevada.

Como os termos "parede fina" e "parede espessa" são um tanto vagos, entenda-se aqui por "espessa" uma parede em que a variação dos campos de interesse (temperatura, tensões, etc.), ao longo da espessura, não é desprezível.

Esta forma geométrica muito simples e frequentemente encontrada na literatura ocorre em vasos de pressão, tubulações, silos, componentes de geradores, turbinas e outras peças estruturais em que, por vezes, combinam-se efeitos térmicos, químicos, de força centrífuga, de força gravitacional, de pressão e de deformações impostas.

O objeto da análise é um tubo utilizado na saída de um superaquecedor de vapor (19), fabricado em aço  $2\frac{1}{4}\text{Cr1Mo}$ . O tubo rompeu longitudinalmente por fluência após uma vida de 13550 horas em serviço. A pressão de operação era de  $163 \text{ kgf/cm}^2$ . Exames da falha em laboratório mostraram que o tubo experimentou temperaturas de, no mínimo,  $650^\circ\text{C}$  em serviço. Restrições ao escoamento do vapor acumularam-se em uma curva na extremidade do tubo.

A análise de tensões elásticas e de fluência foi feita com o programa de computador apresentado no Apêndice B. O programa analisa a evolução de tensões em uma peça axialmente simétrica, utilizando as teorias de elementos finitos e de fluência em metais, expostas em capítulos precedentes.

Para a forma geométrica analisada, existem soluções analíticas para o problema elástico e para o problema de fluência. Os resultados do programa de computador são comparados com os resultados exatos.

As dimensões do tubo e o modelo de elementos finitos são mostrados na Fig. III.1.

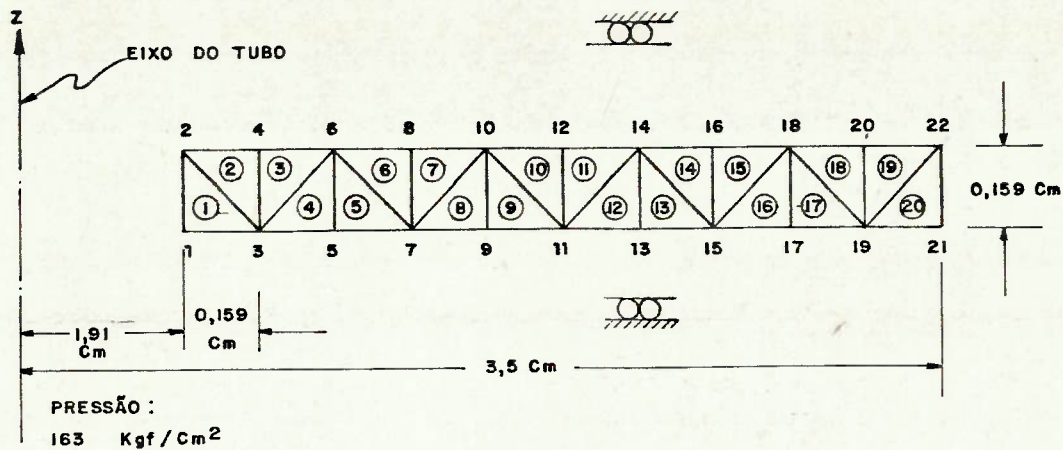


Fig. III.1

Demonstra-se (12) que a variação da deformação axial com o tempo é nula. Por outro lado admitiu-se que, durante o aquecimento, o tubo expandiu-se livremente na direção do eixo. A hipótese é razoável porque, no projeto de tubulações, procura-se normalmente minimizar as restrições à expansão térmica.

Em virtude de não se conhecer a distribuição de temperatura ao longo da espessura da parede, admitiu-se aquecimento uniforme e, portanto, ausência de tensões térmicas. Esta hipótese é algo conflitante com a definição de "parede espessa" dada acima e mais tarde será lembrada na discussão dos resultados.

Para estas condições as tensões elásticas são dadas por (5):

$$\sigma_r = \frac{a^2 p}{b^2 - a^2} \left( 1 - \frac{b^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{a^2 p}{b^2 - a^2} \left( 1 + \frac{b^2}{r^2} \right)$$

III.1

$$\sigma_z = \nu (\sigma_r + \sigma_\varphi)$$

A relação constitutiva adotada foi a equação de Bailey, em virtude de sua simplicidade, boa aderência aos dados

experimentais e, principalmente, em virtude da facilidade de se determinarem as suas constantes em função de curvas disponíveis. Não se perdeu, com isto, em generalidade, uma vez que no programa de elementos finitos é muito simples a troca de uma relação constitutiva por outra. A relação adotada é linear em relação ao tempo.

Reproduz-se na Fig.III.2 um gráfico de curvas de fluência para o aço 21/4 Cr 1 Mo (6). São mantidas as unidades do original porque a conversão seria bastante trabalhosa.

A partir destas curvas foram facilmente obtidas as seguintes equações:

$$\dot{\epsilon} = 8,0722 \cdot 10^{-14} \sigma^{4,9829} \quad \text{para } 480^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{\epsilon} = 5,5176 \cdot 10^{-15} \sigma^{4,0064} \quad \text{para } 540^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{\epsilon} = 4,9868 \cdot 10^{-26} \sigma^{7,9742} \quad \text{para } 590^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{\epsilon} = 4,2817 \cdot 10^{-22} \sigma^{7,0428} \quad \text{para } 650^{\circ}\text{C}$$

III.2

Usando-se a relação de Bailey, as tensões em regime permanente de fluência são (12):

$$\sigma_r = \frac{p}{\left(\frac{b}{a}\right)^{2/n} - 1} \left[ 1 - \left(\frac{b}{r}\right)^{2/n} \right]$$

$$\sigma_\phi = \frac{p}{\left(\frac{b}{a}\right)^{2/n} - 1} \left[ 1 - \left(1 - \frac{2}{n}\right) \left(\frac{b}{r}\right)^{2/n} \right]$$

$$\sigma_z = \frac{p}{\left(\frac{b}{a}\right)^{2/n} - 1} \left[ 1 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{b}{r}\right)^{2/n} \right]$$

III.3

em que

p = pressão



b = raio externo

a = raio interno

n = expoente da tensão

Os gráficos da Fig.III.4 apresentam a comparação entre os resultados obtidos por elementos finitos e a solução exata, para as tensões elásticas e de fluência. Observe-se a ótima concordância.

O gráfico da Fig.III.3 apresenta a variação da tensão efetiva com o tempo, no elemento mais próximo da face interna e no elemento mais próximo da face externa. O regime permanente de fluência foi atingido após um período de aproximadamente 13 horas. Este foi o tempo necessário para a relaxação das tensões, a partir do momento em que começaram a agir simultaneamente a pressão e a temperatura indicadas.

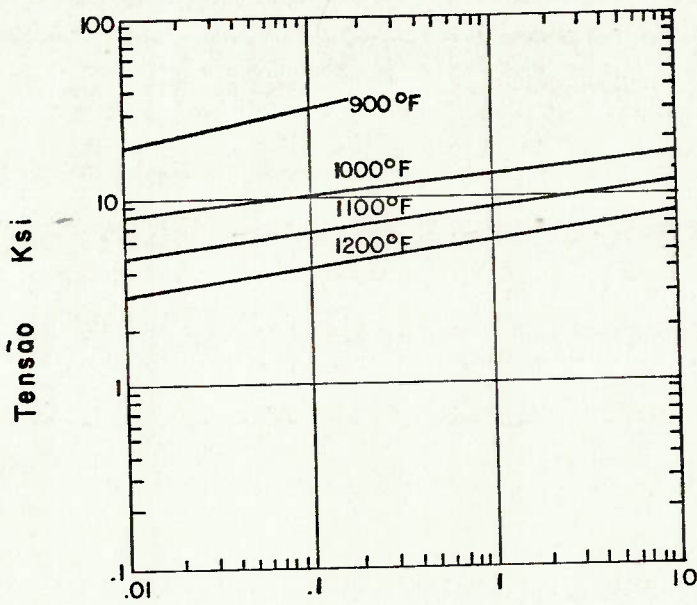
Observe-se nos gráficos a diferença substancial entre o campo de tensões inicial, elástico, e o campo de tensões após 13 horas, consequência da relaxação.

A tensão efetiva máxima no regime permanente foi de  $252 \text{ kgf/cm}^2$ , para o elemento mais próximo da face interna. Com este valor pôde ser feita a previsão de vida do tubo. Entrando-se com a tensão no gráfico da Fig.III.8, reproduzido de (6), obtém-se aproximadamente 17000 horas.

Dado que a vida de projeto de um equipamento industrial deve ser da ordem de 100000 horas, pode-se dizer que a vida real de 13550 horas está dentro da ordem de grandeza da previsão de 17000 horas. O erro pode ser atribuído:

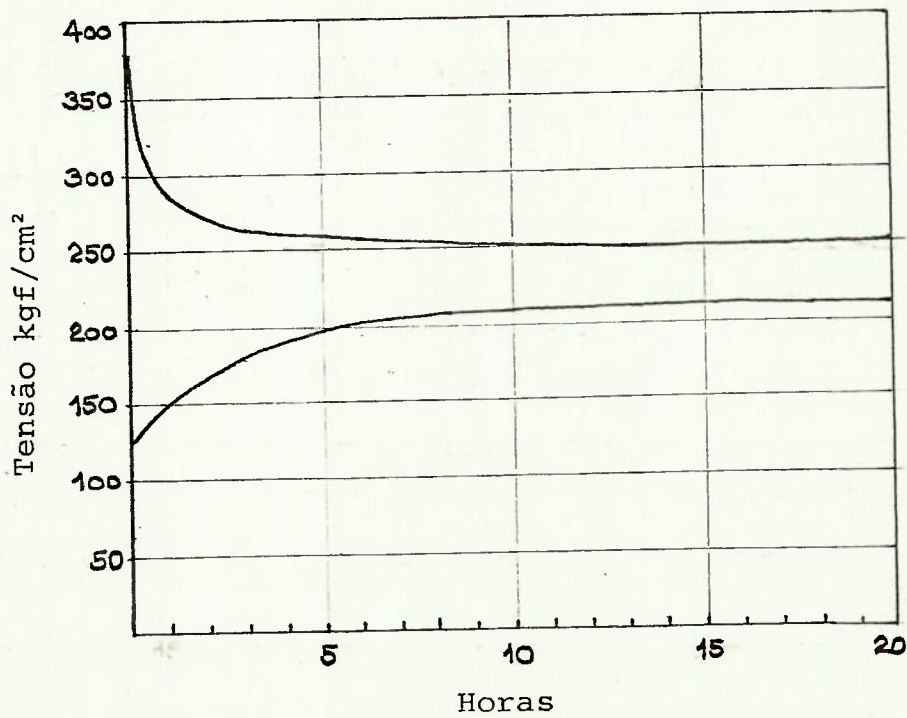
- a) à grande dispersão dos dados dos ensaios de fluência (veja-se, por exemplo, o gráfico da Fig.III.9 reproduzido de (24));
- b) à hipótese de tensões térmicas nulas;
- c) ao fato de a tensão efetiva de  $252 \text{ kgf/cm}^2$  ser calculada no centroide do triângulo mais próximo da face interna: a tensão na face interna é ligeiramente superior.

A tensão efetiva máxima, no tempo  $t=0$ , foi de  $381 \text{ kgf/cm}^2$ , bem superior ao valor final, no tempo  $t=13$  horas. Esta pode ser outra causa do erro da estimativa pois, após cada início de operação do equipamento, ocorreu um período de 13 horas,



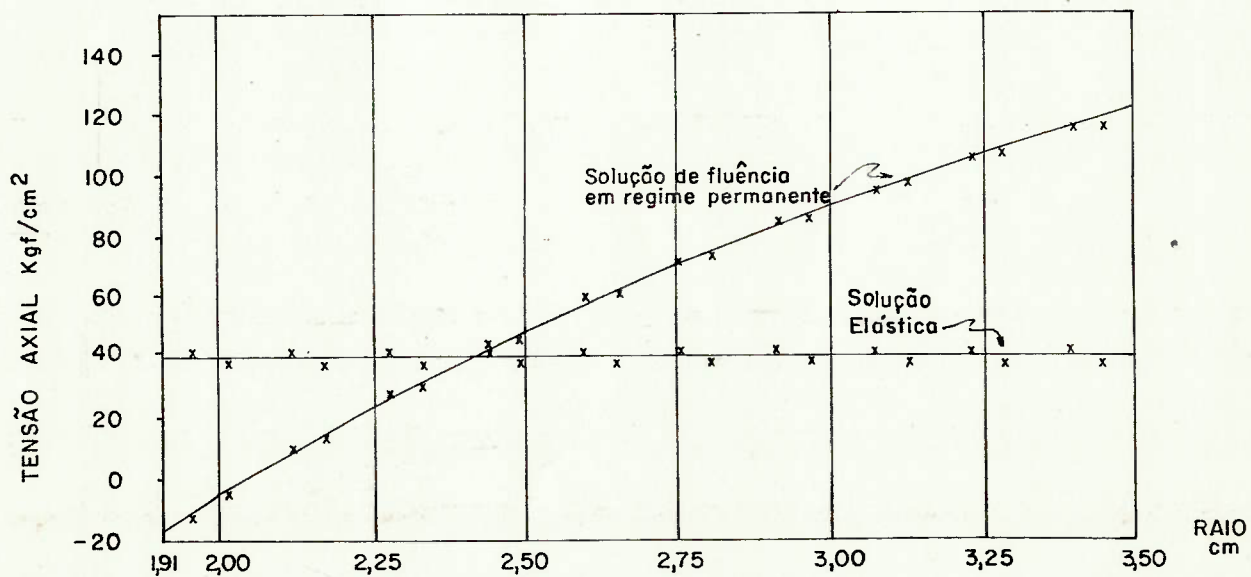
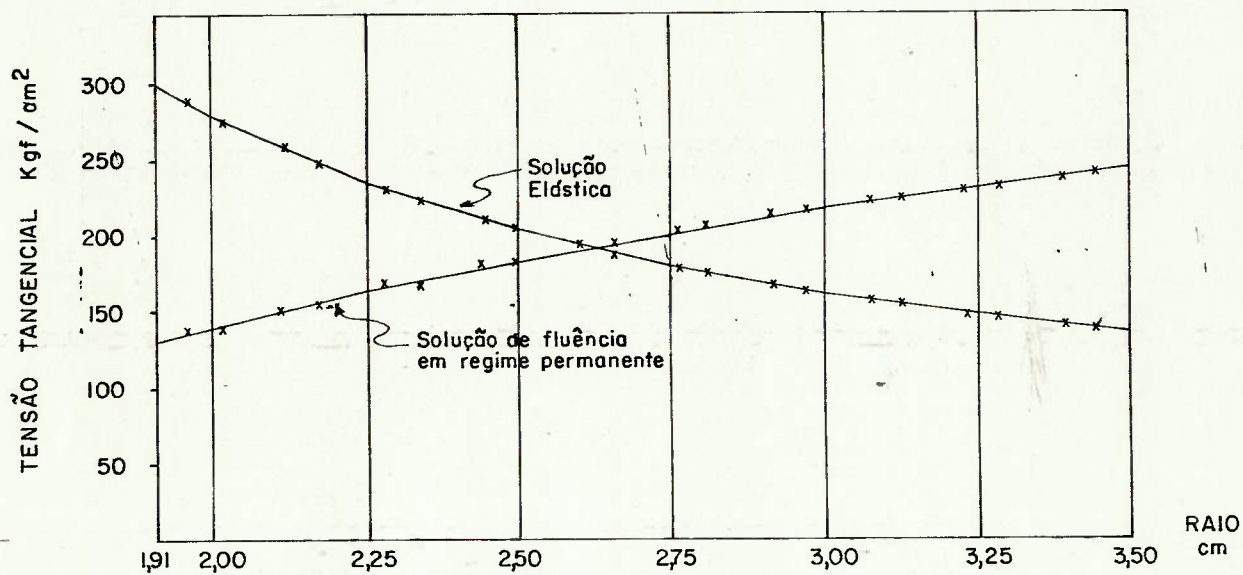
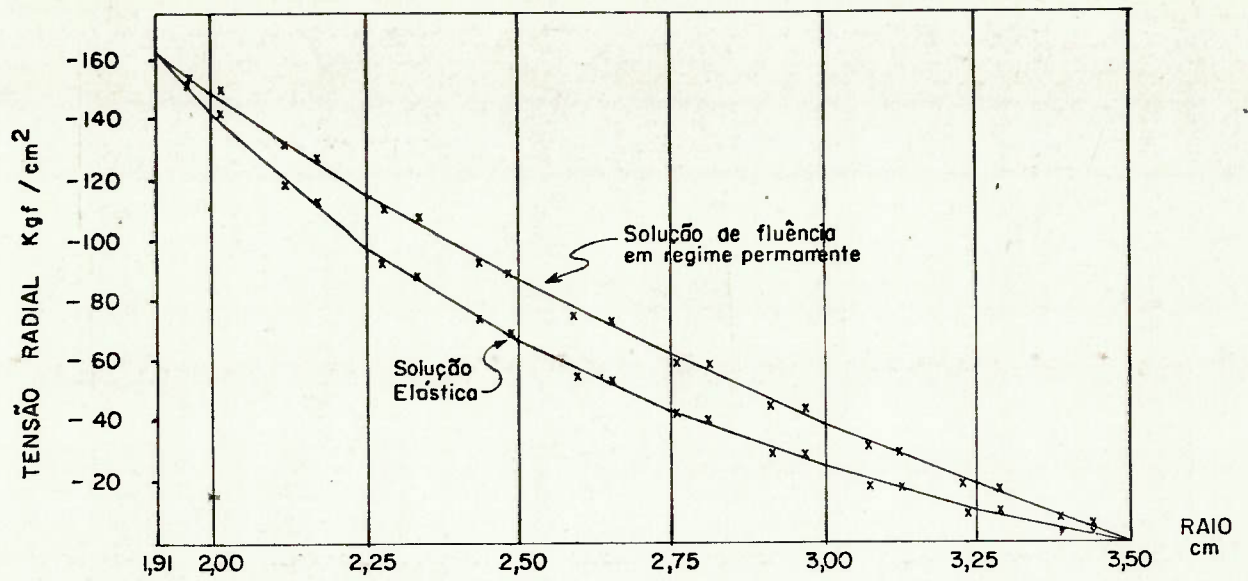
Taxa de Fluência, % por 1000 hs  
Aço 2 1/4 Cr 1 Mo

Fig. III.2



Evolução da Tensão Equivalente nas Paredes do Tubo

Fig. III.3



Tensões na Parede do Tubo

Fig. III.4

durante o qual o tubo esteve sob a ação de uma tensão mais elevada do que aquela do regime permanente.

Para uma melhor avaliação da relaxação das tensões térmicas, foi estudado um outro exemplo: um tubo submetido a aquecimento não uniforme, com expansão axial impedida e sem pressão interna.

As dimensões do tubo foram as seguintes:

Raio interno = 7,625 cm

Raio externo = 13,350 cm

Admitiram-se as seguintes condições de contorno térmicas:

Temperatura do meio interno = 675 °C

Temperatura do meio externo = 600 °C

Utilizando-se a malha de elementos do exemplo anterior, obteve-se, com o programa de transmissão de calor, a seguinte distribuição de temperaturas, nos nós dos elementos:

NÓ	Temperatura em °C
1	669,75
3	662,25
5	655,33
7	648,79
9	642,69
11	636,88
13	631,43
15	626,21
17	621,28
19	616,54
21	612,05

Aplicou-se esta distribuição de temperaturas ao tubo, no programa de análise de tensões. A máxima tensão, no regime elástico, foi a tensão axial na face interna:  $-1975 \text{ kgf/cm}^2$ . Após 0,01 horas, a tensão axial no mesmo local chegou a  $-564 \text{ kgf/cm}^2$ . A máxima tensão, neste instante, foi a tensão axial no elemento 5:  $-672 \text{ kgf/cm}^2$ . A análise não foi continuada por economia de tempo de computador. Entretanto, pode-se

concluir, deste resultado, que a relaxação das tensões térmicas é muito rápida: a máxima tensão reduziu-se a cerca de um terço da inicial em menos de um minuto.

### III.2 ANÁLISE DA TAMPA DE UM VASO DE PRESSÃO

O objeto da análise foi a tampa hemisférica de um vaso de pressão genérico. As dimensões, as condições dos meios interno e externo, no regime permanente, e a malha de elementos finitos empregada na análise de transmissão de calor, são mostradas na Fig. III.5.

O vaso contém vapor superaquecido a  $150 \text{ kgf/cm}^2$  e  $600^\circ\text{C}$ . Na Fig. III.7 é mostrada a regra para o início de operação do equipamento. A temperatura do fluido se eleva de  $20^\circ\text{C}$  a  $600^\circ\text{C}$ , mantendo-se constante neste valor. A pressão se eleva, no mesmo período, de 0,0 a  $150 \text{ kgf/cm}^2$ .

Quanto às condições de contorno da estrutura, admitiu-se que o vaso seja livre para se expandir na direção radial e que a tampa seja livre para se expandir na direção axial. Na prática, a restrição à expansão radial depende das condições de fixação do vaso. Vasos deste tipo têm, muitas vezes, suportes logo abaixo da tampa e a restrição depende da forma desses suportes.

Para a transmissão de calor por convecção, tomaram-se os coeficientes (4):

$$h \text{ interno} = 200 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \text{ (vapor superaquecido, convecção forçada)}$$

$$h \text{ externo} = 5 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \text{ (ar, convecção natural)}$$

Evidentemente, na prática, esses coeficientes devem ser determinados através de uma análise de transmissão de calor por convecção.

A análise da transmissão de calor por condução em regime transitório, através do programa de computador, resultou no equilíbrio ao fim de aproximadamente 16,5 horas.

A distribuição de temperaturas obtida foi aplicada à

estrutura, juntamente com a pressão interna de  $150 \text{ kgf/cm}^2$ .

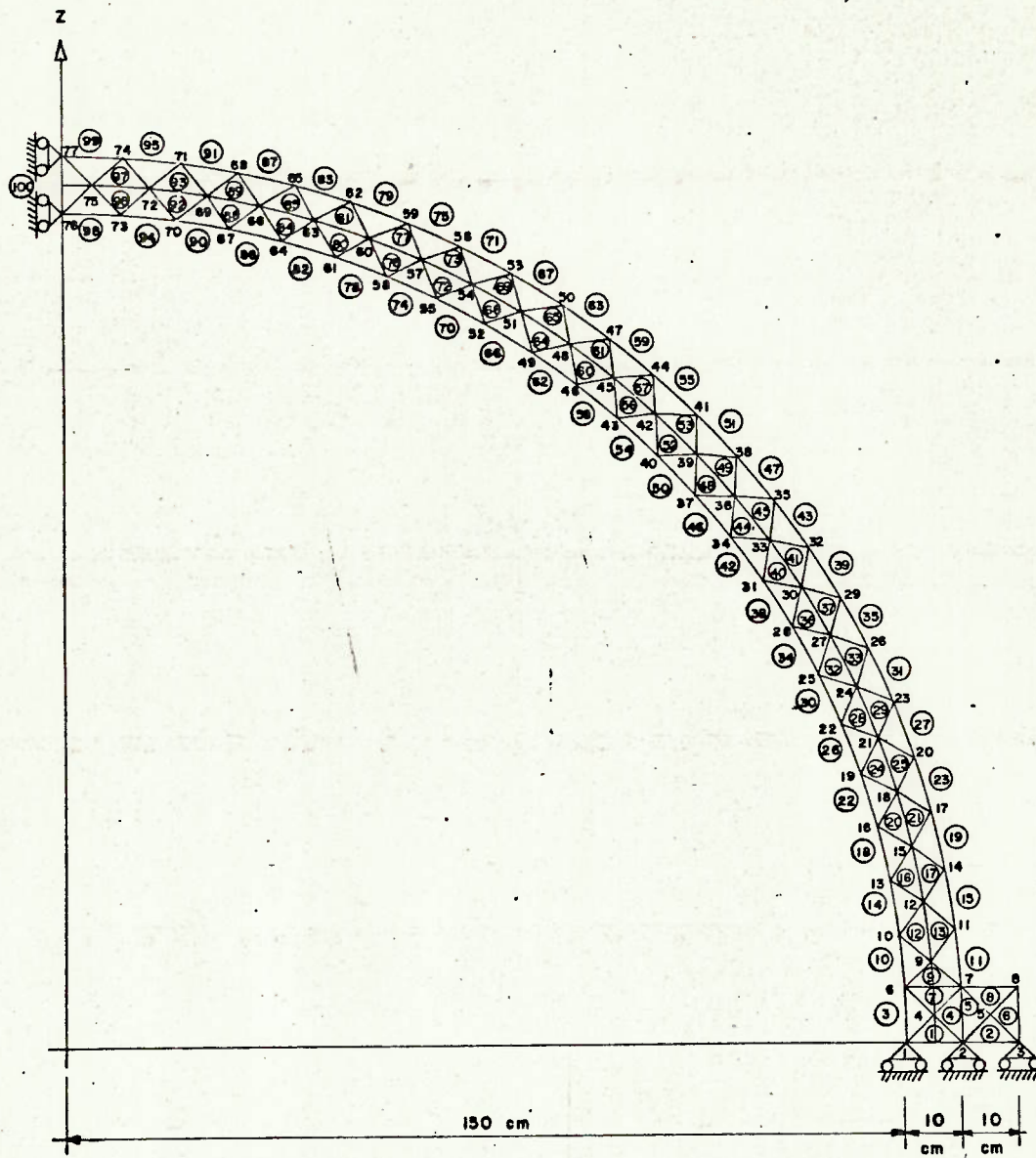
Em função da temperatura média, adotou-se a curva de fluência para  $1000^\circ\text{F}$ .

Em virtude de se ter incorporado ao programa uma rotina de inversão de matrizes pouco eficiente, a malha de elementos do modelo de transmissão de calor não pôde ser utilizada. Adotou-se uma malha mais grosseira, sobre os mesmos nós (Fig. III.6).

A máxima tensão efetiva, no regime elástico, ocorreu no topo da tampa:  $1291 \text{ kgf/cm}^2$ . Após um período de 0,12 horas, durante o qual houve a relaxação de tensões, atingiu-se o regime permanente de fluência, com uma tensão efetiva de  $1229 \text{ kgf/cm}^2$ . A partir desse instante as tensões se mantêm constantes e o material se deforma lentamente até a ruptura. De acordo com a Fig. III.8, a expectativa de vida é de aproximadamente 4000 horas. Observe-se que, para que a expectativa de vida, nas condições de temperatura dadas, fosse de 100.000 horas, a tensão efetiva não deveria ultrapassar  $870 \text{ kgf/cm}^2$ .

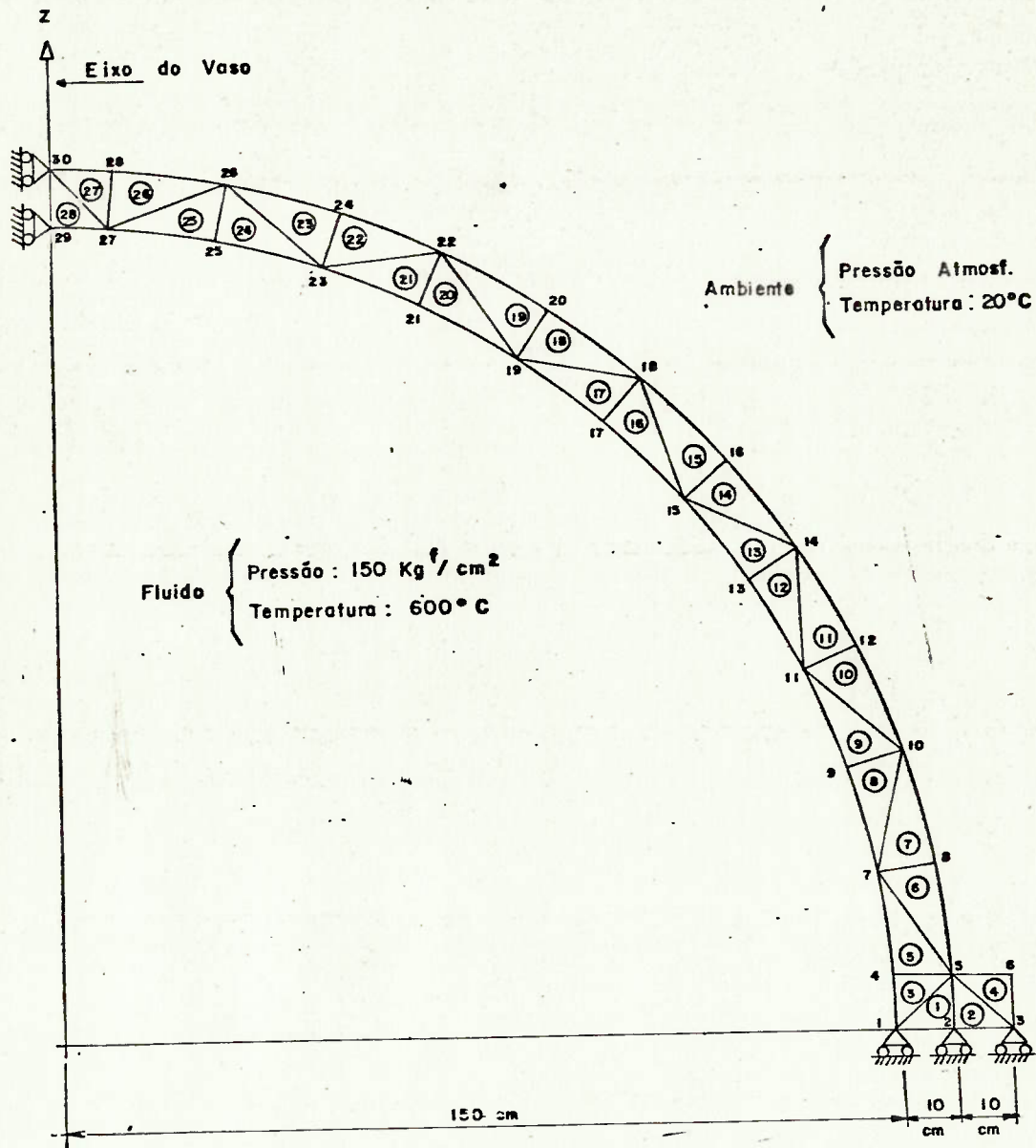
Tampas com a forma da analisada acima ocorrem, por exemplo, nos reatores nucleares, embora com dimensões diferentes: diâmetros da ordem de 5 a 6m e espessuras da ordem de 14cm. As condições de temperatura e pressão do fluido interno são inferiores às consideradas acima. Vasos submetidos a condições de temperatura e pressão semelhantes às do exemplo ocorrem na indústria petroquímica e nas usinas térmicas convencionais.

Neste exemplo, o efeito da relaxação de tensões não foi tão marcante como no tubo. As razões que contribuíram para esta diferença foram, além da temperatura inferior, a geometria e as condições de contorno da estrutura.



Malha de elementos finitos para o cálculo das temperaturas

Fig. III.5



Malha de elementos finitos para o cálculo das tensões

Fig. III.6



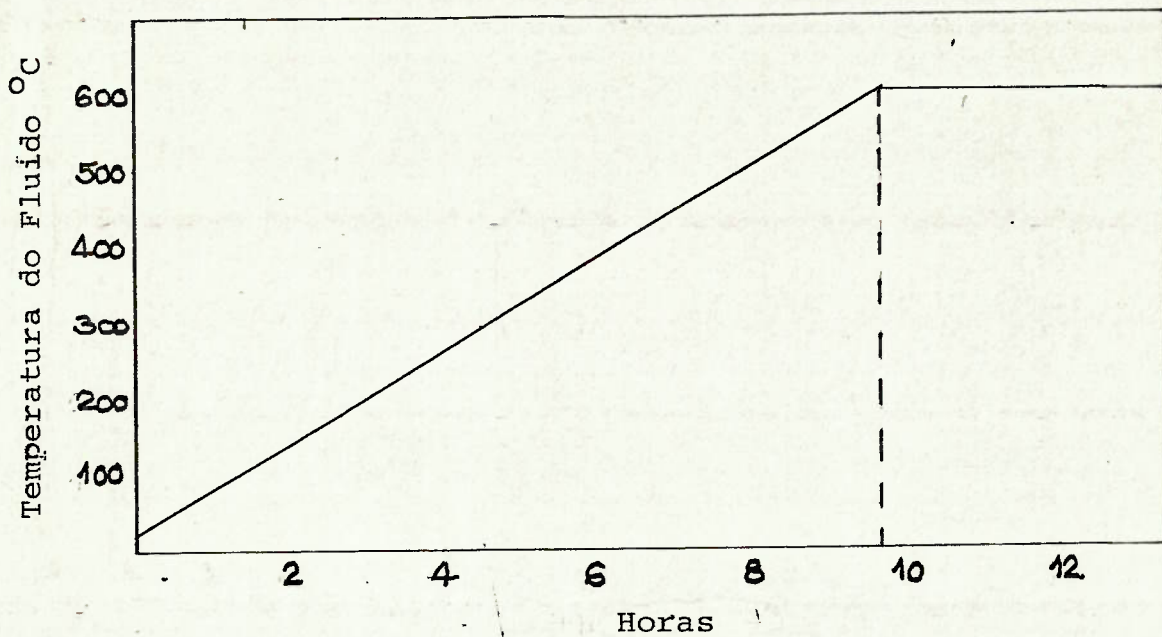
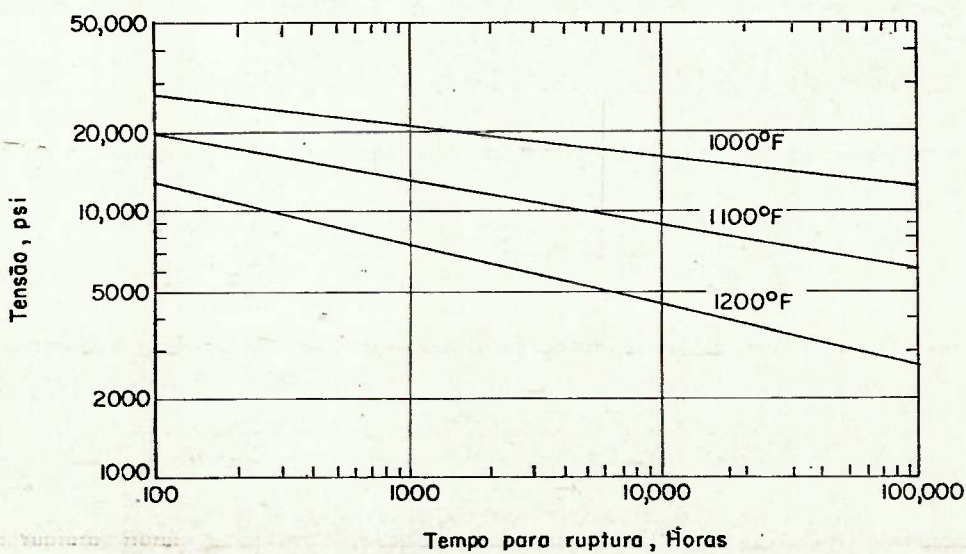


Fig.III.7



Aço 2 1/4 Cr 1 Mo

Fig. III 8



#### IV. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho discutiram-se diversos modelos analíticos e empíricos que descrevem os fenômenos da fluência e da relaxação e foi exposta a sua aplicação à análise de tensões através do método dos elementos finitos.

Através de exemplos mostrou-se a importância de se considerar a relaxação na análise de tensões em estruturas submetidas a temperaturas elevadas e mostrou-se também como esta consideração pode levar a uma previsão razoavelmente confiável da vida de equipamentos industriais. Os resultados obtidos para o tubo concordaram muito bem com os dados experimentais.

Os programas de computador elaborados no contexto deste trabalho devem sofrer várias alterações para sua aplicação a problemas práticos. A maior parte delas está relacionada com a maior eficiência computacional. Além disso, o elemento axi-simétrico de secção triangular mostrou resultados razoavelmente bons na análise de transmissão de calor, mas sua precisão foi menor na análise de tensões, o que indica a necessidade de uma melhoria nesta parte.

A partir deste trabalho podem ser seguidas pelo menos duas linhas de desenvolvimento em trabalhos futuros.

A primeira é a sua extensão, no que se refere à aplicação prática, a problemas de estrutura de concreto. Devido ao grande volume de obras de grande porte, no Brasil, há uma considerável disponibilidade de dados experimentais que poderão vir a ser comparados com resultados de cálculo numérico.

A segunda consiste no estudo de peças estruturais metálicas geometricamente mais complexas e de maior interesse prático. Neste caso seriam incluídos no programa de computador elementos finitos do tipo casca e/ou tridimensionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ( 1 ) Arpaci, V. S., "Conduction Heat Transfer".  
Addison-Wesley, Reading, 1966.
- ( 2 ) Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method in  
Engineering Science".  
McGraw-Hill, Maidenhead, 1971.
- ( 3 ) Souza Lima, V. M., Zagottis D. e André J.C.,  
"As Tensões de Origem Térmica nas Barragens e o  
Comportamento Viscoelástico do Concreto".  
XI Seminário Nacional de Grandes Barragens,  
Fortaleza, 1976.
- ( 4 ) Kreith, F., "Princípios da Transmissão de Calor".  
3ª Ed., Edgard Blücher, São Paulo, 1977.
- ( 5 ) Timoshenko, S. P. e Goodier, J. N., "Theory of  
Elasticity".  
3ª Ed., McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 1970.
- ( 6 ) Harvey, J. F., "Theory and Design of Modern Pressure  
Vessels".  
2ª Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1974.
- ( 7 ) Finnie, I., "Stress Analysis for Creep and  
Creep-Rupture".  
Applied Mechanics Surveys, Spartan Books, 1966.
- ( 8 ) Neville, A. M., "Creep of Concrete: Plain, Reinforced  
and Prestressed".  
North-Holland, Amsterdam, 1970.

- ( 9 ) Flügge, W., "Viscoelasticity".  
2.<sup>a</sup> Ed., Springer-Verlag, New York, 1975.
- ( 10 ) Amaral Filho, E. M., "Deformações Lentas em Barragens de Concreto e de suas Fundações em Rocha - Influência dos Diversos Fatores".  
XI Seminário Nacional de Grandes Barragens,  
Fortaleza, 1976.
- ( 11 ) Zienkiewicz, O. C., Watson, M. e King, I. P., "A Numerical Method of Viscoelastic Stress Analysis".  
Journal of Mechanical Sciences, Pergamon Press,  
1968, Vol. 10.
- ( 12 ) Rabotnov, Y. N., "Creep Problems in Structural Members".  
North-Holland, Amsterdam, 1969.
- ( 13 ) Silva Telles, P.C., "Materiais para Equipamentos de Processo".  
2.<sup>a</sup> Ed., Interciência, Rio de Janeiro, 1979.
- ( 14 ) Kumar, V. e Mukherjee, S., "Creep Analysis of Structures Using a New Equation of State Type Constitutive Relation".  
Second National Symposium on Computerized Structural Analysis and Design, George Washington University,  
Washington, 1976.
- ( 15 ) Sanders, D. R. e Haisler, W. E., "An Incremental Form of the Single-Integral Nonlinear Viscoelastic Theory for Elastic-Plastic - Creep Finite Element Analysis".  
PVP Conference, San Francisco, 1979.

- ( 16 ) Greenbaum, G. e Rubinstein, M., "Creep Analysis of Axisymmetric Bodies Using Finite Elements", Nuclear Engineering and Design, 1968.
- ( 17 ) Kachanov, L. M., "Fundamentals of The Theory of Plasticity".  
MIR Publishers, Moscou, 1974.
- ( 18 ) The Metal Properties Council of ASME, "The Generation of Isochronous Stress-Strain Curves", New York, 1972.
- ( 19 ) Toft, L. H., Yeldham, D. E. e Plastow B., "A Review of Creep Failures in Power Plant".  
IMEchE, London, 1976.
- ( 20 ) Price, A. T., "Creep in Large Scale Experimental Pressure Vessels".  
IMEchE, London, 1976.
- ( 21 ) Vazquez, J. R., "Centrales Nucleares".  
Ediciones CEAC, Barcelona, 1974.
- ( 22 ) Nuclear Power Committee of ASME, "Sample Analysis of a Piping System Class 1 Nuclear".  
New York, 1972.
- ( 23 ) Cho, U.W., Findley, W.N., "Creep and Creep Recovery of 304 Stainless Steel At Low Stresses with Effects of Aging in Creep and Plastic Strains".  
ASME Winter Annual Meeting, 1981.
- ( 24 ) The Metal Properties Council of ASME, "Current Evaluation of 2 1/4Cr-1Mo Steel in Pressure Vessels and Piping", New York, 1972.

( 25 ) Fenton D., "Finite Element Analysis of Heat Conduction".

F.I.U. Short Course on F.E.M., não publicado.

( 26 ) United Nations, Economic Commission for Europe, "Problems in the Design and Operation of Thermal Power Stations".

U.N., New York, 1964.

( 27 ) Sikka, V.K., Booker, M.K., "Assessment of Tensile and Creep Data for Types 304 and 316 Stainless Steel".

J.of Pressure Vessel Technology, New York, 1977.

# A) PROGRAMA DE TRANSMISSÃO DE CALOR

PAGE 0001

22/32/29

DATE = 97172

MAIN

FCRTPAN IV G LEVEL 21

```

0001 COMMON/BLJCC1/ND,NE,NMAT,NMET,OS,NCONV
0002 COMMON/BLJCC2/TEMP01,TEMP0F,DT,TEMPC
0003 COMMON/BLJCC3/SK(100,100),SK2(100,200),SC(100,100),Q(100),T(100)
0004 COMMON/BLJCC4/AVK(5),C(5),RO(5)
0005 COMMON/BLJCC5/AVK1(5),PR(5),FE(5),TEMP(5)
0006 COMMON/BLJCC6/AVJA(100),NGB(100),METC(50)
0007 COMMON/BLJCC7/CO2(100,2),TEMPC2(100),NOFL(100,3),MAT(100)
0008 COMMON/BLJCC8/SKEL(3,3),SCEL(3,3),APEA(100)
0009 COMMON/BLJCC9/TOISPI
0010 DTISPI = 6.283185
0011 CALL EVTA
0012 TTTT=TEMP(1)
0013 DT = 1.
0014 CALL FORK
0015 TEMPJ = TEMPJ1 + DT
0016 GO TO 20
0017 10 CALL CONV
0018 CALL RESOLV
0019 DT = 1.
0020 TEMPO = TEMPJ + DT
0021 TEMPO11 = 20. + (270./4.5) * TEMPO
0022 IF (TEMP(1).GT.TTTT) TEMP(1) = TTTT
0023 IF (TEMPJ.LE.TEMP0F) GO TO 10
0024 STOP
0025 END

```

```

00000010
00000020
00000030
00000040
00000050
00000060
00000070
00000080
00000090
0000100
0000110
0000120
0000130
0000140
0000150
0000160
0000170
0000180
0000190
0000200
0000210
0000220
0000230
0000240
0000250

```





PAGE 0002

27/32/29

DATE = 82172

ENTRA

FCPTRAN IV G LEVEL 21

```

0055 00001820
0056 00001830
0057 00001840
0058 00001850
0059 00001860
0060 00001870
0061 00001880
0062 00001890
0063 00001900
0064 00001910
0065 00001920
0066 00001930
0067 00001940

```

```

290 FFORMAT (1H0,10A00S 00S NOS!)
    DO 300 I = 1,N2
WRITE (6,310) I,COORD(I,1),COORD(I,2),TEMPER(I)
310 FFORMAT (1X,110,3F15.4)
300 CONTINUE
WRITE (6,320)
320 FFORMAT (1H0,10A00S 00S ELEMENTOS!)
    DO 330 I = 1,NF
WRITE (6,340) I,(NOEL(I,M),M=1,NR),MAT(I)
340 FFORMAT (1X,5110)
330 CONTINUE
RETURN
END

```



```

0001 SUBROUTINE ELK(N)
0002 COMMON/BL/CC1/4/5,NE,NMAT,NREINCS,NCCNV
0003 COMMON/BL/CC2/TEYD1,TEWDF,IT,TEPC
0004 COMMON/BL/CC3/SK(100,100),SK2(100,200),SC(100,100),Q(100),T(100)
0005 COMMON/BL/CC4/VK(5),C(5),PQ(5)
0006 COMMON/BL/CC5/VX(5),PE(5),PE(5),TEVP(5)
0007 COMMON/BL/CC6/NDA(100),NDR(100),WFC(50)
0008 COMMON/BL/CC7/FCO(100,2),TCWPE(100),NCEL(100,2),MAT(100)
0009 COMMON/BL/CC8/SKEL(3,3),SCEL(3,3),APEA(100)
0010 COMMON/BL/CC9/NOISPI
0011 I = NCEL(N,1)
0012 J = NCEL(N,2)
0013 Y = NCEL(N,3)
0014 XJ = CDP(J,1) - CDP(I,1)
0015 X4 = CDP(4,1) - CDP(1,1)
0016 YJ = CDP(J,2) - CDP(I,2)
0017 Y4 = CDP(4,2) - CDP(1,2)
0018 AI = XJ*Y4 - YJ*X4
0019 BI = YJ - Y4
0020 CJ = X4 - XJ
0021 BJ = Y4
0022 CJ = - X4
0023 BM = - YJ
0024 CM = XJ
0025 APFA(N) = AI / 2.
0026 IF (APEA(N).LE.C.) GO TO 200
0027 PC = (CPRD(1,1) + CPRD(J,1) + CPRD(M,1)) / 3.
0028 SKEL(1,1) = BI * BI + CI * CI
0029 SKEL(1,2) = BI * BJ + CI * CJ
0030 SKEL(1,3) = BI * BM + CI * CM
0031 SKEL(2,1) = BJ * BI + CJ * CI
0032 SKEL(2,2) = BJ * BJ + CJ * CJ
0033 SKEL(2,3) = BJ * BM + CJ * CM
0034 SKEL(3,1) = SKEL(1,3)
0035 SKEL(3,2) = SKEL(2,3)
0036 SKEL(3,3) = BM * BM + CM * CM
0037 DO 100 I = 1,3
0038 DO 100 J = 1,3
0039 SKEL(I,J) = SKEL(I,J) * (VK(MAT(N)) / (4.*APEA(N))) * DCISPI * PC
0040 100 CONTINUE
0041 DO 200 J = 1,3
0042 DO 200 I = 1,3
0043 SCFL(I,J) = 2*(MAT(N)) * C(MAT(N)) * (APEA(N) / 17.) * DCISPI * PC
0044 IF (I.FO.J) SCFL(I,J) = SCFL(I,J) * 7.
0045 200 CONTINUE
0046 RETURN
0047 300 WRITE(1,100) N
0048 1000 FFORMAT (1X,'ELEMENTO',14,' TEM AREA 7E10 CU NEGATIVA')
0049 * STOP
0050 * END

```

0001190  
0001190  
0001200  
0001210  
0001220  
0001230  
0001240  
0001250  
0001260  
0001270  
0001280  
0001290  
0001300  
0001310  
0001320  
0001330  
0001340  
0001350  
0001360  
0001370  
0001380  
0001390  
0001400  
0001410  
0001420  
0001430  
0001440  
0001450  
0001460  
0001470  
0001480  
0001490  
0001500  
0001510  
0001520  
0001530  
0001540  
0001550  
0001560  
0001570  
0001580  
0001590  
0001600  
0001610  
0001620  
0001630  
0001640  
0001650  
0001660  
0001670



FCRTRAN IV G LEVEL 21      RESOLV      DATE = 82172      22/32/73      0001 0001

```

0001 SUBROUTINE RESOLV
0002 COMMON/FL3031/NP,NC,NMAT,NVELOS,NCCLW
0003 COMMON/FL3032/TEMP01,TEMP02,TEMP03,TEMP04,TEMP05,TEMP06
0004 COMMON/FL3033/SK1(100,100),SK2(100,200),SC(100,100),C(100),T(100)
0005 COMMON/FL3034/WK(5),C(5),PC(5)
0006 COMMON/FL3035/WK1(5),PC(5),PE(5),TEMP(5)
0007 COMMON/FL3036/NDX(100),NDB(100),NDF(100),NDFC(50)
0008 COMMON/FL3037/CDP(100,2),TEMPER(100),NDFL(100,3),MAT(100)
0009 COMMON/FL3038/SKFL(3,3),ABRA(100)
0010 COMMON/FL3039/OTISPI
0011 DIMENSION DNDX(100)
0012 DO 10 I = 1,NP
0013 PNDX(I) = 0.
0014 DO 20 J = 1,NJ
0015 PNDX(I) = PNDX(I) + SC(I,J) * TEMPER(J)
0016 CONTINUE
0017 PNDX(I) = PNDX(I) / DT
0018 Q(I) = Q(I) + PNDX(I)
0019 CONTINUE
0020 DO 30 I = 1,NP
0021 DO 40 J = 1,NP
0022 SK2(I,J) = SK2(I,J) + SC(I,J) / DT
0023 CONTINUE
0024 CALL INVER (M,NP)
0025 DO 40 I = 1,NP
0026 T(I) = 0.
0027 DO 50 J = 1,NP
0028 T(I) = T(I) + SK2(I,J) * Q(J)
0029 CONTINUE
0030 CONTINUE
0031 WRITE (6,100) TEMP0
0032 100 FORMAT (1H,1T E 4 P E A T U P A S P A B * ,F10.5,1 H 0 P A
0033 15')
0034 DO 40 I = 1,NP
0035 WRITE (6,70) I,T(I)
0036 70 FORMAT (1H,4F15.5)
0037 TEMPER(I) = T(I)
0038 CONTINUE
0039 RETURN
0040 END

```

00002413  
 00002420  
 00002427  
 00002434  
 00002441  
 00002448  
 00002455  
 00002462  
 00002469  
 00002476  
 00002483  
 00002490  
 00002497  
 00002504  
 00002511  
 00002518  
 00002525  
 00002532

```

S JSECTIVE CTRF (3,4)
COMMON/BLDCC1/ASD,MP,AVK,WT,AVETICS,ACD,AV
COMMON/R_BCC2/TEMP(5),TEMP(6),TEMP(7),TEMP(8)
COMMON/E_BCC3/ASK(100,100),SK2(100,200),SC(100,100),T(100)
COMMON/BLDCC4/AVK(5),SC(5),PR(5)
COMMON/BLDCC5/AVK(5),PR(5),TEMP(5)
COMMON/R_BCC6/ADA(100),MTR(100),WTC(5)
COMMON/E_BCC7/CCR(100,2),TEMP(100),ACF(100,3),MAT(100)
COMMON/BLDCC8/SKEL(3,3),SC(10,3),ADCA(100)
COMMON/BLDCC9/DOISPI
H = 0.0005
IF (N.LT.25) H = 0.02
RETURN
END

```

0001  
 0002  
 0003  
 0004  
 0005  
 0006  
 0007  
 0008  
 0009  
 0010  
 0011  
 0012  
 0013  
 0014





B.2

```

0024 CALL GOATA
      DD 80C K = 1,NP
      IF (VALIMP(<,1),GT,0,OR,VALIMP(K,2),GT,0,) IND = 1
      C 800 CONTINUE
      NSZF = NP * NDF

0025 LE CARGAS
      CALL L3AD

0026 FORMA O LADO ESQUERDO DO SISTEMA DE EQUACOES
      SIMULTANFAS

0027 INVERTE A MATRIZ
      CALL FORK
      CALL INVER (DD,NSZF)

0028 SOMA AO LADO DIREITO UM VETOR DE CORRECAO PARA
      AS CONDICOES DE CONTCPND
      IF (IND,FQ,0) GO TO 900
      CALL CORRIG

0029 MULTIPLICA A INVERSA PELO VETOR DO LADO DIREITO
      900 CALL RESULT
      CALCULA TENSOES

0030 CALL STRESS
0031 IF (FLU,FQ,0,AND,NTEMP,L1,2) GC TO 200
0032 DD 1600 I = 1,NSZF
0033 1600 FINIC(I) = 0.
      CALL TGLDCK (L2)
      CLOCK = L2 - L1
      WRITE (6,2000) CLOCK
      C 2200 FORMAT (1X,TEMPO DECORRIDO ATE O CREEP, FLO.5)
      DD 250 I4=1,4
      FINAL = FIMTIM
      DT = DTALIM
      1000 IF (TP,GT,FINAL) GO TO 250
      TEMPO = TEMPO + DT
      CALL FORMRC
      IF (IND,FQ,0) GO TO 901
      C 901 CALL RESULT
      CALL STRESS
      TP = TEMPO + DT
      GO TO 1000
      250 CONTINUE
      200 STOP
      END

0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046

```

S U B P O T I N A G D A T A

LE OS DADOS GEOMETRICOS,BASICOS

DICIONARIO DE VARIAVEIS  
CONTROLE DE IMPRESSAO DOS DADOS DE ENTRADA

SUBROUTINE COATA

IMPLICIT REAL\*8 (A-H,O-Z)

COMMON/CNT/FIX(130)

COMMON/TVAR/HDRAL(2),TEMP(26,20),DEPS(12,4),TEMPC

COMMON/LE/ESTIEM(6,6),A(30,4,6),B(30,4,6),AREA(30),RC(30)

COMMON/RIGZ/RI(60),R(6),DESLCC(2,52)

COMMON/CTR/CRD(20,2),NOZ(50,2),AMOD(50,2),NRC(30)

COMMON/FLUEN/FCRCE(24,4),FCREEP(6),FRSC(24,4)

COMMON/FLUEN/COEF1,COEF2,COEF3,COEF4

COMMON/FLUEN/FIM(4),DTA(4)

COMMON/CNTR/TITLE(18),NP,NE,NB,NDF,NCN,NLD,NMAT,NSZF,LI,HT4

COMMON/TER43/ALFA,TB,FINIC(6),FPSO(24,4),T(25),D(24,4,4),TANT(26)

COMMON/TER42/NTEMP

COMMON/FLUEN/6(50),DT,FINAL,FLU,NTS

COMMON/CJNST/DJISPI

C LE F IMPRIME TITULO

C

READ (5,7) TITLE

WRITE (6,100) TITLE

READ(5,11)N2,NE,N3,NLD,NDF,NMAT,LI,TB,ALFA,FLU,NTEMP

IF (NTEMP.EQ.C) NTEMP = 1

WRITE(6,11)N2,NE,NB,NLD,NDF,NMAT,LI,TB,ALFA,FLU,NTEMP

C IF (FLU.EQ.C) GO TO 1100

READ (5,109) COEF1,COEF2,COEF3,COEF4

WRITE (6,109) COEF1,COEF2,COEF3,COEF4

READ (5,113) FIM(1),DTA(1),FIM(2),DTA(2),FIM(3),DTA(3),FIM(4),

\*DTA(4)

113 FORMAT (8F10.0)

WRITE (6,116) FIM(1),DTA(1),FIM(2),DTA(2),FIM(3),DTA(3),FIM(4),

\*DTA(4)

110) CONTINUE

C

READ (5,8) (V,(AMOD(N,I),I=1,2),N=1,NMAT)

WRITE (6,108)

WRITE(6,9) (V,(AMOD(N,I),I=1,2),N=1,NMAT)

C LE DADOS DOS PONTOS NCOAIS

C

IF (NTEMP.GT.1) GO TO 1570

\*DT 47C NNN=1,NP

470 READ (5,2) (V,(CORD(N,M),M=1,2),TEMP(N,1))

C

C LE DADOS DOS ELEMENTOS

C

470) CONTINUE

C

DT 471 NN=1,NF

0016

0001060

0001070

0001080

0001090

0001100

0001110

0001120

0001130

0001140

0001150

0001160

0001170

0001180

0001190

0001200

0001210

0001220

0001230

0001240

0001250

0001260

0001270

0001280

0001290

0001300

0001310

0001320

0001330

0001340

0001350

0001360

0001370

0001380

0001390

0001400

0001410

0001420

0001430

0001440

0001450

0001460

0001470

0001480

0001490

0001500

0001510

0001520

0001530

0001540

0001550

0001560

0001570

0001580

0001590

0001600

0001610

B.4

FORMAN IV G LEVEL TA = 8

```

0037 471 READ (5,3) (N,(COP(N,M),M=1,3),IPAT(N))
0038 DO 472 N=1,NP
0039 L=IPAT(N)
0040 472 G(NN)=AMOD(L,1) / (2*(1+AMOD(L,2)))
C
C LE DADOS DAS CONDICONS DE CCENTERNC
C
0041 IF (NB.EQ.0) GO TO 48C
0042 READ (5,4) (NRC(I),NFIX(I),I=1,NB)
0043 480 IF (11.NF.EQ) GO TO 500
C
C IMPRIME DADOS DE ENTADA
C
0044 WRITE (6,102)
0045 IF (NTEMP.GT.1) GO TO 1502
0046 DO 49C N=1,NP
0047 WRITE (6,2) (N,(CORD(N,M),M=1,2),TEMP(N,1))
0048 490 CONTINUE
0049 490 CONTINUE
0050 WRITE (6,103)
0051 WRITE (6,3) (N,(COP(N,M),M=1,3),IPAT(N),N=1,NB)
0052 WRITE (6,104)
0053 IF (NP.EQ.0) GO TO 500
0054 WRITE (6,4) (NRC(I),NFIX(I),I=1,NB)
0055 500 CONTINUE
0056 1 FFORMAT (715,F10.5,F10.9,F10.3,110)
0057 2 FFORMAT (110,3F10.5)
0058 3 FFORMAT (415,110)
0059 4 FFORMAT (215)
0060 7 FFORMAT (18A4)
0061 3 FFORMAT (15,2F15.2)
0062 3 FFORMAT (1H1,1A4)
0063 102 FFORMAT (20HC PONTOS NOTAIS )
0064 103 FFORMAT (20HC ELEMENTOS )
0065 104 FFORMAT (23HC CONDICONS DE CONTORNC)
0066 108 FFORMAT (1HC,PRDPIEDADES DOS MATERIAIS)
0067 109 FFORMAT (4F15.5)
0068 110 FFORMAT (4F15.10)
0069 RETURN
0070 1500 DO 1501 NN=1,NP
0071 READ (5,111) (N,(COP(N,M),M=1,2))
0072 READ (5,112) (HORA(KM),TEMP(N,KM),KM=1,NTEMP)
0073 111 FFORMAT (110,2F10.3)
0074 112 FFORMAT (4F10.3)
0075 1501 CONTINUE
0076 GO TO 470
0077 1502 DO 1503 N=1,NP
0078 WRITE (6,1504) (N,(COP(N,M),M=1,2))
0079 WRITE (6,1505) (HORA(KM),TEMP(N,KM),KM=1,NTEMP)
0080 1504 FFORMAT (110,2F10.5)
0081 1505 FFORMAT (10F10.2)
0082 1503 CONTINUE
0083 GO TO 4900
0084 END

```

PAGE. 0003

20/1/77

DATE = 82158

SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION
FORMAN IV G LEVEL	TA	COMMON BLOCK /CONT	MAP SIZE	82158	78	DATE	82158

FORTRAN IV G LE/FL 21 MAIN L O A D

C C S U B R O T I N A L O A D  
 C C L E O V E T O R D E C A R G A M E N T O  
 C C D I C I O N A R I O D E V A R I A V E L S  
 C C P ( 3 ) M A T R I Z D E C A R G A S T E M P O R A P I A N C N C N C  
 C C S U B R O T I N E L J A D  
 C C I M P L I C I T R E A L \* R ( A - H , I O - Z )  
 C C C O M M O N / C O N T A M E I X I 2 0  
 C C C O M M O N / I V A P / A H O R A I 2 0 , T E M P ( 2 6 , 2 0 ) , D E P S O ( 2 4 , 4 ) , T F M P C  
 C C C O M M O N / E - F / F E S T I F A ( 6 , 6 ) , A ( 3 0 , 4 , 6 ) , R ( 3 0 , 4 , 5 ) , A R F A ( 3 7 ) , P C I 2 0  
 C C C O M M O N / P I G / P I ( 6 0 ) , R ( 6 ) , D E S L O C C ( 2 , 5 7 )  
 C C C O M M O N / R I G 2 / S K ( 5 2 , 1 0 4 )  
 C C C O M M O N / C O R D / C O R D ( 3 7 , 2 ) , N O P ( 5 0 , 3 ) , ( M A T ( 5 7 ) , A M C O ( 5 7 , 2 ) , M P C ( 3 7 )  
 C C C O M M O N / F L U E N 2 / F D R C F ( 2 4 , 4 ) , F C R F F P ( 6 ) , F P S C ( 2 4 , 4 )  
 C C C O M M O N / F L U E N 3 / C O E F 1 , C O E F 2 , C O E F 3 , C O E F 4  
 C C C O M M O N / F L U E N 4 / F I ( 4 ) , D T A ( 4 )  
 C C C O M M O N / C O N T R / T I T L E ( 1 8 ) , N P , N E , N B , N D F , N C N , N L D , N M A T , A S Z F , L I , N T 4  
 C C C O M M O N / T E M P / A L F A , T B , F I N I C ( 6 ) , F P S O ( 2 4 , 4 ) , T ( 2 5 ) , D ( 2 6 , 4 , 4 ) , T A N T ( 2 6 )  
 C C C O M M O N / T E M P 2 / T C M  
 C C C O M M O N / F L U E N / G ( 5 0 ) , J T , F I N A L , F L U , N T 5  
 C C C O M M O N / C O N V S T / D O I S P I

0001  
 0002  
 0003  
 0004  
 0005  
 0006  
 0007  
 0008  
 0009  
 0010  
 0011  
 0012  
 0013  
 0014  
 0015  
 0016  
  
 0017  
 0018  
 0019  
 0020  
  
 0021  
 0022  
 0023  
 0024  
 0025  
 0026  
 0027  
 0028  
 0029  
 0030  
  
 0031  
 0032  
 0033  
 0034  
 0035  
 0036  
 0037

C C Z E R A 3 V E T O R D E C A R G A S  
 C C D O 1 6 0 J = 1 , N S Z F  
 1 6 0 P I ( J ) = 0 .  
 W R I T E ( 6 , I 6 0 ) T I T L E , L I  
 W R I T E ( 6 , I 6 9 )

C C L E , I M P R I M E F I N T E G R A 0 V E T O R D E C A R G A S

C 1 6 5 C O N T I N U E  
 R E A D ( 5 , 9 ) N D , R ( K ) , K = L , N D F )  
 W R I T E ( 6 , 9 ) N D , R ( K ) , K = L , N D F )  
 D O 1 7 0 K = 1 , N D F  
 I C = ( N D - 1 ) \* N D F + K  
 1 7 0 P I ( I C ) = P I ( I C ) + P I ( I C )  
 P I ( I C ) = P I ( I C ) \* D O I S P I \* C O E F ( N C , 1 )  
 R I ( I C - 1 ) = P I ( I C - 1 ) \* D O I S P I \* C O P J ( N C , 1 )  
 W R I T E ( 6 , 1 0 0 ) N D , P I ( I C - 1 ) , P I ( I C ) C A R G A Y , F I 5 , 5 )  
 1 0 0 0 F O R M A T ( 1 X , 4 V 2 , I 4 , \* C A R G A X I , F 1 5 , 5 , \*

C V O L T A A L E R M A I S C A R G A S A T E Q U E C N C L I D C S E J A  
 C 3 N D D E M A I O R N U M E R O D A E S T R U T U R A

C I F ( N G , L T , N P ) G O T O 1 6 5  
 9 F O R M A T ( 1 1 0 , 3 F 1 0 . 2 )  
 2 0 F O R M A T ( 1 1 0 X , 4 I 5 )  
 1 0 0 F O R M A T ( 1 H 1 , 1 8 A 4 , 5 X , ' C A S C O S D E C A R G A M E N T O ' , I 5 )  
 1 0 9 F O R M A T ( 1 H 1 , ' C A R G A S ' )  
 P E T U R N  
 E N D



FORM IV G LEVEL 21

TE #

AIN

FORM IV G LEVEL 21

TE #

AIN

FORM IV G LEVEL 21

```

0001 C SUBROUTINE FDMK
0002 C CRITA MATRIZ RETANGULAR DE RIGIDEZ F INSETE AS CONDICOES DE
0003 C CONTING.
0004 C DICTONARIO DE VARIAVEIS
0005 C SURROUTINE FDMK
0006 C
0007 C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0008 C COMMON/CONT/NFIX(30)
0009 C COMMON/TVAR/ND3A(30),TEMP(26,20),DEPS(12,4),TEMPC
0010 C COMMON/ELF/ESTIFM(6,6),A(3,4,6),B(30,4,5),AFFA(30),RC(3)
0011 C COMMON/FIG/21(60),S(6),DESLCC(2,52)
0012 C COMMON/PIG2/SK(52,104)
0013 C COMMON/CD30/CD30(3,2),NIP(50,2),MAT(50),AVCD(50,2),NFC(130)
0014 C COMMON/FLUEN2/FLUEN2(24,4),FCDEF(6),FDFC(24,4)
0015 C COMMON/FLUEN4/FLUEN4(14,4),ATA(4)
0016 C COMMON/CON2/TITLE(18),NP,JE,AP,NDF,NGN,NLD,PMAT,ASZF,I,NT4
0017 C COMMON/TFFA2/ALFA,TB,FINIC(6),FPSO(24,4),T(25),D(24,4,4),TANT(26)
0018 C COMMON/TEP42/TEMP
0019 C COMMON/FLUEN/6(50),DT,FINAL,FLU,NT5
0020 C COMMON/CONST/DJISPI
0021 C COMMON/V4/VALMIN(60)
0022 C COMMON/DFEL/DFSE(24,4)
0023 C
0024 C
0025 C
0026 C
0027 C
0028 C
0029 C
0030 C
0031 C
0032 C
0033 C
0034 C
0035 C
0036 C
0037 C

```

```

0001 0002710
0002 0002720
0003 0002730
0004 0002740
0005 0002750
0006 0002760
0007 0002770
0008 0002780
0009 0002790
0010 0002800
0011 0002810
0012 0002820
0013 0002830
0014 0002840
0015 0002850
0016 0002860
0017 0002870
0018 0002880
0019 0002890
0020 0002900
0021 0002910
0022 0002920
0023 0002930
0024 0002940
0025 0002950
0026 0002960
0027 0002970
0028 0002980
0029 0002990
0030 0003000
0031 0003010
0032 0003020
0033 0003030
0034 0003040
0035 0003050
0036 0003060
0037 0003070
0038 0003080
0039 0003090
0040 0003100
0041 0003110
0042 0003120
0043 0003130
0044 0003140
0045 0003150
0046 0003160
0047 0003170
0048 0003180
0049 0003190
0050 0003200
0051 0003210
0052 0003220
0053 0003230
0054 0003240
0055 0003250
0056 0003260

```

```

0001 1000 CONTINUE
0002 C
0003 C
0004 C
0005 C
0006 C
0007 C
0008 C
0009 C
0010 C
0011 C
0012 C
0013 C
0014 C
0015 C
0016 C
0017 C
0018 C
0019 C
0020 C
0021 C
0022 C
0023 C
0024 C
0025 C
0026 C
0027 C
0028 C
0029 C
0030 C
0031 C
0032 C
0033 C
0034 C
0035 C
0036 C
0037 C

```

```

0001 1000 CONTINUE
0002 C
0003 C
0004 C
0005 C
0006 C
0007 C
0008 C
0009 C
0010 C
0011 C
0012 C
0013 C
0014 C
0015 C
0016 C
0017 C
0018 C
0019 C
0020 C
0021 C
0022 C
0023 C
0024 C
0025 C
0026 C
0027 C
0028 C
0029 C
0030 C
0031 C
0032 C
0033 C
0034 C
0035 C
0036 C
0037 C

```

```

0001 1000 CONTINUE
0002 C
0003 C
0004 C
0005 C
0006 C
0007 C
0008 C
0009 C
0010 C
0011 C
0012 C
0013 C
0014 C
0015 C
0016 C
0017 C
0018 C
0019 C
0020 C
0021 C
0022 C
0023 C
0024 C
0025 C
0026 C
0027 C
0028 C
0029 C
0030 C
0031 C
0032 C
0033 C
0034 C
0035 C
0036 C
0037 C

```

```

0001 1000 CONTINUE
0002 C
0003 C
0004 C
0005 C
0006 C
0007 C
0008 C
0009 C
0010 C
0011 C
0012 C
0013 C
0014 C
0015 C
0016 C
0017 C
0018 C
0019 C
0020 C
0021 C
0022 C
0023 C
0024 C
0025 C
0026 C
0027 C
0028 C
0029 C
0030 C
0031 C
0032 C
0033 C
0034 C
0035 C
0036 C
0037 C

```

BASE 0002

2/15/72

DATE = 82158

FORMK

FCPTAN IV G LEVEL 21

```

0038 337 CONTINUE
0039 RINPORB) = R1(NPORS) + FINIC(1)
0040 351 CONTINUE
0041

```

```

0039          330 CONTINUE
0039          R1(NRDB) = R1(NRDB) + FINIC(I)
0040          350 CONTINUE
0041          400 CONTINUE
0042          IF (NR.EQ.0) RETURN
C
C          INTRODUZ AS CONDICIONES DE CONTORNO
C          IMPRISICAO DAS CONDICIONES DE CONTORNO
C          NA MATRIZ DE RIGIDEZ E NO LADO DIREITO
C          MONTAGEM DE UM VETOR DE COMPECAO PARA FUTURAS
C          ALTERACOES DO VETOR DO LADO DIREITO EM FUNCAO DAS
C          CONDICIONES DE CONTORNO
C
0043          DO 500 N = 1,NB
0044          JM = NEC(N)
0045          I = (JM - 1) * NJF + 1
0046          IF (NFIX(N).EQ.0) GO TO 2104
0047          IF (NFIX(N).EQ.10) GO TO 3000
0048          IF (NFIX(N).EQ.1) GO TO 3001
0049          IF (NFIX(N).EQ.11)GO TO 3030
0050          GO TO 2104
C3001 DO 3002 J=1,NSZF
C          IF (I.EQ.J) GO TO 3002
C          PCOPR(J) = -SK(J,I) * VALIMP(N,1)
C3002 CONTINUE
C3003 CONTINUE
C          DO 3003 M = 1,NSZF
C          SK(I,M) = 0.
C          SK(I,M) = 0.
C3003 CONTINUE
C          SK(I,I) = 1.
C          P(I) = 0.
C          PCOPR(I) = VALIMP(N,1)
C          IF (NFIX(N).EQ.10) GO TO 500
C3001 I = I + 1
C          DO 3004 J=1,NSZF
C          IF (I.EQ.J) GO TO 3004
C          PCOPR(J) = -SK(J,I) * VALIMP(N,2)
C3004 CONTINUE
C          DO 3005 M = 1,NSZF
C          SK(I,M) = 0.
C          SK(I,M) = 0.
C3005 CONTINUE
C          SK(I,I) = 1.
C          P(I) = 0.
C          PCOPR(I) = VALIMP(N,2)
C          500 CONTINUE
C          DO 400 N=1,NSZF
C          VALMIN(N) = 17.**20.
C          DO 650 M=1,NSZF
C          IF (ABS(SK(N,M)).GT.0.) GO TO 650
C          IF (DABS(SK(N,M)).LT.DABS(VALMIN(N))) VALMIN(N)=SK(N,M)
C          650 CONTINUE
C          DO 660 M=1,NSZF
C          SK(N,M) = SK(N,M) / VALMIN(N)
C          660 CONTINUE

```

00003270  
00003280  
00003290  
00003300  
00003310  
00003320  
00003330  
00003340  
00003350  
00003360  
00003370  
00003380  
00003390  
00003400  
00003410  
00003420  
00003430  
00003440  
00003450  
00003460  
00003470  
00003480  
00003490  
00003500  
00003510  
00003520  
00003530  
00003540  
00003550  
00003560  
00003570  
00003580  
00003590  
00003600  
00003610  
00003620  
00003630  
00003640  
00003650  
00003660  
00003670  
00003680  
00003690  
00003700  
00003710  
00003720  
00003730  
00003740  
00003750  
00003760  
00003770  
00003780  
00003790  
00003800  
00003810  
00003820

DA 02

20/1/77

DATE = 37103

FORM

FORTRAN IV G LEVEL 21

```

0074      R(I,N) = R(I,N) / VALMIN(N)
0077      6) CONTINUE
           C
           RETURN
0078      2174 WRITE (6,2103)
0079      2103 FORMAT (1X,'END OF CONJUGAC OF C(NICFN(*)
0080      STOP
0081      END
0082

```

```

00113000
00113001
00113002
00113003
00113004
00113005
00113006
00113007
00113008
00113009
00113010

```

B. D

PAGE 0004

20/15/77

DATE = 92158

FORM

FORTRAN IV G LEVEL 21

COMMON BLOCK /CONT / MAP SIZE 78

FORMER LOCATION

NEW LOCATION

FORTRAN IV G LEVEL 21 MAIN DATE = 82159 20/15/77

```

C C C S U B R O U T I N A S T I F ( N )
C C C
C C C O N S T P I A M A T R I Z D E R I G I D E Z 6 X 6 P A R A U M E L M E N T O D E D E F O R M A C A O
C C C P L A V A F A R M A Z E N A A M A T R I Z D E T E N S O E S E M U M A P O U I V C P A R A U S O P O S -
C C C T E R I D O N O C A L C U L O D A S T E N S O E S N O S E L E M E N T O S
C C C
C C C D I C I O N A R I O D E V A R I A V E I S
C C C N N U M E R O S D O S E L E M E N T O S
C C C A J , B J , A X , B X C O O R D E N A D A S L O C A I S D O T R I A N G U L O
C C C A ( 3 , 6 ) M A T R I Z D E F O R M A C A O D E S L U C C A M E N T O
C C C E S T I F M ( 1 2 , 1 2 ) M A T R I Z T E N S A O D E F O R M A C A O , U S A D A P A R A C A L C U L O D A M A -
C C C T R I Z D E R I G I D E Z D O E L E M E N T O
C C C B ( 4 , 9 ) M A T R I Z D E C A L C U L O D A S T E N S O E S
C C C
C C C S U R P O U T I F ( N )
C C C I M P L I C I T P E A L * 8 ( A - H , 0 - Z )
C C C C O M M O N / C O N T / F I X ( 3 0 )
C C C C O M M O N / T W A R / H O R A ( 2 0 ) , T E M P ( 2 6 , 2 0 ) , D E P S O ( 2 4 , 4 ) , T E M P C
C C C C O M M O N / E L E / E S T I F M ( 6 , 6 ) , A ( 3 , 4 , 5 ) , R ( 3 0 , 4 , 6 ) , A R E A ( 3 0 ) , P C ( 2 0 )
C C C C O M M O N / R I G / R I ( 4 0 ) , P ( 6 ) , D F S L O C ( 2 , 5 2 )
C C C C O M M O N / R I G 2 / S K I ( 5 2 , 1 0 4 )
C C C C O M M O N / C O R 3 D / C O P O ( 3 0 , 2 ) , N O P ( 5 0 , 2 ) , I M A T ( 5 0 ) , A M O D ( 5 0 , 2 ) , H P C ( 3 0 )
C C C C O M M O N / F L U F U 2 / F O R C E ( 2 4 , 4 ) , F C O F F E P I ( 6 ) , E P S C ( 2 4 , 4 )
C C C C O M M O N / F L U F U 3 / C O F F 1 , C O F F 2 , C O F F 3 , C T E F 4
C C C C O M M O N / F L U E V 4 / F I M ( 4 ) , D T A ( 4 )
C C C C O M M O N / C O N T 2 / T I T L C ( 1 8 ) , N P , N E , N B , N D F , A C N , A L D , N M A T , N S Z F , L I , N F 4
C C C C O M M O N / T E R 4 0 / A L F A , T F , F I N I C ( 6 ) , E P S O ( 2 4 , 4 ) , T I ( 2 5 ) , D ( 2 4 , 4 , 4 ) , T A N T ( 2 6 )
C C C C O M M O N / T E R 4 0 2 / N T E M P
C C C C O M M O N / F L U F U / G U 5 0 / A D T , F I N A L , F L U , N T 5
C C C C O M M O N / C O N S T / D J I S P I
C C C C O M M O N / D F E L / P O S E ( 2 4 , 4 )
C C C
C C C D E T E R M I N A O S N O S D O E L E M E N T O
C C C
C C C I = N O P ( N , 1 )
C C C J = N O P ( N , 2 )
C C C K = N O P ( N , 3 )
C C C T M = ( T E M P ( I , 1 ) + T E M P ( J , 1 ) + T E M P ( K , 1 ) ) / 3 .
C C C T A N T ( N ) = T M
C C C E P S O ( N , 1 ) = A L F A * ( T M - T 3 )
C C C E P S O ( N , 2 ) = E P S O ( N , 1 )
C C C E P S O ( N , 3 ) = E P S O ( N , 1 )
C C C E P S O ( N , 4 ) = 0 .
C C C L = I M A T ( N )
C C C
C C C T R A N S F E R E O R I G E M D O S I S T E M A D E C O O R D E N A D A S
C C C P A R A U M D O S V E R T I C E S D O T R I A N G U L O
C C C
C C C A J = C O R D ( J , 1 ) - C O R D ( I , 1 )
C C C A K = C O P O ( K , 1 ) - C O P O ( I , 1 )
C C C L F E I M P R I M E D A D O S D O S M A T R I Z [ N I S
C C C B J = C O P O ( J , 2 ) - C O P O ( I , 2 )
C C C B K = C O P O ( K , 2 ) - C O P O ( I , 2 )
C C C A P E A ( N ) = ( A J * 7 * K - A K * 3 * J ) / 2 .
C C C I F ( A P E A ( N ) * I F . 0 . ) 3 0 T O 2 2 0

```

```

00003910
00003920
00003930
00003940
00003950
00003960
00003970
00003980
00003990
00004000
00004010
00004020
00004030
00004040
00004050
00004060
00004070
00004080
00004090
00004100
00004110
00004120
00004130
00004140
00004150
00004160
00004170
00004180
00004190
00004200
00004210
00004220
00004230
00004240
00004250
00004260
00004270
00004280
00004290
00004300
00004310
00004320
00004330
00004340
00004350
00004360
00004370
00004380
00004390
00004400
00004410
00004420
00004430
00004440
00004450
00004460
00004470
00004480
00004490
00004500
00004510
00004520
00004530
00004540
00004550
00004560
00004570
00004580
00004590
00004600
00004610
00004620
00004630
00004640
00004650
00004660
00004670
00004680
00004690
00004700
00004710
00004720
00004730
00004740
00004750
00004760
00004770
00004780
00004790
00004800
00004810
00004820
00004830
00004840
00004850
00004860
00004870
00004880
00004890
00004900
00004910
00004920
00004930
00004940
00004950
00004960
00004970
00004980
00004990
00005000

```



00004677  
00004680  
00004683  
00004686  
00004689  
00004692  
00004695  
00004698  
00004701  
00004704  
00004707  
00004710  
00004713  
00004716  
00004719  
00004722  
00004725  
00004728  
00004731  
00004734  
00004737  
00004740  
00004743  
00004746  
00004749  
00004752  
00004755  
00004758  
00004761  
00004764  
00004767  
00004770  
00004773  
00004776  
00004779  
00004782  
00004785  
00004788  
00004791  
00004794  
00004797  
00004800  
00004803  
00004806  
00004809  
00004812  
00004815  
00004818  
00004821  
00004824  
00004827  
00004830  
00004833  
00004836  
00004839  
00004842  
00004845  
00004848  
00004851  
00004854  
00004857  
00004860  
00004863  
00004866  
00004869  
00004872  
00004875  
00004878  
00004881  
00004884  
00004887  
00004890  
00004893  
00004896  
00004899  
00004902  
00004905  
00004908  
00004911  
00004914  
00004917  
00004920  
00004923  
00004926  
00004929  
00004932  
00004935  
00004938  
00004941  
00004944  
00004947  
00004950  
00004953  
00004956  
00004959  
00004962  
00004965  
00004968  
00004971  
00004974  
00004977  
00004980  
00004983  
00004986  
00004989  
00004992  
00004995  
00004998  
00005001  
00005004  
00005007  
00005010  
00005013  
00005016  
00005019  
00005022

FORMA MATRIZ TENSÃO/DEFORMAÇÃO

PC(N) = (COR(J,1) + COR(J,2) + COR(K,1)) / 3.  
ZC = (COR(I,2) + COR(J,2) + COR(K,2)) / 3.  
RI = COR(I,1)  
ZJ = COR(J,2)  
RJ = COR(J,1)  
ZJ = COR(J,2)  
RJ = COR(J,1)  
ZM = COR(K,1)  
ZM = COR(K,2)  
ALFAI = RJ \* ZM - ZJ \* RJ  
ALFAJ = RM \* ZI - ZM \* RI  
ALFAM = RI \* ZJ - ZI \* RJ  
BETAJ = ZJ - ZM  
BETAJ = ZM - ZI  
BETAM = ZI - ZJ  
GAMAJ = RI - RJ  
GAMAJ = RJ - RI  
AIN(1,1) = BETAJ  
AIN(1,2) = 0.  
AIN(1,3) = BETAJ  
AIN(1,4) = 0.  
AIN(1,5) = BETAM  
AIN(1,6) = 0.  
AIN(2,1) = 0.  
AIN(2,2) = GAMAJ  
AIN(2,3) = 0.  
AIN(2,4) = GAMAJ  
AIN(2,5) = 0.  
AIN(2,6) = GAMAJ  
AIN(3,1) = ALFAI/RC(N) + BETAJ + GAMAJ \* ZC / RC(N)  
AIN(3,2) = 0.  
AIN(3,3) = ALFAJ/PC(N) + BETAJ + GAMAJ \* ZC / PC(N)  
AIN(3,4) = 0.  
AIN(3,5) = ALFAM/PC(N) + BETAM + GAMAJ \* ZC / PC(N)  
AIN(3,6) = 0.  
AIN(4,1) = GAMAJ  
AIN(4,2) = BETAJ  
AIN(4,3) = GAMAJ  
AIN(4,4) = BETAJ  
AIN(4,5) = GAMAJ  
AIN(4,6) = BETAM

FORMA MATRIZ TENSÃO/DEFORMAÇÃO

COVM = AIN(1,1)/(1.+AMOD(L,2)) \* (1.-AMOD(L,2)\*2.) \* AFEA(N)  
ESTIFM(1,1) = COVM \* (1. - AMOD(L,2))  
ESTIFM(1,2) = COVM \* AMOD(L,2)  
ESTIFM(1,3) = ESTIFM(1,2)  
ESTIFM(1,4) = 0.  
ESTIFM(2,1) = ESTIFM(1,2)  
ESTIFM(2,2) = ESTIFM(1,1)  
ESTIFM(2,3) = ESTIFM(1,3)

00005030  
00005033  
00005036  
00005039

ESTIFM(2,4) = 0.  
ESTIFM(3,1) = ESTIFM(1,3)  
ESTIFM(3,2) = ESTIFM(2,3)

00005044  
00005047  
00005050

20/15/77

DATE = 82158

STIF

FCPTAN IV G LEVEL 21

```

0083 ESTIFM(2,4) = 0.
0084 ESTIFM(3,1) = ESTIFM(1,3)
0085 ESTIFM(3,2) = ESTIFM(2,3)
0086 ESTIFM(3,3) = ESTIFM(1,1)
0087 ESTIFM(3,4) = 0.
0088 ESTIFM(4,1) = 0.
0089 ESTIFM(4,2) = 0.
0090 ESTIFM(4,3) = 0.
0091 ESTIFM(4,4) = COM * (1.-2.*AVC)(L,2)/2.
0092 DO 9100 L=1,4
0093 DO 5100 M=1,4
0094 5100 D(N,L,M) = ESTIFM(L,M) * AREA(N)
C
0095 DO 205 I = 1,4
0096 DO 275 J=1,6
0097 B(N,I,J) = 0.
0098 DO 205 K = 1,4
0099 B(N,I,J) = R(N,I,J) + ESTIFM(I,K)/2. * A(N,K,J)
0100 FINIC(J) = 0.
0101 DO 5000 I=1,4
0102 FINIC(J) = FINIC(J) + 9(N,I,J) * EPS(N,I)
0103 FINIC(J) = FINIC(J) * DOI(SPI * RC(N) * AREA(N)
0104
0105 5001 CONTINUE
C
0106 ESTIFM EH A MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO
C
0107 DO 210 I= 1,6
0108 DO 210 J= 1,6
0109 ESTIFM(I,J) = 0.
0110 DO 210 K = 1,4
0111 ESTIFM(I,J) = ESTIFM(I,J) + (B(N,K,I)/2.) * A(N,K,J)
0112 DO 211 I=1,6
0113 ESTIFM(I,J) = ESTIFM(I,J) * DOI(SPI * RC(N)
0114 DO 215 I=1,4
0115 DO 215 J=1,6
0116 A(N,I,J) = A(N,I,J) / (2.*AREA(N)
0117 PFTURN
0118
C
0119 F330 - NDS DO ELEMENTO FCFAM MAL DADOS
C
0119 220 WRITE (6,100) N
0120 100 FCFMAT (1H,'ELEMENTO NO',I4,' TEM AREA NULA CU NEGATIVA')
0121 STOP
0122 F40

```

```

00005030
00005040
00005050
00005060
00005070
00005080
00005090
00005100
00005110
00005120
00005130
00005140
00005150
00005160
00005170
00005180
00005190
00005200
00005210
00005220
00005230
00005240
00005250
00005260
00005270
00005280
00005290
00005300
00005310
00005320
00005330
00005340
00005350
00005360
00005370
00005380
00005390
00005400
00005410
00005420
00005430
00005440
00005450
00005460
00005470
00005480
00005490

```

FORTRAN IV G LEVEL 21

S U R J T I N A P S U L T  
MULTIPLICA INVESA DELG VEICP OC LAOC DIREITO

```

0001 SURPOTIVE RESULT
0002 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0003 COMMON/CONT/NFIX(11)
0004 COMMON/TVAR/HORA(20),TEMP(26,20),DEPS(24,4),TEMPC
0005 COMMON/EL/FSTIE(6,6),A(2,4,4),R(30,4,4),AREA(40),RC(30)
0006 COMMON/RIG/S(1,6),R(6),DESLOC(2,52)
0007 COMMON/PIGZ/SK(52,104)
0008 COMMON/COR/D(30,2),NDP(50,3),I,VA(50),AMOD(50,2),NEC(30)
0009 COMMON/FLUEN2/F03CF(24,4),FCPEEP(6),F05C(24,4)
0010 COMMON/FLUEN3/CFE1,CFE2,CFE3,CFE4
0011 COMMON/FLUEN4/FLI(4),DTA(4)
0012 COMMON/CONTR/TITLE(18),NP,NE,NS,NDF,NCN,NLD,NMAT,NSZF,LI,NT4
0013 COMMON/TER4/ALFA,T9,FINIC(6),FPSO(24,4),T(26),D(24,4,4),TANT(26)
0014 COMMON/TER402/TEMP
0015 COMMON/F,UFV/G(50),DT,FINAL,FLU,NT5
0016 COMMON/CONST/DJISI
0017 DIMENSION OFS(67)
0018 EQUIVALENCE (DES(1),DESLOC(1))
0019 DO 10 I = 1,NSZF
0020 DES(I) = 0.
0021 DO 10 J = 1,NS7F
0022 I) OFS(I) = DES(I) + SK(I,J) * RI(J)
0023 RETURN
0024 END

```

PAGE 0002

20/15/27

DATE = 02168

RESULT 1

FORTRAN IV G LEVEL 21

SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION
COMMON BLOCK	/CONT	COMMON BLOCK	/TVAR	COMMON BLOCK	/RIG
COMMON BLOCK	/PIGZ	COMMON BLOCK	/CONST	COMMON BLOCK	/F,UFV
COMMON BLOCK	/DIMENSION	COMMON BLOCK	/EQUIVALENCE	COMMON BLOCK	/DO
COMMON BLOCK	/RETURN	COMMON BLOCK	/END		

```

C SUBROUTINE MAIN
C S U B R O U T I N E M A I N
C I M P R I M E D S D E S L O C A M E N T O S E C A L C U L A E I M P R I M E A S
C T E N S O E S N O E L E M E N T O P A R A F O R M A C A O P L A N A
C F O R C E ( 2 0 0 , 3 ) V E T O R D E T E N S O E S N O S E L E M E N T O S
C B ( 4 , 6 ) M A T R I Z T E N S A O / D E S L O C A M E N T O
C R ( 8 ) M A T R I Z D E D E S L O C A M E N T O S D O E L E M E N T O
C S M A X M A X I M A T E N S A O N O E L E M E N T O N
C S M I N M I N I M A T E N S A O N O E L E M E N T O N
C A N G A N G U L O H O R A R I O E N T R E A V E R T I C A L E A D I R E C C A O D A
C A N G M A X I M A T E N S A O N O E L E M E N T O N
C S U B R O U T I N E S T R E S S
C I M P L I C I T R E A L * 8 ( A - H , 0 - Z )
C C O M M O N / C O N T / N F I X ( 3 0 )
C C O M M O N / T V A R / M D P A ( 2 0 ) , T E M P ( 7 6 , 2 0 ) , D E P S O ( 2 4 , 4 ) , T E M P O
C C O M M O N / E L E / E S T I F M ( 6 , 6 ) , A ( 3 0 , 4 , 6 ) , R ( 3 0 , 4 , 5 ) , A R E A ( 3 0 ) , P C ( 3 0 )
C C O M M O N / P I G / P ( 1 6 0 ) , P ( 6 ) , D F S L O C ( 2 , 5 7 )
C C O M M O N / P I O 2 / S K ( 5 7 , 1 0 4 )
C C O M M O N / C J R D / C J R D ( 3 0 , 2 ) , N O P ( 5 0 , 3 ) , I M A T ( 5 0 ) , A M G D ( 5 0 , 2 ) , N A R C ( 1 3 0 )
C C O M M O N / F L U E N 2 / F O R C F ( 2 4 , 4 ) , F C R F F P ( 6 ) , F P S C ( 2 4 , 4 )
C C O M M O N / F L U E N 3 / C D F E 1 , C D F E 2 , C D F E 3 , C D F E 4
C C O M M O N / F L U E N 4 / P T M ( 4 ) , P T A ( 4 )
C C O M M O N / C N T R / T I T L E ( 1 8 ) , N P , R F , N B , N O F , A C N , N L D , N M A T , N S Z F , L I , N T 4
C C O M M O N / T E R M D / A L F A , T B , F I N I C ( 6 ) , E P S O ( 2 4 , 4 ) , T ( 2 5 ) , D I ( 2 4 , 4 , 4 ) , T A N T ( 2 6 )
C C O M M O N / T E M P O 2 / T E M P
C C O M M O N / F L U E N / G U S O , J T , F I N A L , F L U , N T 5
C C O M M O N / C N S T / D D I S 1
C C O M M O N / D E F E L / F P S E ( 2 4 , 4 )
C C O M M O N / I N D I C / I N D P 2
C I F ( T E M P O . G T . 0 . ) W R I T E ( 6 , 1 0 2 ) T E M P O , D T
C 1 0 2 F O R M A T ( 1 5 X , T E M P O = , F 1 0 . 6 , ' D T = , F 1 0 . 8 )
C I F ( T E M P O . G T . 0 . ) G O T O 1 0 3
C I M P R I M E D S D E S L O C A M E N T O S - C A L C U L A E I M P R I M E A S T E N S O E S
C W R I T E ( 6 , 1 0 0 )
C W R I T E ( 6 , 1 1 0 ) ( M , ( D F S L O C ( J , 4 ) , J = 1 , N D F ) , M = 1 , N P )
C 1 0 0 F O R M A T ( / / , 1 5 X , 1 3 4 0 F S L O C A M E N T O S )
C 1 1 0 F O R M A T ( 1 1 0 , 2 F 1 5 . 6 )
C 1 0 3 C O N T I N U E
C C A L C U L A A S T E N S O E S N O E L E M E N T O
C D O 2 0 0 N = 1 , N F
C D O 2 6 0 I = 1 , N C N
C M = N O P ( N , I )
C I F ( M . F G . 0 ) G O T O 2 6 0
C K = ( I - 1 ) + N O F
C D O 2 4 0 J = 1 , N D F
C I J = J * K
C 2 4 0 P ( I , J ) = D E S L O C ( J , 4 )
C 2 6 0 C O N T I N U E
C I A = K + N O F
C D O 3 0 0 I = 1 , 4
C * I F ( T E M P O . G T . 0 . ) G O T O 2 7 0
C F O R C E ( N , I ) = 0 .
C E P S E ( N , I ) = 0 .
C D O 2 6 5 J = 1 , I A
C E P S E ( N , I ) = F P S E ( N , I ) + A ( N , I , J ) * P ( J )
C 2 6 5 C O N T I N U E
C 2 7 0 G O 2 3 0 J = 1 , I A
C 0 0 0 1
C 0 0 0 2
C 0 0 0 3
C 0 0 0 4
C 0 0 0 5
C 0 0 0 6
C 0 0 0 7
C 0 0 0 8
C 0 0 0 9
C 0 0 1 0
C 0 0 1 1
C 0 0 1 2
C 0 0 1 3
C 0 0 1 4
C 0 0 1 5
C 0 0 1 6
C 0 0 1 7
C 0 0 1 8
C 0 0 1 9
C 0 0 2 0
C 0 0 2 1
C 0 0 2 2
C 0 0 2 3
C 0 0 2 4
C 0 0 2 5
C 0 0 2 6
C 0 0 2 7
C 0 0 2 8
C 0 0 2 9
C 0 0 3 0
C 0 0 3 1
C 0 0 3 2
C 0 0 3 3
C 0 0 3 4
C 0 0 3 5
C 0 0 3 6
C 0 0 3 7
C 0 0 3 8
C 0 0 3 9
C 0 0 4 0
C 0 0 4 1
C 0 0 4 2
C 0 0 4 3
C 0 0 4 4
00006230
00006240
00006250
00006260
00006270
00006280
00006290
00006300
00006310
00006320
00006330
00006340
00006350
00006360
00006370
00006380
00006390
00006400
00006410
00006420
00006430
00006440
00006450
00006460
00006470
00006480
00006490
00006500
00006510
00006520
00006530
00006540
00006550
00006560
00006570
00006580
00006590
00006600
00006610
00006620
00006630
00006640
00006650
00006660
00006670
00006680
00006690
00006700
00006710
00006720
00006730
00006740
00006750
00006760
00006770
00006780

```

```

0045 300 FORCE(N,I) = FORCE(N,I) + 3(N,I,U) * R(I)
0046 IF (TEMP-ST.0.) GO TO 5001
0047 DO 5000 I = 1,4
0048 DO 5000 LL = 1,4
0049 FORCE(N,I) = FORCE(N,I) - D(N,I,LL) * FPSO(N,LL)
0050 CONTINUE
0051 GO TO 200
0052 DO 5002 I=1,4
0053 FORCE(N,I) = FORCE(N,I) - 2. * G(N) * FPSO(N,I)
0054 IF (TEMP-LT.2) GO TO 5002
0055 DO 5002 LL = 1,4
0056 FORCE(N,I) = FORCE(N,I) - D(N,I,LL) * DEPS(N,LL)
0057 CONTINUE
0058 200 CONTINUE
0059 IF (INDPR-EG.1) GO TO 300
0060 INDPR = 1
0061 WRITE (6,101)
0062 CONTINUE
0063 C
0064 DO 600 N = 1,NF
0065 C = (FORCE(N,1)+FORCE(N,2))/2.
0066 CC = DARS (FORCE(N,2) - FORCE(N,1)) / 2.
0067 AA = DSRT (CC * CC + FORCE(N,4) * FORCE(N,4))
0068 SWAX = C+AA
0069 SWIN = C-AA
0070 IF (FORCE(N,2).EQ.SMIN) GO TO 700
0071 ANG = 57.29578 * DATAN(FORCE(N,4)/FORCE(N,2)-SPIN)
0072 GO TO 210
0073 700 ANG = 90.
0074 210 CONTINUE
0075 IMPRIME TODAS AS COMPONENTES DE TENSAO
0076 400 WRITE (6,111)
0077 IN,(FORCE(N,I),I=1,4),SMAX,SMIN,ANG
0078 600 CONTINUE
0079 101 FORMAT (///, ' ELFAMENTO TENS-RAD. TENS. AXIAL
0080 *TENS.TANG. TENS.R7 TENSAC MAX TENSAC MIN
0081 *ANGULO)
0082 111 FORMAT (110,6F17.4,F12.3)
0083 RETURN
0084 300 INDPR = 0
0085 RETURN
0086 END

```

27/15/77

DATE = 32158

FORMRC

FORTRAN IV G LEVEL 21

```

0001      SUBROUTINE FPMRC
0002      FORMA O VETOR DO LADO DIREITO, CORRESPONDENTE
0003      AO CREEP PARA UM INTERVALO DE TEMPO
0004      A ESTE VETOR SERA SOMADO DEPOIS O VETOR DE CORPECAD
0005      CORRESPONDENTE AS CONDIÇÕES DE CONTORNO
0006      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0007      COMMON/CONT/FIX(30)
0008      COMMON/TVAR/HORA(20),TEMP(26,20),DEPSO(24,4),TEMPC
0009      COMMON/E-E/ESTIM(6,6),A(30,4,6),R(30,4,6),AREA(30),RC(30)
0010      COMMON/RIG/R(60),Z(6),DEF SLCC(2,52)
0011      COMMON/RIG2/SK(52,104)
0012      COMMON/CJRD/CJRD(20,2),NOZ(50,3),IMAT(50),AMCO(50,2),NBC(30)
0013      COMMON/FLUEN2/FORCE(24,4),FCOFF P(6),FPSC(24,4)
0014      COMMON/FLUEN3/CDEF1,CDEF2,CDEF3,CDEF4
0015      COMMON/FLUEN4/FIM(6),DTA(4)
0016      COMMON/CONTP/TITLE(10),NP,NE,NB,ACN,NLD,NMAT,NSZF,LI,NT4
0017      COMMON/TERM3/ALFA,T0,FINIC(6),FPSO(24,4),T(25),D(24,4,4),TANI(26)
0018      COMMON/DEFE/EP,SP(24,4)
0019      DC 310 N = 1,NSZF
0020      P(I,N) = 0.
0021      310 CONTINUE
0022      DO 400 N = 1,NE
0023      CALL CREEP (N)
0024      DO 350 JJ = 1,NCN
0025      VZCNO = (NDP(N,JJ)-1) * NDF
0026      DO 350 J = 1,NDF
0027      NRCNR = VZCNO + 1
0028      I = (JJ - 1) * NDF + J
0029      P1(NRNOB) = Z1(NRNOB) + FCREEP(I) + FINIC(I)
0030      350 CONTINUE
0031      400 CONTINUE
0032      IF (NB.EQ.0) GO TO 500
C
C
C
0033      DO 2000 N = 1,NB
0034      IF (NFIX(N).EQ.0) GO TO 2000
0035      IF (NFI(N).EQ.1) GO TO 2100
0036      IF (NFI(N).EQ.10) GO TO 2101
0037      IF (NFI(N).EQ.11) GO TO 2102
0038      STOP
0039      2100 IN = NBC(N) * ?
0040      R(I,N) = 0.
0041      GO TO 2010
0042      2101 IN = (NBC(N) * ?) - 1
0043      P(I,N) = 0.
0044      GO TO 2010
0045      2102 IN = NBC(N) * ?
0046      R(I,N) = 0.
0047      P(I,N) = 1.
0048      2000 CONTINUE

```

B.16

FORTRAN IV G LEVEL 21

00007770  
00007780  
00007790  
00007800  
00007810

DO 2500 N=1,N57E  
R1(N) = R1(N) / VALMIN(N)  
2500 CONTINUE  
500 RETURN  
END

0050  
0051  
0052  
0053  
0054

PAGE 0073

20/15/27

DATE-- 82168

FOR MRC

FORTRAN IV G LEVEL 21

SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION
		COMMON BLOCK /	ACCNT			MAP SIZE	78
		LOCATION	SYMBOL	LOCATION	SYMBOL	LOCATION	SYMBOL

27/15/77

DATE = R2158

CREEP

FCPTPAN IV G LEVEL 21

```

0001 SUBROUTINE CREEP(N)
0002 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0003 COMMON/CJNT/NEIX(20)
0004 COMMON/TVAP/HQ3A(20),TFMP(26,20),DEPS1(2,4),TFMPC
0005 COMMON/E-E/ESTIF4(6,6),AT30(4,6),B(30,4,5),APFA(30),PC(30)
0006 COMMON/RIG/21(60),R1(6),DESLCC(2,52)
0007 COMMON/FIG2/SK(52,164)
0008 COMMON/CJ3D/CJ3D(30,2),NDP(50,3),IMAT(50),AMCO(50,2),NBC(30)
0009 COMMON/F-UEV2/FORCE(24,4),FCRFP(6),FPSC(24,4)
0010 COMMON/FLUEN3/CDEF1,CDEF2,CDEF3,CDEF4
0011 COMMON/F-UEV4/IT4(4),JTA(4)
0012 COMMON/CJNT3/TITLE(18),VP,NE,NA,NDF,NCM,NLD,AMAT,NSZF,LI,NT4
0013 COMMON/TE94D/ALFA,T3,FINIC(6),EPS0(24,4),T(25),D(24,4,4),TANT(24)
0014 COMMON/TER432/TEVP
0015 COMMON/ELUFV/G(5)),DT,FINAL,FLU,NT5
0016 COMMON/CJNST/DJSP1
0017 COMMON/DEFEL/EPSE(24,4)
0018 AA = FORCE(N,1) - FORCE(N,3)
0019 AB = FORCE(N,3) - FORCE(N,2)
0020 AG = FORCE(N,1) - FORCE(N,2)
0021 AD = FORCE(N,4)
0022 SIGMAE = 0.7071068 * DSORT(AA*AA + AB*AB + AC*AC + 5.* AD * AD)
0023 DEPSC = CDEF1 * 10. * CDEF2 * SIGMAE ** CDEF3 * DT
0024 AE = (DEPSC / (2.* SIGMAE))
0025 EPSC(N,1) = AE * (2.* FORCE(N,1) - FORCE(N,3) - FORCE(N,2))
0026 EPSC(N,2) = AE * (2.* FORCE(N,2) - FORCE(N,1) - FORCE(N,3))
0027 EPSC(N,3) = AE * (2.* FORCE(N,3) - FORCE(N,1) - FORCE(N,2))
0028 EPSC(N,4) = 1.5 * (DEPSC / SIGMAE) * AD
0029 DO 5001 J=1,6
0030 FCREEP(J) = 0.
0031 DO 5000 I = 1,4
0032 FCREEP(J) = FCREEP(J) + A(N,I,J) * FPSC(N,I)
0033 FCREEP(J) = FCREEP(J) * DJSP1 * PC(N) * APEA(N) * 2. * G(N)
0034
0035 5001 CONTINUE
0036 IF (N.NE.1.AND.N.NE.NE) RETURN
0037 WRITE (6,1100) N, SIGMAE
0038 WRITE (6,2000) (EPSC(N,I),I=1,4)
0039 FOPMAT (1X,7F5.12)
0040 WRITE (6,2100) (EPSC(N,I),I=1,4)
0041 FOPMAT (1X,7F5.12)
0042 WRITE (6,1000) SIGMAE,DEPSC,EPSC(I),I=1,4),(FCREEP(J),J=1,4)
0043 FOPMAT (1X,7F5.10),F15.10,DEPSC,F15.10,EPSC,F15.10,FCREEP,F15.10)
0044 RETURN
0045 END

```







9	11	10
11	12	10
11	14	12
11	13	14
13	15	14
14	16	14
15	18	16
14	17	18
17	19	18
18	20	18
19	22	20
20	19	21
19	21	22

CCANCIOS DE CONTORNO

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	1
18	1
19	1
20	1
21	1
22	1

CASOS DE CARGAMENTOS

TUPO 11

CARGAS	12.97	0.0	0.0
NO 1	CARGA X	155.69946	CARGA Y
NO 2	CARGA X	155.69946	CARGA Y
NO 22	CARGA X	0.0	CARGA Y

DESLOCAMIENTOS

1	0.00058748	0.0
2	0.00058661	0.0
3	0.00055156	0.0
4	0.00055232	0.0
5	0.00052297	0.0
6	0.00052220	0.0
7	0.00049759	0.0
8	0.00049807	0.0
9	0.00047702	0.0
10	0.00047662	0.0
11	0.00045873	0.0
12	0.00045906	0.0
13	0.00044367	0.0
14	0.00044339	0.0
15	0.00043721	0.0
16	0.00043745	0.0
17	0.00041908	0.0
18	0.00041897	0.0
19	0.00040910	0.0
20	0.00040928	0.0
21	0.00040085	0.0
22	0.00040069	0.0

ELEMENTO	TENS. RAD.	TENS. AXIAL	TENS. TANG.	TENS. PZ	TENSAL MAX	TENSAL MIN	ANGULO
1	-148.6180	42.5699	290.5175	-2.3270	42.5302	-148.6463	-0.607
2	-141.9594	40.5210	277.0309	-2.0255	42.5640	-141.9810	0.636
3	-117.5431	42.2585	258.4944	2.0255	42.2942	-117.5688	0.726
4	-111.9206	40.8173	247.8732	-1.5553	40.8131	-111.9464	0.584
5	-92.4143	42.1594	232.0259	-1.5553	42.1684	-92.4323	0.662
6	-87.9557	40.9273	224.3567	1.2801	40.9237	-87.9696	0.573
7	-72.1206	42.0252	212.2137	-1.2801	42.0308	-72.1442	0.647
8	-68.4281	41.0401	205.2284	-1.0543	41.0372	-68.4382	0.552
9	-55.4056	41.9438	195.2181	-1.0543	41.9552	-55.4170	-0.670
10	-52.3584	41.1182	185.6191	0.8821	41.1265	-52.3667	0.541
11	-41.4961	41.8743	181.0770	0.8821	41.8835	-41.5054	0.606
12	-38.9359	41.1850	176.2192	-0.7427	41.1919	-38.9437	-0.521
13	-29.7867	41.8216	165.1920	-0.7427	41.8216	-29.7944	0.504
14	-27.6253	41.2358	165.0780	0.6309	41.2416	-27.6311	0.525
15	-19.9475	41.7766	159.1028	0.6309	41.7931	-19.9540	0.587
16	-17.0253	41.2792	155.5628	-1.5438	41.2842	-17.0302	-0.526
17	-11.3214	41.7454	150.4779	-1.5438	41.7510	-11.3272	0.507
18	-9.7456	41.2194	147.4437	0.4608	41.2316	-9.7498	-0.518
19	-3.9959	41.7055	142.0140	0.4608	41.7107	-3.9995	0.579
20	-2.5823	41.3481	140.4303	-1.4234	41.3522	-2.5864	-0.652
21	381.38						
22	0.000225949267		0.000231026045				
23	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
24	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
25	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
26	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
27	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
28	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
29	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
30	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
31	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
32	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
33	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
34	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
35	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
36	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
37	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
38	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
39	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
40	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
41	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
42	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
43	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
44	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
45	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
46	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
47	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
48	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
49	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
50	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
51	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
52	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
53	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
54	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
55	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
56	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
57	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
58	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
59	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
60	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
61	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
62	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
63	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
64	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
65	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
66	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
67	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
68	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
69	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
70	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
71	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
72	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
73	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
74	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
75	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
76	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
77	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
78	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
79	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
80	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
81	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
82	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
83	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
84	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
85	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
86	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
87	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
88	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
89	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
90	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
91	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
92	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
93	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
94	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
95	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
96	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
97	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
98	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
99	0.000000000000000000		0.000000000000000000				
100	0.000000000000000000		0.000000000000000000				

FLEX 1 SIGMAE  
 DEF EL-0.000225949267 0.0  
 DEF CP-0.000000000000000000  
 FLEV 20 SIGMAE 176.87



# D) TEMPERATURAS TUBO 2

D.1



TEMPERATURAS PAPA 4.70008 HORAS

1	659.74756
2	659.70325
3	662.24322
4	662.25150
5	655.23472
6	655.26958
7	643.78539
8	643.81330
9	642.68926
10	642.66139
11	626.28136
12	632.50598
13	531.42166
14	631.40394
15	625.21240
16	626.23340
17	621.29467
18	621.24511
19	516.54492
20	616.56150
21	612.04514
22	612.02149

TEMPERATURAS PAPA 4.90008 HORAS

1	659.74756
2	669.70325
3	662.24322
4	662.25150
5	655.23472
6	655.26958
7	643.78539
8	643.81336
9	642.68924
10	642.66139
11	636.28136
12	632.50598
13	631.40394
14	631.40394
15	625.21240
16	625.23340
17	621.29467
18	621.24511
19	616.54492
20	616.56250
21	612.04514
22	612.02149

TEMPERATURAS PAPA 4.90008 HORAS

1	659.74756
2	659.70325

# E) TENSÕES TUBO 2

E.1

CILINDRO MECHE 2 1 0 612.CCCCCC.CCC0136C 1. 1  
 20 20 21 1 -22.C000C 7.C428C C.C  
 4.28170 0.C000C10000 C.CC2500000 C.CC0010000 0.C10000000 1.000000000 C.1000000000  
 C.CCC010000 0.C000C10000 C.CC2500000 C.CC0010000 0.C10000000 1.000000000 C.1000000000

FFFEFFEFFEFES LOS MATERIALS C.30  
 2100000.00

FONTE ACIAIS	
1	7.62500 G.0 66.75000
2	7.66250 G.57250 66.71000
3	8.19750 G.C 62.25000
4	8.19750 C.57250 62.25000
5	8.77000 G.C 65.30000
6	8.77000 C.57250 65.30000
7	9.34250 G.C 64.80000
8	9.34250 C.57250 64.80000
9	9.91500 G.C 64.85000
10	9.91500 C.57250 64.80000
11	10.48750 G.C 66.80000
12	10.48750 C.57250 66.80000
13	11.06000 G.C 63.40000
14	11.06000 C.57250 63.40000
15	11.63250 G.C 62.20000
16	11.63250 C.57250 62.20000
17	12.20500 G.C 62.20000
18	12.20500 C.57250 62.20000
19	12.77750 G.C 61.50000
20	12.77750 C.57250 61.50000
21	13.35000 G.C 61.50000
22	13.35000 C.57250 61.50000

ELEMENTES	
1	1 1 1
2	2 2 2
3	3 3 3
4	4 4 4
5	5 5 5
6	6 6 6
7	7 7 7
8	8 8 8
9	9 9 9
10	10 10 10
11	11 11 11
12	12 12 12
13	13 13 13
14	14 14 14
15	15 15 15
16	16 16 16
17	17 17 17
18	18 18 18
19	19 19 19
20	20 20 20
21	21 21 21
22	22 22 22

CONTORNOS DE GENTURNO

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1

CENTICES DE CENTURNO

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	1
18	1
19	1
20	1
21	1
22	1

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	1
18	1
19	1
20	1
21	1
22	1



CAPES DE CARRECAMENT C

CILINDRO IMECHE

CAPES 22 0-0 0-0 C.C  
NC 22 CARGA X 0-0 C.C

DESLOCAMENTOS

1	0.07217576	C.C
2	0.00215407	C.C
3	0.03225551	0-0
4	0.00222874	C.C
5	0.01237451	C.C
6	0.00222874	C.C
7	0.00222874	C.C
8	0.00222874	C.C
9	0.00222874	C.C
10	0.00222874	C.C
11	0.00222874	C.C
12	0.00222874	C.C
13	0.00222874	C.C
14	0.00222874	C.C
15	0.00222874	C.C
16	0.00222874	C.C
17	0.00222874	C.C
18	0.00222874	C.C
19	0.00222874	C.C
20	0.00222874	C.C
21	0.00222874	C.C
22	0.00222874	C.C

ELEMENTO	TENS.AXIAL	TENS.TANG.	TENS.HZ	TENSAC MAX	TENSAC MIN	ANULLO
1	-1574.8884	-1270.4269	21.8488	-54.5118	-1975.2365	89.228
2	-1675.0454	-1118.6841	-23.6589	-31.0059	-1881.0500	-89.225
3	-1675.0454	-859.4000	-23.6589	-122.0576	-1675.4058	89.223
4	-1675.0454	-770.3678	15.8832	-96.8588	-1562.6814	89.079
5	-1675.0454	-580.5875	15.8832	-160.1122	-1358.7182	89.130
6	-1675.0454	-467.5486	-17.6322	-130.5117	-1251.5623	-89.547
7	-1675.0454	-301.5973	-17.6322	-175.1808	-1135.2481	89.001
8	-1675.0454	-232.2452	15.5697	-144.1488	-1037.7070	89.752
9	-1675.0454	-54.8832	15.5697	-174.0321	-889.1445	-88.780
10	-1675.0454	3.6708	-12.5676	-111.5607	-757.8590	88.387
11	-1675.0454	125.5550	12.5676	-167.8266	-656.5651	88.366
12	-1675.0454	245.2728	12.5676	-127.5987	-571.0348	87.977
13	-1675.0454	364.4300	12.5676	-137.9302	-486.8224	-87.374
14	-1675.0454	483.6871	-11.4773	-103.1500	-355.6924	-84.510
15	-1675.0454	545.1254	-11.4773	-107.8799	-228.4027	82.059
16	-1675.0454	611.1086	-11.4773	-74.8779	-152.0643	12.257
17	-1675.0454	710.5455	10.5610	-22.8371	-76.7446	-6.258
18	-1675.0454	771.2704	10.5610	45.8415	-42.8501	-2.778
19	-1675.0454	823.1214	-5.6207	162.6716	-36.0366	2.237
20	-1675.0454	818.5377	5.2176	231.8608	-4.4756	

ELEM J SIGMAE 1881.03  
 REF EL C.C.CC1107351018 C.C  
 REF CF C.C.CC0020718445-C.C.CC0017411534-C.C.CC00280111 C.C.CC0000214655  
 ELEM 2C SIGMAE 630.90  
 REF EL-C.C.CC1107351018 C.C  
 REF CF-C.C.CC0020718445-C.C.CC0017411534-C.C.CC00280111 C.C.CC0000214655  
 T.L.M.P.U = 0.000061 DT = C.C.CC000100  
 ELEM J SIGMAE 1881.03

M W



ELEMENT	TENS. RAD.	TENS. AXIAL	TENS. TANG.	TENS. RZ	TENSIC MAX	TENSAC MIN	ANGULC
1	-24.4417	-564.4684	-525.1324	11.4200	-24.0004	-564.7297	86.790
2	-13.2009	-561.0355	-456.4477	-10.6552	-12.6619	-561.2565	-88.855
3	-38.6253	-617.9175	-502.0265	-12.6530	-58.2352	-628.0480	-88.707
4	-43.4327	-617.9175	-460.7352	-11.9063	-43.1661	-618.2185	88.812
5	-66.2816	-672.2208	-435.7752	14.2070	-65.6373	-672.5651	88.612
6	-65.6596	-650.0273	-377.5923	-12.3963	-65.2366	-650.2902	-86.785
7	-103.4642	-672.8247	-310.2954	-14.7232	-103.0837	-672.2052	-86.520
8	-80.1380	-654.8668	-238.5010	12.0452	-78.8785	-635.2483	86.757
9	-105.5412	-605.5614	-135.5550	12.3585	-105.1425	-605.5401	88.423
10	-84.6507	-554.9878	-53.5154	-11.3585	-84.2182	-552.7642	-88.611
11	-103.0089	-482.2450	126.2504	-12.2670	-104.6107	-482.8433	-88.140
12	-75.2283	-417.5626	126.2504	10.6659	-76.8514	-417.5200	88.132
13	-91.7750	-315.4451	225.7705	10.8775	-91.2565	-320.1631	87.273
14	-65.5759	-251.7495	255.1257	-5.5888	-65.0415	-252.2839	-86.538
15	-72.3445	-148.3415	363.5480	-5.3375	-71.1167	-145.5657	-82.813
16	-46.2265	-83.2418	414.5255	5.3082	-46.1144	-85.6939	76.632
17	-45.2071	11.7823	464.4652	8.8175	13.3035	-50.4584	8.064
18	-23.5522	70.5456	503.0075	-8.4885	71.3005	-24.6491	-5.655
19	-24.0550	150.3316	533.7822	-7.9380	150.6904	-24.4193	-2.594
20	-0.4300	201.1653	565.4337	7.7659	201.4483	-0.7250	2.204

ELEM 1 SIGMAE 522.06  
DEF EL 0.0010751018 C.0  
DEF CF 0.00059828305-0.00022835221-C.0022140024 C.000019409002  
ELEM 20 SIGMAE 456.54  
DEF EL 0.00145746589 C.0  
DEF CF 0.00022744384-0.00006460277 C.00035110061 C.000005602522  
TEMPU = 0.105500 DT = 0.10000000  
ELEM 1 SIGMAE 255.70  
DEF EL 0.0010751018 C.0  
DEF CF 0.000228305+54 C.000018532250 C.000005150204-C.000001151562  
ELEM 20 SIGMAE 283.85  
DEF EL 0.00145746589 C.0  
DEF CF 0.000001459221 C.000006175358-C.00007630615 C.000000020648  
TEMPU = 0.205500 DT = 0.10000000

ELEMENT	TENS. RAD.	TENS. AXIAL	TENS. TANG.	TENS. RZ	TENSIC MAX	TENSAC MIN	ANGULC
1	15.4423	335.7163	283.2451	-8.5265	335.6404	15.2183	-1.503
2	4.5049	333.1984	254.9756	6.3038	333.2192	4.2842	1.098
3	30.0253	366.7631	224.1502	8.8102	366.6924	25.7545	1.498
4	20.7811	355.7812	191.0707	-4.2745	355.6357	20.7285	-0.731
5	36.8427	351.7485	118.1577	-6.0665	351.6657	36.5255	-1.103
6	34.6566	336.1002	88.2148	1.6538	336.1097	30.5301	0.315
7	33.8489	287.5592	-2.0383	1.6830	287.6148	34.6413	0.449
8	27.4227	271.5372	-15.0372	0.8220	271.6255	27.4227	0.197
9	28.3800	203.0327	-74.1667	1.8114	203.0912	28.3800	0.587
10	31.7819	152.5356	-63.0600	-2.2823	152.5668	31.7507	-0.782
11	27.7445	151.0771	-75.6872	2.8177	151.1875	27.6637	-1.438
12	22.0259	155.5180	-54.0786	2.8177	155.5777	22.0259	1.214
13	18.5051	146.2055	-58.8232	2.5628	146.2742	18.5051	1.326
14	42.9204	164.2251	-44.4480	-2.3265	164.2661	42.9204	-1.190
15	15.0633	159.7748	-72.6474	-2.3532	159.8144	15.0633	-0.548
16	16.5282	174.1204	-71.4220	2.5541	174.1623	16.5282	0.540
17	10.7497	152.8357	-121.4915	1.7517	152.4183	10.7497	0.725
18	12.2882	155.6620	-125.1213	-1.2569	155.7056	12.2882	-0.558
19	5.2287	112.5111	-183.0786	-0.4256	112.5175	5.2287	-0.441
20	3.1584	104.7152	-195.0176	0.2303	104.7163	3.1573	0.186

ELEM 1 SIGMAE 300.41  
DEF EL 0.0010751018 C.0  
DEF CF 0.00011854106 C.000000164812 C.000004245355-C.00000513862  
ELEM 20 SIGMAE 264.05  
DEF EL 0.00145746589 C.0  
DEF CF 0.00000350227 C.000000371930-C.000004552158 C.000000005157  
TEMPU = 0.305500 DT = 0.10000000  
ELEM 1 SIGMAE 283.86



# TEMPERATURAS - VASO

71905EAC0457000

REGISTRO CONTAINER

REG. 15 REG. 14 REG. 13 REG. 12 REG. 11 REG. 10 REG. 9 REG. 8 REG. 7 REG. 6 REG. 5 REG. 4 REG. 3 REG. 2 REG. 1

621610EC 00161008 0000004F 0016190C

421601D4 00161828 00000132 00000000

0000FF78 00160000 00000140 0015F748

INVER

RESOLV

MAIN

ENTPY POINT= 00160000

STANLEARD FIXJP TAKEN , EXECUTION CONTINUING

T F M P E R A T U R A S P A R A 1.50000 H O P A S

1	84.50218
2	60.46742
3	52.86478
4	72.32302
5	56.23154
6	85.94322
7	64.64472
8	51.82812
9	76.21410
10	93.95490
11	73.71100
12	79.61847
13	89.93131
14	75.61066
15	79.15261
16	89.76620
17	75.53357
18	77.09612
19	89.60324
20	75.73539
21	78.55170
22	89.15805
23	73.95274
24	77.11362
25	89.14439
26	72.52039
27	75.37442
28	88.37611
29	73.49258
30	75.31612
31	87.52110
32	66.76767
33	75.44719
34	88.71671
35	72.51362
36	76.64452
37	89.45070
38	74.17302
39	77.75285
40	89.13342
41	74.17105
42	77.37515
43	87.98101
44	74.42131
45	77.85035
46	89.33484
47	75.12564
48	78.02945
49	89.46684
50	74.19864
51	77.26651
52	89.33502

IHC2081 IPCOM - PROGRAM INTERRUPT (P) - UNDEFPLC\* CLD PSH IS FF457000DA2162556 • REGISTER CONTAINED 7F190CF8FD4FD900

TRACEBACK ROUTINE CALLED FROM ISV REG. 14 REG. 15 REG. 3 REG. 1

INWER 62161C8C CC161FCB 0000004E 0016190C

\* RESOLV 42160104 00161A2A 00000032 00000000

MAIN 0000FE78 CC160C00 00000040 0019F748

ENTRY POINT= C0160000

STANCARD FIXUP TAKEN , EXECUTION CONTINUING

T E M P F R A T U P A S P A P A 3 . C 0 0 0 0 H O R A S

- 1 162.10342
- 2 123.43375
- 3 109.22974
- 4 143.08311
- 5 115.58514
- 6 164.67586
- 7 130.58144
- 8 106.87506
- 9 153.42407
- 10 170.28565
- 11 146.92758
- 12 155.19470
- 13 171.08414
- 14 150.84752
- 15 156.91503

- 44 76.23331
- 45 7.77035
- 46 89.33494
- 47 75.12564
- 48 78.12945
- 49 89.46484
- 50 74.19354
- 51 77.76651
- 52 89.33502
- 53 74.11864
- 54 77.77298
- 55 89.05254
- 56 74.36972
- 57 79.20297
- 58 90.20056
- 59 75.22366
- 60 79.96916
- 61 89.58317
- 62 75.87029
- 63 79.20773
- 64 90.26015
- 65 76.03082
- 66 79.01779
- 67 89.67841
- 68 75.05913
- 69 78.93154
- 70 89.76863
- 71 75.21162
- 72 78.54404
- 73 90.76490
- 74 74.03819
- 75 75.58991
- 76 71.75809
- 77 72.18303

1	519.58235
2	520.387
3	561.66101
4	527.50300
5	577.14375
6	545.44620
7	503.33604
8	566.32759
9	581.50195
10	558.42269
11	571.47098
12	503.89438
13	562.61621
14	572.39330
15	583.80712
16	563.06439
17	572.90454
18	584.9812
19	563.14331
20	573.00301
21	583.28622
22	562.36133
23	572.35957
24	584.51367
25	561.22046
26	571.55176
27	583.75376
28	559.26172
29	577.73506
30	582.32935
31	551.50078
32	570.90186
33	583.38770
34	561.62207
35	571.17383
36	584.45023
37	562.97852
38	572.19237
39	583.25752
40	562.50171
41	571.53213
42	584.75000
43	567.71069
44	571.58037
45	583.86247
46	563.78079
47	577.22163
48	584.33325
49	562.41748
50	571.69116
51	584.87427
52	562.71606
53	572.26709
54	582.7302
55	562.61694
56	572.37598
57	584.83594
58	563.44116
59	573.30439
60	583.98315
61	564.14404
62	572.37437
63	584.70508
64	564.37621
65	573.19594
66	584.25254
67	563.07324
68	573.17871
69	584.68682
70	563.57544
71	573.08036
72	585.20860
73	563.90824
74	574.43023
75	574.30790
76	575.48412
77	

G) TENSÕES - VASO

ANALISE DE TENSÕES VASO  
 30 28 5 1 2 1 0 20.0000000.00001360 1. 1 1.0000000000 10.0000000000 1.0000000000  
 5.51760 -15.00000 6.0840 C.0  
 0.1000000000 0.0010000000 0.5000000000 0.0100000000 0.1000000000 0.0000000000

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS 0.30

PONTOS	NODAIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	150.00000	0.0	0.0	575.00000																													
2	160.00000	0.0	0.0	543.00000																													
3	170.00000	0.0	0.0	519.00000																													
4	149.50000	10.00000	10.00000	577.00000																													
5	159.50000	10.00000	10.00000	545.00000																													
6	170.00000	10.00000	10.00000	509.00000																													
7	148.00000	29.00000	29.00000	583.00000																													
8	157.00000	31.50000	31.50000	562.00000																													
9	141.50000	48.50000	48.50000	584.00000																													
10	151.50000	51.50000	51.50000	563.00000																													
11	134.00000	66.00000	66.00000	584.00000																													
12	143.50000	71.00000	71.00000	561.00000																													
13	124.50000	83.50000	83.50000	582.00000																													
14	123.00000	89.00000	89.00000	561.00000																													
15	112.50000	97.00000	97.00000	584.00000																													
16	120.00000	105.00000	105.00000	562.00000																													
17	98.50000	112.50000	112.50000	585.00000																													
18	106.00000	120.50000	120.50000	563.00000																													
19	83.50000	124.50000	124.50000	584.00000																													
20	89.50000	133.00000	133.00000	562.00000																													
21	66.50000	134.50000	134.50000	584.00000																													
22	71.00000	144.00000	144.00000	563.00000																													
23	48.50000	142.00000	142.00000	584.00000																													
24	51.50000	152.00000	152.00000	564.00000																													
25	29.50000	147.00000	147.00000	584.00000																													
26	31.50000	157.00000	157.00000	562.00000																													
27	10.00000	149.50000	149.50000	584.00000																													
28	11.00000	159.50000	159.50000	564.00000																													
29	0.0	150.00000	150.00000	584.00000																													
30	0.0	160.00000	160.00000	564.00000																													

ELEMENTOS

1	1	2	5	1
2	1	3	5	1
3	1	4	5	1
4	3	6	5	1
5	4	5	7	1
6	5	8	7	1
7	7	8	10	1
8	7	10	9	1
9	9	10	11	1
10	10	12	11	1
11	11	12	14	1
12	11	14	13	1
13	13	14	15	1
14	14	16	15	1
15	15	16	18	1
16	15	18	17	1
17	17	18	19	1
18	19	18	20	1
19	19	20	22	1
20	21	19	22	1
21	23	21	22	1
22	23	22	24	1

G.2

CASOS DE CARREGAMENTO 0

ANALISE DE TENSOES VASO

CARGAS 1 5.00 0.0

25	27	25	26	1
26	27	26	28	1
27	27	28	30	1
28	29	27	30	1

CONDICIONES DE CONTORNO

1	1
2	1
3	1
29	10
30	10

PRESSAC = 150.

CASOS DE CARREGAMENTO

ANALISE DE TENSOES VASO

NO	CARGA	5.00	0.0	CARGA Y	0.0
NO 1	CARGA X	766858.31308		CARGA Y	
NO 4	CARGA X	2110688.74765		CARGA Y	98630.29662
NO 7	CARGA X	2735334.22653		CARGA Y	549577.62603
NO 9	CARGA X	2523182.59483		CARGA Y	864176.65924
NO 11	CARGA X	2264415.89357		CARGA Y	1118947.28483
NO 13	CARGA X	1946645.25273		CARGA Y	1310670.82129
NO 15	CARGA X	1592551.77938		CARGA Y	1406639.74738
NO 17	CARGA X	1226337.91215		CARGA Y	1394367.55794
NO 19	CARGA X	879044.28576		CARGA Y	1305581.44143
NO 21	CARGA X	555298.46598		CARGA Y	1123759.63375
NO 23	CARGA X	296701.90751		CARGA Y	864836.42367
NO 25	CARGA X	109544.18897		CARGA Y	545218.66644
NO 27	CARGA X	6597.24426		CARGA Y	141183.16707
NO 29	CARGA X	0.0		CARGA Y	0.0
NO 30	CARGA X	0.0		CARGA Y	0.0

DESLOCAMENTOS

1	1.16049325	0.0
2	1.23157616	0.0
3	1.29682375	0.0
4	1.16094320	0.07990052
5	1.27077670	0.07271565
6	1.30057643	0.06660872
7	1.15251237	0.23365481
8	1.22710223	0.24544034
9	1.12324005	0.39533845
10	1.19689538	0.41086428
11	1.07269411	0.53052109
12	1.14095564	0.57359593
13	1.00111379	0.68145241
14	1.06319236	0.71851342
15	0.96115419	0.86080093
16	0.79540743	0.84988151
17	0.84870684	0.91581652
18	0.67449069	0.97327587
19	0.71575147	1.01371506
20	0.53642239	1.07050053
21	0.56716811	1.08772693
22	0.39145031	1.15630348
23	0.41046093	1.14531353
24	0.23861455	1.21633550
25	0.25558776	1.18081142
26		1.25075207



28 0.086  
29 0.0  
30 0.0

ELEMENTO	TENS. RAD.	TENS. AXIAL	TENS. TANG.	TENS. RZ	TENSAD MAX	TENSAD MIN	ANGULO
1	77.0437	278.2423	825.7267	169.5128	374.7592	-19.4732	29.656
2	-197.8196	721.3061	1223.5339	151.5641	745.6536	-222.1870	9.126
3	-157.2134	1037.5910	772.9559	-199.7070	1970.0874	-180.7093	9.242
4	114.9509	121.0467	1355.9344	-127.0991	240.3524	-14.3548	-43.188
5	-191.7291	1103.3583	785.4588	-52.0343	1105.4456	-103.8163	-2.297
6	29.8275	1176.6687	1009.6869	-154.0991	1107.0138	9.4323	7.521
7	-29.7567	1159.8490	954.1862	300.0517	1225.5661	-101.5138	-13.442
8	2.9336	944.0626	806.5235	-279.716	1071.5922	-73.5960	-15.335
9	22.2368	751.3137	824.6575	-357.4531	897.3240	-123.7744	-22.219
10	132.1621	1009.6687	1106.3377	-477.5877	1212.9876	-80.0568	-23.357
11	261.9514	891.6623	1176.1682	-531.5777	1104.6022	-61.0894	-26.670
12	167.6737	647.2040	466.3264	-464.3049	929.9964	-115.1187	-31.344
13	322.4066	678.8163	1674.1176	-526.8695	1070.6669	-76.4421	-27.370
14	469.5704	767.4323	1254.2537	-631.9282	1266.7787	-28.7760	-28.359
15	542.5326	583.1812	1216.4325	-649.5474	1212.7222	-87.0194	-44.104
16	459.0516	412.9710	1015.4614	-532.9520	969.3290	-67.3765	-46.241
17	510.7511	315.9515	1001.5550	-519.0594	941.4700	-114.7674	-50.314
18	744.8704	361.0013	1210.8543	-555.9723	1141.1059	-35.2342	-54.573
19	787.1266	286.0152	1196.8051	-529.2280	1122.1159	-48.9711	-57.667
20	722.2717	116.0737	1006.2691	-439.4635	953.0240	-114.6785	-62.297
21	774.0686	82.7875	969.7975	-413.0052	966.8923	-110.1261	-64.563
22	940.9406	96.6341	1152.1045	-369.9865	1097.6866	-40.1120	-69.714
23	986.4754	50.0239	1141.9885	-309.3352	1079.4302	-42.9309	-73.275
24	879.9118	-55.5985	593.4369	-227.2093	928.4885	-104.9653	-77.387
25	949.6823	-91.9470	577.2162	-156.5387	972.7199	-113.9846	-81.628
26	1024.1956	7.1537	1091.4372	-68.9836	1039.5559	-2.7935	-86.583
27	933.6199	-104.2923	1005.6028	-60.4794	837.5037	-108.1762	-86.326
28	1169.5958	-110.3686	1169.5958	105.1054	1178.1693	-118.9341	85.337

ELEM 1 SIGMAE 722.51  
 DEF FL 0.007108091483 0.007271565315 0.017716356380 C.00275459230  
 DEF CR 0.000001074416 0.000000391686 C.000001466101 C.00000575210  
 ELEM 28 SIGMAE 1292.84  
 DEF FL 0.009130257455 0.007090292840 0.008130257455 C.000170796219  
 DEF CR 0.000007986432 0.000015976864 0.000007580432 C.000001967943  
 TEMPU = 0.001000 DT = 0.0010000  
 ELEM 1 SIGMAE 735.74  
 DEF FL 0.007108091483 0.007271565319 0.007716356388 C.000275458280  
 DEF CR 0.000001103141 0.000000389344 0.000001492486 C.000000578971  
 ELEM 28 SIGMAE 1291.18  
 DEF FL 0.009130257455 0.007090292840 C.008130257455 C.000170796219  
 DEF CR 0.000007951132 0.000015902364 0.000007951182 0.000001910993  
 TEMPU = 0.002000 DT = 0.0010000

ELEMENTO	TENS. RAD.	TENS. AXIAL	TENS. TANG.	TENS. RZ	TENSAD MAX	TENSAD MIN	ANGULO
1	72.0815	286.0615	833.0894	157.2457	377.6111	-19.3281	29.712
2	-122.7157	712.5263	1184.3200	143.0151	734.8552	-215.0445	8.819
3	-157.3410	1042.4584	777.2517	-194.4637	1273.1899	-189.0726	-8.590
4	102.4126	114.9354	1318.7473	-123.9372	234.4071	-13.9501	-43.197
5	-188.1636	1104.7538	780.2466	-53.2064	1106.9397	-190.3405	-2.353
6	26.4922	1174.2901	1010.7409	-157.1700	1195.4226	5.3597	-7.658
7	-24.0592	1145.9379	955.0534	-297.4056	1217.1481	-96.1694	-13.465
8	4.8096	951.2486	810.3321	-281.9676	1328.9851	-72.8270	-15.394
9	22.9043	759.0770	837.6971	-360.3911	906.1315	-124.1493	-22.197
10	123.2366	1072.3897	1102.8472	-467.2073	1274.3195	-78.5932	-23.374
11	250.0653	886.9449	1175.0591	-527.3048	1197.1192	-41.1090	-29.608
12	169.4230	652.0219	575.9283	-468.9925	938.1495	-116.7047	-31.387
13	325.2608	615.4606	1043.6701	-527.5921	1017.5420	-76.8206	-37.311
14	465.9837	761.4795	1246.1145	-626.3242	1257.2465	-29.7934	-38.363
15	538.5557	579.3272	1207.1569	-644.5708	1273.8345	-85.9515	-44.054
16	462.9817	417.7642	1024.7500	-536.1084	976.9579	-96.2119	-46.207
17	512.8982	318.3378	1008.7613	-521.0689	946.5747	-115.3386	-50.270
18	739.7134	358.9464	1204.8781	-552.4227	1133.6386	-34.9788	-54.578
19	782.5611	284.9254	1160.5930	-526.6509	1116.2134	-40.7269	-57.664
20	725.5657	118.5370	1011.9876	-441.6024	957.8529	-112.8107	-62.260



197. 29.4089  
 71 1254.4158  
 777 -29.2022  
 97.8 30.6623  
 713 1258.7198  
 838.60  
 503 1258.7198

ELEM 1 SIGMAE 838.60  
 DEF EL 0.007108091483 0.007271565319 0.007716356388 C.000275458280  
 DEF CR 0.000023828495-0.00000995864 0.000024824360 C.00004029244  
 ELEM 28 SIGMAE 1229.10  
 DEF EL 0.008130257455 0.007090292840 0.008130257455 C.000170796219  
 DEF CR 0.000065837370-0.000131674739 0.000065837370-0.00004696573  
 TEMPO = 0.110000 DT = 0.0100000  
 ELEM 1 SIGMAE 841.84  
 DEF EL 0.007108091483 0.007271565319 0.007716356388 C.000275458280  
 DEF CR 0.000024389095-0.00000995864 0.000025137128 C.00003765423  
 ELEM 29 SIGMAE 1228.79  
 DEF EL 0.008130257455 0.007090292840 0.008130257455 C.000170796219  
 DEF CR 0.000065746703-0.000131493406 0.000065746703-0.000045605847  
 TEMPO = 0.120000 DT = 0.0100000

ELEMENTO	TENS.PAD.	TENS.AXIAL	TENS.TANG.	TENS.RZ	TENSAD MAX	TENSAD MIN	ANGULO
1	-52.2307	415.6657	513.2473	67.4976	-61.7732	8.067	
2	-104.6501	543.3810	870.3388	28.0833	-105.8649	2.477	
3	-118.2574	1157.1517	836.7492	-59.1007	-120.9902	-2.667	
4	47.3294	52.4531	866.1664	-82.4258	-125.1773	-3.965	
5	-110.1928	1134.3825	858.4482	-85.0973	-125.1773	-3.965	
6	-10.1928	1136.6834	574.7946	-175.9578	-36.5704	-6.598	
7	19.3559	1044.0155	594.9095	-277.5642	-51.0010	-14.224	
8	29.8855	1043.1094	1024.5680	-309.3953	-57.1196	-15.707	
9	47.6975	855.0274	1012.1895	-409.3363	-123.5302	-22.760	
10	94.7096	813.4228	1012.1895	-416.0009	-80.0003	-22.722	
11	238.4268	819.8583	1049.6235	-497.8763	-38.7748	-29.605	
12	178.0635	726.7674	1117.7058	-497.8763	-128.7080	-30.551	
13	304.2672	681.0538	1144.5563	-513.3355	-47.7420	-37.612	
14	404.8362	709.4149	1145.8525	-560.4293	-30.9540	-37.496	
15	499.8329	483.5253	1075.5496	-592.7930	-98.6609	-45.273	
16	505.0873	523.3348	1142.7509	-569.5035	-55.3655	-44.541	
17	560.3885	326.3383	1069.5401	-558.2253	-126.9864	-50.920	
18	659.7602	346.3552	1130.3771	-518.7952	-38.8008	-53.403	
19	739.7384	230.1225	1100.3185	-487.9232	-50.5892	-59.602	
20	769.4024	186.4416	1091.0866	-490.3594	-83.9304	-60.625	
21	828.4928	77.5216	1045.2264	-423.1206	-112.6964	-65.793	
22	830.1728	97.1735	1082.4550	-361.9496	-44.5053	-69.622	
23	940.2254	24.4839	1060.5415	-280.0484	-54.3655	-74.274	
24	941.7556	-22.6752	1060.7561	-257.9989	-87.3557	-75.926	
25	973.0362	-89.8189	1022.8292	-154.8096	-111.9085	-81.879	
26	1025.3076	13.8593	1074.5994	-70.3464	-8.9501	-85.040	
27	710.3130	-204.7739	540.0931	-1.5421	-204.7765	-89.503	
28	1268.5901	41.7524	1268.5901	-39.7641	40.4649	-88.146	

ELEM 1 SIGMAE 844.39  
 DEF EL 0.007108091483 0.007271565319 0.007716356388 C.000275458280  
 DEF CR 0.000024356678-0.00000995864 0.00002517461 C.00003511512  
 ELEM 28 SIGMAE 1228.77  
 DEF EL 0.008130257455 0.007090292840 0.008130257455 C.000170796219  
 DEF CR 0.000065719040-0.000131438080 0.000065719040-0.00004696573  
 TEMPO = 0.130000 DT = 0.0100000  
 ELEM 1 SIGMAE 846.40  
 DEF EL 0.007108091483 0.007271565319 0.007716356388 C.000275458280  
 DEF CR 0.000025245588-0.00000995864 0.000025541754 C.000032659300  
 ELEM 29 SIGMAE 1228.55  
 DEF EL 0.008130257455 0.007090292840 0.008130257455 C.000170796219  
 DEF CR 0.000065733649-0.000131467258 0.000065733649-0.00004696573  
 TEMPO = 0.140000 DT = 0.0100000

G.5

--ELEMEN TO SIGMAE TENS.PAD.  
 DEF EL 0.008130257455 0.007090292840 0.008130257455 C.000170796219  
 DEF CR 0.000065964094-0.000131928188 0.000065964094-0.00004696573  
 TEMPO = 0.180000 DT = 0.0100000