

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ALGORITMOS COMPUTACIONAIS PARA PROJETOS DE
VIGAS DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

ENG. MARCOS EDUARDO ALLEONI DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. WILSON SÉRGIO VENTURINI

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de "Mestre em
Engenharia de Estruturas".

Banca Examinadora:

Prof. Tit. Wilson Sérgio Venturini - EESC/USP
Prof. Dr. Walter Abrahão Nimir - EESC/USP
Prof. Dr. Marcos José Santana - ICMSC/USP

SÃO CARLOS, AGOSTO DE 1990
SÃO PAULO - BRASIL

Aos meus pais Odair e Lourdes,
minha irmã Márcia e minha
esposa Sandra :

078880.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Dr. Wilson Sérgio Venturini, que pela orientação segura, responsável e objetiva, além da amizade e apoio, permitiu-nos com total liberdade, desenvolver e realizar este trabalho com entusiasmo, como também permitiu a honra de termos sido seu orientado,

Aos professores e funcionários do Departamento de Estruturas da EESC-USP, que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho, e na nossa formação como Engenheiro de Estruturas,

Ao grande amigo e companheiro Eng^o João Bosco da Costa (Jonhis), que com seu fanatismo e competência em programação, ajudou-nos nas diversas madrugadas a resolver difíceis problemas junto aos micros,

Aos Márcios (Corrêa e Ramalho) : professores do Departamento que nos cederam os programas do Sistema LASER, e profissionais que muito nos ensinaram sobre programação de computadores e modelagem de estruturas,

Aos funcionários do Centro de Processamento de Dados da EESC-USP, em especial ao Cláudio R. de Vicenzi, pela dedicação e paciência para suportar nossas insistentes consultas,

Ao CNPq e a CAPES, pelo auxílio financeiro prestado, através de concessão de Bolsa de Estudo,

Ao Serginho, Marcelo, Paulinho, Zeca e João, companheiros de República, pela inesquecível convivência durante nossa estadia na cidade de São Carlos,

Aos meus familiares, cuja convivência foi diminuída durante nossa estadia em São Carlos, devido a distância e a nossa egoísta dedicação na elaboração deste trabalho,

e a todos aqueles, que por esquecimento e/ou economia de papel, tiveram seus nomes injustamente omitidos nesta lista de agradecimentos.

RESUMO

O propósito deste trabalho é apresentar algoritmos computacionais, de modo a tornar automático o projeto de pisos de edifícios de concreto armado. Ênfase é dada para o conjunto de vigas, onde modelos em grelhas são usados para representar o comportamento estático. As seções são dimensionadas e detalhadas de acordo com a norma brasileira NBR 6118. Finalmente, as armaduras e tabelas são desenhadas por impressora matricial ou traçador gráfico.

Alguns exemplos são mostrados, utilizando-se programas computacionais, cujos algoritmos são os desenvolvidos no trabalho, e implementados em linguagem Pascal, para microcomputador compatível com a linha IBM PC.

A B S T R A C T

The aim of this work is to show computational algorithms, to make automatic the design of reinforced concrete floor buildings. Special attention is paid to beams, where grid models are using to represent the static behaviour. The cross sections are calculated and detailed in acord with brazilian Code Requirements NBR 6118. Finally, reinforcements and the corresponding tables are drafted by dot matrix printer or digital plotter.

Some examples are showed, using computational programmes, whose algorithms are those developed in the work, written in Pascal language, for microcomputers IBM PC compatible.

S U M Á R I O

	Pág.
CAPÍTULO I - <u>INTRODUÇÃO</u>	
1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE PROJETOS DE EDIFÍCIOS	I-1
1.2 - OBJETIVO DO TRABALHO	I-4
1.3 - CONTEÚDO DO TRABALHO	I-4
 CAPÍTULO II - <u>ELEMENTOS DO PROJETO DE PISOS DE EDIFÍCIOS</u>	
2.1 - INTRODUÇÃO	II-1
2.2 - ETAPAS DO PROJETO	II-1
2.3 - HIPÓTESES E SIMPLIFICAÇÕES UTILIZADAS NA ANÁLISE	II-3
2.3.1 - Modelo adotado	II-3
2.3.2 - Torção	II-6
2.3.3 - Vinculações	II-7
2.3.4 - Vãos teóricos	II-11
2.4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO ARMADO	II-13
2.4.1 - Hipóteses	II-16
2.4.2 - Equilíbrio de seções na flexão simples	II-21
2.4.2.1 - Seções retangulares	II-22
2.4.2.2 - Seções T	II-25
2.4.3 - Resistência à força cortante	II-27
2.4.4 - Resistência aos momentos torçores ..	II-30
2.4.5 - Fissuração	II-32
2.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O DETALHAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	II-34
2.5.1 - Detalhamento de seção de viga	II-34
2.5.2 - Ancoragem	II-36
2.5.3 - Cobrimento dos diagramas	II-38
2.5.4 - Seções de apoios	II-39

**CAPÍTULO III - ALGORITMOS COMPUTACIONAIS PARA
PROJETOS DE VIGAS DE EDIFÍCIOS**

3.1 - INTRODUÇÃO	III-1
3.2 - DEFINIÇÕES	III-1
3.2.1 - Dados	III-1
3.2.2 - Representação de instruções	III-3
3.3 - HIPÓTESES	III-8
3.3.1 - Geometria	III-8
3.3.2 - Carregamentos	III-10
3.3.3 - Unidades	III-10
3.4 - GERAÇÃO AUTOMÁTICA DOS TRAMOS	III-11
3.4.1 - Estrutura de dados	III-13
3.4.2 - Algoritmos	III-19
3.4.2.1 - Dados da grelha	III-19
3.4.2.2 - Dados das vigas e dos pilares	III-21
3.4.2.3 - Geração da geometria	III-22
3.4.2.4 - Geração dos carregamentos	III-31
3.5 - DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO	III-33
3.5.1 - Estrutura de dados	III-34
3.5.2 - Algoritmos	III-41
3.5.2.1 - Dimensionamento de uma seção	III-42
3.5.2.2 - Detalhamento de uma seção	III-48
3.5.2.3 - Preparação dos esforços	III-63
3.5.2.4 - Cobrimento do diagrama	III-96
3.5.2.5 - Montagem das posições	III-114
3.6 - CONFECÇÃO DE DESENHOS E TABELAS	III-120
3.6.1 - Introdução	III-120
3.6.2 - Estrutura de dados	III-121
3.6.3 - Algoritmos	III-126
3.6.3.1 - Desenho do gabarito da viga ..	III-126
3.6.3.2 - Indicação dos estribos	III-136
3.6.3.3 - Armaduras longitudinais	III-138
3.6.3.4 - Seções e estribos	III-142
3.6.3.5 - Tabela e resumo	III-150

CAPÍTULO IV - EXEMPLOS E COMPARAÇÕES

4.1 - GENERALIDADES	IV-1
4.2 - DESCRIÇÃO DO PAVIMENTO	IV-2
4.2.1 - Modelagem da estrutura	IV-3
4.3 - RESULTADOS	IV-9
4.3.1 - Análise e geração dos tramos	IV-10
4.3.2 - Dimensionamento e detalhamento	IV-12
4.3.3 - Desenhos e tabelas	IV-20
4.3.4 - Comparações com processo tradicional	IV-21

CAPÍTULO V - CONCLUSÃO V-1

APÊNDICES :

- A - Estruturas dinâmicas de dados em Pascal	A-1
- B - Geração de gráficos em impressora	B-1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS R-1

BIBLIOGRAFIA B-1

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE PROJETOS DE EDIFÍCIOS

Para que uma edificação, seja ela residencial ou industrial, cumpra suas finalidades, é no mínimo necessário que durante um certo período previsto para sua utilização, mantenha-se segura. Todo corpo à ela relacionado, exerce uma força decorrente da aceleração da gravidade. Outros fenômenos além da gravidade, também provocam ações nesta edificação, como por exemplo sismos, ventos e impactos. Para oferecer resistência contra essas ações, a edificação deve apresentar-se com elementos estruturais, que podem por exemplo ser, de acordo com a utilização, porte e ações : os próprios elementos de vedação (paredes), lajes, vigas, pilares, etc. Estes elementos devem ser de materiais, tais que apresentem consideráveis resistências mecânicas, durabilidade, possibilidade de adaptação da suas formas originais às formas da estrutura. Como exemplo de materiais usuais tem-se : madeira, materiais cerâmicos, alumínio, aço, concreto, etc.

Projetar uma estrutura significa em síntese, conceber sua forma básica, fazer uma avaliação dos tipos e intensidades das ações que atuarão nela durante a sua vida útil, simular o efeito dessas ações através de experimentos ou de modelos matemáticos (ou melhor ainda, de ambos), e dispor materiais em quantidades suficientes para que, com uma certa margem de segurança, ofereçam resistência e estabilidade.

Um dos materiais largamente utilizado é o concreto armado, material este relativamente novo, sendo

que o início efetivo de seu uso, deu-se a partir do século XX. O concreto armado combina a utilização do concreto com armaduras de aço, e apresenta várias características vantajosas, tais como durabilidade, baixo custo quanto à manutenção, fácil adaptabilidade à forma da construção, segurança contra o fogo, resistência a choques e vibrações, e muitas outras. Como desvantagem maior, temos o elevado peso próprio (aproximadamente duas toneladas e meia por metro cúbico), além da dificuldade quanto às demolições e reformas.

Uma outra característica do concreto armado é a possibilidade de se obter ligações monolíticas entre os diversos elementos que compõem uma estrutura. Tal monolitismo, se considerado no projeto, torna-o praticamente inviável. Exemplificando, seja um edifício de múltiplos andares : a obtenção de soluções matemáticas que tenham validade em quaisquer pontos da estrutura é impossível. Atualmente, após o advento de computadores digitais, pode-se utilizar métodos numéricos. No entanto, o custo computacional, a enorme quantidade de informações fornecidas para descrever a estrutura, e obtidas como resultados da análise, além da carência de comprovação experimental dos resultados, não justificam essa consideração.

A fim de evitar a análise da estrutura como um todo, de uma só vez, conforme brevemente apresentado acima, o que pode ser feito é a decomposição da estrutura em elementos distintos, garantindo uma posterior compatibilidade entre eles, uma vez observado que o erro obtido é geralmente de pouca importância e a favor da segurança. Os vários critérios para arranjos estruturais simplificados são apresentados por FUSCO[3] de maneira bastante clara.

No caso de edifícios, a divisão mais simples, e também a mais utilizada, é a que considera a estrutura formada por elementos laminares horizontais

(lajes) que recebem as cargas aplicadas no sentido vertical (apresentando um comportamento de placa), e transmitem os carregamentos horizontais, por exemplo forças devidas ao vento (apresentando um comportamento de diafragma infinitamente rígido no plano e de rigidez transversal nula). Tais elementos são analisados e dimensionados isoladamente (tomando-se a precaução de se considerar a continuidade entre eles, quando houver conveniência), e transmitem suas reações para elementos lineares horizontais (vigas), ou diretamente para elementos verticais lineares (pilares) ou laminares (paredes). Para a análise das vigas, costuma-se utilizar como esquemas estáticos, modelos de vigas contínuas ou grelhas. ROCHA[6] é o autor da bibliografia brasileira clássica para projetos de edifícios de concreto armado, sob o ponto de vista da aplicação prática dos critérios de decomposição, síntese, dimensionamento e detalhamento, e que apesar de criticada por muitos pela maneira com a qual apresenta os conceitos, formou várias gerações de projetistas.

Dispondo-se de computadores, uma outra divisão que pode ser feita, é desmembrar os elementos horizontais dos verticais, analisando-se os pisos separadamente, onde são consideradas monolíticas as lajes e as vigas, que têm compatibilizados seus deslocamentos. Os pilares têm suas influências consideradas como apoios, rígidos ou elásticos, de acordo com os recursos do programa utilizado. Tais pisos podem ser modelados através de Elementos Finitos, Elementos de Contorno, ou ainda, fazendo-se uma analogia de grelha, onde o comportamento de placas é simulado através de grelhas equivalentes. No presente, já existem programas comerciais que permitem e viabilizam a aplicação desses modelos. É obvio que tais modelos representam bem melhor a estrutura embora haja um aumento considerável de dados computacionais a serem manipulados.

Tendo-se em mãos os resultados obtidos na análise, prossegue-se o dimensionamento, com o qual procura-se verificar os estados de utilização do concreto (tensões de compressão e cisalhantes, deformações e formação de fissuras) e dispor armaduras convenientes, de modo a serem absorvidas as tensões, em geral de tração, distribuir melhor as inevitáveis fissuras e garantir a ligação monolítica entre os elementos, que porventura tenham sido separados para simplificação da análise. Uma vez dimensionadas, essas armaduras são detalhadas e dispostas de maneira a serem identificadas para confecção de desenhos e listas de materiais, ficando o projeto finalmente pronto para a execução.

1.2 - OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo organizar as etapas de um projeto estrutural de vigas de pisos de edifícios, de uma maneira sistemática, e formular algoritmos computacionais, de maneira a tornar possível a execução das rotinas de cálculo e desenhos, através de computadores. As etapas consideradas partem da análise da estrutura, e culminam com a confecção de desenhos e tabelas, via impressoras ou traçadores gráficos. Os demais elementos (lajes, pilares, etc.) são considerados ou como cargas (lajes) ou como vínculos (pilares).

1.3 - CONTEÚDO DO TRABALHO

Neste trabalho são apresentados os elementos para projetos de pisos de edifícios de concreto armado, desde a fase de análise até o detalhamento final, concentrando a atenção às vigas, propondo diversos algoritmos computacionais, e mostrando que a implementação em computadores é viável e na maioria dos casos vantajosa, também em projetos de estruturas civis, uma vez que já são largamente utilizados em projetos de Engenharia Mecânica (sistemas CAD/CAM/CAE - *Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing, Computer Aided Engeneering*).

No CAPÍTULO II são tratados os elementos básicos para os projetos, adotando-se modelos de grelha para representar os conjuntos de vigas, fazendo-se comentários a respeito de vinculações, mostrando-se as hipóteses do dimensionamento e detalhamento de peças de concreto armado, conforme recomendações da Norma Brasileira (NBR 6118), omitindo-se certos quesitos não utilizados no decorrer do texto.

No CAPÍTULO III são propostos os algoritmos computacionais propriamente ditos, baseados em recomendações de Normas e critérios práticos assumidos pelo autor, para tornarem sistemáticos o dimensionamento e o detalhamento do conjunto de vigas¹.

No CAPÍTULO IV são mostrados diversos exemplos obtidos em programas feitos com os algoritmos propostos no capítulo III, comparando-os com resultados obtidos da maneira tradicional.

No CAPÍTULO V, são tecidos os comentários conclusivos a respeito dos algoritmos e do processo de automatização de projetos de estruturas.

Ao final do texto, são apresentados dois

¹ As notações e símbolos introduzidos no decorrer do texto, serão válidos até o final, sendo desnecessária a redefinição dos mesmos.

apêndices. No primeiro, são mostradas estruturas de dados dinâmicas em linguagem Pascal, para otimizar a utilização da memória do computador. No segundo apêndice, são apresentados procedimentos em linguagem Pascal, para geração de gráficos em impressoras matriciais.

CAPÍTULO II - ELEMENTOS DO PROJETO DE PISOS DE EDIFÍCIOS

2.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo são mostrados os elementos básicos utilizados em projetos de pisos de edifícios, baseando-se principalmente na norma brasileira NBR 6118 e critérios próprios do autor. São também tais elementos que uma vez organizados de forma sistemática, são utilizados na elaboração dos algoritmos. Aqui são definidas as etapas de um projeto, como também as hipóteses e simplificações utilizadas na análise, dimensionamento de seções retangulares ou T submetidas a momentos fletores, forças cortantes e momentos torçores. São também feitas considerações sobre o detalhamento das armaduras.

2.2 - ETAPAS DO PROJETO

O projeto de uma estrutura de concreto armado é constituído basicamente das etapas :

Concepção : Nesta etapa é arbitrada a disposição dos elementos que compõem a estrutura (pilares, vigas, lajes, escadas, etc.). É justamente nesta fase que prevalecem o bom senso e a criatividade do projetista, sendo portanto difícil, senão dizer inútil, a tentativa de automatizá-la. Para um dado piso, com o projeto de arquitetura definido, uma concepção não é única. De uma boa concepção, dependerá o sucesso da

estrutura, sendo que este sucesso pode ser considerado atingido quando se tem uma estrutura econômica, de fácil execução, e que interfira o mínimo possível nos demais projetos envolvidos tais como o arquitetônico, os de instalações hidráulicas e elétricas, etc.

Pré-Dimensionamento : Nesta etapa são pré-fixadas as dimensões dos elementos. No caso de lajes, a NBR - 6118 no item 6.1.1.1, fornece espessuras mínimas, de acordo com a sua utilização. No caso de vigas, geralmente a largura fica vinculada à espessura da alvenaria (que porventura exista no piso imediatamente abaixo, e que tenha seu eixo coincidente com o eixo da viga), e a altura, fica geralmente limitada por aberturas (janelas, portas, etc), podendo ser adotado um valor inicial da ordem de 1/10 do vão. No caso de pilares, adota-se inicialmente uma seção que resista à carga atuando numa área de influência, respeitando-se os valores mínimos recomendados pela NBR 6118, no item 6.1.3.1.

Análise : Nesta etapa, são obtidos os valores de esforços e deslocamentos, sendo permitida uma análise em regime elástico ou fazendo considerações aproximadas de plastificações das seções sobre apoios das vigas contínuas (no caso de lajes usuais, pode-se utilizar também o método das charneiras plásticas). Tais valores são comparados com os admitidos em função da capacidade dos materiais e/ou das limitações de Normas. Como além da verificação da resistência, é também necessária a verificação dos deslocamentos, em caso de se utilizar um modelo que não forneça deslocamentos nas lajes e vigas, a NBR 6118 dispensa tal verificação, desde que se adote dimensões iguais ou superiores às indicadas no item 4.2.3.1C, dimensões estas, em geral exageradas.

Redimensionamento : Caso os valores de esforços e deslocamentos obtidos na análise anterior ultrapassem os valores limites, ou forneçam valores anti-econômicos (ou ainda, que sub-utilizem a capacidade

dos materiais), as dimensões dos elementos. devem ser redefinidas. Tal redefinição provavelmente provoca uma redistribuição de esforços, sendo portanto necessária uma nova análise. Esta etapa é concluída quando se obtém valores satisfatórios ou justificáveis pelo projetista, ou então quando esses valores não convergem, situação que exige que se abandone a concepção inicial, reiniciando o processo. Como pode-se notar, as etapas de redimensionamento e análise, constituem um processo iterativo, e que pode perfeitamente ser automatizado. A automatização deste processo foi objeto de estudo de COSTA[1], num trabalho elaborado concomitantemente com o presente.

Dimensionamento final : Uma vez obtidos os esforços e deslocamentos que satisfaçam aos valores limites, ou então que possam ser justificados pelo projetista, continua o dimensionamento final, onde são obtidas as armaduras necessárias.

Detalhamento : Para as armaduras, adotam-se disposições de acordo com recomendações de Normas e critérios próprios do projetista, levando-se em conta principalmente a funcionalidade e a facilidade, para uma perfeita compreensão nos desenhos de execução. O produto final desta etapa são os desenhos, tabelas e memoriais.

2.3 - HIPÓTESES E SIMPLIFICAÇÕES UTILIZADAS NA ANÁLISE

2.3.1 - Modelo adotado

No presente trabalho, para efeito de

simplificação, conforme explanado no CAPÍTULO I, a estrutura é dividida em pavimentos (ou pisos), sendo cada piso analisado separadamente. Por sua vez, um piso tem suas lajes isoladas das vigas, que por sua vez são isoladas dos pilares. Como no presente trabalho dá-se mais ênfase às vigas, em comparação com as lajes, para estas convém apenas comentar que recebem as cargas verticais e as transmitem às vigas. O comentário feito sobre os pilares, é que eles têm sua influência na consideração dos vínculos, rígidos ou elásticos. Ao final, o acúmulo das reações das vigas de cada pavimento são usados para compor os carregamentos nos pilares.

Embora no cálculo de estruturas de concreto armado, o modelo usualmente empregado para representar o conjunto de vigas seja o de vigas contínuas, preferiu-se neste trabalho, adotar o modelo estático de grelha. A grande vantagem deste modelo surge quando vigas se interceptam sem se apoiarem em pilares. Com isso, a compatibilidade de deslocamentos no ponto de intercepção tem influência significativa na distribuição de esforços, que agora é feita de acordo com as rigidezes. É proposta do presente trabalho a utilização de métodos matriciais, a fim de tornar automática a análise e geração de dados para o dimensionamento e o detalhamento dos diversos elementos estruturais. Sendo o tipo estrutural escolhido a grelha, adota-se o Processo dos Deslocamentos para fazer a análise estática. Assim a estrutura fica discretizada em elementos prismáticos denominados barras interconectados por pontos denominados nós. Monta-se um sistema de equações lineares, cujas equações relacionam os deslocamentos dos nós, com as ações aplicadas nestes (ou ações equivalentes provenientes das cargas atuantes nas barras). Os coeficientes do sistema linear de cada nó são as somatórias das influências das barras que nele incidem e dos coeficientes de molas, caso representem um apoio elástico. Os deslocamentos (vetor dos deslocamentos) são

relacionados com as ações (vetor das ações) através de uma matriz formada por esses coeficientes (Matriz de Rigidez). O sistema de equações assim definido é dado pela seguinte representação matricial (estudos mais detalhados são encontrados em WEAVER[9]) :

$$\begin{bmatrix} R \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \end{Bmatrix}$$

Matriz de Rigidez
Vetor dos deslocamentos
Vetor das ações

Para os algoritmos propostos no CAPÍTULO III, os elementos necessários (dados) que devem ser fornecidos a um programa computacional, para que possa fazer a análise de grelhas e a geração dos demais dados relativos ao dimensionamento e detalhamento são :

- Módulo de deformação longitudinal (E) e módulo de deformação transversal (G) do material ;
- Coordenadas dos pontos nodais, para que possam ser determinados os comprimentos e cossenos diretores das barras ;
- Lista de nós com restrições (deslocamentos impedidos, impostos, ou vinculados a molas), para que no mínimo impeçam o deslocamento de corpo rígido da grelha e representem os apoios diretos ;
- Incidência (nós de extremidades), características geométricas das seções (momento de inércia e módulo de resistência à torção) das barras ;
- Ações aplicadas diretamente nos nós ;
- Cargas aplicadas ao longo das barras.

2.3.2 - Torção

Tratando-se de grelha, a compatibilidade de deslocamentos de um nó pode se dar tanto em função da translação vertical, como em função da rotação em um plano qualquer vertical. As rotações em dois planos verticais (por exemplo, planos x e y) são suficientes para definir a rotação em qualquer outro. A componente de uma rotação num plano passando pelo eixo de uma barra produz, ou é oriunda de um momento fletor, enquanto que a componente num plano normal ao eixo da barra, produz ou é oriunda de momento torçor. O valor deste momento torçor é proporcional à rigidez à torção desta barra, que pode ou não ser considerada. Deve-se analisar os dois casos mais importantes :

- torção de equilíbrio, sem a qual é impossível o equilíbrio e a estabilidade. Observando-se a Fig. 1a, pode-se notar que para equilibrar a carga P , é necessário um momento fletor no ponto B da barra, atuante na direção y . Por sua vez, para equilibrar tal momento, é necessário um momento torçor na barra AB. Isso torna obrigatória a consideração da rigidez à torção em tal barra, sem a qual o equilíbrio fica impossível ;

- torção de compatibilidade, onde a consideração da igualdade de rotações no ponto de interseção, não é indispensável ao equilíbrio e estabilidade da viga. Pela Fig. 1b, observa-se que se as barras AB, BC, DE, EF tiverem a totalidade de suas rigidezes à torção consideradas, os pontos B e E apresentam comportamento de engastamento elástico. Com tal engastamento, surge nas extremidades da barra BE, devido à carga P , momentos fletores que são equilibrados com

momentos torçores nas barras AB, BC, DE, EF. No caso contrário, a não consideração da rigidez, conduz o comportamento dos pontos B e E, igual ao de apoios livres à rotação, não surgindo portanto momentos fletores nas extremidades da barra BE.

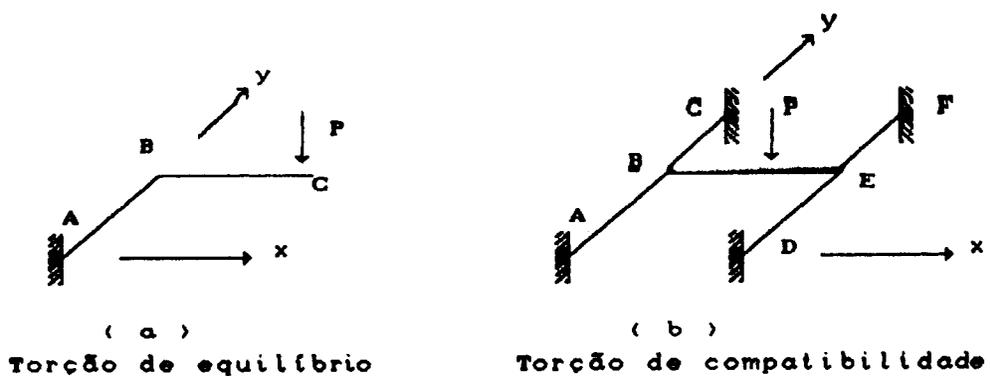


Fig. 1 - Casos de torção a considerar

Com o surgimento das primeiras fissuras, a rigidez à torção de uma seção de determinada peça de concreto armado diminui sensivelmente, sendo portanto, natural a desconsideração da rigidez no caso de torção de compatibilidade (ou consideração apenas de uma fração da rigidez). Convém ressaltar que na utilização de programas computacionais, deve-se observar se a desconsideração não provoca singularidades na matriz de rigidez ou instabilidade numérica durante a solução do sistema de equações.

2.3.3 - Vinculações

Em geral, em um edifício de concreto armado, as vigas são concretadas formando ligações monolíticas com os pilares (Fig 2).

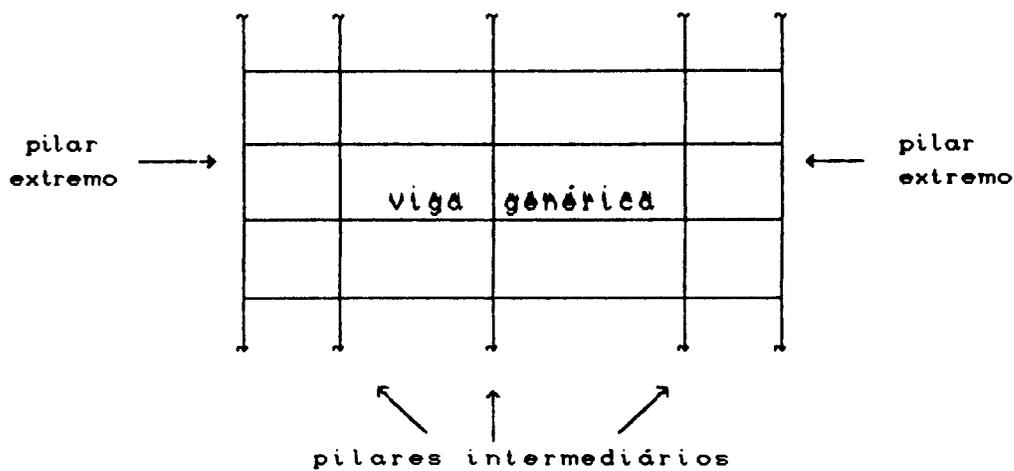


Fig. 2 - Ligações monolíticas entre as vigas e os pilares intermediários

A NBR 6118 permite que se simplifique o cálculo (item 3.2.2.3), considerando as vigas apoiadas em vínculos livres à rotação, desde que sejam efetuadas as seguintes correções (Fig. 3) :

a) Os momentos fletores positivos considerados nos vãos, são os maiores entre os momentos calculados e os obtidos considerando engastamentos perfeitos (nas duas extremidades no caso de vãos intermediários, ou nos apoios internos no caso de vãos extremos) ;

b) Se a relação entre a largura (medida na direção da viga) e a altura de um pilar for maior que 1:5, os momentos negativos considerados, são os maiores, em valores absolutos, entre os calculados e os obtidos caso houvessem engastamentos perfeitos ;

c) Devem ser considerados nos apoios extremos, momentos fletores simulando os engastamentos elásticos com os pilares, cujos valores são dados por

$$M_{\text{elástico}} = M_{\text{Eng. Perf}} \frac{I_{\text{inf}} + I_{\text{Sup}}}{I_{\text{viga}} + I_{\text{inf}} + I_{\text{Sup}}}$$

onde r são coeficientes de rigidez das barras no ponto de engastamento (relação entre o momento de inércia no plano de flexão e o comprimento) .

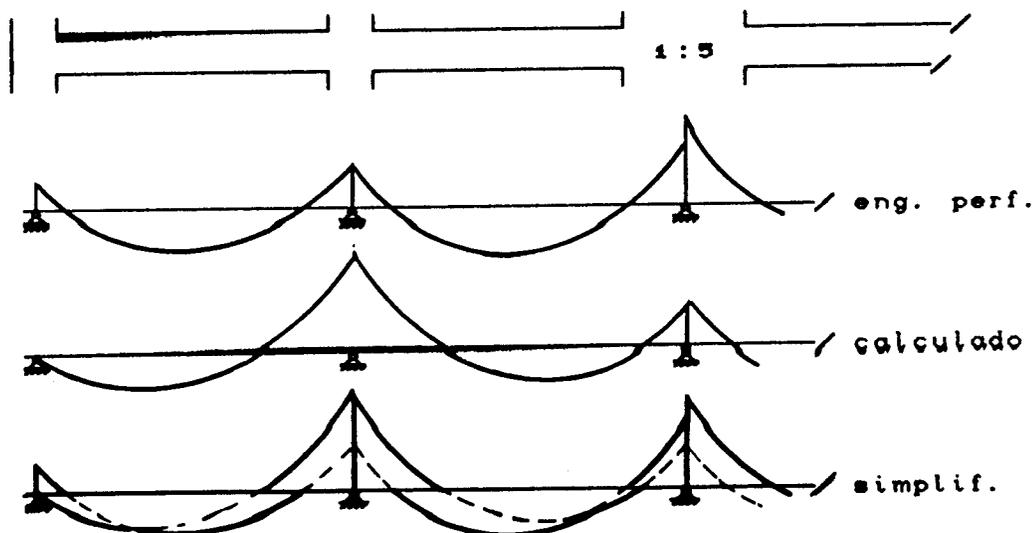


Fig. 3 - Simplificações e correções recomendadas pela NBR 6118

As correções b e c podem ser melhor calculadas se os apoios forem considerados elásticos. Para isso, introduzem-se molas em todos os apoios simulando os pilares (Fig. 4). Cabe ressaltar que os momentos absorvidos pelas molas devem ser aplicados nos pilares, conduzindo o dimensionamento destes à flexão composta.

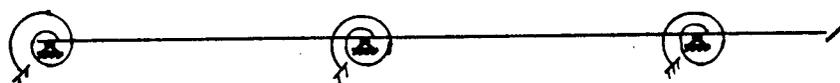


Fig. 4 - Consideração de molas simulando os pilares

O coeficiente de cada mola pode ser estimado conforme a localização da viga em relação aos pilares que representam o apoio considerado. Desprezando-se o deslocamento horizontal do andar e chamando de J_p o momento de inércia da seção do pilar em relação ao eixo transversal à viga, de E o módulo de elasticidade e de K_{mola} o valor do coeficiente da mola,

têm-se como exemplo, para os seguintes casos :

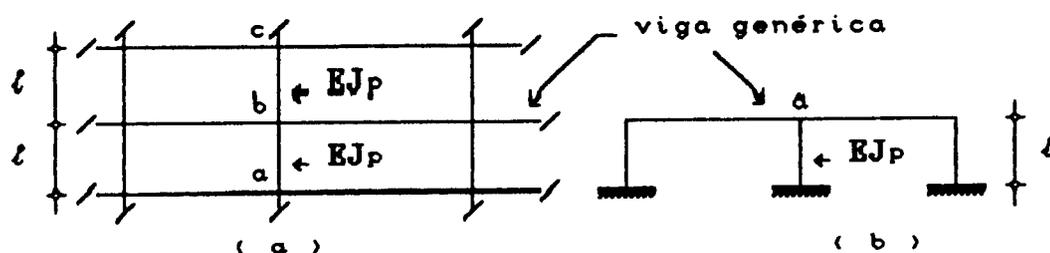


Fig. 5 - Situações exemplos para estimativas de coeficientes de molas.

a) Viga localizada na região central de um edifício (Fig. 5a). Pode-se considerar que as rotações dos 3 pontos consecutivos (a, b, c) são iguais. Isto equivale a dizer que os pontos de inflexão dos pilares acima e abaixo, estejam situados nas metades dos comprimentos (consideração também assumida quando se utiliza a técnica do meio contínuo para análise do efeito do vento em edifícios). A aplicação de uma rotação unitária no ponto b, faz surgir no pilar inferior um momento, também no ponto b, igual a

$$M_{inf} = \frac{3 \cdot E \cdot J_p}{(l / 2)} = \frac{6 \cdot E \cdot J_p}{l}$$

e repetindo-se o procedimento para o pilar superior, tem-se estimado o coeficiente da mola equivalente aos pilares :

$$K_{mola} = \frac{12 \cdot E \cdot J_p}{l}$$

b) Viga apoiada em pilares engastados na base e que não têm continuidade (Fig. 5b). Da mesma maneira, ao aplicar uma rotação unitária no ponto a, surge no pilar um momento, igual a

$$M = K_{mola} = \frac{4 \cdot E \cdot J_p}{l}$$

Esse procedimento também é válido para qualquer outra situação onde se possa ter uma certa previsão da rotação das extremidades dos pilares¹.

2.3.4 - Vãos teóricos

Na análise de estruturas reticuladas, os apoios são pontuais. Em programas computacionais, são representados por nós com deslocamentos impedidos (total ou parcialmente), conforme mostrado anteriormente. Tal hipótese desconsidera a extensão dos apoios, sendo que no caso de vigas, um tramo fica delimitado por dois nós, e seu vão é a distância entre eles. Isto pode levar a vãos teóricos maiores que os efetivamente existentes, causando um aumento desnecessário dos esforços. A NBR 6118 considera os vãos teóricos como sendo a distância de centro a centro dos apoios, sendo redundantes os valores maiores que :

- vão livre (distância entre as faces internas dos apoios, ou entre a face interna e a extremidade livre, no caso de viga em balanço) acrescido de 5%, em caso de viga isolada ;

- vão livre acrescido de 3% mais a semilargura do apoio interno, em caso de vão extremo de viga contínua.

¹ Repetindo : nos exemplos anteriores, não foram consideradas as deslocabilidades horizontais das vigas.

Essa redução do vão pode ser um inconveniente na modelagem de um piso como grelha, pois pode causar descontinuidades de barras numa viga. Para contornar essa situação, pode-se representar o trecho pertencente ao interior de um pilar, como uma barra de rigidez infinita, permitindo a hipótese que considera uma seção anteriormente plana do pilar, permanecendo plana após a rotação do nó (Fig. 6). O valor infinito, em termos computacionais resume-se a um número cuja ordem de grandeza seja bem maior que os demais (dependendo do compilador, 1000 vezes já pode representar o infinito), devendo-se sempre observar a estabilidade das operações numéricas.

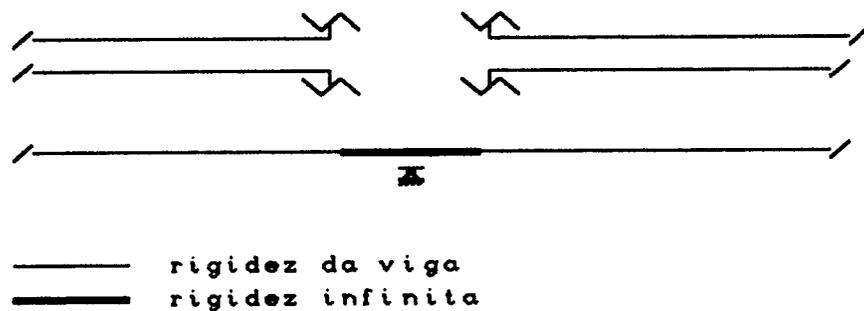


Fig. 6 - Consideração de trecho rígido de viga no interior do pilar

Com isso, os esforços ficam bem representados no trecho livre da viga, porém há um aumento dos esforços no ponto de apoio. Para fins de dimensionamento, a NBR 6118 permite (item 3.2.2.3B) que o diagrama de momentos fletores, seja arredondado (devido ao fato da reação dos pilares serem distribuídas e não concentradas), adotando como valor máximo, a média entre o momento obtido no cálculo, sobre o ponto de apoio, e a semi-soma dos momentos nas faces do pilar, da maneira mostrada na Fig. 7.

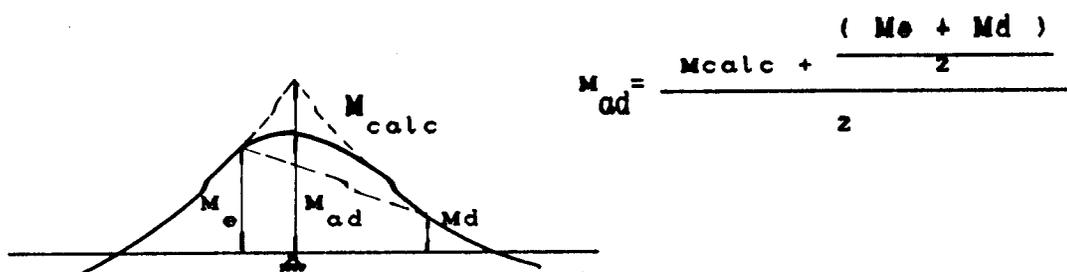


Fig.7 - Arredondamento do diagrama de momento fletor sobre o apoio

Pode-se ainda considerar um caso de ocorrência de plastificação sobre o apoio. Utiliza-se para isto um artifício para simular este fenômeno, que consiste em reduzir a rigidez das barras no interior do apoio.

2.4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO ARMADO

Uma estrutura é considerada segura quando durante toda sua vida útil, tem-se uma certa garantia que as finalidades para as quais foi destinada sejam cumpridas. Quando essas finalidades deixam de ser cumpridas, diz-se que a estrutura atingiu um estado limite. Tal garantia deve ter como base um tratamento estatístico (pretende-se ter uma probabilidade previamente estabelecida, de acordo com o tipo de construção, que um dado estado limite não seja atingido).

Os estados limites geralmente considerados no projeto de edifícios de concreto armado são :

- Estado limite último -

Caracterizado pelo colapso da estrutura, ou seja é esgotada a capacidade portante da mesma. Em termos práticos, pode-se dizer que o estado limite último é

atingido quando há a necessidade de se embargar e evacuar a construção ou parte dela ;

- Estado limite de deformação excessiva -

Caracterizado pelo aparecimento de deformações que ultrapassam os limites aceitáveis, provocando mau funcionamento (portas, vidraças, etc) ou introduzindo efeito estéticos danosos ;

- Estado limite de fissuração inaceitável -

Caracterizado pelo aparecimento de fissuras cujas aberturas prejudicam o uso ou durabilidade da peça, e também introduzam efeitos anti-estéticos.

Para uma dada variável utilizada em engenharia estrutural (resistência de um material, ações e solicitações), chama-se *valor característico* desta variável, o valor que apresenta uma probabilidade pré-fixada de não ser ultrapassado no sentido desfavorável.

Para as resistências dos materiais, admite-se que para uma dada amostra, tenha-se uma distribuição normal, e o valor característico é obtido pela expressão :

$$f_k = f_m - 1,65 \sigma$$

onde f_k - valor característico ;

f_m - valor médio da distribuição ;

σ - desvio padrão

1,65 - valor que fornece a probabilidade de se obter até 5% dos resultados experimentais, abaixo do valor característico.

Quanto às ações (definidas como sendo quaisquer causas que provoquem estados de tensão, como por exemplo forças, deslocamentos impostos, variação de temperatura, etc) podem ser classificadas (segundo a sua

variabilidade no tempo) em :

- Ações permanentes -

São aquelas que ocorrem com valor constante e apresentam a variação de sua intensidade (em torno da média) muito pequena em relação à vida útil da estrutura (por exemplo : peso-próprio) ;

- Ações variáveis -

São aquelas que têm a sua intensidade variando significativamente durante a vida útil da estrutura. Em função da sua probabilidade de ocorrência e do tipo de construção, e podem ainda ser divididas em sub-classes : **ações variáveis normais**, que são aquelas que apresentam uma probabilidade relativamente grande de ocorrência e devem obrigatoriamente ser consideradas no projeto (por exemplo: sobrecargas), e **ações variáveis especiais**, que podem ou não ser consideradas, em função do tipo de construção (por exemplo, numa estrutura de usina nuclear no Brasil, uma ação sísmica, que é bastante rara, é uma ação especial mas que pela natureza da construção deve ser considerada) ;

- Ações excepcionais -

São aquelas que têm duração extremamente curta e de baixa probabilidade de ocorrência (por exemplo : explosão).

Devido à dificuldade de se adotar uma lei de distribuição estatística para as ações, não se pode determinar os valores característicos a partir da definição, recorrendo-se então à valores nominais, obtidos através de estudo das condições previstas para a utilização e execução da estrutura.

As ações calculadas, que devem ser comparadas com as determinadas a partir das condições limites, são as somatórias das várias ações dos diversos tipos anteriormente classificados (de acordo com a probabilidade de ocorrência) multiplicados por respectivos coeficientes de ponderação (γ_f). Quando

existe combinação de ações de tipos distintos, deve-se também aplicar coeficientes apropriados que levem em conta a probabilidade de ocorrência simultânea dessas ações. Os coeficientes de ponderação de ações têm seus valores definidos em função do tipo de ação, e também do tipo de verificação específica. Com isso, pode-se dizer que para uma dada ação variável, o valor do coeficiente de ponderação utilizado para a verificação da segurança quanto ao estado limite último, pode não ser o mesmo quando utilizado para a verificação do estado limite de utilização.

Para efeito de projeto, a segurança de uma estrutura quanto a um dado estado limite, é verificada quando as ações calculadas e majoradas por coeficientes (γ), não superam as calculadas a partir das condições limites. Os procedimentos relativos às ações e segurança nas estruturas são regulamentados no Brasil através da norma brasileira NBR 8681, da ABNT.

2.4.1 - Hipóteses

Embora a análise possa ser feita supondo os materiais se comportando em regime elástico-linear, várias normas (inclusive a NBR 6118), recomendam o dimensionamento considerando a não-linearidade física dos materiais. A NBR 6118 recomenda que as peças sejam dimensionadas no Estado Limite Último, que é o estado correspondente ao esgotamento da capacidade portante da estrutura (ruína por ruptura, deformação plástica excessiva ou instabilidade). Para uma dada seção de concreto armado, diz-se que o estado limite último foi atingido quando a ação de cálculo (somatória das várias

ações dos diversos tipos multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação), iguala ou ultrapassa a ação resistente, considerando como resistência de cálculo de cada material (ou ambos) os valores característicos, minorados pelos respectivos coeficientes de ponderação)².

Antes da definição das grandezas que caracterizam o estado limite último, é oportuna a introdução das notações :

- R - valor característico
- d - valor de cálculo (introduzido o coeficiente de segurança)
- f_c - resistência à compressão do concreto
- f_y - resistência de escoamento do aço à tração
- ϵ_c - deformação específica do concreto à compressão
- ϵ_s - deformação específica do aço
- ϵ_y - deformação específica de escoamento do aço
- x - distância entre o ponto de maior encurtamento até a linha neutra, em uma seção fletida

Para as solicitações normais (Tração, compressão e flexão) as hipóteses do dimensionamento adotadas pela NBR 6118 são :

a) As seções transversais planas anteriores à solicitação, permanecem planas após seu aparecimento, cujos domínios em que pode ocorrer o estado limite último (Fig. 8) são :

- reta a : possível na tração uniforme ;
- domínio 1 : possível em caso de tração não uniforme (sem compressão) ;
- domínio 2 : possível na flexão simples ou

² Se a relação entre as ações e os efeitos numa estrutura é linear, pode-se ponderar as solicitações ao invés das ações.

composta, sem a ocorrência de ruptura à compressão do concreto ($\epsilon_c < 3,5 \%$) e com o alongamento máximo permitido (10%) ;

domínio 3 : possível na flexão simples (onde a seção é dita *subarmada*) ou composta, havendo a ruptura à compressão do concreto ($\epsilon_c = 3,5 \%$) e o aço sendo tracionado com escoamento ($\epsilon_y \geq \epsilon_{yd}$) ;

domínio 4 : possível na flexão simples (onde a seção é dita *superarmada*) ou composta, havendo a ruptura à compressão do concreto ($\epsilon_c = 3,5 \%$) e o aço sendo tracionado sem escoamento ($\epsilon_y < \epsilon_{yd}$) ;

domínio 4a : possível na flexão composta com armaduras comprimidas ;

domínio 5 : possível na compressão não uniforme, (sem tração) ;

reta b : possível na compressão uniforme ;

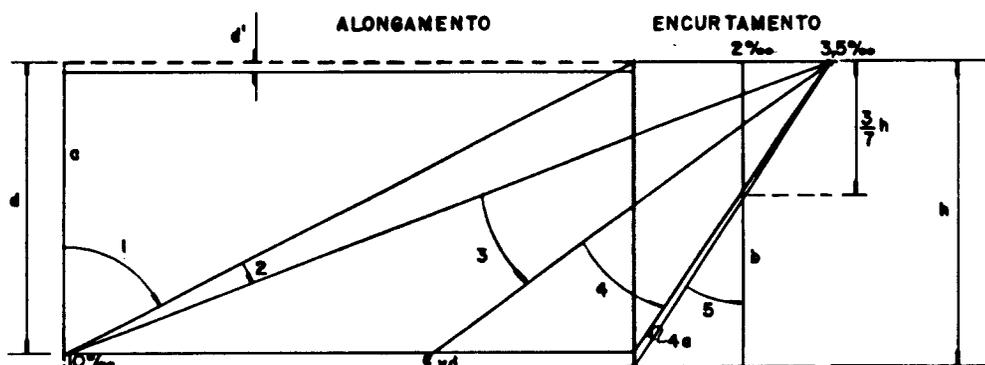


Fig. 8 - Casos possíveis de deformações de uma seção plana

b) As tensões de tração no concreto são desprezadas, e a distribuição das tensões de compressão é feita de acordo com o diagrama parabólico-retangular apresentado na Fig. 9. É permitida a substituição deste diagrama por um outro retangular estaticamente

equivalente, de altura $0,8 x$, cuja tensão⁹ vale :

- $0,85 f_{cd}$, para seções cuja largura, medida paralela à linha neutra, não diminua a partir desta até a borda comprimida ;

- $0,80 f_{cd}$, em caso contrário.

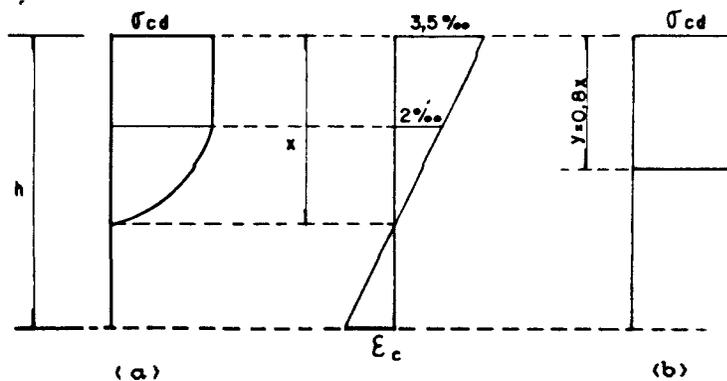


Fig. 9 - Distribuição das tensões de compressão no concreto

c) Para os aços classe A, o diagrama tensão-deformação adotado apresenta um trecho elástico linear até a tensão f_{yd} , seguido por um trecho perfeitamente plástico (Fig. 10a). Para os aços classe B, o diagrama apresenta um trecho elástico linear entre a tensão nula até $0,7 f_{yd}$ (f_{yd} é tensão convencional de escoamento), um trecho plástico (cuja relação tensão-deformação é quadrática) entre as tensões $0,7 f_{yd}$ e f_{yd} , seguido por um trecho perfeitamente plástico (Fig. 10b).

⁹ O valor característico da resistência do concreto (f_{ck}) é obtido de um universo de corpos de provas cujas dimensões, processos de cura, carregamentos e idade são padronizados. Para obtenção do valor da tensão resistente última atuante na estrutura, procura-se corrigir as diferenças entre o formato dos elementos estruturais, cura do concreto na obra, tempo de carregamento, idade com a qual a peça efetivamente entra em serviço, multiplicando-se o valor de f_{ck} por um outro coeficiente (que não deve ser considerado de segurança).

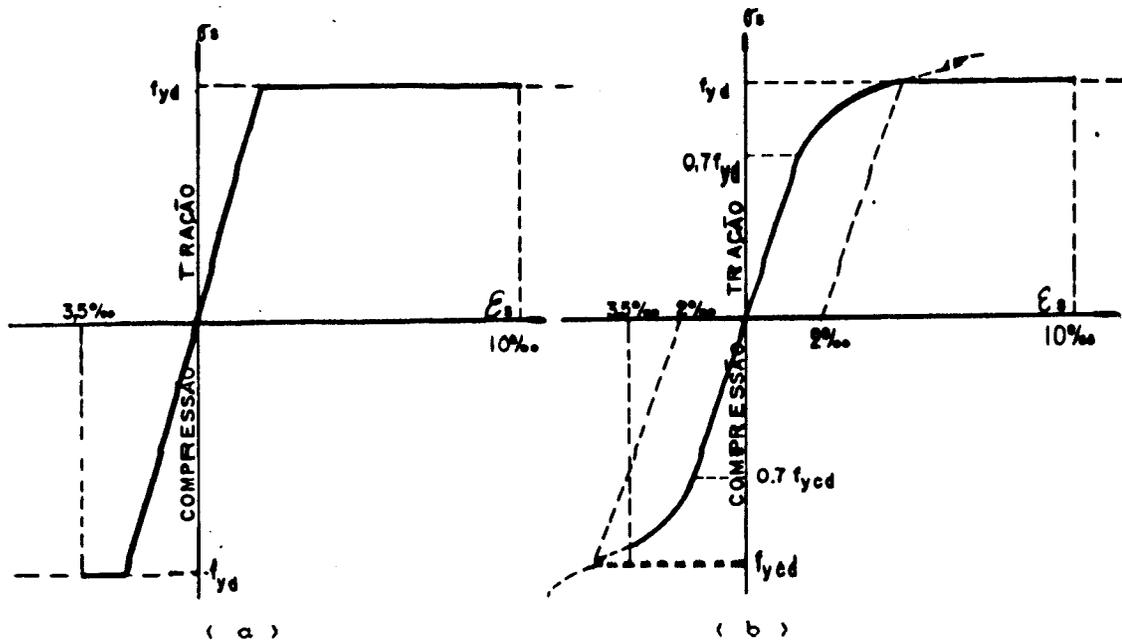


Fig. 10 - Distribuição das tensões no aço

O comportamento do aço pode ser considerado igual quando é solicitado à tração e à compressão, com as limitações quanto às deformações :

- 10% na tração, limitação esta relacionada a problemas com deformações plásticas excessivas, embora este valor esteja longe de esgotar a capacidade resistente do material ;
- 3,5% ou 2% na compressão, por coerência com as deformações no concreto (Fig. 8).

No trecho plástico parabólico apresentado pelos aços classe B, as deformações são dadas por :

$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} + \frac{1}{45} \left(\frac{\sigma_s}{f_y} - 0,7 \right)^2$$

onde E_s é o módulo de elasticidade longitudinal, podendo ser considerado para os aços desde CA-25 até CA-60 igual a $2,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$.

2.4.2 - Equilíbrio de seções na flexão simples

Seja uma seção de concreto armado, simétrica em relação ao plano de cargas, solicitada por um momento fletor M_d (resultado final das combinações e majorações por coeficientes γ_f). O momento será equilibrado por um binário formado pelas resultantes das tensões nas barras de aço, cuja posição deve ser pré-estabelecida, e as resultantes das tensões de compressão no concreto, cuja distribuição adotada é a retangular indicada na Fig. 9b.

Como usual, são dadas aqui as seguintes notações relativas a uma seção de concreto armado :

- d - altura útil da seção
- σ_c - Tensão de compressão no concreto
- σ_s - Tensão de tração no aço
- x - Posição da linha neutra em relação à borda comprimida.
- A_{cc} - Área de concreto comprimido ($\int_0^x d_A$)
- A_s - Área da seção transversal da armadura
- R_{cc} - Resultante das tensões de compressão do concreto ($\int_0^x \sigma_c d_A$)
- R_{st} - Resultante das tensões de tração na armadura ($\sigma_s \times A_s$)
- xR_{cc} - Ponto de aplicação de R_{cc}

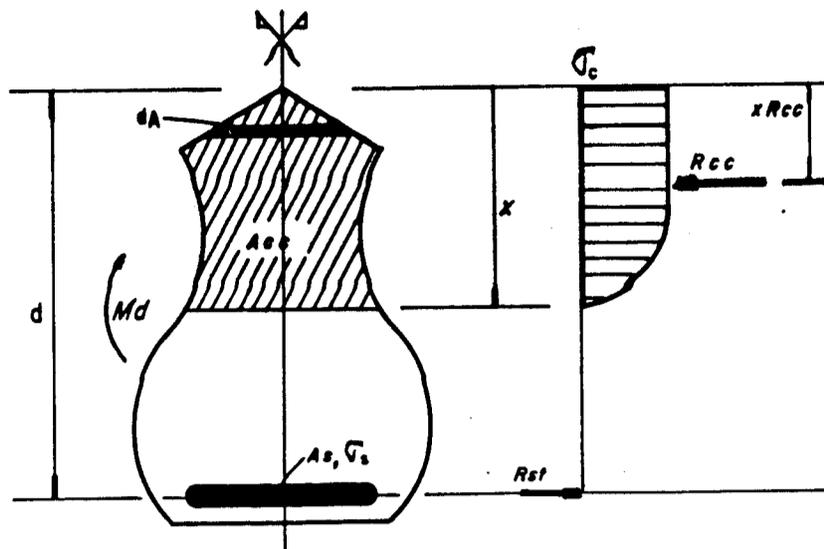


Fig. 11 - Seção simétrica solicitada por um Momento fletor M_d

Escrevendo-se o equilíbrio entre momentos externos e internos no ponto de aplicação de R_{st} , obtém-se (Figura 11) :

$$M_d = \sigma_c \times A_{cc} \times (d - xR_{cc}) \quad (1)$$

Para o equilíbrio dos momentos definidos no ponto de aplicação de R_{cc} , escreve-se :

$$M_d = \sigma_s \times A_s \times (d - xR_{cc}) \quad (2)$$

A_{cc} , x e xR_{cc} são relacionáveis de acordo com a geometria da seção. Com essa relação e com a equação (1) obtém-se os valores para xR_{cc} e x coerentes (dentro da seção). Uma vez conhecida a posição da linha neutra, é automática a identificação do domínio de deformação correspondente, e como consequência o valor da tensão σ_s . Tendo-se xR_{cc} e σ_s , obtém-se com a equação (2) o valor de A_s , que é o parâmetro procurado no dimensionamento.

2.4.2.1 - Seções retangulares

Numa seção retangular de largura b_w

(dimensão normal ao plano de cargas) e altura h (Figura 12), temos :

$$\begin{aligned}\sigma_c &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_{cc} &= 0,8 \times x \times b_w \\ x R_{cc} &= 0,4 \times x\end{aligned}$$

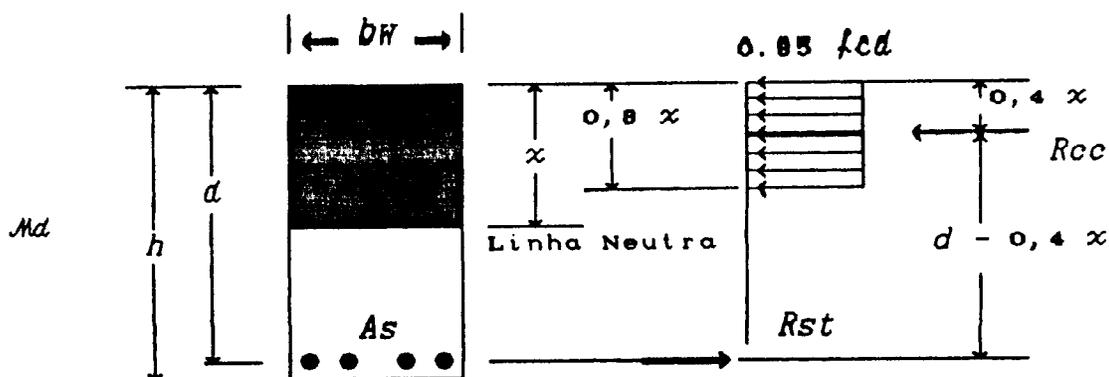


Fig 12 - Seção retangular submetida à flexão simples.

As equações (1) e (2) explicitadas para a seção retangular ficam :

$$M_d = 0,85 \times f_{cd} \times 0,8 \times x \times b_w \times (d - 0,4 \times x) \quad (3)$$

$$M_d = \sigma_s \times A_s \times (d - 0,4 \times x) \quad (4)$$

A equação (3) é uma equação do 2º grau, e que fornece dois valores para x , podendo apenas um deles ser coerente.

É de interesse verificar a qual domínio a posição x conduz a seção. A definição do domínio, por si só, indica o comportamento da peça idealizada na flexão simples. As seguintes características podem ser observadas por domínio :

domínio 2 - Há um mau aproveitamento da capacidade resistente do concreto, e conduz a ruptura pelo alongamento excessivo da armadura ;

domínio 3 - Há um bom aproveitamento das capacidades resistentes tanto do concreto como do aço, e

conduz à ruptura simultaneamente pelo esmagamento do concreto e alongamento excessivo da armadura. O valor ótimo de α , em termos de máximo aproveitamento das capacidades resistentes dos materiais, fica no limite entre os domínios 3 e 4 ;

domínio 4 - Há um mau aproveitamento da capacidade resistente do aço, que trabalha na fase elástica, e conduz a ruptura pelo esmagamento do concreto. Deve ser evitado, pois além de levar a um dimensionamento anti-econômico, provoca uma ruptura frágil, isto é sem indicação da iminência do colapso.

Se para uma dada seção e um dado momento, o estado limite último se dá com a linha neutra no domínio 4, deve-se alterar a geometria da seção para que isso seja evitado. Em caso da impossibilidade de alteração da geometria da seção, procede-se da seguinte maneira :

- impõe-se que a linha neutra (impondo-se o valor de α), deve passar no ponto correspondente ao limite entre os domínios 3 e 4 (α_{34}) nas equações (3) e (4), obtendo-se um momento limite para a seção (M_{lim}), e uma parcela de armadura (A_{s1}). A tensão no aço tracionado é f_{yd} , obtida pela própria definição do domínio imposto ;

- o momento restante ($\Delta M = M_d - M_{lim}$) é equilibrado pelo binário formado pelas resultantes das tensões em uma armadura tracionada suplementar (A_{s2}), e outra introduzida na região comprimida ($A_{s'}$) conforme mostrado na Fig. 13. A tensão imposta na armadura comprimida ($\sigma_{s'}$) é a correspondente à deformação do concreto no ponto de aplicação da força resultante (R_{sc}) das armaduras comprimidas, distante d' da borda comprimida. Do equilíbrio dos momentos no ponto de aplicação de R_{sc} tem-se

$$\Delta M = f_{yd} \times A_{s2} \times (d - d') \quad (5)$$

e no ponto de aplicação de R_{st} pode-se escrever :

$$\Delta M = \sigma_s' \times A_{s'} \times (d - d') \quad (c)$$

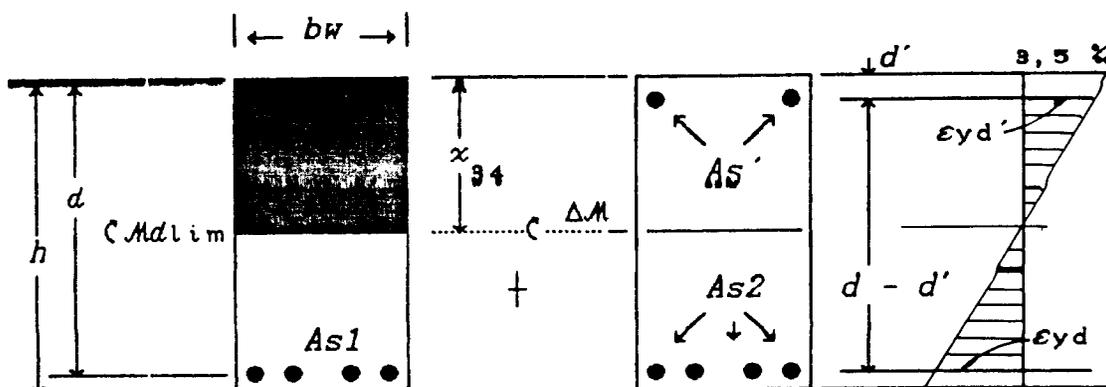


Fig 19 - Colocação de armaduras suplementares a fim de evitar $x > x_{94}$

2.4.2.2 - Seções T

Em pisos de edificios é comum, e permitido pela NBR 6118, considerarem-se as partes das lajes adjacentes a uma viga, para compor a seção transversal. Chamando de b_a , a largura fictícia de uma viga, cuja largura real b_w tenha sido aumentada, em ambos os lados, de uma largura correspondente aos menores catetos do triângulo formado pelas possíveis mísulas, e chamando de b_2 a distância entre as faces fictícias de duas vigas consecutivas, temos conforme a NBR 6118 (e Fig. 14) os valores de b_1 (faixa da laje que pode ser incorporada à seção transversal da viga, no caso de vigas consecutivas) ou b_3 (idem no caso de vigas isoladas ou externas) :

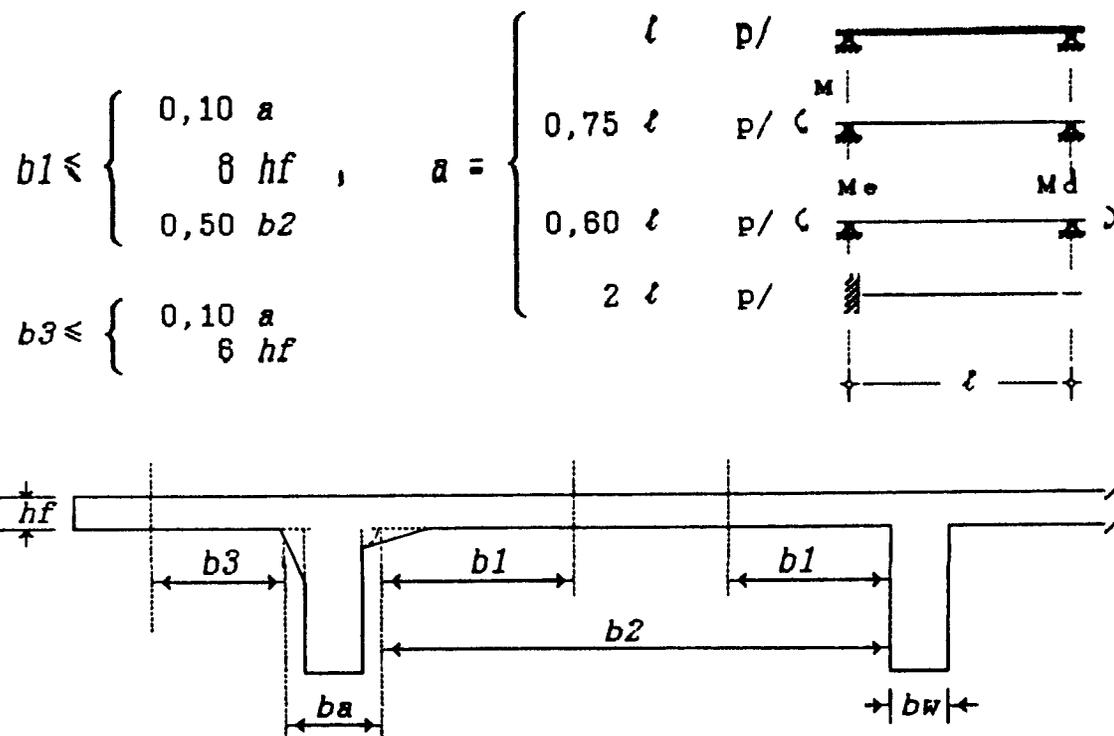


Fig. 14 - Larguras colaborantes de lajes

Uma seção T (Fig 15) pode ser considerada uma composição de seções retangulares. O dimensionamento é iniciado com a verificação da posição da linha neutra para uma seção retangular equivalente de largura bf , utilizando-se a equação (3). Se a linha neutra passar na mesa, ou seja, $x \leq hf$, a região vazia da seção equivalente fica inteiramente tracionada, podendo-se portanto determinar As diretamente com a equação (4), conforme mostrado na Fig.15a . Em caso contrário, impõe-se para x na equação (3), o valor de hf , considerando a largura da seção $bf - bw$, conforme Fig 15b. obtendo-se, de maneira análoga ao caso de armadura suplementar comprimida, uma parcela de momento M_k e uma armadura Asf . Com o momento restante $M_d - M_k$, dimensiona-se a seção retangular de largura bw indicada na Figura 15b, obtendo-se a armadura restante ($As1$).

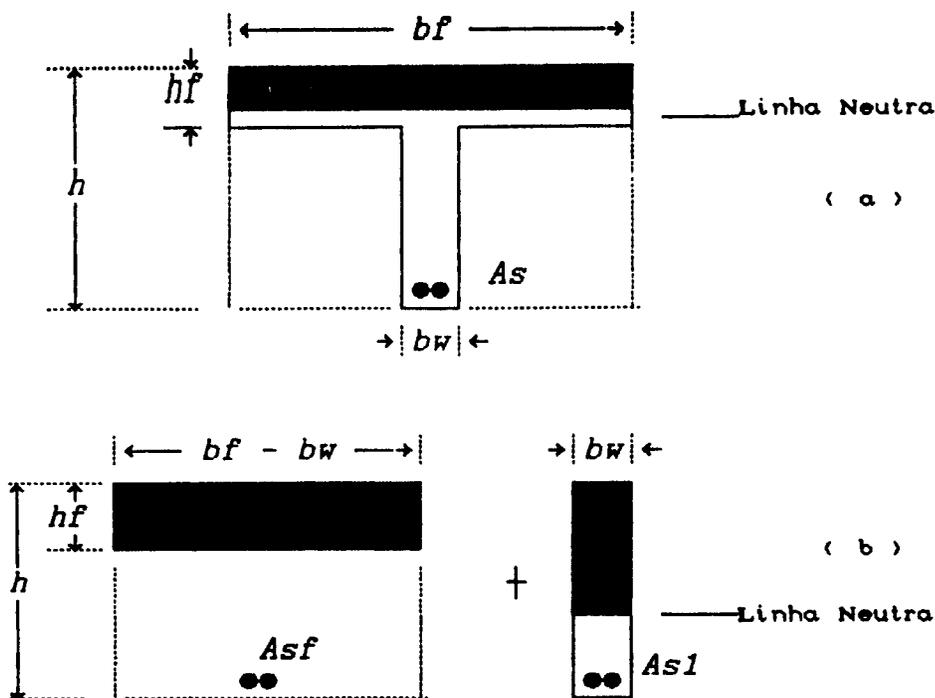


Fig 15 - Seção T submetida à flexão simples

Deve-se evitar também que a linha neutra ultrapasse a posição α_{s4} , introduzindo uma armadura de compressão se necessária, de modo a nunca se ter peça super-armada.

2.4.3 - Resistência à força cortante

O funcionamento das peças lineares de concreto armado no Estado Limite Último, como já amplamente conhecido, pode ser assimilado ao de uma treliça plana (Fig. 16). Os banzos são representados pela armadura tracionada e pela região comprimida devido à

flexão. Os montantes são representados pelas armaduras transversais. A atuação de forças cortantes geram tensões cisalhantes, que em conjunto com as tensões normais oriundas da flexão, submetem a peça a um estado duplo de tensões, e cujas resultantes das tensões principais de compressão, formam no interior da peça, bielas comprimidas representadas pelas diagonais inclinadas a 45° (Treliça Clássica de Morsch). Não é finalidade do presente trabalho entrar em detalhes sobre este funcionamento, pois são conceitos amplamente conhecidos. Além disso, COSTA[1], em sua Dissertação de Mestrado feita em paralelo com o presente, trata o assunto de maneira mais abrangente.

Para a verificação da capacidade resistente de uma peça submetida à força cortante, parte-se da definição da tensão convencional de cisalhamento numa seção retangular, que é dada por

$$\tau_{vd} = \frac{V_d}{bw d}$$

onde V_d é a força cortante combinada e majorada por coeficientes de segurança.

O valor de τ_{vd} não pode ultrapassar o valor último τ_{vu} dado por

$0,30 f_{cd} \leq 55 \text{ kgf/cm}^2$, no caso de armaduras inclinadas a 45° sobre o eixo da peça

$0,25 f_{cd} \leq 45 \text{ kgf/cm}^2$, nos demais casos

A partir deste valor (τ_{vd}), pode-se determinar através do equacionamento do equilíbrio da treliça, o valor da armadura transversal normal ao eixo da peça, que é dado por :

$$\frac{A_{sv}}{\phi} = \frac{(1,15 \tau_{vd} - \tau_c) bw}{\sigma_{vd}}$$

onde A_{sv} = área total da seção transversal de um estribo

ϕ = espaçamento entre estribos

τ_c = valor empírico para ajuste da treliça clássica de Morsch dado por

$$\psi_1 \sqrt{f_{ck}} \quad (f_{ck} \text{ em } \text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{com } \psi_1 = \begin{cases} 0,24 & \text{para } \rho_1 \leq 0,001 \\ 0,45 & \text{para } \rho_1 \geq 0,015 \\ \text{Interpolando-se linearmente} \\ \text{os valores intermediários} \end{cases}$$

e ρ_1 é a menor taxa de armadura longitudinal de tração no trecho de comprimento $2h$ medidos a partir da face do apoio

σ_{vd} é o menor valor entre f_{yd} e 4350 kgf/cm^2

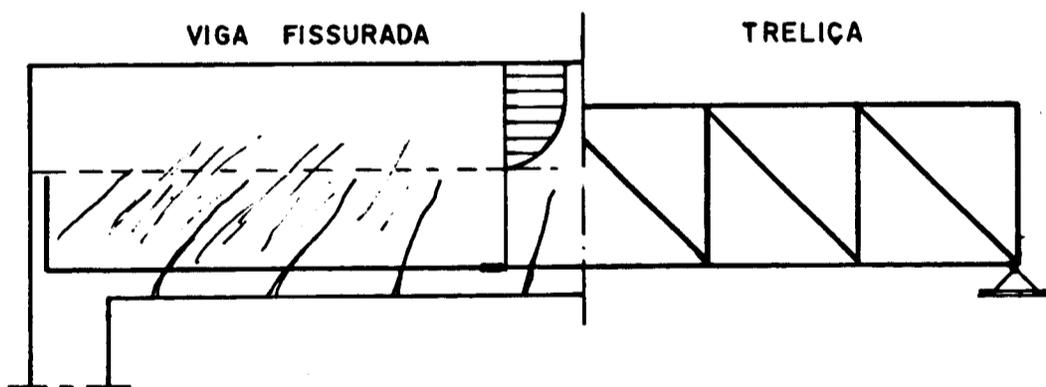


Fig. 16 - Treliça análoga a uma viga de concreto armado

2.4.4 - Resistência aos momentos torçores

Os momentos torçores atuando numa peça de concreto armado, geram tensões de cisalhamento. O dimensionamento é análogo ao caso da força cortante, fazendo-se agora uma analogia da peça com uma treliça espacial, onde as armaduras longitudinais formam os banzos, as armaduras transversais formam os montantes e as bielas comprimidas formadas pelas resultantes das tensões principais representam as diagonais. De acordo com o item 4.1.3 da NBR 6118, o estudo da torção é feito considerando vazada a seção transversal da peça, mesmo se tratando de uma seção cheia.

Para uma seção retangular de dimensões b e h ($h > b$) cujas distâncias entre os eixos das armaduras longitudinais dos cantos são bs (paralela ao lado b) e hs (paralela ao lado h), a espessura h_1 da parede da seção fictícia é dada por :

$$- b/6, \text{ se } bs \geq 5b/6.$$

Para este caso, o contorno externo da seção fictícia coincide com o contorno externo da seção existente (Fig. 17a) ;

$$- bs/5 \text{ em caso contrário.}$$

Neste caso a linha média da parede da seção fictícia coincide com a linha que une os centros das armaduras longitudinais (Fig. 17b).

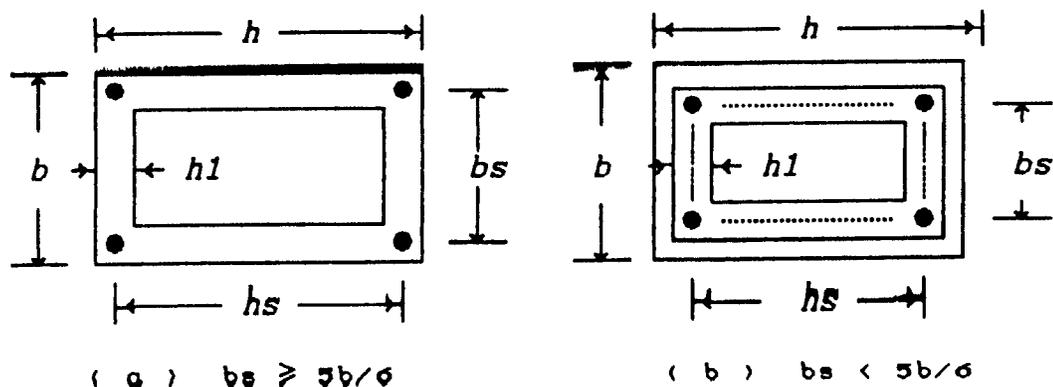


Fig. 17 - Espessuras da parede de seção vazada fictícia

A tensão tangencial é dada por

$$\tau_{td} = \frac{T_d}{2 A_e h_e}$$

onde T_d é o momento torçor já combinado e majorado por coeficiente de segurança ;
 A_e é a área limitada pela linha média da parede fictícia, incluindo a parte vazada ;
 h_e é o maior valor entre a espessura da parede fictícia e a da parede existente, caso a seção seja originalmente vazada.

O valor de τ_{td} não pode ultrapassar o valor ultimo τ_{tu} dado por

- $0,22 f_{cd} \leq 40 \text{ kgf/cm}^2$,
em caso de torção simples com armaduras distribuídas paralelas e normais aos eixos da peça (armaduras longitudinais e estribos verticais) ou
- $0,27 f_{cd} \leq 50 \text{ kgf/cm}^2$,
em caso de torção simples com armadura inclinada a 45° .

Em caso de torção simples, a armadura deve ser distribuída na área correspondente à parede fictícia. Se for formada por barras longitudinais e estribos normais ao eixo da peça seus valores são dados por :

$$\frac{A_{\rho o}}{\phi} = \frac{A_{s l}}{u} = \frac{T_d}{2 A_e \sigma_{t d}}$$

onde $A_{\rho o}$ = área total da seção transversal de um estribo

$A_{s l}$ = área total das seções das armaduras longitudinais

ϕ = espaçamento entre estribos

u = perímetro de A_e

$\sigma_{t d}$ = menor valor entre f_y e 4350 kgf/cm^2

Em caso de atuarem conjuntamente força cortante e momento torçor, deve ser respeitada a desigualdade

$$\frac{\tau_{v d}}{\tau_{v u}} + \frac{\tau_{t d}}{\tau_{t u}} \leq 1$$

2.4.5 - Fissuração

No estado limite último, a resistência à tração do concreto é desprezada, tornando inevitável o aparecimento de fissuras nas regiões tracionadas. Tais fissuras devem ser controladas a fim de evitarem-se problemas de corrosão nas armaduras e eliminar-se a má

impressão quanto ao aspecto visual e prejuízo para a utilização. Considera-se que uma peça atingiu o Estado Limite de fissuração quando o valor estimado da abertura de uma fissura na superfície atinge um dos valores :

- 0,1 mm para peças não protegidas, em meio agressivo;
- 0,2 mm para peças não protegidas, em meio não agressivo ;
- 0,3 mm para peças protegidas.

Chamando de w ao valor da abertura de uma fissura, podemos estimar o valor de $10 w$, com razoável probabilidade com as expressões :

$$\frac{\phi}{2 \eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \left[\frac{4}{\rho_r} + 45 \right]$$

$$\frac{\phi}{2 \eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \frac{3 \sigma_s}{f_{tA}}$$

onde :

- ϕ = maior diâmetro das barras (em milímetros)
- σ_s = tensão em serviço na armadura
- E_s = Módulo de Elasticidade do aço
- f_{tA} = tensão de ruptura do concreto à tração
- ρ_r = taxa geométrica da armadura na seção interessada (A_s / A_{cr}), com A_{cr} dada por $0,25 b w h$ em casos de seções retangulares ou T, submetidas à flexão simples
- η_b = coeficiente de aderência do aço, não sendo permitido um valor maior que 1,8

De acordo com a NBR 6118, o estado limite de fissuração só é atingido se ambas as expressões fornecerem valores de w maiores que os máximos prescritos.

Pelas expressões pode-se concluir que a

escolha de menores diâmetros, são favoráveis a uma melhor distribuição das fissuras, devendo portanto, fazer parte do critério de um projetista.

2.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O DETALHAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

2.5.1 - Detalhamento de seção de viga

Com a pré-fixação da posição da resultante das tensões nas armaduras e obtenção de uma área A_s necessária ao equilíbrio e compatibilidade, distribui-se tal área A_s na seção, com barras de aço de diâmetros comerciais. A distribuição dessas barras pode acarretar mudança da posição da resultante, e conseqüentemente a mudança da área A_s necessária. Compete ao projetista a decisão de recalcular a seção com a nova posição e compará-la com a área efetiva devida às áreas nominais das bitolas comerciais, ou desprezar a diferença, se esta for insignificante. A distribuição das barras depende de critérios próprios do projetista e de limites mínimos prescritos por normas como :

- Espaçamento horizontal mínimo.

O espaço livre entre duas barras (ou feixes de barras) deve ser maior ou igual a 2 centímetros, o maior diâmetro de uma barra ou do círculo de mesma área no caso de feixes, ou ainda 1,2 vezes a dimensão máxima do agregado. É conveniente deixar um espaço livre maior na parte superior para permitir a passagem de aparelhos utilizados no adensamento do concreto, sendo esse procedimento também recomendado nas camadas diferentes da

primeira, na parte inferior ;

- Espaçamento vertical mínimo.

Seguem as mesmas prescrições, a menos da relação entre a dimensão do agregado que pode ser 0,5 vezes essa dimensão, ao invés de 1,2.

- O cobrimento das armaduras deve ser maior que
 - 1,5 cm para vigas no interior de edifícios revestidas com argamassa de espessura maior ou igual a 1 cm ;
 - 2,0 cm para vigas também revestidas e ao ar livre, ou de concreto aparente no interior de edifícios ;
 - 2,5 cm para vigas de concreto aparente ao ar livre ;
 - 3,0 cm para vigas de fundações ;
 - 4,0 cm para vigas em meios fortemente agressivos.

- A resultante das tensões na armadura só pode ser considerada atuante no centro de gravidade dos eixos das barras, se a distância entre o centro e o ponto da armadura mais afastado da linha neutra, medida perpendicularmente a ela, for menor que 5% da dimensão da viga medida nessa mesma direção (Fig. 18) ;

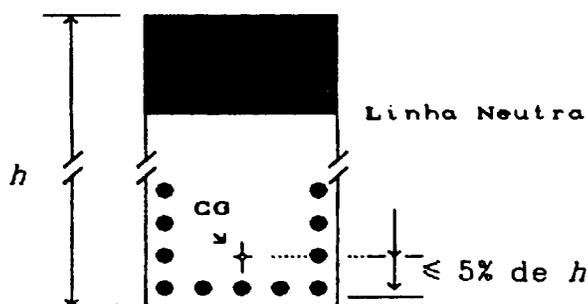


Fig. 18 - Posição da resultante das tensões nas barras de aço da armadura

2.5.2 - Ancoragem

As armaduras calculadas numa determinada seção, devem ser adequadamente ancoradas para garantir a compatibilidade entre as deformações nos pontos de contato entre o concreto e o aço. A maneira mais usual de se obter essa ancoragem é mergulhar um certo comprimento das barras, na região além da seção estudada e garantir que os valores das tensões de aderência entre as barras e o concreto fiquem abaixo dos valores últimos estimados por norma.

Sendo em uma barra da armadura, a tensão igual a f_{yd} e o diâmetro igual a ϕ , a força resultante na barra é igual a

$$\frac{\pi \phi^2}{4} \cdot f_{yd}$$

Chamando o comprimento da barra utilizado na ancoragem de ϕ_{b1} , e a tensão de aderência última do concreto de τ_{bu} , para efeito de simplificação, suposta constante ao longo de ϕ_{b1} , a força resultante na superfície da barra é igual a

$$(\pi \phi \phi_{b1}) \tau_{bu}$$

Para que essa duas forças se equilibrem tem-se

$$\phi_{b1} = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{\tau_{bu}}$$

Os valores de τ_{bu} em kgf/cm^2 , dados pela NBR 6118 são :

$$\begin{array}{ll}
 0,8 \sqrt{fcd} & \text{para } \eta_b \leq 1 \\
 0,8 \sqrt[3]{fcd^2} & \text{para } \eta_b \geq 1,5
 \end{array}
 \quad (1)$$

sendo válida a interpolação linear para valores intermediários de η_b .

No caso da área efetiva da armadura denominada A_{s_e} , ser maior que a área calculada (A_s), a tensão na armadura tem um valor menor que f_{yd} , sendo então permitido utilizar um comprimento de ancoragem l_b , menor que l_{b1} dado por

$$l_b = l_{b1} \frac{A_{s_e}}{A_s}$$

De acordo com a NBR 6118, o comprimento l_b não pode ser menor que

$$\begin{array}{l}
 l_{b1} / 3 \\
 10 \phi \\
 10 \text{ cm}
 \end{array}$$

A recomendação para o limite inferior $l_{b1} / 3$ é baseado em recomendações de normas européias. Os limites usuais para dimensões de apoios e as resistências características dos concretos utilizados no Brasil, são valores bem abaixo dos limites europeus, e a obediência a essa recomendação, torna a ancoragem das armaduras em apoios extremos quase sempre impraticável. Exemplificando, para um concreto de f_{cd} 150 kgf/cm², e aço CA50A, tem-se o valor de l_{b1} aproximadamente igual a 53,5 ϕ , e um terço deste valor vale aproximadamente 17,8 ϕ . Se for considerado o cobrimento da armadura igual a 2 centímetros tem-se : para utilizar uma barra de diâmetro igual a 12,5 milímetros, seria necessário que a dimensão do apoio, na direção da barra fosse no mínimo 24,3 centímetros

($17,8 \times 1,25 + 2$). Um dos limites para dimensões de seção transversal de pilares, recomendado pela norma NBR 6118 é de 20 centímetros, valor este bastante usual em edifícios brasileiros. Tratando-se de apoios indiretos é bastante comum termos vigas com larguras iguais a 12 centímetros, o que agrava ainda mais o problema. GOBETTI[4], estudando recomendações de outras normas estrangeiras, não encontrou justificativas para este limite, e sugere que tal recomendação seja ignorada.

Um fator que influi na eficiência da ancoragem por aderência é a posição relativa da armadura na ocasião da execução. De acordo com a NBR 6118 temos as chamadas *situações de boa aderência*, que ocorrem quando a barra a ser ancorada se encontra :

- inclinada entre 45° e 90° com a horizontal ;
- horizontal ou com inclinação menor que 45° desde que se situe :
 - numa peça de espessura máxima ≤ 30 cm ;
 - nos 30 cm inferiores de uma peça de espessura máxima entre 30 e 60 ;
 - fora dos 30 cm superiores de uma peça de espessura maior que 60 cm .

Nos demais casos temos as *situações de má aderência*, para as quais deve-se reduzir o valor de τ_{bu} para $2/3$ do valor obtido por uma das expressões (1), ou seja, deve-se aumentar em 50% o valor obtido para o comprimento de ancoragem.

2.5.3 - Cobrimento dos diagramas

Na seção de momento máximo, o valor da

força cortante é nulo, portanto as fissuras nessa seção são oriundas apenas de flexão. Nas demais seções, as fissuras são inclinadas devidas à ação conjunta de momento fletor e força cortante. Devido a esta inclinação, e baseado na analogia entre uma viga e uma treliça, chega-se a conclusão que a força resultante numa seção devido a ação de um momento fletor é prolongada até uma outra seção distante al . Em termos práticos, isto equivale a dizer que o diagrama de momentos fletores sofre translações horizontais, nos sentidos mais desfavoráveis, de valores fornecidos pela NBR 6118 para o caso de armadura transversal normal ao eixo da viga :

$$al = (1,5 - 1,2 \eta) d$$

$$\text{onde } \eta = 1 - \frac{\tau_c}{1,15 \tau_{vd}}$$

Uma vez deslocado o diagrama de momentos fletores, detalham-se as seções mais críticas (seções de momentos máximos, picos de momentos negativos nos apoios, seções de apoios e outras que o projetista julgar importantes), distribuindo as barras ao longo do diagrama, e retirando de serviço as barras nas seções onde não mais são necessárias. A partir destas seções, as barras retiradas são ancoradas de acordo com o indicado anteriormente.

2.5.4 - Seções de apoios

Como foi visto, o valor de al é função de τ_{vd} e de τ_c , sendo que tais parâmetros variam conforme a

seção analisada. Um procedimento usual é considerar constante o valor de αl nos trechos cujas forças cortantes apresentam o mesmo sinal. As seções que, em geral, fornecem valores maiores para αl são as dos apoios. Nos casos de apoios extremos, pode-se ter três situações distintas (FRANÇA[2]) :

-**Momentos negativos grandes**, que podem ser considerados aqueles que necessitam para equilibrá-los, armaduras cujas relações entre as áreas calculadas e as áreas das seções transversais sejam maiores que 0,3% . Nesta situação a armadura superior é a mais importante ;

-**Momentos positivos grandes**, que também necessitam de taxas de armaduras superiores a 0,3% . Nesta situação a armadura inferior é dimensionada para equilibrar o momento fletor ;

-**Momentos pequenos**, que é o caso restante. Nesta situação a força na armadura é aquela que equilibra o nó do apoio da treliça análoga (Fig. 19). A força R_{st} é dada por

$$R_{st} = \frac{\alpha l}{d} V_d \geq 0.5 V_d$$

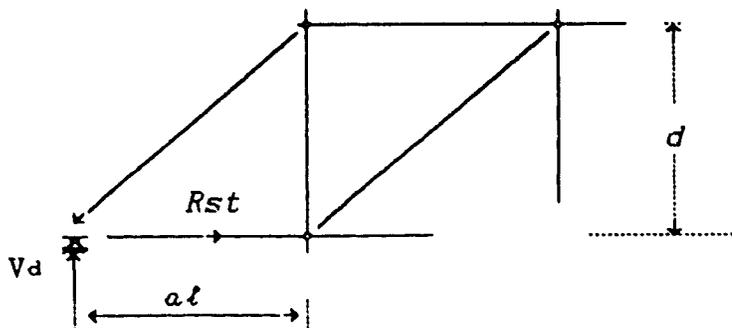


Fig. 19 - Equilíbrio do nó de apoio da treliça

Como pode ser notado, a força R_{st} dividida pela tensão no aço fornece a área necessária da armadura no apoio. Porém o valor de αl só é obtido após o conhecimento da área A_s (τ_c depende de ρ_1). Conclui-se

que é necessário um processo iterativo para o dimensionamento de uma seção de apoio extremo cujos momentos fletores sejam pequenos, e que é a maior ocorrência em vigas de pisos edifícios.

A NBR 6118 recomenda que se prolongue parte da armadura de tração obtida na seção de momento máximo positivo até os apoios nas seguintes frações :

- 1/3 da armadura obtida na seção de momento máximo se o momento negativo no apoio for nulo ou menor em valor absoluto, que a metade do momento máximo ;
- 1/4 da mesma armadura em caso contrário.

CAPÍTULO III - ALGORITMOS COMPUTACIONAIS PARA
PROJETOS DE VIGAS DE EDIFÍCIOS

3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são introduzidas e convencionadas as notações utilizadas para descrever os algoritmos computacionais, em forma de programação estruturada, e que independem de um tipo particular de linguagem computacional. Também são organizadas de forma sistemática, as diversas atividades referentes a um projeto estrutural das vigas de um piso de edifício de concreto armado. Cada atividade é dissertada e formalizada, usando-se as notações convencionadas.

3.2 - DEFINIÇÕES

3.2.1 - Dados

É sabido que um computador digital é uma máquina que processa automaticamente informações (dados) em uma sequência previamente estabelecida. Estes dados, numa linguagem computacional, são definidos através de um nome e um tipo, e podem ter seus valores constantes ou variáveis. Os tipos podem ser escalares ou estruturados.

Uma variável do tipo escalar representa um

único valor. Como exemplo de tipos escalares tem-se as variáveis do tipo inteiro, que representam uma faixa de valores numéricos inteiros, e as do tipo real, que representam um conjunto finito de valores numéricos reais contidos numa faixa. Nota-se que o conceito de variável do tipo real difere do conceito matemático de número real pois este tem como limites valores infinitos, como também são precisos, enquanto uma variável de linguagem computacional tem seus limites e precisão relativos a formatação interna usada na representação do valor.

Uma variável de tipo estruturado representa, com um mesmo identificador, vários valores. Como exemplo, têm-se as variáveis do tipo vetor, que aqui são definidas como sendo variáveis que contêm uma lista de valores do mesmo tipo, e que podem ser referenciadas através de um índice. Tem-se também o tipo registro, que é uma variável que pode conter campos de tipos diferentes.

No presente trabalho as estruturas de dados utilizadas são :

-Escalares :

- Inteiro - Valores numéricos inteiros ;
- Real - Valores numéricos reais ;
- Caracter - Sequência de caracteres ;
- Lógico - Somente valores FALSO ou VERDADEIRO .

-Estruturados :

- Registro - Podendo conter campos de tipos diferentes. Um tipo registro é definido pelo identificador, seguido da palavra Registro, pela lista de identificadores para os campos, e pela palavra Fim. Para referenciar um campo de uma variável tipo registro, descreve-se o identificador do registro seguido de um caracter '.' e o identificador do campo, ou ainda através da palavra Com seguida do nome do registro, da palavra faça, e de bloco. Os

identificadores referenciados em seguida identificam campos do registro ;

-Vetor - Definido pelo identificador, seguido dos limites inferior e superior (valores separados por dois pontos consecutivos dentro de colchetes), e seguido ainda, do tipo dos elementos. Um elemento é referenciado pelo identificador da variável seguida de colchetes contendo um índice.

3.2.2 - Representação de instruções

Em programação estruturada, procura-se organizar as instruções em blocos, partindo-se de um bloco principal, refinando-se sucessivamente em sub-blocos. Um bloco pode ser uma sub-rotina (ou procedimento), uma função, ou um grupo de instruções. O bloco principal começa com a palavra 'Início' e termina com a palavra 'Fim.'. O ponto final é quem indica o fim do bloco principal. Um sub-bloco também começa com a palavra 'Início' e termina com 'Fim;', sendo o ponto e vírgula quem diferencia o fim de um sub-bloco do fim do bloco principal. Em programação estruturada, num dado bloco, para uma dada entrada, existe somente uma saída.

Um identificador usado para particularizar uma constante, uma variável, um procedimento ou uma função, é uma sequência de caracteres (alfabéticos, numéricos e caracter '_'), formando uma palavra significativa.

Uma variável após ter sido definida, pode ser manipulada, ou seja pode ter seu valor alterado, bem como pode ter seu valor usado para comparações ou

contribuição de seu valor em outras variáveis ou expressões.

Para se definir uma constante ou um grupo de constantes é utilizada a palavra 'Constante', seguida dos identificadores, cada um, por sua vez, seguido de sinal de igualdade e os respectivo valor. Uma constante, após sua definição, não pode ter seu valor alterado, porém pode ser usado para comparações ou contribuição de seu valor em outras variáveis ou expressões.

Para se definir um tipo ou um grupo de tipos, é utilizada a palavra 'Tipo' seguida dos identificadores do tipo ou grupo, sinal de igualdade e a definição do tipo.

Para se definir uma variável ou um grupo de variáveis, é usado a palavra 'Variável' seguida dos identificadores separados por vírgula, dois pontos e o tipo.

Para se atribuir um valor a uma variável, valor este que pode ser uma constante, outra variável ou uma expressão do mesmo tipo, é utilizado o símbolo ' \leftarrow '. Isto significa que o valor da entidade ou expressão à direita do símbolo é transferido para a variável cujo identificador se encontra à esquerda.

Os operadores matemáticos utilizados são :

- '+' Adição ;
- '-' Subtração ;
- '*' Multiplicação ;
- '/' Divisão ;
- a^b Exponenciação (a elevado a b)

O fim de uma linha de instrução é indicado por ponto e vírgula (';'). Texto dentro de parênteses ou chaves, são apenas comentários, não fazendo parte das instruções de programa.

Como já foi escrito anteriormente, em

programação estruturada costuma-se organizar as instruções em blocos. Um bloco pode ser uma sub-rotina, que é um subprograma que pode ser executado a partir de um lugar qualquer, e ainda, mais de uma vez. Se em um ponto qualquer do programa, for chamado um procedimento, após a sua execução, retorna-se ao programa, no ponto em que a sub-rotina foi chamada. Pode-se compartilhar as variáveis globais ao programa, receber e enviar parâmetros, e conter variáveis locais. É definido pela palavra 'Procedimento' seguida de um identificador, entre parênteses, conjunto de parâmetros (agrupados pelos mesmos tipos), definições de constantes, tipos e variáveis locais, e o bloco de instruções. Para chamar um procedimento, indica-se o identificador no local desejado.

Um bloco pode ser também uma função, que da mesma maneira, é um subprograma, cujo identificador retorna um valor. É usado de maneira análoga a uma variável do mesmo tipo que foi definida. Assim como em um procedimento, pode-se compartilhar variáveis globais, transferir parâmetros e conter variáveis locais. Uma função é definida pela palavra 'Função', seguida entre parênteses do conjunto de parâmetros da mesma forma que nos procedimentos, indicação do tipo de valor que será retornado com o identificador, definição das constantes, tipos e variáveis locais, e o bloco de instruções¹.

Alguns símbolos são usados para indicar comparações e desvios. Os símbolos '=', '≠', '≤' e '≥' são utilizados para comparar valores ou expressões, sendo o resultado da comparação, um valor lógico. Valores lógicos podem ser operados entre si com os operadores AND, OR e

¹ Maiores detalhes sobre sub-rotinas dependem da linguagem utilizada, sendo portanto suficiente para o prosseguimento do texto, o mostrado anteriormente, que é baseado na linguagem Pascal. Outras linguagens podem ter diferenças na definição, passagem de parâmetros, e em outros tópicos.

NOT². Já uma comparação é feita utilizando-se a palavra 'Se' seguida de uma ou mais condições (expressão, um dos símbolos definidos no parágrafo anterior, expressão), palavra 'Então', bloco de instruções, palavra 'Sendo' e outro bloco.

Um dado bloco de instruções pode ser seguidamente repetido. Um número previamente conhecido de repetições é indicado pela palavra 'Para', seguida do identificador de uma variável de controle do tipo inteiro, sinal de atribuição, expressão ou variável contendo o valor inicial da variável de controle, palavra 'Até', expressão ou variável contendo o valor final da variável de controle, e entre parênteses, o incremento para a variável de controle. Incremento omitido indica valor positivo unitário. Para um número de repetições dependente de condições, pode-se usar a palavra 'Repetir' seguida de blocos de instruções, e ao final do bloco a palavra 'até', seguida das condições, ou ainda a palavra 'Enquanto' seguida de condições, da palavra 'Faca' e bloco de instruções.

Para a transferência de dados de um programa para o outro, são utilizados arquivos cuja formatação depende da linguagem e do dispositivo utilizado. A leitura de um grupo de dados de um arquivo é feita utilizando-se a palavra 'Leia', entre parênteses, o identificador do arquivo e os identificadores das variáveis. Para armazenamento de um grupo de dados, utiliza-se a palavra 'Salve', seguida também, entre parênteses do identificador do arquivo e dos identificadores das variáveis.

Para ilustrar as notações convencionadas acima, tem-se a seguir, alguns breves exemplos :

² Foram mantidos os operadores na língua inglesa para evitar possíveis erros.

Constante

Pi = 3.141592 ;
E = 2100 ;

Tipo

Vet_M : Vetor [0..20] Real ;

Variável

Numero_de_Vigas, Numero_de_Tramos, i : Inteiro ;
Me, Mx, Cortante, Carga, x : Real ;
Tramo : Registro
 | Vao : Real ; { nota-se que um dos }
 | M : Vet_M ; { campos é um vetor }
 Fim ;

Função Momento(M, V, Q, x : Real) : Real ;

Início

| Momento ← M + V * x - Q * x² / 2 ;

Fim ;

Procedimento Atribuição ;

Início

Me ← 1000.0 ;
Cortante ← Momento / 2 ;
Carga ← 2.0 ;
Tramo.Vao ← 400 ;
i ← 1 ;

Enquanto i ≤ 10 faca

Início

| Tramo.M[i] ← 0.0 ;
| i ← i + 1 ;

Fim ;

Fim ;

Início

Atribuição ;

Com Tramo faca

Início

Para i ← 1 até 10 faca

Início

| x ← i * Vao / 10 ;
| M[i] ← Momento(Me, Cortante, Carga, x) ;

Fim ;

i ← 0 ;

Repita

| i ← i + 1 ;

| Mx ← M[i] ;

Até (i > 5) OR (M[i] < 0.0) ;

Se i > 2

Então x ← i * Vao / 10

Senão x ← Vao ;

Fim ;

Fim.

3.3 - HIPÓTESES

O projeto automático das vigas de um piso de edifício proposto neste trabalho, é composto dos procedimentos descritos a seguir :

-criação de arquivos de dados contendo informações a respeito da grelha (geometria e carregamentos), das vigas (incidência das barras, características dos materiais), e dos pilares (dimensões para posterior desenho). Estes são os únicos dados fornecidos ;

-processamento de um programa computacional para a análise, gerando novos arquivos contendo esforços ;

-processamento de um programa computacional que leia os dados da grelha, das vigas, e dos esforços gerados, e selecione automaticamente os tramos com seus respectivos carregamentos ;

-processamento de um programa computacional que leia os dados referentes aos tramos e carregamentos, gere e prepare os diagramas de esforços ao longo dos tramos, dimensione e detalhe seções previamente selecionadas, monte, ancore e salve as posições das armaduras ;

-processamento de um programa computacional que gere os desenhos e tabelas a partir dos dados gerados anteriormente.

3.3.1 - Geometria

Para a definição da geometria das vigas, algumas restrições são feitas. A alma da seção de uma viga

tem sua largura b_w e altura h constantes. As lajes adjacentes poderão contribuir formando seções T, constantes ao longo de cada tramo. Especificamente neste trabalho, as vigas invertidas ou semi-invertidas são desprovidas de mesas de compressão.

Do arquivo de dados referentes à grelha, são utilizadas as seguintes informações quanto à geometria :

- número de nós ;
- número de barras ;
- coordenadas de cada nó no plano que se situa o pavimento .
- incidência das barras através de um nó inicial e um nó final ;
- indicação dos nós com deslocamentos verticais impedidos.

Conhecidas as incidências das barras, pode-se determinar seus comprimentos e direções. As direções servem para determinar quais as diferentes vigas que se interceptam num mesmo nó. O impedimento de deslocamentos nodais (totais ou parciais) serve para a representação de pilares, ou impor condições de simetria.

Com relação às vigas, os dados são :

- Título ;
- Dimensões da alma (b_w e h) ;
- Nível da face superior, relativo a um ponto do pavimento ;
- Barras incidentes e os respectivos valores das dimensões das mesas de compressão, podendo elas serem diferentes em cada lado numa seção, tanto quanto a altura como a largura. As barras devem ser fornecidas na sequência que aparecem na viga, e ter nós consecutivos, ou seja, o nó final de uma barra é o nó inicial da posterior.

Para cada nó situado no interior de um

pilar que sirva de apoio a uma viga, são necessárias também as dimensões desse pilar em relação ao nó.

3.3.2 - Carregamentos

É possível um número ilimitado de casos de carregamentos, que podem ser combinados para definir uma envoltória dos esforços, utilizada na etapa do dimensionamento. Para cada carregamento são permitidas na grelha, apenas cargas uniformemente distribuídas verticais ao longo de uma barra, e cargas concentradas aplicadas em nós. Não são permitidas em uma barra, aplicação de momentos torçores distribuídos, cargas verticais parcialmente distribuídas e cargas concentradas. Na presença de um desses casos, devem ser criados novos nós e novas barras.

3.3.3 - Unidades

As unidades utilizadas são :

- para as vigas - centímetro e tonelada-força ;
- para os materiais - idem ;
- para as bitolas comerciais de barras de aço - milímetros.

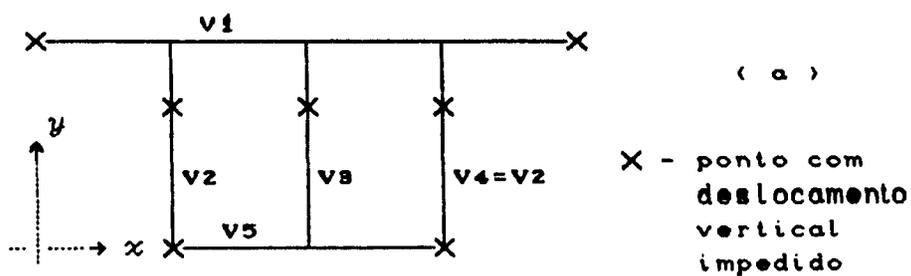
Na concepção do autor, as unidades aqui adotadas são mais sensíveis e apropriadas aos engenheiros e demais profissionais ligados à construção civil, em

comparação com as do Sistema International de Unidades (Newton e metro).

3.4 - GERAÇÃO AUTOMÁTICA DOS TRAMOS

No presente trabalho, é chamado de tramo o trecho de viga limitado por dois apoios, sendo definido como apoio, um ponto da viga com o deslocamento vertical previamente impedido (apoio direto) ou ponto de cruzamento com outra viga que produza inflexão no diagrama de momento negativo (apoio indireto), ou ainda ponto extremo da viga. Assim sendo, o número de apoios de uma viga é igual ao número de tramos mais 1.

Para um conjunto de vigas modelado como grelha, a compatibilidade de deslocamentos dos nós é quem determina a distribuição dos esforços nas barras, de acordo com as respectivas rigidezes. Tomando como exemplo o conjunto de vigas mostrado na Figura 20a e analisando os diagramas de momentos da viga V1 para diferentes rigidezes relativas, observa-se que um tramo nem sempre é formado pelas barras consecutivas cujas extremidades têm nós com deslocamentos impedidos (extremidades apoiadas diretamente sobre pilares). Embora este seja um exemplo didático, pode-se observar que isso só ocorreu com a variação exagerada das inércias da Figura 20d.



J_i - Momento de inércia de seção da viga i
 J_r - Valor qualquer de referência

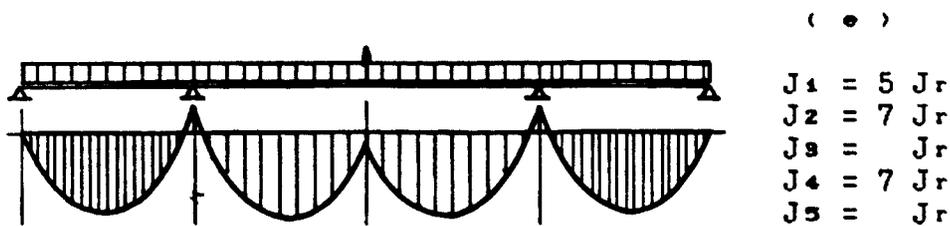
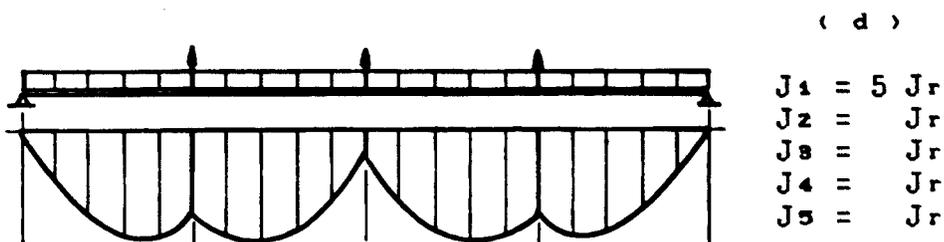
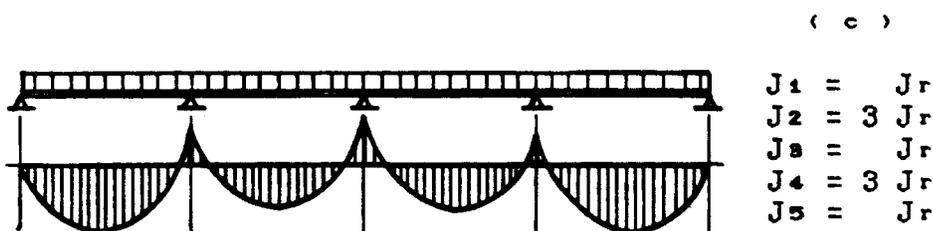
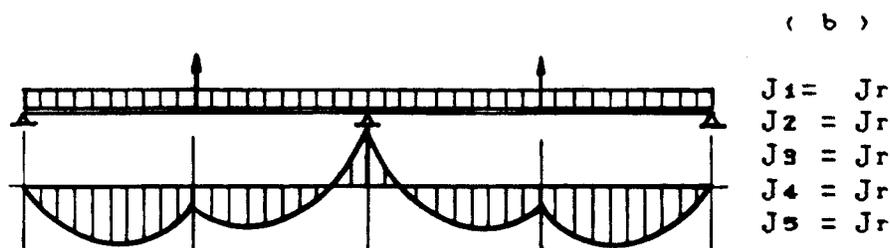


Fig 20 - Ilustração da distribuição dos esforços em função das rigidezes das barras

3.4.1 - Estrutura de dados

Numa operação de números reais em um computador digital, um número que necessariamente teria que resultar em valor nulo, pode resultar em um valor pequeno, porém diferente de zero, devido a erros de truncamento. Tal diferença pode prejudicar comparações. Para evitar esse inconveniente, define-se como *ZERO*, uma constante com um certo valor, de maneira que todos os menores que ele podem ser considerados nulos. Tal constante serve também para comparar quaisquer números reais, que são considerados iguais se a diferença entre eles é menor ou igual ao valor da constante *ZERO*. Para representar um valor infinito, define-se a constante *INFINITO*, com um valor cuja ordem de grandeza supere em várias vezes a ordem de grandeza dos valores ocorrentes.

Um carregamento em um tramo, é o conjunto de cargas uniformemente distribuídas nas barras que compõem esse tramo, cargas concentradas e momentos aplicados oriundos das diferenças de forças cortantes e momentos fletores nas extremidades de barras adjacentes. As ações nas extremidades das barras da grelha, obtidas na análise, são consideradas ações aplicadas nas extremidades. Portanto, o carregamento em uma barra é constituído pela carga uniformemente distribuída mais os esforços nas extremidades.

No programa utilizado para a análise(GPLAN : vide bibliografia 01), a geometria da grelha é definida em um plano cartesiano Oxy , e as cargas são consideradas positivas quando atuantes nas direções dos eixos. Na modelagem de um piso de edifício, o plano xy é horizontal e o eixo z aponta para cima. Portanto, as forças oriundas da ação gravitacional têm seus sinais negativos. Os esforços são fornecidos na convenção usual.

ou seja, momentos fletores são positivo se provocam tensões de tração na face inferior de uma barra e forças cortantes são positivas se percorrem a extremidade no sentido horário, se a barra for observada com o nó inicial à esquerda. Nos algoritmos apresentados, as forças nas vigas são positivas quando atuam no sentido da gravidade, ou seja, têm seus sinais trocados com as atuantes na grelha. Os momentos aplicados são positivos no sentido anti-horário, e os esforços internos seguem a convenção usual.

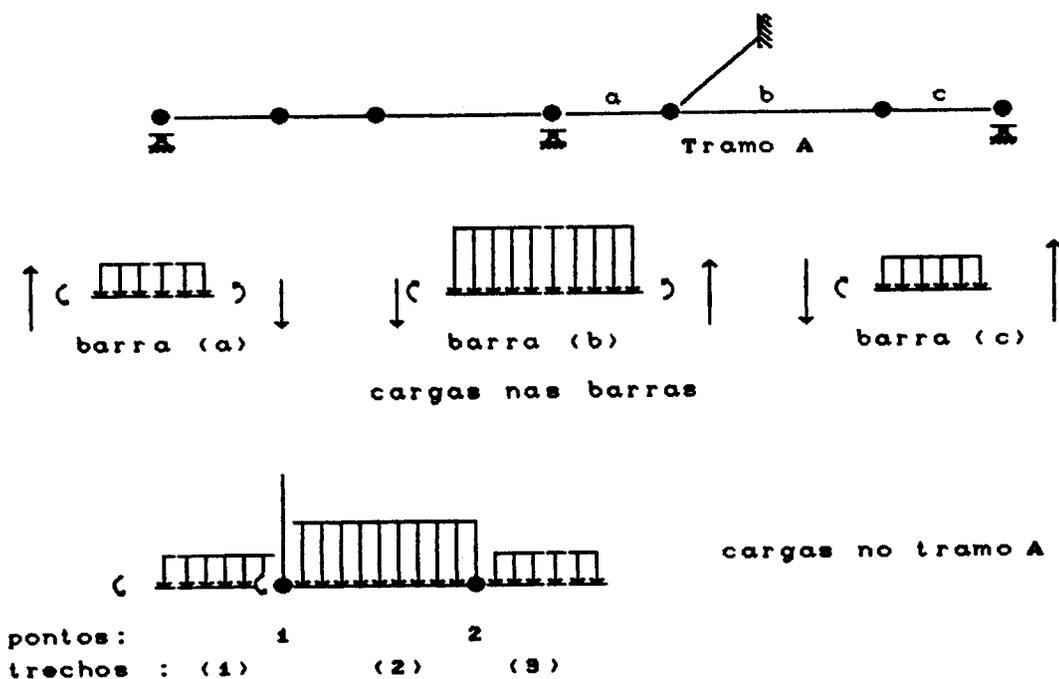


Fig 21 - Cargas nas barras da grelha compondo as cargas em um tramo

Em um tramo, tem-se então um número de diferentes trechos de cargas distribuidas igual ao número de barras, e um número de pontos de cargas concentradas e momentos aplicados, igual ao número de barras menos 1. Numeram-se os trechos e os pontos conforme mostrado na Fig. 21.

As constantes e os tipos globais a serem

utilizados nos algoritmos seguintes, são definidos em seguida :

Constante

```
ZERO                = 1E-10 ;
INFINITO            = 1E20 ;
MAX_NUM_DE_NÓS     = { Tais valores devem ser      }
MAX_NUM_DE_BARRAS = { definidos de acordo         }
MAX_NUM_DE_BAR_TR  = { com a capacidade           }
MAX_NUM_DE_BAR_VIG = { do computador e ( ou )     }
MAX_NUM_DE_VIGAS   = { linguagem, ou com os      }
MAX_NUM_DE_CARREG  = { limites do prog. de análise }
```

Tipo

```
Vet_Int_Tr = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_BAR_TR ] : Inteiro ;
Vet_Real_Tr = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_BAR_TR ] : Real ;
Tipo_Nó     = Registro
```

```
Coord_X, Coord_Y : Real ;
Rz : Inteiro ; { indicação de desl.
                vertical impedido :
                Rz = 1, impedido,
                Rz = 0, livre      }
```

Fim ;

```
Tipo_Carga_Br = Registro
```

```
Vi, Vf, { f. cortante à esq. e à dir }
Mi, Mf, { momento fletor " " }
Ti, Tf, { momento torçor " " }
Carga : { carga unif. distr. } : Real;
```

Fim ;

```
Tipo_Barra = Registro
```

```
Nó_Inicial, Nó_Final : Inteiro ;
Comprimento,
Direção_B { Ângulo com o eixo x } : Real;
Carga_na_Barra :
    Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_CARREG ]
    Tipo_Carga_Br ;
```

Fim ;

```
Tipo_Mesa = Registro
```

```
bbe, hbe, bbd, hbd : Real ; { dimensões }
Fim ; { das mesas de compr. em uma barra }
```

```
Tipo_Carga_Tr = Registro
```

```
Número_de_pontos : Inteiro ;
L, { compr. dos trechos }
Q, { Carga distr. em um trecho }
P, { Carga Conc. em um ponto }
M_a { Momento aplic. em um ponto }
    : Vet_Real_Tr ;
Me, Md, { Mom. flet. nas extr. esq. e
         dir. do tramo }
Ve, Vd { f. cort. " " } : Real ;
```

Fim ;

```

Tipo_Pilar = Registro
  Largura : Vetor [ 1..8 ] Real ;
  Titulo_P : Caracter ; {Fig.22b-pág.III-18}
  Direção_P : Real ;
  Fim
Tipo_Tramo = Registro
  Vao, { Dist. entre o nó in. da primeira
        barra e o nó fin. da ultima }
  Pe, Pd, { dim. int. dos apoios pilares }
  Ae, Ad, { " " " " vigas }
  bfe, hfe, bfd, hfd { dim. das mesas de
        compressão do tramo } : Real ;
  Num_de_Bar_no_Tr : Inteiro ;
  Bar_no_Tr : Vet_Int_Tr ;
  Fim ;
Tipo_Viga = Registro
  Titulo_V : Caracter ;
  bw, h,
  Pee, Ped, { dim. externas dos apoios
        extremos pilares }
  Aee, Aed, { " " vigas }
  Cota { nível da face superior } : Real ;
  Numero_de_Tramos,
  Numero_de_Barras_na_Viga : Inteiro ;
  Tramo : Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_TRAMOS ]
        Tipo_Tramo ;
  Carregamento :
        Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_TRAMOS ]
        Tipo_Carga_Tr ;
  Barra_na_Viga :
        Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_BAR_VIG ] :
        Inteiro ; { Fig. 22 da pág.
        III-18, e 23 da pág. III-30}
  Fim ;

Vet_Nó = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_NÓS ] Tipo_Nó ;
Vet_Pilar = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_NÓS ] Tipo_Pilar ;
Vet_Barra = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_BARRAS ] Tipo_Barra ;
Vet_Mesa = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_BARRAS ] Tipo_Mesa ;
Vet_Viga = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_VIGAS ] Tipo_Viga ;

```

Do mesmo modo, as variáveis globais definidas são :

Variável

```

Nó : Vet_Nó ;
Barra : Vet_Barra ;
Mesa : Vet_Mesa ;
Viga : Vet_Viga ;
Pilar : Vet_Pilar ;

```

```

yf : Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_CARREG ] Real ;
Numero_de_Nós, Número_de_Barras, Número_de_Vigas,
Número_de_Carreg, Viga_Atual, Tramo_Atual,
Carreg_Atual : Inteiro ;

```

Algumas funções auxiliares globais são definidas abaixo :

Função Menor(Var1, Var2 : Real) : Real ;

Início

Se Var1 < Var2

Então Menor ← Var1

Senão Menor ← Var2 ;

Fim ;

Função Ângulo (Dx, Dy : Real) : Real ;

Variável Tangente, Ângulo_Auxiliar : Real ;

Início

Se Dx = 0.0

Então

Início

Se Dy > 0.0

Então Ângulo_Auxiliar ← $\pi / 2$

Senão Ângulo_Auxiliar ← $3 * \pi / 2$;

Fim

Senão

Se Dy = 0.0

Então

Início

Se Dx > 0.0

Então Ângulo_Auxiliar ← 0.0

Senão Ângulo_Auxiliar ← π ;

Fim

Senão

Início

Tangente ← Dy / Dx ;

Ângulo_Auxiliar ← ArcTan(Tangente) ;

Se ((Tangente < 0.0) AND (Dy > 0.0))

OR ((Tangente > 0.0) AND (Dy < 0.0))

Então Ângulo_Auxiliar ← $\pi + \text{Ângulo_Auxiliar}$;

Se (Tangente < 0.0) AND (Dy < 0.0)

Então Ângulo_Auxiliar ← $2 * \pi + \text{Ângulo_Auxiliar}$;

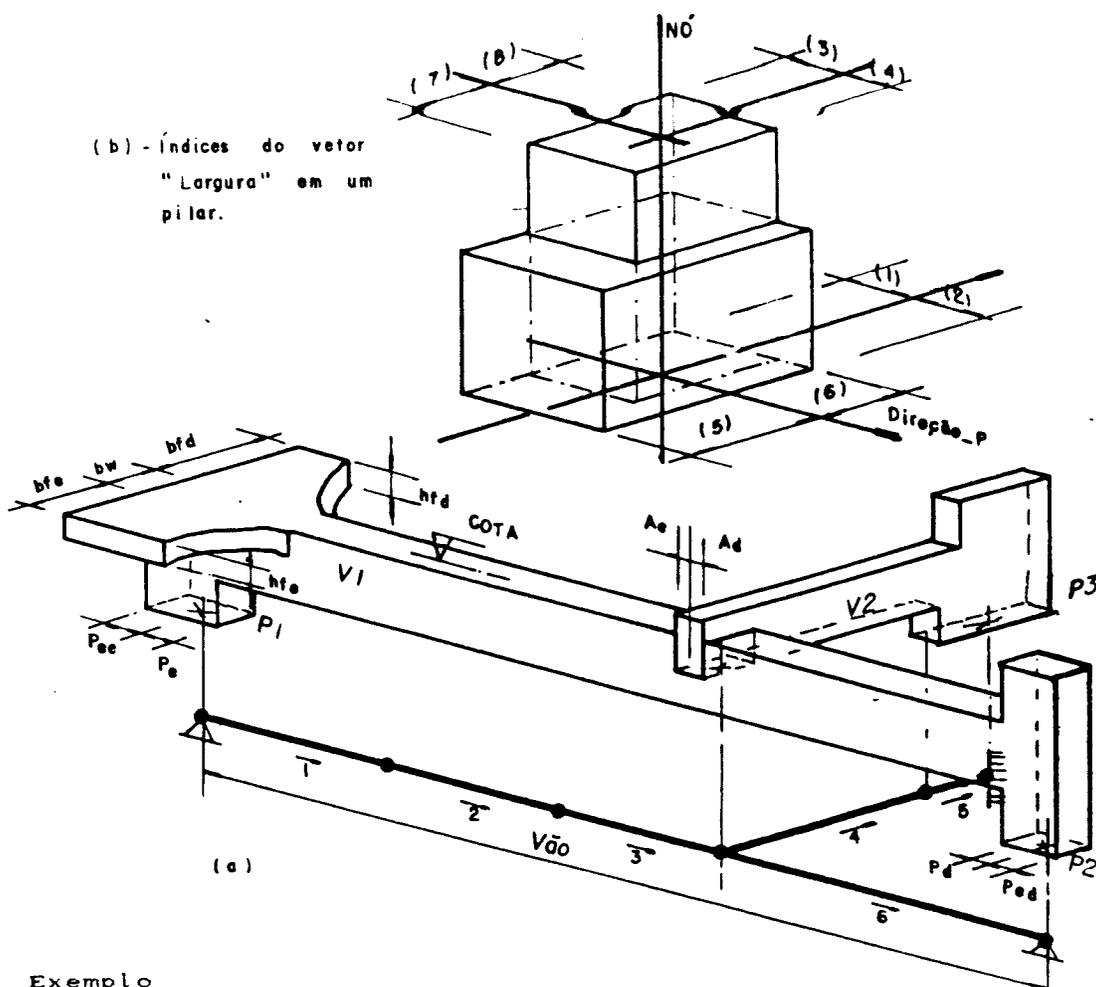
Fim ;

Ângulo ← Ângulo_Auxiliar ;

Fim ;

Para a transferência dos dados necessários, os arquivos utilizados têm os seguintes identificadores :

- GRL : Arquivo de dados da grelha
- VGA : Arquivo de dados das vigas
- PLR : Arquivo de dados dos pilares
- ESF : Arquivo gerado pela análise contendo os esforços nas extremidades nas barras
- NME : coeficientes de majoração de cargas
- GMT : geometria das vigas geradas
- CRG (i) : cargas do carregamento (i) geradas nos tramos



Exemplo

Viga 1) :

Título = V1

Número_de_Barras_na_Viga = 4

Barra_na_Viga 1) = 1

Barra_na_Viga 2) = 2

Barra_na_Viga 3) = 3

Barra_na_Viga 4) = 6

Fig. 22 - Representação geométrica dos dados

3.4.2 - Algoritmos

O bloco principal do programa que gera automaticamente os tramos, consiste na chamada das sub-rotinas conforme indicado a seguir :

```

Inicio
|
Leitura_dos_Dados_da_Grelha ;
|
Leitura_dos_Dados_da_Viga_e_Pilares ;
|   ┌─ Leia_Pilares ;
|   └─ Leia_Vigas ;
|
Montagem_e_Armazenamento_da_Geometria_das_Vigas ;
|   ┌─ Montagem_dos_Tramos ;
|   └─ Salvamento_da_Geometria_das_Vigas ;
|
Para Carreg_Atual ← 1 até Número_de_Carreg faça
|   Montagem_e_Salvamento_das_Cargas_nos_Tramos ;
|   ┌─ Monte_Cargas ;
|   └─ Salve_Cargas ;
|
Fim .

```

3.4.2.1 - Dados da grelha

Um dos principais conjuntos de dados envolvidos na análise do problema, é o relativo à grelha. Tais dados contêm as características geométricas da grelha, e são eles : o número de nós, o número de barras, as coordenadas e as restrições dos deslocamentos dos nós, as incidências barras. Os dados referentes aos carregamentos são, o número de carregamentos, e para cada caso de carregamento, as cargas distribuídas nas barras, as forças e momentos aplicados nos nós. É conveniente que

se forneça, para cada carregamento, o valor do coeficiente de majoração das cargas, podendo ser diferentes para cada caso. É óbvio que cada programa de análise tem uma formatação diferente do arquivo de dados, porém, para o presente trabalho, segue-se um procedimento padrão.

As variáveis locais e o procedimento padrão para a obtenção dos dados da grelha e geração dos demais (comprimentos e direções das barras) são :

Variável

Nó_Atual, Barra_Atual, Carreg_Atual : Inteiro ;
 XX, YY : Real ; { auxiliares na det. dos comprimentos e ângulos diretores }

Procedimento Leitura_dos_Dados_da_Grelha ;

Início

Leia(GRL, Número_de_Nós, Número_de_Barras, Número_de_Carreg) ;

Para Nó_Atual ← 1 até Número_de_Nós faça

Com Nó[Nó_Atual] faça

Leia(GRL, Coord_X, Coord_Y, Rz) ;

Para Barra_Atual ← 1 até Número_de_Barras faça

Com Barra[Barra_Atual] faça

Início

Leia(GRL, Nó_Inicial, Nó_Final) ;

XX ← Nó[Nó_Final].Coord_X -
 Nó[Nó_Inicial].Coord_X ;

YY ← Nó[Nó_Final].Coord_Y -
 Nó[Nó_Inicial].Coord_Y ;

Comprimento ← $\sqrt{XX^2 + YY^2}$;

Direção_B ← Ângulo (XX, YY) ;

Para Carreg_Atual ← 1 até Número_de_Carreg faça

Com Carga_na_Barra[Carreg_Atual] faça

Início

Leia(GRL, Carga) ;

Leia(ESF, Vi, Vf, Mi, Mf, Ti, Tf) ;

Fim ;

Fim ;

Para Carreg_Atual ← 1 até Número_de_Carregamentos faça

Leia(GRL, γ [Carreg_Atual])

Fim ;

3.4.2.2 - Dados das vigas e dos pilares

Outros dados imprescindíveis para a definição do problema, são os relativos às vigas e aos pilares. Os dados referentes às vigas são : o número de vigas, onde para cada uma delas tem-se : título, número de barras, e barras que a compõe, na sequência. Os dados referentes aos pilares são : número de nós que representam pilares, onde tem-se para cada um desses nós, título do pilar e suas dimensões relativas a posição do nó no interior do pilar, em referência a um eixo definido por dois outros nós, que também devem ser fornecidos.

As variáveis locais e procedimentos para leitura dos dados das vigas e pilares são os que se seguem :

Procedimento Leia_Pilares ;

Variável

Nó_Atual, Num_de_nós_que_repres_Pilares,
Nó_1, No_2, i, j : Inteiro ;
XX, YY : Real ;

Início

Leia(PLR, Num_de_nós_que_repres_Pilares) ;
Para i ← 1 até Num_de_nós_que_repres_Pilares faça

Início

Leia(PLR, Nó_Atual) ;
Com Pilar[Nó_Atual] faça

Início

Leia(PLR, Título) ;
Para j ← 1 até 8 faça
Leia(PLR, Largura[j]) ;
Leia(PLR, Nó_1, Nó_2) ;

XX ← Nó[Nó_2].Coord_X -
Nó[Nó_1].Coord_X ;
YY ← Nó[Nó_2].Coord_Y -
Nó[Nó_1].Coord_Y ;

Direção_P ← Ângulo (XX, YY) ;

Fim ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento Leia_Vigas ;

Início

Leia(VGA, Número_de_Vigas) ;

Para Viga_Atual ← 1 até Número_de_Vigas faça

Com Viga[Viga_Atual] faça

Início

Leia(VGA, Titulo_V, bw, h, cota) ;

Leia(VGA, Número_de_Barras_na_Viga) ;

Para Barra_Atual ← 1 até Número_de_Barras_na_Viga

faça

Início

Leia(VGA, Barra_na_Viga[Barra_Atual]) ;

Com Mesa[Barra_na_Viga[Barra_Atual]] faça

Leia(VGA, bbe, hbe, bbd, hbd) ;

Fim ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento Leitura_dos_Dados_da_Viga_e_Pilares

Início

Leia Pilares ;

Leia Vigas ;

Fim ;

3.4.2.3- Geração da geometria

De posse dos dados relativos à grelha, às vigas e aos pilares, pode-se prosseguir a geração da geometria das vigas. A geração da geometria dos tramos de cada viga, consiste em percorrer sequencialmente cada barra pertencente à viga, procurando nela os seguintes elementos :

a)- nó final com deslocamento vertical impedido ;

b)- nó final que coincida com o nó final da última barra na viga ;

c)- extremidade final com pico de momento negativo.

Nota-se que a força cortante é a derivada do momento fletor e representa a inclinação da tangente em um ponto de seu diagrama. Existe inflexão no diagrama de momentos fletores, no ponto final de uma barra, se houver diferença nos valores das forças cortantes na extremidade comum com a barra conseqüente. Neste trabalho é chamado de ponto de pico de momento negativo, aquele que apresenta no diagrama de momentos fletores, angulosidade para cima (inflexão), com o valor da força cortante negativo na extremidade final, e positivo na extremidade inicial da barra conseqüente, além de valor negativo para o momento fletor ;

Então, tem-se que o vão do tramo é o comprimento acumulado das barras que o compõem.

Em um tramo, a armadura longitudinal positiva só pode prolongar-se até outro tramo adjacente, se tiver como finalidade, servir de armadura de compressão para equilibrar o momento negativo sobre o apoio (mantendo as deformações no domínio III). Também não são previstas emendas nas armaduras positivas. Então, para um nó com deslocamento vertical livre, se em pelo menos um caso de carregamento, as barras da viga que nele incidem têm momentos positivos nesse nó, este ponto não pode ser considerado final de tramo.

A direção de uma viga é dada pela direção da primeira barra pertencente a ela, impondo eixo reto. A busca de uma outra viga que a intercepte em um certo nó, é feita procurando a primeira barra que tenha como nó inicial ou final este mesmo nó, e cuja direção seja diferente da viga. Achada a barra incidente, percorrem-se as barras das outras vigas até encontrar a viga à qual ela seja pertencente.

As dimensões de um pilar no plano vertical que contém a viga, sobre um dado nó, são os quatro primeiros elementos do campo vetor 'Largura', do elemento do vetor 'Pilar' de índice igual ao do nó, se a direção

definida para o eixo do pilar coincide com a direção da viga, ou em caso contrário, os 4 últimos elementos.

Em um tramo, dentre as diversas mesas comprimidas que estão associadas às barras, para compor a seção transversal, são tomadas as menores dimensões.

Seguem-se os procedimentos com os algoritmos de montagem automática da geometria e carregamentos dos tramos :

Procedimento Montagem_dos_Tramos ;

Variável

Bar_At_na_Viga, Bar_At, Próxima : Inteiro ; { Fig. 23,
na página III-30 }
V_Esq, M_Esq, V_Dir, M_Dir : Real ;
Fim_dos_Tramos, Fim_das_Barras,
Encontrou_Momento_Pos, Ponto_de_Pico : Lógico ;

Início

Para Viga_Atual ← 1 até Número_de_Vigas faça

Com Viga[Viga_Atual] faça

Início

Tramo_Atual ← 0 ;
Bar_At_na_Viga ← 0 ;

Repita

Tramo_Atual ← Tramo_Atual + 1 ;

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Início

Vão ← 0 ; { inicialização }
{ de variáveis }
bfe ← hfe ← bfd ← hfd ← INFINITO ;

Repita

Bar_At_na_Viga ← Bar_At_na_Viga + 1 ;
Num_de_Bar_no_Tr ← Num_de_Bar_no_Tr + 1 ;
Bar_At ← Barra_na_Viga[Bar_At_na_Viga] ;
Se Bar_At_na_Viga < Numero_de_Barras_na_Viga
Então Próxima ←
Barra_na_Viga[Bar_At_na_Viga + 1]

Senão Próxima ← 0 ;

Bar_no_Tr[Num_de_Bar_no_Tr] ← Bar_At ;

Com Barra[Bar_At], Mesa[Bar_At] faça

Início

Vão ← Vão + Comprimento ;
bfe ← Menor(bfe, bbe) ;
hfe ← Menor(hfe, hbe) ;
bfd ← Menor(bfd, bbd) ;
hfd ← Menor(hfd, hbd) ;

Fim_das_Barras ← (NÓ[NÓ_Final].Rz = 1) OR
(Bar_At_na_Viga=Numero_de_barras_na_Viga) ;

```

Se NOT Fim_das_Barras
  Então
    Início
      Carreg_Atual ← 0 ;
      Repita
        Carreg_Atual ← Carreg_Atual + 1 ;
        Com Carga_na_Barra[ Carreg_Atual ] faça
          Encontrou_Momento_Pos ← ( Mf > 0 ) ;
          Se ( NOT Encontrou_Momento_Pos )
            Então
              Com Barra[ Próxima ].
                Carga_na_Barra[ Carreg_Atual ] faça
                  Encontrou_Momento_Pos ← ( Mi > 0 ) ;
            Até ( Encontrou_Momento_Pos ) OR
                  ( Carreg_Atual =
                    Numero_de_Carreg ) ;
          Se Encontrou_Momento_Pos
            Então Fim_das_Barras ← FALSO
          Sendo
            Início
              Carreg_Atual ← 0 ;
              Repita
                Carreg_Atual ← Carreg_Atual + 1 ;
                Com Carga_na_Barra[ Bar_At ] faça
                  Início
                    V_Esq ← Vf ;
                    M_Esq ← Mf ;
                  Fim
                  Com Barra[ Próxima ].
                    Carga_na_Barra[Carreg_Atual] faça
                      Início
                        V_Dir ← Vi ;
                        M_Dir ← Mi ;
                      Fim
                      Ponto_de_Pico ← ( V_Esq < 0.0 ) AND
                                      ( V_Dir > 0.0 ) ;
                      Se Ponto_de_Pico
                        Então Ponto_de_Pico ←
                                  ( M_Esq < 0.0 ) OR
                                  ( M_Dir < 0.0 ) ;
                      Fim_das_Barras ← Ponto_de_Pico ;
                      Até ( Ponto_de_Pico ) OR
                            ( Carreg_Atual = Numero_de_Carreg ) ;
                Fim ; { bloco sendo momento positivo }
              Fim ; { bloco com barra atual, mesa atual }
            Até Fim_das_Barras ;
          Fim ; { bloco com tramo atual }
        Fim_dos_Tranos ← ( Bar_At_na_Viga =
                          Numero_de_Barras_na_Viga ) ;
      Até Fim_dos_Tranos ;
      Numero_de_Tranos ← Tramo_Atual ;
    Fim ; { Bloco com viga atual }
  Fim ; { Procedimento }

```

Constante

ESQ = -1 ;

DIR = 1 ;

Variável

Direção_da_Viga : Real ;

Direção_do_Pilar, { 0 se eixo do pilar paralelo ao
eixo da viga, 1 se normal }

Prim_Nó, Ult_Nó : Inteiro ;

Procedimento Ache_Barra_Concorrente_no_Nó

(Barra_Concorrente, Nó_Atual : Inteiro) ;

Variável

Barra_Ok : Lógico ;

Início

Barra_Concorrente ← 0 ;

Repita

Barra_Concorrente ← Barra_Concorrente + 1 ;

Barra_Ok ← (Barra_Concorrente > Número_de_Barras) ;

Se NOT Barra_OkEntão Com Barra[Barra_Concorrente] façaBarra_Ok ← (Direção_B ≠ Direção_da_Viga) AND
((Nó_Inicial = Nó_Atual) OR
(Nó_Final = Nó_Atual)) ;Até Barra_Ok ;Se Barra_Concorrente > Número_de_BarrasEntão Barra_Concorrente ← 0 ;Fim ;Procedimento Ache_Viga_Concorrente_no_Nó

(Viga_Concorrente, Nó_Atual : Inteiro) ;

Variável

Viga_Ok, Barra_Ok : Lógico ;

Barra_Concorrente, i : Inteiro ;

Início

Ache_Barra_Concorrente_no_Nó

(Barra_Concorrente, Nó_Atual) ;

Se Barra_Concorrente = 0Então Viga_Concorrente = 0SenãoInício

Viga_Concorrente ← 0 ;

Repita

Viga_Concorrente ← Viga_Concorrente + 1 ;

Viga_Ok ← (Viga_Concorrente > Número_de_Vigas) ;

Se NOT Viga_OkEntão Com Viga[Viga_Concorrente] façaInício

i ← 0 ;

Repita

i ← i + 1 ;

Barra_Ok ← (i > Número_de_Barras_na_Viga) ;

```

    Se NOT Barra_Ok
      Então Barra_Ok ←
        ( Barra_na_Viga[ i ] = Barra_Concorrente );
      Até Barra_Ok ;
      Viga_Ok ← ( i <= Número_de_barras_na_viga ) ;
    Fim
  Até Viga_Ok ;
  Se Viga_Atual > Número_de_Vigas
    Então Viga_Atual ← 0 ;
  Fim
Fim ;

```

Procedimento Determinação_da_Semi_Largura_de_Apoio

(P, A : Real ;
Nó_Atual, Lado : Inteiro) ;

Variável

lx, ly : Real ;
Viga_Concorrente : Inteiro ;

Início

```

  Se Pilar[ No_Atual ].Titulo ≠ ''
    Então Com Pilar[ Nó_Atual ] faça
      Início
        Se Lado = ESQ
          Então
            Início
              lx ← Largura[ 1 ] ;
              ly ← Largura[ 5 ] ;
            Fim
          Senão
            Início
              lx ← Largura[ 2 ] ;
              ly ← Largura[ 6 ] ;
            Fim ;
        Se Direção_do_Pilar = 0
          Então P ← lx
          Senão P ← ly ;
        Fim ;
      Senão
        Início
          Ache_Viga_Concorrente_no_Nó
            ( Viga_Concorrente, Nó_Atual ) ;
          Se Viga_Concorrente = 0
            Então A ← 0.0
            Senão A ← Viga[ Viga_Concorrente ].bw / 2 ;
          Fim
    Fim ;

```

Procedimento Escreva_Ponto(Nó_Atual : Inteiro ,
Ponto_Extremo : Lógico) ;

Variável

Indicação_da_Existência_de_Pilar : Inteiro ;

Início

```

Ache_Viga_Concorrente_no_Nó
    ( Viga_Concorrente, Nó_Atual ) ;
Se Pilar[ Nó_Atual ].Título_P = ''
    Então Indicação_da_Existência_de_Pilar ← 0
    Senão Indicação_da_Existência_de_Pilar ← 1 ;

Se ( Viga_Concorrente ≠ 0 ) OR ( Ponto_Extremo ) OR
    ( Indicação_da_Existência_de_Pilar = 1 )
    Então
        Início
        Salve( GMT, Viga_Concorrente,
            Distância_do_Primeiro_Apoio ) ;
        Se Indicação_da_Existência_de_Pilar = 1
            Então Com Pilar[ Nó_Atual ] faça
                Início
                Se Direção_da_Viga = Pilar[ Nó_Atual ].Direção_P
                    Então Direção_do_Pilar ← 0
                    Senão Direção_do_Pilar ← 1 ;
                Para i ← 1 até 4 faça
                    Salve( GMT, Largura[ 4 * Direção_do_Pilar + i ] );
                Salve( Título_P ) ;
                Fim
            Fim
        Fim
    Fim

```

Procedimento

Ache_e_Escreva_Vigas_e_Pilares_Intermediários ;

Variável

Número_de_Pontos_Intermediários,
{ Um ponto intermediário pode ser ponto extremo de
viga, ponto com viga incidente, ponto com pilar }
Nó_Atual, i : Inteiro ;
Distância_do_Primeiro_Apoio : Real ;

Início

```

Com Viga[ Viga_Atual ] faça
    Início
    Número_de_Ponto_Intermediários ← 2 ; { ptos. extr. }
    Para i ← 1 até ( Numero_de_barras_na_Viga - 1 ) faça
        Início
        Nó_Atual ← Barra[ Barra_na_Viga[ i ] ].Nó_Final ;
        Se Pilar[ No_Atual ].Título ≠ ''
            Então Número_de_Ponto_Intermediários ←
                Número_de_Ponto_Intermediários + 1
        Fim
    Fim

```

```

    Senão
      Início
        Ache_Viga_Concorrente_no_Nó
          ( Viga_Concorrente, Nó_Atual ) ;
        Se Viga_Concorrente <> 0
          Então Número_de_Ponto_Intermediários ←
            Número_de_Ponto_Intermediários + 1 ;
        Fim
      Fim
    Salve( GMT, Número_de_Ponto_Intermediários ) ;

    Distância_do_Primeiro_Apoio ← 0.0 ;
    Para Barra_Atual ← 1 até Número_de_Barras_na_Viga faça
      Com Barra[ Barra_na_Viga[ Barra_Atual ] ] faça
        Início
          Nó_Atual ← Nó_Inicial ;
          Escreva_Ponto( Nó_Atual, Barra_Atual = 1 ) ;
          Distância_do_Primeiro_Apoio ←
            Distância_do_Primeiro_Apoio + Comprimento ;
        Fim ;

    Com Barra[Barra_na_Viga[Número_de_barras_na_Viga]] faça
      Nó_Atual ← Nó_Final ;
      Escreva_Ponto( Nó_Atual, VERDADEIRO )
    Fim ;
  Fim ;

```

Procedimento Salvamento_da_Geometria_das_Vigas ;

```

Início
  Salve( GMT, Número_de_Vigas ) ;
  Para Viga_Atual ← 1 até Número_de_Vigas faça
    Com Viga[ Viga_Atual ] faça
      Início
        Direção_da_Viga ←
          Barra[ Barra_na_Viga[ 1 ] ].Direção_B ;
        Prim_Nó ← Barra[ Barra_na_Viga[ 1 ] ].Nó_Inicial ;
        Ult_Nó ← Barra[
          Barra_na_Viga[ Número_de_barras_na_Viga ] ].
          Nó_Final ;

        Se Direção_da_Viga = Pilar[ Prim_Nó ].Direção_P
          Então Direção_do_Pilar ← 0
          Senão Direção_do_Pilar ← 1 ;
        Determinação_da_Semi_Largura_de_Apoio( Pee, Aee,
          Prim_Nó, ESQ ) ;

        Se Direção_da_Viga = Pilar[ Ult_Nó ].Direção_P
          Então Direção_do_Pilar ← 0
          Senão Direção_do_Pilar ← 1 ;
        Determinação_da_Semi_Largura_de_Apoio( Ped, Aed,
          Prim_Nó, DIR ) ;

        Salve( GMT, Número_de_Tranos, bw, h, Título_V ) ;
        Salve( Pee, Ped, Aee, Aed, Cota ) ;
      Fim
    Fim
  Fim

```

```

Ache_e_Escreva_Vigas_e_Pilares_Intermediários ;
Para Tramo_Atual ← 1 até Número_de_Tramos faça
  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Início
      Prim_Nó ← Barra[ Bar_no_Tr[ 1 ] ].Nó_Inicial ;
      Prim_Nó ←
        Barra[ Bar_no_Tr[ Num_de_Bar_no_Tr ] ].Nó_Final;

      Se Direção_da_Viga = Pilar[ Prim_Nó ].Direção_P
        Então Direção_do_Pilar ← 0
        Sendo Direção_do_Pilar ← 1 ;
      Determinação_da_Semi_Largura_de_Apoio( Pe, Ae,
        Prim_Nó, ESQ ) ;

      Se Direção_da_Viga = Pilar[ Ult_Nó ].Direção_P
        Então Direção_do_Pilar ← 0
        Sendo Direção_do_Pilar ← 1 ;
      Determinação_da_Semi_Largura_de_Apoio( Pd, Ad,
        Ult_Nó, DIR ) ;
      Salve( GMT, Vao, Pe, Pd, Ae, Ad ) ;
      Salve( GMT, hfe, bfe, hfd, bfd ) ;
    Fim
  Fim ;
Fim ;

```

Procedimento

Montagem_e_Armazenamento_da_Geometria_das_Vigas

Início

```

Montagem_dos_Tramos ;
Salvamento_da_Geometria_das_Vigas ;

```

Fim

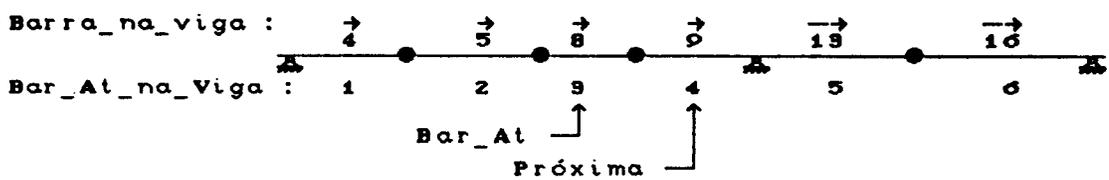


Fig. 29 - Variáveis índices

3.4.2.4 - Geração dos carregamentos

Sendo conhecidas as barras que formam um tramo, é fácil a geração dos carregamentos. De acordo com o que foi mostrado na Fig. 21, em um tramo existe um número de diferentes trechos de cargas distribuídas igual ao número de barras, e um número de ponto de ações aplicadas igual ao número de trechos menos 1. O valor da carga distribuída e do comprimento de uma barra são os mesmos da carga e do comprimento do trecho. As cargas concentradas e momentos aplicados nos pontos internos são obtidos pelas diferenças de forças cortantes e momentos fletores e torçores das extremidades das barras, e nos pontos sobre os apoios, pelas próprias ações nas extremidades das barras que coincidem com as extremidades do tramo. Lembra-se ainda que as cargas nas barras têm seus sinais trocados para compor as cargas nos tramos.

Seguem-se os algoritmos para a montagem dos carregamentos nas vigas cujas características geométricas já foram geradas :

Procedimento Monte_Cargas ;

Variável

Viga_Atual, Tramo_Atual, Bar_At : Inteiro ;

M_Adjacente, V_Adjacente : Real ;

Início

Para Viga_Atual ← 1 até Número_de_Vigas faça

Com Viga[Viga_Atual] faça

Para Tramo_Atual ← 1 até Número_de_Tramos faça

Com Tramo[Tramo_Atual],

Carregamento[Carreg_Atual] faça

Início

Numero_de_Pontos ← Num_de_Bar_no_Tr - 1 ;

Para Bar_At ← 1 Até Num_de_Bar_no_Tr faça

Com Barra[Bar_no_Tr[Bar_At]].

Carga_na_Barra[Carreg_Atual] faça

```

Início
  Se Bar_At = 1
    Então
      Início
        Me ← Mi ;
        Ve ← Vi ;
      Fim ;

    Se Bar_At = Num_de_Bar_no_Tr
      Então
        Início
          Md ← Mf ;
          Vd ← Vf ;
        Fim ;

    L[ Bar_At ] ← Comprimento ;
    Q[ Bar_At ] ← -Carga ;

    Se Bar_At < Num_de_Bar_no_Tr
      Então Com Barra[ Bar_no_Tr[ Bar_At + 1 ] ].
        Carga_na_Barra[ Carreg_Atual ] faca
          Início
            M_a[ Bar_At ] ← M_Adjacente - Mf ;
            P[ Bar_At ] ← Vf - V_Adjacente ;
          Fim ;
    Fim ;
Fim ;

```

Procedimento Salve_Cargas ;

Variável

Ponto, Trecho : Inteiro ;

Início

Para Viga_Atual ← 1 até Número_de_Vigas faca

Com Viga[Viga_Atual] faca

Para Tramo_Atual ← 1 até Número_de_Tramos faca

Com Tramo[Tramo_Atual],

Carregamento[Carreg_Atual] faca

Início

Salve(CRG(carreg_Atual), Número_de_Pontos) ;

Para Trecho ← 1 até Número_de_Pontos + 1 faca

Salve(CRG(carreg_Atual), Q[Trecho]) ;

Para Ponto ← 1 até Número_de_Pontos faca

Salve(CRG(carreg_Atual),

L[Ponto], P[Trecho], M_a[Ponto]) ;

Salve(CRG(carreg_Atual), Me, Md, Ve, Vd) ;

Fim

Fim

Procedimento Montagem_e_Salvamento_das_Cargas_nos_Tranos ;

Início

```

| Salve( NME, γ[ Carreg_Atual ] ) ;
| Monte_Cargas ;
| Salve_Cargas ;

```

Fim ;

3.5 - DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO

Como já foi mostrado anteriormente, no presente trabalho são desenvolvidos algoritmos computacionais para dimensionamento e detalhamento das armaduras longitudinais, dos elementos lineares horizontais (vigas) de um piso de edifício de concreto armado. Os algoritmos para as armaduras transversais utilizados neste texto, são os elaborados em um trabalho complementar desenvolvido por COSTA[1]. Para cada viga, o procedimento sistemático consiste em :

-Para cada tramo, geram-se os diagramas dos esforços para cada carregamento, com as cargas majoradas pelo respectivo coeficiente. Com os valores máximos de cada carregamento nas seções de momento máximo positivo, e seções de apoios, dimensionam-se e detalham-se essas seções. Com as armaduras obtidas nos apoios, determinam-se os valores de α , e com eles deslocam-se os diagramas de momentos fletores de cada carregamento. Os vários diagramas são superpostos criando-se assim um outro, cujos valores são as envoltórias dos diversos casos de carregamentos (para efeito de simplificação, os diversos casos de carregamento, diferem-se entre si apenas pelo valor nominal, não sendo feita nenhuma combinação entre os diferentes tipos de ações) ;

-Com o diagrama das envoltórias de cada tramo, detalham-se as seções intermediárias procurando retirar de serviço as barras redundantes (a partir deste ponto, será chamado de barra, o elemento linear de aço, com as características necessárias para utilização como armadura longitudinal em vigas de concreto armado) ;

-Com as seções detalhadas, contabilizam-se as barras que podem formar as diversas posições de armaduras. Uma posição positiva ou porta estribo fica definida : pelo tramo no qual ela existe, pela distância da face interna do apoio esquerdo, pela bitola comercial, pelo número de barras, pela camada em que se situa, pelo comprimento reto, pelos ganchos e raios dos laços para ancoragem. Já uma posição negativa fica definida pelo comprimento reto à esquerda da face do apoio de referência (face esquerda para o último apoio e face direita para os demais), pelo comprimento reto à direita da face do apoio, pela bitola, pelos ganchos e raios dos laços. Mantêm-se essas posições, transferindo-as para arquivos externos, de modo a permitir posterior traçado de desenhos.

As características adotadas para o concreto e o aço se mantêm para todas as vigas do pavimento.

3.5.1 - Estrutura de Dados

Um tramo é discretizado usando-se um número de seções equidistantes, sendo que o número adotado de seções é quem determina a precisão no comprimento das barras. Foram escolhidas 21 seções para essa discretização, após ter sido verificado que com um número menor que este, ter-se-iam comprimentos de barras

superiores aos necessários para o cobrimento do diagrama de momentos fletores. Também um número maior de seções, traria poucos benefícios na precisão dos comprimentos das barras e somente oneraria o trabalho computacional (isto é válido para as dimensões usuais de vigas de edifícios). A primeira seção coincide com o ponto extremo esquerdo, a partir do qual se inicia o vão teórico, enquanto que a última coincide com o ponto extremo direito, determinando o fim do vão teórico. A seção considerada como sendo a de momento máximo é a que se situa mais próxima do ponto onde ocorre o momento máximo, sendo este ponto, aquele que dentre todos os carregamentos, fornece o maior valor de momento positivo.

Após a discretização, tem-se associados a cada uma das seções definidas, os seguintes parâmetros :

- momento fletor positivo deslocado;
- momento fletor negativo deslocado;
- força cortante;
- momento torçor;
- número de barras contidas na primeira camada positiva;
- número de barras contidas na segunda camada positiva;
- número de barras contidas na primeira camada negativa;
- número de barras contidas na segunda camada negativa;
- número de barras contidas na primeira camada de porta estribos;
- número de barras contidas na segunda camada de porta estribos;
- número de barras na primeira camada positiva que são comprimidas pela ação do momento fletor negativo;
- número de barras na segunda camada positiva

que são comprimidas pela ação do momento fletor negativo;

A um tramo de cada uma das vigas estão associados os seguintes parâmetros :

- vetores contendo os momentos positivos e negativos deslocados e momentos torçores, de cada seção;
- vetores contendo os números de barras das camadas positivas, negativas à esquerda, porta estribos, negativas à direita, comprimidas à esquerda e comprimidas à direita, de cada seção;
- as bitolas comerciais das armaduras positiva, negativa à esquerda, negativa à direita e porta estribo;
- as áreas de cada uma das bitolas adotadas;
- o vão e a distância entre duas seções;
- vetores contendo os esforços calculados em cada seção, e nos pontos de descontinuidade de cargas, para cada carregamento;
- valores máximos dos momentos e forças cortantes nas extremidades, e do momento máximo positivo e sua posição;
- as dimensões dos pilares e vigas de apoio;
- as dimensões da mesa de compressão;

Algumas constantes são definidas apenas para possibilitar o uso de seus identificadores como mnemônicos, pois é mais cômodo trabalhar com um identificador significativo, que com um número qualquer. As constantes envolvidas a serem definidas são :

Constante

```

ES = 2100.0 ;      { Módulo de elasticidade
                   longitudinal do aço }
MAX_NUM_DE_PONTOS = { num. de pontos de ações
                    concentradas ou de descontinuidade de
                    cargas }
MAX_NUM_DE_TRAMOS = { Novamente tais valores ficam }
MAX_NUM_DE_VIGAS   = { em função da capacidade do   }
MAX_NUM_DE_CARREG  = { computador, da linguagem e   }
MAX_NUM_DE_POSIC   = { mantendo coerência com       }
D_INICIAL          = { os programas anteriores      }
NÚMERO_DE_BITOLAS = 6 ;
BALANÇO            = 0 ;
ANC_RETA           = 0 ;
ANC_GANCHO         = 1 ;
ANC_LAÇO           = 2 ;
APOIO_MUITO_ESTREITO = 3 ;

```

Na definição dos tipos, usam-se registros, vetores, bem como vetores de registros. Os tipos envolvidos a serem definidos são :

Tipo

```

Vetor_Real = Vetor [ 0..20 ] Real ;
Vetor_Int  = Vetor [ 0..20 ] Inteiro ;
Vet_P      = Vetor [ 0..MAX_NUM_DE_PONTOS ] Real ;

```

Tipo_Detalhe = Registro

```

Canada_1, { Num. de barras nas }
Canada_2, { canadadas 1 e 2    }
Número_de_barras : Inteiro ;
φ, Área_de_1_φ,
Asfativa          : Real ;
Bitola_Ok : Lógico ;
Sinal : Caracter ;

```

Fim ;

```

Vet_Detalhe = Vetor [ 1..NÚMERO_DE_BITOLAS ]
                Tipo_Detalhe ;

```

Tipo_Carga = Registro

```

Número_de_Pontos : Inteiro ;
L, { compr. de trecho }
Q, { carga distr. no trecho }
P, { carga conc. no ponto }
M_a, { mom. aplic. no ponto }
M_t, { torçor aplic. no ponto }
Tp, { esforços solicitantes }
Mp, { à esquerda do ponto }
Vp, : Vet_P ;
Me, Md, { esforços nas extremidades }
Ve, Vd, { do tramo }
Te, Td : Real ;

```

Fim ;

```

Tipo_Esforço = Registro
  rf, Nulo_Esq, Nulo_Dir,
  Pto_de_Máx, Mom_Max : Real ;
  M, { esforços calculados }
  V, { em cada seção }
  T : Vetor_Real ;
  Fim ;
Vet_Esforço = Vetor [ 1, MAX_NUM_DE_CARREG ]
  Tipo_Esforço ;
Tipo_Tramo = Registro
  M_Pos, { envolt. nom. flet. desloc. }
  M_Neg : Vetor_Real ;

  Esforço : Vet_Esforço ;

  Cel, { Núm.de bar. na cam. 1 neg. esq. }
  Ce2, { Núm.de bar. na cam. 2 neg. esq. }
  Cd1, Cd2, { idem à direita }
  Cce1, { Núm.de bar. na cam. 1 compr. esq. }
  Cce2, { Núm.de bar. na cam. 2 compr. esq. }
  Ccd1, Ccd2, { idem à direita }
  C4, { Núm.de bar. na cam. 1 positiva }
  C3, { Núm.de bar. na cam. 2 positiva }
  Cp1, Cp2, { idem porta estribo }
  : Vetor_Inteiro

  Vão,
  Espaço, { dist. entre duas seções }
  Cort_Esq, Cort_Dir,
  M_Neg_Esq, M_Neg_Dir,
  M_Pos_Esq, M_Pos_Dir,
  Al_Esquerdo, Al_Direito,
  Momento_Máximo, Ponto_de_Máximo,
  Pe, Pd, { dim. int. dos apoios pilares }
  Ae, Ad, { " " " " vigas }
  φ_Positivo, φ_Porta_Estribo,
  φ_Negativo_Direito,
  φ_Negativo_Esquerdo,
  As_φ_Positivo, As_φ_Porta_Estribo,
  As_φ_Negativo_Esquerdo,
  As_φ_Negativo_Direito,
  As_Compr_Esq, As_Compr_Dir : Real ;

  Seção_de_Momento_Máximo : Inteiro ;
  Fim ;

```


eh_min, { espaçamento horiz. mínimo entre as barras }
ev_min, { espaçamento vert. mínimo entre as barras }
 Cobrimento_Lateral, CG_da_Armadura,
Rst,
al, *lb1*, *lb_max*, Δlb ,
x34, { posição limite da linha neutra }
d_max, { diâmetro máximo de agregado }
wmax, { abertura de fissura }
d, { dist. entre a borda compr. e o CG das barras
 tracionadas }
d', { dist. entre a borda compr. e o CG das barras
 comprimidas }
d_auxiliar, *d'auxiliar*,
 Larg_Ap_Esq, Larg_Ap_Dir,
 $\phi_{\text{mínimo}}$,
Pee, *Ped*, *Aee*, *Aed*,
bfe, *hfe*, *bfd*, *hfd*, *bw*, *h* : Real ;

i, *j*, Seção, Viga_Atual, Tramo_Atual,
 Carreg_Atual, Apoio_Atual,
 Posição { índices contadores }
 Ponteiro_Positivo, Ponteiro_Negativo,
 { índices apontadores para detalhes escolhidos }
 Número_de_Vigas, Número_de_Tramos, Número_de_Carreg,
 Número_de_Posições_Positivas,
 Número_de_Posições_Negativas,
 Número_de_Posições_Porta_Estr,
 Apoio_Esquerdo, Apoio_Direito,
 Anc_Neg_Esq_Ap, Anc_Neg_Dir_Ap,
 Anc_Pos_Esq_Ap, Anc_Pos_Dir_Ap,
kya : Inteiro ;

Dimensionamento_Ok, Detalhe_Ok, Impossível,
 Momento_Neg_Esq_Pequeno,
 Momento_Neg_Dir_Pequeno : Lógico ;

Classe : Caracter ;

Detalhe_Auxiliar : Tipo_Detalhe ;

Detalhe_Positivo, Detalhe_Negativo : Vet_Detalhe ;

Carga : Tipo_Carga ;

Tramo : Vet_Tramo ;

Posição_Positiva,
 Posição_Porta_Estribo : Vet_Posição_Positiva ;

Posição_Negativa : Vet_Posição_Negativa ;

Armadura_de_Pele : Vet_Pele ;

Os arquivos utilizados são os .previamente criados pelo programa descrito no Capítulo 3, item 3.4. Além destes, outros são gerados pelo programa descrito neste capítulo e têm os identificadores :

PST : armazenam as posições positivas
 NGT : idem posições negativas
 PEB : " porta estribos
 PLE : " armaduras de pele
 PSC : número de posições positivas, negativas,
 porta estribo e pele em cada viga

3.5.2 - Algoritmos

O bloco principal do programa que dimensiona e detalha as vigas consiste na chamada da sub-rotinas conforme segue:

```
Início
  Leitura_e_Geração_de_Dados_do_Pavimento ;
  Para Viga_Atual ← 1 até Número_de_Vigas faca
    Início
      Leia_Viga ;
      Preparação_dos_Esforços ;
      Montagem_das_Posições ;
      Salvamento_das_Posições ;
    Fim ;
  Ordenamento_Final_das_Posições ;
Fim.
```

Os dados globais de um pavimento, lidos na sub-rotina Leitura_e_Geração_de_Dados_do_Pavimento são : número de vigas, resistências características do concreto (f_{ck}) e do aço (f_{yk}), classe do aço (A ou B), abertura tolerável de fissura, espaçamentos horizontais e verticais mínimos entre barras, cobrimento lateral mínimo para as barras, diâmetro máximo do agregado, coeficientes de minoração de resistências características do concreto e

do aço. Também fica ao critério do projetista a seleção das bitolas comerciais possíveis e o máximo número de barras que um dado detalhe pode apresentar para uma dada bitola. Elimina-se uma bitola comercial fornecendo o número máximo de barras para esta bitola igual a zero.

De posse dos dados acima, os demais dados globais podem ser gerados (área de uma barra para cada bitola, resistências de cálculo dos materiais, taxas de armaduras mínimas, coeficientes de aderência do aço (η_b), raios dos ganchos e dos laços das posições, deformação específica do aço correspondente à tensão de escoamento de cálculo (ϵ_{yd}), posição relativa da linha neutra correspondente ao limite entre os domínios 3 e 4 (x_{s4}), tensão de aderência última entre o concreto e o aço (τ_{vu}), comprimentos de ancoragem relativos à f_{yd} (l_{l1}), variação do comprimento de ancoragem devida à presença de ganchos (Δl_l)). Neste trabalho, os dados globais valem para todas as vigas do pavimento.

3.5.2.1 - Dimensionamento de uma seção

A primeira etapa do algoritmo é a relativa ao dimensionamento da seção. É dada a seção T da Fig. 24, com h_{fe} menor que h_{fd} , solicitada por um momento fletor 'Momento' (já majorado por um coeficiente γ_f), positivo no sentido indicado, e com distribuição retangular de tensões de compressão no concreto conforme simplificação permitida pela NBR 6118. O procedimento sistemático para o dimensionamento das armaduras A_s e A_s' (com tensão de cálculo $\sigma_{s_{Mdx}}$), é dado pelos seguintes itens :

- Caso o momento seja negativo, por

hipótese, desprezam-se as dimensões das mesas, pois essas formam uma região que apresenta tensões normais de tração. O valor do momento utilizado no dimensionamento, é considerado com o seu valor absoluto.

•O dimensionamento é feito supondo seções retangulares fictícias de altura h , verificando-se se a linha neutra se situa dentro das mesas que compõem a seção T real. Caso contrário, divide-se esquematicamente a seção, em três retângulos auxiliares, separando-se as parcelas devidas a cada mesa (agora supostas totalmente comprimidas), da parcela correspondente à nervura.

A primeira seção retangular fictícia tem largura igual à $bfe + bw + bfd$. Se a profundidade da linha neutra for menor ou igual à hfe , obtém-se Asw e, As' se necessário. Caso contrário, retiram-se as parcelas de momento Mfe e armadura Ase correspondente a uma seção retangular de largura bfe com a linha neutra imposta na profundidade hfe , e repete-se o procedimento para uma seção retangular fictícia de largura $bw + bfd$, sob ação de um momento Mw igual ao momento total subtraído de Mfe . Verifica-se a profundidade da linha neutra em relação à altura da mesa hfd . Se necessário, retira-se a contribuição da seção retangular de largura bfd e profundidade da linha neutra imposta igual à hfd , obtendo-se as parcelas Mfd e Asd , dimensionando-se somente a alma da seção T, sob a ação de um momento igual ao momento total subtraído de Mfe e Mfd .

A armadura tracionada total As é a soma das armaduras Ase , Asd e Asw .

Para os algoritmos que se seguem, é necessário conhecer o valor α_{94} , que depende da altura útil da seção e da deformação específica de escoamento do aço. Toma-se então um valor adimensional para α_{94} , dependente, portanto, somente da resistência característica e da classe do aço, valendo, então, para qualquer seção de qualquer viga. Para compará-lo com a posição x da linha

neutra em uma seção, emprega-se o valor adimensional α_{LN} . O valor de α_{LN} é calculado na sub-rotina de leitura e geração de dados do pavimento, mostrada posteriormente.

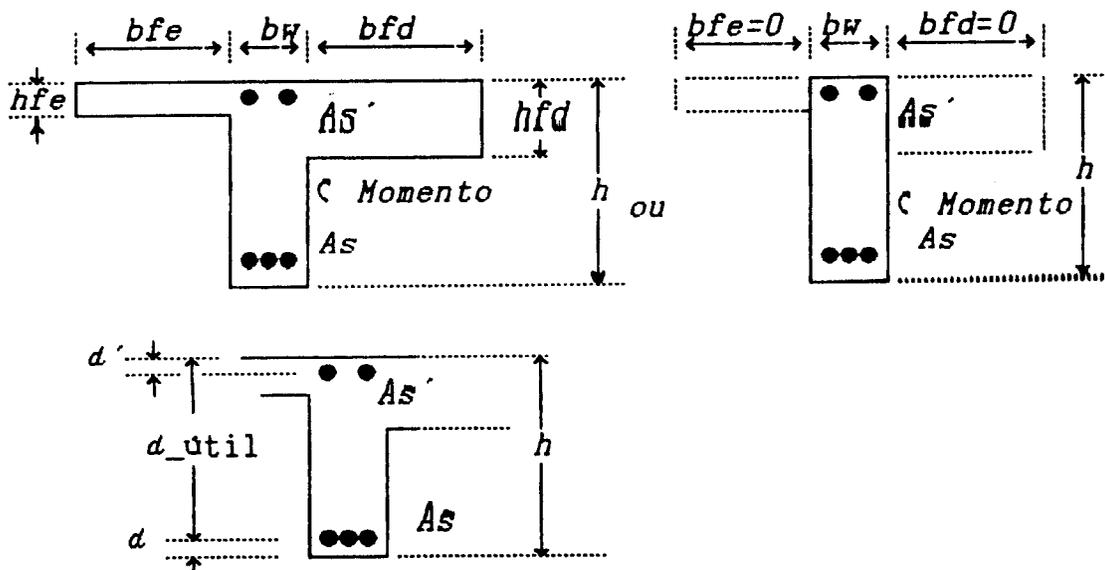


Fig. 24 - Seção T típica

Abaixo são dados os algoritmos para o dimensionamento de uma seção T típica :

Procedimento Determinação_da_Posição_da_Linha_Neutra
 (Momento, { Valor de cálculo }
 bv, { largura de seção retangular }
 d_util, α , α_{LN}) ;
 { procedimento para obtenção do valor de α na equação (9) do Capítulo II, item 2.3.2.1 situado dentro da seção }

Variável

A, B, Δ : Real ;

Início

A \leftarrow 0.272 * fcd * bv ;

B \leftarrow -2.5 * A * d_util ;

Δ \leftarrow B² - 4 * A * Momento ;

Se $\Delta >$ ZERO

Então $x \leftarrow \frac{-B - \sqrt{\Delta}}{2 * A}$

Senão $x \leftarrow$ d_util ;

$\alpha_{LN} \leftarrow \frac{x}{d_{util}}$;

Fim;

Função Parcela_de_Momento ($b_w, d_{\text{util}}, x : \text{Real}$) : **Real**;

Início

Parcela_de_Momento $\leftarrow \frac{0.68 * f_{cd} * b_w * x}{d_{\text{util}} - 0.4 * x}$;

Fim ;

Função σ_{sd} ($x, d' : \text{Real}$) : **Real** ;

Variável

$\epsilon_s, A, B, C, \sigma : \text{Real}$;

Início

$\epsilon_s \leftarrow \frac{0.0035 * (x - d')}{x}$;

Se Classe = 'A'

Então $\sigma \leftarrow E_s * \epsilon_s$

Senão

Início

$A \leftarrow \frac{1}{45 * f_{yd}^2}$;

$B \leftarrow \frac{1}{E_s} - \frac{1.4}{45 * f_{yd}}$;

$C \leftarrow \frac{0.48}{45} - \epsilon_s$;

$\sigma \leftarrow \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 * A * C}}{2 * A}$

Fim ;

Se $\sigma > \sigma_{\text{máx}}$

Então $\sigma_{sd} \leftarrow \sigma_{\text{máx}}$

Senão $\sigma_{sd} \leftarrow \sigma$;

Fim ;

Procedimento Armadura Simples
(Momento, $d_{\text{util}}, x, A_s : \text{Real}$) ;

Início

$A_s \leftarrow \frac{\text{Momento}}{\sigma_{\text{máx}} * (d_{\text{util}} - 0.4 * x)}$;

Fim

Procedimento Armadura_Dupla(Momento, ϵ_{yd} , b_w , d_{util} , d' , A_s , A_s' : Real) ;Variável M_1 , M_2 , σ , x : Real ;Início

```

 $x \leftarrow x_{34} * d_{\text{util}} ;$ 
 $M_1 \leftarrow \text{Parcela\_de\_Momento}( b_w, d_{\text{util}}, x ) ;$ 
 $\text{Armadura\_Simples}( M_1, d_{\text{util}}, x, A_s ) ;$ 
 $M_2 \leftarrow \text{Momento} - M_1 ;$ 
 $\sigma \leftarrow \sigma_d( x, d', \text{Classe} ) ;$ 

 $A_s' \leftarrow \frac{-M_2}{\sigma * ( d_{\text{util}} - d' )} ;$ 

 $A_s \leftarrow A_s + \frac{\sigma}{\sigma_{\text{máx}} * \text{Abs}( A_s' )} ;$ 

```

Fim ;Procedimento Parcela_de_Armadura(b_f , h_f , d_{util} , M , A_s : Real) ;Início

```

 $M \leftarrow \text{Parcela\_de\_Momento}( b_f, d_{\text{util}}, h_f ) ;$ 
 $\text{Armadura\_Simples}( M, d_{\text{util}}, h_f, A_s ) ;$ 

```

Fim ;Procedimento Inicialize_d ;Início

```

 $d \leftarrow D\_INICIAL ;$ 
 $d' \leftarrow D\_INICIAL ;$ 

```

Fim ;Procedimento Dimensionamento(A_s , A_s' , d , d' , Momento : Real) ;Variável

```

 $x$ ,  $x_{ln}$ ,
 $M_{fe}$ ,  $M_w$ ,  $M_{fd}$ ,  $b_{\text{Total}}$ ,
 $d_{\text{util}}$ ,  $A_{se}$ ,  $A_{sw}$ ,  $A_{sd}$  : Real ;
 $\text{Momento\_Negativo}$  : Lógico ;

```

Início

```

 $A_s \leftarrow A_{se} \leftarrow A_{sw} \leftarrow A_{sd} \leftarrow A_s' \leftarrow 0.0 ;$ 
 $d_{\text{util}} \leftarrow h - d ;$ 
 $\text{Momento\_Negativo} \leftarrow ( \text{Momento} < 0.0 ) ;$ 
 $\text{Momento} \leftarrow \text{Abs}( \text{Momento} ) ;$ 
 $\text{Se } \text{Momento} < \text{ZERO}$ 
   $\text{Então } \text{Momento} \leftarrow 0.0 ;$ 

```

Se Momento_Negativo

Então $bfe \leftarrow bfd \leftarrow hde \leftarrow hfd \leftarrow 0.0$;
Se Com Tramo[Tramo_Atual] faca

Início

$bfe \leftarrow bve$;
 $bfd \leftarrow bvd$;
 $hfe \leftarrow hve$;
 $hfd \leftarrow hvd$;

Fim ;

Se $hfe > hfd$

Então

Início

Troque(hfe , hfd) ; { a alt. da mesa à esq. }
Troque(bfe , bfd) ; { deve ser < que à dir. }

Fim ;

$b_{Total} \leftarrow bfe + bw + bfd$;

Pesquisa_da_Posição_da_Linha_Neutra

(Momento, b_{Total} , d_{util} , x , x_{Ln}) ;

Se $x < hfe$

Então

Início

Se $x_{LN} \leq x_{s4}$

Então Armadura_Simples(Momento, d_{util} , x , Asw)

Se Armadura_Dupla(Momento, e_{yd} , b_{Total} ,
 d_{util} , d' , Asw , As') ;

Fim

Se

Início

Parcela_de_Armadura(bfe , hfe , d_{util} , Mfe , Ase) ;

$b_{total} \leftarrow bw + bfd$;

$Mw \leftarrow Momento - Mfe$;

Pesquisa_da_Posição_da_Linha_Neutra

(Mw , b_{Total} , d_{util} , x , x_{Ln}) ;

Se $x < hfd$

Então

Início

Se $x_{LN} \leq x_{s4}$

Então Armadura_Simples(Mw , d_{util} , x , Asw)

Se Armadura_Dupla(Mw , e_{yd} , b_{Total} ,
 d_{util} , d' , Asw , As') ;

Fim

Se

Início

Parcela_de_Armadura

(bfd , bfe , d_{util} , Mfd , Asd) ;

$b_{Total} \leftarrow bw$;

$Mw \leftarrow Momento - Mfe - Mfd$;

Pesquisa_da_Posição_da_Linha_Neutra

(Mw , b_{Total} , d_{util} , x , x_{Ln}) ;

```

      |
      |
      | Se  $x_{LN} \leq x_{34}$ 
      |   Então Armadura_Simples(  $M_w, d_{\text{util}}, x, A_{sw}$  )
      |   Se Armadura_Dupla(  $M_w, e_{yd}, b_{\text{Total}},$ 
      |                        $d_{\text{util}}, d', A_{sw}, A_{s'}$  ) ;
      |   Fim
      |
      | Fim ;
      |
      |  $A_s \leftarrow A_{se} + A_{sw} + A_{sd}$  ;
      |
      | Se Abs(  $A_{s'} < \text{ZERO}$  )           { para evitar estouros em }
      |   Então  $A_{s'} \leftarrow 0.1$  ;     { operações numéricas post. }
      |
      | Se Momento_Negativo
      |   Então
      |     Início
      |       Troque(  $A_s, A_{s'}$  ) ;
      |       Se  $A_{s'} < A_{s\text{Min}}$ 
      |         Então  $A_{s'} \leftarrow A_{s\text{Min}}$  ;
      |       Fim
      |     Se  $A_s < A_{s\text{Min}}$ 
      |       Então  $A_s \leftarrow A_{s\text{Min}}$  ;
      |
      | Fim ;

```

3.5.2.2 - Detalhamento de uma seção

O detalhamento de uma seção principal (seção de momento máximo positivo ou seção de apoio) é feito dimensionando-se a armadura de tração, e se necessária, a de compressão, cujos pontos de aplicações das resultantes estão situados a uma distância 'D_INICIAL' das bordas. Com cada área calculada (tanto comprimida como tracionada), determina-se, para cada bitola comercial disponível, o número de barras. Também para cada bitola, tenta-se alojar essas barras na primeira camada. Caso não seja possível, verifica-se a possibilidade de alojar as barras restantes na segunda camada. Diante de nova impossibilidade, elimina-se essa bitola, e em caso contrário, redimensiona-se a seção com a nova posição da

resultante das tensões de tração nas barras, levando portanto a um processo iterativo, para qual a convergência é verificada quando a diferença entre a área calculada e a efetiva (no sentido desfavorável à segurança) não ultrapassa 1% . Escolhe-se a bitola cujo conjunto de barras apresenta a menor área efetiva. Para uma seção não principal, desprezam-se as mudanças das posições dos pontos de aplicação das resultantes, por serem estas de importância menor em relação às principais.

A uma bitola comercial está associado um detalhe, que é definido pelos elementos : número total de barras, número de barras na primeira camada, número de barras na segunda camada, número máximo de barras, área de uma barra, diâmetro nominal (aliás, já mostrados na estrutura de dados).

Adotam-se dentre as bitolas comerciais padronizadas pela EB-3, os seis seguintes diâmetros, em milímetros : 5,0, 6,3, 8,0, 10,0, 12,5 e 16,0. A notação usada para indicar diâmetros é a letra grega ϕ . Definem-se para cada bitola, um número máximo de barras, para evitarem-se situações sem sentido prático (como por exemplo, uma viga de 30 centímetros de largura e 50 centímetros de altura, com 20 barras longitudinais de diâmetro igual a 5,0 milímetros).

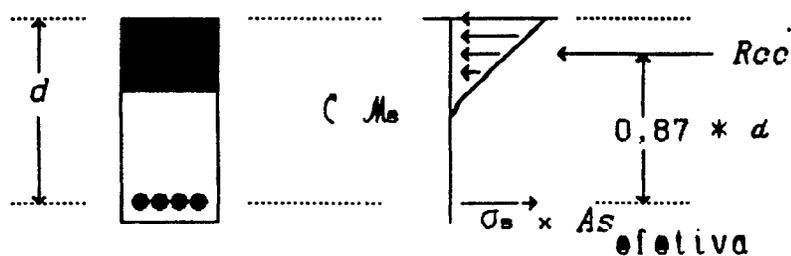
Uma vez obtida a área da seção de aço necessária ao equilíbrio da seção, submetida à ação de um momento fletor, para cada bitola comercial, divide-se o valor dessa área pelo valor da área de uma barra, obtendo-se o número de barras que corresponde ao valor obtido nessa operação, aproximando-se para o maior valor inteiro.

Após o dimensionamento à flexão, a verificação da peça quanto à fissuração é feita, acrescentando-se mais barras, se necessárias, a fim de diminuir a tensão da armadura. De acordo com o item 2.3.5 do CAPÍTULO II, para se fazer uso das expressões

indicadas, é necessário determinar o valor de σ_s , que é a tensão na armadura em serviço. Para isso, considera-se que a seção esteja trabalhando no ESTÁDIO II, isto é, concreto fissurado (portando sendo desprezadas as tensões de tração), considerando-se ainda as tensões de compressão distribuídas linearmente, e o momento atuante majorado pelo coeficiente próprio para verificação do estado limite de utilização. Os valores dos coeficientes de aderência do aço adotados são os seguintes, de acordo com a tensão de escoamento :

$$\begin{aligned} f_{yk} &= 2500 \text{ kgf/cm}^2 & : & \eta_b = 1.0 ; \\ f_{yk} &= 3200 \text{ kgf/cm}^2 & : & \eta_b = 1.0 ; \\ f_{yk} &= 4000 \text{ kgf/cm}^2 & : & \eta_b = 1.2 ; \\ f_{yk} &= 5000 \text{ kgf/cm}^2 & : & \eta_b = 1.5 ; \\ f_{yk} &= 6000 \text{ kgf/cm}^2 & : & \eta_b = 1.8 ; \end{aligned}$$

Para uma estimativa do valor de σ_s em uma dada seção, toma-se o valor do momento fletor dado pela envoltória na correspondente seção, e divide-o por um coeficiente $\gamma_{f_{\text{médio}}}$, obtido pela média aritmética dos valores dos coeficientes de cada caso de carregamento. Chamando de M_s o momento fletor assim obtido, adota-se como posição da linha neutra, aquela que fornece um ponto de aplicação da resultante de compressão do concreto, distante $0,87 \times d_{\text{útil}}$ do ponto de aplicação da resultante das tensões de tração na armadura. Tal distância, é um valor médio e que também é utilizado na formulação do problema do cisalhamento, sendo aceitável pelo caráter probabilístico das expressões fornecidas pela NBR 6118, para estimativa da abertura de fissura. De acordo com a Fig. 25 tem-se :



M_s : momento em serviço

Fig. 25 - Equilíbrio de uma seção de concreto armado no estágio II

No ponto de aplicação de R_{cc} , a soma dos momentos será nula se

$$\sigma_s = \frac{M_s}{0,87 \times d \times A_{s \text{ efetiva}}}$$

onde $A_{s \text{ efetiva}}$ é o produto do número de barras pela área da seção de uma barra.

O número total de barras (por razões construtivas sempre maior que 1), deve ser alojado na seção de modo que o espaçamento horizontal entre duas barras em uma camada não ultrapasse um espaçamento mínimo. Por hipótese, no presente texto, não haverá detalhes com um número de camadas maior que 2. Na ocorrência de duas camadas, uma particularidade é observada : o número de barras na segunda camada deve ser menor que o da primeira (a não ser quando este seja 2), para facilitar o acesso de vibradores utilizados no adensamento do concreto, na ocasião da execução da peça, ou seja, o número de barras na segunda camada, devido à simetria, é sempre par (Fig. 26). Adota-se também como espaçamento horizontal mínimo entre as barras das armadura superiores, a distância de 5,0 centímetros, também para permitir acesso de vibradores.

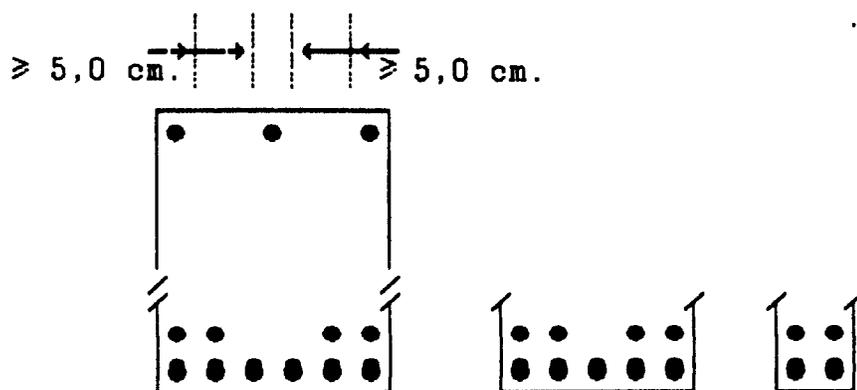


Fig. 26 - Distribuição das barras em duas camadas.

Se para uma dada bitola não for possível alojar as barras nas condições acima, descarta-se a mesma. Se todas as bitolas forem eliminadas, redefine-se a seção, e recomeça-se o processo desde a análise estática da grelha, pois haverá uma mudança da rigidez da viga e provavelmente, redistribuição de esforços ao longo dos tramos.

Dependendo da posição de uma seção e do sinal do momento fletor¹ que é considerado, têm-se os casos distintos de detalhamento :

1- **Armação positiva na seção de momento máximo.** Sempre haverá um momento máximo positivo no diagrama envoltório, pois para cada carregamento é criado um outro fictício, cujos valores nas extremidades do tramo, são iguais àqueles calculados quando a condição de engastamento perfeito é admitida, para se corrigir a hipótese de ligação não rígida entre as extremidades das vigas e pilares de apoio, conforme visto no item 2.3.3 do CAPÍTULO II (a não ser em caso de tramo extremo em balanço). Neste caso, é feito um dimensionamento inicial, e para cada bitola, alojam-se as barras com as hipóteses prescritas anteriormente, efetuando-se os

1 Numa mesma seção, pode-se ter momentos fletores positivos e também negativos, devido ao deslocamento do diagrama.

redimensionamentos. Ao final do processo escolhe-se, dentre as bitolas não descartadas, aquela cujo detalhe possui a menor área efetiva. Neste caso também é feito o detalhamento e a escolha da bitola da armadura para porta estribo ;

2- **Armação negativa sobre os apoios.** Como no caso anterior, agora utilizando a envoltória dos momentos fletores negativos, faz-se um dimensionamento inicial, e repete-se os procedimentos até a escolha da bitola ;

3- **Armação de seção diferente de apoio, com momento negativo :** Neste caso, a bitola é vinculada à do apoio de referência, sendo portanto conhecida. Não é feito o processo de redimensionamento, em caso de duas camadas. Se o momento fletor na seção for igual ao da seção de apoio de referência, adota-se o mesmo detalhe ;

4- **Armação de seção diferente de apoio ou de momento máximo, com momento positivo :** também neste caso, a bitola é conhecida e não é feito o processo de redimensionamento, em caso de duas camadas. Se o momento fletor na seção considerada for igual ao da seção de momento máximo, adota-se o mesmo detalhe.

Os algoritmos gerais para a obtenção dos detalhes das armaduras superiores e inferiores, segundo os casos acima, são os que seguem :

Função Fissuração_0k(Asefetiva, ϕ , Momento : Real) ;

Variável

S, ρ , σ_s , w_1 , w_2 : Real ;

Início

Momento \leftarrow Momento / $\gamma_{\text{médio}}$;

$\sigma_s \leftarrow \frac{\text{Momento}}{\text{Asefetiva} * 0.87 * (h - D_{\text{INICIAL}})}$;

$\rho \leftarrow \frac{\text{Asefetiva}}{0.25 * b_w * h}$;

```

S ←  $\frac{\phi * \sigma_s}{(2 * \eta_b - 0.75) * E_s}$  ;
w1 ← S *  $\left( \frac{4}{\rho_r} + 45 \right)$  ;
w2 ←  $\frac{S * 3 * \sigma_s}{f_{tA}}$  ;
Fissuração_Ok ← Menor( w1, w2 ) < w ;
Fim ;

```

Procedimento Verificação_da_Impossibilidade

(Detalhe_em_Estudo : Vet_Detalhe ;
Impossivel : Lógico) ;

Variável

i : Inteiro ; { Verificação se existe alguma }

Início { não descartada }

i ← 1 ;

Repita

Impossivel ← NOT Detalhe_em_Estudo[i].Bitola_Ok ;

i ← i + 1 ;

Até (NOT Impossivel) OR (i > NÚMERO_DE_BITOLAS) ;

Fim ;

Procedimento Verificação_do_Espaçamento_das_Barras

(emin, ϕ : Real ;

Número_de_Barras, Camada_1, Camada_2 : Inteiro) ;

Início

Camada_1 ← Trunc $\left(\frac{bw - 2 * \text{Cobrimento_Lateral} + \text{emin}}{\text{emin} + 0.1 * \phi} \right)$;

{ Camada_1 é o máx. núm. de barras que cabem na }
{ primeira camada }

Se Número_de_Barras < Camada_1

Então

Início

Camada_1 ← Número_de_Barras ;

Camada_2 ← 0 ;

Fim

Senão Camada_2 ← Número_de_Barras - Camada_1 ;

Fim ;

Procedimento Ajuste_do_Posicionamento_das_Barras

(Número_de_Barras, Camada_1, Camada_2 : Inteiro ;
Asefetiva, Área_de_1_ ϕ : Real) ;

Início

Camada_2 ← Camada_2 + 1 ;

{ acrescenta mais uma barra na segunda camada para }
{ torna-la par }

```

Se ( Camada_1 > Camada_2 + 1 ) AND ( Camada_1 > 2 )
  Então Camada_1 ← Camada_1 - 1
  Senão
    Início
      Número_de_Barras ← Número_de_Barras + 1 ;
      Asefetiva ← Número_de_Barras * Área_de_1_φ ;
    Fim ;
Fim ;

```

Numa seção não principal, o número de barras é menor ou no máximo igual ao da seção principal de referência. Um detalhamento inicial é feito a partir da área de aço calculada. Um posterior acerto pode também ser definido, na ocasião do cobrimento do diagrama, em função da seção anterior, considerando-se o sentido percorrido no cobrimento. Se em um dado tramo, é conveniente prolongar algumas barras das armaduras negativas de um apoio ao outro, este tramo é chamada de *tramo negativo*, e a armadura negativa assume também a função de porta estribos. Seguem-se os algoritmos para os detalhamentos iniciais :

```

Procedimento Detalhamento_da_Armadura
  ( φ, Asφ, emín : Real ;
    Camada_1, Camada_2 : Inteiro ) ;
Variável
  N_Barras : Inteiro ;
Início
  N_Barras ← Camada_1 + Camada_2 ;
  Verificação_do_Espaçamento_das_Barras
    ( emín, φ, N_Barras, Camada_1, Camada_2 ) ;
  Se Ímpar( Camada_2 )
    Então Ajuste_do_Posicionamento_das_Barras
      ( N_Barras, Camada_1, Camada_2, As, Asφ ) ;
Fim ;

```

```

Procedimento Detalhamento_de_Seção_Positiva
  ( Seção : Inteiro ) ;

```

```

Início
  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Início
      Inicialize_d ;
      Momento ← M_Pos[ Seção ] ;
      Dimensionamento( As, As', d, d', Momento ) ;
    Fim ;

```

```

C4[ Seção ] ← Trunc  $\left( \frac{As}{As_{\phi} \text{ Positivo}} \right)$  ;

Se C4[ Seção ] < 1
  Então C4[ Seção ] ← 1 ;
Repetita
  | C4[ Seção ] ← C4[ Seção ] + 1 ;
  Até Fissuração_Ok
    ( C4[ Seção ] * As_{\phi} \text{ Positivo}, \phi \text{ Positivo}, Momento ) ;

C3[ Seção ] ← 0 ;
Detalhamento_da_Armadura( \phi \text{ Positivo}, As_{\phi} \text{ Positivo},
  eh_mín, C4[ Seção ], C3[ Seção ] ) ;
Se NOT Tramo_Negativo
  Então
    Início
      Cp1[ Seção ] ← Trunc  $\left( \frac{Abs(As')}{As_{\phi} \text{ Porta_Estribo}} \right)$  ;
      Se Cp1[ Seção ] < 1
        Então Cp1[ Seção ] ← 1 ;
      Cp2[ Seção ] ← 0 ;
      Detalhamento_da_Armadura( \phi \text{ Porta_Estribo},
        As_{\phi} \text{ Porta_Estribo},
        5.0, Cp1[ Seção ], Cp2[ Seção ] ) ;
      Fim ;
    Fim ;
  Fim ;

```

Procedimento Detalhamento_de_Seção_Negativa
 (M_Neg, ϕ , As_{\phi} : Real ;
 Canada_1, Canada_2 : Inteiro) ;

```

Início
  Inicialize_d ;
  Momento ← M_Neg ;
  Dimensionamento( As, As', d, d', Momento ) ;

  Canada_1 ← Trunc  $\left( \frac{As}{As_{\phi}} \right)$  ;

  Se Canada_1 < 1
    Então Canada_1 ← 1 ;
  Repetita
    | Canada_1 ← Canada_1 + 1 ;
    Até Fissuração_Ok( Canada_1 * As_{\phi}, \phi, Momento ) ;

  Canada_2 ← 0 ;
  Detalhamento_da_Armadura( \phi, As_{\phi},
    5.0, Canada_1, Canada_2 ) ;
  Fim ;

```

Como já foi mostrado anteriormente, numa

seção principal, após um primeiro dimensionamento, para cada bitola são determinados os números de barras, corrigidos em casos de quaisquer problemas devidos à fissuração, e feitos redimensionamentos para as novas posições das resultantes das tensões nas armaduras. Se para uma dada bitola, a área de aço recalculada for maior que a efetiva, aumenta-se o número de barras, repetindo-se o processo de redimensionamento até a convergência. Seguem-se os algoritmos referentes a esse tópico :

Procedimento Determinação do Número Inicial de Barras

(As_em_Estudo : Real ;
 Detalhe_em_Estudo : Vet_Detalhe ;
 Impossível : Lógico) ;

Início

Para i ← 1 até Numero_de_Bitolas faça

Com Detalhe_em_Estudo[i] faça

Início

Número_de_Barras ← Trunc $\left(\frac{As_em_Estudo}{Área_de_1_φ} \right)$;

Se Número_de_Barras < 1

Então Número_de_Barras ← 1 ;

Repita

Número_de_Barras ← Número_de_Barras + 1 ;

Asefetiva ← Número_de_Barras * Área_de_1_φ ;

Até Fissuração_Ok (Asefetiva, φ, Momento) OR
 (Sinal = '+') ; { armadura comprimida }
 { portanto dispensada da verificação }
 { da fissuração }

Bitola_Ok ← Número_de_Barras <= Máximo_Número_de_Barra ;

Fim ;

Verificação_da_Impossibilidade

(Detalhe_em_Estudo, Impossível) ;

Fim ;

Procedimento Ordenação das Áreas Efetivas

(Detalhe_em_Estudo : Vet_Detalhe) ;

Variável

Detalhe_Auxiliar : Tipo_Detalhe ;

Início

{ Ordenação em ordem crescente usando o Método da bolha }

Para i ← 1 até Numero_de_Bitolas - 1 faça

Para j ← i até Numero_de_Bitolas faça

Se Detalhe_em_Estudo[i].Asefetiva >

Detalhe_em_Estudo[j].Asefetiva

Então Troque(Detalhe_em_Estudo[i],
 Detalhe_em_Estudo[j]) ;

```

    { Como os menores diâmetros distribuem melhor as }
    { fissuras, reordenam-se os detalhes de mesma }
    { área efetiva }
  Para i ← 1 até Número_de_Bitolas - 1 faça
    Para j ← i até Número_de_Bitolas faça
      Se ( Detalhe_em_Estudo[ i ].Asefetiva =
          Detalhe_em_Estudo[ j ].Asefetiva ) AND
          ( Detalhe_em_Estudo[ i ].φ >
            Detalhe_em_Estudo[ j ].φ )
        Então Troque( Detalhe_em_Estudo[ i ],
                      Detalhe_em_Estudo[ j ] ) ;
  Fim ;

```

Procedimento Verificação_do_Espaçamento_dos_Detalhes

```

  ( Detalhe_em_Estudo : Vet_Detalhe ;
    e_min : Real ;
    Impossível : Lógico ) ;

  Início
  Para i ← 1 até Número_de_Bitolas faça
    Com Detalhe_em_Estudo[ i ] faça
      Se Bitola_Ok
        Então
          Início
          Verificação_do_Espaçamento_das_Barras
            ( e_min, φ, Número_de_Barras,
              Camada_1, Camada_2 ) ;
          Se Camada_2 > Camada_1
            Então Bitola_Ok ← FALSO
            Sendo
              Se ( Camada_1 > 2 ) AND
                  ( Camada_2 = Camada_1 )
                Então Bitola_Ok ← FALSO ;
          Fim ;
      Verificação_da_Impossibilidade
        ( Detalhe_em_Estudo, Impossível ) ;
  Fim ;

```

Procedimento

```

  Verificação_do_Posicionamento_das_Barras_dos_Detalhes
  ( Detalhe_em_Estudo : Vet_Detalhe ) ;

  Início
  Para i ← 1 até Número_de_Bitolas faça
    Com Detalhe_em_Estudo[ i ] faça
      Se Bitola_Ok AND Ímpar( Camada_2 )
        Então
          Início
          Ajuste_do_Posicionamento_das_Barras
            ( Número_de_Barras, Camada_1, Camada_2,
              Asefetiva, Área_de_1_φ ) ;
          Fim ;

```

```

      |   | Se ( Camada_1 > 2 ) AND
      |   |   ( Camada_2 >= Camada_1 )
      |   |   Então Bitola_Ok ← FALSO ;
      |   | Fim ;
Fim ;

```

Procedimento Acrescente_uma_Barra
 (Detalhe_em_Estudo : Vet_Detalhe ;
 e_min : Real ;
 Impossível : Lógico) ;

```

Início
  | Para i ← 1 até Número_de_Bitolas faça
  |   Com Detalhe_em_Estudo[ i ] faça
  |     Início
  |       Bitola_Ok ← VERDADEIRO ;
  |       Número_de_Barras ← Número_de_Barras + 1 ;
  |       Asefetiva ← Número_de_Barras * Área_de_l_φ ;
  |       Se Número_de_Barras > Máximo_Número_de_Barras
  |         Então Bitola_Ok ← FALSO ;
  |     Fim ;
  |   Verificação_do_Espaçamento_dos_Detalhes
  |     ( Detalhe_em_Estudo, e_min, Impossível ) ;
  |   Verificação_do_Posicionamento_das_Barras_dos_Detalhes
  |     ( Detalhe_em_Estudo ) ;
  |   Verificação_da_Impossibilidade
  |     ( Detalhe_em_Estudo, Impossível ) ;
  |   Se NOT Impossível
  |     Então Ordenação_das_áreas_Efetivas
  |       ( Detalhe_em_Estudo ) ;
Fim ;

```

Seguem-se os algoritmos para detalhamento de uma seção principal :

Procedimento Verificação_do_Detalhe_Positivo ;

Variável

Detalhamento_Positivo_Ok : Lógico ;
 Eixos : Real ;

Início

```

  | Detalhamento_Positivo_OK ← FALSO ;
  | Repita
  |   | Ponteiro_Positivo ← 1 ;
  |   | Detalhe_Ok ← FALSE ;
  |   | Repita
  |   |   | Com Detalhe_Positivo[ Ponteiro_Positivo ] faça
  |   |   |   Se Bitola_Ok
  |   |   |     Então
  |   |   |       Início
  |   |   |         | Se Camada_2 = 0
  |   |   |           | Então Detalhe_Ok ← VERDADEIRO

```

```

Senão
  Início
    Eixos ←  $ev_{min} + 0.1 * \phi$  ;
     $CG_{da\_Armadura} \leftarrow \frac{Camada\_2}{Número\_de\_Barras} * Eixos$  ;
    Se  $CG_{da\_Armadura} \leq 0.05 * h$ 
      Então
        Início
           $d_{Auxiliar} \leftarrow d + CG_{da\_Armadura}$  ;
          Dimensionamento(  $As, As', d_{Auxiliar},$ 
                            $d', Momento$  ) ;
          Se  $Abs( As ) \leq 1.01 * Asefetiva$ 
            Então Detalhe_Ok ← VERDADEIRO ;
          Fim ;
        Fim ;
      Fim ;
    Fim ;
    Ponteiro_Positivo ← Ponteiro_Positivo + 1 ;
    Se ( Ponteiro_Positivo = NUMERO_DE_BITOLAS + 1 )
      AND ( NOT Detalhe_Ok )
      Então Ponteiro_Positivo = 10 ;      { forçando }
      { interrupção da repetição }
    Até Detalhe_Ok OR ( Ponteiro_Positivo = 10 ) ;

    Se Ponteiro_Positivo < 10
      Então Detalhamento_Positivo_Ok ← VERDADEIRO
    Senão
      Início
        Acrescente_uma_Barra
        ( Detalhe_Positivo,  $eh_{min}$ , Impossível ) ;
        Se NOT Impossível
          Então Detalhamento_Positivo_Ok ← VERDADEIRO ;
        Fim ;
      Até Detalhamento_Positivo_Ok OR Impossível ;
    Fim ;

```

Procedimento Verificação_do_Detalhe_Negativo ;

Variável

Detalhamento_Negativo_Ok : Lógico ;

Eixos : Real ;

Início

Detalhamento_Negativo_OK ← FALSO ;

Repita

Ponteiro_Negativo ← 1 ;

Detalhe_Ok ← FALSE ;

Repita

Com Detalhe_Negativo[Ponteiro_Negativo] faça

Se Bitola_Ok

Então

Início

Se Camada_2 = 0

Então Detalhe_Ok ← VERDADEIRO

```

        Sendo
        Início
        Eixos ← ev_min + 0.1 * φ ;
        CG_da_Armadura ←  $\frac{\text{Canada}_2}{\text{Número\_de\_Barras}}$  * Eixos ;
        Se CG_da_Armadura ≤ 0.05 * h
            Então
            Início
            d_Auxiliar ← d + CG_da_Armadura ;
            Dimensionamento( As, As', d_Auxiliar,
                d', Momento ) ;
            Se Abs( As' ) ≤ 1.01 * Asefetiva
                Então Detalhe_Ok ← VERDADEIRO ;
            Fim ;
        Fim ;
        Fim ;
        Ponteiro_Negativo ← Ponteiro_Negativo + 1 ;
        Se ( Ponteiro_Negativo = NÚMERO_DE_BITOLAS + 1 )
            AND ( NOT Detalhe_Ok )
            Então Ponteiro_Negativo = 10 ;      { forçando
                interrupção da repetição }
        Até Detalhe_Ok OR ( Ponteiro_Negativo = 10 ) ;

        Se Ponteiro_Negativo < 10
            Então Detalhamento_Negativo_Ok ← VERDADEIRO
        Sendo
        Início
        Acrescente_uma_Barra
            ( Detalhe_Negativo, 5.0, Impossível ) ;
        Se NOT Impossível
            Então Detalhamento_Negativo_Ok ← VERDADEIRO ;
        Fim ;
        Até Detalhamento_Negativo_Ok OR Impossível ;
    Fim ;

```

Procedimento Detalhamento(As, As') ;

```

    Início
    Determinação_do_Número_Inicial_de_Barras
        ( As, Detalhe_Positivo, Impossível ) ;
    Se Impossível
        Então "conclui-se a exec. e alteram-se as dimensões"
    Verificação_do_Espaçamento_do_Detalhe
        ( Detalhe_Positivo, eh_min, Impossível ) ;
    Se Impossível
        Então "conclui-se a exec. e alteram-se as dimensões"
    Verificação_do_Posicionamento_das_Barras_dos_Detalhes
        ( Detalhe_Positivo ) ;
    Ordenação_das_Áreas_Efetivas( Detalhe_Positivo ) ;
    Dimensionamento_Ok ← FALSE ;

```

Repete

d_Auxiliar ← D_INICIAL ;

Verificação_do_Detalhe_Positivo ;

Se Impossível

Então "conclui-se a exec. e alteram-se as dimensões"

Determinação_do_Número_Inicial_de_Barras

(As', Detalhe_Negativo, Impossível) ;

Se Impossível

Então "conclui-se a exec. e alteram-se as dimensões"

Verificação_do_Espacamento_do_Detalhe

(Detalhe_Negativo, 5.0, Impossível) ;

Se Impossível

Então "conclui-se a exec. e alteram-se as dimensões"

Verificação_do_Posicionamento_das_Barras_dos_Detalhes

(Detalhe_Negativo) ;

Ordenação_das_Áreas_Efetivas(Detalhe_Negativo) ;

Verificação_do_Detalhe_Negativo ;

Se Impossível

Então "conclui-se a exec. e alteram-se as dimensões"

Se $Abs(As) \leq 1.01 *$

Detalhe_Positivo[Ponteiro_Positivo - 1].Asefetiva

Então Dimensionamento_Ok ← VERDADEIRO

Senão Acrescente_uma_Barra

(Detalhe_Positivo, eh_min, Impossível) ;

Até Dimensionamento_Ok ;

{ os índices das bitolas ótimas nos detalhes

(ponteiro - 1) são trocados pelo primeiros índices }

Troque(Detalhe_Positivo[1],

Detalhe_Positivo[Ponteiro_Positivo - 1]) ;

Troque(Detalhe_Negativo[1],

Detalhe_Negativo[Ponteiro_Negativo - 1]) ;

Fim ;

3.5.2.3 - Preparação dos esforços

A preparação dos esforços nas seções, consiste na criação da envoltória dos mesmos, superpondo-se os diagramas correspondentes a cada carregamento, considerando-se como ações : cargas distribuídas, forças verticais e momentos concentrados em pontos ao longo dos tramos, momentos aplicados nas extremidades dos tramos (os obtidos pela análise em regime elástico), e também momentos fletores aplicados nas extremidades, iguais aos de engastamentos perfeitos (neste caso, só têm interesse os momentos fletores positivos ao longo de um tramo). Todas as ações atuantes, para cada carregamento, têm seus valores majorados pelos respectivos coeficientes. Com a envoltória dos esforços, dimensionam-se as seções principais, obtendo-se os valores de a_l , que servem para deslocar-se o diagrama de momentos fletores final.

Para a definição das cargas, um tramo é dividido em pontos e trechos, sendo que cada trecho corresponde a um elemento da grelha, e cada ponto, aos extremos de cada elemento. Primeiramente são obtidos os esforços nos pontos à esquerda de cada trecho. Com eles têm-se em cada trecho a carga uniformemente distribuída, os momentos fletores, os torçores e as forças cortantes nas extremidades, sendo, portanto, possível determinarem-se os esforços em qualquer outro ponto, assim como os esforços extremos e os pontos onde ocorrem.

A equação dos momentos fletores $M(x)$ em um trecho, de acordo com a Fig. 27, apresenta a seguinte forma :

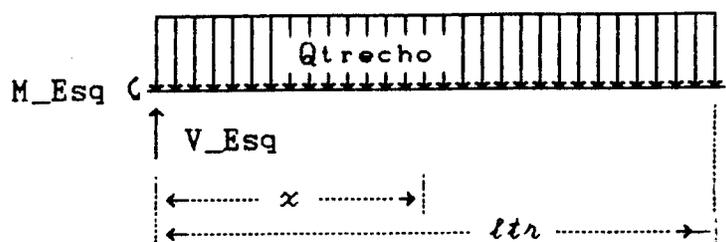


Fig. 27 - Ações suficientes em um trecho para se determinar a equação dos momentos fletores.

$$M(x) = M_{\text{Esq}} + V_{\text{Esq}} * x - \frac{Q_{\text{trecho}} * x^2}{2} \quad (1)$$

O momento no trecho tem seu valor máximo no ponto onde a derivada é nula, ou seja

$$\frac{dM(x_{\text{máx}})}{dx} = V_{\text{Esq}} - Q_{\text{trecho}} * x_{\text{máx}} = 0$$

logo

$$x_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{Esq}}}{Q_{\text{trecho}}}, \text{ e}$$

$$M(x_{\text{máx}}) = M_{\text{Esq}} + \frac{V_{\text{Esq}}^2}{2 * Q_{\text{trecho}}}$$

Os pontos de momento nulo são as raízes da equação de $M(x)$. Se a carga distribuída for nula, a equação dos momentos $M(x)$, é linear, portanto, com somente uma raiz real. Observa-se que se o valor da carga no trecho for nulo, $x_{\text{máx}}$ pode assumir valores ∞ ou $-\infty$, ou seja fora do domínio do trecho. Para o caso particular de trechos descarregados ou outros quaisquer que forneçam pontos fora do trecho, adotam-se os valores da extremidade no sentido fornecido pelas equações (trecho \rightarrow ponto). Em um tramo existem no máximo 2 pontos com momento nulo, como foi mostrado anteriormente.

A equação das forças cortantes no trecho,

de acordo com a Figura 27, é :

$$V(x) = V_{\text{Esq}} - Q_{\text{trecho}} \times x \quad (2)$$

Como não são admitidas ações do tipo momentos torçores distribuídos ao longo de um trecho, as solicitações desta natureza, que poderiam ser variáveis de um trecho para outro, são admitidas constantes ao longo de um tramo (simplificação adotada). Toma-se o maior momento torçor (em valor absoluto) como solicitação genérica para o dimensionamento, para qualquer seção do tramo.

Sendo uma vez conhecidos para cada trecho, a posição inicial, o valor da carga vertical uniformemente distribuída, e o esforço na extremidade esquerda, dado um ponto qualquer em um tramo, é possível identificarem-se o trecho, a posição relativa do ponto neste trecho e os esforços neste ponto.

Nos algoritmos que se seguem, é mostrada primeiramente, a maneira de se obter os momentos fletores e as forças cortantes à esquerda de cada trecho. A partir desses valores, utilizando-se as equações (1) e (2) válidas para um dado trecho, pode-se obter os mesmos esforços nas seções contidas neste trecho. Pela Fig. 28, nota-se que o índice de um ponto à esquerda de um trecho i , é $i - 1$.

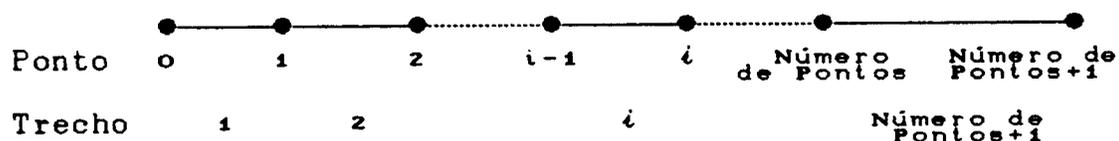


Fig. 28 - Dependência entre os índices de um ponto e de um trecho.

Em seguida, são apresentadas as variáveis


```

Se Pto_de_Máx_Trecho ≤ 0.0
  Então
    Início
      Mom_Máx_Trecho ← M_Esq ;
      Pto_de_Máx_Trecho ← 0.0 ;
    Fim
  Senão
    Se Pto_de_Máx_Trecho ≤ 0.0
      Então
        Início
          Mom_Máx_Trecho ← M_Dir ;
          Pto_de_Máx_Trecho ← Ltr ;
        Fim
      Senão
        Mom_Máx_Trecho ← M_Esq +  $\frac{V\_Esq^2}{2 * Q[ Trecho ]}$ ;
    Fim
  Senão
    Se M_Esq > M_Dir
      Então
        Início
          Mom_Máx_Trecho ← M_Esq ;
          Pto_de_Máx_Trecho ← 0.0
        Fim
      Senão
        Início
          Mom_Máx_Trecho ← M_Dir ;
          Pto_de_Máx_Trecho ← Ltr ;
        Fim ;
    Se Mom_Máx_Trecho > Mom_Máx
      Então
        Início
          Mom_Máx ← Mom_Máx_Trecho ;
          Pto_de_Máx ← L[ Trecho - 1 ] +
            Pto_de_Máx_Trecho ;
        Fim ;
    Se Q[ Trecho ≠ 0.0
      Então
        Início
          A ← -0.5 * Q[ Trecho ] ;
          B ← V_Esq ;
          Δ ← B2 - 4 * A * M_Esq ;
          Se Δ ≥ 0.0
            Então
              Início
                Nulo_Esq_Trecho ←  $\frac{B - \Delta}{2 * A}$  ;
                Nulo_Esq_Trecho ←  $\frac{B + \Delta}{2 * A}$  ;
              Fim
        Fim
    Fim

```

```

      Senão
        Início
          Nulo_Esq_Trecho ← 0.0 ;
          Nulo_Dir_Trecho ← Ltr ;
        Fim ;
      Fim
    Senão
      Início
        Se M_Dir ≠ M_Esq
          Então
            Nulo_Trecho ←  $\frac{M\_Esq * Ltr}{M\_Dir - M\_Esq}$ 
            Senão Nulo_Trecho ← ∞ ;
          Se M_Dir > M_Esq
            Então
              Início
                Nulo_Esq_Trecho ← Nulo_Trecho ;
                Nulo_Dir_Trecho ← ∞ ;
              Fim
            Senão
              Início
                Nulo_Esq_Trecho ← -∞ ;
                Nulo_Dir_Trecho ← Nulo_Trecho ;
              Fim ;
          Fim ;
        Se Contido( Nulo_Esq_Trecho, Ltr )
          Então Nulo_Esq ← L[ Trecho - 1 ] + Nulo_Esq_Trecho ;
        Se Contido( Nulo_Dir_Trecho, Ltr )
          Então Nulo_Dir ← L[ Trecho - 1 ] + Nulo_Dir_Trecho ;
      Fim ;
    Fim ;

```

Procedimento Gere_Esforc(Carreg_Atual : Inteiro ;
M&P : Lógico) ;

Variável

Mf : Real ;

Início

Com Tramo[Tramo_Atual], Esforço[Carreg_Atual],
Carga faça

Início

Se M&P { momentos de extr. são de eng. perf. }

Então

Início

Mf ← 0.0 ;

Para Ponto ← Número_de_Pontos até 0 faça (-1)

Mf ← Mf + P[Ponto] * (Vão - L[Ponto]) -
M_a[Ponto] ;

```

    Para Trecho ← Número_de_Pontos+1 até 1 faça (-1)
      Início
        Ltr ← L[ Trecho ] - L[ Trecho - 1 ] ;
        Mf ← Mf + Q[ Trecho ] * Ltr *
            ( Vao - 0.5 * Ltr ) ;
        Fim ;
      Ve ← Mf / Vão ;
    Fim ;

    Mom_Máx ← -∞ ;
    Mp[ 0 ] ← M_a[ 0 ] ;
    Mp[ Número_de_Pontos + 1 ] ← 0.0 ;
    Vp[ 0 ] ← Ve ;

    Para Ponto ← 1 até Número_de_Pontos faça
      Calcule_no_Ponto( Ponto ) ;

    Determine_Momento_Máximo_e_Posições_de_Momentos_Nulos;

    Espaço ← Vão / 20 ;
    Seção ← 0 ;
    M[ 0 ] ← Mp[ 0 ] ;
    V[ 0 ] ← Vp[ 0 ] ;
    T[ 0 ] ← Tt ;
    Para Trecho ← 1 até Número_de_Pontos + 1 faça
      Início
        Se Trecho = 1
          Então x ← 0.0
          Senão x ← Seção * Espaço - L[ Trecho - 1 ] ;
        Seção_Final ← Trunc( L[ Trecho ] / Espaço ) ;
        Para Seção ← Seção + 1 até Seção_Final faça
          Início
            x ← x + Espaço ;
            M[ Seção ] ← Mp[ Trecho - 1 ] +
                Vp[ Trecho - 1 ] * x -
                0.5 * Q[ Trecho ] * x2 ;
            V[ Seção ] ← Vp[ Trecho - 1 ] -
                Q[ Trecho ] * x ;
            T[ Seção ] ← Tt[ Trecho ] ;
          Fim ;
        Fim ;
      Para Seção ← 0 até 20 faça
        Se MNP AND ( M[ Seção ] < 0.0 )
          Então M[ Seção ] ← 0.0 ;

    Tramo_Negativo ← ( Mom_Máx < 0.0 ) ;
  Fim ;
Fim ;

```

Para um dado caso de carregamento i , são gerados dois diagramas de esforços : um de índice 2_{i-1}

(esforços nas extremidades dos tramos obtidos na análise da grelha) e outro de índice $2i$ (esforços de engastamento perfeito).

O índice que referencia um apoio é o índice do tramo à direita menos 1, ou seja o primeiro apoio tem índice 0 e o último, índice *Número_de_Tramos*.

O procedimento principal para a preparação dos esforços é dado a seguir :

Procedimento Preparação_dos_Esforços ;

Início

Para Tramo_Atual \leftarrow 1 até Número_de_Tramos faça

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Para Carreg_Atual \leftarrow 1 até Número_de_Carreg faça

Início

Leia_Cargas ; { fornecidos pela análise }

Gere_Esforços(2 * Carreg_Atual - 1, FALSO) ;

Gere_Momentos_de_Engastamento_Perfeito ;

Gere_Esforços(2 * Carreg_Atual, VERDADEIRO) ;

Fim ;

Arredondamento_dos_Momentos_Negativos_sobre_os_Apoio ;

Cort_Esq \leftarrow 0.0 ;

Cort_Dir \leftarrow 0.0 ;

M_Neg_Esq \leftarrow 0.0 ;

M_Neg_Dir \leftarrow 0.0 ;

M_Pos_Esq \leftarrow 0.0 ;

M_Pos_Dir \leftarrow 0.0 ;

Momento_Máximo \leftarrow 0.0 ;

Para Tramo_Atual \leftarrow 1 até Número_de_Tramos faça

Para Carreg_Atual \leftarrow 1 até 2 * Número_de_Carreg faça

Com Tramo[Tramo_Atual], Esforço[Carreg_Atual] faça

Início

Cort_Esq \leftarrow Maior(Cort_Esq, Abs(V[0])) ;

Cort_Dir \leftarrow Maior(Cort_Dir, Abs(V[20])) ;

M_Neg_Esq \leftarrow Menor(M_Neg_Esq, M[0]) ;

M_Neg_Dir \leftarrow Menor(M_Neg_Dir, M[20]) ;

M_Pos_Esq \leftarrow Maior(M_Pos_Esq, M[0]) ;

M_Pos_Dir \leftarrow Maior(M_Pos_Dir, M[20]) ;

Se Momento_Máximo $<$ Mom_Max

Então

Início

Momento_Máximo \leftarrow Mom_Max ;

Ponto_de_Máximo \leftarrow Pto_de_Máx ;

Fim ;

Fim ;

```

Se Apoio_Esquerdo <> BALANÇO
  Então Detalhamento_Negativo_do_Apoio_Extremo( 1, 0 ) ;

Se Numero_de_Tramos > 1
  Então Para Apoio_Atual ← 1 até Numero_de_Tramos - 1 faça
    Detalhamento_Negativo_do_Apoio_Intermediário ;

Se Apoio_Direito <> BALANÇO
  Então Detalhamento_Negativo_do_Apoio_Extremo
    ( Numero_de_Tramos, 20 ) ;

Para Tramo_Atual ← 1 até Numero_de_Tramos faça
  Início
  | Armação_Positiva_nas_Seções_de_Mom_Máximo_e_Apoios;
  | Para Carreg_Atual ← 1 até 2 * Numero_de_Carreg faça
  |   Deslocamento_do_Diagrama_e_Criação_da_Envoltória ;
  |   Verificação_de_Tramo_Negativo ;
  | Fim ;

Se Apoio_Direito = BALANÇO
  Então Com Tramo[ Numero_de_Tramos ] faça
  Início
  |  $\phi$ _Negativo_Direito ←  $\phi$ _Negativo_Esquerdo ;
  | As_ $\phi$ _Negativo_Direito ← As_ $\phi$ _Negativo_Esquerdo ;
  | Cd1[ 20 ] ← 2 ;
  | Cd2[ 20 ] ← 0 ;
  | C3[ 20 ] ← C3[ Seção_de_Momento_Máximo ] ;
  | C4[ 20 ] ← C4[ Seção_de_Momento_Máximo ] ;
  | Anc_Neg_Dir_Ap ← ANC_GANCHO ;
  | Anc_Pos_Dir_Ap ← ANC_GANCHO ;
  | Gancho_Negativo_Direito ← 8 *  $\phi$ _Negativo_Direito;
  | Gancho_Positivo_Direito ← 8 *  $\phi$ _Positivo_Direito;
  | Tramo_Negativo ← VERDADEIRO ;
  | Fim ;

Se Apoio_Esquerdo = BALANÇO
  Então Com Tramo[ 1 ] faça
  Início
  |  $\phi$ _Negativo_Esquerdo ←  $\phi$ _Negativo_Direito ;
  | As_ $\phi$ _Negativo_Esquerdo ← As_ $\phi$ _Negativo_Direito ;
  | Cd1[ 0 ] ← 2 ;
  | Cd2[ 0 ] ← 0 ;
  | C3[ 0 ] ← C3[ Seção_de_Momento_Máximo ] ;
  | C4[ 0 ] ← C4[ Seção_de_Momento_Máximo ] ;
  | Anc_Neg_Esq_Ap ← ANC_GANCHO ;
  | Anc_Pos_Esq_Ap ← ANC_GANCHO ;
  | Gancho_Negativo_Esquerdo ← 8 *  $\phi$ _Negativo_Direito;
  | Gancho_Positivo_Esquerdo ← 8 *  $\phi$ _Positivo_Direito;
  | Tramo_Negativo ← VERDADEIRO ;
  | Fim ;

  Determinação_das_Seções_de_Momentos_Negativos_Nulos ;

Fim ;

```

Após a geração dos diagramas de momentos fletores, pode-se diminuir os valores dos momentos negativos sobre os apoios, interpolando-se parabolicamente, a partir dos valores dos momentos nas faces dos apoios, e também do valor obtido pela média entre o momento sobre o nó de apoio e um valor interpolado linearmente entre os momentos nas faces, também no ponto em que se situa o nó de apoio (Fig. 29).

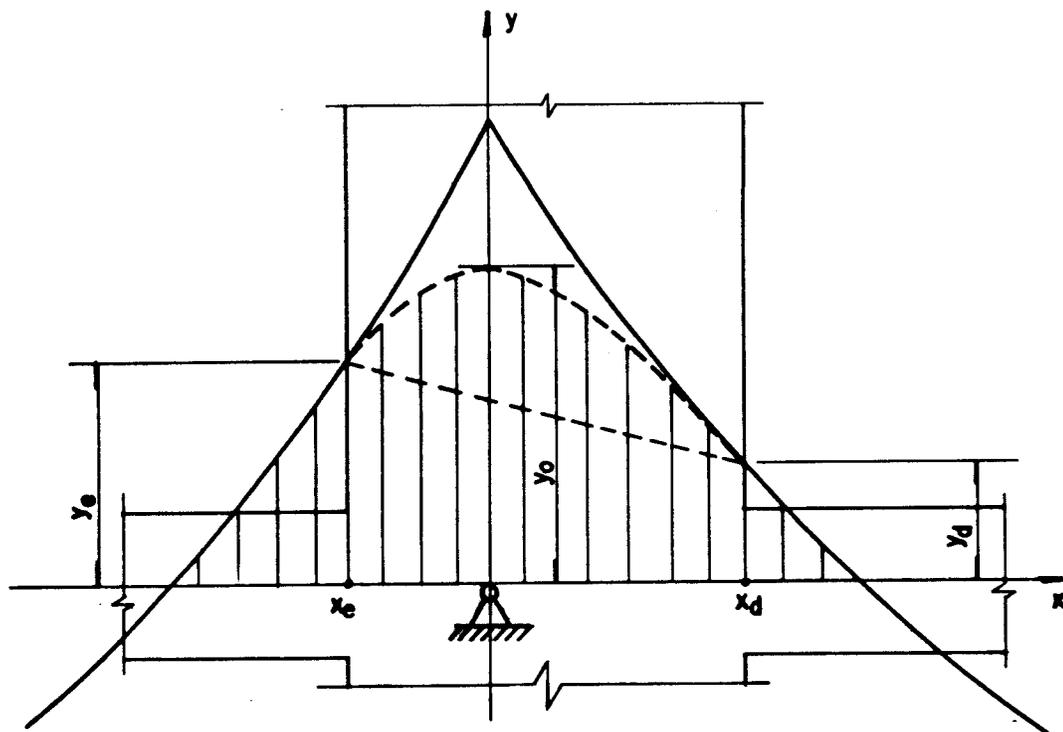


Fig. 29 - Momentos negativos sobre apoios.

Momentos entre duas seções são obtidos considerando-se que esses valores variam linearmente, usando-se a função M_i , cujos parâmetros são os momentos nas seções, a distância entre duas seções consecutivas e a posição relativa entre o ponto e a seção à esquerda (Fig. 30).


```

Se Tramo_Atual = 1
  Então
    Início
      | xe ← - Maior( Pee, Aee ) ;
      | ye ← 0.0 ;
    Fim
    Senão Com Tramo[ Tramo_Atual - 1 ],
      Esforço[ 2 * Carreg_Atual - 1 ] faça
      Início
        | y0 ← Menor( y0, M[ 20 ] ) ;
        | Larg_Ap_Dir ← Maior( Pd, Ad ) ;
        | Se Larg_Ap_Dir > 0
          | Então
            | Início
              | Seção_1_Esq ←
                |   ( Vão - Larg_Ap_Dir ) / Espaço ;
              | x ← ( 20 - Seção_1_Esq ) * Espaço -
                |   Larg_Ap_Dir ;
              | ye ← Mi( M[ Seção_1_Esq ],
                |   M[ Seção_1_Esq + 1 ],
                |   Espaço, x ) ;
              | xe ← - Larg_Ap_Dir ;
            | Fim
          | Senão xe ← 0.0 ;
        | Fim ;
    Se Tramo_Atual = Número_de_Tranos + 1
      Então
        Início
          | xd ← Maior( Ped, Aed ) ;
          | yd ← 0.0 ;
        Fim
        Senão
          Início
            | Larg_Ap_Esq ← Maior( Pe, Ae ) ;
            | Se Larg_Ap_Esq > 0
              | Então
                | Início
                  | Seção_1_Dir ← Larg_Ap_Dir / Espaço ;
                  | x ← Larg_Ap_Esq -
                    |   Seção_1_Esq * Espaço ;
                  | yd ← Mi( M[ Seção_1_Esq ],
                    |   M[ Seção_1_Esq + 1 ],
                    |   Espaço, x ) ;
                  | xd ← Larg_Ap_Esq ;
                | Fim
              | Senão xd ← 0.0 ;
            | Fim ;
  
$$y0 \leftarrow \frac{1}{2} * \left[ ye - xe * \frac{( yd - ye )}{( xd - xe )} + y0 \right]$$


```

```

Se( y0 < 0.0 ) AND ( xe < 0.0 ) AND ( xd > 0.0 )
Então
  Início
    A ←  $\frac{1}{xd} * \left( \frac{ye - y0}{xe} - \frac{yd - y0}{xd} \right) * \frac{1}{xe - xd}$  ;
    B ←  $\frac{ye - y0}{xe} - A * xe$  ;

    Se Tramo_Atual ≤ Número_de_Tramos
      Então
        Início
          Seção ← -1 ;
          Repita
            Seção ← Seção + 1 ;
            x := Seção * Espaço ;

            Momento ← A * x2 + B * x + y0 ;
            Se ( x < xd ) AND
              ( M[ Seção ] < Momento
                Então M[ Seção ] ← Momento ;
            Até x > xd ;
          Fim ;

        Se Tramo_Atual > 1
          Então
            Início
              Seção ← 21 ;
              Repita
                Seção ← Seção - 1 ;
                x := - ( 20 - Seção ) * Espaço ;

                Momento ← A * x2 + B * x + y0 ;
                Se ( x > xe ) AND
                  ( M[ Seção ] < Momento
                    Então M[ Seção ] ← Momento ;
                Até x < xe ;
              Fim ;
            Fim ;

          Fim ;
        { bloco with tramo, carreg }
      Fim ;
    { Procedimento }
  Fim ;

```

O detalhamento da armadura negativa nos apoios extremos é dependente de dois parâmetros : o maior momento fletor negativo (em valor absoluto) dentre os vários casos de carregamento e a largura do apoio disponível para a ancoragem das barras. Note-se que o deslocamento do diagrama de momentos fletores, não altera

o valor do momento no apoio. Consideram-se 3 tipos de ancoragem possíveis : ancoragem reta, ancoragem com gancho e ancoragem com laço (Figura 31). A variável lb_1 contém um valor que multiplicado pelo diâmetro da barra fornece o comprimento de ancoragem para a tensão na armadura igual a f_{yd} , enquanto $lb_{máx}$ contém o comprimento de ancoragem para a tensão máxima imposta ($\sigma_{s\ máx}$), sendo seu valor menor ou igual a f_{yd} . Consideram-se também, dois tipos de solicitação : momento negativo "grande", que é aquele que necessita para o equilíbrio, uma armadura cuja taxa ($A_s/(b \times d)$) seja maior que 0,3%, e momento negativo "pequeno", quando ocorre o caso contrário. Para o caso de momento negativo pequeno, adotam-se ganchos para ancorar as armaduras e para o caso de momentos negativos grandes, o algoritmo consiste em se impor inicialmente a tensão no aço o valor f_{yd} , dimensionar e detalhar a seção (obter os valores de A_s , A_s' e distribuir a armadura com a bitola comercial mais econômica, conforme parágrafos anteriores). Com a bitola comercial escolhida e a tensão $\sigma_{s\ máx}$, obtém-se o comprimento $lb_{máx}$. Com o comprimento de ancoragem necessário e a largura disponível do apoio, busca-se o tipo de ancoragem possível. Na impossibilidade de ancoragem, repete-se o procedimento diminuindo o valor de $\sigma_{s\ máx}$. O processo iterativo termina quando se consegue ancorar as barras no apoio com uma das tres formas indicadas na Fig. 31, ou quando o comprimento $lb_{máx}$ atinge um valor menor que 10 vezes o diâmetro da barra adotada, caso este que encerra todo o processo e obriga a redefinição da geometria da estrutura.

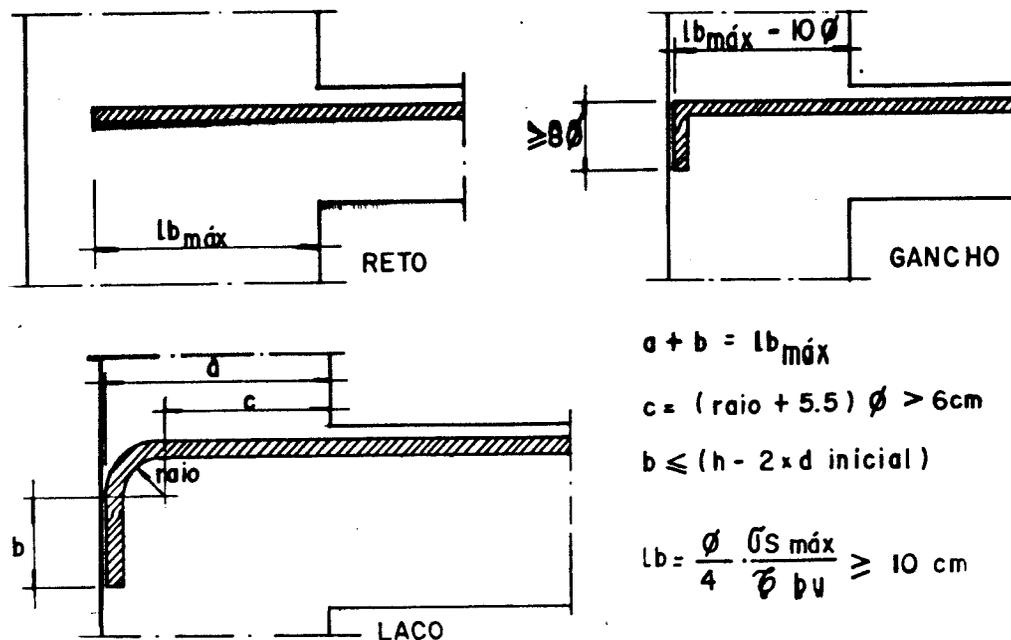


Fig. 31 - Tipos de ancoragem nos apoios extremos

Seguem-se os procedimentos para detalhamento da armadura negativa sobre os apoios extremos :

```

Funcão Tipo_de_Ancoragem( φ, lb, Larg_Ap, Gancho : Real );
Variável
Trecho_Reto_Mínimo, Trecho_Horizontal : Real ;
Início
Trecho_Reto_Mínimo ←
Menor( ( Raio + 5.5 ) * 0.1 * φ, 6 ) ;
Trecho_Horizontal ← Trecho_Reto_Mínimo +
Raio_Laço * 0.1 * φ ;
Larg_Ap ← Larg_Ap - Cobrimento_Lateral ;
Se Larg_Ap ≥ lb
Então
Início
Tipo_de_Ancoragem ← ANC_RETA ;
Gancho ← 0.0 ;
Fim
Senão
Início
lb ← lb - φ ;
Se Larg_Ap ≥ lb
Então
Início
Tipo_de_Ancoragem ← ANC_GANCHO ;
Gancho ← 0.8 * φ ;
Fim
    
```

```

      Senão
        Início
          Gancho ← lb - Trecho_Horizontal ;
          Se ( Larg_Ap ≥ Trecho_Horizontal ) AND
            ( Gancho ≤ h - 2 * D_INICIAL )
            Então
              Início
                Tipo_de_Ancoragem ← Anc_Laço ;
                Gancho ← Maior( Gancho, 0.8 * φ ) ;
              Fim
            Senão Tipo_de_Ancoragem ←
              APOIO_MUITO_ESTREITO ;
          Fim ;
        Fim ;
      Fim ;

```

Procedimento Verificação_de_Bitola_Minima
 (Detalhe_em_Estudo : Tipo_Detalhe ;
 φ_Minimo : Real) ;

Variável

Detalhe_Aux : Tipo_Detalhe ;
 i : Inteiro ;

Início

Se Detalhe_em_Estudo[1].φ < φ_Minimo ;

Então

Início

i := 1

Repita

| i ← i + 1 ;

Até φ_Minimo = Detalhe_em_Estudo[i].φ ;

Detalhe_Aux ← Detalhe_em_Estudo[1] ;

Detalhe_em_Estudo[1] ← Detalhe_em_Estudo[i] ;

Detalhe_em_Estudo[i] ← Detalhe_Aux ;

Detalhe_em_Estudo[i].Bitola_Ok ← FALSO ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento Imposição_de_Sinal(Momento : Real) ;
 { indicação de qual armadura será tracionada para
 verificar fissuração }

Início

Se Momento < 0.0

Então

Para i ← 1 até NUMERO_DE_BITOLAS faça

Início

| Detalhe_Positivo[i].Sinal ← '+' ;

| Detalhe_Negativo[i].Sinal ← '-' ;

Fim

```

Senão
  Para i ← 1 até NÚMERO_DE_BITOLAS faça
    Início
    | Detalhe_Positivo[ i ].Sinal ← '-';
    | Detalhe_Negativo[ i ].Sinal ← '+';
    Fim
Fim;

```

Procedimento Verifique_Zona_de_Aderência(ll : Real);

```

Início
| Se  $h > 30$ 
|   Então  $ll \leftarrow 1.5 * ll$ ;
Fim;

```

Procedimento Detalhamento_Negativo_do_Apoio_Extremo
(Tramo_Atual, Seção_de_Apoio : Inteiro);

Variável

```

M_Neg_Ap, Larg_Ap, Gancho_Negativo,
 $\phi$ _Neg, As_ $\phi$ _Neg,  $l_{b\max}$ , As_Comp : Real;
Cam_1, Cam_2 : Inteiro;
Momento_Pequeno, Apoio_Ok : Lógico;
Anc_Ap : Tipo_Anc_Ap;

```

Início

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Início

Se Seção_de_Apoio = 0

Então

Início

| M_Neg_Ap ← M_Neg_Esq;

| Apoio_Atual ← 0;

| Larg_Ap ← Maior(Pee, Aee) + Maior(Pe, Ae);

Fim

Senão

Início

| M_Neg_Ap ← M_Neg_Dir;

| Apoio_Atual ← Número_de_Tramos;

| Larg_Ap ← Maior(Ped, Aed) + Maior(Pd, Ad);

Fim;

Se Tramo_Torcido

Então ϕ _Mínimo ← 10.0

Senão ϕ _Mínimo ← 5.0;

$\sigma_{sm\max} \leftarrow f_{yd}$;

Momento ← M_Neg_Ap;

Torçor ← Mt[Seção_de_Apoio];

Repita

| Inicialize_d;

| Dimensionamento(As, As', d, d', Momento, Torçor);

| Imposição_de_Sinal(Momento);

| Detalhamento(Detalhe_Positivo, Detalhe_Negativo,
As, As');

```

Se Abs( As ) > 0.0
  Então As_Compr ← As
  Senão As_Compr ← As' ;

Verificação_de_Bitola_Minima
  ( Detalhe_Negativo, φ_Minimo ) ;
Com Detalhe_Negativo[ 1 ] faça
  Início
    φ_Neg ← φ ;
    As_φ_Neg ← Área_de_1_φ ;
    Cam_1 ← Camada_1 ;
    Cam_2 ← Camada_2 ;
    Apoio_Ok ← VERDADEIRO ;
  Fim ;

Momento_Pequeno ←
  Abs( As' ) / ( bw * ( h - D_INICIAL ) ) ≤ 0.003;
ℓℓ1máx ← φ_Neg * σsmáx / ( 40 * τbu ) ;

Se ℓℓ1máx < φ_Neg { ℓℓ1máx em cm, e φ em mm }
  Então Aborto ;

Verifique_Zona_de_Aderência( ℓℓ1máx ) ;
Anc_Ap ← Tipo_de_Ancoragem( φ_Neg, ℓℓ1máx, Larg_Ap,
  Gancho_Negativo ) ;
Apoio_Ok ← Momento_Pequeno ;

Se Momento_Pequeno AND
  ( Anc_Ap = APOIO_MUITO_ESTREITO )
  Então Anc_Ap ← ANC_GANCHO ;

Se NOT Momento_Pequeno
  Então Apoio_Ok ← Anc_Ap ≠ APOIO_MUITO_ESTREITO ;

Se NOT Apoio_Ok
  Então σsmáx ← 0.9 * σsmáx ;
Até Apoio_Ok ;

Se Seção_de_Apoio = 0
  Então
    Início
      φ_Negativo_Esquerdo ← φ_Neg ;
      As_φ_Negativo_Esquerdo ← As_φ_Neg ;
      As_Compr_Esq ← As_Compr ;
      Ce1[ 0 ] ← Cam_1 ;
      Ce2[ 0 ] ← Cam_2 ;
      Anc_Neg_Esq_Ap ← Anc_Ap ;
      Larg_Ap_Esq ← Larg_Ap ;
      Momento_Neg_Esq_Pequeno ← Momento_Pequeno ;
      Gancho_Negativo_Esquerdo ← Gancho_Negativo ;
    Fim

```

```

Senão
  Início
     $\phi_{\text{Negativo\_Direito}} \leftarrow \phi_{\text{Neg}} ;$ 
     $As_{\phi_{\text{Negativo\_Direito}}} \leftarrow As_{\phi_{\text{Neg}}} ;$ 
     $As_{\text{Compr\_Dir}} \leftarrow As_{\text{Compr}} ;$ 
     $Cd1[ 20 ] \leftarrow Cam_1 ;$ 
     $Cd2[ 20 ] \leftarrow Cam_2 ;$ 
     $Anc_{\text{Neg\_Dir\_Ap}} \leftarrow Anc_{\text{Ap}} ;$ 
     $Larg_{\text{Ap\_Dir}} \leftarrow Larg_{\text{Ap}} ;$ 
     $Momento_{\text{Neg\_Dir\_Pequeno}} \leftarrow Momento_{\text{Pequeno}} ;$ 
     $Gancho_{\text{Negativo\_Direito}} \leftarrow Gancho_{\text{Negativo}} ;$ 
  Fim ;
Fim ;

```

O detalhamento das armaduras negativas sobre um apoio intermediário (no caso de vigas com mais de um tramo) é feito tomando-se o maior momento fletor negativo (em valor absoluto) dentre os vários casos de carregamentos, considerando-se as duas seções comuns aos tramos consecutivos e coincidentes no nó de apoio (seção 20 do tramo à esquerda do apoio, e seção 0 do tramo à direita). O mesmo é feito para o momento torçor. Considera-se como tramo de referência, aquele situado à esquerda do apoio. A seguir, são apresentados os algoritmos referentes ao detalhamento da armadura negativa sobre um apoio intermediário.

Procedimento Detalhamento_Negativo_do_Apoio_Intermediário;

```

Início
  Tramo_Atual  $\leftarrow$  Apoio_Atual ;
  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Início
      Se Tramo_Torcido OR
        Tramo[ Tramo_Atual + 1 ].Tramo_Torcido
        Então  $\phi_{\text{Mínimo}} \leftarrow 10.0$ 
        Senão  $\phi_{\text{Mínimo}} \leftarrow 5.0 ;$ 
         $Momento \leftarrow$  Menor(  $M_{\text{Neg\_Dir}}$ ,
          Tramo[ Tramo_Atual + 1 ]. $M_{\text{Neg\_Esq}}$  ) ;
         $Torçor \leftarrow$  Maior(  $MT[ 20 ]$ ,
          Tramo[ Tramo_Atual + 1 ]. $MT[ 0 ]$  ) ;
        Inicialize_d ;
        Dimensionamento(  $As$ ,  $As'$ ,  $d$ ,  $d'$ ,  $Momento$ ,  $Torçor$  ) ;
        Imposição_de_Sinal(  $Momento$  ) ;
        Detalhamento( Detalhe_Positivo, Detalhe_Negativo,
           $As$ ,  $As'$  ) ;
    Fim ;
  Fim ;

```

```

Verificação_de_Bitola_Minima( Detalhe_Negativo,
                                $\phi$ _Mínimo ) ;
Com Detalhe_Negativo[ 1 ] faça
  Início
     $\phi$ _Negativo_Direito  $\leftarrow \phi$  ;
    As_ $\phi$ _Negativo_Direito  $\leftarrow$  Área_de_1_ $\phi$  ;
    Cd1[ 20 ]  $\leftarrow$  Camada_1 ;
    Cd2[ 20 ]  $\leftarrow$  Camada_2 ;
    Com Tramo[ Tramo_Atual + 1 ] faça
      Início
         $\phi$ _Negativo_Esquerdo  $\leftarrow \phi$  ;
        As_ $\phi$ _Negativo_Esquerdo  $\leftarrow$  Área_de_1_ $\phi$  ;
        Ce1[ 0 ]  $\leftarrow$  Camada_1 ;
        Ce2[ 0 ]  $\leftarrow$  Camada_2 ;
      Fim ;
    Fim ;
  Fim ;
Fim ;

```

Descrevem-se agora os itens necessários ao detalhamento das armaduras positivas de um tramo :

- dimensiona-se a armadura necessária ao equilíbrio da seção de momento máximo positivo ;

- escolhe-se a bitola comercial ótima segundo os critérios anteriormente citados. Caso numa seção de apoio, a armadura inferior seja comprimida (para evitar-se que a linha neutra se situe no domínio 4), o diâmetro mínimo de uma barra da armadura será de 10 milímetros, assim como no caso de ocorrência de momento torçor significativo (este diâmetro mínimo também será adotado para a armadura porta estribo, caso o momento máximo seja maior que o momento limite) ;

- com a bitola escolhida, tenta-se detalhar as seções de apoios. Caso não seja possível, escolhe-se outra bitola. Não sendo possível detalharem-se as armaduras nos apoios com as bitolas comerciais disponíveis, conclui-se o processo, que só poderá ser reiniciado após redefinição da geometria (aumento das dimensões dos apoios).

Também como no caso da armadura negativa no apoio, a armadura positiva tem como parâmetro a largura do mesmo. Usa-se o mesmo procedimento : para uma dada bitola,

impõem-se inicialmente para a tensão na armadura o valor f_{yd} , e se necessário, diminui-se gradualmente a tensão até se conseguir qualquer um dos tipos de ancoragem citados anteriormente. Também, se não for possível, descarta-se a bitola, e se impossível para todas as bitolas disponíveis, interrompe-se o processo que é reiniciado após a redefinição da geometria. A diferença básica entre o detalhamento da armadura negativa e positiva em um apoio, é o fato que para o detalhe positivo, a bitola é imposta igual à bitola positiva da seção principal de momento máximo, enquanto que no detalhe negativo, a seção já é uma seção principal. Para momento no apoio, cuja armadura necessária ao equilíbrio seja menor que 0,3 % de b_w*d , considera-se que a força que traciona a armadura seja aquela que equilibra o nó da treliça ($R_{st} = a_l * V_d / d$);

Seguem-se os algoritmos para o exposto acima :

Procedimento

Armação Positiva nas Seções de Momento Máximo e Apoios;

Variável

Det_Atual : Inteiro ;
 Bitola_Positiva_Ok, Detalhe_Ok : Lógico ;
 Det_Pos_Aux : Vet_Detalhe ;

Início

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Início

Seção_de_Momento_Máximo ← Ponto_de_Máximo / Espaço ;

Se (Abs(M_Neg_Esq) > Momento_Limite) OR

(Abs(M_Neg_Dir) > Momento_Limite) OR

Tramo_Torcido

Então ϕ _Mínimo ← 10.0

Senão ϕ _Mínimo ← 5.0 ;

Momento ← Momento_Máximo ;

Torçor ← MT[Seção_de_Momento_Máximo] ;

Inicialize_d ;

Dimensionamento(As, As', d, d', Momento, Torçor) ;

Imposição_de_Sinal(Momento) ;

Detalhamento(Detalhe_Positivo, Detalhe_Negativo,

As, As') ;

Verificação_de_Bitola_Mínima

(Detalhe_Positivo, ϕ _Mínimo) ;

```

As_Positivo_Calculado ← As ;
Det_Pos_Aux ← Detalhe_Positivo ;
Det_Atual ← 1 ;

```

Repita

Com Det_Pos_Aux[Det_Atual] faça

Início

```

C3[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← Canada_2 ;
C4[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← Canada_1 ;
φ_Positivo ← φ ;
As_φ_Positivo ← Área_de_1_φ ;

```

Fim ;

Verificação_de_Bitola_Minima(φ_Minimo) ;

Se NOT Tramo_Negativo

Então Com Detalhe_Negativo[1] faça

Início

```

Cp1[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← Canada_1 ;
Cp2[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← Canada_2 ;
As_φ_Porta_Estribo ← Área_de_1_φ ;
φ_Porta_Estribo ← φ ;

```

Fim ;

Se (Tramo_Atual = 1) AND
(Apoio_Esquerdo <> BALANÇO)

Então

Detalhamento_Positivo_do_Apoio_Extremo(0) ;

Se Tramo_Atual > 1

Então

Detalhamento_Positivo_do_Apoio_Intermediário(0) ;

Se Tramo_Atual < Número_de_Tramos

Então

Detalhamento_Positivo_do_Apoio_Intermediário(20) ;

Se (Tramo_Atual = Número_de_Tramos) AND
(Apoio_Direito <> BALANÇO)

Então

Detalhamento_Positivo_do_Apoio_Extremo(20) ;

Se C4[0] > C4[Seção_de_Momento_Máximo]

Então

Início

```

C4[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← C4[ 0 ] ;
C3[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← C3[ 0 ] ;

```

Fim ;

```

Se C4[ 20 ] > C4[ Seção_de_Momento_Máximo ]
  Então
    Início
      C4[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← C4[ 20 ] ;
      C3[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← C3[ 20 ] ;
    Fim

  Bitola_Positiva_Ok ←
    ( C3[ Seção_de_Momento_Máximo ] +
      C4[ Seção_de_Momento_Máximo ] ) ≤
      Det_Pos_Aux[ Det_Atual ].
      Máximo_Número_de_Barras ;

  Se NOT Bitola_Positiva_Ok
    Então
      Repita
        Det_Atual ← Det_Atual + 1 ;
        Impossivel ← Det_Atual > NÚMERO_DE_BITOLAS;
        Se NOT Impossivel
          Então Detalhe_Ok ←
            Det_Pos_Aux[ Det_Atual ].Bitola_Ok ;
          Até Detalhe_Ok OR Impossivel ;
      Até Bitola_Positiva_Ok OR Impossivel ;

  Se Impossivel
    Então Aborte ;
  Fim ;
Fim ;

```

Procedimento Detalhamento_Positivo_do_Apoio_Extremo
 (Seção_de_Apoio : Inteiro) ;

Variável

```

  Maior_M : Vetor_Real ;
  M_Pos_AP, M_Neg_AP, Larg_AP,
  Gancho_Positivo, Cortante, As_Compr
  l1máx, l1φ, x, Ponto : Real ;
  Cam_1, Cam_2 : Inteiro ;
  Apoio_Ok, Momento_Pequeno : Lógico ;
  Anc_AP : Tipo_Anc_AP ;
  Apoio : Tipo_Apoio ;

```

Início

```

  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Início
      l1φ ← l1 * φ_Positivo ;

      Para Carreg_Atual ← 1 até 2 * Número_de_Carreg faça
        Com Esforço[ Carreg_Atual ] faça
          Para Seção ← 1 até 20 faça
            Maior_M[ Seção ] ←
              Maior( Maior_M[ Seção ], M[ Seção ] ) ;
          al ← 0.75 * ( h - D_INICIAL ); {suposição inicial}

```

```

Forcar ← MT[ Seção_de_Apoio ] ;
Se Seção_de_Apoio = 0
  Então
    Inicio
      Cortante ← Cort_Esq ;
      M_Neg_Ap ← M_Neg_Esq ;
      As_Compr ← As_Compr_Esq ;
      Apoio_Atual ← 0 ;
      Larg_Ap ← Maior( Pee, Aee ) + Maior( Pe, Ae ) ;
      Seção_Inicial ←  $al / \text{Espaço}$  ;
       $x \leftarrow al - \text{Seção\_Inicial} * \text{Espaço}$  ;
      Ponto ← 0 ;
    Fim
  Senão
    Inicio
      Cortante ← Cort_Dir ;
      M_Neg_Ap ← M_Neg_Dir ;
      As_Compr ← As_Compr_Dir ;
      Apoio_Atual ← Numero_de_Tranos ;
      Larg_Ap ← Maior( Ped, Aed ) + Maior( Pd, Ad ) ;
      Seção_Inicial ←  $Vão - al / \text{Espaço}$  ;
       $x \leftarrow Vão - al - \text{Seção\_Inicial} * \text{Espaço}$  ;
      Ponto ← Vao ;
    Fim ;

Se Abs( M_Neg_Ap ) < 0.5 Momento_Máximo
  Então As_Apoio ← As_Positivo_Calculado / 3
  Senão As_Apoio ← As_Positivo_Calculado / 4 ;

As_Apoio ← Maior( As_Apoio, As_mtn ) ;

M_Pos_Ap ← Mi( Maior_M[ Seção_Inicial ],
               Maior_M[ Seção_Inicial + 1 ],
               Espaço, x ) ;
{ valor do momento positivo deslocado de  $al$  no apoio }

M_Pos_Ap ← Maior( M_Pos_Ap, 0.0 ) ;
{ correção caso momento deslocado seja negativo }

Momento ← M_Pos_Ap ;

 $\sigma_{m\acute{a}x} \leftarrow f_{yd} / 0.9$  ;
Repetir
   $\sigma_{m\acute{a}x} \leftarrow 0.9 * f_{yd}$  ;
   $l\acute{b}l_{m\acute{a}x} \leftarrow \phi_{\text{Positivo}} * \sigma_{m\acute{a}x} / ( 40 * \tau_{bu} )$  ;
  Anc_Ap ← Tipo_de_Ancoragem(  $\phi_{\text{Positivo}}$ ,  $l\acute{b}l_{m\acute{a}x}$ ,
                               Larg_Ap, Gancho_Positivo ) ;
Até ( Anc_Ap <> APOIO_MUITO_ESTREITO ) OR
     (  $l\acute{b}l_{m\acute{a}x} < l\acute{b}l_{\phi}$  ) ;

```


Procedimento Detalhamento_Positivo_do_Apoio_Intermediário;

Variável

Maior_M : Vetor_Real ;
M_Pos_Ap, M_Neg_Ap, x , Ponto : Real ;

Início

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Início

Para Carreg_Atual $\leftarrow 1$ até $2 * \text{Número_de_Carreg}$ faça

Com Esforço[Carreg_Atual] faça

Para Seção $\leftarrow 1$ até 20 faça

Maior_M[Seção] \leftarrow

Maior(Maior_M[Seção], M[Seção]) ;

$al \leftarrow 0.75 * (h - D_INICIAL)$;

Se Seção_de_Apoio = 0

Então

Início

M_Neg_Ap \leftarrow M_Neg_Esq ;

Seção_Inicial $\leftarrow al / \text{Espaço}$;

$x \leftarrow al - \text{Seção_Inicial} * \text{Espaço}$;

Ponto $\leftarrow 0.0$;

Fim

Senão

Início

M_Neg_Ap \leftarrow M_Neg_Dir ;

Seção_Inicial \leftarrow Vão - $al / \text{Espaço}$;

$x \leftarrow$ Vão - $al - \text{Seção_Inicial} * \text{Espaço}$;

Ponto \leftarrow Vão ;

Fim ;

Se Abs(M_Neg_Ap) < 0.5 Momento_Máximo

Então As_Apoio \leftarrow As_Positivo_Calculado / 3

Senão As_Apoio \leftarrow As_Positivo_Calculado / 4 ;

As_Apoio \leftarrow Maior(As_Apoio, As) ;

M_Pos_Ap \leftarrow Mi(Maior_M[Seção_Inicial],
Maior_M[Seção_Inicial + 1],
Espaço, x) ;

{ valor do momento positivo deslocado de al no apoio }

M_Pos_Ap \leftarrow Maior(M_Pos_Ap, 0.0) ;

{ correção caso momento deslocado seja negativo }

Se M_Pos_Ap > 0.0

Então

Início

Momento \leftarrow M_Pos_Ap ;

Torçor \leftarrow MT[Seção_de_Apoio] ;

Inicialize_d ;

Dimensionamento(As, As', d, d',
Momento, Torçor) ;

Fim ;

```

As_Apoio ← Maior( As_Apoio, As ) ;
As_Apoio ← Maior( As_Apoio, As_Compr ) ;

Cam_4 ← As_Apoio / As_φ_Positivo + 1 ; 2 ) ;
Cam_4 ← Maior( Cam_4, 2 ) ;
Cam_3 ← 0 ;
Detalhamento_da_Armadura( φ_Positivo,
    As_φ_Positivo, eh_Min, Cam_3, Cam_4 ) ;

C4[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← Cam_4 ;
C3[ Seção_de_Momento_Máximo ] ← Cam_3 ;

Fim ;

```

Fim ;

O valor da "distância" horizontal do deslocamento a_l é dependente da taxa de armadura e da força cortante. Nos algoritmos anteriores, para a obtenção da armadura nas seções de apoio, foi adotado para a_l o valor $(0,75 * d_{\text{util}})$, que é o valor recomendado pela NBR-6118 para valores de $\tau_d / (1,15 * \tau_{vd})$ situados entre 0,6 e 0,8, e que além de ser um valor médio, também é o caso que ocorre com maior frequência. Já para o deslocamento dos diagramas de momentos fletores, como as taxas de armaduras são conhecidas nos apoios, é preferível calcular o valor correto. Note-se também que o valor de a_l varia ao longo do tramo, sendo porém adotado constante no trecho entre uma seção de apoio e a seção de momento máximo, e igual ao valor na seção de apoio considerada. Uma vez conhecidas as taxas efetivas de armaduras nos apoios, pode-se proceder o deslocamento do diagrama dos momentos fletores, para cada caso de carregamento. A envoltória dos esforços é gerada pela superposição dos valores dos momentos deslocados em cada seção, considerando-se todos os casos de carregamentos, e também, para cada um desses casos, considerando-se os momentos positivos obtidos supondo extremidades dos tramos perfeitamente engastadas. São dados a seguir, os algoritmos para a obtenção do valor de a_l , deslocamento dos diagramas de momentos fletores, e criação da envoltória :

Função $ah(As_Apoio, Cortante : Real) : Real ;$

Variável

$\rho_1, \psi_1, \tau_c, \tau_{vd}, \eta, a, d_util : Real ;$

Início

$d_util \leftarrow h - D_INICIAL ;$

$\rho_1 \leftarrow As_Apoio / (bw * h) ;$

$\psi_1 \leftarrow 0.225 + 15 * \rho_1 ;$

$\psi_1 \leftarrow \text{Maior}(0.24, \psi_1) ;$

$\psi_1 \leftarrow \text{Menor}(0.45, \psi_1) ;$

$\tau_c \leftarrow \psi_1 * \sqrt{1000 * f_{ch}} ;$

$\tau_{vd} \leftarrow 1000 * Cortante / (bw * d_{util}) ;$

$\eta \leftarrow 1 - \tau_c / (1.15 * \tau_{vd}) ;$

$a \leftarrow 1.5 - 1.2 * \eta ;$

$a \leftarrow \text{Maior}(a_1, 0.5) ;$

$a \leftarrow \text{Menor}(a_1, 1.0) ;$

$ah \leftarrow a * d_{util} ;$

Fim ;

Variável

$M_Neg_Superposto_Esq_e_Dir,$

$M_Pos_Superposto_Esq_e_Dir,$

$M_Neg_Esq_Desl, M_Neg_Dir_Desl,$

$M_Pos_Esq_Desl, M_Pos_Esq_Desl : Vetor_Real ;$

$x, Mom_Desl : Real ;$

$Rela\c{c}\tilde{a}\tilde{o}_a_1_Sobre_Espa\c{c}o, Se\c{c}\tilde{a}\tilde{o}_1, Se\c{c}\tilde{a}\tilde{o}_2 : Integer ;$

Define-se o sentido do deslocamento do diagrama de momentos fletores, de acordo com o sinal da força cortante em uma seção. Assim, no procedimento para deslocamento dos momentos negativos à esquerda, serão deslocados os momentos nas seções onde a força cortante for positiva, de acordo com a Figura 32. Observa-se também que o deslocamento é feito aumentando-se (ou diminuindo-se, conforme o sinal) o momento em uma seção.

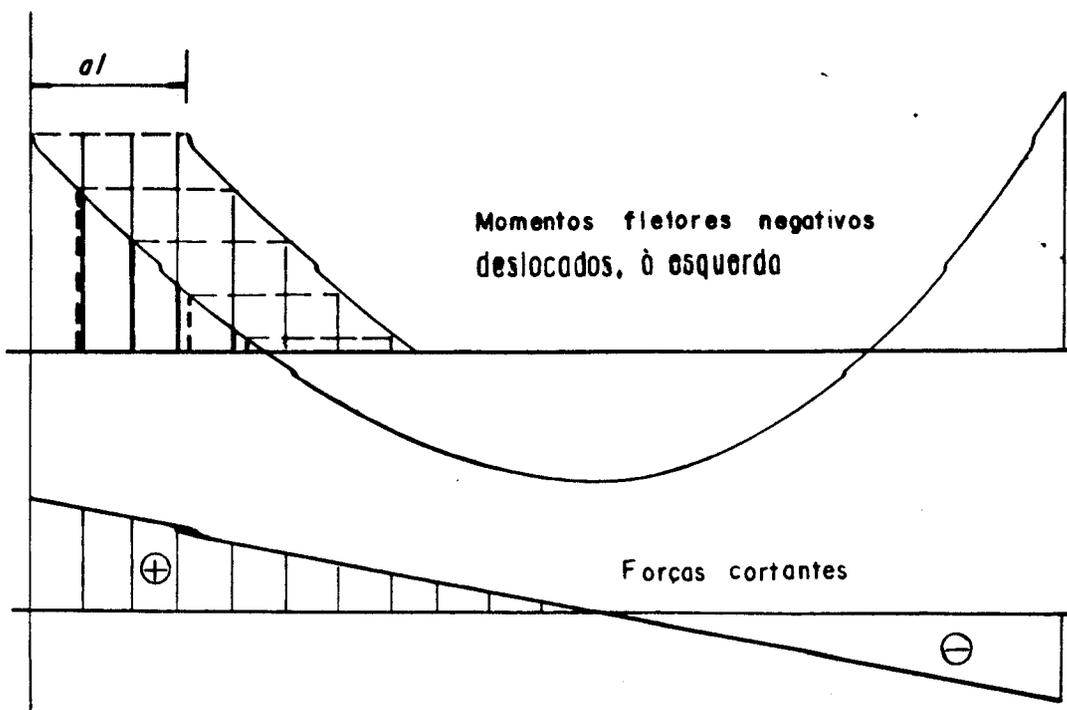


Fig. 32 - Sentido de deslocamento de diagrama

Procedimento Deslocamento_Negativo_à_Esquerda ;

Início

Com Tramo[Tramo_Atual], Esforço[Carreg_Atual] faça

Para Seção ← 0 até 20 faça

Se V[Seção] > 0

Então

Início

Seção_1 ← Seção - Relação_al_Sobre_Espaço - 1 ;
Seção_2 ← Seção_1 + 1 ;

Se Seção_1 > 0

Então Mom_Desl ← M_i
(M[Seção_1], M[Seção_2],
Espaço, x)

Senão Mom_Desl ← M[0] ;

Se (Mom_Desl < 0.0) AND
(Mom_Desl ≤ M[Seção])

Então M_Neg_Esq_Desl[Seção] ← Mom_Desl ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento Deslocamento_Negativo_à_Direita ;

Início

Com Tramo[Tramo_Atual], Esforço[Carreg_Atual] faça

Para Seção ← 20 até 0 (-1) faça

Se V[Seção] < 0

Então

Início

Seção_1 ← Seção + Relação_al_Sobre_Espaço ;
Seção_2 ← Seção_1 + 1 ;

```

    Se Seção_2 < 0
      Então Mom_Desl ← Mi
        ( M[ Seção_1 ], M[ Seção_2 ],
          Espaço, x )
      Senão Mom_Desl ← M[ 20 ] ;

    Se ( Mom_Desl < 0.0 ) AND
      ( Mom_Desl ≤ M[ Seção ] )
      Então M_Neg_Dir_Desl[ Seção ] ← Mom_Desl ;
  Fim ;
Fim ;

```

Procedimento Deslocamento_Positivo_à_Esquerda ;

Início

```

  Com Tramo[ Tramo_Atual ], Esforço[ Carreg_Atual ] faça
    Para Seção ← 0 até 20 faça
      Se V[ Seção ] > 0
        Então
          Início
            Seção_1 ← Seção + Relação_al_Sobre_Espaço ;
            Seção_2 ← Seção_1 + 1 ;

            Se Seção_2 < 20
              Então Mom_Desl ← Mi
                ( M[ Seção_1 ], M[ Seção_2 ],
                  Espaço, x )
              Senão Mom_Desl ← M[ 20 ] ;

            Se ( Mom_Desl > 0.0 ) AND
              ( Mom_Desl ≥ M[ Seção ] )
              Então M_Pos_Esq_Desl[ Seção ] ← Mom_Desl ;
          Fim ;
    Fim ;

```

Procedimento Deslocamento_Positivo_à_Direita ;

Início

```

  Com Tramo[ Tramo_Atual ], Esforço[ Carreg_Atual ] faça
    Para Seção ← 20 até 0 ( -1 ) faça
      Se V[ Seção ] < 0
        Então
          Início
            Seção_1 ← Seção - Relação_al_Sobre_Espaço - 1 ;
            Seção_2 ← Seção_1 + 1 ;

            Se Seção_1 > 0
              Então Mom_Desl ← Mi
                ( M[ Seção_1 ], M[ Seção_2 ],
                  Espaço, x )
              Senão Mom_Desl ← M[ 20 ] ;
          Fim ;
    Fim ;

```

```

      Se ( Mom_Desl > 0.0 ) AND
        ( Mom_Desl ≥ M[ Seção ] )
      Então M_Pos_Esq_Desl[ Seção ] ← Mom_Desl ;
    Fim ;
  Fim ;

```

Procedimento

Deslocamento_do_Diagrama_e_Criação_da_Envoltória ;

InícioCom Tramo[Tramo_Atual] façaInício

```

  As_Apoio ←
    ( C3[ 0 ] + C4[ 0 ] ) * As_φ_Positivo_Esquerdo ;
  al_Esquerdo ← ali( As_Apoio, Cort_Esq ) ;
  Relação_al_Sobre_Espaço ← al_Esquerdo / Espaço ;
  x ← al_Esquerdo - Relação_al_Sobre_Espaço * Espaço ;
  Deslocamento_Negativo_à_Esquerda ;
  Deslocamento_Positivo_à_Esquerda ;

```

```

  As_Apoio ←
    ( C3[ 20 ] + C4[ 20 ] ) * As_φ_Positivo_Direito ;
  al_Direito ← ali( As_Apoio, Cort_Dir ) ;
  Relação_al_Sobre_Espaço ← al_Direito / Espaço ;
  x ← ( Relação_al_Sobre_Espaço + 1 ) * Espaço -
    al_Direito ;
  Deslocamento_Negativo_à_Direita ;
  Deslocamento_Positivo_à_Direita ;

```

Para Seção ← 0 até 20 façaInício

```

  M_Neg_Superposto_Esq_e_Dir[ Seção ] ←
    Menor( M_Neg_Esq_Desl[ Seção ],
           M_Neg_Dir_Desl[ Seção ] ) ;
  M_Neg[ Seção ] ← Menor( M_Neg[ Seção ],
                         M_Neg_Superposto_Esq_e_Dir[ Seção ] ) ;

```

```

  Se M_Neg[ Seção ] > 0.0
  Então M_Neg[ Seção ] ← 0.0 ;

```

```

  M_Pos_Superposto_Esq_e_Dir[ Seção ] ←
    Maior( M_Pos_Esq_Desl[ Seção ],
           M_Pos_Dir_Desl[ Seção ] ) ;

```

```

  M_Pos[ Seção ] ← Maior( M_Pos[ Seção ],
                         M_Pos_Superposto_Esq_e_Dir[ Seção ] ) ;

```

```

  Se M_Pos[ Seção ] < 0.0
  Então M_Pos[ Seção ] ← 0.0 ;

```

Fim ;

Fim ;

Fim ;

Após o deslocamento do diagrama, pode ocorrer que todas as seções de um tramo possuam momentos negativos, de acordo com a Fig. 33a. Deve-se então indicar que o tramo é negativo (campo 'TRAMO_NEGATIVO' do registro 'Tramo', que então passa a assumir o valor VERDADEIRO). O tratamento dado a um tramo 'negativo' consiste na adoção de barras passando ao longo de todo o tramo, sendo, portanto, necessário que as bitolas negativas nos apoios sejam as mesmas. Outra possibilidade de ocorrer tramo 'negativo', é ter-se a distância entre as barras mais longas das armaduras nos apoios menor que um certo valor (neste trabalho adotado igual a 100 centímetros), conforme figura 33.

No caso do tramo não ser negativo, as seções limites de trechos negativos em um tramo devem ser determinadas, devido ao deslocamento. Define-se **Seção Nula** como sendo a última, no sentido apoio-vão que possui momento negativo.

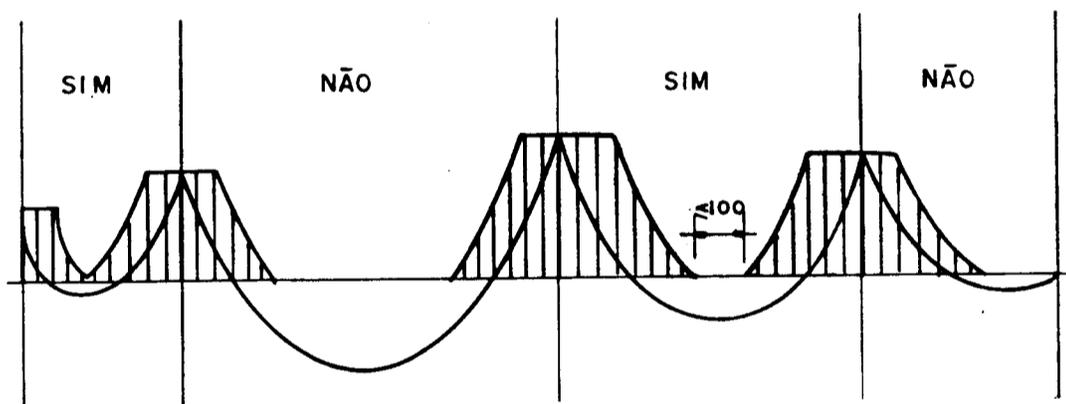


Fig. 33 - Situações de tramos 'negativos' após detalhamento dos apoios e deslocamento do diagrama de momento fletores.

Seguem-se os algoritmos para a verificação

da ocorrência de tramos negativos, e determinação das seções nulas :

Procedimento Verificação_de_Tramo_Negativo ;

Variável

Tramo_Negativo : Lógico ;

Início

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Se NOT Tramo_Negativo

Então

Início

i ← 0 ;

Repita

i ← i + 1 ;

Tramo_Negativo ← M_Neg[i] < 0.0 ;

Até (NOT Tramo_Negativo) OR (i = 20) ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento

Determinação_das_Seções_de_Momentos_Negativos_Nulos ;

Variável

Seção_Ok : Lógico ;

Dist_Min_Entre_Seções_Nulas : Real ;

Início

Para Tramo_Atual ← 1 até Numero_de_Tramos faça

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Início

Dist_Min_Entre_Seções_Nulas ← $261 * (\phi_{\text{Negativo_Esquerdo}} + \phi_{\text{Negativo_Direito}}) + 100$;

Seção_Nula_Esquerda ← -1 ;

Repita

Seção_Nula_Esquerda ← Seção_Nula_Esquerda + 1 ;

Seção_Ok ← (Seção_Nula_Esquerda = 20) ;

Se NOT Seção_Ok

Então Seção_Ok ←

M_Neg[Seção_Nula_Esquerda + 1] >= 0.0 ;

Até Seção_Ok ;

Seção_Nula_Direita ← 20 + 1 ;

Repita

Seção_Nula_Direita ← Seção_Nula_Direita - 1 ;

Seção_Ok ← (Seção_Nula_Direita = 0) ;

Se NOT Seção_Ok

Então Seção_Ok ←

M_Neg[Seção_Nula_Direita - 1] >= 0.0 ;

Até Seção_Ok ;

```

|      | Se ( Seção_Nula_Direita - Seção_Nula_Esquerda ) *
|      | Espaço < Dist_Min_Entre_Seções_Nulas
|      | Então
|      |   Início
|      |     Tramo_Negativo ← VERDADE ;
|      |     Seção_Nula_Esquerda ← 20 - 1 ;
|      |     Seção_Nula_Direita ← 1 ;
|      |   Fim ;
|      | Fim ;
| Fim ;

```

3.5.2.4 - Cobrimento do diagrama

Após dimensionadas e detalhadas as armaduras nos apoios e vãos (seções principais), obtém-se, para cada tramo, dois vetores cujos elementos contêm os valores dos momentos deslocados e envoltórios, positivos e negativos. Para um tramo genérico, um detalhamento típico das barras das armaduras obedece os seguintes requisitos (Figura 34) :

-para armaduras positivas, existe um certo número de barras na seção de momento máximo, e nas seções de apoio, outros números menores ou iguais aos da seção de momento máximo. O valor dos momentos fletores diminuem nas seções, nos sentidos vão-apoios, sendo esperado que o número de barras nas seções diminuam nesses sentidos ;

-para as armaduras negativas, existe um certo número de barras na seção de apoio, que tende a diminuir no sentido apoio-vão, havendo uma interrupção das barras a partir das seções nulas. Caso especial é o de tramo negativo, onde esta interrupção não ocorre.

Na retirada de barras, deve ser mantida uma compatibilidade geométrica : se numa dada seção o número de barras for par, o número de barras na próxima seção tem que necessariamente ser também par.

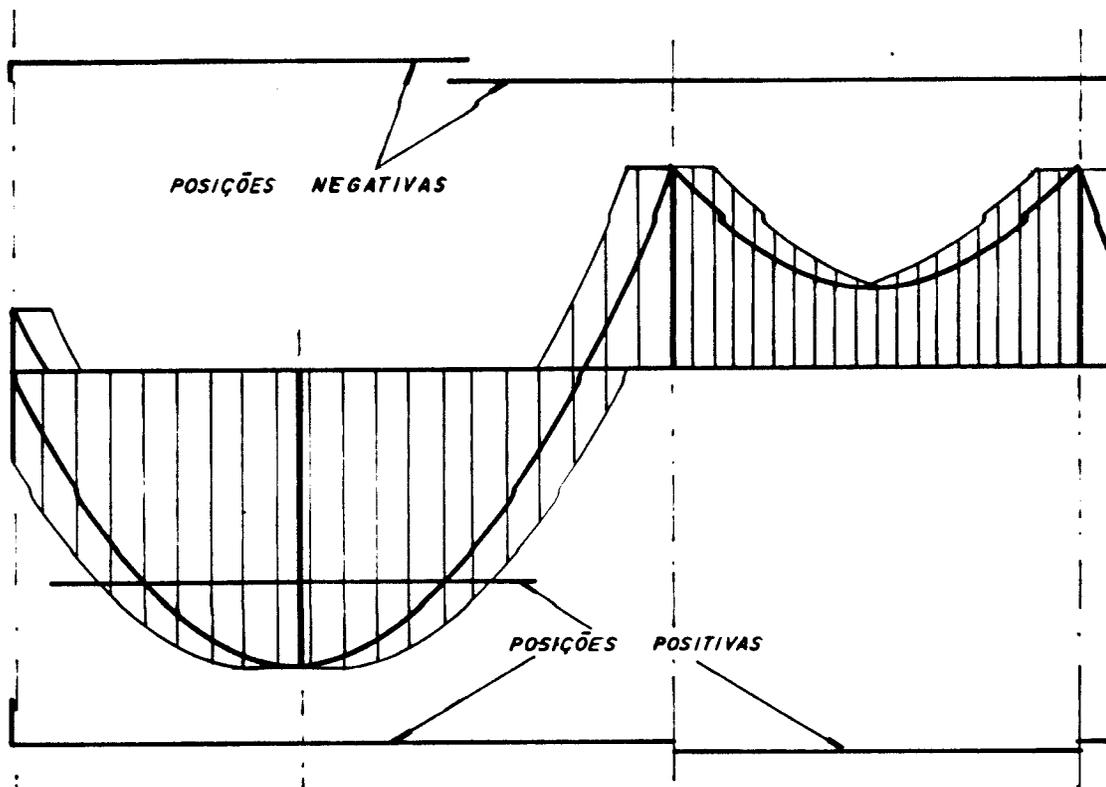
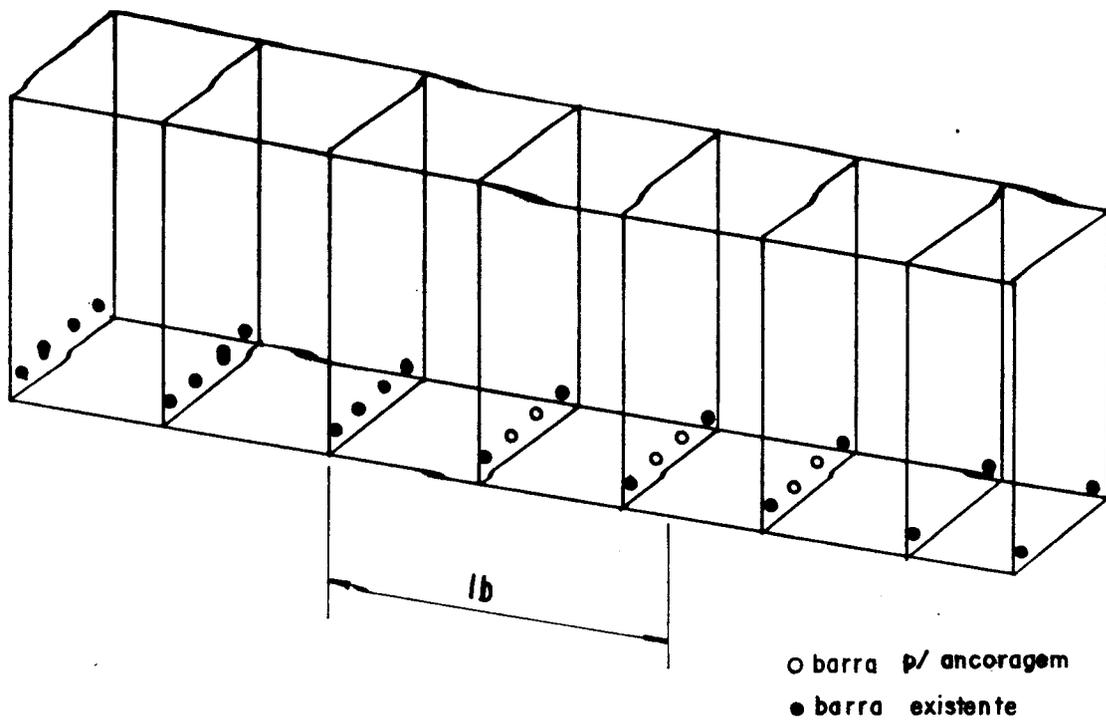


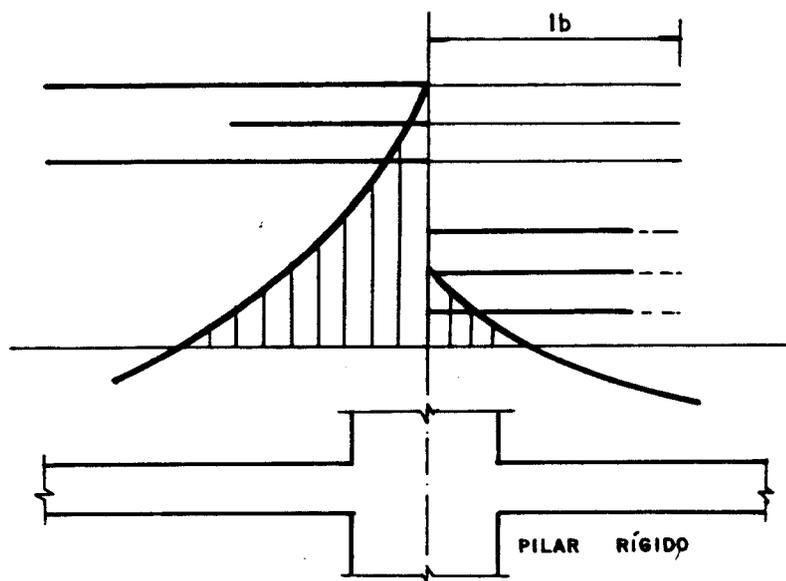
Fig. 34 - Escalonamento típico em barras das armaduras em tramos

Uma vez todas as seções dimensionadas, detalhadas e compatibilizadas, procuram-se as seções onde existem variações no número de barras, e para estas seções, ancoram-se as barras para a tensão efetiva na armadura. A ancoragem é feita igualando-se o detalhe de uma seção, aos detalhes nas seções procedentes (ou precedentes conforme sentido apoio-vão ou vão-apoio), contidas no trecho de comprimento igual ao necessário à ancoragem, conforme mostra Figura 35a.

Um caso especial de ancoragem da armadura negativa, ocorre quando se considera a rigidez de pilares intermediários na análise, provocando uma descontinuidade de momentos negativos nesses apoios (Figura 35b). Neste caso, a armadura no apoio deve ser suficientemente ancorada no tramo cujo momento negativo seja menor (em valor absoluto).



(a) - Ancoragem de uma seção.



(b) - Ancoragem negativa em um tramo adjacente.

Fig. 95 - Ancoragem de barras partindo em seções.

No caso de tramos negativos, é necessário que as bitolas nos apoios sejam as mesmas. Portanto, quando o detalhamento inicial indica o contrário, esta condição deve ser imposta.

De acordo com a NBR-6118, em alguns casos devem ser colocadas, nas faces laterais das vigas, uma armadura de pele (ou costela), a fim de costurar longitudinalmente a peça, evitando-se uma fissuração brusca. Neste trabalho, uma situação onde isto se torna necessário, é quando existe solicitação significativa por momentos torçores. Conforme foi mostrado em parágrafos anteriores, a armadura longitudinal resistente à torção, é disposta nos quatro cantos de uma seção retangular, o que pode conduzir a espaçamentos maiores que os recomendados pela NBR-6118. A colocação da armadura de pele, quando houver ocorrência destas situações, é feita para compensar as consequências devidas à desobediência a esses espaçamentos (maior fissuração).

O procedimento principal para a armação das armaduras longitudinais em uma viga, é dado a seguir, em forma de algoritmo :

Procedimento Armação_dos_Trechos_das_Vigas ;

Início

Calculo_da_Armadura_de_Pele ;
Equiparação_das_Armaduras_Negativas_Sobre_os_Apoios ;

Para Tramo_Atual ← 1 até Número_de_Tramos faça

Início

Armação_Negativa ;
Armação_Positiva ;
Distribuição_das_Barras_Positivas ;
Ancoragem_Positiva ;
Ancoragem_Negativa ;

Fim ;

Armação_e_Anc_das_Arm_Comprimidas_Sobre_os_Apoios ;
Ancoragem_Negativa_do_Tramo_Adjacente ;
Redistribuição_das_Armaduras_Porta_Estribos ;

Fim ;

Têm-se em seguida, os algoritmos auxiliares :

Procedimento Cálculo da Armadura de Pele ;Variável

As_Pele, Esp, d, Comprimento_da_Viga ;
 Existe_Tramo_Torcido : Lógico ;

Início

i := 0 ;

Repita

| i := i + 1 ;
 | Existe_Tramo_Torcido = Tramo[i].Tramo_Torcido ;
Até Existe_Tramo_Torcido OR (i = Número_de_Tramos) ;

Se ((h ≥ 60) AND (fyk < 4.0)) OR Tramo_Torcido

EntãoInício

d ← h - D_INICIAL ;
 As_Pele ← 0.0005 * bw * h ;
 Número_de_Canadas_de_Arm_Pele ← 0 ;

Repita

| Número_de_Canadas_de_Arm_Pele ←
 | Número_de_Canadas_de_Arm_Pele + 1 ;
Até (Esp ≤ d / 3) AND (Esp ≤ 20.0) ;

As_Pele ← As_Pele / Número_de_Canadas_de_Arm_Pele;

Posição_Pele ← 0 ;

Repita

| Posição_Pele ← Posição_Pele + 1 ;
Até Armadura_de_Pele[Posicao_Pele].As_P
 ≥ As_Pele ;

Comprimento_da_Viga ← Maior(Pee, Aee) ;

Para i ← 1 até Número_de_Tramos faça

Comprimento_da_Viga ← Comprimento_da_Viga +
 Tramo[i].Vão ;

Comprimento_da_Viga ← Comprimento_da_Viga +
 Maior(Ped, Aed) ;

Com Armadura_de_Pele[Posicao_Pele] faça

Comprimento_Total ← Comprimento_Total +
 2 * Número_de_Canadas_de_Arm_Pele *
 Comprimento_da_Viga ;

Fim ;Fim ;

Para equiparar as bitolas nos apoios de tramos negativos, define-se 'trecho' como sendo um conjunto de tramos negativos consecutivos. Deve ser lembrado que um tramo é chamado negativo quando um grupo de barras da armadura nos apoios passa ao longo do tramo

sem interrupções, podendo acontecer nos casos de existir momento negativo ao longo do tramo ou a distância entre seções de interrupção da armadura entre dois apoios ser pequena. Os trechos definidos acima são classificados segundo sua localização na viga (esquerda, direita, intermediário, total) conforme Figura 36. A equiparação das bitolas é feita impondo a do apoio com maior área efetiva de aço, nos demais do mesmo trecho.

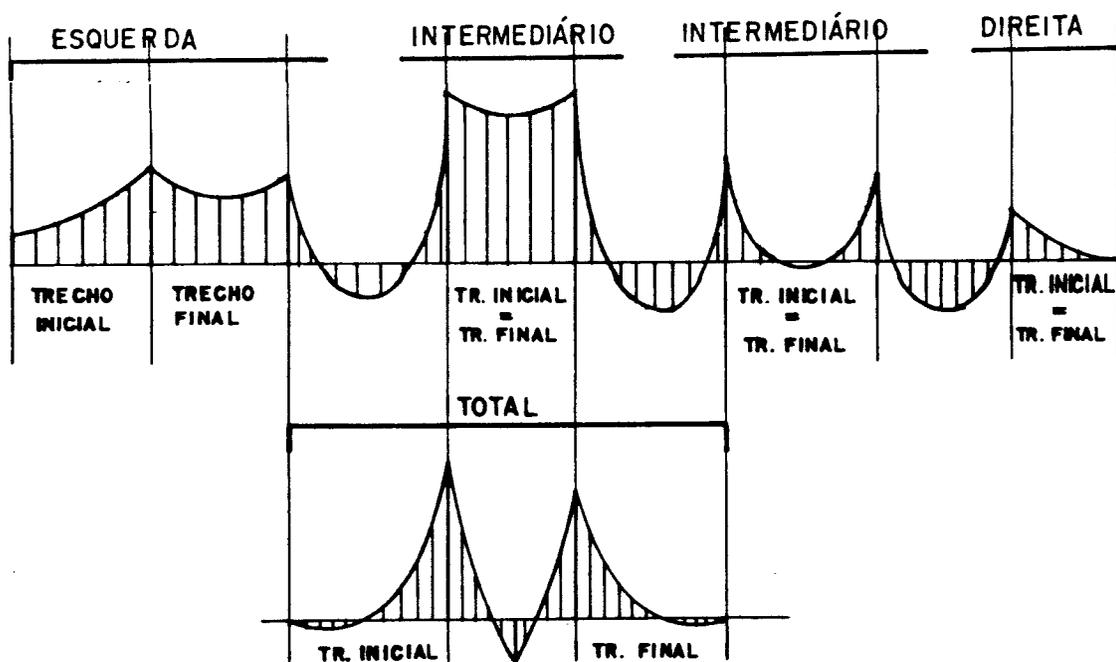


Fig. 36 - Posições dos trechos em viga.

A seguir é apresentado o algoritmo que permite a equiparação das bitolas negativas nos apoios dos trechos formados por tramos negativos consecutivos :

Procedimento

Equiparação_de_Armaduras_Negativas_Sobre_Apoios ;
Tipo : Tipo_Trecho = Registro
 Tramo_Inicial, Tramo_Final,
 Número_de_Tramos_Neg : Inteiro ;
 Posição_na_Viga =
 (ESQ, INTERM, DIR, TOTAL) ;
 Fim ;

Variável

Número_de_Trechos, Trecho_Atual : Inteiro ;
 Trecho : Vetor [1..MÁX_NÚM_DE_TRECHOS] Tipo_Trecho ;
 Tramo_Anterior_Negativo : Lógico ;

Início

```

Número_de_Trechos ← 0 ;
Tramo_Anterior_Negativo ← FALSO ;
Para Tramo_Atual ← 1 até Número_de_Tramos faça
  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Início
      Se ( Tramo_Negativo ) AND { busca do }
        ( NOT Tramo_Anterior_Negativo ) { tramo }
      Então { inicial }
        Início
          Número_de_Trechos ← Número_de_Trechos + 1 ;
          Com Trecho[ Número_de_Trechos ] faça
            Tramo_Inicial ← Tramo_Atual ;
          Fim ;
        Se ( ( NOT Tramo_Negativo ) AND
          ( Tramo_Anterior_Negativo ) ) OR
          ( ( Tramo_Atual = Número_de_Tramos ) AND
            ( Tramo_Negativo ) )
          Então Com Trecho[ Número_de_Trechos ] faça
            Início
              Tramo_Final ← Tramo_Atual - 1 ;
              Número_de_Tramos_Neg ←
                Tramo_Final - Tramo_Inicial + 1 ;
            Fim ;
          Tramo_Anterior_Negativo ← Tramo_Negativo ;
        Fim ;
    Para Trecho_Atual ← 1 até Número_de_Trechos faça
      Com Trecho[ Trecho_Atual ] faça
        Se Tramo_Inicial = 1
          Então
            Início
              Se Tramo_Final = Número_de_Tramos
                Então Posição_na_Viga ← TOTAL
                Sendo Posição_na_Viga ← ESQ ;
            Fim
          Sendo
            Início
              Se Tramo_Final = Número_de_Tramos
                Então Posição_na_Viga ← DIR
                Sendo Posição_na_Viga ← INTERM ;
            Fim ;
        Para Trecho_Atual ← 1 até Número_de_Trechos faça
          Com Trecho[ Trecho_Atual ] faça
            { Impõe-se a bitola do apoio com maior área
              efetividade aço, nos demais apoios }
        Fim ;
  Fim ;

```

Uma vez escolhidas definitivamente as bitolas das armaduras negativas, pode-se prosseguir com o detalhamento das demais seções nos tramos. Os algoritmos para este procedimento são apresentados em seguida :

Procedimento Ajuste_Seções_Adjacentes

(C1_Sec, C2_Sec, C1_Sec_Adj, C2_Sec_Adj : Inteiro) ;

Início

Se Impar(C1_Sec) AND Par(C1_Sec_Adj)

Então

Início

Se C1_Sec < C1_Sec_Adj

Então C1_Sec ← C1_Sec + 1

Senão

Início

C1_Sec ← C1_Sec + 1 ;

Repetita

C1_Sec ← C1_Sec - 2 ;

C2_Sec ← C2_Sec + 2 ;

Até C1_Sec ≤ C1_Sec_Adj ;

Fim ;

Fim

Senão Se C1_Sec > C1_Sec_Adj

Então

Início

C1_Sec ← C1_Sec - 1 ;

C2_Sec ← C2_Sec + 2 ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento Armação_Negativa ;

Início

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Início

Para Seção ← 1 até Seção_Nula_Esquerda faça

Início

Detalhamento_de_Seção_Negativa

(M_Neg_Seção], MT[Seção],

φ_Negativo_Esquerdo,

As_φ_Negativo_Esquerdo,

Ce1[Seção], Ce2[Seção]) ;

Ajuste_Seções_Adjacentes

(Ce1[Seção], Ce2[Seção],

Ce1[Seção - 1], Ce2[Seção - 1]) ;

Fim ;

```

Para Seção ← 20 até Seção_Nula_Direita faça ( -1 )
  Início
    Detalhamento_de_Seção_Negativa
      ( M_Neg_Seção ], MT[ Seção ],
        φ_Negativo_Direito,
        As_φ_Negativo_Direito,
        Cd1[ Seção ], Cd2[ Seção ] ) ;
    Ajuste_Seções_Adjacentes
      ( Cd1[ Seção ], Cd2[ Seção ],
        Cd1[ Seção + 1 ], Cd2[ Seção + 1 ] ) ;
  Fim ;
Fim ;
Fim ;

```

Procedimento Armação_Positiva ;

```

Início
  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Início
      Para Seção ← Seção_de_Momento_Máximo - 1
        até 1 faça ( -1 )
        Início
          Detalhamento_de_Seção_Positiva ;
          Ajuste_Seções_Adjacentes
            ( C4[ Seção ], C3[ Seção ],
              C4[ Seção + 1 ], C3[ Seção + 1 ] ) ;
        Fim ;

      Para Seção ← Seção_de_Momento_Máximo + 1
        até 18 faça
        Início
          Detalhamento_de_Seção_Positiva ;
          Ajuste_Seções_Adjacentes
            ( C4[ Seção ], C3[ Seção ],
              C4[ Seção - 1 ], C3[ Seção - 1 ] ) ;
        Fim ;
    Fim ;
Fim ;

```

A determinação do comprimento de ancoragem em uma dada seção é feita em função da tensão de cálculo efetiva na armadura. A determinação dessa tensão é feita de maneira inversa ao dimensionamento à flexão, ou seja, são conhecidos o momento fletor, a geometria da seção retangular, a tensão no concreto e as armaduras. Da equação de equilíbrio dos momentos no ponto de aplicação da resultante de tração na armadura, determina-se a posição da linha neutra, que imposta na equação de

equilíbrio dos momentos no ponto de aplicação da resultante de compressão no concreto, fornece a tensão na armadura existente.

Em caso de existência de armadura comprimida, a tensão na armadura é adotada igual a f_{yd} . Também no caso de existência de momento torçor significativo, como se trata de solicitação combinada (torção e flexão, na maioria dos casos), adota-se o valor f_{yd} . Para armaduras porta estribos, como são em geral de diâmetros não muito grandes, por simplificação, também é adotada a tensão igual à f_{yd} .

Função l_b (Momento, ϕ , A_s_ϕ : Real ;
C1, C2 : Inteiro ;
Tramo_Torcido : Lógico) ;

Variável

Δ , A, B, $d_{\text{útil}}$, x , Tensão_na_Armadura : Real ;

Início

Se Tramo_Torcido

Então $l_b \leftarrow l_{b1} * \phi$

Senão

Início

$d_{\text{útil}} \leftarrow h - D_{\text{INICIAL}} -$

$$\frac{C2 * (0.1 * \phi + e_{\text{hmin}})}{C1 + C2}$$

$A \leftarrow 0.272 * f_{cd} * b_w ;$

$B \leftarrow -2.5 * A * d_{\text{útil}} ;$

$\Delta \leftarrow B^2 - 4 * A * \text{Momento} ;$

$$x \leftarrow \frac{-B - \sqrt{\Delta}}{2 * A} ;$$

$$A \leftarrow \frac{\phi * \text{Tensão_na_Armadura}}{40 * \tau_{vu}} ;$$

Se $A < \phi$

Então $A \leftarrow \phi$

Senão Se $A < 10.0$

Então $A \leftarrow 10.0 ;$

$l_b \leftarrow A ;$

Fim ;

Fim ;

Variável

Relação_ℓ_Sobre_Espaço : Inteiro ;

Procedimento Ancoragem_Positiva_Esquerda
(C, Cp : Vetor_Inteiro) ;

Início

```

Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
  Para Seção ← 1 até Seção_de_Momento_Máximo faça
    Início
      Se C[ Seção ] > C[ Seção - 1 ]
        Então
          Início
            A ← ℓ( M_Pos[ Seção ], φ_Positivo,
              As_φ_Positivo,
              C4[ Seção ], C3[ Seção ],
              Tramo_Torcido ) ;
            Relação_ℓ_sobre_Espaço ← A / Espaço + 1 ;
            Para i ← 1 até Relação_ℓ_sobre_Espaço faça
              Se ( Seção - i ) ≥ 0
                Então C[ Seção - i ] ← C[ Seção ] ;
            Fim ;
          Se Cp[ Seção ] > Cp[ Seção - 1 ]
            Então
              Início
                A ← ℓ1 * φ_Positivo ;
                Relação_ℓ_sobre_Espaço ← A / Espaço + 1 ;
                Para i ← 1 até Relação_ℓ_sobre_Espaço faça
                  Se ( Seção - i ) ≥ 0
                    Então Cp[ Seção - i ] ← Cp[ Seção ] ;
                Fim ;
            Fim ;
          Fim ;
    Fim ;

```

Procedimento Ancoragem_Positiva_Direita
(C, Cp : Vetor_Inteiro) ;

Início

```

Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
  Para Seção ← 19 até Seção_de_Momento_Máximo faça (-1 )
    Início
      Se C[ Seção ] > C[ Seção + 1 ]
        Então
          Início
            A ← ℓ( M_Pos[ Seção ], φ_Positivo,
              As_φ_Positivo,
              C4[ Seção ], C3[ Seção ],
              Tramo_Torcido ) ;
            Relação_ℓ_sobre_Espaço ← A / Espaço + 1 ;
            Para i ← 1 até Relação_ℓ_sobre_Espaço faça
              Se ( Seção + i ) ≤ 20
                Então C[ Seção + i ] ← C[ Seção ] ;
            Fim ;
          Fim ;
    Fim ;

```

```

    Se Cp[ Seção ] > Cp[ Seção + 1 ]
      Então
        Início
          A ←  $l_1 * \phi_{\text{Positivo}}$  ;
          Relação_ $l$ _sobre_Espaço ← A / Espaço + 1 ;
          Para i ← 1 até Relação_ $l$ _sobre_Espaço faça
            Se ( Seção + i ) ≤ 20
              Então Cp[ Seção + i ] ← Cp[ Seção ] ;
          Fim ;
        Fim ;
  Fim ;

```

Procedimento Ancoragem_Positiva ;

```

  Início
    Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
      Início
        Ancoragem_Positiva_Esquerda( C4, Cp1 ) ;
        Ancoragem_Positiva_Esquerda( C3, Cp2 ) ;

        Ancoragem_Positiva_Direita( C4, Cp1 ) ;
        Ancoragem_Positiva_Direita( C3, Cp2 ) ;
      Fim ;
  Fim ;

```

Procedimento Ancoragem_Negativa_Esquerda
(C : Vetor_Inteiro) ;

```

  Início
    Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
      Para Seção ← 19 até 0 faça ( -1 )
        Se C[ Seção ] > C[ Seção + 1 ]
          Então
            Início
              A ←  $l( M_{\text{Neg}}[ \text{Seção} ], \phi_{\text{Negativo\_Esquerdo}},$   

                 $As_{\phi_{\text{Negativo\_Esquerdo}}},$   

                 $Ce1[ \text{Seção} ], Ce2[ \text{Seção} ],$   

                 $\text{Tramo\_Torcido} ) ;$ 
              Verifique_Zona_de_Aderência( A ) ;
              Relação_ $l$ _sobre_Espaço ← A / Espaço + 1 ;
              Para i ← 1 até Relação_ $l$ _sobre_Espaço faça
                Se ( Seção + i ) ≤ 20
                  Então C[ Seção + i ] ← C[ Seção ] ;
            Fim ;
          Fim ;
  Fim ;

```

Procedimento Ancoragem_Negativa_Direita
(C : Vetor_Inteiro.) ;

Início

```

  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Para Seção ← 1 até 20 faça
      Se C[ Seção ] > C[ Seção - 1 ]
        Então
          Início
            A ← ll( M_Neg[ Seção ], φ_Negativo_Esquerdo,
              As_φ_Negativo_Esquerdo,
              Cd1[ Seção ], Cd2[ Seção ],
              Tramo_Torcido ) ;
            Verifique_Zona_de_Aderência( A ) ;
            Relação_ll_sobre_Espaço ← A / Espaço + 1 ;
            Para i ← 1 até Relação_ll_sobre_Espaço faça
              Se ( Seção - i ) ≥ 0
                Então C[ Seção - i ] ← C[ Seção ] ;
          Fim ;
    Fim ;

```

Procedimento Ancoragem_Negativa ;

Início

```

  Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
    Início
      Ancoragem_Negativa_Esquerda( Ce1 ) ;
      Ancoragem_Negativa_Esquerda( Ce2 ) ;

      Ancoragem_Negativa_Direita( Cd1 ) ;
      Ancoragem_Negativa_Direita( Cd2 ) ;
    Fim ;
  Fim ;

```

Variável

Apoio, Relação_ll_Sobre_Espaço, Passo, Seção_Inicial,
Tramo_Ancorado, Tramo_Ancorador : Inteiro ;
φ, As_φ : Real ;

Procedimento Ancoragem_das_Seções

(C1, C2 : Vetor_Inteiro ;
Espaço, ll : Real ;
Seção_Inicial, Passo : Inteiro) ;

Início

```

  Relação_ll_Sobre_Espaço ← ll / Espaço ;
  Para i ← 1 até Relação_ll_Sobre_Espaço faça
    Início
      C1[ Seção_Inicial + i Passo ] ←
        C1[ Seção_Inicial ] ;
      C2[ Seção_Inicial + i Passo ] ←
        C2[ Seção_Inicial ] ;
    Fim ;
  Fim ;

```

Procedimento Ancoragem_Negativa_do_Tramo_Adjacente ;

Início

Para Apoio \leftarrow 1 até Numero_de_Tramos - 1 faca

Início

Se Tramo[Apoio].M_Neg[20] <
Tramo[Apoio - 1].M_Neg[0] ;

Então

Início

Tramo_Ancorado \leftarrow Apoio ;
Tramo_Ancorador \leftarrow Apoio + 1 ;
Momento \leftarrow Tramo[Apoio].M_Neg[20] ;
Torçor \leftarrow Tramo[Apoio].Mt[20] ;

Fim

Senão

Início

Tramo_Ancorado \leftarrow Apoio + 1 ;
Tramo_Ancorador \leftarrow Apoio ;
Momento \leftarrow Tramo[Apoio + 1].M_Neg[0] ;
Torçor \leftarrow Tramo[Apoio + 1].Mt[0] ;

Fim ;

Com Tramo[Tramo_Ancorador] faca

Se Tramo_Ancorador > Tramo_Ancorado

Então

Início

Seção_Inicial \leftarrow 0 ;
Passo \leftarrow 1 ;
A \leftarrow lb(Momento, ϕ _Negativo_Direito,
As_ ϕ _Negativo_Direito,
Ce1[0], Ce2[0],
Tramo_Torcido) ;
Verifique_Zona_de_Aderência(A) ;
Ancoragem_das_Seções(Ce1, Ce2, Espaço, A,
Seção_Inicial,
Passo) ;

Fim

Senão

Início

Seção_Inicial \leftarrow 20 ;
Passo \leftarrow -1 ;
A \leftarrow lb(Momento, ϕ _Negativo_Esquerdo,
As_ ϕ _Negativo_Esquerdo,
Cd1[20], Cd2[20],
Tramo_Torcido) ;
Verifique_Zona_de_Aderência(A) ;
Ancoragem_das_Seções(Cd1, Cd2, Espaço, A,
Seção_Inicial,
Passo) ;

Fim ;

Fim ;

Fim ;

No caso de apoio intermediário com momento

fletor negativo de valor absoluto maior que o momento limite (momento que conduz a linha neutra exatamente no limite entre os domínios 3 e 4) utiliza-se uma das armaduras positivas no apoio como armadura de compressão. O lado do apoio escolhido é o que apresenta maior diâmetro, visto que barras comprimidas podem apresentar flambagem local, o que é evitado diminuindo-se o espaçamento dos estribos de modo a diminuir o comprimento de flambagem. É óbvio que para uma mesma força de compressão, uma barra de maior diâmetro, devido à maior rigidez, pode ter um comprimento de flambagem maior, ou seja maior espaçamento dos estribos. Exemplificando, para a tensão na armadura igual à f_{yd} , supondo bi-articulado um trecho de barra entre dois estribos, a carga crítica de flambagem é igual a força de compressão na barra, para um comprimento aproximadamente igual a 12ϕ . Uma vez escolhido o lado do apoio, prolonga-se a armadura deste lado no tramo adjacente até a seção cujo momento seja, em valor absoluto, menor que o momento limite, e ancoram-se as barras desta seção.

Seguem-se os algoritmos para a introdução de armaduras positivas comprimidas, devidas aos momentos negativos sobre os apoios :

Procedimento Detalhe_e_Ancore

(Tramo_Comprimido, C1, C2, Seção, Passo : Inteiro ;
 ϕ , $As\phi$: Real) ;

Variável

Número_de_Seções_Ancoradas, Seção_Final : Inteiro ;

Lado_Esquerdo : Lógico ;

ll : Real ;

Início

Com Tramo[Tramo_Comprimido] faça

Início

Lado_Esquerdo \leftarrow (Seção = 0) ;

Seção_Final \leftarrow Seção ;

Enquanto Abs(M_Neg[Seção]) > Momento_Limite faça

Seção \leftarrow Seção + Passo ;

Número_de_Seções_Ancoradas $\leftarrow ll * \phi / \text{Espaço}$;

```

Seção_Final ← Seção_Final +
                Passo * Número_de_Seções_Acoradas ;
Seção ← Seção - Passo ;
Repita
  Seção ← Seção + Passo ;
  Se Lado_Esquerdo
    Então
      Início
        Cce1[ Seção ] ← C1 ;
        Cce2[ Seção ] ← C2 ;
      Fim
      Senão
        Início
          Cod1[ Seção ] ← C1 ;
          Cod2[ Seção ] ← C2 ;
        Fim ;
    Até Seção = Seção_Final ;
Fim ;
Fim ;

```

Procedimento

```

Armação_e_Anc_das_Arm_Comprimidas_Sobre_os_Apoios ;
Início
  Para Tramo_Atual ← 2 até Número_de_Tramos - 1 faça
    Com Tramo[ Tramo_Atual ] faça
      Se As_Compr_Esq > 0.0
        Então
          Início
            Se Tramo[ Tramo_Atual - 1 ]. $\phi$ _Positivo >
               $\phi$ _Positivo
              Então Com Tramo[ Tramo_Atual - 1 ] faça
                Detalhe_e_Ancore( Tramo_Atual,
                  C4[ 20 ], C3[ 20 ],
                  0, 1,
                   $\phi$ _Positivo,
                  As_ $\phi$ _Positivo )
              Senão
                Detalhe_e_Ancore( Tramo_Atual - 1,
                  C4[ 0 ], C3[ 0 ],
                  20, -1,
                   $\phi$ _Positivo,
                  As_ $\phi$ _Positivo ) ;
          Fim ;
        Fim ;
      Fim ;
    Fim ;
Fim ;

```

Após o cobrimento do diagrama de momentos fletores (dimensionamento, detalhamento e ancoragem de todas as seções de um tramo), a armação superior esperada em um tramo não negativo, é a mostrada na figura 37a. Caso

a bitola de um dos apoios seja igual a bitola das barras das armações porta-estribos, as duas armaduras podem ser unidas, ou seja eliminam-se as armaduras porta-estribos e prolonga-se a armadura negativa.

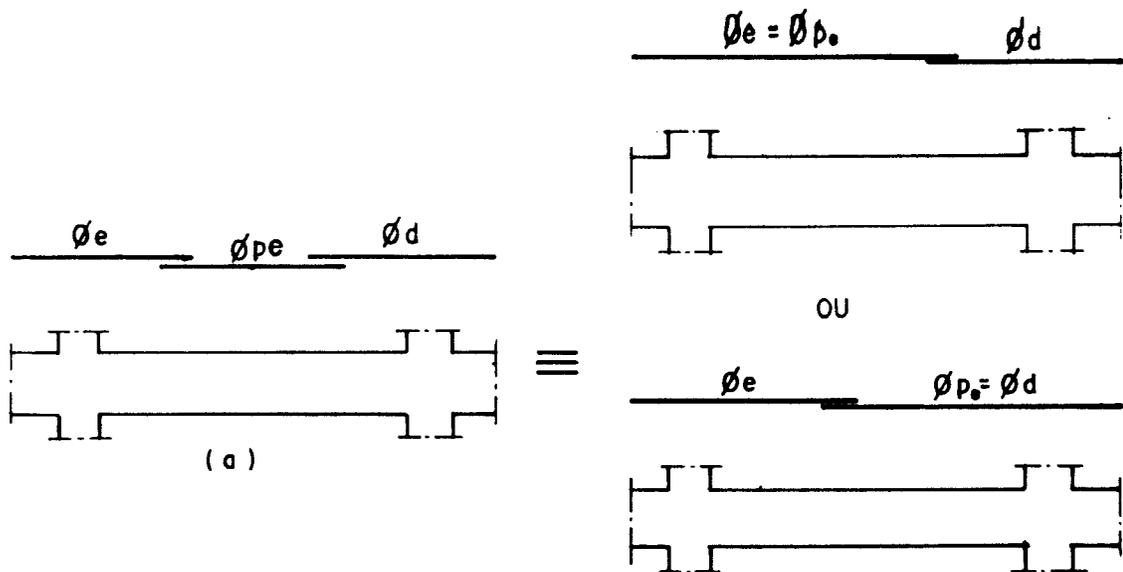


Fig. 37 - Armação superior de um tramo não negativo.

Procedimento Redistribuição das Armaduras Porta Estribo ;

Variável

Lado_Esquerdo_Alterado, Lado_Direito_Alterado : Lógico ;

Seção_Inicial : Inteiro ;

Início

Para Tramo_Atual \leftarrow 1 até Número_de_Tramos faça

Com Tramo[Tramo_Atual] faça

Se NOT Tramo_Negativo

Então

Início

Lado_Esquerdo_Alterado \leftarrow

(ϕ _Negativo_Esquerdo = ϕ _Porta_Estribo) AND

(Cel[0] = Cp1[Seção_de_Momento_Máximo) AND

(Ce2[0] = Cp2[Seção_de_Momento_Máximo) ;

Se Lado_Esquerdo_Alterado

Então

Início

Para i \leftarrow 0 até 20 faça

Início

Cp1[i] \leftarrow 0 ;

Cp2[i] \leftarrow 0 ;

Fim ;

Seção := 0 ;

Repita

| Seção \leftarrow Seção + 1 ;

Até Cel[Seção + 1] = 0 ;

```

i ← Seção ;
Repita
| i ← i + 1 ;
| Ce1[ i ] ← Ce1[ Seção ] ;
Até Cd1[ i - 1 ] ≠ 0 ;

Seção ← 0 ;
Repita
| Seção ← Seção + 1 ;
Até Ce2[ Seção + 1 ] = 0 ;
i ← Seção ;
Repita
| i ← i + 1 ;
| Ce2[ i ] ← Ce2[ Seção ] ;
Até Cd2[ i - 1 ] ≠ 0 ;
Fim ;

```

```

Lado_Direito_Alterado ←
( φ_Negativo_Direito = φ_Porta_Estribo ) AND
Cd1[ 20 ] = Cp1[ Seção_de_Momento_Máximo ] AND
( Cd2[ 20 ] = Cp2[ Seção_de_Momento_Máximo ] ) ;
Se Lado_Esquerdo_Alterado

```

Então

Início

Para i ← 0 até 20 faca

Início

```

| Cp1[ i ] ← 0 ;
| Cp2[ i ] ← 0 ;

```

Fim ;

Seção := 20 ;

Repita

```

| Seção ← Seção - 1 ;
Até Cd1[ Seção - 1 ] = 0 ;
i ← Seção ;

```

Repita

```

| i ← i - 1 ;
| Cd1[ i ] ← Cd1[ Seção ] ;
Até Ce1[ i + 1 ] ≠ 0 ;

```

Seção := 20 ;

Repita

```

| Seção ← Seção - 1 ;
Até Cd2[ Seção - 1 ] = 0 ;
i ← Seção ;

```

Repita

```

| i ← i - 1 ;
| Cd2[ i ] ← Cd2[ Seção ] ;
Até Cd2[ i + 1 ] ≠ 0 ;

```

Fim ;

Fim ;

Fim ;

3.5.2.5 - Montagem das posições

Nos algoritmos anteriormente apresentados, as vigas foram tratadas de maneira discreta. Nos processos seguintes, as partes discretizadas são computadas de modo que as armaduras nas seções sejam montadas em posições contínuas, classificadas e referidas em relação à viga. Uma posição de armadura é única e possui um rótulo, uma referência de localização, comprimentos retos, ganchos, laços, uma bitola comercial e um número de barras. Posteriormente, posições com a mesma geometria e bitolas comerciais recebem o mesmo rótulo, e embora sejam posições diferentes, compõem virtualmente a mesma posição na montagem da tabela final.

Para uma posição negativa, o ponto de referência é o primeiro apoio logo após o início da posição (o eixo de referência horizontal para os apoios em uma viga apresenta valores crescentes no sentido esquerda-direita, e a coordenada de referência de um apoio é a da face direita, exceto para o último apoio onde a face considerada é a esquerda). A partir do apoio de referência, têm-se um comprimento à esquerda, e na extremidade podem existir gancho e laço (neste trabalho define-se gancho como sendo o trecho retilíneo de uma dobra em ângulo reto, e laço como sendo a parte curva cujo diâmetro tenha a finalidade de transferir as tensões de tração na região da dobra, definição diferente da utilizada pela NBR 6118). O mesmo pode ser dito para o lado direito do apoio de referência sendo que neste caso, o comprimento reto pode passar por mais de um apoio. As locações de posições negativas são mostradas na figura 38.

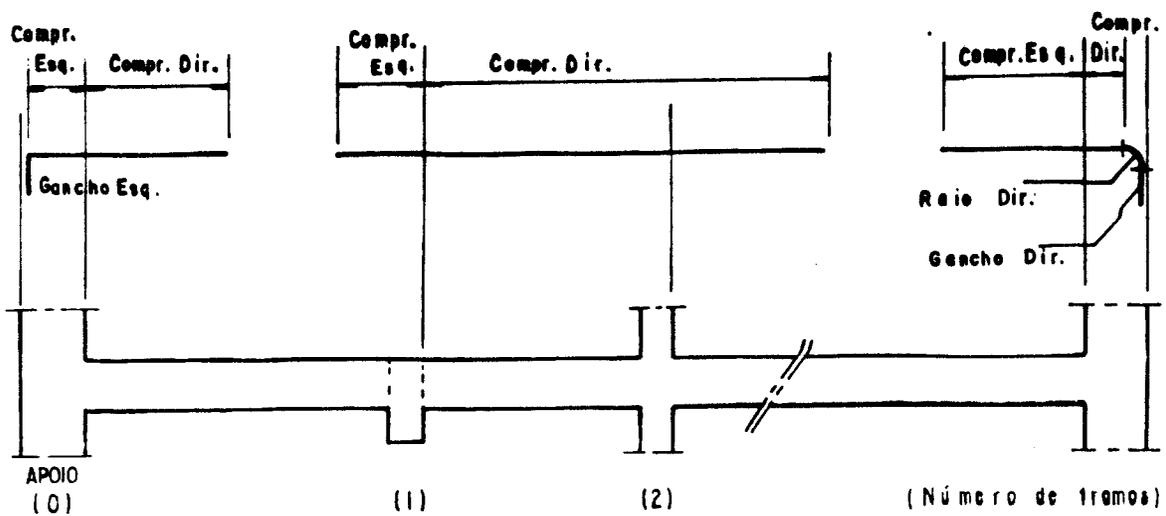


Fig. 38 - Locação de posições negativas.

Para uma posição positiva ou porta estribo, a referência é um tramo e o ponto de referência fica a uma distância da face direita do apoio esquerdo, distância esta, positiva se o início da posição está entre os apoios, e negativa, se no interior do apoio à esquerda. Uma posição deste tipo possui um comprimento reto, uma bitola comercial, e pode ter ganchos e laços. A locação de posições positivas é mostradas na figura 39.

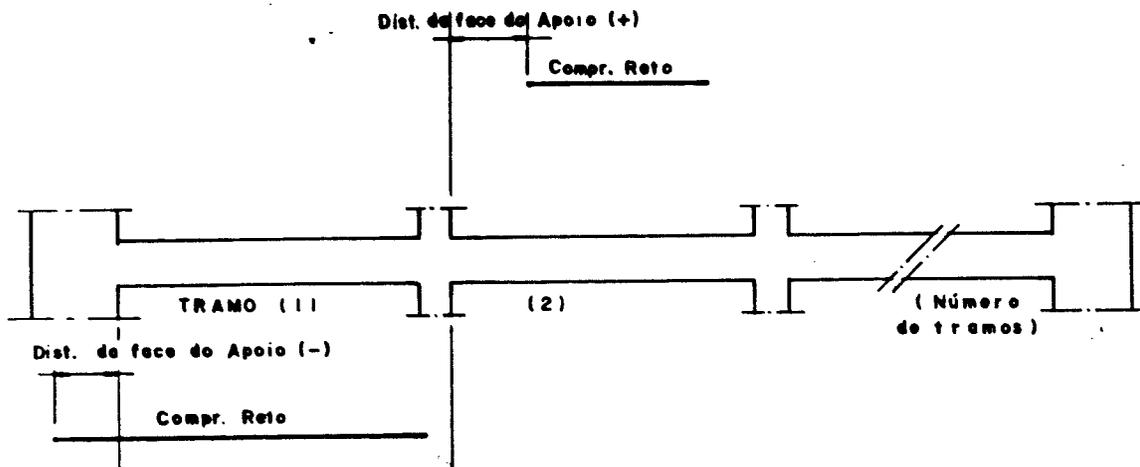


Fig. 39 - Locação de posições positivas ou porta estribos.

Qualquer posição pode ocupar a primeira ou a segunda camada, conforme foi determinando no detalhamento.

Sob o aspecto da implementação computacional, as posições são armazenadas em vetores de registros, numa estrutura de dados já mostrada, porém apresentada novamente com alguns detalhes :

Tipo

```
Tipo_Posicao_Positiva = Registro
    Comprimento_Reto,
    Dist_da_Face_do_Ap_Esq,
    Comprimento, { total }
    Gancho_Esquerdo,
    Gancho_Direito,
    Raio_Esquerdo, Raio_Direito,
    Canada,
    Trecho, { Tramo }
    Numero_de_Barras,
    Posicao_Equivalente { Rótulo }
                                : Inteiro ;
    φ : Real ;
```

```
                                Fim ;
Tipo_Posicao_Negativa = Registro
    Comprimento_Esquerdo,
    Comprimento_Direito,
    Comprimento, { total }
    Gancho_Esquerdo,
    Gancho_Direito,
    Raio_Esquerdo, Raio_Direito,
    Canada, Apoio,
    Numero_de_barras,
    Posicao_Equivalente : Inteiro;
    φ : Real ;
```

```
                                Fim ;
Vet_Posicao_Positiva = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_POSIC ]
                                Tipo_Posicao_Positiva ;
Vet_Posicao_Negativa = Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_POSIC ]
                                Tipo_Posicao_Negativa ;
```

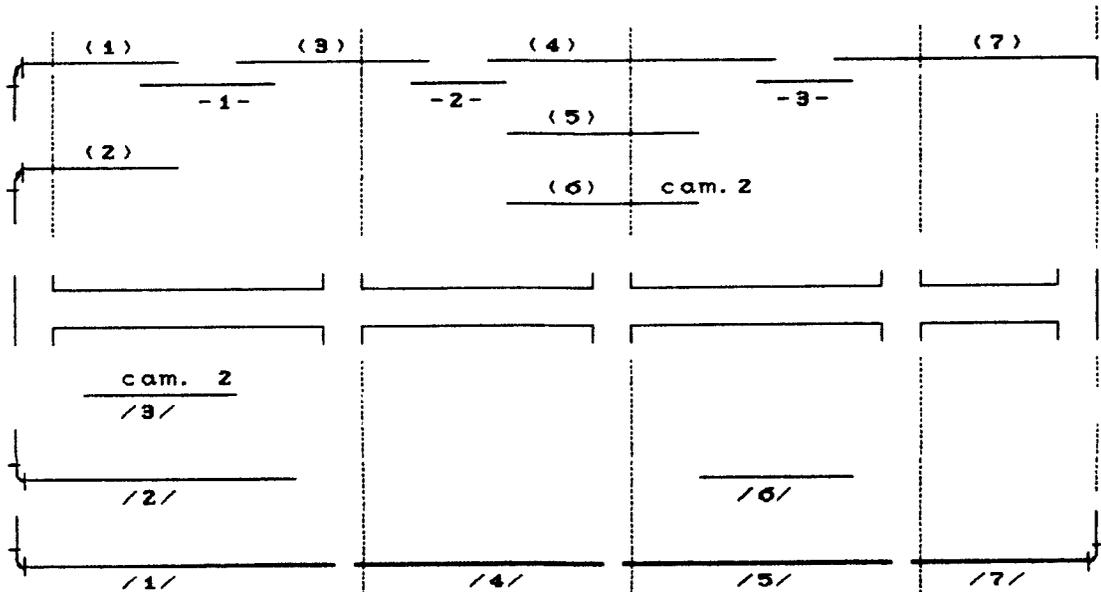
Variável

```
Posicao_Positiva,
Posicao_Porta_Estribo : Vet_Posicao_Positiva ;

Posicao_Negativa : Vet_Posicao_Negativa ;
```

Os índices dos vetores acompanham o índice da referência na viga (apoio ou tramo), com a camada e

com o comprimento da posição, conforme é mostrado na figura 40.



- (i) - posição negativa
- j- - posição porta estribo
- /k/ - posição positiva

Fig. 40 - Relação entre índices dos vetores posições e locação de posição na viga.

O procedimento para a montagem das posições negativas é o seguinte : para um dado apoio, percorrem-se as seções do tramo à esquerda (a partir do índice 20, de maneira decrescente) em busca do índice no vetor Cel cujo conteúdo seja nulo. Com este índice (seção inicial) obtém-se o comprimento esquerdo da posição. Com o tramo à direita do apoio, busca-se o índice do vetor Cdl cujo conteúdo seja nulo. A obtenção de índice igual ao número total de seções (20) significa que se trata de um tramo negativo e a busca deve persistir no tramo seguinte. Com o conhecimento do tramo final e do índice (seção final), obtém-se o comprimento direito. O número de barras da posição montada é o menor entre os valores armazenados em

Ce_1 [seção inicial] (no tramo à esquerda) e em Cd_1 [seção final] (no tramo final à direita). Tratamento especial é dado na obtenção da seção inicial no primeiro apoio, e da seção final, quando o tramo final é o número de tramos. Uma vez montada uma posição, retira-se dos vetores Cd_1 e Cd_2 , nas faixas de índices que formaram a posição, o número de barras. A obtenção de seção inicial igual ao número de seções significa o fim das barras da camada no apoio, passando-se então para a segunda camada, e em seguida para o próximo apoio, até esgotar a segunda camada do último apoio. Ajustes dos comprimentos são feitos devido ao fato das seções serem frações dos vão teóricos, que são as distâncias entre nós da grelha, que em geral não coincidem com as faces dos apoios, usadas como referências para as posições. Outros ajustes devem ser feitos quando as barras passam pelos apoios extremos, onde devem ser observados os ganchos, laços e cobrimentos laterais. Os ganchos e laços são determinados na ocasião do dimensionamento e detalhamento dos apoios extremos.

Nota-se que um tramo negativo (aquele em que uma ou mais posições negativas passam sem interrupção, pelos dois apoios) é reconhecido quando a seção final é igual ao número de seções. Na fase de detalhamento, os vetores Ce_i e Cd_i são montados independentemente, sendo que num tramo negativo, todos os elementos são diferentes de zero. Portanto, deve ser feita uma compatibilização dos vetores, de modo que cada elemento de Ce_i contenha o maior número de barras entre Ce_i e Cd_i , e em seguida Cd_i seja igual à Ce_i . Isto é necessário devido ao fato da seção inicial ser determinada com o vetor Cd_i e a final com Ce_i .

A montagem de uma posição positiva ou porta-estribo é mais simples, pois a posição sempre está vinculada a um só tramo (a não ser que exista armadura positiva comprimida no apoio comum de tramos adjacentes, que acarreta no acréscimo do comprimento da barra). Caso a seção inicial seja 0 ou a seção final seja 20, em tramo

extremo, ajustam-se os comprimentos e introduzem-se os ganchos e laços. Nos casos de seção inicial ou final no interior de apoios, deve-se verificar se o comprimento no interior atinge o valor 10ϕ . Em caso contrário, tal comprimento deve ser ajustado.

Uma vez montadas todas as posições, elas são rotuladas (campo Posição_Equivalente). Posições de mesmos comprimentos retos totais, mesmos ganchos, laços e bitola comercial, recebem o mesmo rótulo. No final, os rótulos são ordenados de modo que o rótulo de número 1 seja para a posição de maior comprimento total e maior bitola, e o último, para a posição de menor bitola e menor comprimento total. A ordenação é feita somente para as posições positivas, negativas e porta estribos. A finalidade desta ordenação é facilitar, na ocasião da execução do projeto, o corte das posições e diminuir as perdas de ferro devidas ao corte. Portanto, as armaduras de pele recebem os últimos rótulos, pois tratam-se de armaduras construtivas, podendo ser seus comprimentos corridos (traspassados). A otimização de cortes das posições pode ser feita de maneira muito mais eficiente utilizando-se programação linear, cuja dificuldade no caso, consiste na geração de padrões (os comprimentos das barras de aço comercializados apresentam variações razoáveis), não sendo pois objeto de estudo neste trabalho.

Após a montagem das posições, estas devem ser devidamente armazenadas para posterior confecção de desenhos e tabelas. Com isso fica encerrado processo de dimensionamento e detalhamento das vigas.

3.6 - CONFECCÃO DE DESENHOS E TABELAS

3.6.1 - Introdução

Nos processos anteriores, partindo-se basicamente do modelo de grelha para um pavimento, com alguns dados adicionais, foram sistematizadas as fases de análise da estrutura, geração de dados da geometria e dos carregamentos das vigas. Em seguida, a partir dos dados da grelha e dos resultados obtidos na análise estática, foram sistematizados para cada viga, os processos de discretização em seções, geração de esforços, dimensionamento e detalhamento das armaduras longitudinais de cada seção discretizada, além da montagem e armazenamento das posições.

Para o desenho das armaduras das vigas, ficaria então faltando o detalhamento da armaduras transversais, o que foi elaborado no trabalho de COSTA[1]. As estruturas de dados de geometria e carregamentos das vigas, e das armaduras transversais (somente estribos verticais), são compartilhadas entre o presente trabalho e o citado, sendo portanto, as armaduras transversais migradas de arquivos gerados pelos outros programas e incorporadas no desenho.

A notação usada nos algoritmos para confecção de desenhos para representar primitivos gráficos⁴, é tal que independe do dispositivo (terminal de vídeo, impressora, traçador gráfico, etc). A cada viga fica definido um sistema de coordenadas cartesianas local,

⁴ Elemento gráfico básico utilizado para construir uma imagem, como por exemplo : ponto e linha.

com o ponto de origem indicado na Figura 41. Cada ponto de origem pode ser trasladado a partir de um outro ponto de um sistema cartesiano de coordenadas global, relativo ao dispositivo gráfico utilizado. Os primitivos gráficos utilizados nos algoritmos são referidos aos eixos locais de cada viga.

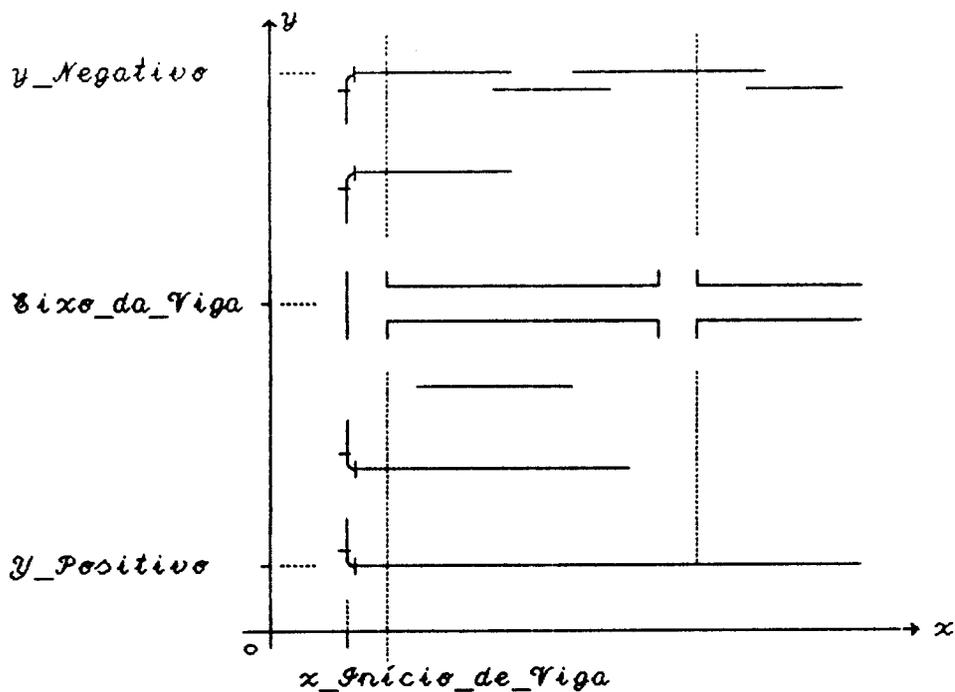


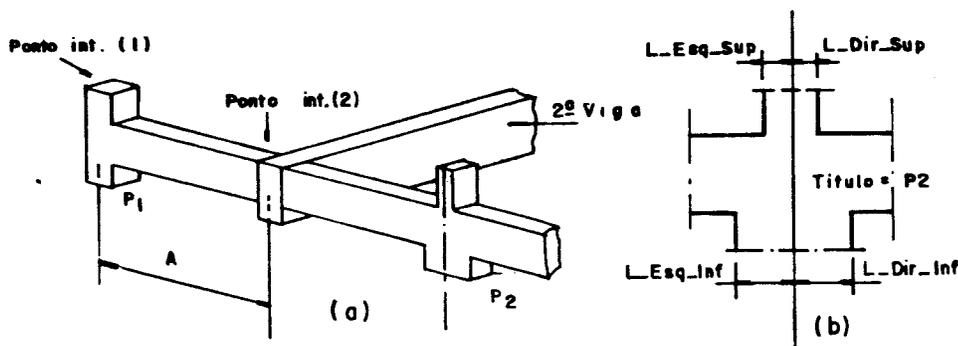
Fig. 41 - Definição do sistema de coordenadas locais de uma viga.

3.6.2- Estrutura de dados

A estrutura de dados usada anteriormente para as posições longitudinais se mantém. Para a definição dos tramos, pode-se retirar do registro de tramo, todos os dados não referentes à geometria. Devem ser criados um registro para viga, e uma estrutura tipo vetor de

registros para se ter acesso a todas as vigas. A razão disto é que durante a geração do desenho do gabarito (vista em perfil da viga), são indicadas seções de outras vigas incidentes. Pela razão acima, fica explicitada a necessidade de se ter indicações de quais os pontos de intercessões de vigas ou pilares, através de um vetor de registros que contém dados relativos a cada ponto intermediário (viga incidente, pilar incidente, distância de cada ponto intermediário do primeiro apoio). Nota-se que a geometria de uma viga independe das posições de armaduras, e estas sim são relativas à viga. Para as armaduras transversais fica definido *Estribo* como sendo as características de uma posição tipo estribo (largura, altura, gancho, bitola) e *Posição_Estribo* como sendo a localização de um grupo de estribos em uma faixa de um tramo (estribo correspondente, comprimento e posição da faixa, número de barras, espaçamento).

Seguem-se as novas estruturas de dados e a representação gráfica de algumas delas na Figura 42.



```
Ponto_Intermediário[ 1 ]
|
| Viga_Transversal = 0 < o ponto não é viga >
| Restrição_do_Pilar = 1 < existe pilar >
| Dist_do_Prim_Apoio = 0,0
```

```
Ponto_Intermediário[ 2 ]
|
| Viga_Transversal = 2
| Restrição_do_Pilar = 0 < não existe pilar >
| Dist_do_Prim_Apoio = A
| Pilar = < Não tem interesse >
```

Fig. 42 - Representação gráfica de alguns dados

Tipo

Tipo_Pilar = Registro { Fig 42b }
 | L_Esq_Inf, L_Esq_Sup,
 | L_Dir_Inf, L_Dir_Sup : Real ;
 | Titulo : Caracter ;
Fim ;

Tipo_Ponto_Intermediário =
Registro { Fig. 42a }
 | Viga_Transversal,
 | Restrição_do_Pilar : Inteiro ;
 | Dist_do_Prím_Apoio : Real ;
 | Pilar : Tipo_Pilar ;
Fim ;

Tipo_Tramo = Registro
 | Vão, Pe, Pd, Ae, Ad,
 | bfe, hfe, bfd, hfd : Real ;
Fim ;

Tipo_Viga = Registro
 | Número_de_Tramos,
 | Número_de_Pontos_Intermediários,
 | Número_de_Seções, Posição_Pele,
 | Número_de_Canadas_Pele : Inteiro ;
 | Titulo : Caracter ;
 | bw, h, Pee, Ped, Aee, Aed, Cota : Real ;
 | Tramo : Vetor [1..MAX_NUM_DE_TRAMOS]
 | Tipo_Tramo ;
 | Ponto_Intermediário :
 | Vetor [1..MAX_NUM_DE_TRAMOS]
 | Tipo_Ponto_Intermediário ;
 | Número_de_Posições_Positivas,
 | Número_de_Posições_Negativas,
 | Número_de_Posições_Porta_Estribos
 | Número_de_Posições_Estribos : Inteiro ;
Fim ;

Tipo_Posição_Estribo : Registro {Fig. 48, item 3.6.3.2}
 | Trecho, Dist_Inicial, Compr,
 | Número, Quant : Inteiro ;
 | Espaçamento : Real ;
Fim ;

Tipo_Estribo : Registro
 | Altura, Largura, Gancho, ϕ : Real ;
Fim ;

Variável

Número_Total_de_Posições_Longitudinais,
 Número_de_Vigas,
 Número_de_Estribos,
 Y_Negativo, Y_Positivo, Eixo_da_Viga : Inteiro ;

```

Maior_Nivel, Menor_Nivel : Real ;

Viga : Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_VIGAS ] Tipo_Viga ;
Estribo : Vetor [ 1..MAX_NUM_DE ESTRIBOS ]
          Tipo_Estribo ;

Coordenada_X_do_Apoio :
          Vetor [ 0..MAX_NUM_DE_TRAMOS ] Real ;

Prim_Pos_Neg_no_Apoio, Prim_Pos_Pos_no_Trecho :
          Vetor [ 0..MAX_NUM_DE_TRAMOS ] Inteiro ;

Pos_Neg_no_Apoio, Pos_Pos_no_Trecho :
          Vetor [ 1..MAX_NUM_DE_POSIÇÕES ] Inteiro ;

```

O procedimento básico para geração de primitivos gráficos é o que coloca um ponto em uma dada posição (x, y) do dispositivo. Tendo-se implantado esse procedimento, os demais são combinações deste. Por exemplo para se implementar um algoritmo para traçar uma linha ligando o ponto (x_1, y_1) ao ponto (x_2, y_2) pode-se usar a equação analítica da reta. Algoritmos mais eficientes para geração de retas em dispositivos gráficos, como por exemplo o algoritmo de Bresenham, e também de outros primitivos como arcos, elipses, etc, são detalhados por TORI e outros[8]. Para se dar prosseguimento ao texto, seguem-se somente as descrições dos procedimentos com os parâmetros utilizados nas sub-rotinas relativas ao desenho das vigas e armaduras, como também a figura 43, ilustrando os mesmos :

```

Procedimento Trace_Reta( x1, y1, x2, y2 : Real ) ;
  { Une os pontos por uma reta }

```

```

Procedimento Trace_Hor( x1, y1, x2 : Real ) ;
  { Idem para os pontos ( x1,y1 ) e ( x2, y1 ) }

```

```

Procedimento Trace_Ver( x1, y1, y2 : Real ) ;
  { Idem para os pontos ( x1,y1 ) e ( x1, y2 ) }

```

```

Procedimento Arco( xr, yr, R, Ang_I, Ang_F : Real ) ;
  { Traça um arco circular de raio R, a partir do ângulo
    Ang_I até Ang_F ( em graus ), tendo o ponto ( xr, yr )
    como ponto central }

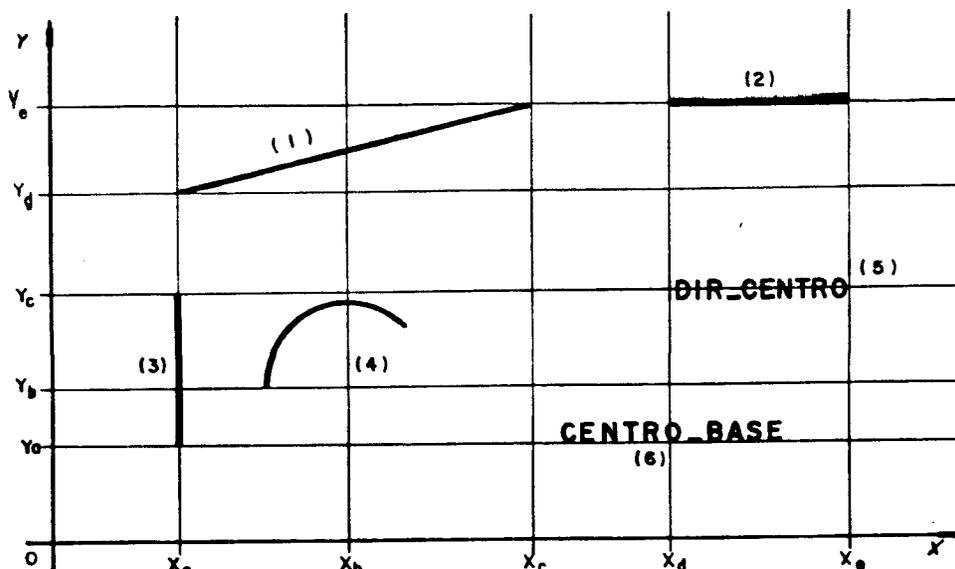
```

Procedimento Escreva_Texto

```

( x, y : Real ;
  Texto : Caracter ;
  Justificação_Horizontal,
  Justificação_Vertical : Inteiro ) ;
{ desenha figuras correspondentes a caracteres, no ponto
(x,y) conforme a justificação ( Esquerda, Direita,
Centro, Topo, Base ) }

```



- ```

(1) Trace_Reta(x_a, y_d, x_c, y_e) ;
(2) Trace_Hor(x_d, y_e, x_e) ;
(3) Trace_Ver(x_a, y_a, y_c) ;
(4) Arco(x_b, y_b, R, 45, 180) ;
(5) Escreva_Texto(x_e, y_c, 'DIR-CENTRO',
 Direito, Centro) ;
(6) Escreva_Texto(x_d, y_a, 'CENTRO_BASE',
 Centro, Base) ;

```

Fig. 49 - Procedimentos básicos para geração de gráficos.

Um programa computacional para desenho de uma viga e detalhe das armaduras dessa viga, tem como corpo principal, a chamadas das sub-rotinas seguintes :

Início

```
Leitura_dos_Dados_de_Geometria_das_Vigas ;
Leitura_das_Posicoes_Longitudinais ;
Leitura_das_Posicoes_Transversais ;

Desenho_do_Gabarito_da_Viga ;
Indicacao_das_Posicoes_Transversais ;
Desenho_das_Posicoes_Longitudinais ;
Desenho_de_Secoẽs ;
```

Fim.

## 3.6.3 - Algoritmos

Os algoritmos para leituras de dados são inversos aos procedimentos de escrita utilizados na implementação dos programas anteriores, dando-se portanto, total liberdade ao programador, para defini-los.

## 3.6.3.1 - Desenho do gabarito da viga

Desenhar o gabarito de uma viga significa mostrar a vista em perfil, traçando as faces superior e inferior, pilares e vigas incidentes, faces dos apoios ( para que se possa locar as posições ), indicar os títulos dos pilares e vigas incidentes. Para isso, é de grande ajuda determinar as abscissas correspondentes aos eixos dos apoios ( ponto onde foram definidos os nós na grelha que representam os apoios ). Assim, um certo elemento correspondente a um dado tramo, fica facilmente localizado em função dessas coordenadas.

Para se ter um desenho elegante, embora

este conceito de "elegância", seja muito subjetivo, neste trabalho, de acordo com o gosto do autor, distribuem-se as posições longitudinais espaçadas de 100 centímetros, sendo que as posições negativas são indicadas acima da face superior da viga. A posição negativa mais próxima da face, dista 100 cm do eixo utilizado para indicação das posições estribo, que por sua vez, dista 40 centímetros do nível mais elevado correspondente ou à indicação de cortes ( interrupção ) de pilares ou face superior de vigas incidentes. O mesmo espaçamento é utilizado para as posições positivas, sendo que a posição mais próxima da face inferior mantém o espaçamento ( Figura 44 ). Devem também ser determinados, os número de posições positivas e negativas máximos que são mostrados, na direção vertical. Deste modo, pode-se obter os valores de  $Y_{Negativo}$ ,  $Y_{Positivo}$ , e  $X_{Eixo\_da\_Viga}$  da Figura 41, arbitrando-se inicialmente um deles. O valor de  $x_{Inicio\_de\_Viga}$  é definido, de acordo com critérios subjetivos do autor como sendo igual a 50 centímetros<sup>2</sup>.

Seguem-se as constantes e os procedimentos relativos à determinação dos eixos e distâncias utilizados como referências, de acordo com a figura 44 :

```

Const
 INCREMENTO_Y_DE_POSIÇÕES = 100 ;
 Y_RESERVADO_ESTRIBOS = 40 ;
Procedimento Determinação_dos_Maiores_Níveis ;
Início
 Maior_Nível ← - ∞ ;
 Menor_Nível ← ∞ ;

 Para Viga_Atual ← 1 até Numero_de_Vigas faça
 Com Viga[Viga_Atual] faça
 Início
 Maior_Nível ← Maior(Maior_Nível, Cota) ;
 Menor_Nível ← Menor(Menor_Nível, Cota - h) ;
 Fim ;
Fim ;

```

<sup>2</sup> Os valores numéricos acima citados, são na escala real ( 1 : 1 ).

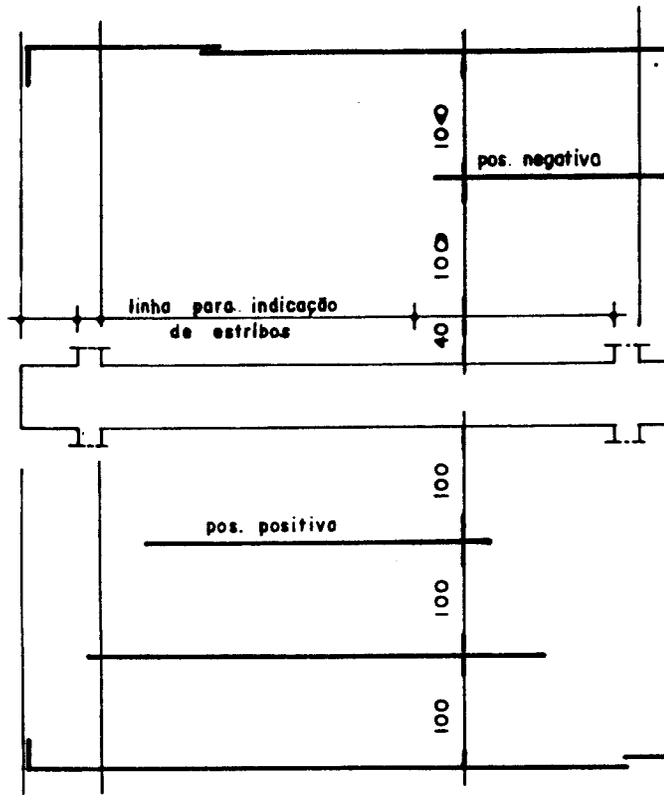


Fig. 44 - Distribuição dos desenhos de uma viga.

No procedimento seguinte, um elemento do vetor 'Prim\_Pos\_Neg\_no\_Apoio' contém o índice da primeira posição negativa num dado apoio, enquanto um elemento do vetor 'Pos\_Neg\_no\_Apoio' contém a ordem em que a posição negativa de mesmo índice aparece no apoio. Exemplificando,  $\text{Prim\_Pos\_Neg\_no\_Apoio}[ 2 ] = 4$ , significa que  $\text{Posição\_Negativa}[ 4 ]$  é a primeira que aparece no segundo apoio, e  $\text{Pos\_Neg\_no\_Apoio}[ 5 ] = 2$ , significa que a  $\text{Posição\_Negativa}[ 5 ]$  dista  $2 \times 100$  centímetros da ordenada  $Y_{\text{Negativo}}$ .

Procedimento

Determinação\_do\_Maior\_Número\_de\_Posições\_em\_Tranos ;

Início

Com Viga[ Viga\_Atual ] faça

Início

Prim\_Pos\_Neg\_no\_Apoio[ 0 ] ← 1 ;

Para Posição ← 2 até

Número\_de\_Posições\_Negativas faça

Com Posição\_Negativa[ Posição ] faça

Se Posição\_Negativa[ Posição - 1 ].Apoio ≠  
Apoio

Então

Prim\_Pos\_Neg\_no\_Apoio[ Apoio ] ← Posição ;

Maior\_Num\_de\_Pos\_Negat ← 1 ;

Para Posição ← 1 até

    Número\_de\_Posições\_Negativas faca  
    Com Posição\_Negativa[ Posição ] faca

Início

X\_Tramo ← Coordenada\_X\_do\_Apoio[ Apoio ] ;

Se Posição = 1

Então Pos\_Neg\_no\_Apoio[ Posição ] ← 0

Senão

Se Dist\_Final\_das\_Pos\_Neg\_Anteriores  
    < X\_Tramo

Então Pos\_Neg\_no\_Apoio[ Posição ] ← 0

Senão

Se Posição =

    Prim\_pos\_Neg\_no\_Apoio[ Apoio ]

Então

    Pos\_Neg\_no\_Apoio[ Posição ] ← 1

Senão

    Pos\_Neg\_no\_Apoio[ Posição ] ←

        Pos\_Neg\_no\_Apoio[ Posição - 1 ] + 1 ;

Maior\_Num\_de\_Pos\_Negat ←

    Maior( Maior\_Num\_de\_Pos\_Negat,

        Pos\_Neg\_no\_Apoio[ Posição ] + 1 ) ;

Fim ;

{ Os blocos anteriores utilizados para obtenção do número de camadas de armaduras negativas, podem ser usados de maneira análoga, para obtenção do número de camadas de armaduras positivas, como também de porta estribos }

N\_Pos\_Sup ← Maior( Maior\_Num\_de\_Pos\_Negat,  
    Maior\_Num\_de\_Pos\_Porta\_Estr ) ;

N\_Pos\_Inf ← Maior( Maior\_Num\_de\_Pos\_Posit ;

Maior\_Num\_de\_Pos\_na\_Viga ← N\_Pos\_Sup + N\_Pos\_Inf ;

Y\_Total ← ( N\_Pos\_Sup + N\_Pos\_Inf ) \*  
    INCREMENTO\_Y\_DE\_POSIÇÕES +  
    Y\_RESERVADO ESTRIBOS + Diferença\_de\_Nível ;

```

{ Arbitrando-se por exemplo y_Positivo, obtém-se os
 outros níveis de referência }
y_Positivo ← 50 ;
y_Negativo ← y_Positivo + Y_Total ;
Sixo_da_Viga ← y_Negativo -
 N_Pos_Sup * INCREMENTO_Y_DE_POSIÇÕES
 - Y_RESERVADO ESTRIBOS -
 (Maior_Nivel - Cota) - h / 2 ;
Fim ;
Fim ;

```

As variáveis e algoritmos seguintes, descrevem a sequência para a geração gráfica do gabarito de uma viga. Neste desenho, são traçadas as faces superior e inferior da viga, interrompidas ou não, pelas seções das vigas transversais ou pelos pilares de apoio. Os títulos de tais vigas e pilares também são indicados. Também são mostradas as linhas de chamadas utilizadas para referência das posições longitudinais :

Variável

```

x,
xe, xd, { x à direita e à esquerda }
xei, xdi, xes, xds, { idem, superior e inferior }
ht, { altura da viga transversal }
yv, { semi altura da viga desenhada }
Cota_Trans, N_Sup_At : Real ;

```

O desenho do pilar são os traços das faces verticais e horizontais, de acordo com a fig. 45.

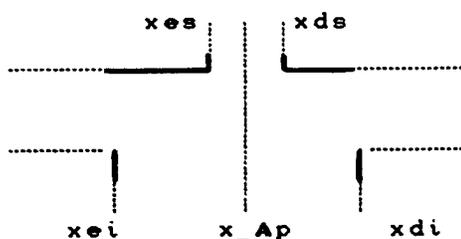


Fig. 45 - Coordenadas utilizadas no desenho dos pilares intermediários.

Procedimento Desenhe\_Pilar( Título : Caracter ;  
X\_Ap : Real ) ;

Início

```

xe := Menor(xes, xei) ;
xd := Maior(xds, xdi) ;

Se xei ≠ xe
 Então Trace_Hor(xe, Eixo_da_Viga - yv, xei) ;
Se xei ≠ x_Ap
 Então Trace_Ver(xei, Eixo_da_Viga - yv,
 Eixo_da_Viga - yv - 15) ;

Se xdi ≠ xd
 Então Trace_Hor(xd, Eixo_da_Viga - yv, xdi) ;
Se xdi ≠ x_Ap
 Então Trace_Ver(xdi, Eixo_da_Viga - yv,
 Eixo_da_Viga - yv - 15) ;
 Eixo_da_Viga - yv - 15) ;

Se xes ≠ xe
 Então Trace_Hor(xe, Eixo_da_Viga + yv, xes) ;
Se xes ≠ x_Ap
 Então Trace_Ver(xes, Eixo_da_Viga + yv,
 Eixo_da_Viga + yv - 15) ;

Se xds ≠ xd
 Então Trace_Hor(xd, Eixo_da_Viga + yv, xds) ;
Se xds ≠ x_Ap
 Então Trace_Ver(xds, Eixo_da_Viga + yv,
 Eixo_da_Viga + yv - 15) ;

Escreva_Texto(xdi, Eixo_da_Viga - yv - 15, Título,
 Esquerda, Meio) ;

Fim ;

```

Ao desenhar as vigas transversais, deve-se observar a posição relativa destas em relação a viga que é mostrada no gabarito. Estudando-se as possíveis diferenças de níveis superior, como também as possíveis diferenças de alturas, determinam-se quais as linhas que podem ser interrompidas, e quais as que têm continuidade. Mostram-se na figura 46, as coordenadas auxiliares e os diversos casos de posição relativa de uma viga intermediária. A seguir é apresentado o algoritmo para o desenho das vigas transversais.

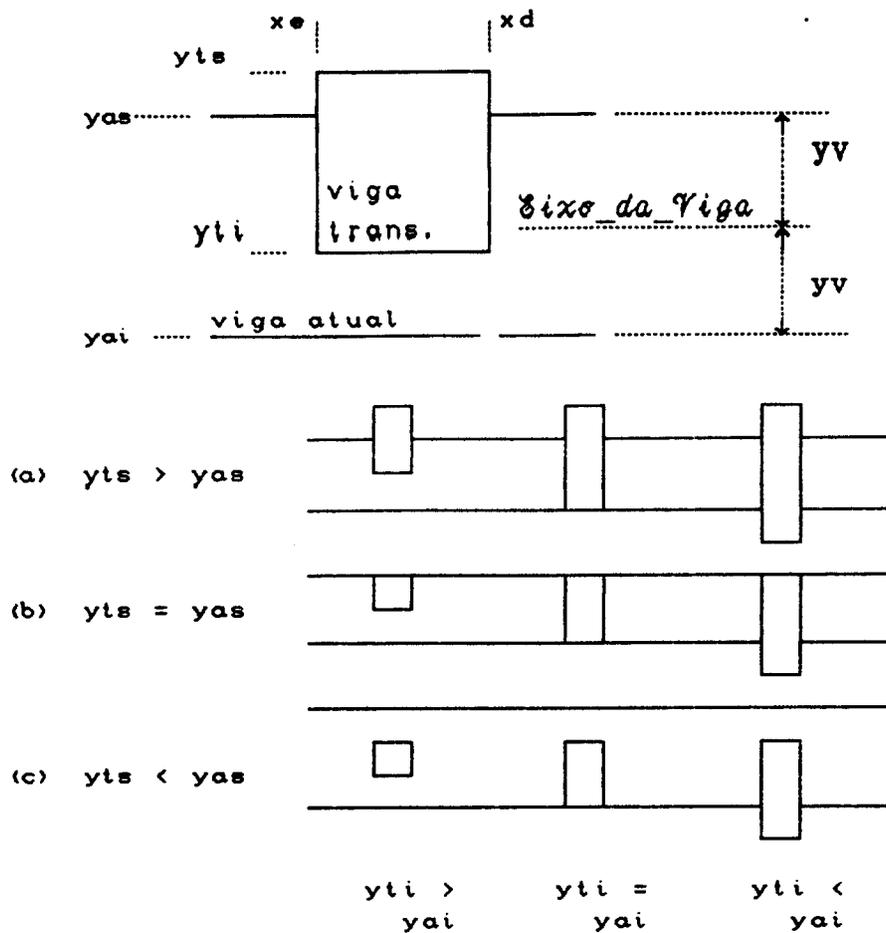


Fig. 46 - Coordenadas utilizadas no desenho de vigas intermediárias, e possíveis situações das vigas transversais.

Procedimento Desenhe\_Viga\_Transversal

( Título : Caracter ) ;

Variável

$y_{ts}, y_{ti}, y_{as}, y_{ai}, \Delta N$  : Real ; { ver fig. 46 }

Início

$\Delta N \leftarrow N_{Sup\_Trans} - N_{Sup\_At}$  ;

$y_{as} \leftarrow \text{eixe\_da\_Viga} + y_v$  ;

$y_{ai} \leftarrow \text{eixe\_da\_Viga} - y_v$  ;

$y_{ts} \leftarrow y_{as} + \Delta N$  ;

$y_{ti} \leftarrow y_{ts} - ht$  ;

$ys \leftarrow \text{Maior}( y_{as}, y_{ts} )$  ;

$yi \leftarrow \text{Menor}( y_{ai}, y_{ti} )$  ;

Trace\_Hor(  $x_e, ys, x_d$  ) ; { faces horizontais }

Trace\_Hor(  $x_e, yi, x_d$  ) ; { extremas }

```

Se yts < yas { fig. 46c }
 Então Trace_Hor(xe, yts, xd) ;

Se yti > yai { fig. 46abc, seções à esq. }
 Então Trace_Hor(xe, yti, xd) ;

Trace_Ver(xe, yts, yti) ;
Trace_Ver(xd, yts, yti) ;

ys ← Menor(yas, yts) ;
yi ← Maior(yai, yti) ;

Escreva_Texto(xd, 0.5 * (ys + yi), Titulo,
 Esquerda, Centro) ;

Fim ;

```

Procedimento Desenho\_dos\_Pontos\_Intermediários ;

Variável

Ponto\_Int\_Atual : Inteiro ;

X\_Int : Real ;

Início

Com Viga[ Viga\_Atual ] faça

Início

x ← Coordenada\_X\_do\_Apoio[ 0 ] ;

yv ← h / 2 ;

N\_Sup\_At ← 0 ;

Para Ponto\_Int\_Atual ← 1

até Numero\_de\_Pontos\_Int faça

Com Ponto\_Intermediário[ Ponto\_Int\_Atual ] faça

Se Viga\_Transversal <> 0

Então Com Viga[ Viga\_Transversal ] faça

Início

N\_Sup\_Trans ← Cota ;

x\_Int ← x + Dist\_do\_Prim\_Apoio ;

xe ← x\_Int - 0.5 \* bw ;

xd ← x\_Int + 0.5 \* bw ;

ht ← h ;

Desenhe\_Viga\_Transversal( Titulo ) ;

Fim

Senão Com Pilar faça

Início

x\_Int ← x + Dist\_do\_Prim\_Apoio ;

xei ← x\_Int - L\_Esq\_Inf ;

xdi ← x\_Int + L\_Dir\_Inf ;

xes ← x\_Int - L\_Esq\_Sup ;

xds ← x\_Int + L\_Dir\_Sup ;

Desenhe\_Pilar( Titulo, x\_Int ) ;

Fim ;

Fim ;

Fim ;



Com Ponto\_Intermediário[ Ponto\_Atual ] faça

Início

xi ← x + Dist\_do\_Prim\_Apoio ;

Se Viga\_Transversal <> 0

Então xe ← xi +

0.5 \* Viga[ Viga\_Transversal ].bw

Senão Se Pilar.Titulo <> '' { não existe }

Então Com Pilar faça

xe ← xi +

Maior( L\_Dir\_Inf, L\_Dir\_Dir )

Senão xe ← xi ;

Fim ;

Com Ponto\_Intermediário[ Ponto\_Atual + 1 ] faça

Início

xi ← x + Dist\_do\_Prim\_Apoio ;

Se Viga\_Transversal <> 0

Então xd ← xi -

0.5 \* Viga[ Viga\_Transversal ].bw

Senão Se Pilar.Titulo <> '' { existe }

Então Com Pilar faça

xd ← xi -

Maior( L\_Esq\_Inf, L\_Esq\_Dir )

Senão xd ← xi ;

Fim ;

Trace\_Hor( xe, Eixo\_da\_Viga - yv, xd ) ;

Trace\_Hor( xe, Eixo\_da\_Viga + yv, xd ) ;

Fim ;

Com Ponto\_Intermediário

[ Número\_de\_Pontos\_Intermediários ] faça

Início

xf ← x + Dist\_do\_Prim\_Apoio ;

Se Viga\_Transversal <> 0

Então xd ← xf +

0.5 \* Viga[ Viga\_Transversal ].bw

Senão Se Pilar.Titulo <> '' { existe }

Então Com Pilar faça

xd ← xf +

Maior( L\_Dir\_Inf, L\_Dir\_Dir )

Senão xd ← xf ;

Fim ;

Trace\_Ver( xd, *y\_Negativo*,  
Eixo\_da\_viga + yv + 30 ) ;

Trace\_Ver( xd, Eixo\_da\_viga + yv,  
Eixo\_da\_viga - yv ) ;

Trace\_Ver( xd, Eixo\_da\_viga - yv - 30,  
*y\_Positivo* ) ;

Fim ;

Fim ;

Para se locar as posições longitudinais, são traçadas linhas verticais passando pelas faces direitas dos apoios. A face direita de referência dos pilares que apresentam diferentes seções acima e abaixo da viga, é a inferior.

Procedimento Traçado\_das\_Faces\_dos\_Apoios ;

Variável

xf : Real ;

Início

Com Viga[ Viga\_Atual ] faça

Início

x ← Coordenada\_X\_do\_Apoio[ 0 ] ;

Para Tramo\_Atual ← e até Numero\_de\_Tramos faça

Com Tramo[ Tramo\_Atual ] faça

Início

xf ← x + Maior( Pe, Ae ) ;

Trace\_Ver( xf, Sixo\_da\_Viga - yv - 30,  
y\_Positivo ) ;

Trace\_Ver( xf, Sixo\_da\_Viga + yv + 30,  
y\_Negativo ) ;

Fim ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento Desenho\_do\_Gabarito\_da\_Viga ;

Início

Determinação\_Coordenadas\_X\_do\_Apoio ;

Determinação\_dos\_Maiores\_Niveis ;

Determinação\_do\_Maior\_Número\_de\_Posições\_em\_Tramos ;

Desenho\_dos\_Pontos\_Intermediários ;

Desenho\_da\_Viga ;

Traçado\_das\_Faces\_dos\_Apoios ;

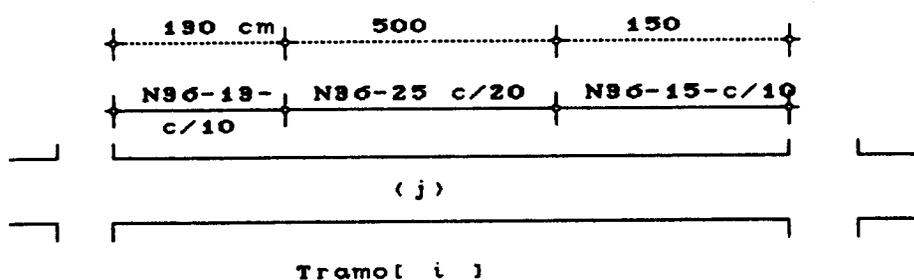
Fim ;

### 3.6.3.2 - Indicação dos estribos

A geometria de um estribo é desenhada fora

da viga. Neste desenho, devem ser indicados o rótulo, o diâmetro, os comprimentos parciais, o comprimento total, os ganchos e as dobras. Porém, a quantidade e o espaçamento desta, em um trecho de um tramo, são indicados em uma reta paralela à face superior. Pode-se ter mais de um trecho com diferentes espaçamentos entre estribos em um tramo.

Na implementação computacional, um trecho é armazenado em um elemento do vetor `Posição_Estribo`, cujos campos podem ser entendidos observando-se a Figura 48.



```

Posição_Estribo[j] = Registro
 Trecho = i ; < tramo >
 Dist_Inicial = 190 cm ;
 Compr = 500 cm ;
 Número = k (*) ;
 Quant = 25 estribos ;
 Espaçamento = 20 cm ;
 Fim ;

```

onde :

(\*) k é o índice do vetor 'Estribo' correspondente. O rótulo ( 96 ) é o maior rótulo para posições longitudinais acrescido de k.

Fig. 48 - Representação gráfica dos campos de um registro tipo `Posição_Estribo`.

Devido à ausência de maiores dificuldades de entendimento, e consequentemente simplicidade do algoritmo, este é omitido, ficando a cargo do programador.

### 3.6.3.3 - Armaduras longitudinais

O desenho de uma posição de armadura longitudinal, consiste de : um traço reto horizontal, ocasionalmente dois traços curvos ( um quarto de circunferência ), representando os raios de dobramento nas extremidades, e ainda nas extremidades, dois traços retos verticais, representando os ganchos. Além disso, tem-se a identificação dada por : rótulo, quantidade de barras, diâmetro, comprimento total, e o comprimento dos ganchos. Os valores dos raios de dobramento são indicados somente na tabela.

As posições longitudinais são locadas em relação a pontos de referência ( face direita de apoio ), e para um dado apoio, as posições são desenhadas partindo-se do ponto mais afastado da área do desenho ( em relação ao gabarito da viga ), na seguinte ordem : posições da primeira camada em ordem decrescente de comprimentos, e se existirem posições na segunda camada, também na mesma ordem decrescente. A montagem da armadura na ocasião da execução do projeto, leva a uma distribuição simétrica das barras das posições, vistas numa seção transversal, na mesma ordem indicada no desenho, ou seja, as barras mais longas se afastam do eixo da seção, como pode ser visto na Figura 49. Note-se que as posições longitudinais, têm seus índices nos vetores em que são armazenadas, coerentes com a sequência de desenho, pois foram montadas no programa anterior, partindo-se das seções extremas. Para as posições negativas por exemplo, pode-se conhecer a localização no apoio de uma dada posição, através do vetor `Pos_Neg_no_Apoio`.

O procedimento principal para o desenho das posições longitudinais é o que se segue, logo após a figura.

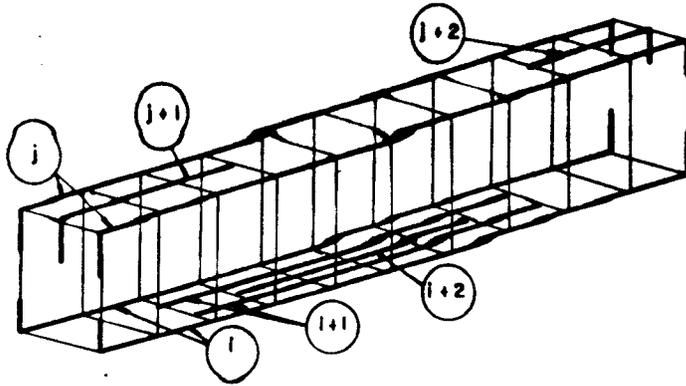


Fig. 49 - Simetria na distribuição das barras de uma mesma posição, e relação com os índices.

Procedimento Desenho\_das\_Posicoes\_Longitudinais ;

Inicio

Desenhe\_Armaduras\_Negativas ;  
Desenhe\_Armaduras\_Positivas ;  
Desenhe\_Armaduras\_Porta\_Estribos ;

Fim ;

O ponto de referência de uma posição negativa é a face direita do apoio, exceto para o último, caso em que a face esquerda é o ponto de referência. Nos procedimentos abaixo, são mostrados os algoritmos para os traçados das posições negativas :

Procedimento Desenhe\_Armaduras\_Negativas ;

Inicio

Com Viga[ Viga\_Atual ] faça  
  Para Posição ← 1 até  
    Número\_de\_Posicoes\_Negativas faça  
    Desenhe\_Posicao\_Negativa ;

Fim ;

Procedimento Desenhe\_Posicao\_Negativa ;

Variável

xcl, xc2, x\_Ini\_Posicao, x\_Fim\_Posicao : Real ;

Inicio

Com Viga[ Viga\_Atual ], Posicao\_Negativa[ Posicao ] faça



```

 xc1 ← x_Ini_Posição ;
 xc2 ← x_Posição ;
 Trace_Linha_de_Cota(xc1, Y_Posição + 15, xc2) ;
 Escreva_Texto(0,5 * (xc1 + xc2), Y_Posição + 20,
 Comprimento_Esquerdo, Centro, Base) ;
 Se Camada = 2
 Então Escreva_Segunda_Camada ;
 Fim ;
 Fim ;

```

Nos procedimentos abaixo, são mostrados os algoritmos para o traçado das posições positivas, sendo que a distância da face direita, do apoio à esquerda do tramo é quem determina a localização de uma posição positiva.

Procedimento Desenhe\_Armaduras\_Positivas ;

Início

Com Viga[ Viga\_Atual ] faça

Para Posição ← 1 até

Numero\_de\_Posições\_Positivas faça

Desenhe\_Posição\_Positiva ;

Fim ;

Procedimento Desenhe\_Posição\_Positiva ;

Variável

xc1, xc2, x\_Ini\_Posição, x\_Fim\_Posição : Real ;

Início

Com Viga[ Viga\_Atual ], Posição\_Positiva[ Posição ],  
Tramo[ Trecho ] faça

Início

Y\_Posição ← y\_Positivo +  
Pos\_Pos\_no\_Tramo[ Posição ] \*  
INCREMENTO\_Y\_DE\_POSIÇÕES ;

X\_Posição ← Coordenada\_X\_do\_Apoio[ Trecho - 1 ] +  
Maior( Pe, Ae ) ;

x\_Ini\_Posição ← X\_Posição + Dist\_da\_Face\_do\_Ap\_Esq ;

x\_Fim\_Posição ← x\_Ini\_Posição + Comprimento\_Reto ;

{ Demais instruções são análogas as do procedimento  
para desenho de uma posição negativa, a menos dos  
sentidos dos ganchos, centros dos quartos de  
circunferência, bem como os ângulos iniciais e  
finais }

Fim ;

Fim ;

Procedimento Desenhe\_Posição\_Porta\_Estribo ;

{ Este procedimento é muito semelhante ao usado para desenhar uma posição positiva, ficando então omitida a sequência de instruções. Porém, a título de recomendação, a locação de uma posição porta estribo no desenho, fica mais clara se feita em relação à posição negativa mais próxima, ao invés da face do apoio. }

Procedimento Desenhe\_Armaduras\_Porta\_Estribos ;Início

| Com Viga[ Viga\_Atual ] faça

|     Para Posição ← 1 até

|             Número\_de\_Posições\_Porta\_Estribos faça

|             Desenhe\_Posição\_Porta\_Estribo ;

| Fim ;

## 3.6.3.4 - Seções e estribos

Para cada viga, é interessante mostrar ao lado do desenho do gabarito, pelo menos uma seção transversal. A escolha das localizações de cada seção pode ter como critério, a indicação das seções mais solicitadas, e como consequência, as armaduras mais importantes ( ou seção com maior número de posições ou barras ). Uma vez conhecida a coordenada horizontal da seção, é simples encontrar as posições longitudinais que nela estão contidas. Para desenhá-las, sabe-se que as posições mais longas serão as mais afastadas do eixo vertical da seção, sempre observando a simetria ( atenção deve ser dada para a observação do número de barras de uma dada posição : se número ímpar de barras, uma se situa no eixo vertical da seção e as metades do restante em cada semi-seção ). Se numa dada seção, houver traspasse de armaduras negativas e porta-estribos, as posições mostradas são as negativas. Nas seções, mostram-se ainda as

armaduras de pele.

Como já foi citado anteriormente, a geometria de cada estribo em uma viga, é mostrada fora dela. No desenho de cada estribo existente, devem ser indicados o rótulo, as dobras, o comprimento total, o diâmetro, e a quantidade total.

Seguem-se os tipos, as variáveis e os algoritmos :

Tipo

```
Tipo_Pos_Contida = Registro
 Posição_Eq, N_Barras, Cam,
 Compr : Inteiro ;
Fim ;
```

```
Vet_Posição_Contida : Vetor
 [1..MAX_NUM_DE_POS] Tipo_Pos_Contida ;
```

Variável

```
Posição_da_Seção : Real ; { Coordenada x da seção }
```

```
Quantidade_de_Estribos :
 Vetor [1..MAX_NUM_DE_ESTRIBOS] Inteiro ;
```

```
Posição_Positiva_Contida,
Posição_Negativa_Contida,
Posição_Porta_Estribo_Contida : Vet_Posição_Contida ;
```

Procedimento Desenhe\_Estribo( i : Inteiro ) ;

Constante  $\Delta$  = { distância entre os ganchos de estribos }

Variável

```
Semi_Largura, D_Gancho, Comprimento,
 xe, xd, yi, ys : Real ;
Rótulo : Inteiro ;
```

Início

```
Com Viga[Viga_Atual], Estribo[i],
 Posição_Estribo[Estribo_Atual] faça
```

Início

```
Semi_Largura ← Largura / 2 ;
xe ← Eixo_do_Estribo - Semi_Largura ;
xd ← Eixo_do_Estribo + Semi_Largura ;
yi ← y_Estribo ;
ys ← y_Estribo + Altura ;

D_Gancho ← Gancho / $\sqrt{2}$;
```

```

Trace_Ver(xd, ys, yi) ;
Trace_Hor(xd, yi, xe) ;
Trace_Ver(xe, yi, ys) ;
Trace_Hor(xd, ys, xe) ;

Trace_Reta(xd - Δ, ys,
 xd - Δ - D_Gancho, ys - D_Gancho) ;
Trace_Reta(xd, ys - Δ,
 xd - D_Gancho, ys - D_Gancho - Δ) ;

Rótulo ← Número_Total_de_Posições_Longitudinais + i;
Comprimento ← 2 * (Largura + Altura + Gancho) ;

Escreva_Posição_Estribo(Rótulo,
 Quantidade_de_Estribos[i], Phi,
 Comprimento) ;

```

Fim ;

Fim ;

Procedimento Desenhe\_Seções\_e\_Estribos ;

Início

Com Viga[ Viga\_Atual ] faca

Início

{ supõe-se que o conteúdo da variável  
Posição\_da\_Seção seja conhecido }

Busca\_das\_Posições\_Negativas ;  
Busca\_das\_Posições\_Positivas ;  
Busca\_das\_Posições\_Porta\_Estribos ;

Desenhe\_Seção ;

Se Num\_de\_Pos\_Neg\_Contidas > 0

Então Desenhe\_Posições\_na\_Seção  
( Posição\_Negativa\_Contida,  
Num\_de\_Pos\_Neg\_Contidas, 1, y1, -1 )

Senão Desenhe\_Posições\_na\_Seção  
( Posição\_Porta\_Estribo\_Contida,  
Num\_de\_Pos\_Porta\_Estr\_Contidas, 1, y1, -1 ) ;

Desenhe\_Posições\_na\_Seção  
( Posição\_Positiva\_Contida,  
Num\_de\_Pos\_Pos\_Contidas, -1, y4, 1 ) ;

Para i ← 1 até Número\_de\_Estribos faca  
Número\_de\_Estribos[ i ] ← 0 ;

Para i ← 1 até Número\_de\_Posições\_Estribos faca  
Com Posição\_Estribo[ i ] faca  
Quantidade\_de\_Estribos[ Número ] ←  
Quantidade\_de\_Estribos[ Número ] + Quant ;

Para i ← 1 até Número\_de\_Estribos faca

```

 Se Quantidade_De_Estribos[i] > 0
 Então Desenhe_Estribo(i) ;
 Fim ;
Fim ;

```

Procedimento Busca\_Das\_Posições\_Negativas ;

Variável

xi, xf, xAp ; Real ;

Início

```

 Com Viga[Viga_Atual] faça
 Início
 Posição ← 0 ;
 Para i ← 1 até Número_de_Posições_Negativas faça
 Com Posição_Negativa[i] faça
 Início
 Se Apoio < Número_de_Tramos
 Então xAp ← Coordenada_X_do_Apoio[Apoio]
 + Tramo[Apoio + 1].Pe
 Senão xAp ← Coordenada_X_do_Apoio[Apoio]
 - Tramo[Apoio].Pd ;

 xi ← xAp - Comprimento_Esquerdo -
 Raio_Esquerdo ;
 xf ← xAp + Comprimento_Direito +
 Raio_Direito ;
 Se (Posição_da_Seção ≥ xi) AND
 (Posição_da_Seção ≤ xf)
 Então
 Início
 Posição ← Posição + 1 ;
 φ_Negativo_Seção ← φ ;
 Com Posicao_Negativa_Contida
 [Posição] faça
 Início
 Posição_Eq ← Posição_Equivalente ;
 N_Barras ← Número_de_Barras ;
 Compr ← Comprimento ;
 Cam ← Camada ;
 Fim ;
 Fim ;
 Fim ;
 Fim ;
 Num_de_Pos_Neg_Contidas ← Posição ;
 Fim ;
 Fim ;
 Fim ;

```

Procedimento Busca\_Das\_Posicoes\_Positivas ;

Variavel

xi, xf, xAp : Real ;

Inicio

Com Viga[ Viga\_Atual ] faça

Inicio

Posicao ← 0 ;

Para i ← 1 até Numero\_de\_Posicoes\_Positivas faça

Com Posicao\_Positiva[ i ] faça

Inicio

xAp ← Coordenada\_X\_do\_Apoio[ Trecho - 1 ]  
+ Tramo[ Trecho ].Pe ;

xi ← xAp + Dist\_da\_Face\_do\_Ap\_Esq ;

xf ← xAp + Raio\_Esquerdo + Comprimento\_Reto +  
Raio\_Direito ;

{ Demais instruções são análogas as do  
{ procedimento anterior }

Fim ;

Núm\_de\_Pos\_Neg\_Contidas ← Posicao ;

Fim ;

Fim ;

Procedimento Busca\_Das\_Posicoes\_Porta\_Estribos ;

{ Procedimento com sequência de instruções  
muito parecidas com as do procedimento  
para busca das posições positivas contidas }

Constante COBRIMENTO\_NO\_DESENHO ← 1.5 ;

Procedimento Desenhe\_Seção ;

Variavel

yi\_Pele, yf\_Pele, y, Inc\_Y : Real ;

Inicio

Com Viga[ Viga\_Atual ],

Tramo[ Tramo\_Seccionado ] faça

Inicio

Semi\_Largura ← bw / 2 ;

x1 ← Eixo\_da\_Seção - Semi\_Largura - bfe ;

x2 ← Eixo\_da\_Seção - Semi\_Largura ;

x3 ← Eixo\_da\_Seção + Semi\_Largura ;

x4 ← Eixo\_da\_Seção + Semi\_Largura + bfd ;

y1 ← Eixo\_da\_Viga + h / 2 ;

y2 ← y1 - hfe ;

y3 ← y1 - hfd ;

y4 ← y1 - h ;

```

Trace_Hor(x1, y1, x4) ;
Trace_Ver(x4, y1, y3) ; { Traçado do }
Trace_Hor(x4, y3, x3) ; { contorno }
Trace_Ver(x3, y3, y4) ; { da seção }
Trace_Hor(x3, y4, x2) ; { transversal. }
Trace_Ver(x2, y4, y2) ; { Ver Fig. 49 }
Trace_Hor(x2, y2, x1) ;
Trace_Ver(x1, y2, y1) ;

Trace_Hor(x2 + COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 y1 - COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 x3 - COBRIMENTO_NO_DESENHO) ;
Trace_Ver(x3 - COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 y1 - COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 y4 + COBRIMENTO_NO_DESENHO) ;
Trace_Hor(x3 - COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 y4 + COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 y1 - COBRIMENTO_NO_DESENHO) ;
Trace_Ver(x2 + COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 y4 + COBRIMENTO_NO_DESENHO,
 y1 - COBRIMENTO_NO_DESENHO) ;

Se Número_de_Camadas_de_Arm_Pele > 0
 Então
 Início
 Inc_Y ← h /
 (Número_de_Camadas_de_Arm_Pele + 1) ;
 yi_Pele ← y4 + Inc_Y ;
 Para i ← 1 até Número_de_Camadas_de_Arm_Pele
 faça
 Início
 y ← yi_Pele + (i - 1) * Inc_Y ;
 Arco(x2 + Cobrimento_no_Desenho,
 y, Raio, 0, 360) ;
 Arco(x3 - Cobrimento_no_Desenho,
 y, Raio, 0, 360) ;
 Trace_Hor(x2 - Cobrimento_no_Desenho, y,
 x3 + 5) ;
 Trace_Reta(x3 + 5, y, x3 + 20,
 Eixo_da_Viga) ;
 Fim ;
 Escreva_Posição_Arm_de_Pele ;
 Fim ;
 Fim ;
 Fim ;
 Fim ;

```

As barras de uma posição contida numa seção são indicadas por uma circunferência com o rótulo inscrito, e traços retos ligando um ponto da circunferência aos centros das seções das barras. Todas as

barras de todas as posições ( de todas as camadas ) são mostradas na seção. Em parágrafos anteriores, foi escrito que as posições cujos índices no vetor são menores, têm maiores comprimentos e estão afastadas ( simetricamente ) do eixo da seção, e no caso do número total de barras na primeira camada ser ímpar, existe uma barra neste eixo. Portanto, os desenhos das barras são feitos traçando-se arcos, alternadamente nas semi-seções a direita e a esquerda ( sendo a reta vertical que passa pelo centro da seção, o eixo de simetria ), e eventualmente, um arco no eixo. As circunferências ( para particularizar este caso, chamadas de bolinhas ) onde são escritos os rótulos, têm como lugar geométrico possível para seus centros (  $x_c$ ,  $y_c$  ), uma semi-circunferência simétrica de raio  $R_c$ , cujo centro tem a abscissa coincidindo com o eixo de simetria, e ordenada igual a das barras da primeira camada. Este arco é dividido em segmentos, como se houvesse um setor circular dividido em fatias ( onde cada fatia apresenta um ângulo interno  $Inc_\theta$  ). Na figura 50 é mostrado o que foi descrito acima.

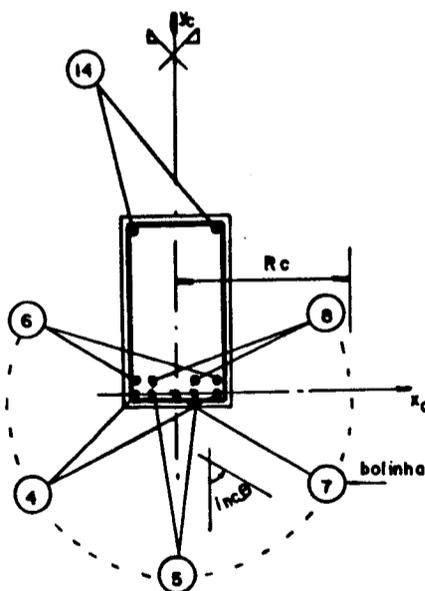


Fig. 50 - Desenho de seção.

Procedimento Desenhe\_Posicoes\_na\_Secao

```
(Posicao_Contida_na_Camada ; Vet_Posicao_Contida ;
 Num_de_Pos_Contidas_na_Cam,
 Num_de_Barras_na_Camada : Inteiro ;
 yp, Δy : Real ;
 Camada : Inteiro) ;
```

## Const

```
Rc = { raio da semi-circunferência fictícia onde podem
 se situar as bolinhas indicadoras de posição em
 seção }
YI = { diferença de ordenada entre a face externa da
 seção e a bolinha }
RAIO_DA_BOLINHA = { onde é escrito o rótulo da posição }
MAX_N_CAMADA = { máximo número de barras em uma }
 { camada }
```

Variável

```
x : Vetor [1..MAX_N_CAMADA] Real ; { abcissas dos }
 { eixos das barras em uma camada }
Barra_Atual, Numero_de_Fatias : Inteiro ;
```

Início

```
Com Viga[Viga_Atual], Seção[Seção_Atual] faça
```

Início

```
Inc_X ← Largura_Disponível /
 (Num_de_Barras_na_Camada + 1) ;
Para i ← 1 até Num_de_Barras_na_Cam_1 faça
 x[i] ← x0 + (i - 1) * Inc_X ;
Para i ← 1 até (Num_de_Barras_na_Camada / 2) faça
 Início
 Arco(x[i], yp, Rφ, 0, 360) ;
 Arco(x[Num_de_Barras_na_Cam - i + 1],
 yp, Rφ, 0, 360) ;
```

Fim ;

```
Se Ímpar(Num_de_Barras_na_Cam)
 Então Arco(x[Num_de_Barras_na_Cam / 2 + 1],
 yp, Rφ, 0, 360) ;
```

```
Numero_de_Fatias ← Num_de_Pos_Contidas_na_Cam + 1 ;
```

```
Inc_θ ← π / Numero_de_Fatias ;
```

```
Barra_Atual ← 0 ;
```

```
Para Posicao ← 1 até Num_de_Pos_Contidas_na_Cam faça
```

```
Com Posicao_Contida_na_Camada[Posicao] faça
```

Início

```
θ ← π - Posicao * Inc_θ ;
xc ← Eixo_da_Secao + Rc * Cos θ ;
yc ← yp + Δy * Rc * Sen θ ;
```

```

Se Camada = 2
 Então Com Viga[Viga_Atual] faça
 Início
 Se Ay = -1
 Então yc ← Eixo_da_Viga + YI
 Senão yc ← Eixo_da_Viga - YI ;
 Fim ;

Arco(xc, yc, RAIIO_DA_BOLINHA, 0, 360) ;
Escreva_Texto(xc, yc, Posição_Eq,
 Centro, Centro) ;

rb ← rc - RAIIO_DA_BOLINHA ;
xb ← Eixo_da_Seção +
 (xc - Eixo_da_Seção) * rb / rc ;
yb ← yp + (yc - yp) * rb / rc ;

Para i ← 1 até (N_Barras / 2) faça
 Início
 Barra_Atual ← Barra_Atual + 1 ;
 Trace_Reta(xb, yb,
 x[Barra_Atual], yp) ;
 Trace_Reta(xb, yb,
 x[Num_de_Barras_na_Cam_1 -
 Barra_Atual + 1], yp) ;

 Se Ímpar(N_Barras)
 Então Trace_Reta(xb, yb,
 Eixo_da_Seção, yp) ;
 Fim ;
 Fim ;
Fim ;

```

## 3.6.3.5 - Tabela e resumo

Na tabela de armaduras, constam, para cada rótulo de posição : o próprio rótulo, a quantidade total ( número total de barras das várias posições que possuem o mesmo rótulo ), o diâmetro comercial, o comprimento unitário e o comprimento total ( quantidade total de barras multiplicada pelo comprimento unitário ). Para a

montagem automática da tabela, define-se um registro cujos campos são os atributos acima citados, e também um vetor de registros, de modo que cada elemento desse vetor contenha um registro correspondente a um rótulo. Para o cômputo das posições longitudinais, percorrem-se todas as posições positivas, negativas, porta-estribos e acumulam-se as quantidades e comprimentos totais<sup>6</sup>.

Para o cômputo das posições transversais, procede-se de maneira análoga, percorrendo-se os trechos de posições estribos, onde são de interesse no registro Posição\_Estribo<sub>(i)</sub>, os campos : *Número*, com o qual obtém-se o índice do estribo, que incrementado ao número total de rótulos de posições longitudinais, fornece o rótulo da posição transversal ( com o campo *Número*, obtém-se também o índice do vetor ESTRIBO correspondente, e com isso, ficam conhecidos o diâmetro e o comprimento unitário a ser mostrados na tabela ); e o campo *Quant*, que é acumulado até obter a quantidade total. Procede-se de maneira também análoga, para o cômputo das armaduras de pele, onde para cada bitola que exista o comprimento não nulo, é adicionado um rótulo na tabela. Seguem-se abaixo, a estrutura de dados e o algoritmo para a montagem da tabela :

Constante

MAX\_NUM\_DE\_POS = { máximo nº de rótulos }

Tipo

Tipo\_Tabela : Registro

|                            |
|----------------------------|
| Quantidade : Inteiro ;     |
| φ_T, Comprimento_Unitário, |
| Comprimento_Total : Real ; |
| <u>Fim</u> ;               |

---

<sup>6</sup> A bitola e o comprimento unitário são computados somente a primeira vez que encontra-se um determinado rótulo.

Variável

Tabela : Vetor [ 1..MAX\_NUM\_DE\_POS ] Tipo\_Tabela ;  
 Posição\_Atual,  
 Número\_de\_Posições\_Longitudinais,  
 Número\_de\_Posições\_na\_Tabela : Inteiro ;

Procedimento Monte\_Tabela ;Início

```

Número_de_Posições_Longitudinais ← 0 ;
Para Posição_Atual ← 1 até
 Número_de_Posições_Positivas faça
 Com Posição_Positiva[Posição_Atual],
 Tabela[Posição_Equivalente] faça
 Início
 Se $\phi_T = 0$ { Primeira vez que aparece o rótulo }
 Então
 Início
 Número_de_Posições_Longitudinais ← Maior
 (Número_de_Posições_Longitudinais,
 Posição_Equivalente) ;
 Comprimento_Unitário ← Comprimento ;
 $\phi_T \leftarrow \phi$;
 Fim ;
 Quantidade ← Quantidade + Número_de_Barras ;
 Comprimento_Total ← Comprimento_Total +
 Número_de_Barras * Comprimento_Unitário ;
 Fim ;

Para Posição_Atual ← 1 até
 Número_de_Posições_Negativas faça
 Com Posição_Negativa[Posição_Atual],
 Tabela[Posição_Equivalente] faça
 { Análogo à posição positiva }

Para Posição_Atual ← 1 até
 Número_de_Posições_Porta_Estribos faça
 Com Posição_Porta_Estribo[Posição_Atual],
 Tabela[Posição_Equivalente] faça
 { Idem }

Para Posição_Atual ← 1 até
 Número_de_Posições_Estribo faça
 Com Posição_Estribo[Posição_Atual],
 Estribo[Número],
 Tabela[Número_de_Posições_Longitudinais +
 Número] faça
 Início
 Se $\phi_T = 0$ { Primeira vez que aparece o rótulo }
 Então
 Início
 Comprimento_Unitário ←
 2 * (Altura + Largura + Gancho) ;
 $\phi_T \leftarrow \phi$;
 Fim ;

```

```

 Quantidade ← Quantidade + Quant ;
 Comprimento_Total ← Comprimento_Total +
 Quant * Comprimento_Unitário ;
 Fim ;

 Número_de_Posições_na_Tabela ←
 Número_Total_de_Posições_Longitudinais +
 Número_de_Estribos ;

 Para Posição_Atual ← 1 até 6 faça
 Com Armadura_de_Pele[Posição_Atual] faça
 Se Comprimento_Total ≠ 0
 Então
 Início
 Número_de_Posições_na_Tabela ←
 Número_de_Posições_na_Tabela + 1 ;
 Com Tabela[Número_de_Posições_na_Tabela]
 faça
 Início
 $\phi_T \leftarrow \phi_P$;
 Comprimento_Total ←
 Armadura_de_Pele[Posição_Atual].
 Comprimento_Total
 { não há interesse no comprimento }
 { unitário, pois este é corrido }
 Fim ;
 Fim ;
 Fim ;

```

Uma vez definida a tabela de armaduras, elaborase facilmente o resumo dos ferros, onde para cada bitola comercial, obtém-se o comprimento total e consequentemente, o peso total de aço consumido. Para tornar o procedimento sistemático, define-se um registro contendo os atributos de uma dada bitola no resumo, que são o diâmetro, o comprimento total, o peso por unidade de comprimento, o peso total, e o peso total estimando uma certa porcentagem de perdas. Define-se também um vetor de registros do tipo acima, sendo que a cada elemento corresponde uma bitola comercial adotada. O procedimento consiste em percorrer todos os elementos do vetor Tabela, e para cada um deles identificar o índice do vetor Resumo, cujo diâmetro é igual ao do elemento da tabela em questão, adicionando-se os comprimentos. Seguem-se a estrutura de

dados e o procedimento para montagem do resumo :

Tipo

Tipo\_Resumo : Registro  
 $\phi_R$ , Comprimento, Peso\_Unitário,  
 Peso\_Total : Real ;  
Fim ;

Variável

Resumo : Vetor [ 1..6 ] Tipo\_Resumo ;

Procedimento Monte\_Resumo ;

Variável

Índice : Inteiro ;

Início

Para Posição\_Atual  $\leftarrow$  1 até  
 Número\_de\_Posições\_na\_Tabela faça

Com Tabela[ Posição\_Atual ] faça

Início

Índice = 0 ;

Repita

| Índice  $\leftarrow$  Índice + 1 ;

Até  $\phi_T$  = Resumo[ Índice ]. $\phi_R$  ;

Com Resumo[ Índice ] faça

Comprimento  $\leftarrow$  Comprimento + Comprimento\_Total ;

Fim ;

Fim ;

## CAPÍTULO IV - EXEMPLOS E COMPARAÇÕES

### 4.1 - GENERALIDADES

Os algoritmos descritos no CAPÍTULO III foram implementados em programas computacionais, na linguagem Pascal, usando o compilador Turbo Pascal Versão 4.0, para microcomputadores compatíveis com a linha IBM PC. A escolha da linguagem Pascal foi feita levando-se em consideração o fato de ter sido ela, uma linguagem criada para se divulgar os conceitos de programação estruturada, e por isso, dispor de estruturas de dados mais eficientes, e conseqüentemente de fácil implementação dos algoritmos propostos. Outras linguagens, como FORTRAN e BASIC se revelam extremamente inadequadas para programação estruturada. A linguagem C, embora permita programação estruturada e gere códigos mais eficientes, apresenta o inconveniente de exigir muito maior atenção do programador quanto à checagem de consistência das instruções e passagem de parâmetros para subprogramas<sup>1</sup>.

É obvio que para programas utilizados nos exemplos que se seguem, outros algoritmos foram criados e omitidos, pois traduzem subjetivamente alguns critérios que devem ficar a cargo do programador ou ( e ) projetista.

---

<sup>1</sup> Tudo o que foi escrito sobre linguagens de programação, pode ser aceito na data na elaboração deste trabalho. No futuro, novas linguagens ou aperfeiçoamento das citadas, poderão tornar os comentários acima sem efeito.

4.2 - DESCRIÇÃO DO PAVIMENTO

O pavimento tomado como exemplo ( Figura 51 ), é adaptado de um outro apresentado por SANTOS e outros[7], nos apontamentos do Curso de Atualização promovido pela FDTE ( Fundação Para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia ), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Trata-se do piso de 1 dos 8 pavimentos tipos de um prédio residencial. Existe um eixo vertical de simetria total, e outro eixo horizontal de simetria parcial, sendo não simétrica a região entre a escada e os poços de elevadores ( pilar P7 ). Todas as vigas apresentam o mesmo nível superior ( adotado 0,0 ), com exceção da V13, por ser suporte da escada.

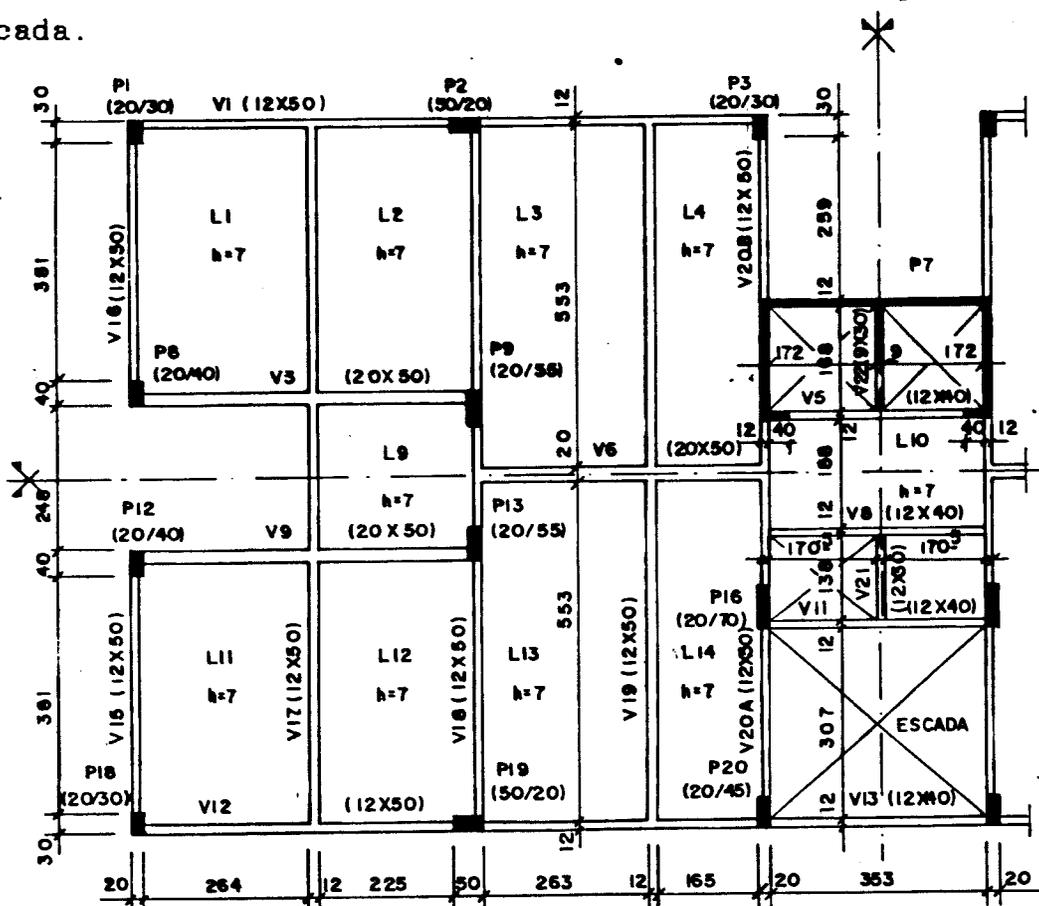


Fig. 51 - Forma do pavimento exemplo.

#### 4.2.1 - Modelagem da estrutura

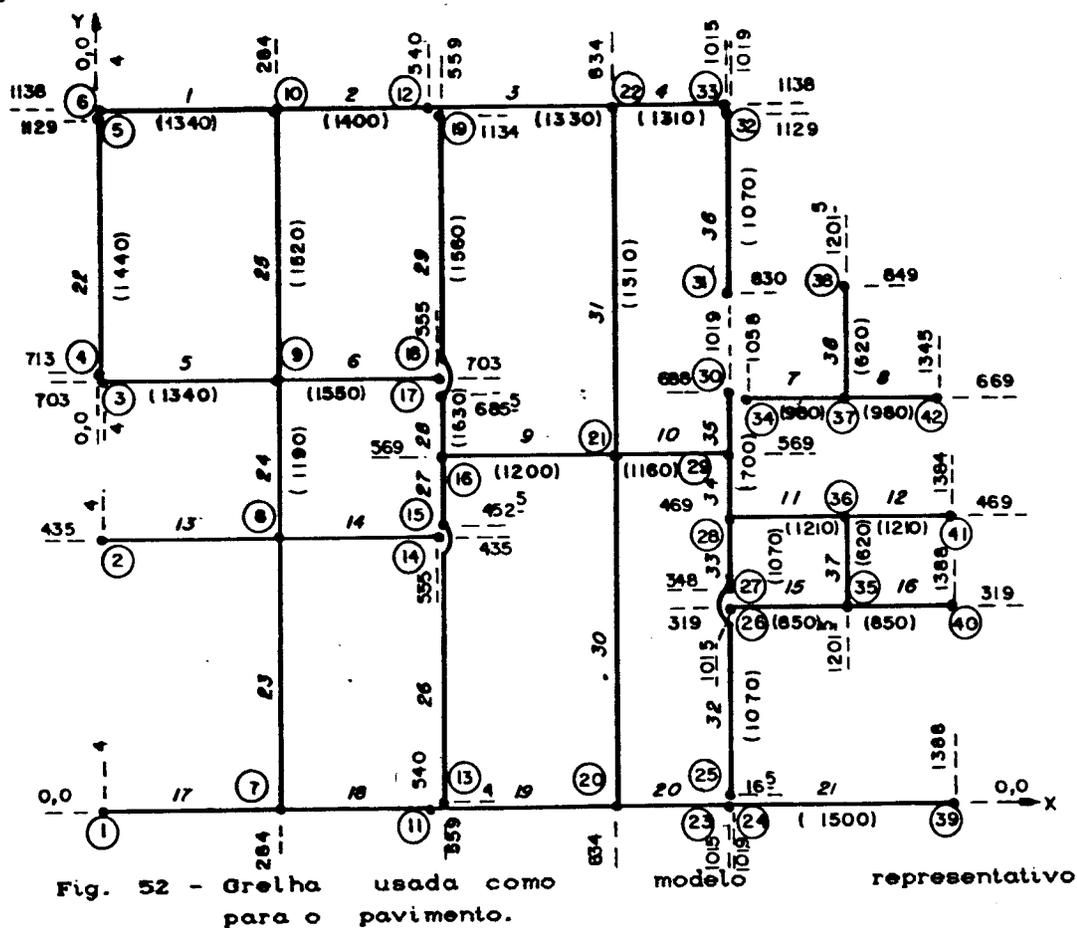
Lança-se mão da simplificação usual, onde se separam as lajes das vigas, e consideram-se somente a transmissão de cargas entre lajes ( supostas isoladas ) e vigas, sendo a compatibilidade de deslocamentos desconsiderada. Investigando tal influência, MAZZILLI[5] chegou à conclusão que tal desconsideração pode conduzir o cálculo dos esforços e deslocamentos a erros consideráveis. Porém, como se trata de método consagrado pela prática, e não é mérito deste trabalho discutir tal influência, prossegue-se com essa simplificação.

O conjunto de vigas é representado por uma grelha, mostrada na Figura 52<sup>(2)</sup>. Para a definição da geometria, faz-se coincidir os eixos das barras da grelha com os eixos das vigas. Os vãos teóricos dos tramos são calculados a partir dos comprimentos das barras, que por sua vez são determinados através das coordenadas nodais. Portanto, é de bastante importância a determinação das localizações dos pontos nodais. Impõem-se que em todos os cruzamentos de barras livres à translação vertical, sejam colocados nós. Não se consideram para o equilíbrio, as rotações ao longo dos eixos das barras ( as torções existentes são somente de compatibilidade ), portanto, nos pontos de cruzamento de vigas, cujos deslocamentos verticais sejam impedidos ( apoios ), pode-se fazer uma

---

(2) Na figura 52, algarismos no interior de circunferências denotam rótulos de nós; algarismos em itálico, denotam rótulos de barras; algarismos perto de linhas tracejadas são coordenadas nodais e algarismos entre parênteses são as cargas supostas uniformemente distribuídas nas barras provenientes de reações de lajes e alvenarias, excetuando o peso próprio das vigas ( a tomada de cargas foi omitida para não alongar o texto com assuntos que fogem ao objetivo do trabalho ).

separação física das barras, criando-se nós independentes. Assim sendo, para cada viga que chega em um apoio, cria-se um ponto nodal na interseção entre o eixos da barra e o eixo do pilar normal à barra. Com isso, os vãos teóricos ficam sendo a distância entre os eixos dos apoios. Nos caso particular da viga V5, tomou-se como vão teórico o vão livre ( $l_0$ ) acrescido de 5%, ou seja, os nós no interior do pilar P7 se situam a uma distância ( $0,5 * l_0 * 0,05$ ) da face interna em relação à viga. Também no caso particular da viga V20, a grande dimensão (e consequentemente rigidez) do pilar P7, torna a consideração de somente um nó no eixo do apoio, uma hipótese muito afastada do comportamento real. Separa-se então a viga em duas (V20A e V20B), que são consideradas engastadas no pilar P7, impedindo-se as rotações dos nós situados às distâncias iguais à metade da altura das vigas.



Tudo o que foi citado a respeito dos nós que representam pilares, é mostrado na figura 53.

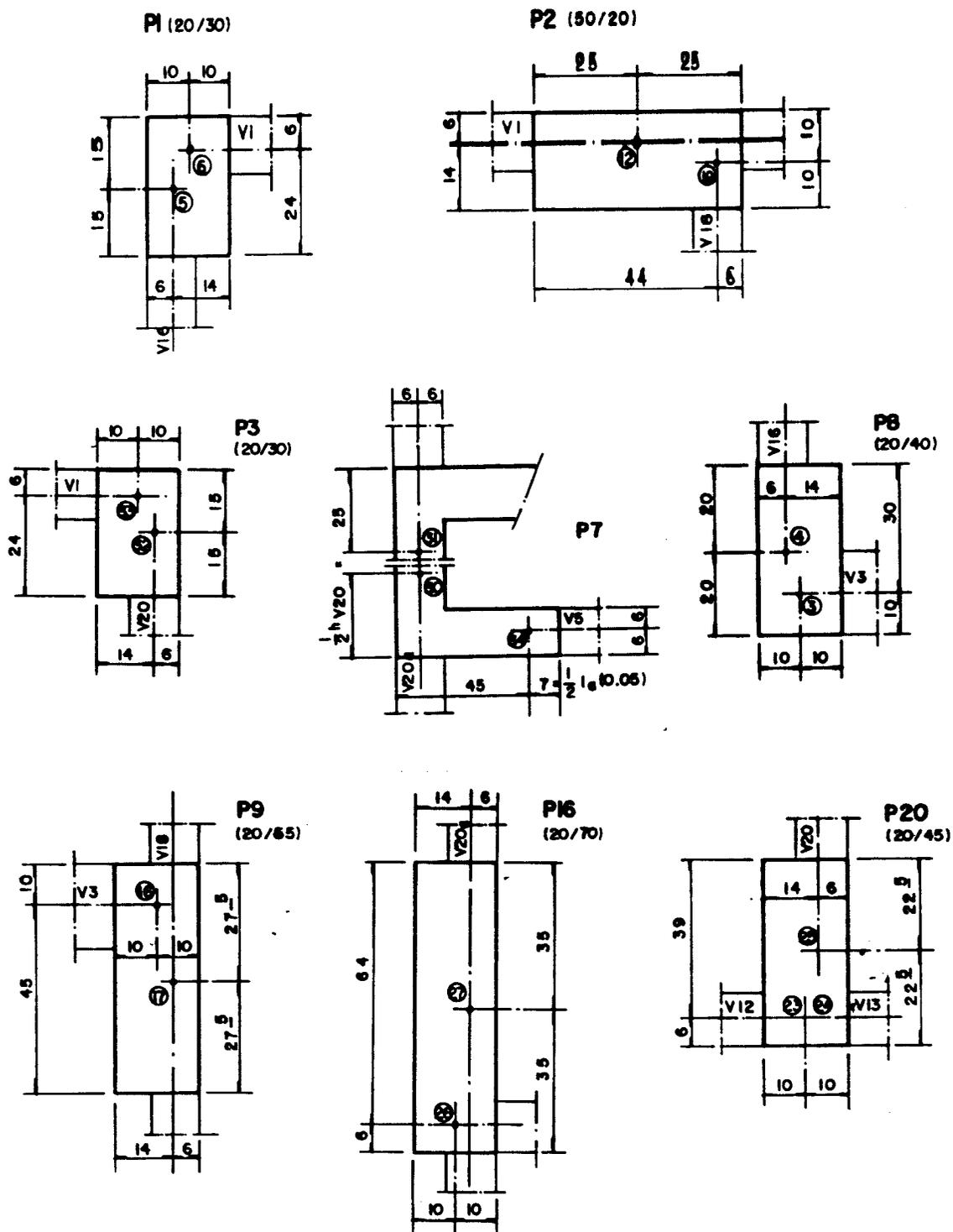


Fig. 53 - Posicionamento de nós no interior de pilares.

Como também pode ser visto na Figura 52,

Foi aproveitada a simetria da estrutura. Para a análise, maiores simplificações poderiam ter sido feitas, porém os demais programas utilizados não suportam os artifícios que são, por exemplo :

- consideração nas barras 37 e 38 de metade da carga e da rigidez ;
- impedimento das rotações em torno do eixo  $y$ , dos nós 35, 36, 37, 38 ;
- eliminação das barras 8, 12, 16 e dos nós 40, 41, 42.

Pela simetria, conclui-se que o deslocamento vertical do nó 41 deve ser o mesmo do nó 28, que por sua vez é dependente da deformação da viga V20a. Porém, como as rigidezes das vigas V8, V11 e V21 não interferem nas deformações da viga V20A, devido à consideração de baixas rigidezes à torção, o nó 41 pode ter seu deslocamento vertical impedido.

Devido ao fato das vigas V12 e V13 se situarem em níveis diferentes, lança-se mão do artifício de se criar dois nós ( 23 e 24 ) ocupando exatamente o mesmo lugar geométrico, pois uma grelha, por definição é uma estrutura plana onde todos os nós possuem coordenada  $z$  constante.

Define-se uma propriedade geométrica da seção transversal para cada viga, e cada barra associada a uma mesma viga, apresenta a mesma propriedade.

Quanto às vinculações, cada nó no interior de pilar tem o deslocamento vertical impedido. Para cada nó nos extremos de vigas, associa-se ao grau de liberdade correspondente à rotação no plano da viga, uma mola de coeficiente igual a :

$$2 * \frac{4 * E * I}{L}$$

onde :

- $E$  - módulo de deformação longitudinal  
 $I$  - Momento de inércia da seção do pilar  
 $L$  - pé direito do andar tipo ( 270 cm )

O valor do coeficiente é igual ao momento aplicado em um nó comum a duas alturas de pilares verticalmente consecutivas, supostos engastados nos andares acima e abaixo do andar considerado, que provoca uma rotação unitária neste nó. Tal valor é o recomendado pela NBR-6118, e foi utilizado para comparação com os resultados obtidos pelos processos tradicionais.

Também os nós 30, 31 e 26 ( no interior dos pilares P7 e P16 ) têm suas rotações impedidas devido ao fato da relação entre a largura do apoio e comprimento teórico do pilar ser maior que  $1/5^3$ . Alguns nós, como por exemplo, os de rótulos 4 e 5, devem ter as rotações impedidas, nos planos perpendiculares aos planos das barras que neles incidem, para evitar hipostaticidade local, ou instabilidade numérica, devida à baixa rigidez à torção adotada. Além disso, a desconsideração desses graus de liberdade, traz como vantagem a redução do número de equações, o que melhora a performance do processamento.

Sobre o valor do módulo de deformação longitudinal, adota-se 60% do valor do módulo secante dado por ( NBR-6118, itens 4.2.3.1A e 8.2.5 ) :

$$0,9 * 21000 * \sqrt{f_{cA} + 35}$$

com  $f_{cA}$  dado em  $\text{kfg/cm}^2$

Tal valor é adotado para se ter uma avaliação extremamente grosseira das deformações, quando a seção transversal das barras é admitida no estágio I, e os

---

3 A consideração de molas com os coeficientes determinados da mesma maneira dos pilares extremos, nos leva à resultados praticamente idênticos.

efeitos da deformação lenta são considerados. Não é mérito deste trabalho discutir esse assunto, que é de grande complexidade, principalmente para estruturas fortemente hiperestáticas, como é o caso da grelha exemplificada.

Assim tem-se, para um concreto com resistência característica igual a  $0,15 \text{ tf/cm}^2$  (  $15 \text{ Mpa}$  ), o módulo de deformação longitudinal igual a  $154 \text{ tf/cm}^2$ , e os valores dos coeficientes das molas indicados na tabela a seguir. O valor do módulo de deformação transversal ( $G$ ), embora não tenha nenhuma importância pois foi desprezada as torções de compatibilidade, é adotado como sendo 40% do módulo de deformação longitudinal, apenas para manter uma coerência conceitual, pois sabe-se que

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

onde  $\nu$  é o coeficiente de Poisson, indicado na NBR 6118 como sendo igual a 0,2.

| b  | h  | Mola    |
|----|----|---------|
| 20 | 30 | 205654  |
| 30 | 20 | 91402   |
| 20 | 40 | 487477  |
| 40 | 20 | 121869  |
| 50 | 20 | 152336  |
| 20 | 50 | 952103  |
| 20 | 55 | 1267249 |
| 55 | 20 | 167570  |
| 20 | 45 | 684083  |
| 45 | 20 | 137103  |
| 20 | 70 | 2612570 |
| 70 | 20 | 213271  |

onde :

- b - dimensão do pilar normal ao eixo da viga, vista em planta ;
- h - dimensão do pilar paralela ao eixo da viga, vista em planta.

## 4.3 - RESULTADOS

Na Figura 54 são mostrados esboços da grelha indeformada ( com linhas finas ), e a grelha com seus deslocamentos ampliados ( com linhas grossas ), de tal maneira que se tornem visíveis.

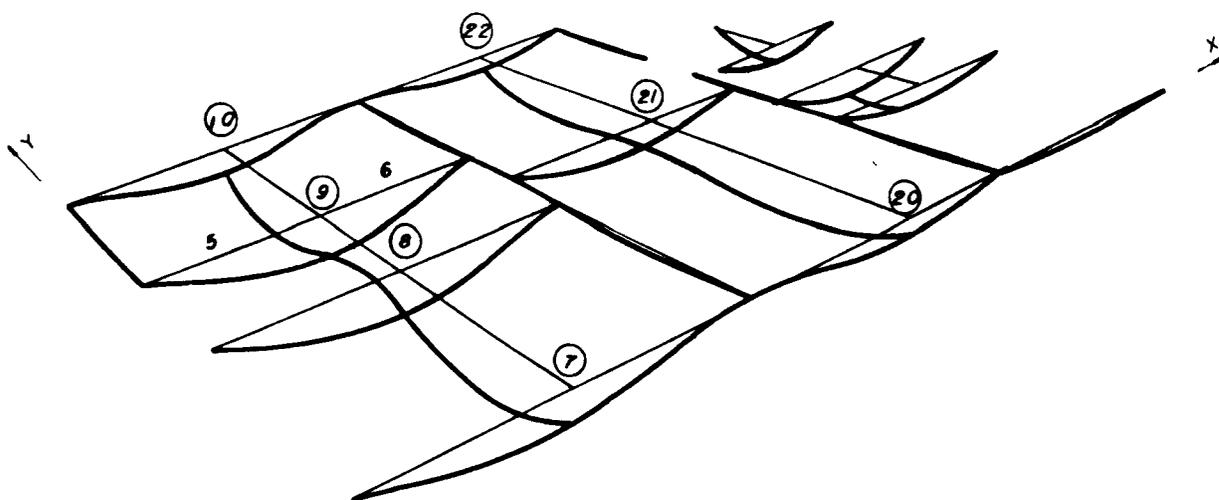


Fig. 54 - Esboços da grelha deformada e indeformada.

Nota-se que a simplificação usualmente feita, de se apoiar a viga menos rígida, totalmente na mais rígida pode provocar desvios consideráveis nos resultados. Observando-se o cruzamento entre as vigas V6 e V19, vê-se que houve um deslocamento relativo entre os nós 20, 21 e 22. A análise da viga V19 como viga contínua, teria como condições de contorno, os deslocamentos verticais dos apoios impedidos ( ou pelo menos iguais ). Com isso, ter-se-ia o momento negativo sobre o apoio central, maior ( em valor absoluto ) que o obtido com a grelha ( Figura 55d ). Por sua vez, os momentos positivos nos vãos seriam menores. O mesmo pode ser dito considerando-se as interações entre as vigas V1, V3, V9,

V12 e V17, onde a redução dos momentos negativos na viga V17 sobre os apoios ( V3 = V9 ), acarreta um aumento das forças cortantes nas extremidades da mesma, e consequentemente, das forças concentradas nas vigas V1 e V12 ( Figuras 55a e 55c ).

#### 4.3.1 - Análise e geração dos tramos

Em geral, para um estrutura bem concebida, a distribuição dos esforços e geração dos tramos pode ser intuitivamente definida. É de se esperar que as vigas V3 e V9 possuam um tramo cada uma, e a V17 apresente três tramos. Um aumento significativo nas rigidezes das vigas V1, V12 e V17 poderia alterar essa situação : a viga V17 poderia apresentar-se com um só tramo, enquanto as vigas V3 e V9 apresentariam-se com dois tramos cada uma, tendo a viga V17 como apoio central.

Exemplificando, tem-se a viga V3, composta pelas barras 5 e 6. O nó 9 não tem seu deslocamento vertical impedido, portanto ele pode não indicar um fim de tramo, o que fica confirmado pelo fato de não ser verificado neste local, um ponto de pico de momento negativo ( Figura 55b ). Portanto, a viga V3 apresenta-se com um tramo, formado pelas barras 5 e 6.

Já na viga V17, composta pelas barras 23, 24 e 25, os nós 8 e 9 podem ser observados com os deslocamentos verticais livres, logo, eles poderiam não ser fim de tramo. Porém a existência de pico de momento negativo, faz com que eles sejam, efetivamente, fins de tramos ( Figura 55c ).

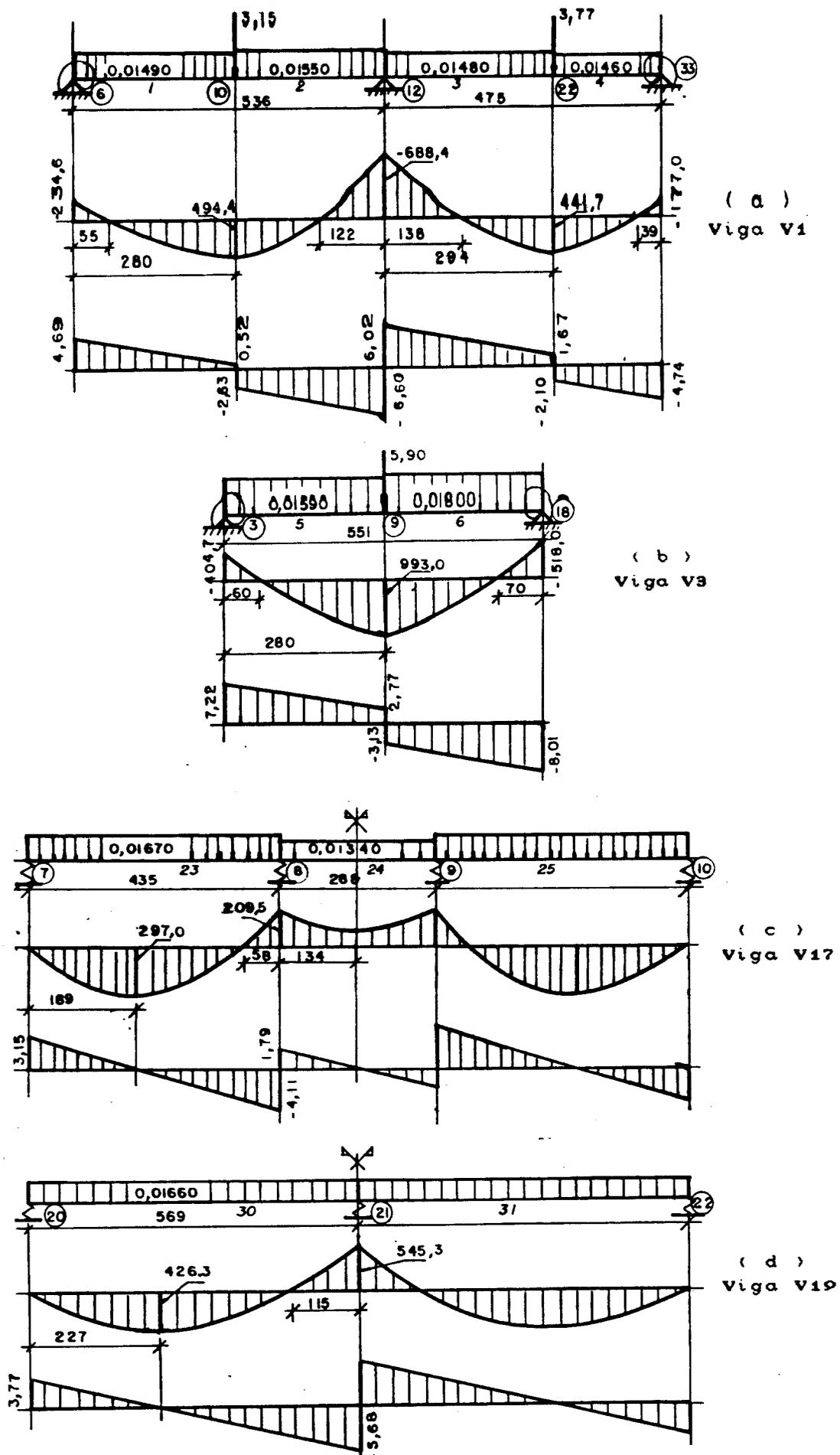


Fig. 55 - Esquemas estáticos, diagramas de momentos fletores, forças cortantes, nas unidades adotadas, para as vigas V1, V3, V17 e V19.

## 4.3.2 - Dimensionamento e detalhamento

Para o dimensionamento, o correto ( em conformidade com a norma NBR 8681 ) é fazer uma envoltória das várias situações de carregamento, com coeficientes de majoração de cargas diferentes para o carregamento permanente e para as várias hipóteses de carregamentos acidentais. Para não alongar o texto, neste exemplo, toma-se somente um caso de carregamento : carregamento permanente mais o carregamento acidental total, ambos com o coeficiente de majoração de cargas igual a 1,4. Os demais dados gerais são definidos abaixo :

Aço : CA50A

Concreto : fck 15,0 MPa

Abertura máxima de fissura : 0,3 mm

Espaçamento horizontal mínimo entre as barras : 2,5 cm

Espaçamento vertical mínimo entre as barras : 2,0 cm

Cobrimento lateral das armaduras : 1,5 cm

Diâmetro máximo do agregado : 1,5 cm

Bitolas comerciais :

|                                      |                           |     |
|--------------------------------------|---------------------------|-----|
| $\phi$ 5,0 ( 0,20 cm <sup>2</sup> )  | Máximo número de Barras : | 2   |
| $\phi$ 6,3 ( 0,31 cm <sup>2</sup> )  | " " " "                   | 2   |
| $\phi$ 8,0 ( 0,50 cm <sup>2</sup> )  | " " " "                   | 4   |
| $\phi$ 10,0 ( 0,80 cm <sup>2</sup> ) | " " " "                   | 4   |
| $\phi$ 12,5 ( 1,25 cm <sup>2</sup> ) | " " " "                   | 10  |
| $\phi$ 16,0 ( 2,00 cm <sup>2</sup> ) | " " " "                   | 255 |

Coef. de minoração de resist. do aço (  $\gamma_s$  ) : 1,15

Coef. de minoração de resist. do concreto (  $\gamma_c$  ) : 1,40

É tomada com exemplo, a viga V1 com três apoios e consequentemente dois tramos.

As seções principais para os momentos negativos são aquelas definidas sobre os apoios. Da análise, temos os momentos fletores atuantes nos pontos sobre os nós, localizados nos eixos dos apoios. Minorando-se esses valores, em função dos valores nas faces dos apoios, e majorando-se pelo coeficiente  $\gamma_f$ , tem-se os momentos de cálculo ( $M_d$ ), armaduras calculadas,<sup>4</sup> e detalhes correspondentes indicados abaixo ( Tabela I ) :

| Apoio | $M_d$   | As <sub>Galv</sub> | $\phi$ | Total | Cam. 1 | Cam. 2 | Anc. |
|-------|---------|--------------------|--------|-------|--------|--------|------|
| 0     | -230,65 | 1,19               | 10,0   | 2     | 2      | -      | Laço |
| 1     | -856,83 | 5,45               | 16,0   | 4     | 2      | 2      | .    |
| 2     | -169,89 | 0,90               | 8,0    | 2     | 2      | -      | Laço |

Tab. I - Momentos negativos, armaduras calculadas, detalhes das seções e tipos de ancoragem sobre os apoios.

Para momentos fletores positivos, os valores máximos admitindo-se engastamentos perfeitos da viga com o pilar P2, e rótulas no pilares P1 e P3, são maiores que os obtidos pela análise, sendo então considerado o caso do engastamento perfeito ( para ambos os tramos ), cujos valores são para o primeiro tramo : 520,88 tf.cm, distando 262,42 centímetros do nó 6, e para o segundo tramo : 547,08 tf.cm, situado à mesma distância, como no outro caso de carregamento. Os momentos fletores negativos de cálculo, levam as seções ao estado limite último, com as linhas neutras em posições tais que as armaduras tracionadas sofrem deformações maiores que a mínima para o escoamento ( $\epsilon_{yd}$ ), ou seja nos domínios 2 ou 3, portanto sem a presença de armaduras de compressão

<sup>4</sup> A altura útil inicial considerada é  $h - 3$  cm, ou seja 47 cm, valor este corrigido para cada detalhe, em caso de duas camadas.

positiva nesses apoios. Assim, as armaduras positivas nos apoios são determinados por valores mínimos, ou para equilíbrio das forças de tração obtidas pela analogia de treliça. Também para momentos positivos, não são necessárias introduções de armaduras nas faces superiores, com função resistente, servindo estas apenas como porta estribos. A seção, em cada tramo, utilizada no dimensionamento é em forma de T, sendo que a largura da mesa colaborante é obtida, em cada lado, como sendo 1/10 da distância entre os pontos de momentos nulos, ou seja :

$$( 536 - 55 - 122 ) / 10 \simeq 36 \text{ cm ( 1ª tramo )}$$

$$( 475 - 138 - 39 ) / 10 \simeq 30 \text{ cm ( 2ª tramo )}$$

Em seguida, é apresentada a Tabela II, onde são mostrados os valores dos momentos fletores e forças cortantes de cálculo nas seções principais para determinação da armadura nas faces inferiores, e as respectivas localizações, além dos valores de  $a_l$  correspondentes ao deslocamento do diagrama de momentos fletores :

| Dist.  | $M_d(+)$ | $V_d$ | $AS_{calc}$ | $\phi$ | Tot. | Cam. 1 | Cam. 2 |
|--------|----------|-------|-------------|--------|------|--------|--------|
| 0,00   | 178,76   | 6,57  | 2,05        | .      | 2    | 2      | -      |
| 262,42 | 729,23   | -     | 3,67        | 12,5   | 3    | 3      | -      |
| 536,00 | 0,00     | 10,49 | 1,22        | .      | 2    | 2      | -      |

$a_l$  Esquerdo : 28,88,  $a_l$  Direito : 28,08

(a) Tramo 1 -vão = 536 cm, bf = 48 cm

| Dist.  | $M_d(+)$ | $V_d$ | $AS_{calc}$ | $\phi$ | Tot. | Cam. 1 | Cam. 2 |
|--------|----------|-------|-------------|--------|------|--------|--------|
| 0,00   | 0,00     | 9,00  | 1,30        | .      | 2    | 2      | -      |
| 294,00 | 765,91   | -     | 3,91        | 16,0   | 2    | 2      | -      |
| 475,00 | 204,99   | 6,64  | 2,62        | .      | 2    | 2      | -      |

$a_l$  Esquerdo : 30,13,  $a_l$  Direito : 30,72

(b) Tramo 2 -vão = 475 cm, bf = 42 cm

Tab. II Momentos positivos, forças cortantes, armaduras calculadas e detalhes das seções de apoios e momentos máximos.

Lembrando e exemplificando a determinação do valor de  $a_l$ , tem-se para o primeiro tramo, no apoio à esquerda :

$$a_l = ( 1,5 - 1,2 * \eta ) * d$$

$$V_d = 6566 \text{ kgf}$$

$$\tau_{wd} = \frac{6566}{( 12 * 47 )} = 11,64 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{2 * 1,25}{12 * 47} = 0,443 \%$$

$$\psi_1 = 15 * \rho_1 + 0,225 = 0,291$$

$$\tau_c = \psi_1 * \sqrt{f_{ck}} = 3,56 \text{ Kgf/cm}$$

$$\eta = 1 - \frac{\tau_c}{1,15 * \tau_{wd}} = 0,743$$

$$a_l = ( 1,5 - 1,2 * 0,743 ) * 47 = 28,59 \text{ cm}$$

Uma ligeira diferença entre os valores numéricos mostrados, se deve à precisão utilizada nos cálculos. Outra observação deve ser feita quanto ao valor da força cortante : a consideração de momentos de engastamento perfeito para momentos positivos, também é feita para as forças cortantes nos apoios.

São apresentadas em seguida, as Tabelas III e IV, onde são mostrados os valores dos momentos fletores positivos e negativos deslocados, além das armaduras longitudinais tracionadas, em todas as seções ( diâmetros comerciais e quantidades nas duas camadas das faces superior e inferior ) :

| Tr. 1<br>Seção | M. Neg.<br>desloc. | 2 $\phi$ 10,0 |     | 4 $\phi$ 16,0 |     | -    |      | -    |      |
|----------------|--------------------|---------------|-----|---------------|-----|------|------|------|------|
|                |                    | Ce1           | Ce2 | Cd1           | Cd2 | CcE1 | CcE2 | CcD1 | CcD2 |
| 0              | -230,7             | 2             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 1              | -230,7             | 2             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 2              | -230,7             | 2             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 3              | -148,1             | 2             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 4              | 0,0                | 2             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 5              | 0,0                | 2             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 6              | 0,0                | 0             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 7              | 0,0                | 0             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 8              | 0,0                | 0             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 9              | 0,0                | 0             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 10             | 0,0                | 0             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 11             | 0,0                | 0             | 0   | 0             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 12             | 0,0                | 0             | 0   | 2             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 13             | 0,0                | 0             | 0   | 2             | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 14             | -88,8              | 0             | 0   | 2             | 2   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 15             | -281,3             | 0             | 0   | 2             | 2   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 16             | -488,4             | 0             | 0   | 2             | 2   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 17             | -713,1             | 0             | 0   | 2             | 2   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 18             | -856,8             | 0             | 0   | 2             | 2   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 19             | -856,8             | 0             | 0   | 2             | 2   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 20             | -856,8             | 0             | 0   | 2             | 2   | 0    | 0    | 0    | 0    |

| Tr. 2<br>Seção | M. Neg.<br>desloc. | 4 $\phi$ 16,0 |     | 2 $\phi$ 8,0 |     | -    |      | -    |      |
|----------------|--------------------|---------------|-----|--------------|-----|------|------|------|------|
|                |                    | Ce1           | Ce2 | Cd1          | Cd2 | CcE1 | CcE2 | CcD1 | CcD2 |
| 0              | -856,8             | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 1              | -856,8             | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 2              | -856,8             | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 3              | -720,4             | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 4              | -540,9             | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 5              | -373,2             | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 6              | -217,0             | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 7              | -72,6              | 2             | 2   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 8              | 0,0                | 2             | 0   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 9              | 0,0                | 2             | 0   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 10             | 0,0                | 0             | 0   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 11             | 0,0                | 0             | 0   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 12             | 0,0                | 0             | 0   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 13             | 0,0                | 0             | 0   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 14             | 0,0                | 0             | 0   | 0            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 15             | 0,0                | 0             | 0   | 2            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 16             | 0,0                | 0             | 0   | 2            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 17             | -54,8              | 0             | 0   | 2            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 18             | -169,9             | 0             | 0   | 2            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 19             | -169,9             | 0             | 0   | 2            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 20             | -169,9             | 0             | 0   | 2            | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |

Tab. III - Momentos fletores negativos deslocados em todas as seções, além da quantidade de barras em cada uma delas, já ancoradas.

| Tr. 1<br>Seção | M.Pos.<br>desloc. | 2 $\phi$ 6,3 |     | 3 $\phi$ 12,5 |    |
|----------------|-------------------|--------------|-----|---------------|----|
|                |                   | Cp1          | Cp2 | C3            | C4 |
| 0              | 149,1             | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 1              | 272,5             | 0            | 0   | 0             | 3  |
| 2              | 380,8             | 0            | 0   | 0             | 3  |
| 3              | 474,3             | 0            | 0   | 0             | 3  |
| 4              | 552,7             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 5              | 616,1             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 6              | 664,6             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 7              | 698,0             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 8              | 716,5             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 9              | 716,1             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 10             | 721,1             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 11             | 720,6             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 12             | 648,7             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 13             | 525,3             | 2            | 0   | 0             | 3  |
| 14             | 395,2             | 0            | 0   | 0             | 3  |
| 15             | 249,4             | 0            | 0   | 0             | 3  |
| 16             | 88,1              | 0            | 0   | 0             | 3  |
| 17             | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 18             | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 19             | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 20             | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |

| Tr. 2<br>Seção | M.Pos.<br>desloc. | 2 $\phi$ 6,3 |     | 2 $\phi$ 16,0 |    |
|----------------|-------------------|--------------|-----|---------------|----|
|                |                   | Cp1          | Cp2 | C3            | C4 |
| 0              | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 1              | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 2              | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 3              | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 4              | 22,2              | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 5              | 119,8             | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 6              | 254,5             | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 7              | 377,6             | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 8              | 488,9             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 9              | 588,6             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 10             | 676,6             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 11             | 732,0             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 12             | 761,8             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 13             | 724,7             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 14             | 727,6             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 15             | 676,0             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 16             | 598,9             | 2            | 0   | 0             | 2  |
| 17             | 510,3             | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 18             | 410,1             | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 19             | 298,5             | 0            | 0   | 0             | 2  |
| 20             | 0,0               | 0            | 0   | 0             | 2  |

Tab. IV - Idem Tab. III, porém para momentos fletores positivos.

Com a tabela III, podem ser definidas as posições negativas. Temos para o primeiro tramo, a distância entre cada seção igual a 26,80 cm ( 536 / 20 ), e para o segundo, igual a 23,75 ( 475 / 20 ). Exemplificando, tem-se uma posição negativa sobre o apoio central que se inicia na seção 12 do primeiro tramo, e termina na seção 9 do segundo tramo. O comprimento à esquerda do nó que define o apoio é a distância entre seções multiplicada por 8, que é o número de espaços entre a primeira e a última seção no tramo, que contém a posição, ou seja :

$$( 20 - 12 ) * 26,80 = 214,40 \text{ cm,}$$

e o comprimento à direita é obtido da mesma maneira, ou seja :

$$8 * 23,75 = 213,75 \text{ cm.}$$

Tais comprimentos são ajustados, de modo a se ter o ponto de referência transladado da posição do nó, até a face direita do apoio, e seus valores são truncados, utilizando-se somente a parte inteira. Como ambas as extremidades da posição não atingem os apoios extremos, a ancoragem reta é adequada, dispensando-se ganchos e raios. O número de barras da posição é o menor valor entre o conteúdo do elemento de índice 12 no vetor Cd1 do primeiro tramo, e o conteúdo do elemento de índice 9 no vetor Cel do segundo tramo ( nesse caso ambos os valores são iguais a 2 ). Retirando-se dos elementos dos vetores no intervalo da posição este número de barras, teremos todos os elementos vazios, o que indica a não existência de outra posição da primeira camada. Na tabela V, temos todas as posições negativas.

| Ap. | Q. | $\phi$ | Lado Esquerdo |      |      | Lado Direito |      |      | Cam. |
|-----|----|--------|---------------|------|------|--------------|------|------|------|
|     |    |        | Comp.         | Gan. | Raio | Comp.        | Gan. | Raio |      |
| 0   | 2  | 10,0   | 10            | 25   | 8    | 123          | 0    | 0    | 1    |
| 1   | 2  | 16,0   | 239           | 0    | 0    | 188          | 0    | 0    | 1    |
| 1   | 2  | 16,0   | 185           | 0    | 0    | 141          | 0    | 0    | 2    |
| 2   | 2  | 8,0    | 108           | 0    | 0    | 12           | 20   | 6    | 1    |

Tabela V - Posições negativas montadas.

Com o auxílio da tabela IV, podem ser montadas as posições positivas. Exemplificando, vemos no primeiro tramo a existência de uma posição na primeira camada com duas barras, no intervalo entre as seções 0 e 20. Após a retirada desse valor ( 2 ) dos elementos do vetor C4, neste intervalo, vemos ainda a existência de outra posição, no intervalo entre as seções 1 e 16, com agora somente uma barra. Da mesma maneira são definidas as posições porta estribos. Todas as posições positivas e porta estribos são mostradas nas tabelas VI e VII, respectivamente.

| Tr. | Q. | $\phi$ | C. Reto | L. Dir. |      | L. Esq. |      | Cam. | Dist. |
|-----|----|--------|---------|---------|------|---------|------|------|-------|
|     |    |        |         | Gan.    | Raio | Gan.    | Raio |      |       |
| 1   | 2  | 12,5   | 544     | 35      | 0    | 0       | 0    | 1    | -18   |
| 1   | 1  | 12,5   | 402     | 0       | 0    | 0       | 0    | 1    | 16    |
| 2   | 2  | 16,0   | 483     | 0       | 0    | 45      | 0    | 1    | -24   |

Tabela VI - Posições positivas montadas.

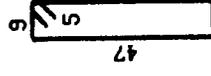
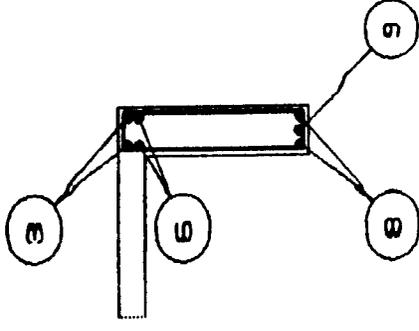
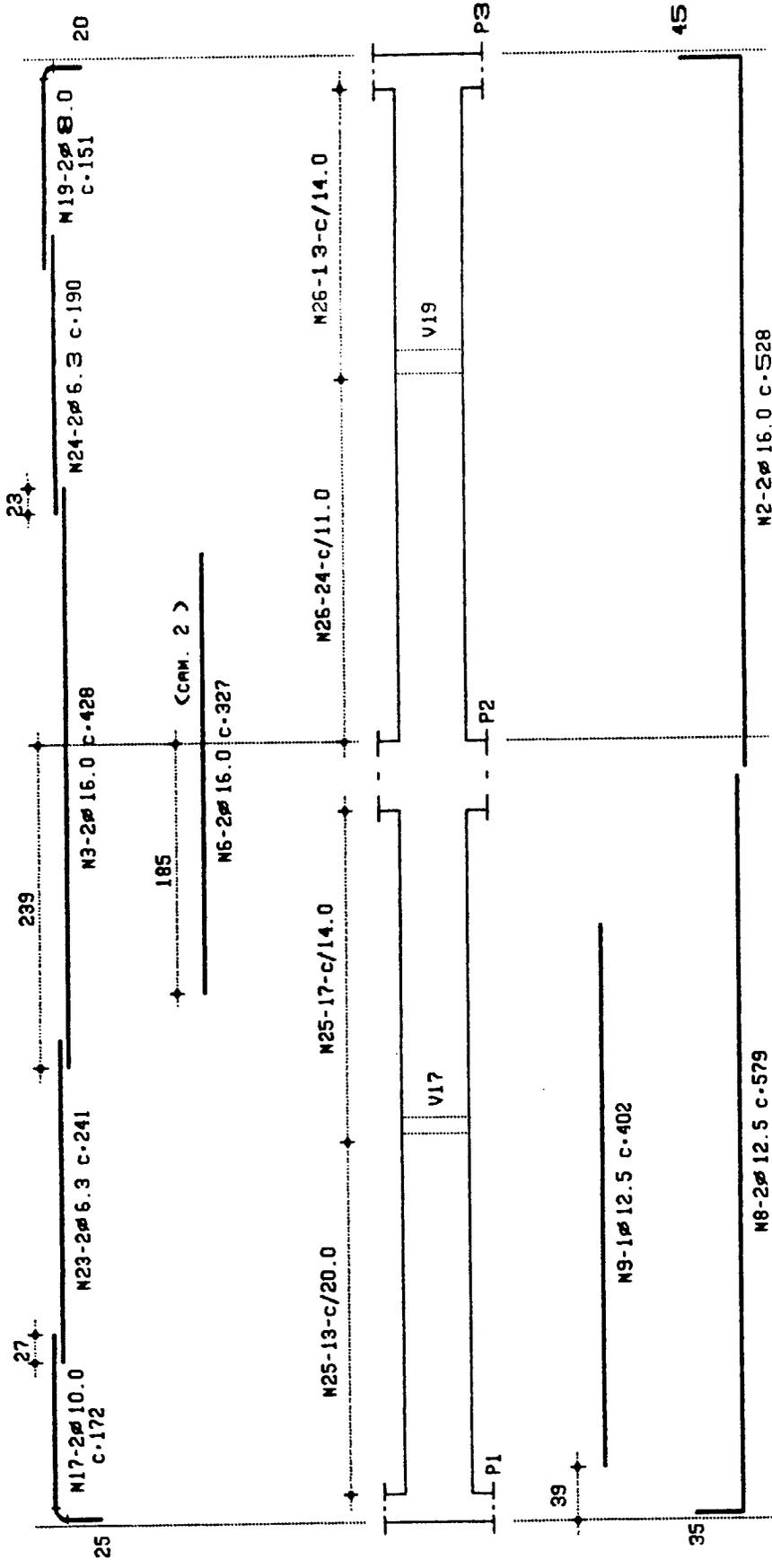
| Tr. | Q. | $\phi$ | C. Reto | Cam. | Dist. |
|-----|----|--------|---------|------|-------|
| 1   | 2  | 6,3    | 241     | 1    | 97    |
| 2   | 2  | 6,3    | 190     | 1    | 165   |

Tabela VII - Posições porta estribos montadas.

#### 4.3.3 - Desenhos e tabelas

Nas páginas seguintes, são apresentados desenhos de algumas vigas e armaduras, na escala 1:50, sendo que para as vigas V1 e V3, o dispositivo gráfico utilizado é uma impressora matricial, com uma densidade horizontal de 240 pontos por polegada, e vertical de 144 pontos por polegada. Para as vigas V17 e V19, o dispositivo é um traçador gráfico, utilizando canetas comuns para tinta nankim ( *plotter* ). A tabela das armaduras e o resumo final, foi feito utilizando-se a impressora.

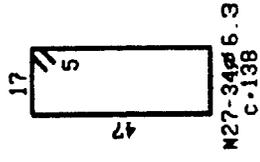
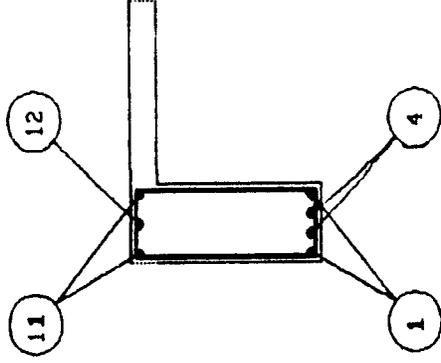
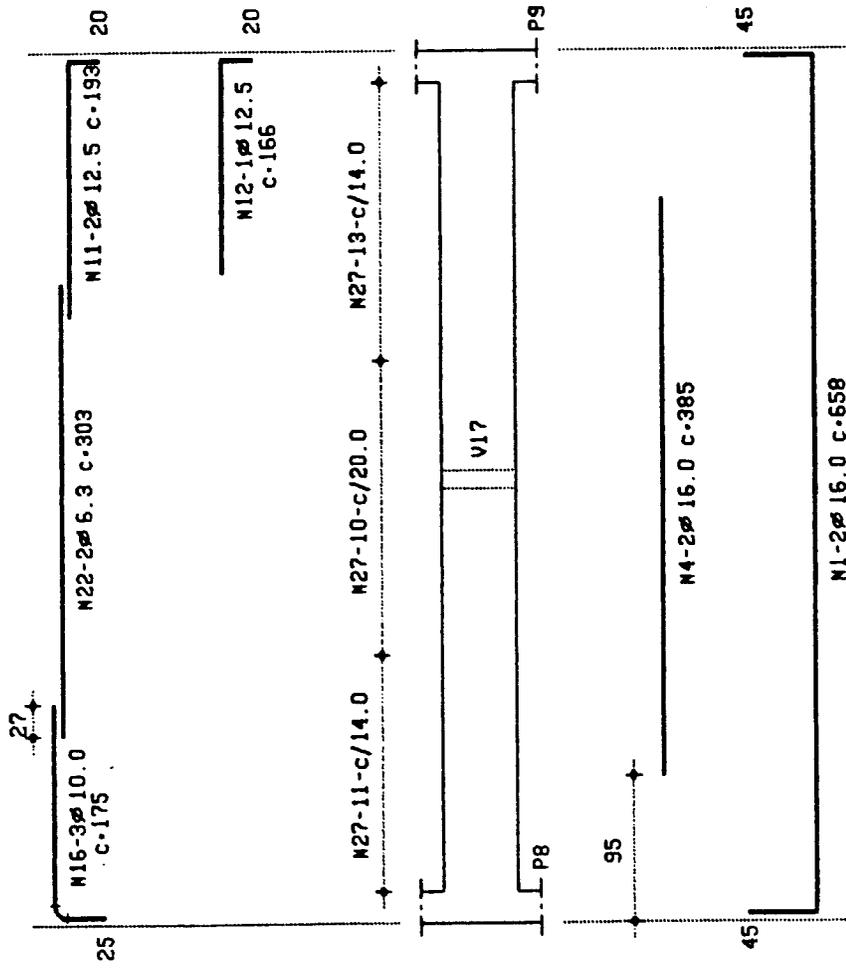
VI (12X50)

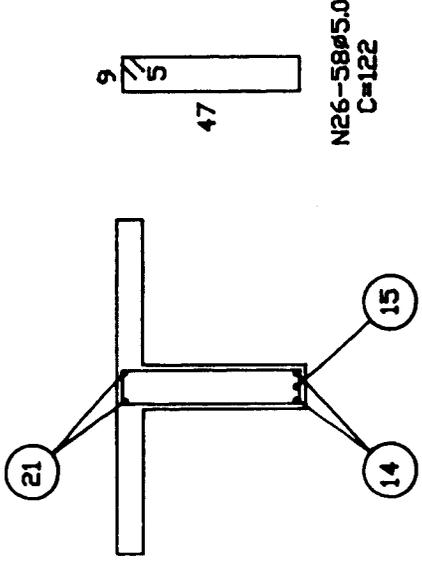


M25-30 $\phi$  6.3  
c-122

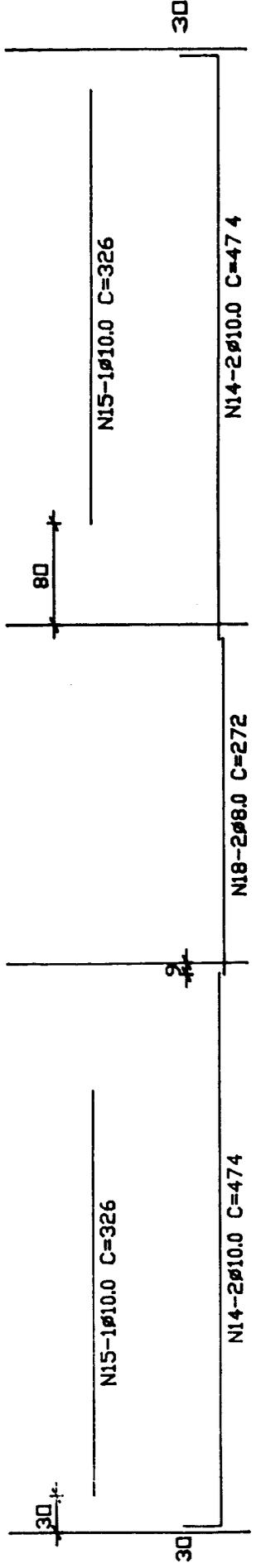
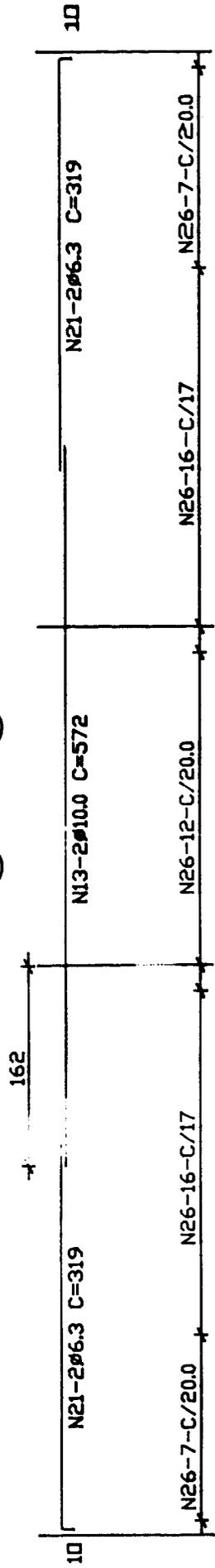
M26-37 $\phi$  5.0  
c-122

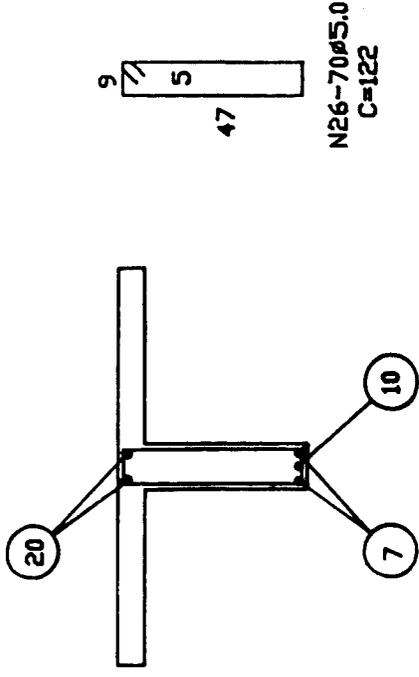
V3 (20X50)



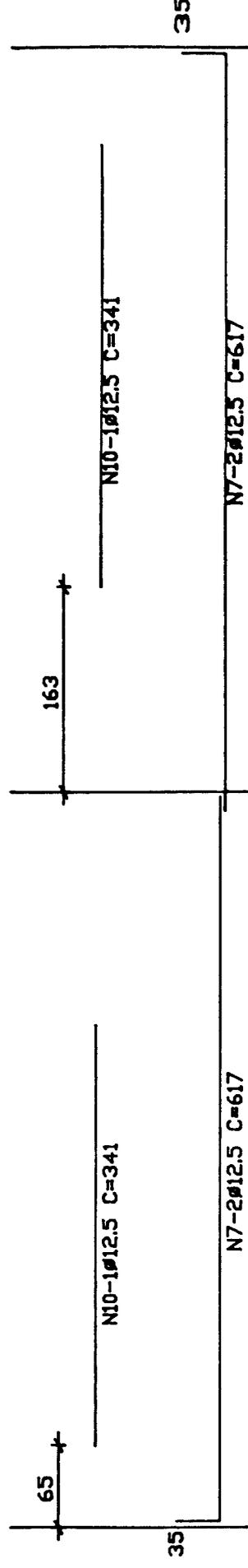
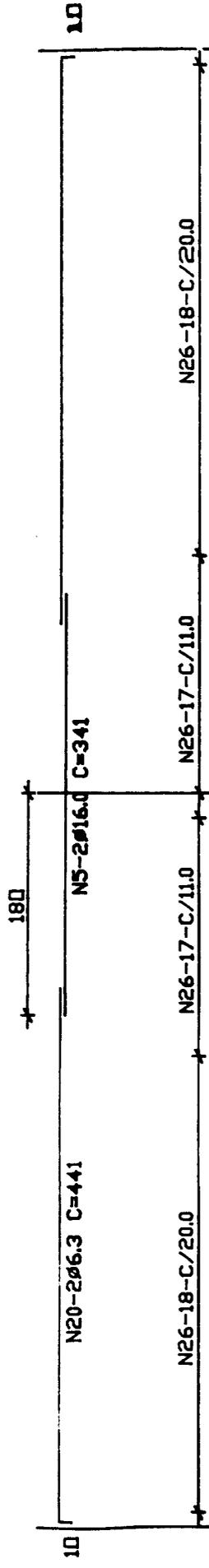


V17 (12x50)





V19 (12x50)



|                        | NO | Ø    | Quant | Compr.( m ) |        |
|------------------------|----|------|-------|-------------|--------|
|                        |    |      |       | Unit.       | Total  |
| Ø=45                   | 1  | 16.0 | 4     | 6.58        | 26.32  |
|                        | 2  | 16.0 | 2     | 5.28        | 10.56  |
|                        | 3  | 16.0 | 2     | 4.28        | 8.56   |
|                        | 4  | 16.0 | 4     | 3.85        | 15.40  |
|                        | 5  | 16.0 | 2     | 3.41        | 6.82   |
|                        | 6  | 16.0 | 2     | 3.27        | 6.54   |
| Ø=35                   | 7  | 12.5 | 4     | 6.17        | 24.68  |
| Ø=35                   | 8  | 12.5 | 2     | 5.79        | 11.58  |
|                        | 9  | 12.5 | 1     | 4.02        | 4.02   |
|                        | 10 | 12.5 | 2     | 3.41        | 6.82   |
|                        | 11 | 12.5 | 4     | 1.93        | 7.72   |
|                        | 12 | 12.5 | 2     | 1.66        | 3.32   |
|                        | 13 | 10.0 | 2     | 5.72        | 11.44  |
| Ø=30                   | 14 | 10.0 | 4     | 4.74        | 18.96  |
|                        | 15 | 10.0 | 2     | 3.26        | 6.52   |
| Ø=25, R=8              | 16 | 10.0 | 6     | 1.75        | 10.50  |
| Ø=25, R=8              | 17 | 10.0 | 2     | 1.72        | 3.44   |
|                        | 18 | 8.0  | 2     | 2.72        | 5.44   |
|                        | 19 | 8.0  | 2     | 1.51        | 3.02   |
| Ø=10                   | 20 | 6.3  | 4     | 4.41        | 17.64  |
| Ø=10                   | 21 | 6.3  | 4     | 3.19        | 12.76  |
|                        | 22 | 6.3  | 4     | 3.03        | 12.12  |
|                        | 23 | 6.3  | 2     | 2.41        | 4.82   |
|                        | 24 | 6.3  | 2     | 1.90        | 3.80   |
| Ø 47 7 <sup>5</sup>    | 25 | 6.3  | 30    | 1.22        | 36.60  |
| Ø 47 7 <sup>5</sup>    | 26 | 5.0  | 185   | 1.22        | 201.30 |
| 17 Ø 47 7 <sup>5</sup> | 27 | 6.3  | 68    | 1.38        | 93.84  |

| Resumo dos Ferros CA50A |            |        |          |            |
|-------------------------|------------|--------|----------|------------|
| Ø                       | Comp.( m ) | Peso/m | Peso(kg) | Peso + 10% |
| 5.0                     | 201.30     | 0.15   | 30       | 33         |
| 6.3                     | 181.58     | 0.24   | 44       | 48         |
| 8.0                     | 8.46       | 0.39   | 3        | 4          |
| 10.0                    | 50.86      | 0.62   | 32       | 35         |
| 12.5                    | 58.14      | 0.96   | 56       | 61         |
| 16.0                    | 74.20      | 1.58   | 117      | 129        |
| Total                   |            |        | 282      | 310        |

#### 4.3.4 - Comparações com o processo tradicional

Como o objetivo principal deste trabalho é formular os algoritmos para tornar sistemático e passível de programação em computadores os processos correntes de projetos de vigas de edifícios, e não fazer exaustivas comparações com o processo tradicional ( assunto este que poderia até servir de tema para um outro trabalho ), serão feitas somente algumas pequenas comparações.

Tomando-se a viga V19 como exemplo numérico da distribuição dos esforços ( figura 55d ), tem-se o momento fletor negativo sobre o apoio central igual a 545,3 tf.cm, e os momentos fletores positivos máximos iguais a 426,3 tf.cm ( sendo a relação entre estes momentos igual a 1,28 ). Fazendo-se a análise da mesma como viga contínua ( considerando pois os apoios verticalmente indeslocáveis ) tem-se o momento fletor negativo sobre o apoio central igual a 671,8 tf.cm ( cerca de 23% maior ), e os momentos fletores positivos máximos iguais a 377,9 tf.cm ( relação igual a 1,78 ). Como pode-se notar, ao fazer-se a análise do vigamento como grelha, houve uma redução considerável no momento fletor negativo sobre o apoio central, o que é vantajoso, pois reduzindo-se a armadura negativa, facilita-se a concretagem da viga. Além disso, como as seções podem ser consideradas em forma de T no dimensionamento das armaduras positivas, a redução da relação entre os momentos negativos e positivos, conduz a uma maior economia ( sendo que a relação mais econômica é menor que a unidade ).

Quanto à análise, convém ainda mencionar que a consideração de molas nos apoios extremos das vigas, por si só reduz o valor dos momentos fletores negativos nos demais apoios internos. Com a consideração do outro

caso de carregamento ( articulações nos apoios externos e engastamentos perfeitos nos apoios internos ), geralmente tem-se o valor dos momentos fletores positivos nos tramos externos aumentados, criando uma envoltória que fornece melhores condições de segurança.

Quanto ao cobrimento do diagrama, pode-se dizer que a determinação dos comprimentos das barras longitudinais tem a precisão numérica imposta pelo número de seções equidistantes adotado. Como este número é adotado constante para todas as vigas, conclui-se que a precisão também está vinculada ao comprimento de cada tramo da viga. Já pelo processo tradicional, esta precisão está relacionada com a do desenho do diagrama de momentos fletores e ( ou ) dos valores obtidos através de cálculos, o que exige um exaustivo e incômodo trabalho do projetista.

## CAPÍTULO V - CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi formular algoritmos de modo a tornar sistemático o projeto de pisos de edifícios de concreto armado, visando como vantagens :

- permitir o uso de melhores modelos matemáticos do comportamento das estruturas ;

- possibilitar a execução de certas rotinas com maior rigor, as quais no cálculo manual são em geral bastante simplificadas, quando não negligenciadas ;

- reduzir drasticamente os trabalhos monótonos e exaustivos de um projeto estrutural, concedendo ao projetista melhores condições para propor várias concepções e análises da estrutura ;

- reduzir também drasticamente o tempo dispendido com a confecção e correção de desenhos e tabelas, tornando a apresentação do projeto, que é a apresentação das folhas com os desenhos e dos memoriais de cálculos, mais confiável ;

- efetuar automaticamente a transferência de informações existentes durante um projeto, evitando extravios ou distorções delas, entre as várias fases do projeto.

Inúmeras outras vantagens além dessas indicadas, podem ser citadas. Por esses e outros diversos motivos, pode-se com toda certeza afirmar que o processo de automatização de projetos estruturais, com o auxílio de computadores é inevitável e irreversível. Porém, certas desvantagens inerentes sempre surgem, quando o homem, um ser reacionário por natureza, deixa de executar certos trabalhos. É óbvio que um bom projetista, que executa todas as rotinas manualmente, seja por indisponibilidade, ou por comodidade, desenvolve um raro sentimento em

relação a valores. O oposto acontece quando um mau projetista, tem todas essas rotinas feitas de forma automática. Todas as vantagens que existem em um projeto automatizado, podem se tornar perigosas quando em posse de projetistas despreparados, pois além de dificultar o desenvolvimento da capacidade de abstração, pode insinuar uma falsa e excessiva auto-confiança, cujas consequências podem ser desastrosas. Deve-se ter consciência que todo desenvolvimento científico e tecnológico tem como objetivo o bem estar da sociedade, porém sempre se paga um preço por ele. Tal preço tem sempre que ser minimizado, e isto, no caso de projetos auxiliados por computador, consiste em motivar permanentemente os projetistas a terem ciência de que o computador executa de maneira rápida e confiável, as rotinas pré-estabelecidas e de domínio dos mesmos, ficando as decisões e aprovações finais aos seus cargos e responsabilidades.

Os programas implementados com os algoritmos propostos, cujos resultados podem ser vistos através dos exemplos do Capítulo IV, atingem o objetivo do trabalho. Requisites podem ser adicionados como por exemplo mudança de seções transversais ao longo de uma viga, implementação de programas que permitam a edição dos resultados fornecidos. O autor reconhece que um estudo mais rigoroso da ancoragem das armaduras nos apoios extremos deve ser feito, de modo a ter-se um procedimento mais claro e coerente. Fica como sugestão ( ou desejo ) a elaboração deste estudo.

APÊNDICE A - ESTRUTURAS DINÂMICAS DE DADOS EM PASCAL

Observando-se a estrutura de dados abaixo, para armazenamento de todas as informações a respeito de todas as vigas suportadas pelo programa, obtém-se a quantidade de memória, em bytes<sup>1</sup>, necessária para alocação desses dados em um computador<sup>2</sup> :

Constante

MAX\_NUM\_DE\_TRAMOS = 20 ;  
MAX\_NUM\_DE\_VIGAS = 50 ;

Tipo

Tipo\_Titulo = Vetor [ 1..10 ] Caracter ; ( 10 bytes )

Tipo\_Pilar = Registro ( total = 26 bytes )  
 | L\_Esq\_Inf,  
 | L\_Esq\_Sup,  
 | L\_Dir\_Inf,  
 | L\_Dir\_Sup : Real ; ( 4x4 = 16 bytes )  
 | Titulo : Tipo\_Titulo ; ( 10 bytes )  
Fim ;

Tipo\_Ponto\_Intermediário = ( total = 34 bytes )  
Registro  
 | Viga\_Transversal, ( 2x2 = 4 bytes )  
 | Restrição\_do\_Pilar : Inteiro ;  
 | Dist\_do\_Prim\_Apoio : Real ; ( 4 bytes )  
 | Pilar : Tipo\_Pilar ; ( 26 bytes )  
Fim ;

<sup>1</sup> Supondo que para a alocação de uma variável do tipo real sejam necessários 4 bytes; para uma variável do tipo inteiro, 2 bytes; e para cada caracter de uma cadeia, 1 byte.

<sup>2</sup> Os valores numéricos apresentados neste apêndice foram adotados aleatoriamente, pois servem apenas para dar consistência aos exemplos.

```
Tipo_Tramo = Registro (Total = 32 bytes)
 | Vão, Pe, Pd, Ae, Ad,
 | bfe, hfe,
 | bfd, hfd : Real ; (9x4 = 32 bytes)
 | Fim ;
```

```
Tipo_Viga = Registro (total = 1376 bytes)
 | Número_de_Tramos,
 | Número_de_Pontos_Intermediários,
 | Número_de_Seções, Posição_Pele,
 | Número_de_Camadas_Pele :
 | Inteiro ; (5x2 = 10 bytes)
 | Título : Tipo_Título ; (10 bytes)
 | bw, h, Pee, Ped, Aee,
 | Aed, Cota : Real ; (7x4 = 28 bytes)
 | Tramo : Vetor [1..MAX_NUM_DE_TRAMOS]
 | Tipo_Tramo ; (20x32 = 640 bytes)
 | Ponto_Intermediário : (20x34 = 680 bytes)
 | Vetor [1..MAX_NUM_DE_TRAMOS]
 | Tipo_Ponto_Intermediário ;
 | Número_de_Posições_Positivas, (4x2 =)
 | Número_de_Posições_Negativas, (8 bytes)
 | Número_de_Posições_Porta_Estribos
 | Número_de_Posições_Estribos : Inteiro ;
 | Fim ;
```

Variável

```
Viga : Vetor [1..MAX_NUM_DE_VIGAS] Tipo_Viga ;
(50x1376 = 68800 bytes)
```

Neste exemplo, a variável Viga, que é um vetor de registros do tipo Tipo\_Viga, que por sua vez é um registro que também contém vetores de registros, ocupa 68800 bytes na memória. Todos esses bytes somente serão plenamente utilizados se o pavimento apresentar 50 vigas com 20 tramos cada. Esses dois valores devem ser definidos prevendo-se um máximo número de vigas, e prevendo-se também que pelo menos uma viga apresente-se com o máximo número de tramos e número de pontos intermediários adotado. Utilizando-se superficialmente de conceitos estatísticos, sabe-se que a probabilidade de se ter 50 vigas, e todas elas apresentarem-se com 20 tramos e 20 pontos intermediários, é bastante baixa.

Supondo-se que num pavimento existam 8

vigas, sendo que 2 delas apresentam-se com 4 tramos e as demais com 2 tramos, e que cada viga tenha o número de pontos intermediários igual ao número de tramos mais 1. Então, pode-se obter o número de bytes efetivamente ocupados :

- viga com 4 tramos :
  - $4 \times 32 = 128$  bytes p/ vetor Tramo
    - └─ bytes por tramo
    - └─ número de tramos
  - $5 \times 34 = 170$  bytes p/ vetor Ponto\_Int.
    - └─ bytes por ponto intermediário
    - └─ número de pontos intermediários
- vigas com 2 tramos :
  - $2 \times 32 = 64$  bytes p/ vetor Tramo
    - └─ bytes por tramo
    - └─ número de tramos
  - $3 \times 34 = 102$  bytes p/ vetor Ponto\_Int.
    - └─ bytes por ponto intermediário
    - └─ número de pontos intermediários

tem-se o total de bytes para as 8 vigas :

$$8 \times 56 + 2 \times ( 128 + 170 ) + 6 \times ( 64 + 102 ) = 2040 \text{ bytes}$$

- └─ número total de vigas
- └─ número de bytes ocup. por variáveis escalares
- └─ número de vigas com 4 tramos
- └─ número de vigas com 2 tr.

Pode-se observar que cerca de 97% da memória reservada é ociosa. Além do mais, se a área de dados disponível no computador for menor que 68800 bytes, o programa não pode ser executado, nem mesmos para as 8 vigas exemplificadas. Tal problema pode ser contornado utilizando-se estruturas de dados dinâmicas.

No item 3.2.1 do CAPÍTULO III, foi escrito que qualquer informação ( dado ) ocupa uma posição na memória e é identificada através de um nome. Se o valor desta informação pode ser alterado durante a execução do programa, ela é chamada de Variável, e possui dois

**atributos :**

-Endereço : ao se definir o identificador e o tipo de uma variável, define-se também a posição ( endereço ) e reserva-se o espaço ( bytes ) necessário para alocar as informações do determinado tipo ;

-Conteúdo : a partir do respectivo endereço e no espaço reservado, estarão contidas as informações.

Diz-se que uma variável é estática quando em seu conteúdo está o dado que se referencia por essa variável. Diz-se também que uma variável é dinâmica, quando em seu conteúdo está não mais o dado, e sim um outro endereço, no qual está o dado.

Pascal é uma linguagem que suporta estruturas de dados dinâmicas, através de ponteiros. Para declarar um ponteiro, procede-se de maneira análoga à declaração de uma variável ou tipo, através do identificador, e na frente do tipo, introduzindo-se o caracter '^' ( circunflexo ). Referenciar uma variável do tipo ponteiro significa referenciar o valor contido no endereço apontado pela variável. Com isso, o espaço ocupado por essa variável ou tipo, é o mesmo necessário para se definir um endereço. No caso de micro-computadores que utilizam o microprocessador Intel 8088, dois bytes são utilizados para se definir o segmento da memória, e outros dois bytes para definir o deslocamento de endereço relativo ao segmento, num total de 4 bytes para cada ponteiro definido. O conteúdo de um ponteiro ( endereço ) é inicializado com o uso do procedimento NEW, que automaticamente reserva espaço disponível na memória. Uma outra vantagem de estruturas de dados dinâmicas, está na disponibilidade de se liberar a área da memória

anteriormente reservada, através do procedimento DISPOSE<sup>9</sup>. Manipulam-se as variáveis tipo ponteiros de maneira também análoga às variáveis estáticas, somente introduzindo-se logo em seguida ao identificador o mesmo caracter '^'.

Implementando-se em Pascal a estrutura de dados exemplo, e definindo-se dinamicamente os vetores Tramo e Ponto\_Intermediário no tipo Tipo\_Viga, como também o vetor Viga, tem-se :

Type

```
Tipo_Viga = Record (total = 216 bytes)
 Número_de_Tramos,
 Número_de_Pontos_Intermediários,
 Número_de_Seções, Posição_Pele,
 Número_de_Camadas_Pele :
 Integer ; (5x2 = 10 bytes)
 Título : Tipo_Título ; (10 bytes)
 bw, h, Pee, Ped, Aee,
 Aed, Cota : Real ; (7x4 = 28 bytes)
 Tramo : Array [1..MAX_NUM_DE_TRAMOS]
 Of ^Tipo_Tramo ; (20x4 = 80 bytes)
 Ponto_Intermediário : (20x4 = 80 bytes)
 Array [1..MAX_NUM_DE_TRAMOS]
 Of ^Tipo_Ponto_Intermediário ;
 Número_de_Posições_Positivas, (4x2 =)
 Número_de_Posições_Negativas, (8 bytes)
 Número_de_Posições_Porta_Estribos
 Número_de_Posições_Estribos : Integer ;
Fim ;
```

Var

```
Viga : Array [1..MAX_NUM_DE_VIGAS] Of ^Tipo_Viga ;
(50x4 = 200 bytes)
```

Nota-se que inicialmente, ou seja antes de serem inicializadas as variáveis do tipo ponteiro, o número de bytes ocupado é 200 ao invés de 68800. Em

---

<sup>9</sup> Conforme o compilador Pascal utilizado, outros procedimentos são disponíveis para se alocar e desalocar estruturas de dados dinâmicas.

seguida, tem-se o bloco de instruções para se inicializar as oito vigas, onde para cada elemento do vetor viga inicializado, são alocados mais 216 bytes :

```
Begin
 For i := 1 to 8 do
 New(Viga[i]) ;
 End ;
```

Tem-se então o número de bytes alocados

$$200 + 8 * 216 = 1728 \text{ bytes,}$$

e as demais vigas, continuam ocupando somente 4 bytes cada. Tem-se em seguida, o bloco de instruções para se inicializar os tramos e pontos intermediários de cada viga, onde à cada tramo são alocados mais 80 bytes, e à cada ponto intermediário, também mais 80 bytes :

```
For i := 1 to 8 do
 With Viga[i] do
 Begin
 for j := 1 to Número_de_Tramos do
 New(Tramo[j]) ;
 for j := 1 to Número_de_Pontos_Intermediarios do
 New(Ponto_Intermediario[j]) ;
 End ;
```

Finalmente tem-se o número total de bytes ocupados pelas oito vigas. Sendo o número total de elementos de vetores Tramo alocados igual à 20 (  $2 \times 4 + 6 \times 2$  ), e sendo 28 o número de elementos de vetores Pontos\_Intermediários (  $2 \times 5 + 6 \times 3$  ), o número total fica

$$1728 + 20 \times 80 + 28 \times 80 = 5568 \text{ bytes}$$

Como pode-se observar, há uma significativa racionalização do uso da memória, embora tenha-se uma perda inicial, devida à definição de cada ponteiro. O

número de ponteiros que não apontam para absolutamente nada é

$$\begin{array}{r}
 42 \text{ ( vigas não utilizadas )} \\
 + 18 \times 2 + 18 \times 4 = 104 \text{ ( tramos não ut. nas vigas ut.)} \\
 + 15 \times 2 + 17 \times 4 = 98 \text{ ( Pontos Int. não " " " )} \\
 \hline
 244 \text{ ponteiros} = 976 \text{ bytes}
 \end{array}$$

Como exemplo de acesso à variável dinâmica, pode-se manipular a variável *bfe* ( largura da mesa de compressão à esquerda da seção ), no tramo 3 da segunda viga referenciando-a da seguinte forma :

*Viga 2 1^ . Tramo 3 1^ . bfe*

## APÊNDICE B - GERAÇÃO DE GRÁFICOS EM IMPRESSORA

Os gráficos gerados por impressoras matriciais padrão EPSON, são formados por pontos correspondentes aos disparos selecionados de agulhas da cabeça de impressão. Nos modelos comuns, oito agulhas dispostas verticalmente são utilizadas. Para se produzir uma faixa de desenho, correspondente a oito eixos horizontais, devem ser estabelecidas quais as agulhas disparadas a cada passo de movimento horizontal da cabeça, num número de passos previamente selecionado para cada alimentação do papel. Uma cabeça com suas oito agulhas pode ser assimilada a um byte, onde um bit setado corresponde a uma agulha que deve ser disparada, conforme mostra a figura B1. O bit 0 é o superior.

|     |     |   |   |     |
|-----|-----|---|---|-----|
| bit |     |   |   |     |
| 0   | ■   | 1 | x | 128 |
| 1   | ■   | 1 | x | 64  |
| 2   | □   | 0 | x | 32  |
| 3   | □   | 0 | x | 16  |
| 4   | ■ = | 1 | x | 8   |
| 5   | ■   | 1 | x | 4   |
| 6   | □   | 0 | x | 2   |
| 7   | □   | 0 | x | 1   |

onde :

■ - agulha disparada

□ - agulha não disparada

Para setar um dado bit, são criados 8 bytes que servem como máscaras. Cada máscara tem previamente setado um bit. Pode-se agrupar essas máscaras num vetor do tipo caracter, denominado {M}, onde o bit setado em um

dado elemento, corresponde ao índice no vetor, conforme figura 2B. Para setar um bit  $i$  em um byte, soma-se o valor de  $M_i$  a esse byte através do operador lógico OR.

|           |          |          |          |         |         |         |         | Bit |
|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|-----|
| ■         | □        | □        | □        | □       | □       | □       | □       | 0   |
| □         | ■        | ■        | ■        | ■       | ■       | ■       | ■       | 1   |
| □         | □        | ■        | □        | □       | □       | □       | □       | 2   |
| □         | □        | □        | ■        | □       | □       | □       | □       | 3   |
| □         | □        | □        | □        | ■       | □       | □       | □       | 4   |
| □         | □        | □        | □        | □       | ■       | □       | □       | 5   |
| □         | □        | □        | □        | □       | □       | ■       | □       | 6   |
| □         | □        | □        | □        | □       | □       | □       | ■       | 7   |
| $M_0=128$ | $M_1=64$ | $M_2=32$ | $M_3=16$ | $M_4=8$ | $M_5=4$ | $M_6=2$ | $M_7=1$ |     |

Fig. 2B - Vetor {M} : máscaras.

Exemplificando, para setar o bit 3 no byte, tem-se :

| byte | $M_3$ |   |   | byte com o bit 3 setado |
|------|-------|---|---|-------------------------|
| ■    | □     | ■ |   | 0                       |
| □    | □     | □ |   | 1                       |
| ■    | □     | ■ |   | 2                       |
| □    | OR ■  | = | ■ | 3 ← setado              |
| □    | □     |   |   |                         |
| □    | □     |   |   | ↑                       |
| ■    | □     |   |   | bit                     |
| ■    | □     |   |   |                         |

Sabendo-se como setar um bit qualquer em um byte, pode-se organizar um grupo de bytes de forma a ter-se um sistema de coordenadas ortogonais (  $x, y$  ), e de

modo que um dado pixel ( *picture element* : ponto constituinte de um elemento de imagem ) seja um determinado bit de um determinado byte. Uma maneira de se organizar esses bytes, é através de uma matriz de caracteres, conforme é mostrado na figura 3B. Dado um pixel qualquer, ocupando a posição (  $x, y$  ) no sistema de coordenadas, pode-se observar que a coluna da matriz na qual estará o byte a ter o bit setado, apresenta-se com o próprio índice  $x$ . Por sua vez, a linha da matriz é a parte inteira da divisão  $y / 8$ , e o bit setado é o resto da mesma divisão.

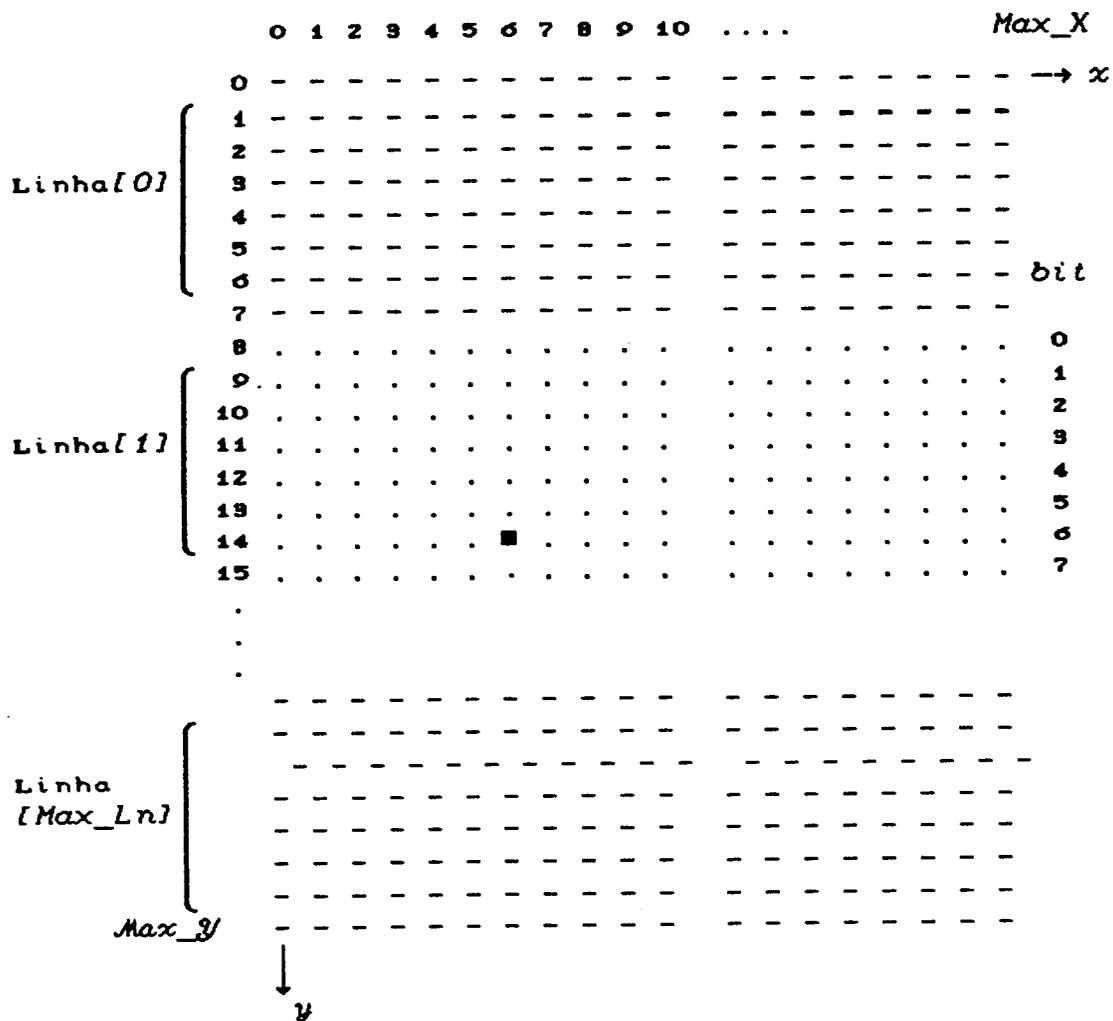


Fig. 3B - Organização dos diversos bytes para impressão de gráficos, em linhas e colunas, como uma matriz de caracteres.

Atribuindo à matriz o identificador Mapa, observa-se na figura 3B que o pixel de coordenadas ( 6, 14 ), está contido no byte correspondente ao elemento da matriz cuja coluna é 6, e cuja linha é 1. O bit setado é o sexto. Demonstrando :

$$\frac{14}{8} = 1,75 \rightarrow \text{parte inteira} = 1$$

$$\text{e resto} = 14 - 8 \times 1 = 6$$

Uma vez montado o mapa de impressão, envia-se à impressora, para cada linha da matriz, uma sequência de códigos selecionando o modo gráfico desejado<sup>4</sup>, e os elementos da linha da matriz. Deve-se também redefinir o espaçamento vertical entre as linhas impressas<sup>5</sup> ( alimentação de linha ). Seguem-se a estrutura

---

<sup>4</sup> Para se selecionar o modo gráfico e a densidade de impressão em impressoras padrão EPSON, existem várias maneiras. A exemplificada aqui, seleciona a densidade de 120 pontos na horizontal por polegada, e consiste no envio para a impressora dos caracteres ESCAPE ( código ASCII igual a 27 ), mais o caracter 'L', seguido de dois caracteres cujos valores ordinais significam o número de colunas gráficas por linha. Por exemplo, para se descarregar 1000 colunas gráficas por linha, envia-se primeiramente os caracteres :

Chr( 27 ), 'L', Chr( 232 ), Chr( 9 )

onde :

$$\begin{aligned} 9 &= \text{Int}( 1000 / 256 ) + 1 \\ 232 &= 1000 - 9 * 256 \end{aligned}$$

<sup>5</sup> Também em impressoras padrão EPSON, pode-se selecionar o espaçamento entre linhas, enviando para a impressora os caracteres ESCAPE e '3' ( algarismo três ), seguidos de um caracter cujo valor ordinal na tabela ASCII dividido por 216, seleciona o espaçamento em polegadas. Para se ter continuidade entre os pontos dispostos verticalmente, enviam-se os seguintes caracteres :

Chr( 27 ), '3', Chr( 23 )

de dados, os procedimentos para a colocação de um pixel na matriz e para a impressão do mapa, em linguagem Pascal.

Const

MAXX = ( de acordo com a necessidade )  
 MAXLN = ( do usuário e capacidade do programa )

Var

Mapa : Array[ 0..MAXLN, 0..MAXX ] Of Char ;  
 Mascara : Array[ 0..7 ] Of Char ;

Procedure CrieMascara ;

Var i : Integer ;

Begin

Mascara[ 0 ] := Chr( 128 ) ;

For i := 1 to 7 do

Mascara[ i ] := Chr( Ord( Mascara[ i - 1 ] ) DIV 2 ) ;

End ;

Procedure DefinaPixel( x, y : Integer ) ;

Var Linha, Bit : Integer ;

Begin

Linha := Trunc( y / 8 ) ;

Bit := y - Linha \* 8 ;

Mapa[ Linha, x ] := Chr( Ord( Mapa[ Linha, x ] ) OR  
 Ord( Mascara[ bit ] ) ) ;

End ;

Procedure ImprimaMapa ;

Var

i, j, N1, N2 : Integer ;

Begin

Write( Lst, Chr( 27 ), '3', Chr( 23 ) ) ;

N2 := Trunc( ( MAXX + 1 ) / 256 ) ;

N1 := MAXX + 1 - 256 \* N2 ;

For i := 0 to MAXLN do

Begin

Write( Lst, Chr( 27 ), 'L', Chr( N1 ), Chr( N2 ) ) ;

For j := 0 to MAXX do

Write( Lst, Mapa[ i, j ] ) ;

WriteLn( Lst ) ; ( salta p/ prox. linha )

End ;

End ;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - COSTA, J. B. - Automação do dimensionamento do vigamento de pavimentos tipo de edifícios de concreto armado - Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos - USP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas, 1990.
- [2] - FRANÇA, R. L. e S. - Elementos estruturais especiais de concreto armado. São Paulo, Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia. EPUSP, outubro de 1979.
- [3] - FUSCO, P. B. - Fundamentos do Projeto Estrutural - Publicação do Grêmio Politécnico. São Paulo, EPUSP, 1973.
- [4] - GOBETTI, L. C. W - Uma discussão sobre ancoragem das barras de armadura tracionada de vigas de concreto armado. Anais do I Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. São Paulo, 22-24 de agosto de 1989 ( pag. 209 até 229 ).
- [5] - MAZZILLI, A. R. P. - Influência da flexibilidade das vigas de apoio no cálculo de estruturas de edifícios. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia.
- [6] - ROCHA, A. M. - Concreto Armado - Vol. I a V - São Paulo, S.P., Livraria Nobel S.A., 21ª edição, 1985.

- [7] - SANTOS, L. M.; FRANÇA, R. L. S.; ISHITANI, H.; MACHADO, C. P. - Projeto estrutural de edifícios de concreto armado, um exemplo prático completo. São Paulo, Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia. EPUSP, 1988.
- [8] - TORI, R.; ARAKAKI, R.; MASSOLA, A. M. A., FILGUEIRAS, L. V. L. - Fundamentos de computação gráfica : Compugrafia. Rio de Janeiro; São Paulo; LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1987.
- [9] - WEAVER Jr, W.; GERE, J. M. - Análise de estruturas reticuladas. Rio de Janeiro, R.J., Editora Guanabara Dois, 1981.

BIBLIOGRAFIA

- 01 - CORRÊA, M. R. S., RAMALHO, M. A., CEOTTO, L. H. -  
Sistema LASER - Programa GPLAN3. EESC-USP - São  
Carlos, S.P., 1987
- 02 - EPSON LX-800 - USER'S MANUAL, 1987.
- 03 - FUSCO, P. B. - Estruturas de Concreto - Solicitações  
Normais - Rio de Janeiro, R.J. - Editora  
Guanabara Dois, 1981.
- 04 - HAMBLY, E. C. - Bridge Deck Behaviour. Ch. 3 - Slab  
Decks : grillage analysis.
- 05 - LEONHARDT, F; MÖNNIG, E. - Construções de Concreto -  
Vol. I e III - Rio de Janeiro, Editora  
Interciência Ltda, 1982 e 1984.
- 06 - NB-16 - Execução de desenhos para obras de concreto  
simples ou armado - Associação Brasileira de  
Normas Técnicas.
- 07 - NBR 6118 - Procedimentos para o Projeto e Execução de  
Obras de Concreto Armado. Associação Brasileira  
de Normas Técnicas, 1978.
- 08 - NBR 8681 - Ações e Segurança nas Estruturas.  
Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- 09 - RUSCH, H. - Concreto Armado e Protendido - Rio de  
Janeiro, R.J., Editora Campus, 1981.

- 10 - SANTOS, L. M. - Cálculo de Concreto Armado, segundo a nova NB-1/78 e o CEB - Vol. I e II - São Paulo, S.P., Editora LMS, 1983 e 1981.
- 11 - SCHIMITZ, E. A.; TELES, A. A. de S. - PASCAL e Técnicas de Programação - Rio de Janeiro, R.J., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2ª edição, 1986.
- 12 - SÜSSEKIND, J. C. - Curso de Concreto - Vol. I e II - Porto Alegre, R.S. e Rio de Janeiro, R.J., Editora Globo, 1985.
- 13 - TURBO PASCAL 4.0 - OWNER'S HANDBOOK - Borland International, California, EUA, 1987.
- 14 - WIRTH, N. - Programação Sistemática em Pascal - Rio de Janeiro, R.J., Editora Campus Ltda., 5ª Edição, 1986.
- 15 - ZIENKIEWICZ, O. C. - The Finite Element Method in Engineering Science - McGraw-Hill, 1971