



“Software para Cálculo de Vigas Mistas”⁽¹⁾

Gustavo de Souza Veríssimo⁽²⁾

José Carlos Lopes Ribeiro⁽³⁾

José Luiz Rangel Paes⁽²⁾

Resumo

Este trabalho apresenta um software para análise e dimensionamento de vigas mistas de edifícios, segundo a norma brasileira para projeto e execução de estruturas de aço de edifícios, NBR8800 (ABNT 1986). O software permite o cálculo de vigas mistas com perfis laminados e soldados, duplamente simétricos ou monossimétricos, podendo a laje ser maciça ou com forma de aço incorporada, escorada ou não. O software admite a utilização de conectores de cisalhamento em perfil U laminado ou conectores tipo pino com cabeça (*stud bolts*), permitindo ao usuário controlar o grau de interação entre o perfil metálico e a laje de concreto, através da quantidade de conectores de cisalhamento utilizada. Como resultados o programa fornece os esforços, os deslocamentos, a frequência de vibração da viga, a verificação dos estados limites últimos e de utilização prescritos na NBR8800 e, ainda, o memorial de cálculo completo e o detalhamento da disposição dos conectores sobre a viga.

Palavras-chave: viga mista, software, cálculo, estrutura metálica.

Abstract: This paper presents a software for analysis and dimensioning of composite beams for buildings. The software was designed to make easy the parametrical project of composite beams, in a way that the user has great freedom to updating and testing all the parameters involved in the design process, including materials features, safety criteria, boundary conditions, constructive process and loading. The software includes composite beams with the following features: solid or ribbed slab; constructed with or without temporary shores; rolled and welded steel profiles, doubly symmetrical or singly symmetrical; shear connectors in rolled channel profile or stud bolts; full interaction or partial interaction. Besides detailing the distribution of connectors over the beam, the program writes the complete design memory and permits the user controls the interaction amount to save shear connectors.

Key-words: composite beam, software, design, steel structure

⁽¹⁾ Contribuição Técnica a ser apresentada no “II Congresso Internacional da Construção Metálica – II CICOM” - novembro, 2002 – São Paulo, SP, Brasil.

⁽²⁾ Professor do Depto. de Engenharia Civil - UFV - Viçosa, MG, Brasil.



⁽³⁾ Mestrando do Depto. de Eng. de Estruturas – UFMG - Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

Em diversos países do primeiro mundo, hoje, o aço é o material preferido para construção. Na França, por exemplo, a parcela de mercado relativa ao setor de edifícios de andares múltiplos em aço apresentou um crescimento uniforme de 13,7% em 1991 para 31,5% em 1997. Descobertas recentes têm proporcionado muito bom êxito na utilização de sistemas de piso com grandes vãos em edifícios de escritórios, atraindo a atenção do mercado. No mesmo período, o segmento de edifícios industriais e residenciais de um pavimento apresentou crescimento de 78% para 83%.

No Reino Unido o segmento de edifícios de andares múltiplos em aço cresceu de 33% em 1981 para 58,1% em 1991. Segundo estatísticas de 1998, 65,1% do mercado de edifícios multi-pavimento utiliza estrutura metálica. A velocidade e a economia conseguidos a partir do uso de sistemas de piso mistos foram os fatores mais significativos para essa transformação.

O excelente desempenho do aço, quando submetido à tração, e do concreto, à compressão, evidencia a tendência de desenvolvimento das estruturas mistas, como forma de combinar o potencial dos componentes dos sistemas mistos.

A utilização de vigas mistas surgiu de forma natural, em função do costume de se utilizar lajes de concreto armado sobre vigas metálicas e dado à eficiência vislumbrada com os sistemas mistos.

Os estudos relacionados às estruturas mistas foram iniciados desde o início do Século XX, quando, na Inglaterra, diversos ensaios sobre sistemas compostos para pisos foram realizados. Entre 1922 e 1939 foram realizadas diversas obras de edifícios e pontes, nas quais se utilizou o sistema de vigas mistas. Já em 1944 o assunto foi introduzido nas normas da American Association of State Highway Officials (AASHO).

No Brasil a utilização de estruturas mistas ficou restrita a alguns poucos edifícios entre os anos de 1950 e 1960, além de pequenas pontes. Atualmente, com a queda de custos da construção metálica, proporcionada principalmente pela redução do preço do aço estrutural e o nível tecnológico utilizado no projeto das estruturas mistas, a demanda por esses sistemas construtivos tem aumentado substancialmente.

O crescimento do uso de estruturas metálicas e mistas estimula e demanda a criação de ferramentas adequadas para melhorar o processo de desenvolvimento de projetos num nível tecnológico que atenda aos requisitos de segurança e economia, além de considerar a evolução do processo construtivo. Neste sentido o desenvolvimento de *software* é muito importante, sob o ponto de vista da possibilidade de simulação e estudo paramétrico.

Neste trabalho, apresenta-se um software para análise e dimensionamento paramétrico de vigas mistas de edifícios, segundo os procedimentos recomendados pela NBR8800/86 - "*Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios*" (ABNT 1986).

2 SOBRE O CÁLCULO DE VIGAS MISTAS

Nos edifícios estruturados em aço, os ganhos proporcionados pela solidarização da laje de concreto às vigas metálicas tornaram a alternativa em vigas mistas muito competitiva, consagrando esta solução. Consegue-se uma economia substancial de aço no vigamento do sistema de piso dos edifícios e uma velocidade grande de execução quando se opta por sistemas industrializados como forma de aço incorporada sem escoramento, concreto usinado, etc.



Vários fatores tornam o cálculo das vigas mistas trabalhoso e recorrente, uma vez que diversos parâmetros são variáveis durante o próprio processo de dimensionamento. Além do fato da quantidade de cálculos ser grande, adiciona-se a interdependência entre fatores como: (a) a largura efetiva da laje e a posição da linha neutra; (b) a quantidade de conectores e a inércia da seção mista; (c) a resistência dos conectores e a quantidade de conectores por nervura, no caso de laje nervurada; etc. Assim, com frequência o calculista tem que repetir os cálculos sucessivas vezes para a mesma viga, para ajustar todos os parâmetros de forma a obter uma solução satisfatória. Outros elementos que contribuem para o aumento dos cálculos são a assimetria da seção transversal, devido à introdução da laje, e a necessidade de verificar a seção de aço isolada para as cargas antes da cura do concreto e verificar a seção mista para as cargas após a cura do concreto, no caso de construção sem escoramento.

3 VISÃO GERAL DO SOFTWARE

O software possui uma interface gráfica amigável, cuidadosamente projetada para facilitar a interação com o usuário.

Na implementação, foram utilizadas técnicas de pré e pós-processamento gráfico, de forma a permitir o controle visual dos dados de entrada e dos resultados por parte do usuário.

Os dados dos materiais constituintes da viga, tais como o perfil metálico, o aço do perfil, o conector de cisalhamento, e a forma de aço, podem ser acessados automaticamente de um banco de dados de materiais.

O programa utiliza técnicas do Método dos Elementos Finitos para efetuar a análise da viga, permitindo o cálculo de deslocamentos, esforços e reações de apoio para todos os casos de carregamento previstos pelo usuário.

Um sistema de documentação *online* orienta o usuário na utilização do software, bem como na atribuição de valores aos parâmetros de cálculo e na interpretação dos resultados.

Por fim, através de um editor de textos interno, o programa gera uma listagem com toda a memória de cálculo, editável pelo usuário, inclusive com gráficos.

3.1 A Interface com o Usuário

A interface proporciona ao usuário acesso rápido a todos os parâmetros da viga, permitindo que ele altere qualquer informação da geometria da viga, dos materiais, do carregamento e de critérios de norma durante o processo de cálculo.

Todos os módulos da interface permitem que o usuário faça alterações temporárias ou permanentes nos parâmetros da viga em análise.

O programa permite ainda que o usuário determine que informações deseja que fiquem visíveis durante a utilização do software, a fim de permitir a monitoração de resultados e dados de entrada simultaneamente. Cada parâmetro do cálculo pode ser alterado a partir de um simples clique de *mouse* sobre o item desejado.

A Figura 1 mostra o aspecto da interface do programa. Além do menu principal, uma barra de ferramentas na parte de cima da tela, uma barra de parâmetros à esquerda e uma barra de *status* na parte de baixo da tela facilitam a interação do usuário com o software.

Na Figura 1 podem ser vistas também as janelas de configuração da geometria da viga e dos coeficientes de segurança. Essas janelas são mostradas automaticamente quando o usuário clica sobre o item correspondente na barra de propriedades, à esquerda da tela. Em cada janela de edição de parâmetros, os dados modificados apenas são admitidos no cálculo subsequente caso o usuário confirme as modificações. O programa sempre armazena o conteúdo da interface quando da última utilização.

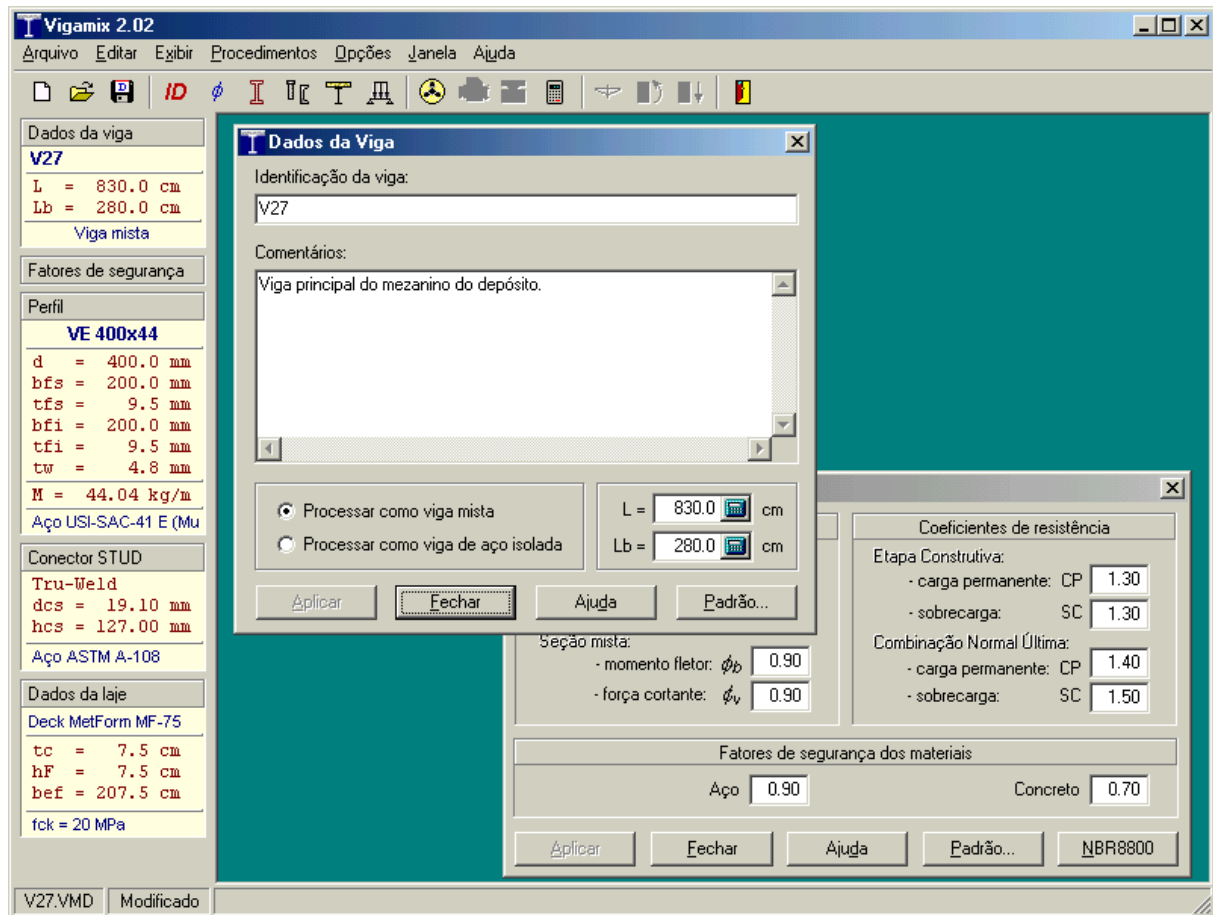


Figura 1 – Aspecto da interface do programa.

3.2 A Edição dos Parâmetros dos Materiais

3.2.1 Configuração do Perfil de Aço

O software foi programado para trabalhar com qualquer tipo de perfil I laminado ou soldado, admitindo, portanto, perfis laminados de abas inclinadas (ABNT, 1981) e de abas paralelas (ABNT, 1983; AISC, 1990; BSI, 1993), assim como perfis soldados (ABNT, 2000) e eletrossoldados (UMSA, 1999), duplamente simétricos ou monossimétricos.

Um utilitário acessório auxilia na manutenção de uma base de dados de perfis, aços, conectores de cisalhamento e formas de aço, de forma que toda a informação sobre esses produtos ficam permanentemente disponíveis para o usuário. No momento da carga, o software consulta a base de dados e já verifica quais tabelas de dados de produtos estão disponíveis no disco. O utilitário para gerenciamento das tabelas proporciona ao usuário ampla liberdade para cadastrar novos produtos, fazer alterações ou eliminações no banco de dados, permitindo que o projetista mantenha o sistema sempre atualizado em relação aos produtos disponíveis no mercado.

O módulo de configuração do perfil metálico permite que o usuário selecione o catálogo de perfis, o perfil e o aço do perfil. À medida que o usuário muda o perfil vigente, são mostrados na tela: as dimensões do perfil; suas propriedades mecânicas e sua resistência última a momento fletor e força cortante. Além disso, diagramas gráficos mostram as curvas de flambagem correspondente a cada estado limite último aplicável a um perfil I de aço fletido em relação ao eixo de maior inércia (Figura 2).

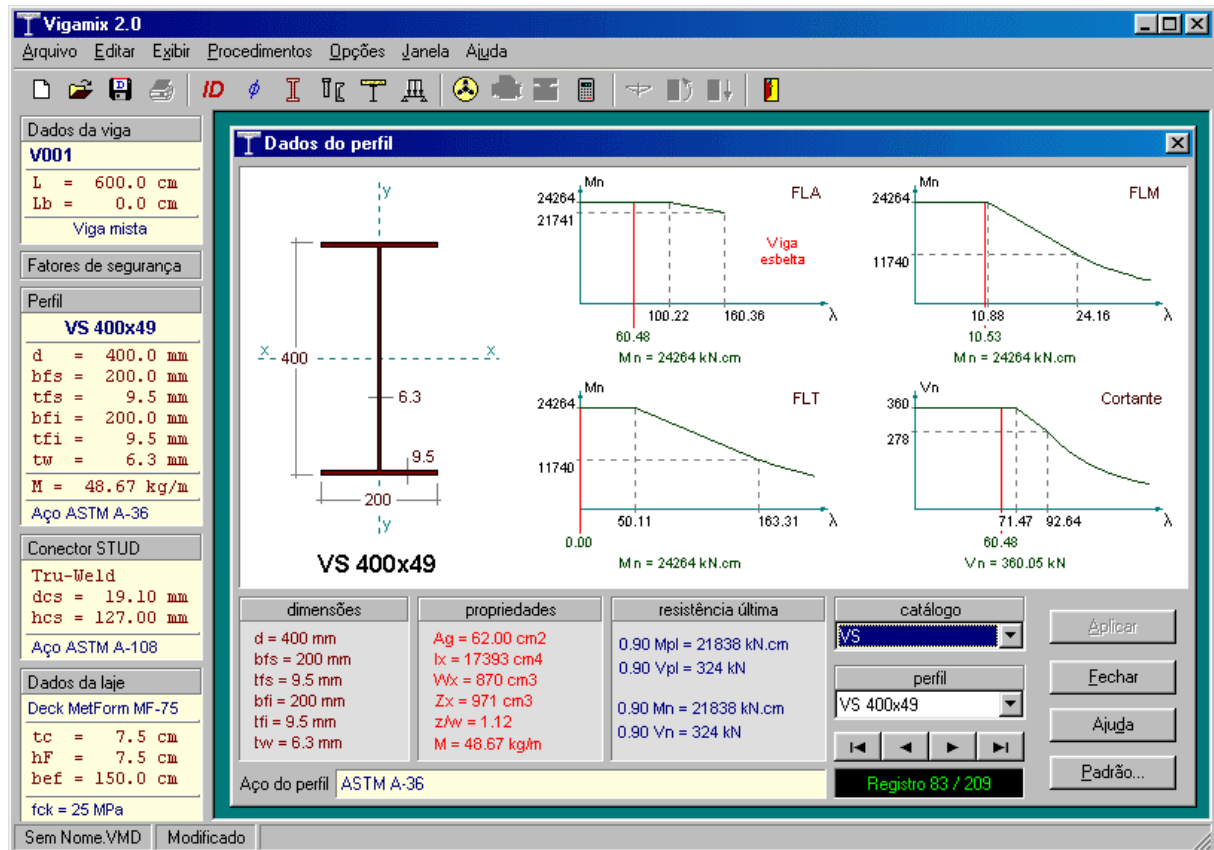


Figura 2 – Módulo de configuração do perfil metálico.

Uma vez selecionado o perfil e confirmada a sua modificação, seus dados são atualizados na barra de parâmetros, no canto esquerdo da tela principal.

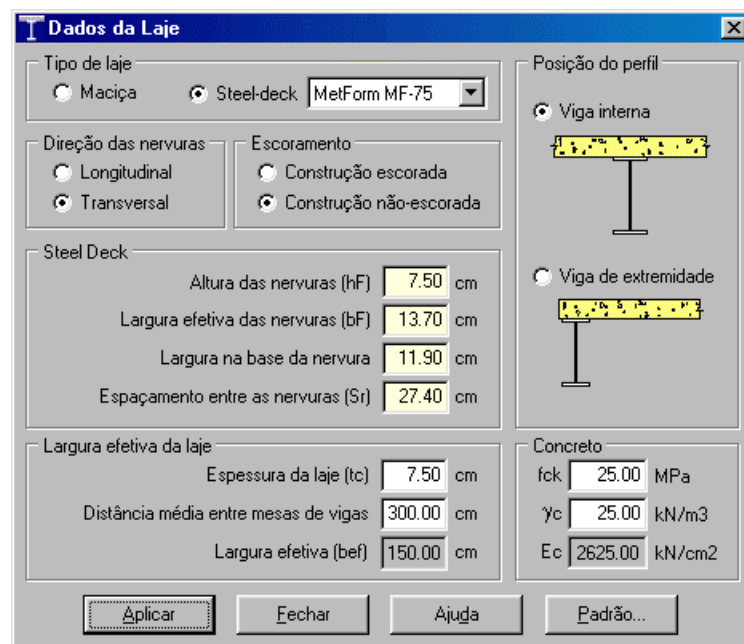


Figura 3 – Módulo de configuração da laje.



3.2.2 Configuração da Laje

No módulo de configuração da laje (Figura 3), o usuário pode selecionar se a laje é maciça ou com forma de aço incorporada, informa sua espessura, a resistência do concreto e a posição do perfil em relação à laje.

No caso de laje com forma de aço incorporada, o usuário pode informar a direção das nervuras da forma e se a construção será com ou sem escoramento. É possível selecionar a forma de uma lista de formas pré-cadastradas ou, ainda, configurar uma forma que não esteja cadastrada no sistema. A necessidade de informar a direção das nervuras se deve ao fato de a posição delas influenciar na resistência última do sistema, afetando a capacidade dos conectores de cisalhamento.

3.2.3 Configuração do Conector de Cisalhamento

No módulo de configuração do conector de cisalhamento o usuário pode selecionar perfil U laminado ou conector tipo pino-com-cabeça (*stud bolt*), além de especificar as características do aço do conector. As dimensões do conector podem ser informadas diretamente ou selecionadas de uma tabela.

3.3 Configuração do Carregamento e do Modelo para Análise

No módulo de configuração do carregamento e do modelo, o usuário pode especificar as condições de apoio da viga e as cargas nominais atuantes. O software foi projetado para prever apoios elásticos, ou semi-rígidos, bem como vigas mistas contínuas. A versão preliminar trabalha apenas com vigas biapoiadas.

Com relação ao carregamento, o software foi programado para trabalhar com cargas concentradas e cargas uniformemente distribuídas, sempre informadas com as parcelas de carga permanente e sobrecarga de utilização em separado. No caso de construção não-escorada, o usuário deve informar a parcela do carregamento de atua antes da cura do concreto e o acréscimo de carga após a cura do concreto (Figura 4).

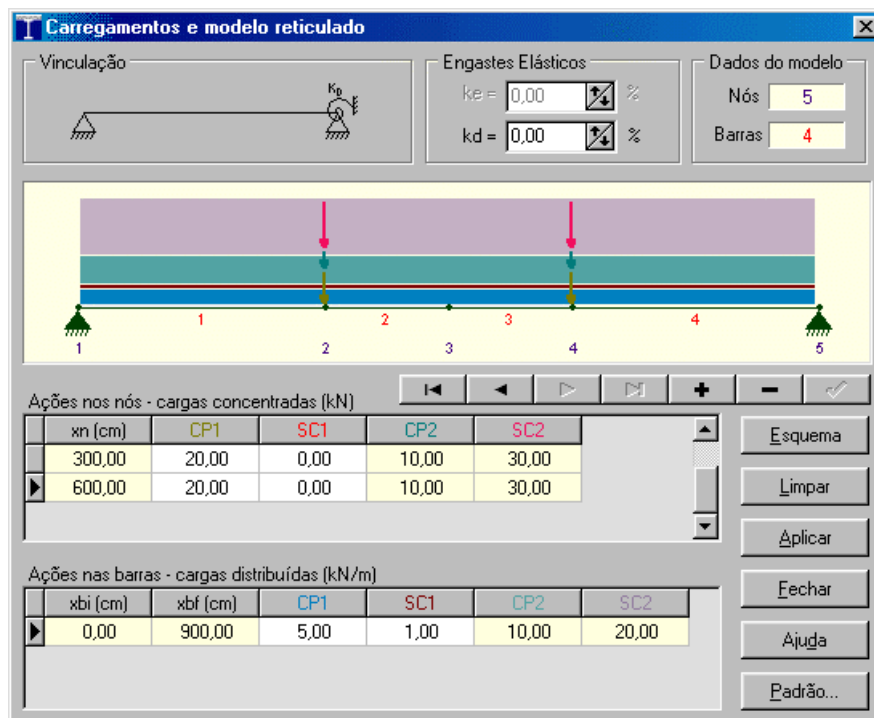


Figura 4 – Módulo de configuração do modelo e do carregamento.



As vigas são peças normalmente retilíneas em que os elementos de barra estão conectados em seqüência. Assim, se a viga é biapoiada e seu comprimento é conhecido, tem-se as coordenadas dos apoios.

No caso de uma viga sujeita a um carregamento uniformemente distribuído, definindo-se um nó para cada apoio e mais um nó no centro do vão, é possível determinar os esforços, deslocamentos e reações nesses nós, podendo-se estimar com precisão os valores dessas grandezas em outros pontos da viga, fora dos nós, usando-se funções de interpolação apropriadas. No entanto, caso haja uma ou mais cargas concentradas aplicadas à viga, é necessário criar outros nós nos pontos de aplicação dessas cargas, para que elas possam ser introduzidas na análise. Neste caso, implementou-se um modelador automático, capaz de definir sozinho os nós e barras necessários. Por se tratar de um programa para vigas, implementou-se um algoritmo que faz a discretização da viga em elementos a partir da pré-definição de nós nos apoios, no centro do vão e nos pontos onde houver cargas concentradas. Dessa forma a definição de nós e elementos fica transparente para o usuário e o próprio software gerencia o modelo numérico. Se o usuário introduz ou elimina uma carga concentrada o sistema automaticamente cria ou suprime um nó no ponto daquela carga, renumera os elementos e recria o modelo para a análise.

3.4 O Processador

O processador foi implementado utilizando-se um elemento simples de viga com dois nós, um em cada extremidade, e dois graus de liberdade por nó, de forma a permitir a determinação do deslocamento transversal ao eixo da barra e da rotação do nó.

A matriz de rigidez do elemento foi montada incluindo-se a parcela de deformação por cisalhamento e é transformada numa matriz banda para reduzir o número de operações durante o processamento.

No caso de construção não-escorada a viga é processada para as cargas que atuam antes da cura do concreto, considerando-se a inércia da viga de aço isolada, e, posteriormente, é processada para as cargas após a cura do concreto, admitindo-se a inércia da seção mista. Adicionalmente ainda são processados dois casos especiais em que se admite a seção mista sob atuação apenas do acréscimo de carga permanente e de sobrecarga após a cura do concreto. Dessa forma é possível avaliar o acréscimo de deformação sofrido pela viga mista após a cura do concreto, uma vez que a viga de aço isolada já terá se deformado para as cargas atuantes antes da cura do concreto.

Os resultados da análise são obtidos para cada caso de carregamento, admitindo-se as cargas nominais, e posteriormente armazenados em vetores de forma a poderem ser manipulados e combinados apropriadamente para as verificações dos estados limites últimos e de utilização.

A viga é processada primeiramente para a carga permanente e depois para a sobrecarga.

Caso o usuário opte por um número de conectores de cisalhamento que resulte num grau de interação parcial, a inércia da seção transversal é corrigida, em função do grau de interação, e a viga é reprocessada e os resultados relativos à nova situação são disponibilizados.

3.5 O Dimensionamento

De posse dos esforços nominais obtidos da análise para cada situação de carregamento possível, um algoritmo de verificação de dimensionamento combina os esforços de acordo com os critérios de norma para a verificação dos estados limites últimos.

Nos casos de dimensionamento de viga de aço isolada e de vigas mistas com construção escorada, o programa verifica as seções críticas para o momento fletor e a força cortante.

No caso de viga mista com construção não-escorada, o programa verifica a capacidade resistente da seção de aço isolada para as cargas atuantes antes da cura do concreto e, em



seguida, verifica a capacidade resistente da seção mista para as cargas totais, que atuam após a cura do concreto. Além disso verifica o acréscimo de tensões no bordo tracionado da viga de aço, decorrente da introdução do acréscimo de cargas após a cura do concreto.

3.6 Os Resultados

Após a análise e o dimensionamento, o software fornece a taxa de solicitação para cada verificação exigida pela norma, como pode ser visto na Figura 5. Também mostra as distribuições de força cortante, momento fletor e deformações nas formas numérica e gráfica, bem como a quantidade de conectores de cisalhamento necessários e a primeira frequência natural de vibração da viga.

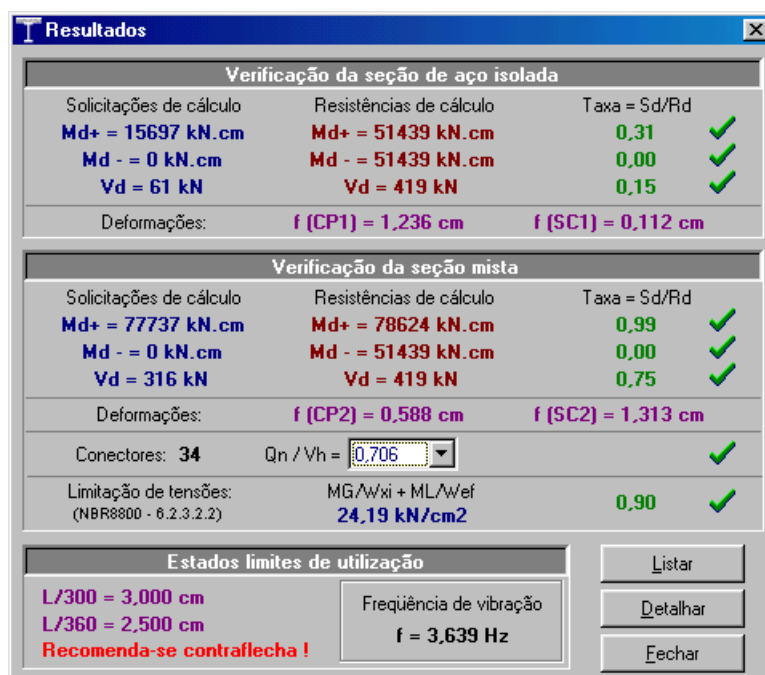


Figura 5 – Tela de resultados.

Na tela de resultados, o usuário pode avaliar se a viga possui folga de resistência e reduzir a quantidade de conectores de cisalhamento, diminuindo o grau de interação entre o perfil metálico e a laje de concreto. Essa operação reduz a resistência global da viga mista, aumentando a taxa de solicitação e permitindo a economia de conectores. O simples fato do usuário alterar o número de conectores provoca o recálculo da viga e a imediata atualização de todos os resultados para reavaliação do usuário. Nessa etapa, qualquer parâmetro de cálculo, seja dos materiais, do carregamento ou dos critérios de segurança pode ser livremente modificado pelo usuário, permitindo uma série de testes de alternativas diversas que conduzam à solução ideal para a viga em questão.

3.6.1 Os Conectores de Cisalhamento

Além do cálculo do número de conectores necessários para absorver o fluxo de cisalhamento que se desenvolve entre a viga metálica e a laje de concreto, o programa também leva em consideração a viabilidade de distribuir adequadamente aquela quantidade de conectores sobre a viga, admitindo a geometria especificada (Figura 6). A partir disso um complexo algoritmo de detalhamento verifica diversas restrições e recomendações de norma, fornecendo ao usuário um diagnóstico acerca da possibilidade de distribuir os conectores sobre a viga. No



caso de laje com forma de aço incorporada, dependendo da quantidade de conectores por nervura do *deck* pode ser necessário considerar uma redução da resistência dos conectores, o que levará a uma nova determinação da quantidade de conectores e, conseqüentemente, a outra verificação da distribuição dos mesmos sobre a viga. Esse processo é iterativo e se repete até que a solução se mostre possível ou impossível.

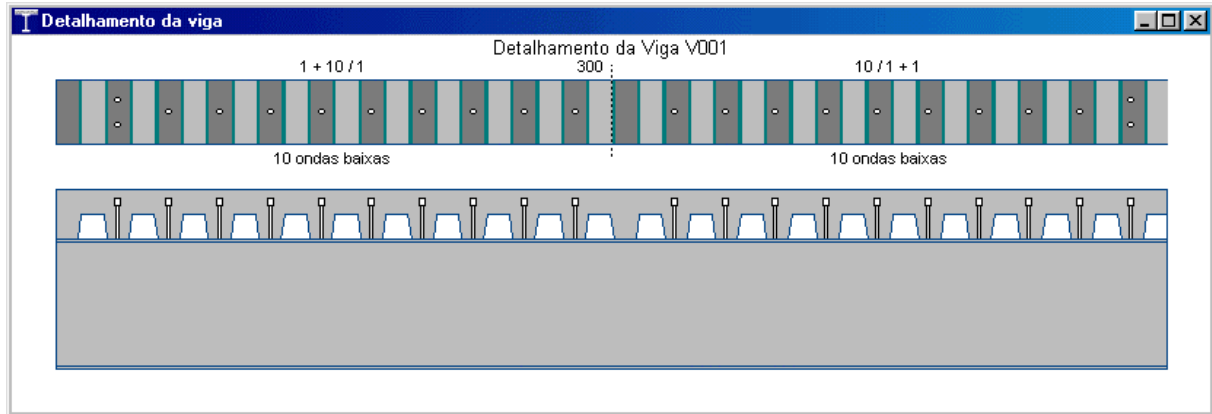


Figura 6 – Visualização gráfica da distribuição dos conectores de cisalhamento.

Na documentação *online* há uma série de instruções para o usuário poder interpretar o diagnóstico dado pelo programa, contendo inclusive as recomendações para a solução de cada problema específico que possa ocorrer (Figura 7). Por exemplo, se o usuário selecionou um perfil com a mesa superior com largura insuficiente para dispor os conectores necessários, satisfazendo as restrições de espaçamento da NBR8800, a documentação vai recomendar a mudança do perfil de forma a aumentar a área da mesa para que seja possível resolver o problema.

3.6.2 *Frequência de Vibração*

A frequência natural de vibração é função da relação entre a rigidez e a massa da peça, de acordo com a expressão abaixo

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

onde: k é a rigidez da peça; m é a massa da viga

A partir do cálculo preciso das deformações é possível estimar a primeira frequência natural de vibração da viga, com vistas a subsidiar verificações de vibração do sistema de piso.

Num sistema de piso constituído por vigas mistas principais e secundárias, a frequência natural de vibração de uma única viga pode ser estimada pela equação

$$f = 0,18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad (2)$$

onde Δ é a flecha provocada pelo carregamento atuante na viga, em relação aos apoios, e g é a aceleração da gravidade.

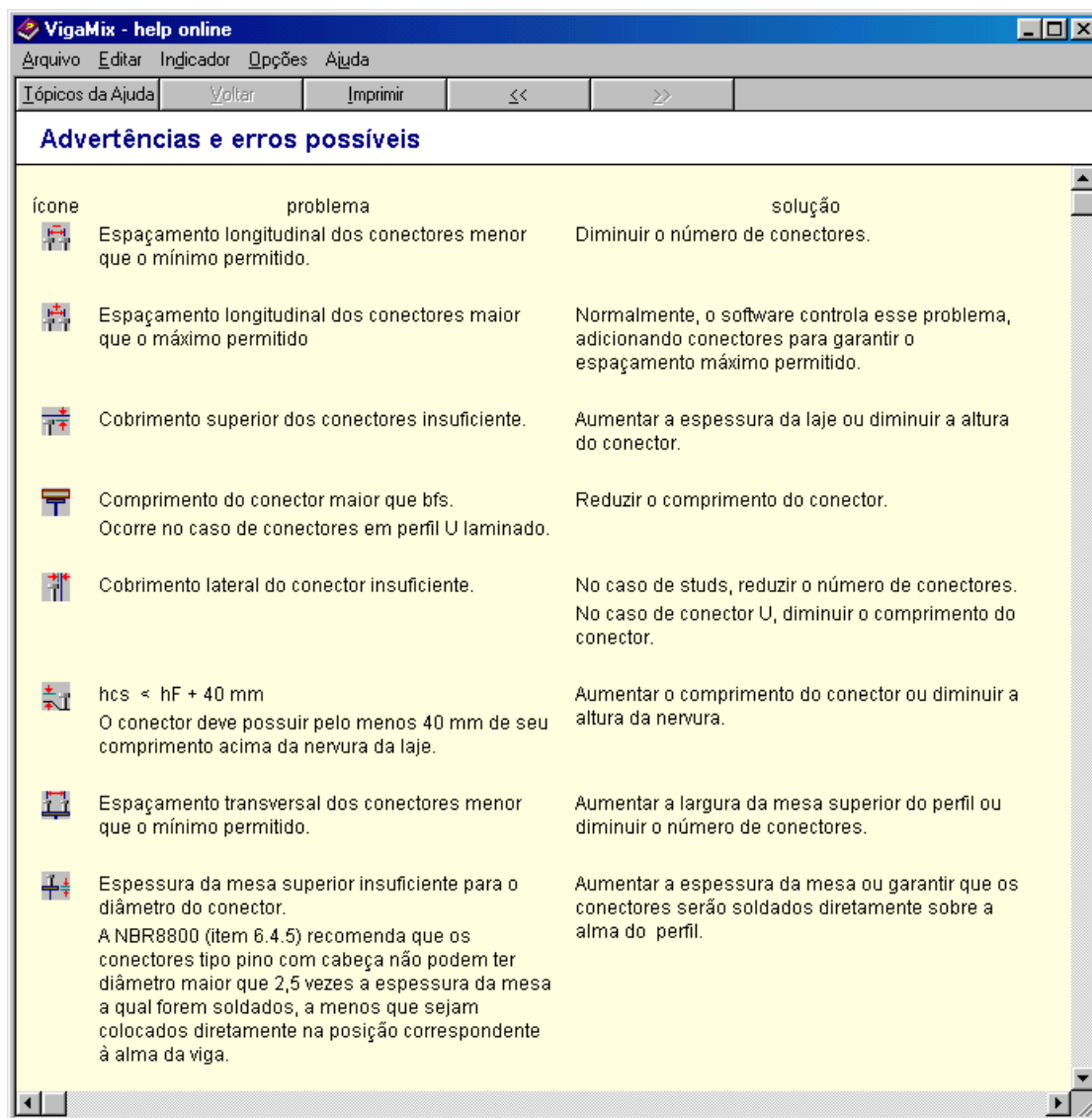


Figura 7 – Documentação *online* para apoio ao usuário.

A primeira frequência de vibração de um sistema de piso constituído por vigas principais e secundárias pode ser estimada através das expressões

$$\frac{1}{f_s^2} = \frac{1}{f_g^2} + \frac{1}{f_b^2} \quad (3)$$

ou

$$f_s = 0,18 \sqrt{\frac{g}{\Delta_g + \Delta_b}} \quad (4)$$

onde o índice *g* diz respeito às vigas principais (*girders*) e o índice *b* diz respeito às vigas secundárias (*beams*).

Allen, Rainer, Pernica e Allen (AISC 1997) publicaram critérios para vibrações aceitáveis em sistemas de piso sujeitos a atividades rítmicas como dança, aeróbica e educação física.



Para ginásios, pistas de dança, academias, etc., as frequências mínimas recomendadas são:

- piso de concreto maciço: 7 Hz
- piso misto aço-concreto: 9 Hz
- pisos sobre estruturas de madeira: 11 Hz

A música utilizada para acompanhar ginástica aeróbica usualmente não excede a 150 batidas por minuto. A frequência de atuação da carga é de aproximadamente 2,5 Hz. Allen e Rainer sugerem que a primeira frequência natural de vibração em pisos sujeitos às atividades mencionadas acima estejam acima de 7-9 Hz para evitar ressonância com o primeiro e segundo harmônicos da função de carga.

Com o avanço tecnológico, surgem aços e concretos cada vez mais resistentes, tornando possível o dimensionamento de seções cada vez mais esbeltas e, conseqüentemente, suscetíveis a vibração em baixas frequências, o que pode ocasionar problemas de ressonância ou desconforto em estruturas sujeitas a estímulos ritmados devido à atividade humana, tais como em pisos de academias de ginástica. Dessa forma, se o usuário está calculando uma viga de um sistema de piso sujeito a essa situação, o fato do programa fornecer a frequência de vibração da viga é de grande utilidade pois permite a adoção de medidas que alterem a rigidez da viga e, por conseguinte, conduzam à solução rápida de eventuais problemas de vibração.

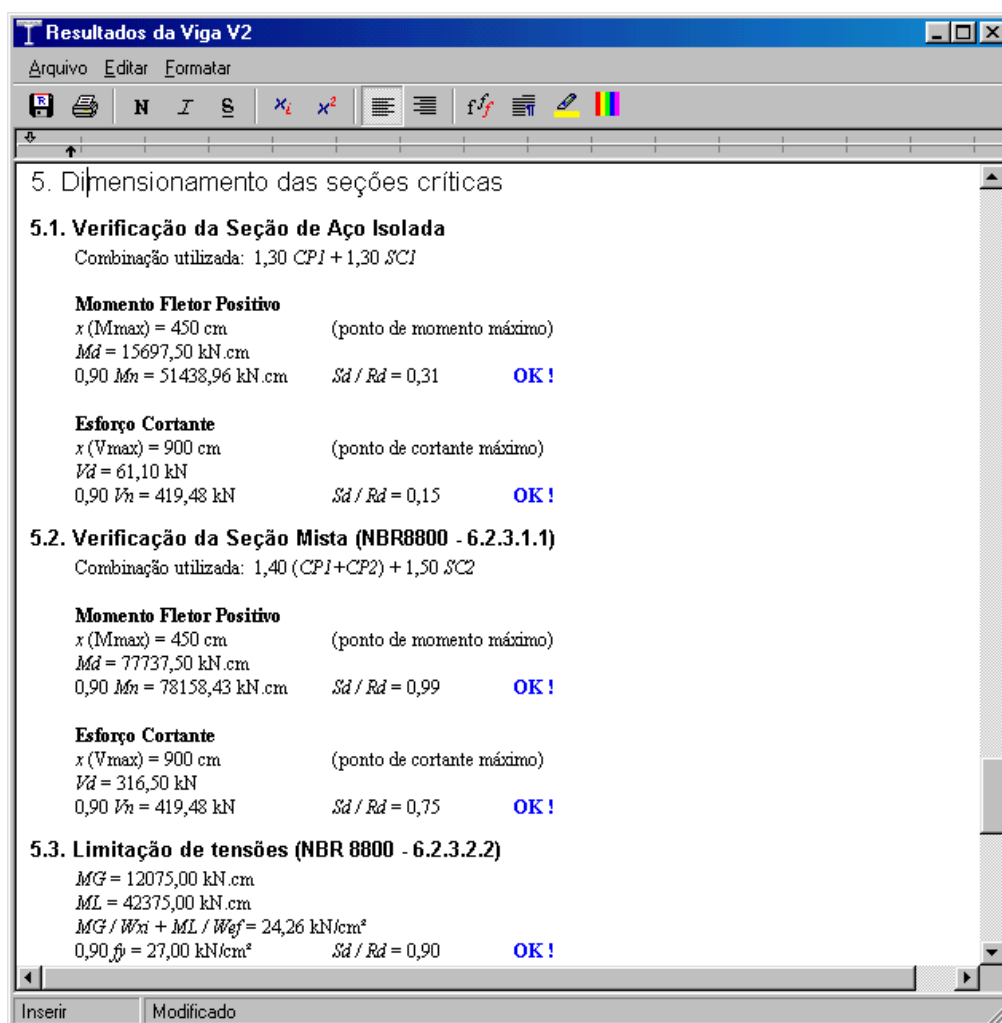


Figura 8 – Parte da listagem do memorial de cálculo, na parte referente ao dimensionamento das seções críticas.



3.6.3 Memorial de Cálculo

A redação do memorial de cálculo, no caso de vigas mistas, é trabalhosa em função da quantidade de verificações e cálculos intermediários necessários. Visando auxiliar o usuário também nesta etapa do projeto, implementou-se um editor de memorial de cálculo que lista os dados de entrada, as hipóteses admitidas no cálculo, os resultados da análise, os diagramas de momento fletor, força cortante e deformações, bem como as verificações do dimensionamento e o detalhamento da distribuição de conectores de cisalhamento (Figuras 8 e 9). A listagem é editável pelo usuário, que pode parametrizar seu conteúdo.

O memorial de cálculo é produzido no formato RTF (*Rich Text Format*), reconhecido pela maioria dos processadores de texto usuais, podendo ser, inclusive, intercambiado para outros programa de edição de texto.

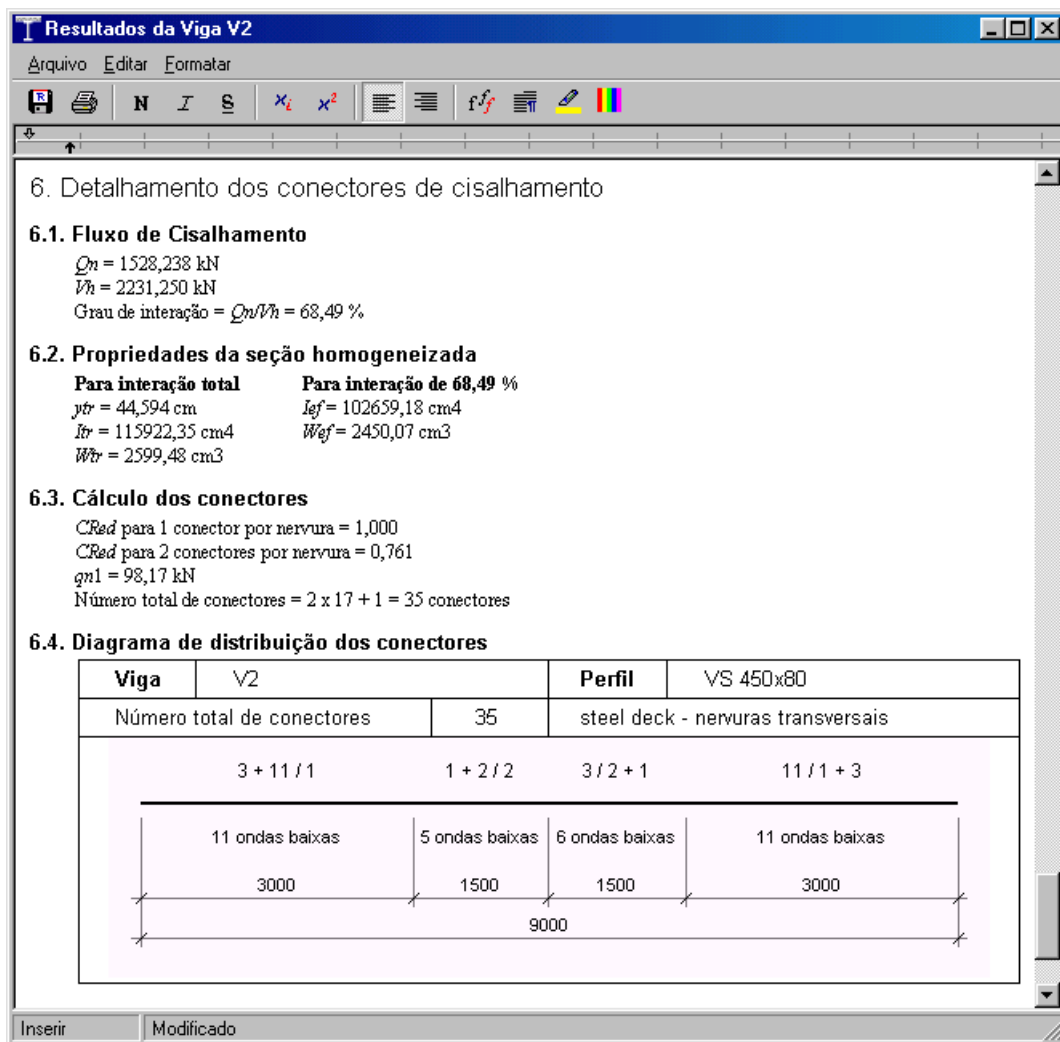


Figura 9 – Parte da listagem do memorial de cálculo, na parte referente ao detalhamento dos conectores de cisalhamento.



4 CONCLUSÃO

Considerando que:

- a solução em vigas mistas para os sistemas de pisos dos edifícios de andares múltiplos tem sido cada vez mais difundida no Brasil;
- a quantidade e a complexidade dos cálculos envolvidas no dimensionamento de vigas mistas é grande, exigindo muito tempo dos projetistas;
- exatamente devido à grande quantidade de cálculos, torna-se inviável testar várias alternativas sem uma ferramenta eficiente;
- o dimensionamento paramétrico é uma ferramenta poderosa para racionalização do processo projetivo/construtivo;

admite-se que o software apresentado, obtido a partir de anos de pesquisa acadêmica (Veríssimo, 1996) e experiência em projetos de estruturas de edifícios vem atender uma demanda importante do mercado brasileiro de construção metálica, propiciando melhores condições de trabalho, mais precisão, mais qualidade e maior produtividade para os profissionais que atuam em projeto de estruturas metálicas e mistas, além de contribuir com a difusão das vigas mistas no contexto da construção de edifícios estruturados em aço.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Civil da UFV e à Fundação Arthur Bernardes, por terem propiciado condições para produção e apresentação deste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986. Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios, NBR8800, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1981. Perfis I de abas inclinadas, de aço, laminados, NBR7012/81, Rio de Janeiro, 1981.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983. Perfis I de abas paralelas, de aço, laminados a quente, NBR6009/83, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000. Perfis I soldados, NBR5884, Rio de Janeiro.
- AISC, American Institute for Steel Construction, 1980. Manual of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- AISC, American Institute of Steel Construction, 1997. Floor Vibrations Due Human Activity, Steel Design Guide Series #11, Chicago, IL, EUA.
- BSI, British Standards Institution, 1993. Structural steel sections. Specification for hot-rolled sections, BS4 Part 1, UK.
- Veríssimo, G. S., 1996. Análise e Comportamento de Vigas de Aço e Vigas Mistas com Aberturas na Alma, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- USIMINAS MECÂNICA, 1999. Usilight - Perfil Eletrossoldado, Catálogo Técnico, Belo Horizonte.