



O PROGRAMA VISUALVENTOS: DETERMINAÇÃO DE FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES DE BASE RETANGULAR E COBERTURA A DUAS ÁGUAS SEGUNDO A NBR6123/

Zacarias Martin Chamberlain Pravia – Zacarias@upf.br

Juliana Ana Chiarello – 21672@lci.upf.tche.br

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura

Curso de Engenharia Civil - Núcleo ETOOLS/UPF

Bairro São José, CP 611

99001-970 – Passo Fundo, RS

Resumo: *Na linha de trabalho continuada do projeto Etools da UPF (<http://www.ertools.upf.br/>) foi implementado um programa para determinação das forças devidas ao vento em edificações de planta retangular e cobertura a duas águas, de acordo com a NBR6123 de 1987. O objetivo principal do programa é servir de ferramenta computacional de apoio ao ensino de estruturas de madeira e aço no cálculo das forças devidas ao vento de caráter fundamental neste tipo de estruturas. No contexto do programa apresentam-se tabelas sobre características necessárias para representar os aspectos necessários ao ensino e compreensão da NBR6123. Um aspecto positivo do programa é que poderá permitir o uso por muitos profissionais na aplicação da NBR6123/1987. O ambiente utilizado para programar o sistema VISUALVENTOS é o DELPHI, permitindo que possa ser executado nos ambientes Windows 95 até Windows 2000. Finalmente apresentam-se alguns comentários sobre o uso do programa nas disciplinas de madeira e estruturas metálicas nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo.*

Palavras-chave: *forças devidas ao vento, determinação computacional*

1. INTRODUÇÃO

No conjunto de trabalhos realizados dentro do projeto de desenvolvimento de ferramentas computacionais (PRAVIA et alii, 2001; PRAVIA, CHIARELLO, 2002) para ensino de análise e dimensionamento de estruturas (veja-se <http://www.etoools.upf.br>), objetivou-se a construção de um programa para determinação de forças devidas ao vento em estruturas de planta retangular e telhado a duas águas de acordo com as prescrições da NBR 6123 de 1987, sempre tendo como foco principal a interatividade necessária com o usuário e o enfoque de aprendizagem. O programa foi denominado VISUALVENTOS e começou a ser desenvolvido na metade do ano de 2002, com o apoio de uma bolsa de iniciação científica da FAPERGS para a segunda autora. Os resultados obtidos até o mês de junho de 2003 permitiram o lançamento de uma versão disponível publicamente na internet. Os detalhes de implementação desse programa apresentados neste trabalho, inicialmente, mostrando algumas das especificações para a determinação de forças devidas ao vento, a interface gráfica do programa, um exemplo resumido de sua aplicação, assim como, alguns comentários sobre o uso dele em disciplinas de estruturas de madeira e de estruturas de aço nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo.

2. FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR E COBERTURA A DUAS ÁGUAS DE ACORDO COM A NBR7190/1997

O ensino de forças devidas ao vento, embora de importância indiscutível para muitas aplicações na construção civil, não está definido em disciplina específica (talvez seja necessário criar uma disciplina que inclua aspectos de segurança nas estruturas, cargas nas edificações e forças devidas ao vento). Na Universidade de Passo Fundo, no contexto dos cursos da Faculdade de Engenharia e Arquitetura tais conceitos são transmitidos aos acadêmicos nas disciplinas de Estruturas de aço e ou madeira.

Para delimitar de maneira resumida os aspectos principais da NBR6123/1987, apresentam-se a seguir o processo necessário para determinação de forças devidas ao vento numa edificação de planta retangular e telhado a duas águas.

2.1 Forças devidas ao vento: fluxograma de processo

Para construções de planta retangular e telhados a duas águas a NBR 6123(1987) fornece dados suficientes para a determinação de as forças produzidas pelo vento. Deve-se afirmar que o cálculo dessa forças depende de dois aspectos fundamentais: os Meteorológicos (que permitem determinar a pressão dinâmica devido ao fluxo de vento) e os aerodinâmicos (que descrevem os efeitos do fluxo de vento sobre superfícies de corpos ou volumes). Observa-se que a determinação de valores aerodinâmicos é de fonte puramente experimental, e que quando uma construção escapa as características geométricas impostas na norma brasileira, a única alternativa é o ensaio em túnel de vento.

Os valores da velocidade do vento são provenientes, também, de medidas experimentais estão resumidos numa Figura que representa a velocidade básica do vento em todo o Brasil de acordo com os valores obtidos em diferentes estações de meteorológicas ao longo do país.

O processo de determinação de forças devidas ao vento pode ser sistematizado pelos seguintes passos a seguir (passos estes que são de consecução linear e dependente):

- (a) Definição da velocidade básica do vento (V_0) (depende apenas do local geográfico da obra, e da leitura adequada da isopleta representada na Figura 1 da NBR 6123);

- (b) Definição da geometria da edificação (largura, altura de parede, inclinação de telhado, aberturas nas faces da edificação);
- (c) Definição do ambiente onde a obra será executada (topografia do terreno, tipo e altura dos obstáculos);
- (d) Definição do tipo de uso e segurança da construção;
- (e) A partir dos dados definidos em (b), (c) e (d) é possível definir então a velocidade característica do vento (V_k) como:

$$V_k = S_1 S_2 S_3 V_0 \quad (1)$$

Os valores de S_1 refletem a influência da topografia do terreno e são tratados na NBR 6123 no item 5.2.

Os valores de S_2 depende da rugosidade do terreno, i.e., os obstáculos e a quantidade deles no entorno da obra, assim como das dimensões das superfícies frontais da edificação, para tais aspectos, a norma define categorias de rugosidade de I a V, e classes de edificação A, B e C (vide item 5.3 da NBR 6123). O fator S_2 é obtido pela equação 2.

$$S_2 = b F_r (z/10)^p \quad (2)$$

Os valores de b e F_r estão definidos para combinações de classes de edificação e categoria de rugosidades na Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos da NBR 6123.

Os valores de S_3 são um fator estatístico e de segurança que levam em conta a vida útil da edificação (50 anos), e o tipo de uso dado à construção. Na Tabela 3 da NBR 6123 estão expostos os valores mínimos para cada tipo de edificação.

- (f) A pressão dinâmica do vento é definida pela equação 3.

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (3)$$

Onde V_k é velocidade característica de acordo com a equação 1, dada em metros por segundos, e o resultado é em Newtons por metro quadrado. O coeficiente 0,613 representa um meio da massa específica do ar.

- (g) As forças devidas ao vento são definidas a de acordo com coeficientes de pressão e ou forma externo para paredes da edificação (C_{pe}) (Tabela 4 da NBR 6123) e telhados a duas águas (Tabela 5 da NBR 6123), e pela expressão:

$$F_{\text{vento}} = |C_{pe} - C_{pi}| q A \quad (3)$$

Os valores de C_{pi} podem ser determinados numericamente de maneira iterativa, ou ainda o item 6.2 da NBR 6123 permite definir o seu valor de maneira simplificada de acordo com a permeabilidade da construção.

- (h) Com os valores de C_{pe} e C_{pi} , para as duas direções principais da edificação retangular é possível realizar combinações que permitam escolher os máximos da atuação das pressões internas e externas.

3. O AMBIENTE E FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA VISUALVENTOS

O programa VISUALVENTOS foi desenvolvido em OBJECT PASCAL como compilador DELPHI da BORLAND, e é possível executá-lo nos ambientes Windows 95, 98, 2000, NT e XP. A Interface é intuitiva e segue o fluxo de passos descritos no item anterior. Além disso, consta de uma ajuda contextual e de uma tabela de notação que descreve o significado das variáveis usadas no programa. O sistema vem com esquema de instalação automática, e dispositivo de desinstalação automática, sendo que não escreve nenhum dado nos registros do Windows.

Na Figura 1 observa-se a primeira tela de interface ao ser acionado o programa. Nessa tela devem ser fornecidos os dados da geometria da edificação; observa-se que para o telhado é possível dar ou o ângulo de inclinação do mesmo, ou a altura em relação a parte superior da parede. O fornecimento dos dados da abertura é opcional, porém se não fornecidos só será possível definir o Coeficiente de pressão interna de maneira simplificada. Depois de dispostos todos os dados deve-se clicar no botão de continuar. O passo (b) descrito no item 2 deste trabalho completa-se nos dados fornecidos nessa tela (vide Figura 1).

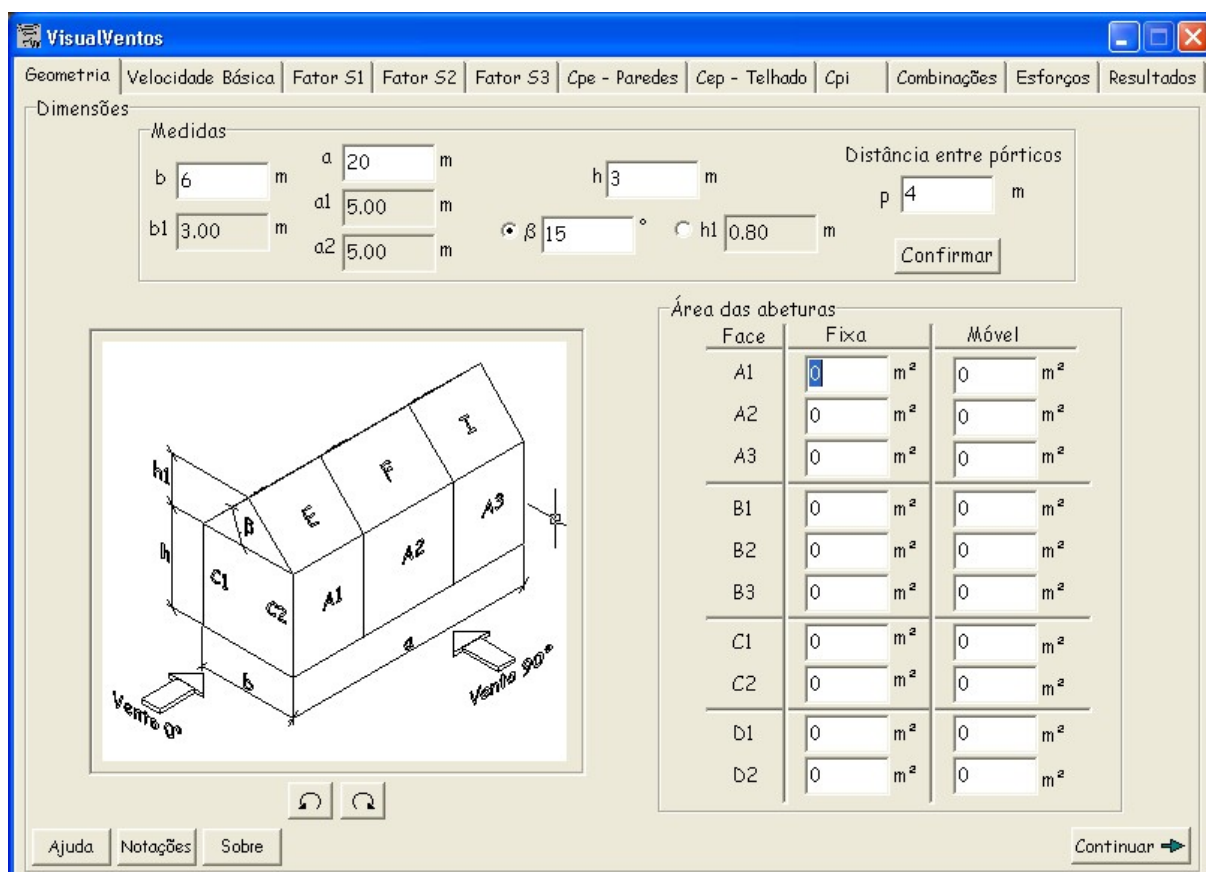


Figura 1: Tela inicial do programa

A seguir a Figura 2 mostra a tela que surge (nova aba do programa), onde se mostra a figura das isopletas conforme a NBR 6123 - passo (a) item 2.

A definição do fator S_1 é dado na tela do programa (aba Fator S1) mostrado na Figura 3, já nas Figuras 4 e 5 mostram-se as telas de cálculo dos fatores S_2 e S_3 , respectivamente.

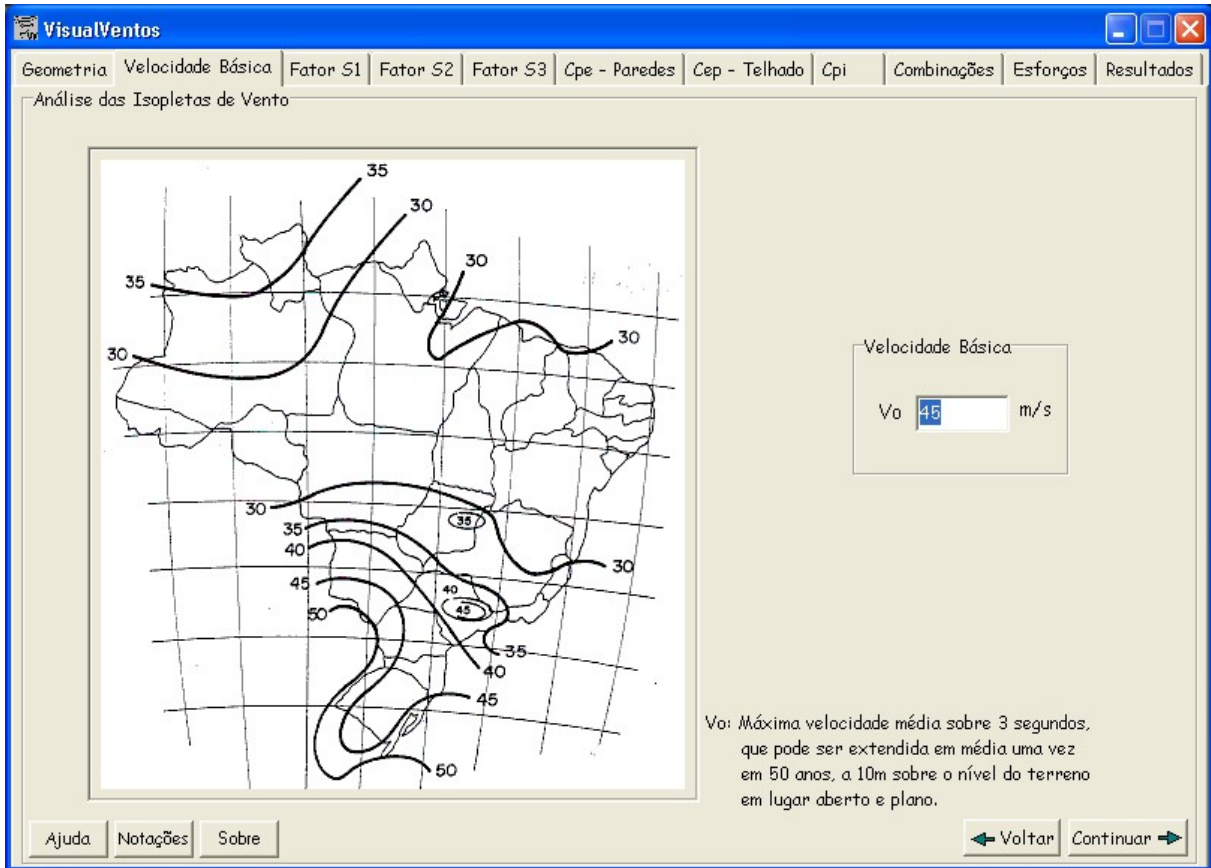


Figura 2: Escolha da velocidade básica do vento

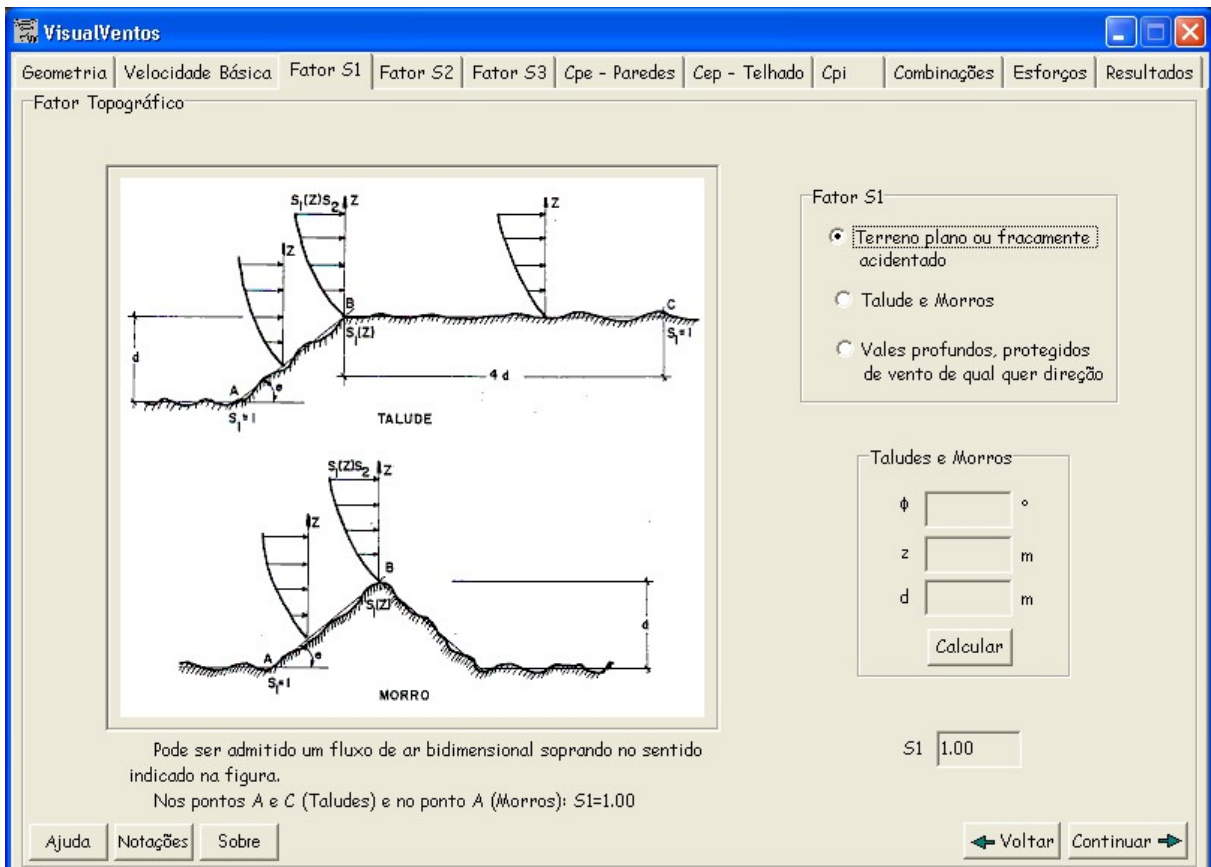


Figura 3: determinação do Fator S1

VisualVentos

Geometria | Velocidade Básica | Fator S1 | Fator S2 | Fator S3 | Cpe - Paredes | Cep - Telhado | Cpi | Combinações | Esforços | Resultados

Fator de Rugosidade

Categoria do terreno

Categoria	Descrição do ambiente
<input type="radio"/> I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos: mar calmo; lagos e rios; pântanos sem vegetação.
<input type="radio"/> II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1m. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros.
<input checked="" type="radio"/> III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou muros, subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.
<input type="radio"/> IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.
<input type="radio"/> V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m. Exemplos: florestas com árvores altas de copas isoladas; centros de grandes cidade; complexo industriais bem desenvolvidos.

Classe de edificação

Classe	Descrição
<input checked="" type="radio"/> A	Maior dimensão menor ou igual a 20m
<input type="radio"/> B	Maior dimensão entre 20 e 50m
<input type="radio"/> C	Maior dimensão maior ou igual 50m

Maior dimensão: m

Fator S2

S2

Calcular

Ajuda | Notações | Sobre

← Voltar Continuar →

Figura 4: Determinação do Fator S2

VisualVentos

Geometria | Velocidade Básica | Fator S1 | Fator S2 | Fator S3 | Cpe - Paredes | Cep - Telhado | Cpi | Combinações | Esforços | Resultados

Fator Estatístico

Fator S3

Grupo	Descrição
<input type="radio"/> 1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros, centrais de comunicação, etc)
<input checked="" type="radio"/> 2	Edificações para hotéis e residências, Edificações para comércio e industria com alto fator de ocupação
<input type="radio"/> 3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc)
<input type="radio"/> 4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc)
<input type="radio"/> 5	Edificações temporárias, Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção

S3

Ajuda | Notações | Sobre

← Voltar Continuar →

Figura 5: Determinação do Fator S3

Os resultados da determinação dos Coeficientes de pressão externa são mostrados na Figura 6, e as combinações de esforços na Figura 7. Observe-se que as figuras dos coeficientes e todas as demais figuras calculadas podem ser copiadas para a área de transferência do Windows, para ser usados em relatórios ou memoriais de cálculo.

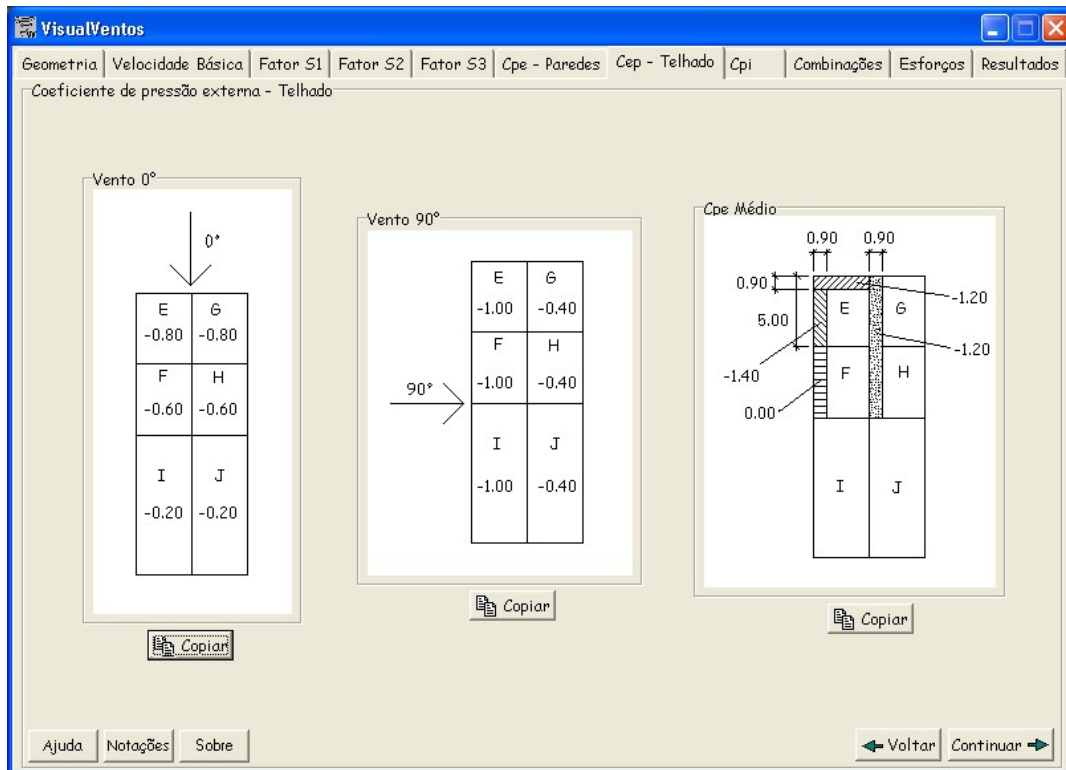


Figura 6: Coeficientes de Pressão externa do telhado

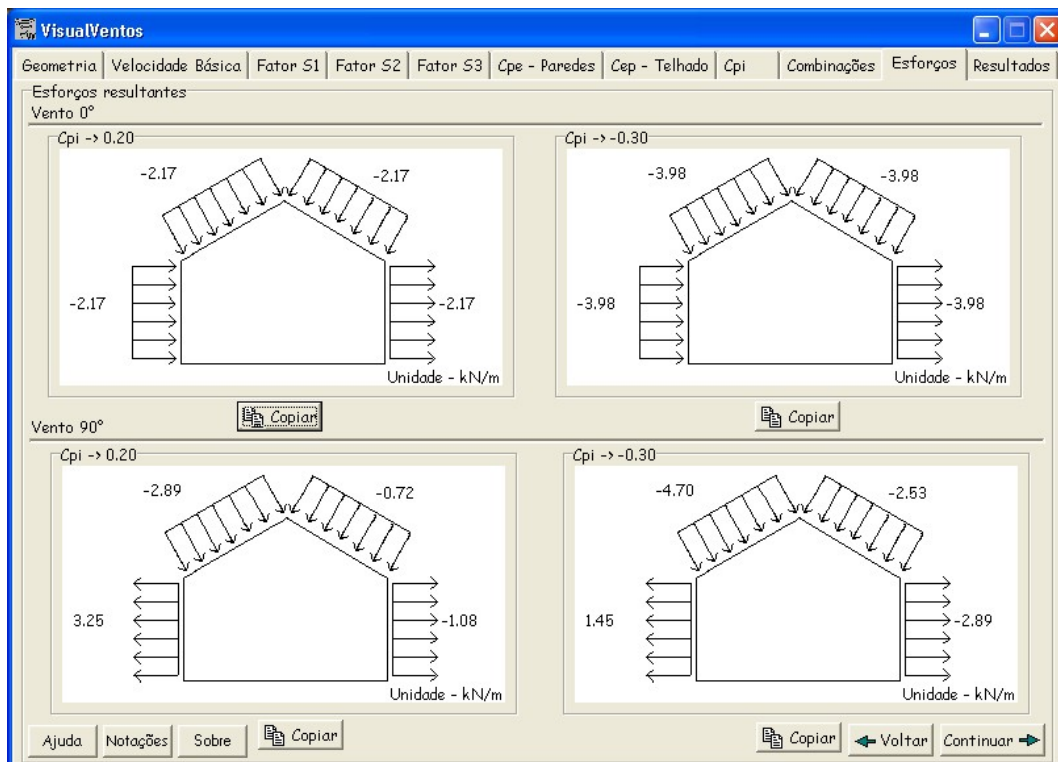


Figura 6: Forças de vidas ao vento

Como pode-ser observado nestas figuras, o programa é auto explicativo e contém em cada umas das telas os elementos necessários para entender o processo de cálculo. Finalmente mostra-se uma das telas de ajuda do programa na Figura 7.

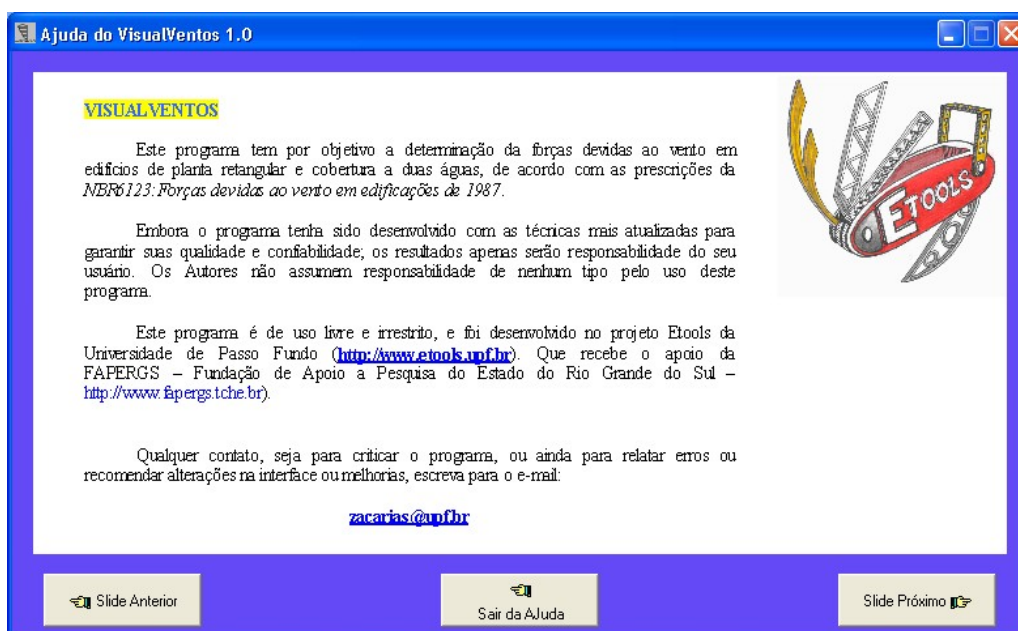


Figura 7: Tela do recurso de ajuda do programa

4. INFLUÊNCIA NO ENSINO NOS CURSOS DE ARQUITETURA E ENGENHARIA CIVIL

Os primeiros contatos que os alunos das turmas de estruturas de aço e ou madeira dos cursos de Engenharia Civil, Engenharia Mecânica e Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, mostraram a vantagem que se tem para dar aulas ou até os alunos poderem conferir os resultados manuais com o computador. Por outro lado, o programa serve como referência eletrônica armazenada das características necessárias para determinação das forças devidas ao vento, podendo ser usado como elemento digital em aulas de ensino do tema forças devidas ao vento.

Mais estudos serão necessários, após o uso de pelo menos dois semestres usando o programa VISUALVENTOS, em comparação a turmas que não o tinham, para avaliar as vantagens ou desvantagens que o mesmo pode gerar.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Foi apresentado o programa computacional VISUALVENTOS, que tem por objetivo a determinação de forças devidas ao vento em edificações de planta retangular e telhados a duas águas, de acordo com as especificações normativas da NBR6123:1987. Este programa é mais uma iniciativa do projeto de Ferramentas Computacionais para o ensino de análise e dimensionamento de estruturas do LAMEC da Universidade de Passo Fundo, no contexto do trabalho cooperativo da rede *etools* (vide [http://www.etoools.upf.br](\"http://www.etoools.upf.br\")).

O programa foi apresentado com suas opções, além disso, alguns aspectos sobre a determinação de forças devidas ao vento foram tratados e pequenos comentários sobre as primeiras impressões de usuários teste nos cursos de Engenharia Civil, mecânica e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo.

Cópias do presente programa estão disponíveis no endereço da internet citado no trabalho. Deve-se lembrar que o programa é de uso livre, porém os autores não se responsabilizam pelo mau uso que possa se dar ao mesmo.

Agradecimentos

A FAPERGS (Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) que através das bolsas de iniciação científica oferecida nos anos 2000 e 2001 (processo 99/506853) e 2002/2003 (processo 01/507023) permitiu o andamento e crescimento qualitativo do projeto de desenvolvimento de ferramentas computacionais para ensino de engenharia desenvolvido no núcleo *etools* da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações, Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain, PASQUETTI, Eduardo, CHIARELLO, Juliana Ana. Visualbarras: um software didático para o ensino de análise matricial de estruturas reticuladas planas, In: XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 10, 2001, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: PUC-RS, CD-ROM, 2001.

PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain, PASQUETTI, Eduardo, CHIARELLO, Juliana Ana. O Programa Taco: Dimensionamento de Elementos de Estruturas de Madeira segundo a NBR 7190/1997, In: XXX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 9, 2001, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: UNIMEP, CD-ROM, 2002.

THE VISUALVENTOS SOFTWARE'S: FORCES DUE TO WIND IN RECTANGULAR PLANTS BUILDINGS AND GABLE ROOF TYPE ACCORDING NBR 6123/1987

Abstract: *As another effort from the project Etools of UPF (<http://www.etools.upf.br>) a program was implemented for determination of the forces due to the wind in constructions of rectangular plant and gable roof type, in agreement with NBR6123 1987. The main objective of the program is to serve as computational tool support to the teaching of wood structures and steel in the calculation of the forces due to the wind. In the context of the program they come tables on characteristics to represent the necessary aspects to the teaching and understanding of NBR6123. A positive aspect of the program is that can allow the use for many professionals in the application of NBR6123/1987. The environment used to program the system VISUALVENTOS is DELPHI, allowing that it can be executed in Windows platform (95, XP, 2000, NT). Finally they come some comments on the use of the program in the wood disciplines and steel structures in the courses of Civil Engineering and Architecture of Passo Fundo University.*

Key-words: *Forces due to wind, computational estimation*