



CONDIÇÕES DE VENTILAÇÃO NATURAL EM MEIO URBANO RECORRENDO A UM MODELO INTEGRADO

■ Jorge Alberto Gil Saraiva⁽¹⁾

■ Francisco de Assis Gonçalves da Silva⁽²⁾

■ Fernando Vítor Marques da Silva⁽¹⁾

■ Paulo Renato Perez dos Santos⁽³⁾

■ João Carlos Godinho Viegas⁽¹⁾

INTRODUÇÃO

Em meados dos anos 70 o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) promoveu os seus primeiros trabalhos no domínio da ventilação natural em espaços urbanos quando as distribuições de pressão sobre

O artigo apresenta uma metodologia que permite aceder às condições de ventilação natural em meios urbanos, quer nos espaços exteriores quer no interior do espaço construído. Os resultados podem ser apresentados tendo em vista diferentes fins e formas que vão desde a representação gráfica dos padrões globais do vento a nível do solo (segurança e conforto de peões, definição de espaços de lazer e outros) à estimativa de fluxos e propriedades do ar (velocidade, temperatura e outros) dentro de um compartimento tendo em atenção pequenas fontes ou poços de calor e as condições no exterior impostas pelo vento local, passando pelas distribuições de pressão sobre paredes e coberturas, essenciais no dimensionamento de componentes e estruturas.

todos os edifícios integrando o complexo do Parque Central em Caracas foram determinados recorrendo a um modelo físico e utilizadas, para além do seu objectivo primário – dimensionamento estrutural de elementos de coberturas e fachadas – na definição de tomadas e exaustões visando a ventilação natural de cozinhas e instalações sanitárias tendo desde logo em conta os regimes de vento dominantes (CRISTINO; BORGES, 1974).

No fim dos anos 70, mais uma vez para os planeadores dos parques urbanos de Caracas, Morellos, La Hoyada e Carabobo, recorreu-se a modelos físicos instalados em túnel aerodinâmico para não apenas levar a cabo trabalho do mesmo tipo do já referido mas para analisar as condições de ventilação a nível do solo tendo em vista considerar o conforto dos pedestres (SARAIVA; BORGES, 1978, 1979).

O início dos anos 80 trouxe o desenvolvimento dos modelos numéricos visando estabelecer as condições de ventilação natural no interior dos edifícios em termos integrais (sistema de equações de balanço integrais para a edificação (SARAIVA

■ ⁽¹⁾Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC – Portugal

■ ⁽²⁾Universidade Federal da Paraíba

■ ⁽³⁾Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

e outros, 1982) e o final da década viu aparecer os primeiros modelos numéricos pesados (solução das equações diferenciais por métodos de diferenças finitas, (DIAS, 1989) que permitiram um olhar pormenorizado dos fluxos no interior dos edifícios.

Por outro lado, de uma forma continuada desde os anos 70, quer nos seus laboratórios quer *in situ* (sobre protótipos e em edifícios construídos), o LNEC testou portas, janelas e fachadas, ventiladores estáticos, ... tratou a informação e constituiu uma base de dados importante em que se podem encontrar valores de permeabilidade ao ar de janelas (VIEGAS, 1994) e fachadas (MATA; SARAIVA, 1990) ou coeficientes de pressão de ventiladores estáticos (SARAIVA, 1978).

No final dos anos 80 o desenvolvimento de estudos de comportamento ao fogo de edifícios, em especial dos aspectos de desenfumagem, conduziram à construção de uma instalação de testes especial (VIEGAS, 1988) em que a modelação à escala de 1:1,5 de compartimentos e comunicações quer interiores quer com o exterior podem ser simuladas sem ser origem de distorções significativas nos fluxos (regimes turbulentos). Ao mesmo tempo construía-se uma outra instalação experimental de grande dimensão, um túnel de camada limite com o qual se procurava levar a cabo estudos de escoamentos atmosféricos em terrenos complexos ou em áreas de grande ocupação urbana (SARAIVA e outros, 1991). Este trabalho foi acompanhado do desenvolvimento e adaptação de novos modelos numéricos de escoamentos interiores (VIEGAS, 1991).

Neste contexto encontravam-se reunidas as condições para estabelecer uma metodologia de aproximação integrada ao estudo da ventilação natural no ambiente urbano. O conjunto de procedimentos que integram essa metodologia compreende a um tempo modelos físicos, de escalas variadas, e modelos numéricos, integrais e diferenciais e, ainda que não expresso, o seu desenvolvimento foi feito quer no domínio do tempo quer no da frequência (SARAIVA, 1993).

De facto, foi desenvolvido, no final dos anos 90 e já no princípio desta década, um conjunto de trabalhos que permitiram modelar a turbulência atmosférica de forma a integrar este parâmetro na modelação dos processos de ventilação natural (SARAIVA; SILVA, 1999) e levar a cabo aplicações demonstrando a bondade destes modelos (SILVA, 2003). Estes trabalhos demonstraram ainda a possibilidade de caracterizar os fluxos de ventilação natural partindo quer de valores reais medidos quer de valores gerados a partir das funções de densidade espectral (séries sintéticas de velocidade do vento) e abriram caminho aos modelos de

estimativa das taxas de ventilação através de funções de transferência, à semelhança do que pode ser feito, por exemplo, para definição das acções (cargas) do vento sobre as estruturas (SARAIVA, 1983).

METODOLOGIA E MÉTODOS (PROCEDIMENTOS)

Estabelecer as condições de ventilação em áreas urbanas exige que se conheça o vento, a orografia e topologia locais, a geometria do sítio, as características das envolventes das construções bem como das suas partições internas e dos seus sistemas.

A informação dos regimes do vento pode ser transposta para as zonas urbanas em análise, com recurso a modelos numéricos de escoamentos atmosféricos de média escala, a partir da informação existente recolhida em locais expostos a algumas (poucas) dezenas de quilómetros (em que a perturbação induzida por obstáculos seja pequena) como são usualmente os grandes aeroportos das nossas cidades. Estes atlas de vento locais, podem ser usados como condições de fronteira para ensaios em túnel aerodinâmico, sobre modelos físicos de uma área urbana, ou mesmo de um edifício específico, e obter padrões de escoamento em torno e dentro dessa área, ou em torno do edifício específico, para além de permitir aceder a distribuições de pressão.

Características das aberturas nas envolventes, portas e janelas, fachadas e mesmo ventiladores estáticos podem ser determinadas por ensaios em instalações experimentais, muitas vezes directamente levados a cabo sobre protótipos, em condições controladas.

A informação pode então ser integrada com as características internas dos espaços e com o conhecimento das fontes e poços de calor existentes no interior de forma que modelos numéricos, quer baseados em equações integrais quer baseados nas equações diferenciais, permitam estimar não apenas taxas de ventilação dos espaços mas mesmo os padrões do escoamento no interior desses espaços.

A turbulência (muito grande nos espaços urbanos) e os seus efeitos nas taxas de ventilação podem ser analisadas quer no domínio do tempo quer no domínio da frequência. Valores locais de velocidade do vento além de poderem ser medidos sobre os protótipos podem igualmente ser determinados sobre modelos físicos em túnel aerodinâmico, onde as características dos escoamentos atmosféricos podem ser reproduzidas à escala.

Estes valores são susceptíveis de tratamento e análise quer no domínio do tempo (séries temporais) quer no domínio da frequência (função de densidade espectral), o que permite

levar a cabo uma análise temporal passo a passo, quer a partir dos registos directos quer a partir de séries sintéticas geradas a partir do “espectro”, e, assim, estimar a variação temporal das taxas de ventilação que podem, por seu lado, ser caracterizadas em termos estatísticos ou no domínio da frequência. Esta última permite a estimativa de taxas de ventilação de forma simplificada a partir de funções de transferência.

REGIMES DE VENTO

As figuras seguintes ilustram uma aplicação de caracterização dos regimes de ventos à cidade de João Pessoa. A sua descrição detalhada pode ser encontrada em (SILVA, 1999).

A figura 1 mostra uma vista aérea da cidade; a figura 2 o mapa de orografia e rugosidades (definidas a partir de plantas da cidade e de fotografias aéreas do tipo da representada); a figura 3 representa os regimes de vento obtidos por tratamento estatístico (domínio do tempo) da informação de 10 anos (1985 a 1994) do Aeroporto Castro Pinto (localizado no ponto 3 da Figura 2); a figura 4 representa as estimativas dos perfis (variação em altura) anuais médios de velocidade do vento em diferentes pontos da cidade; e a figura 5 sumaria o tratamento da informação do vento no domínio da frequência;

Note-se que o procedimento básico segue o seguinte caminho: a partir dos atlas de vento obtidos por registos em torres anemométricas em locais pouco perturbados (tipicamente os aeroportos nas vizinhanças das grandes cidades) é possível determinar atlas de vento a qualquer altura acima do solo e efectuar a transposição desses dados para obter novos atlas de vento em zonas afastadas até algumas (poucas) dezenas de quilómetros - nomeadamente a alturas bem acima da altura média dos edifícios, recorrendo a “software” de que o “WASP” é talvez o mais conhecido, em que as condições de entrada são os dados brutos do vento (séries de rumos e velocidades) e a caracterização do solo (sob a forma de orografia e de rugosidade equivalente). Esses valores podem agora ser utilizados como condição de fronteira para os modelos físicos das zonas a estudar instalados em túneis aerodinâmicos. Por outro lado para além da caracterização estatística no domínio do tempo é também possível levar a cabo uma caracterização no domínio das frequências caracterizando assim os principais fenómenos físicos de grande escala associados aos regimes de vento locais.

No caso concreto de João Pessoa e tudo indicia em todo o Nordeste do Brasil são visíveis nas funções de densidade espectral a sucessão dos dias (sol) e das noites (pico nas 12 horas), a sucessão dos dias (pico nas 24 h, rotação da terra sobre si própria), a entrada das superfícies frontais (pico nos 6-7 dias) que, em regra, nas imagens da meteorologia não parecem atingir estas latitudes mas cujos efeitos se fazem sentir claramente nos regimes dos ventos, dois picos mais pequenos em torno dos 15 e dos 30 dias possivelmente associados aos diferentes trajectos que as superfícies frontais têm na sua evolução de Sul para Norte, um pequeno pico em torno dos 6 meses que deve corresponder à inclinação do eixo terrestre (pouco marcado dada a latitude do local), um pico anual associado à translação da terra em torno do sol, um pico centrado nos 3 anos (pensamos que associado ao ciclo do El Niño-La Niña). Não visível (dada a limitação da extensão temporal dos dados) mas com alguma indicação o ciclo de 11 anos associado aos ciclos conhecidos como de manchas solares.

Trabalhos do mesmo tipo foram já desenvolvidos para Lisboa (LOPES, 2003), Santos (PRATA, 2005), em desenvolvimento, pelo autor para Porto Alegre e Salvador.

Note-se que é também possível recorrer a modelos físicos representando grandes áreas, não distorcidos à escala, capazes de reproduzir pormenores de dimensão típica da ordem dos 5 m, para obter o mesmo tipo de informação se bem que esse tipo de soluções seja em regra aplicado apenas para estudos muito específicos dado o elevado custo desses modelos e dos ensaios face aos custos associados à modelação numérica. Nestes modelos, que exigem túneis aerodinâmicos com câmaras de ensaios de dimensões igualmente importantes, é corrente estabelecer como condição de fronteira as condições do vento a elevada altitude ou sobre superfícies particularmente bem definidas como a do mar (caso de ilhas).

PADRÕES LOCAIS DE ESCOAMENTO

A figura 6 representa, uma aplicação dos modelos propostos para estimar velocidades a partir do conhecimento atrás referido, refere-se especificamente à alteração a esperar dos regimes de vento na Baixa de Lisboa, face à nova construção em altura que tem vindo a surgir de forma desordenada na zona norte de Lisboa (LOPES, 2003). As figuras seguintes, retiradas deste trabalho, representam para um dos novos bairros do norte de Lisboa (Figura 7), escolhido para ilustrar outro dos aspectos da metodologia

(ensaios sobre modelos físicos à escala, em túnel aerodinâmico) o modelo físico instalado no túnel (Figura 8), a possibilidade de geração de diferentes camadas limites, como condição de fronteira (Figura 9), os regimes de vento impostos pela geometria específica do bairro (Figura 10), as figuras de erosão (linhas que representam o campo de velocidades do escoamento a nível do solo determinados através da técnica das figuras de erosão) para duas condições distintas de camada limite (Figura 11, terrenos do tipo agrícola e Figura 12, grande densidade de construção). A representação foi levada a cabo em termos adimensionais (como valor de referência tomou-se o valor da velocidade local na ausência de construção) e permitiu a sua transposição para o protótipo.

É igualmente possível aceder aos campos de velocidade em altura no interior dos espaços urbanos através de medições sobre os modelos físicos ilustrando as figuras 13 e 14 um conjunto de resultados obtidos para o modelo atrás referido.

Em alguns casos simples é já hoje possível recorrer a modelação numérica para obter resultados do mesmo tipo dos ensaios mas em muitas aplicações os erros decorrentes das limitações deste tipo de aproximação (em zonas particularmente sensíveis do escoamento por vezes de uma ou mesmo duas ordens de grandeza) levam a trabalho redobrado, nomeadamente a calibração contra os modelos físicos e a adopção de soluções mistas. As figuras 15, 16 e 17 ilustram uma aplicação deste tipo (FERREIRA, 1999).

DISTRIBUIÇÕES DE PRESSÃO. COMPONENTES E SISTEMAS

As distribuições de pressão, em regra representadas em termos de valores médios, podem ser medidas sobre modelos instalados em túneis aerodinâmicos dotando as paredes exteriores dos edifícios com tomadas de pressão como é o caso representado nas figuras 18 e 19 (cubo imerso em duas camadas limites de características diferentes) ou na figura 20, que representa um edifício de escritórios de planta em forma de parábola, com mais de 100m de altura, tendo sido, neste caso, modelada a sua envolvente urbana e simulados, à semelhança do caso das figuras anteriores não apenas os perfis de velocidade média mas também as características de turbulência transportadas pelo escoamento médio e geradas localmente (SILVA, 2003).

No que diz respeito às características de componentes e sistemas associados aos processos de ventilação (janelas e portas, fachadas, partições interiores, ventiladores

estáticos, respiradouros e chaminés) são determinadas em regra por testes específicos em instalações próprias (nomeadamente túneis aerodinâmicos) ou através de ensaios sobre protótipos instalados *in situ*. As figuras 21 (SARAIVA, 1978) e 22 (SARAIVA e outros, 1996) representam alguns casos (ventilador estático de cobertura e grande fachada, respectivamente) de testes deste tipo de componentes e sistemas.

TAXAS DE VENTILAÇÃO

Um modelo analítico que permite estimar as taxas de ventilação (velocidades do escoamento do ar através de todas as aberturas), as pressões internas e as temperaturas em função da acção combinada do vento e da geração, ou remoção, de calor no interior dos espaços ventilados, foi desenvolvido, validado e sistematicamente ganhando novas valências, como a sua aplicação ao transporte de poluentes, de humidade, integração de ventilação mecânica, ..., e mais recentemente aplicado para modelação de desenfumagem.

O modelo, na sua versão actual (SILVA, 2003), é ainda capaz de considerar infiltrações e modelar outros escoamentos laminares (ou pelo menos não turbulentos) através de frinças e pode hoje ter em conta a correlação das flutuações longitudinal e transversal do vento sobre a edificação.

Os parâmetros básicos de entrada do modelo são a geometria da edificação, os coeficientes de pressão exteriores, os coeficientes de perda de carga através das aberturas e dos sistemas de condutas (no caso de ventilação mecânica), a condutibilidade térmica de paredes e coberturas, bem como as curvas características dos ventiladores. Fazem ainda parte destes parâmetros se bem que variáveis, a temperatura exterior, a direcção do vento (que afecta a distribuição de pressões) e a sua velocidade média (função das características de toda a envolvente), as eventuais fontes ou poços de calor interno ou de poluentes.

As equações que definem os processos constituem um sistema fechado e representam os balanços integrais de:

1. massa, para cada compartimento e para todo o edifício, quer do ar quer dos seus contaminantes (incluindo o vapor de água) e que contém termos representando fontes ou poços locais;
2. quantidade de movimento, através de cada abertura, expressa através da equação de Bernouilli, que inclui um termo de efeito de impulsão térmico e termos de fonte simulando os processos de ventilação mecânica;

3. energia, para cada compartimento e para todo o edifício que inclui os termos de fontes ou poços;

às quais se tem de associar

4. a equação de estado dos gases perfeitos (ar) que relaciona directamente as variações de temperatura com as de massa volúmica permitindo a ligação entre os efeitos térmicos derivados da equação da energia com os efeitos mecânicos de impulsão integrados na equação de quantidade de movimento;

5. uma equação de compatibilidade de fluxo através das aberturas internas, já que obviamente o que sai de um compartimento para o vizinho através de uma abertura é o que entra no vizinho vindo do compartimento inicial por essa mesma abertura (valores iguais em módulo mas de sinais contrários).

Algumas equações do sistema (quantidade de movimento) são não lineares o que traz algumas dificuldades à resolução mas em muitos casos (tipicamente apartamentos habitação de geometria simples em planta) em que rumos do vento e padrões de escoamento interno podem ser pré-determinados (sentido dos fluxos internos que não os seus valores) o modelo pode ser simplificado e foi desenvolvido um nomograma (representação gráfica) que permite estimar, de forma rápida, taxas de ventilação.

As figuras 23 e 24 ilustram alguns resultados numa aplicação que pode ser considerada como paradigmática, o caso de um espaço único imerso num escoamento turbulento com aberturas simétricas de um lado e outro (Figura 23), sendo o efeito da turbulência muito claramente expresso no gráfico dos resultados (Figura 24). A figura 25 corresponde ao nomograma de estimativa de caudais de ventilação em tipologias simples. O caso de aplicação ali representado é um apartamento localizado em João Pessoa, num edifício de habitação apresentando-se a sua planta e esquema de fluxo interno como ditado pelos ventos dominantes e distribuição de pressões sobre o edifício (Figura 26).

PADRÕES DE ESCOAMENTO NO INTERIOR DOS ESPAÇOS

O modelo integral referido no parágrafo anterior não permite definir, trata-se de balanços integrais, os pormenores dos processos que se desenvolvem dentro de cada espaço. Zonas de recirculação, possibilidade de curto circuitos, campos não uniformes de temperatura ou de concentração de poluentes, ..., não podem ser identificadas. Por isso foram desenvolvidos novos modelos que, partindo das equações

diferenciais combinam uma simulação tridimensional dos processos térmicos, dinâmicos e de reacção (caso dos incêndios) com a informação experimental, já utilizada no modelo integral, adoptando modelos de turbulência e condições de fronteira interna apropriados e condições de fronteira nas aberturas definidas a partir da aplicação do modelo integral.

O modelo foi desenvolvido inicialmente apenas para um espaço mas admite hoje a computação em paralelo de vários espaços compatibilizando em cada passo as condições entre aberturas comuns de espaços diferentes, até a convergência da solução.

As figuras apresentadas mostram de uma forma breve uma aplicação típica (VIEGAS, 1998). A figura 27 mostra a instalação experimental construída, a figura 28 o modelo instalado no túnel visando a determinação da distribuição de pressões nas aberturas, a figura 29 ilustra uma malha típica correspondente aos modelos numéricos tridimensionais, e as figuras 30 a 33 campos de velocidades e de temperatura previstos pelos modelos numéricos e determinados experimentalmente para diferentes condições.

CONCLUSÕES

Uma metodologia fiável e o conjunto de métodos (procedimentos) adoptados foram estabelecidos, apresentados e ilustrados ao longo deste artigo, tornando claro que é hoje possível aceder às condições de ventilação natural dos espaços urbanos tanto interiores como exteriores conjugando trabalho de índole experimental (por exemplo sobre modelos físicos) com modelação numérica.

Exige-se o respeito pelas condições de semelhança entre protótipos e modelos, reprodução apropriada das condições de fronteira, informação fidedigna e credível sobre as características dos componentes.

SIMBOLOGIA

A área
h coeficiente de convecção
T temperatura
 C_{pk} coeficiente de pressão
H altura
U velocidade
 $c_{p,ar}$ calor específico do ar
P pressão
 ρ massa volúmica
g aceleração da gravidade

Q potência calorífica ζ coef. perda de carga

Notas

Muitos outros trabalhos dentro do mesmo grupo de autores têm sido desenvolvidos pelo que na lista de referências pode ser encontrada uma lista mais extensa que a explicitamente referida.

Referências

- BORGES, A. R. J.; SARAIVA, J. A. G. *An erosion technique for assessing ground level winds*, in *Wind Engineering*. Oxford: Pergamon Press, 1983.
- BRAZ, A. J. O. *A tecnologia do vidro em edifícios*. Lisboa: LNEC, 1979. Relatório.
- CRISTINO, C. A. F.; BORGES, A. R. J. *Ensaios aerodinâmicos das torres de escritórios do Parque Central (Caracas)*. LNEC: Lisboa, 1974. Relatório.
- DELGADO, J. D. *Contribuições para o Estudo de Ventilação Natural de Edifícios*. 1989. Tese, UNL, Lisboa.
- ESTANQUEIRO, A. I. L. *et al.* Geometry effects and internal flow patterns. In: WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS, 6., 1990, Reading. *Proceedings...* Oxford: Pergamon, 1990.
- ESTANQUEIRO, A. I. L. *Modelação dinâmica de parques eólicos*. 1997. Tese, ISTUTL, Lisboa.
- ESTANQUEIRO, A. I. L.; AGUIAR, R.; SARAIVA, J. A. G. Uma aproximação espectral à geração de séries de vento sintéticas correladas. In: CONFERÊNCIA IBERO-AMERICANA DE ENERGIA SOLAR, 4., 1993, Porto. *Anais...* Porto, 1993.
- FERREIRA, A. D. *Simulação Numérica e Experimental de Escoamentos Turbulentos em Torno de Obstáculos*. 1999. Tese, FCTUC, Coimbra.
- LOPES, A. M. S. *Modificações do Clima de Lisboa como Consequência do Crescimento Urbano*. 2003. Tese, FLUL, Lisboa.
- MAÇA, C. M. S. P.; SARAIVA, J. A. G. *Air sollar collectors: numerical models for vertical installation*. In: WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS, 6., 1990, Reading. *Proceedings...* Oxford: Pergamon, 1990.
- MIMOSO, J. M. C. *Testes de janelas tendo em vista a sua selecção em função da aplicação*. Lisboa: LNEC, 1988. Relatório.
- MORTENSEN, N. *et al.* *Wind Atlas Analysis and Application Program (WA⁵P)*. Risø National Laboratory: Denmark, 1993.
- PRATA, A. R. *Impacto da Altura dos Edifícios nas Condições de Ventilação Natural em Meio Urbano*. 2005. Tese, FAUUSP, São Paulo.
- SANTOS, P. R. P. *et al.* *Taxas de ventilação de edifícios*. In: CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA MECANICA, 8., 1998, Concepcion. *Anales...* Concepción, 1998.
- SARAIVA, J. A. G. *Boundary layer above urban areas*. Lisboa: PASSCOOL, 1994. Relatório.
- _____. *Boundary layer characteristics in large industrial built up areas*. In: WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS, 6., 1990, Reading. *Proceedings...* Oxford: Pergamon, 1990.
- _____. *Efeitos da turbulência atmosférica em pavilhões industriais*. Lisboa: LNEC, 1985. Relatório.
- _____. *A non dimensional approach to ventilation*. In: WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS, 6., 1990, Reading. *Proceedings...* Oxford: Pergamon, 1990.
- _____. *Aerodinâmica dos Edifícios Altos: características do escoamento e resposta à turbulência de formas prismáticas*. 1983. Tese, LNEC, Lisboa.
- _____. *Estudo de ventiladores estáticos*. Lisboa: LNEC, 1978. Relatório.
- SARAIVA, J. A. G. *et al.* *A fachada de vidro do oceanário de Lisboa, análise e testes da solução*. Lisboa: LNEC, 2003. Relatório.
- SARAIVA, J. A. G. *et al.* *Estudos aerodinâmicos do novo aeroporto intercontinental da ilha da Madeira*. Lisboa: LNEC, 1991. Relatório.
- SARAIVA, J. A. G. *et al.* *O vento na EXPO'98*. Lisboa: LNEC/IST, 1995.
- SARAIVA, J. A. G. *et al.* *Os regimes de vento em Lisboa*. Lisboa: IST, 1996. Relatório.
- SARAIVA, J. A. G. *Impacto urbanístico das obras viárias em curso na Marechal Gomes da Costa sobre as instalações sede do Grupo GDP: análise da poluição emitida pelo tráfego*. Lisboa: LNEC, 1996. Relatório.
- SARAIVA, J. A. G.; BORGES, A. R. J. *Estudos aerodinâmicos dos edifícios de Morelos, La Hoyada e Carabobo, em Caracas*. Lisboa: LNEC, 1978-1979. Relatório 1 a 5.
- SARAIVA, J. A. G.; DELGADO, J. D.; BORGES, A. R. J. *Pavilhões industriais: solicitações, interferência e ventilação natural*. Lisboa: LNEC, 1985. Relatório.
- _____. *Um Programa de Cálculo Automático (PCA) de ventilação natural: VENTIL.FOR*. Lisboa: LNEC, 1985. Relatório.
- _____. *Wind action and temperature difference effects on the ventilation rate and internal pressure of two communicating low rise buildings*. In: COLLOQUIUM IN INDUSTRIAL AERODYNAMICS, 5., 1982, Aachen. *Proceedings...*Aachen, 1982.
- SARAIVA, J. A. G.; DOMINGOS, A. *VENTIL III*. Lisboa: IST, 1991. Relatório.
- SARAIVA, J. A. G.; MORAIS, P. J. G. *Analysis and testing of a structural glass façade*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND PRACTICE OF COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING AND SCIENCE, 6., 1997, Guanzhou. *Anais...* Guanzhou, 1997.
- SARAIVA, J. A. G.; SILVA, F. V. M. *Atmospheric Turbulence influence on natural ventilation air change rates*. In: ANNUAL AIVC CONFERENCE, 20., 1999, Edimburg. *Proceedings...* Edimburg, 1999.
- SARAIVA, J. A. G.; SILVA, F. V. M.; MORAIS, P. G. *Acção do vento nos painéis de revestimento do edifício Monsanto*. Lisboa: LNEC, 2001. Relatório.
- SARAIVA, J. A. G.; SILVA, F. V. M.; SILVA, F. A. G. *O vento, a cidade e o conforto*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador, 1997.
- SARAIVA, J. A. G.; SILVA, M. T. R. M.; MASCARÓ, L. E. R. *A influência da densificação urbana na ventilação das cidades*. Relatório não publicado.
- SARAIVA, J. A. G.; VIEGAS, J. M. *Comparison between PASSPORT AIR and VENTIL multizone air flow models*. Segóvia: PASSCOOL, 1993.
- SILVA, F. A. G. *O Vento como Ferramenta no Desenho do Ambiente Construído: uma aplicação ao nordeste brasileiro*. 1999. Tese, FAUUSP, São Paulo.
- SILVA, F. V. M. *Ventilação Natural de Edifícios. Turbulência Atmosférica*. 2003. Tese, ISTUTL, Lisboa.
- SILVA, F. V. M. *et al.* *Assessing natural urban ventilation through an integrated model*. Annual AIVC Conference, 19., 1998, Oslo.
- _____. *PO-MISTRAL, Modeling e wind regimes over St Jorge island*. Lisboa: INTERG, 1997. Relatório.
- SILVA, F. V. M.; SARAIVA, J. A. G. *Determination of pressure coefficients over simple shaped building models under different boundary layers, Contribution to the PASSCOOL model for ventilation*. Lisboa: PASSCOOL, 1994. Relatório.
- _____. *Distribuição de pressão sobre o Pavilhão Multiusos da EXPO'98*. Lisboa: LNEC, 1996. Relatório.
- _____. *Natural ventilation air change rates considering atmospheric turbulence*. In: ANNUAL AIVC CONFERENCE, 21., 2000. Haia.

VIEGAS, J. C. G. *Qualificação de componentes de edifícios. Selecção de janelas em função da sua exposição*. Lisboa: LNEC, 1994. Relatório.

_____. *Modelação matemática e validação experimental de incêndios em edifícios*. 1998. Tese (Ph. D.), IST, Lisboa,.

_____. *Segurança contra incêndios: a construção de uma instalação experimental com características de desempenho de protótipo*. Lisboa: LNEC, 1988. Relatório.

_____. *Segurança contra incêndio: modelos numéricos para desenfumagem*. Lisboa: LNEC, 1991. Relatório.

VIEGAS, J. C. G.; CARVALHO, M. G.; SARAIVA, J. A. G. Flow induced by fire in compartments: tests and simulation. In: *Heat Transfer in Radiating and Combusting Systems*, 3., 1998, Delphi.

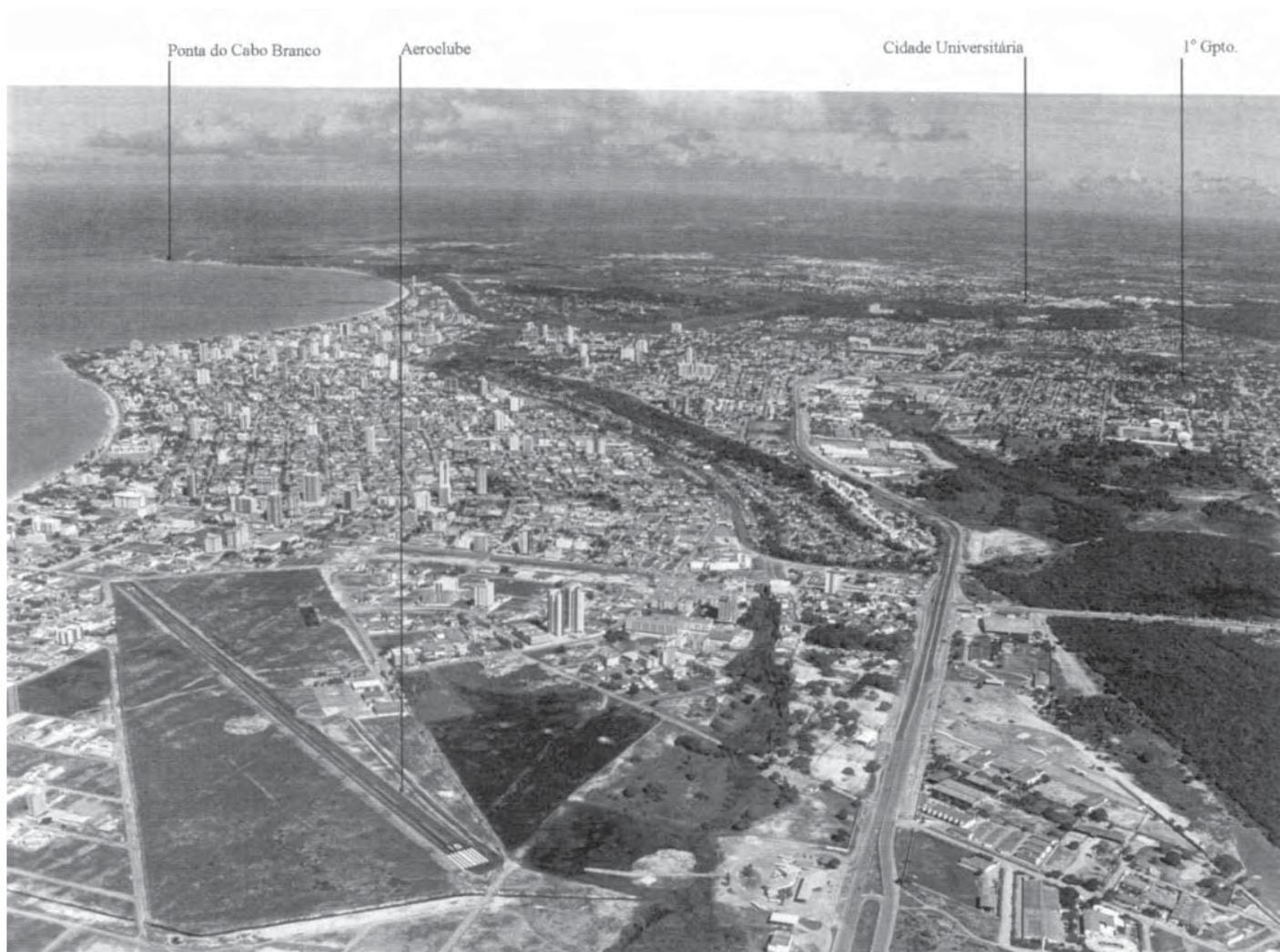


Figura 1 – Vistá aérea de João Pessoa

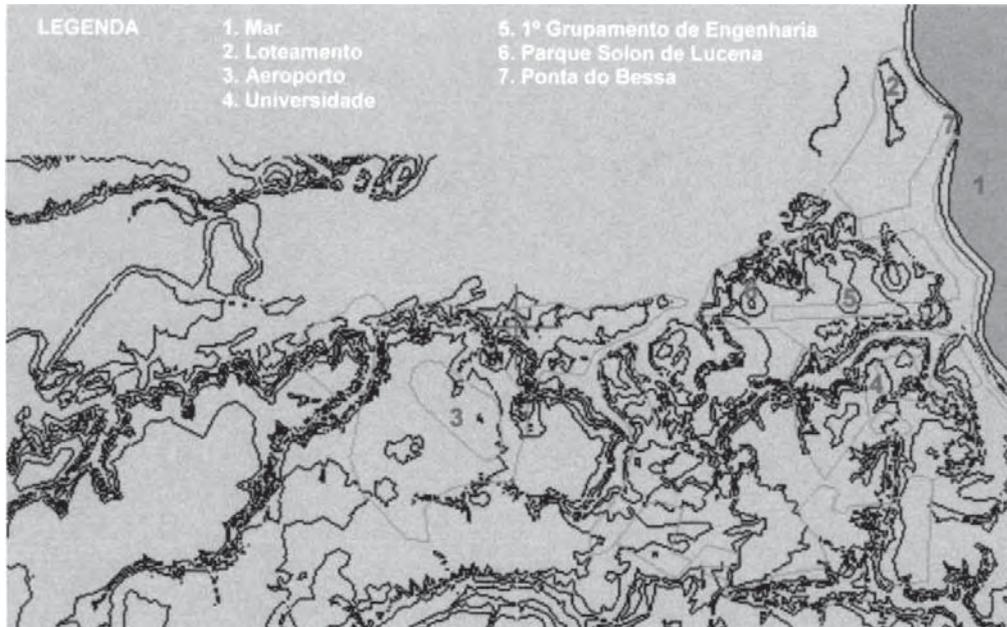


Figura 2 – Orografia e rugosidade de João Pessoa

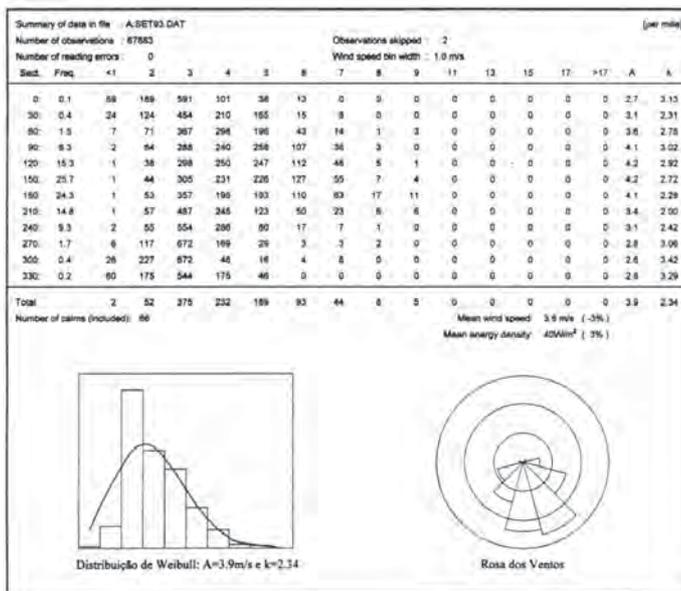


Figura 3 – Dados de vento de João Pessoa: rumos e velocidades (estatística de 10 anos)

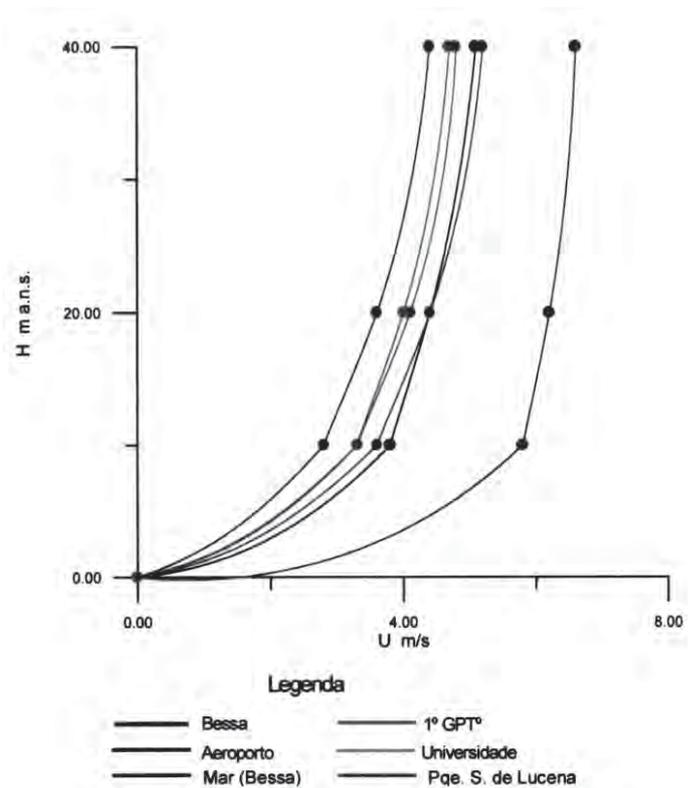


Figura 4 - Perfis de velocidade estimados em vários locais no interior de João Pessoa

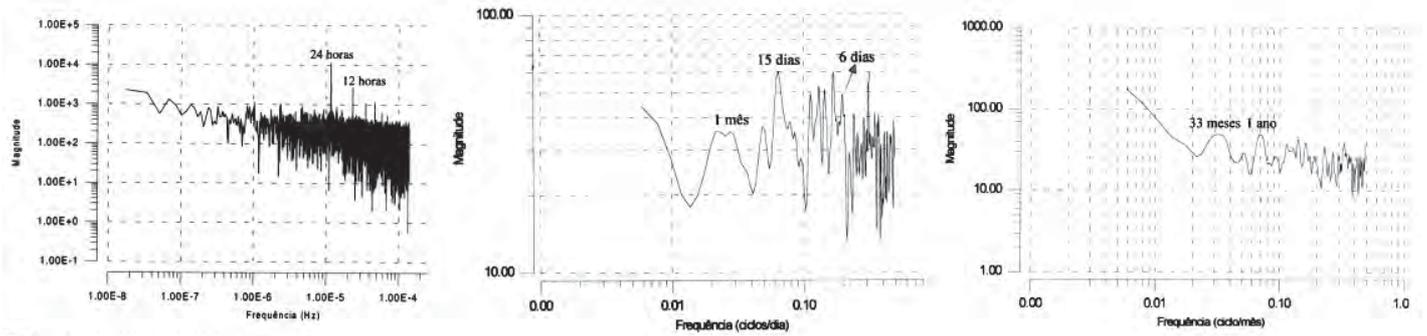


Figura 5 – Funções de densidade espectral para o vento em João Pessoa

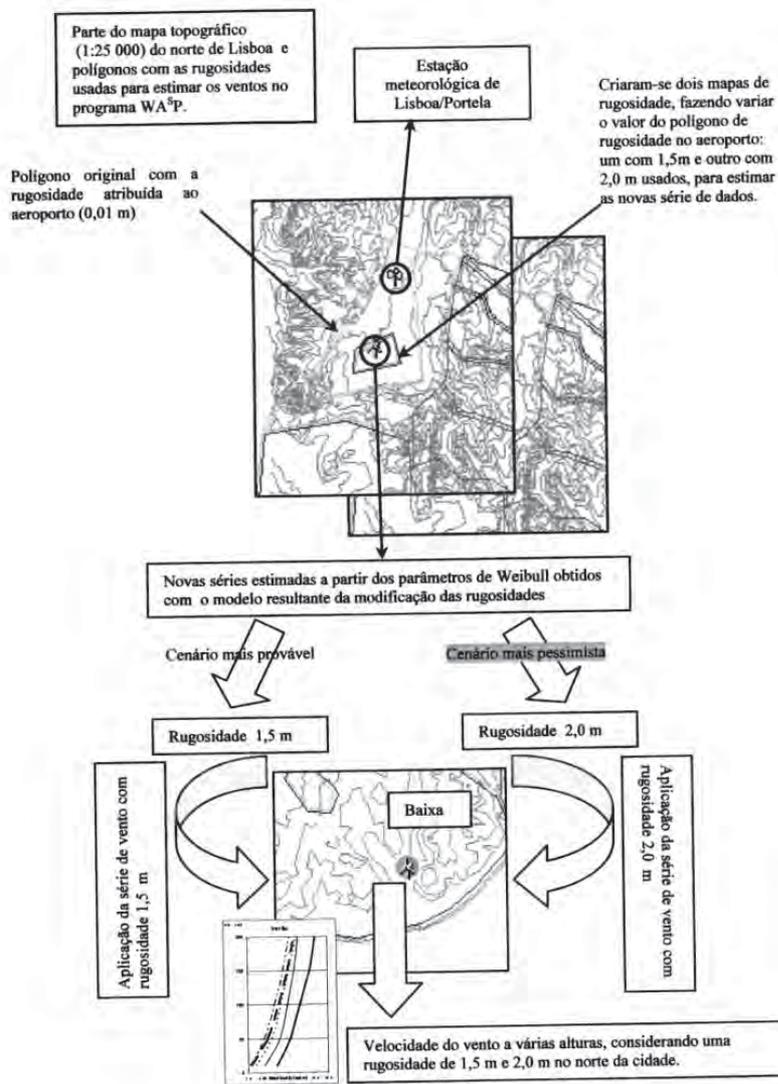


Figura 6 – Modelo para previsão de alteração dos regimes de vento na “Baixa” de Lisboa

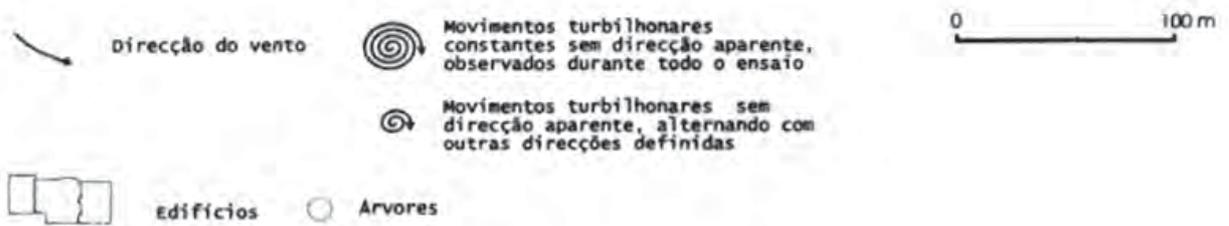
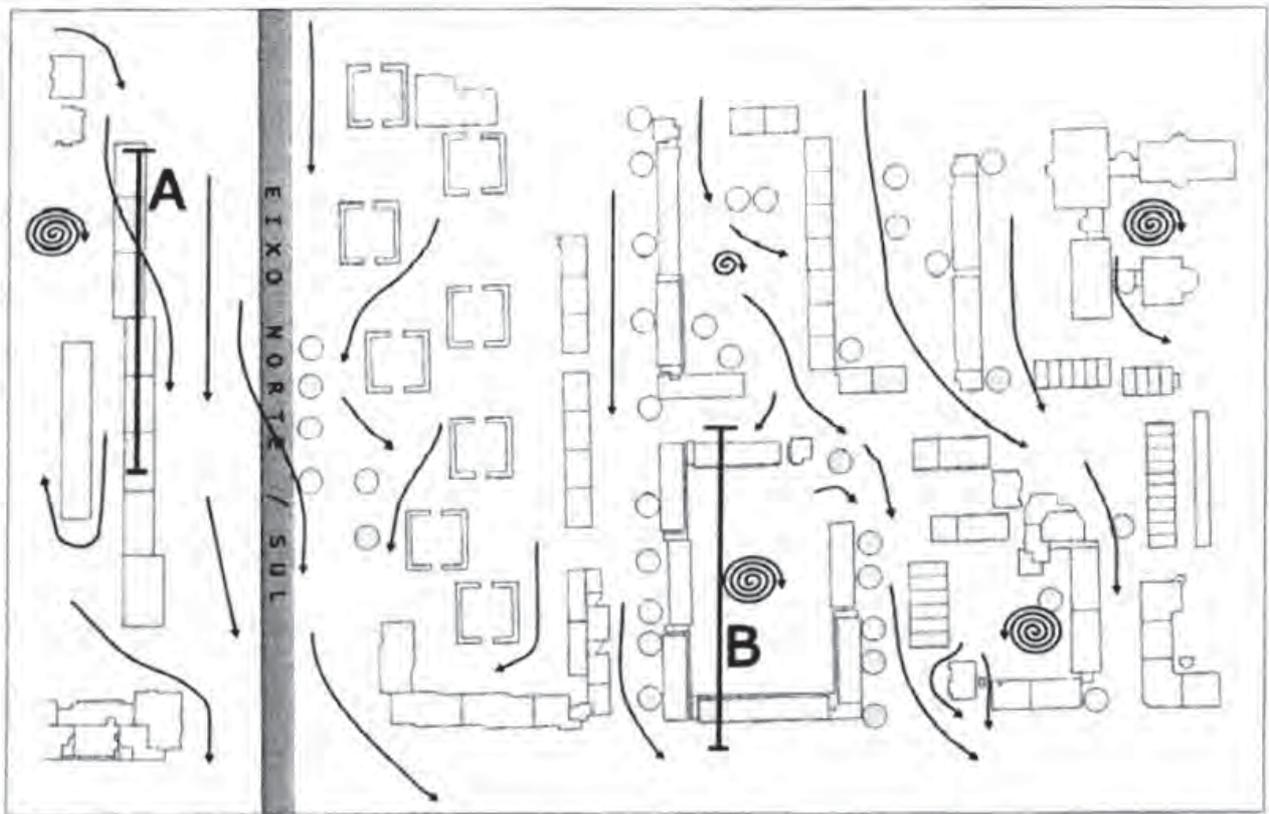


Figura 10 – Padrões de escoamento no interior da zona de estudo para vento Norte

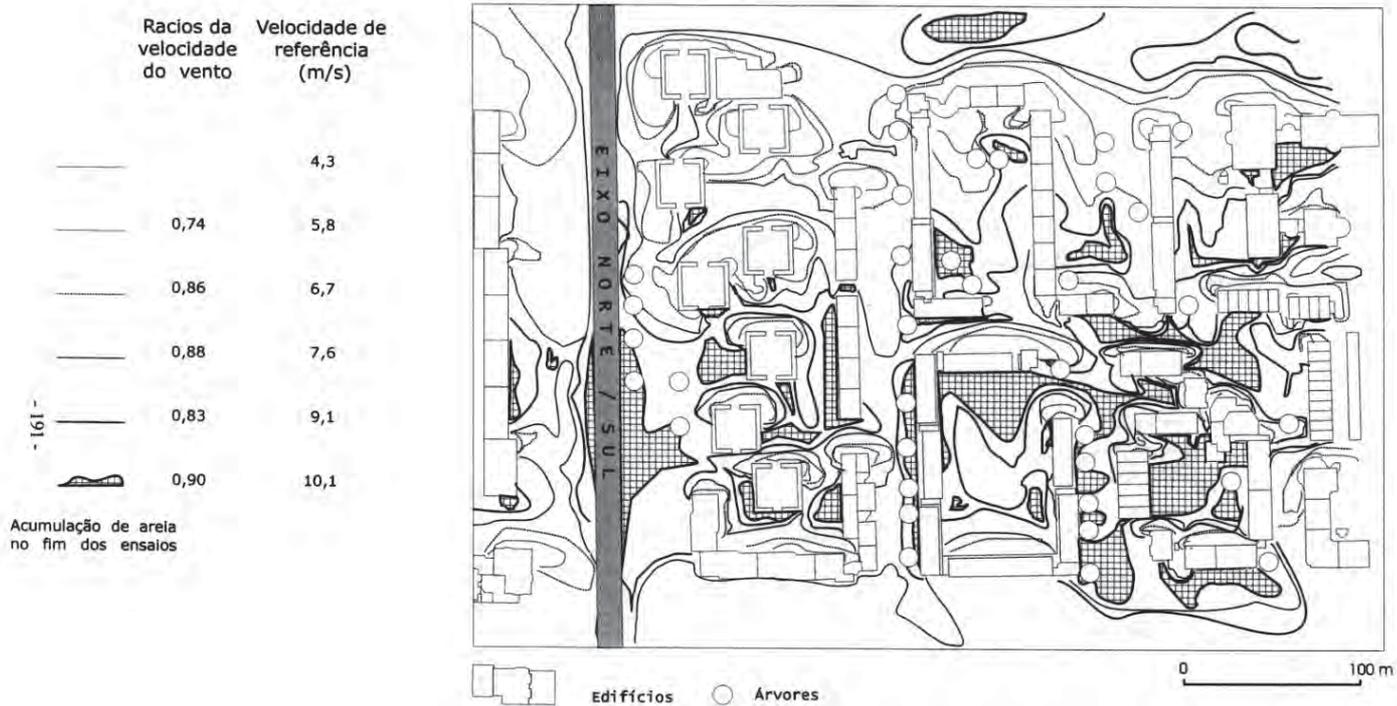


Figura 11 – Figuras de erosão, vento a nível do solo na zona de estudo (CL1)

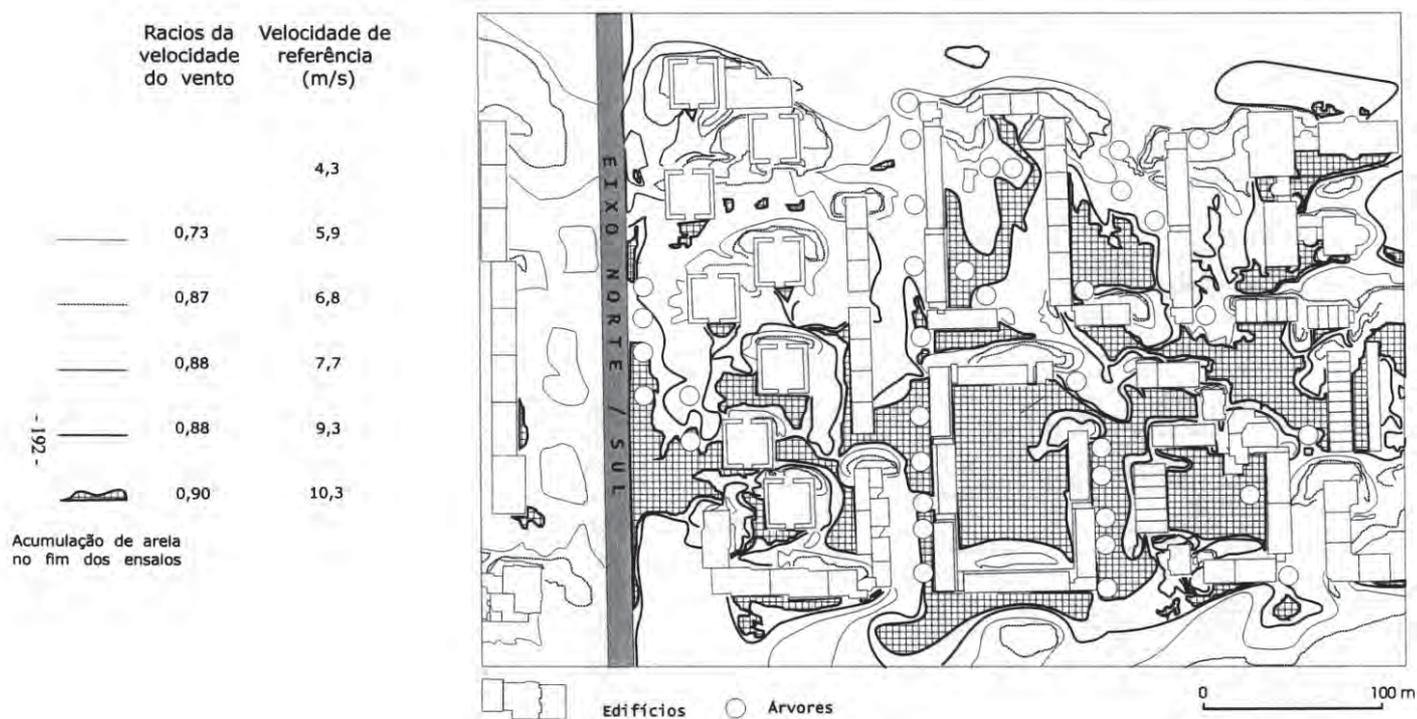


Figura 12 – Figuras de erosão, vento a nível do solo na zona de estudo (CL2)

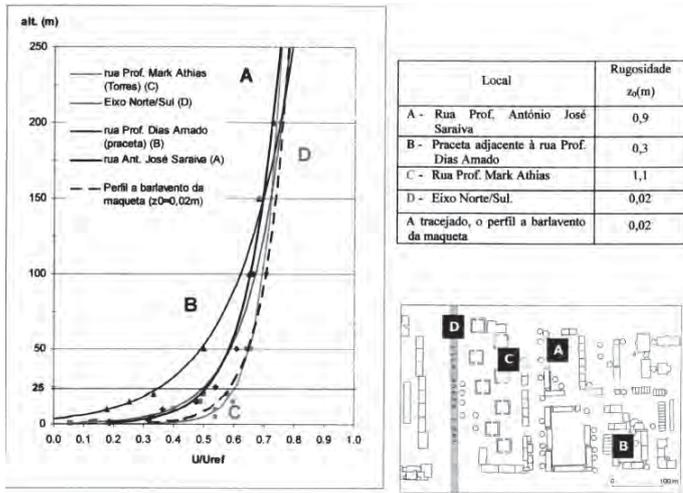


Figura 13 – Perfis de velocidade no interior da zona de estudo

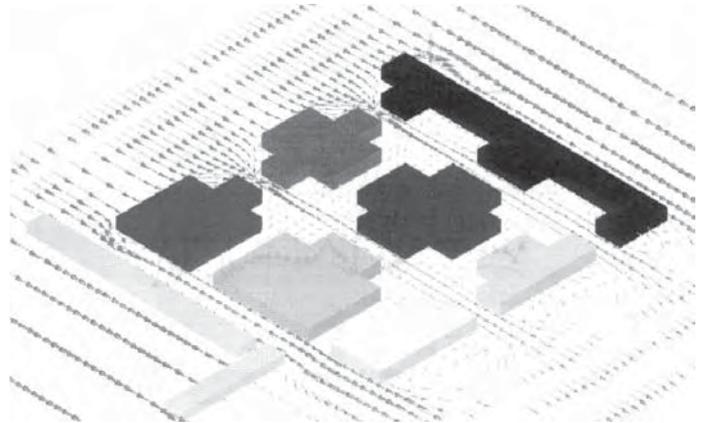


Figura 15 – Campos de velocidade na zona dos pavilhões de exposição da EXPO'98

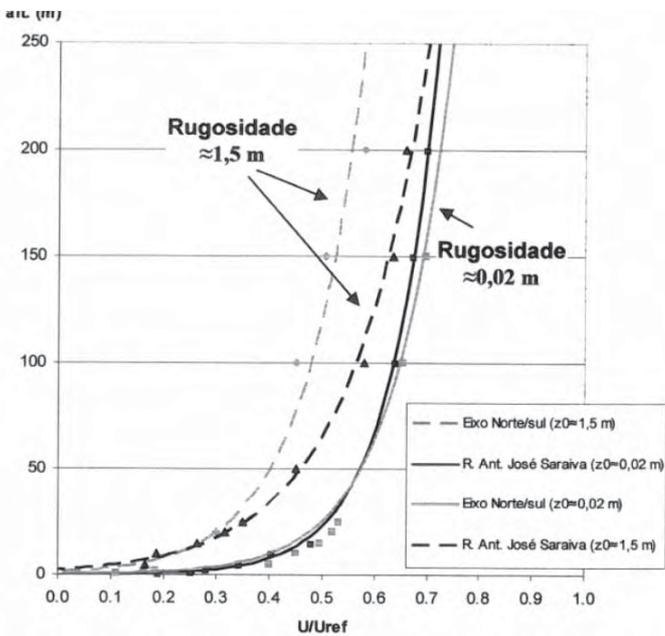


Figura 14 – Perfis de velocidade no interior da zona de estudo para dois perfis de CLA

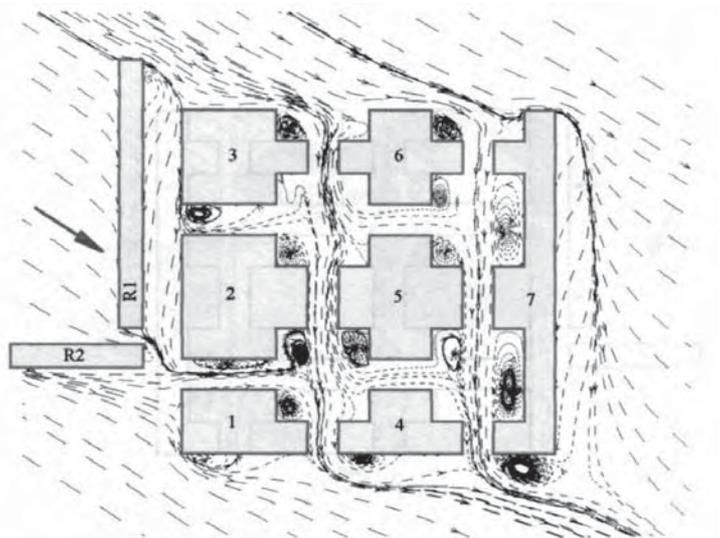


Figura 16 – Linhas de corrente na zona dos pavilhões de exposição da EXPO'98

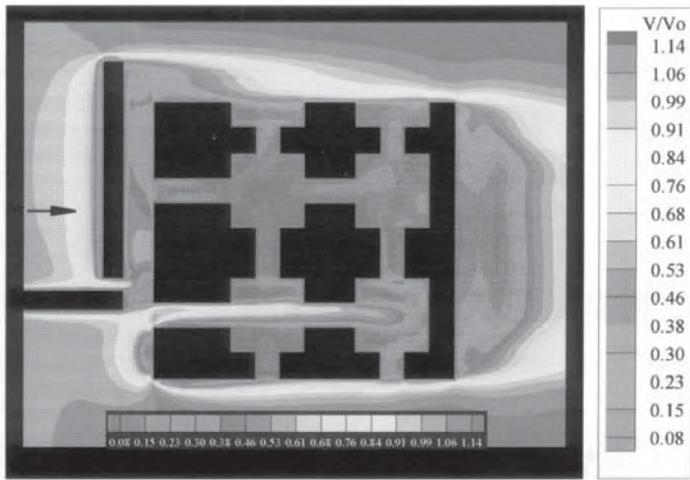


Figura 17 – Isolinhas de velocidade na zona dos pavilhões de exposição da EXPO'98

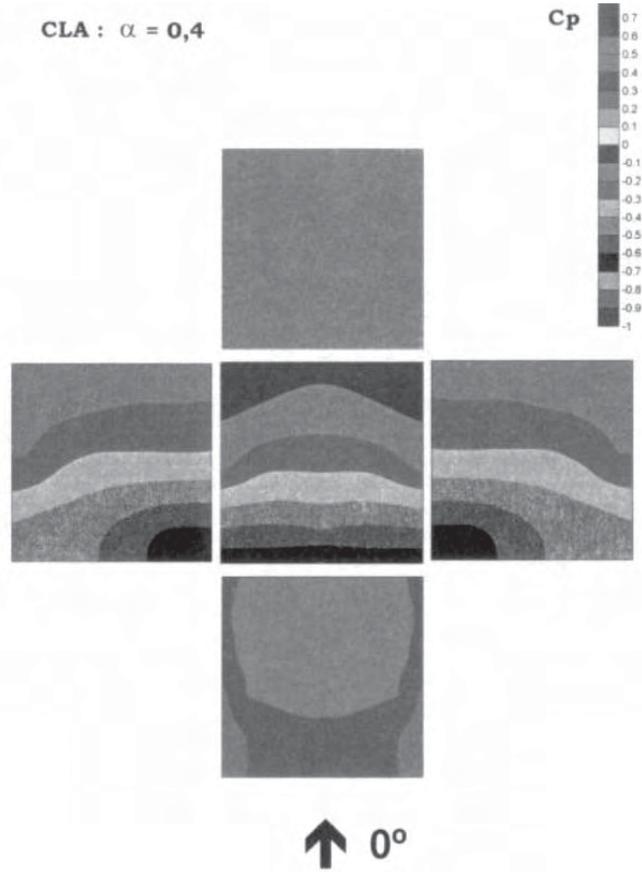


Figura 19 – Distribuição de pressões sobre um cubo imerso numa CL (CL2)

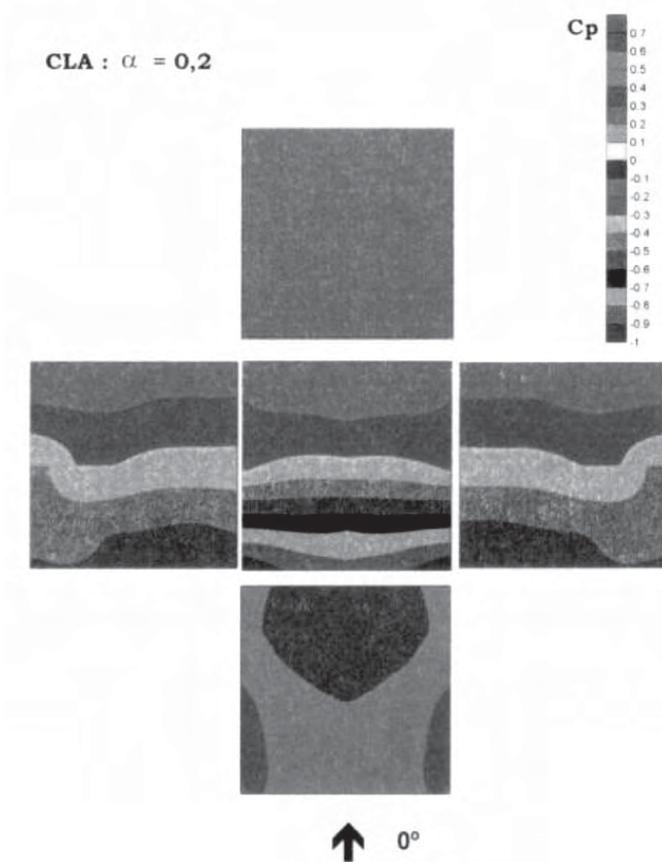


Figura 18 – Distribuição de pressões sobre um cubo imerso numa CL (CL1)

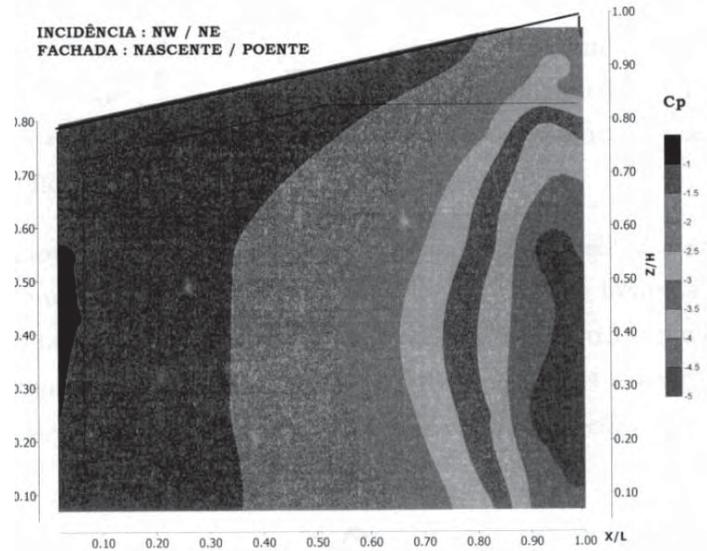


Figura 20 – Distribuição de pressões sobre a fachada do edifício Monsanto em Lisboa



Figura 21 – Ventilador estático de geometria variável instalado no túnel aerodinâmico



Figura 23 – Caso paradigmático de importância da turbulência nos processos de VN

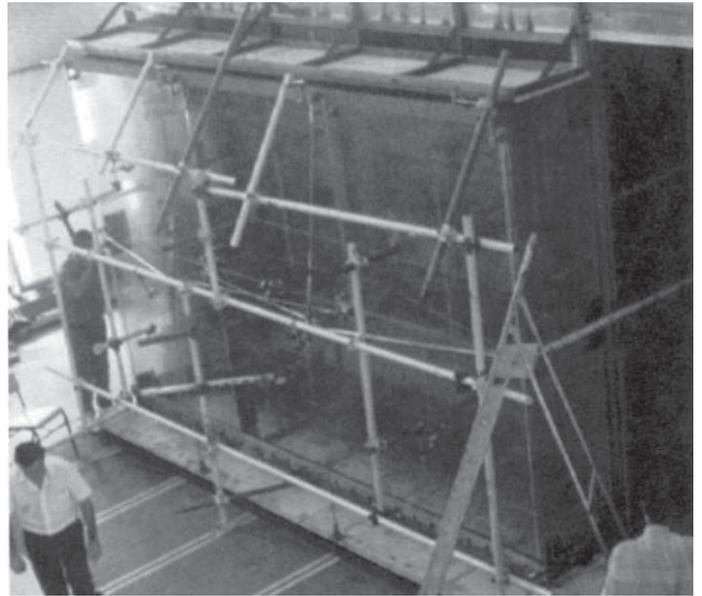


Figura 22 – Ensaio estrutural e de permeabilidade ao ar de uma fachada do Oceanário

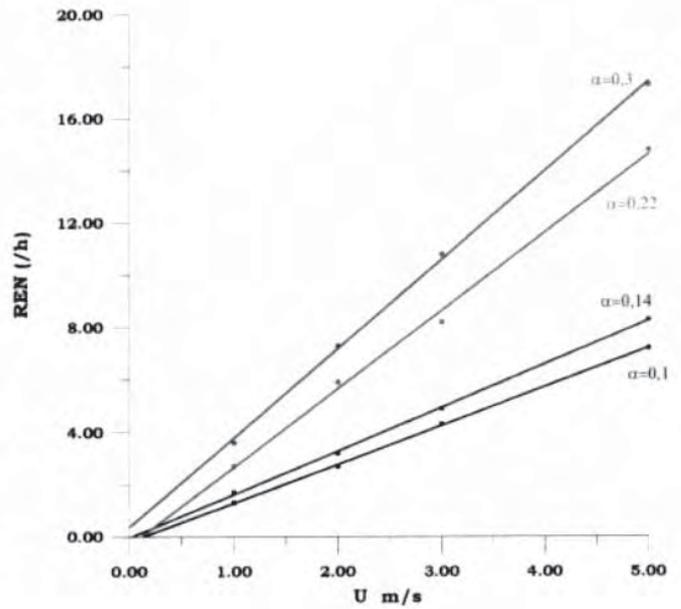
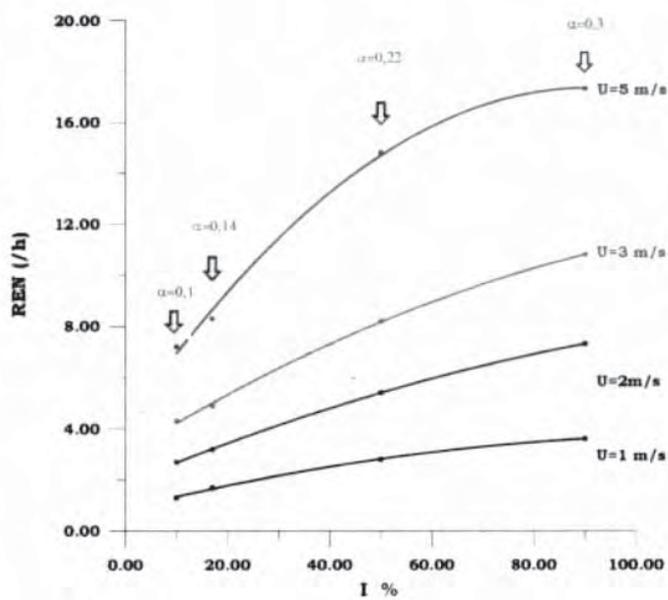


Figura 24 – Renovação de ar associada ao efeito da turbulência para o caso paradigmático

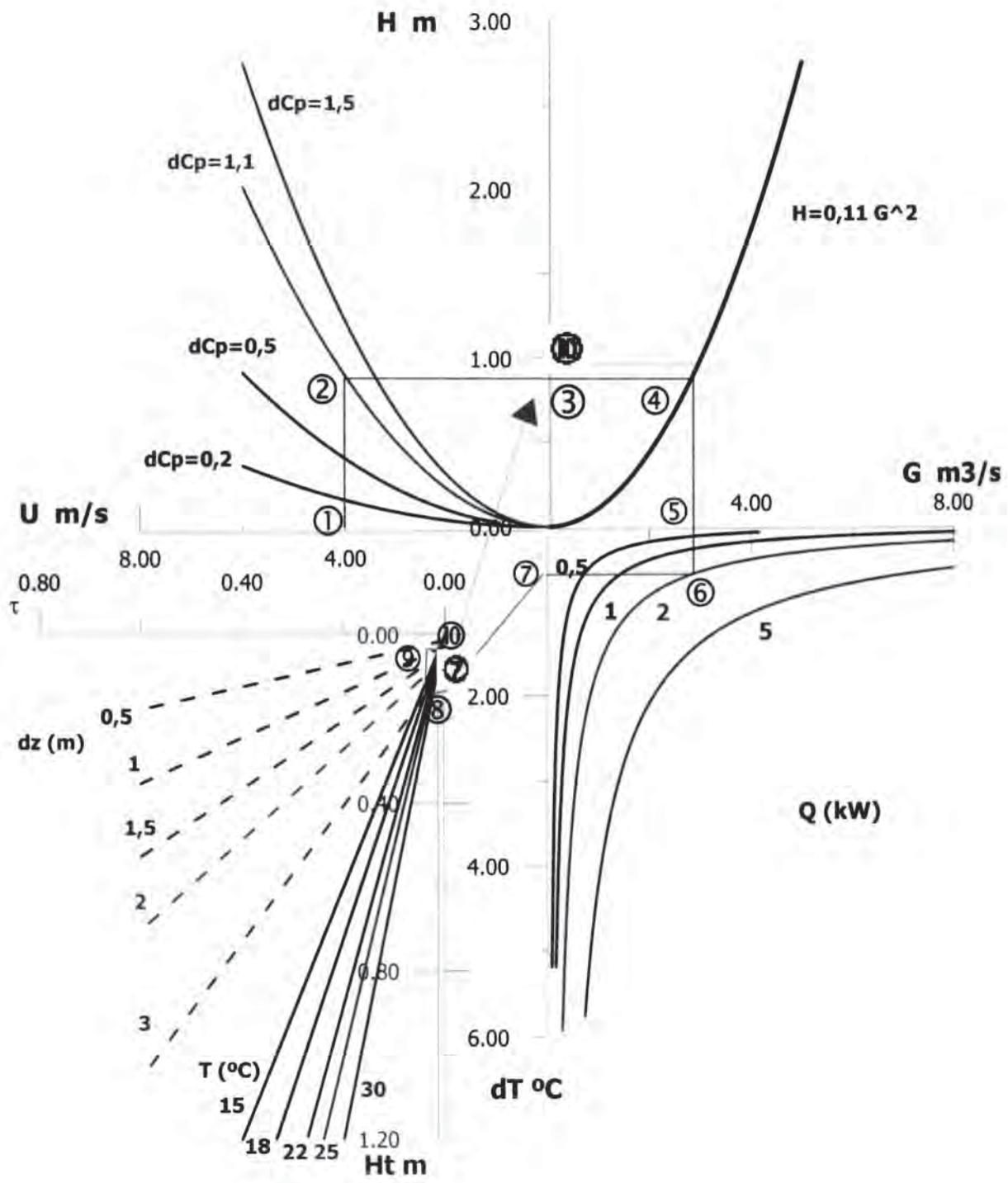


Figura 25 – Nomograma de estimativa de fluxos de ventilação natural

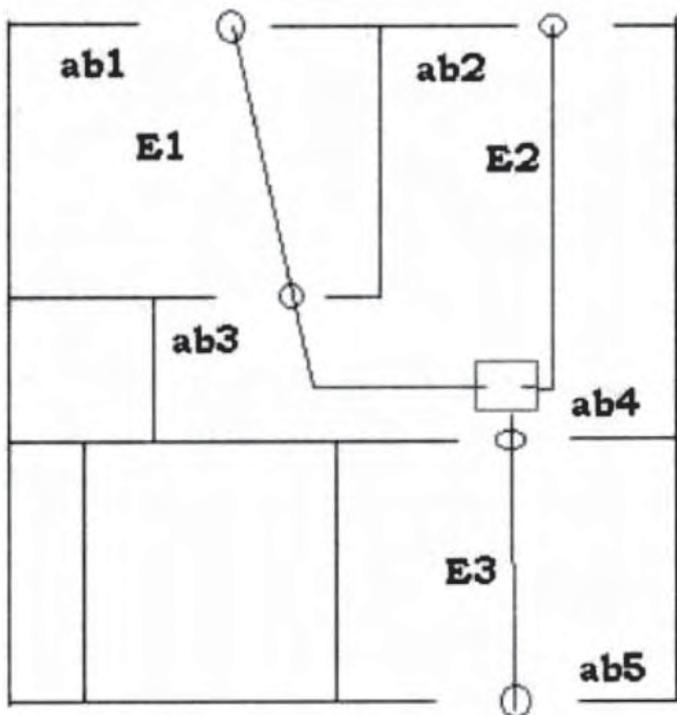


Figura 26 – Apartamento de referência (João Pessoa, PB)



Figura 27 – Instalação experimental de ensaios de ventilação/desenfumagem

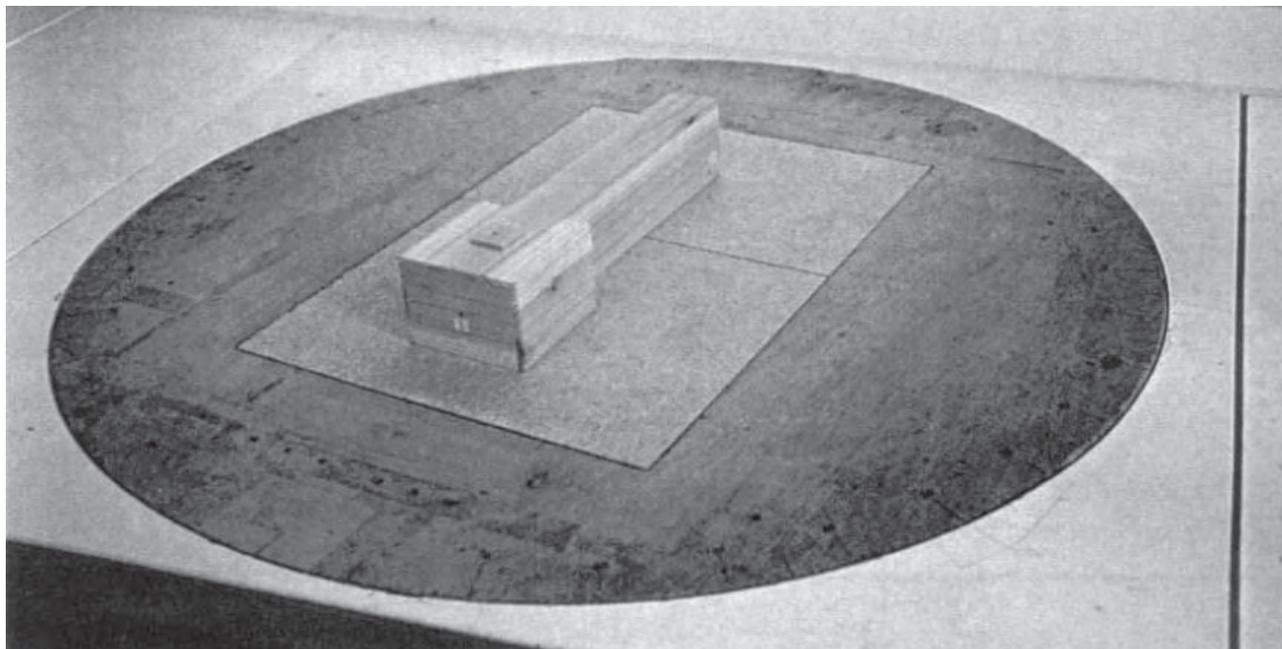


Figura 28 – Modelo físico da instalação experimental no túnel aerodinâmico

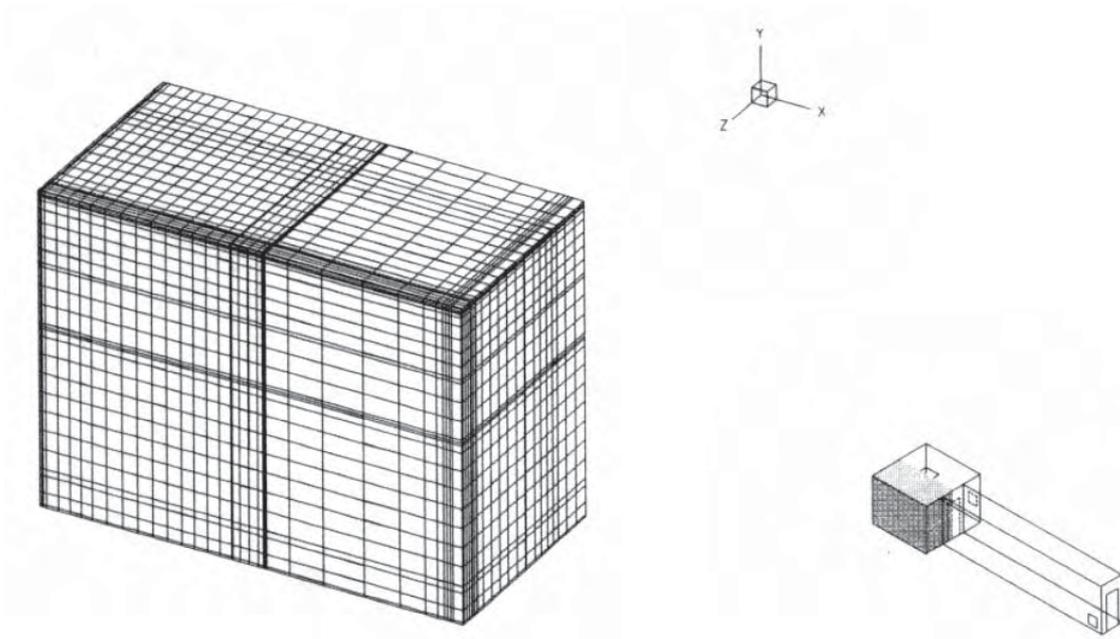


Figura 29 – Malha “inicial” do modelo numérico da sala

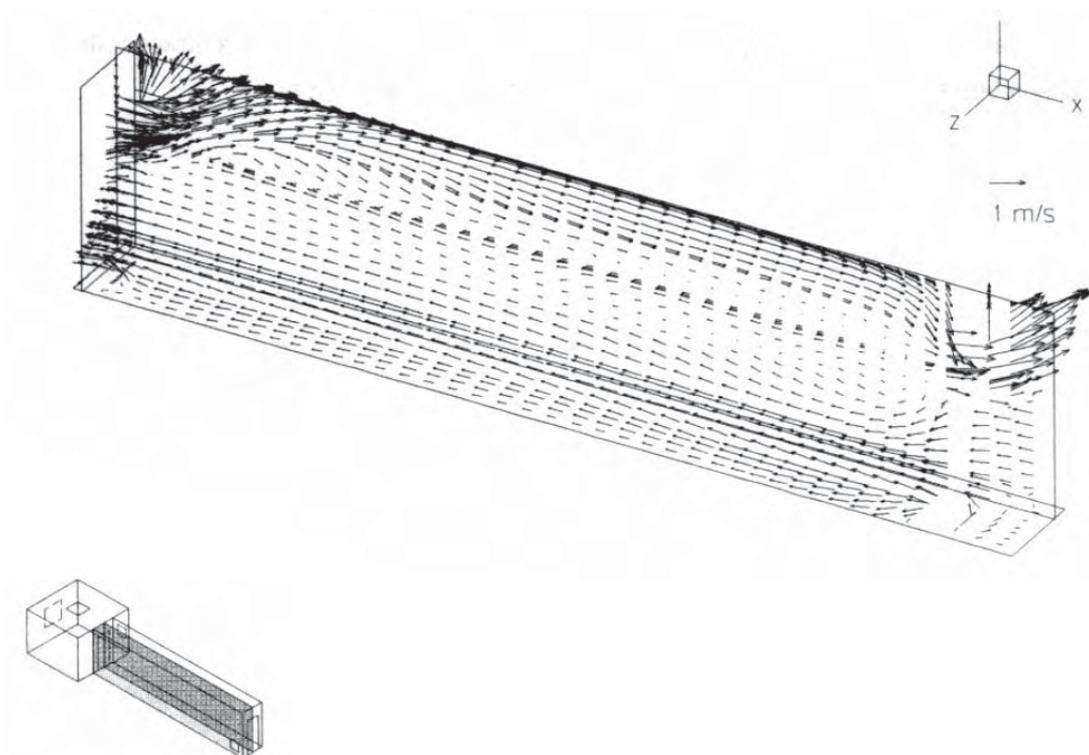


Figura 30 – Campo de velocidades estimado para o modelo do corredor

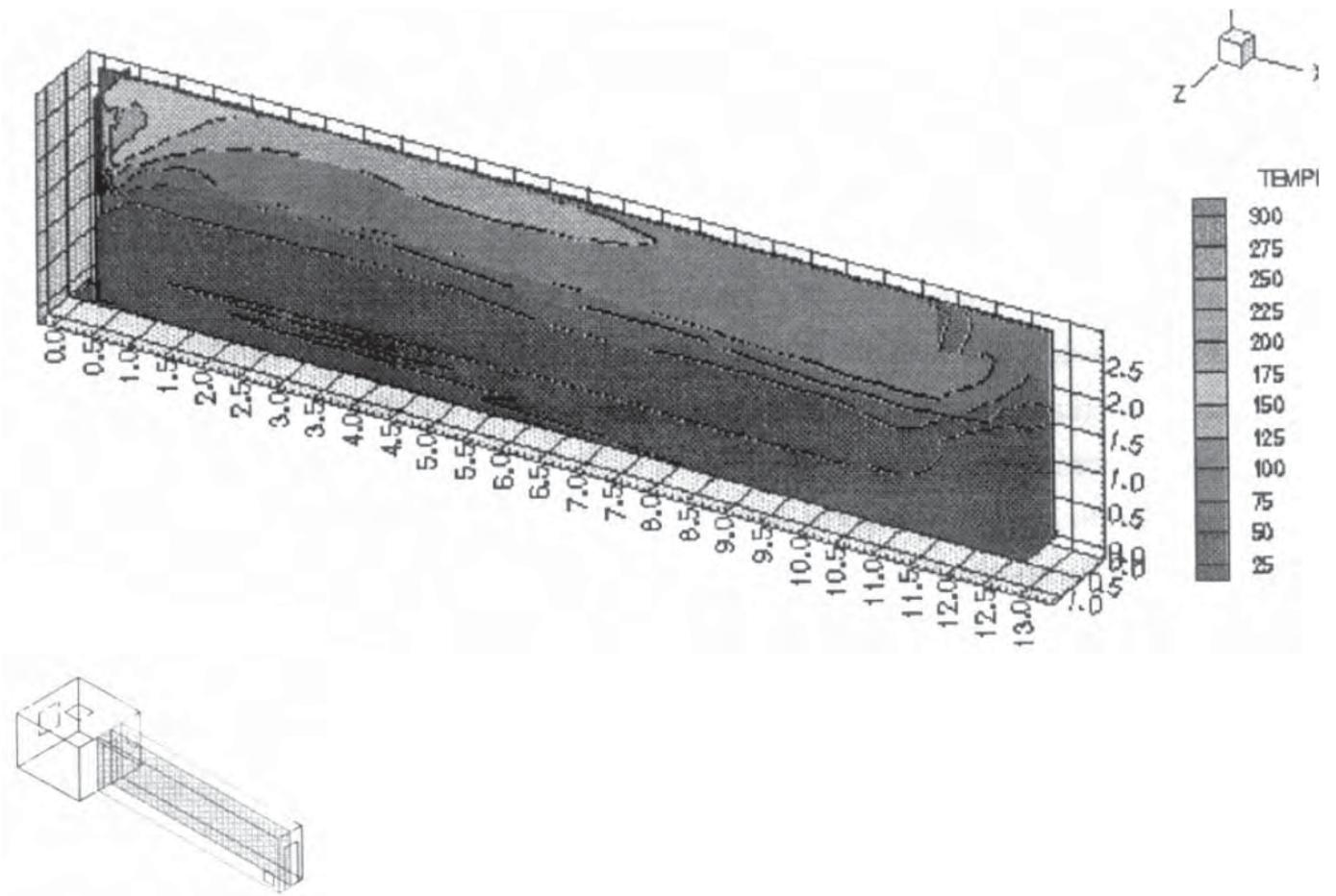


Figura 31 - Campo de temperaturas estimado para o modelo do corredor

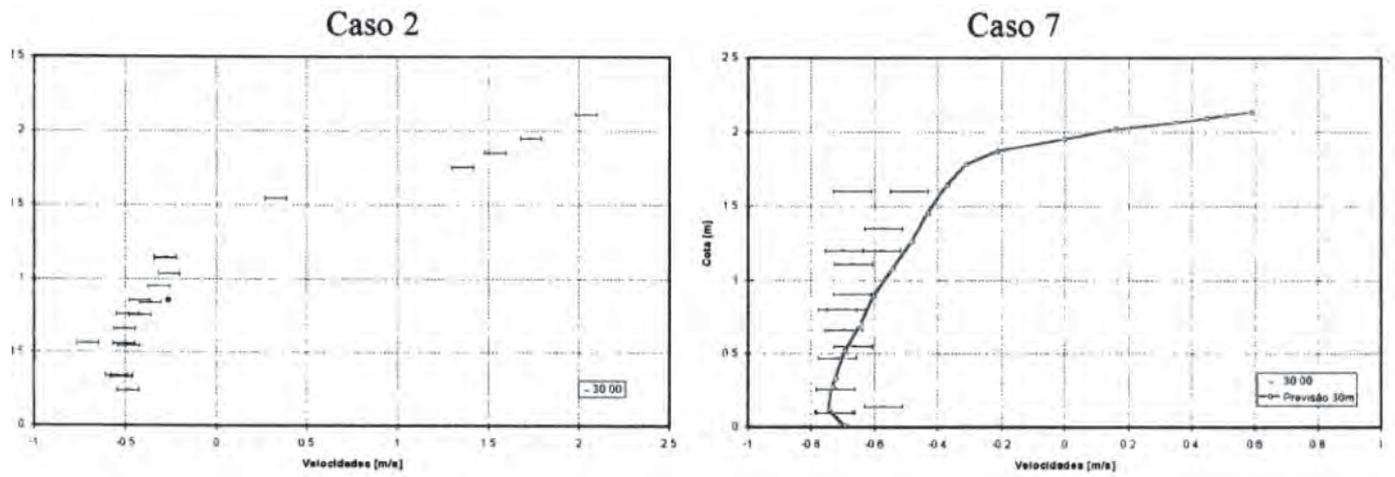


Figura 32 – Comparação analítico-experimental do campo de velocidades na porta

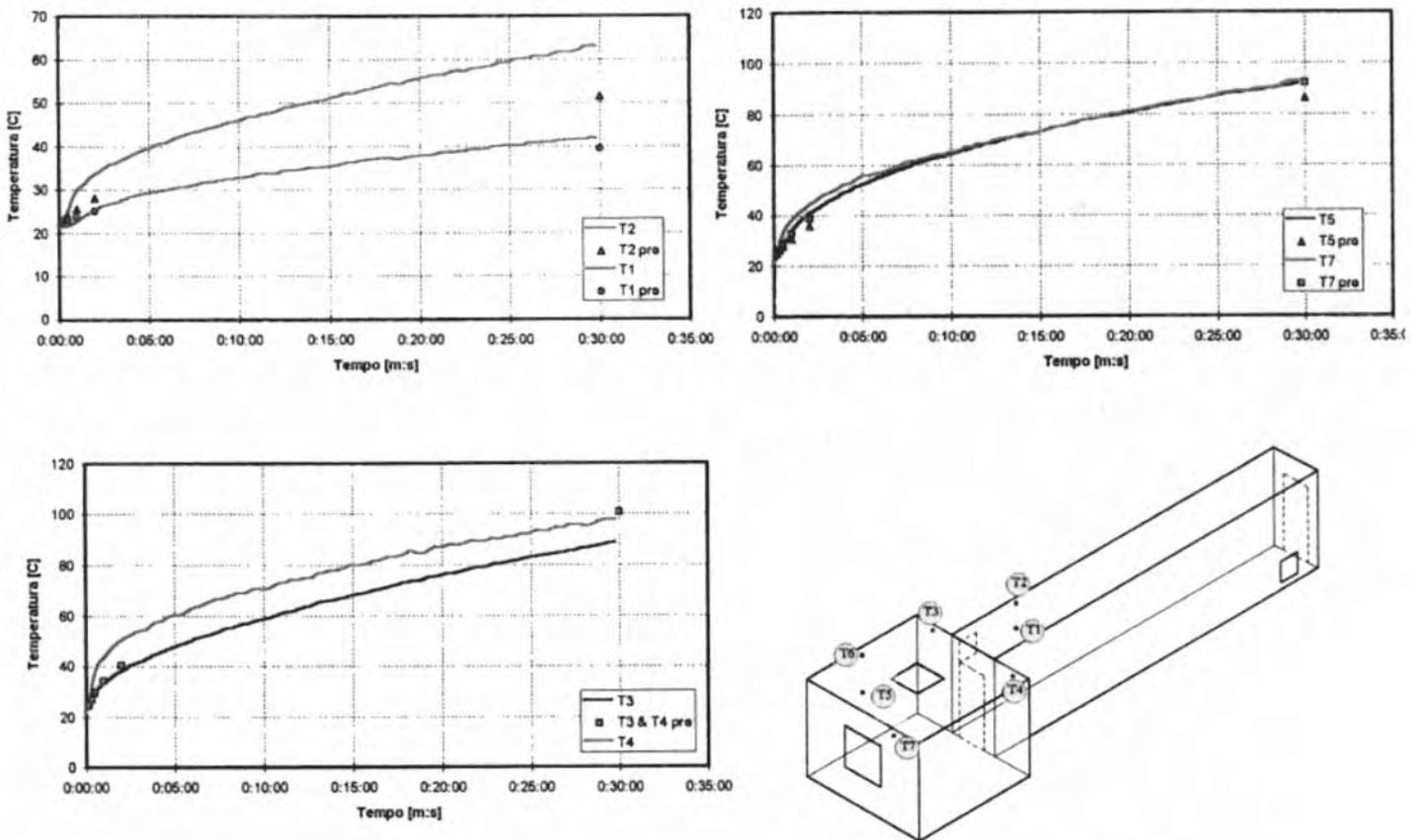


Figura 33 – Comparação analítico-experimental das temperaturas