

Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”

**Faculdade de Ciências Farmacêuticas
Câmpus de Araraquara**

**AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM
AMBIENTES DESTINADOS A OCUPAÇÃO
COMUM**

Karina Ponsoni Corbi

Araraquara
2006

**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências Farmacêuticas Câmpus de Araraquara**

**AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM
AMBIENTES DESTINADOS A OCUPAÇÃO COMUM**

Karina Ponsoni Corbi

Dissertação apresentada a Faculdade de Ciências Farmacêuticas do câmpus de Araraquara da Universidade Estadual Paulista, para obtenção do grau de Mestre em Análises Clínicas

Orientadora: Profa. Dra. Maria Stella Gonçalves Raddi

Araraquara
2006

Ficha Catalográfica

Elaborada Pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP – Campus de Araraquara

Corbi, Karina Ponsoni

C789a Avaliação de variáveis ambientais em ambientes destinados a ocupação
comum / Karina Ponsoni Corbi. – Araraquara, 2006.
55 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. “Júlio de
Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação
em Análises Clínicas

Orientador: Maria Stella Raddi

1.Bioaerosol. 2.Parâmetros ambientais. 3.Qualidade do ar. I.Raddi,
Maria Stella, orient. II. Título.

CDD: 697.9324

CAPES:40300005

“Existem coisas pequenas e grandes, coisas que levaremos para o resto de nossas vidas. Talvez sejam poucas, quem sabe sejam muitas, depende de cada um, depende da vida que cada um de nós levou.

Levaremos lembranças, coisas que sempre serão inesquecíveis para nós, coisas que nos marcarão, que mexerão com a nossa existência em algum instante.

Provavelmente iremos pela a vida a fora colecionando essas coisas, colocando em ordem de grandeza cada detalhe que nos foi importante, cada momento que interferiu nos nossos dias, que deixou marcas, cada instante que foi cravado no nosso peito como uma tatuagem.

Serão marcas, umas mais profundas, outras superficiais, porém com algum significado também.

Serão detalhes que guardaremos dentro de nós e que se contarmos para terceiros talvez não tenha a menor importância, pois só nós saberemos o quanto foi incrível vivê-los.

Quem sabe uma amizade incomparável, um sonho que foi alcançado após muita luta.

Pode ser simplesmente um instante, um olhar, um sorriso, um perfume, um beijo.

Para o resto de nossas vidas levaremos pessoas guardadas dentro de nós. Um porque nos dedicaram um carinho enorme e outras porque foram o objeto do nosso amor, quem sabe haverão algumas que deixarão marcas profundas por terem sido tão rápidas em nossas vidas e terem conseguido ainda assim plantar dentro de nós tanta coisa boa.

Lá na frente é que poderemos realmente saber a qualidade de vida que vivemos a quantidade de marcas que conseguimos carregar conosco e a riqueza que cada uma delas guardou dentro de si.

Bem lá na frente é que poderemos avaliar do que exatamente foi feita a nossa vida, se de amor ou de rancor; se de alegrias ou tristezas; se de vitórias ou derrotas; se de ilusões ou realidades.

Hoje é só o começo de tudo, que se houver algo errado ainda está em tempo de ser mudado e que o resto de nossas vidas de certa forma ainda está em nossas mãos.”

Adaptado de Silvana Duboc

DEDICATÓRIA

Ao meu marido, Rodrigo, sempre companheiro e amigo.

Pelas noites de sonos mal dormidas

Pela paciência inabalável

Pela confiança e

Por acreditar em mim sempre, sem exitar! AMO VOCÊ!!!

E ao fruto do nosso amor, que vai chegar em breve – espero que encontre em nossa família seu motivo de maior orgulho!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas oportunidades e pela sabedoria, pela proteção, pelo amparo e pela força concedida nos momentos mais difíceis.

À Profa. Stella por não limitar sua orientação somente ao âmbito profissional, mas por ser amiga e muitas vezes mãe. Obrigada por transmitir seus conhecimentos, dedicar o seu tempo e por me dar oportunidade de crescimento profissional. Muito obrigada pelo seu carinho e paciência, você é muito especial!

À minha mãe, minhas irmãs Evelin e Sara pela amizade e amor desprendido por toda a minha vida, sem dúvida foi fundamental na formação da minha maior conquista – A Felicidade!

Ao meu sogro Antonio e minha sogra Silvia, pelo carinho e dedicação durante todos esses anos, vocês são muito importantes!

À amiga Karina Devienne, pela amizade e paciência que me motivaram muitas vezes nos momentos mais difíceis e pela presença nas maiores conquistas profissionais.

Ao Prof. Dr. Rogério Lustrí pela amizade e incentivo, por ajudar a trilhar o meu caminho quando eu, ainda, era discente.

Aos meus amigos e colegas de trabalho Cibele, Rodrigo, Rita, Débora, Verônica, Nancy e Maria do Carmo, pela amizade e apoio durante a realização deste trabalho.

Às secretárias da pós-graduação Cláudia Lúcia Molina, Laura Rosim e Sônia Ornelas, os anjos da guarda, pelo auxílio, paciência e amizade!

À Eliana Regina Cainelli e Tirene Pavanelli pela amizade e disponibilidade de apoio.

Ao Prof. Romeu Magnani pelo apoio durante o desenvolvimento das análises estatísticas e pela amizade.

Às agências de fomento FAPESP e FUNDUNESP pelo auxílio e ao CNPq pela bolsa concedida.

À todos professores, amigos e funcionários da UNESP, que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

“O amor é o pilar mais concreto na construção da nossa realização e é por isso que alcanço esse sonho, por ter pessoas tão especiais na minha vida! Não tinha como ser diferente!”

KARINA PONSONI CORBI

1. Dados Pessoais

1.1 Nascimento: 10/02/1979

1.2 Naturalidade: São Carlos – SP

1.3 Estado Civil: Casada

1.4 Filiação: Pedro Ponsoni

Benedita de Lourdes Ferrari

1.5 Documento de Identidade: 28.592.502-7

1.6 Cadastro de Pessoa Física: 196.341.088-22

2. Formação Acadêmica

2.1 Biomédica, curso de Ciências Biológicas Modalidade Médica, concluído em junho de 2003, no Centro Universitário de Araraquara – UNIARA.

2.2 Mestrado em Análises Clínicas, Programa de Pós-graduação em Análises Clínicas, da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em andamento.

3. Trabalhos Científicos

PONSONI, K.; RADDI, M.S.G. Indoor air quality related to occupancy at an air-conditioned public building. Environmental Research (submetido, julho de 2006).

PONSONI, K. ; MINGIREANOV, T.R. ; RADDI, M.S.G. Eficiência de máscaras cirúrgicas como equipamento de proteção respiratória contra aerossóis bacterianos.. Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, v. 26, n. 2, p. 157-158, 2005.

PONSONI, K.; RADDI, M. S. G.; MINGIREANOV, T. R. Dispersão de bioaerossóis bacterianos na Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário de Araraquara. Revista de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, v.23, p.25-17, 2004.

TERESA, D. B.; PONSONI, K.; RADDI, M. S. G. Bioaerossóis em ambientes do prédio tradicional da Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP. Revista de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 31-39, 2001.

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. OBJETIVOS | 09 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | |
| a) Concentração de aerossóis bacterianos e fúngicos | 10 |
| b) Concentração de aerossóis fúngicos | 11 |
| c) Dióxido de carbono | 11 |
| d) Concentração de partículas | 11 |
| e) Parâmetros físicos de conforto | 11 |
| f) Análise de dados | 11 |
| 4. RESULTADOS | 13 |
| 5. DISCUSSÃO | 40 |
| 6. CONCLUSÃO | 45 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |
| 8. RESUMO | 54 |
| 9. ABSTRACT | 55 |

Índice de Tabelas e Quadros

| | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Estatísticas descritivas das variáveis de ambientes de uso público com ou sem climatização (junho a setembro de 2005) ----- | 20 |
| Tabela 2 - | Coefficientes de correlação de Pearson entre as concentrações dos aerossóis bacterianos e fúngicos e os parâmetros ambientais relativos aos ambientes ventilado e climatizado (junho a setembro de 2005) --- | 23 |
| Tabela 3 - | Coefficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente naturalmente ventilado (junho a setembro de 2005) ----- | 26 |
| Tabela 4 - | Coefficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente climatizado (junho a setembro de 2005) ----- | 27 |
| Tabela 5 - | Estatísticas descritivas das variáveis de ambientes de uso público com ou sem climatização (janeiro a abril de 2006) ----- | 30 |
| Tabela 6 - | Coefficientes de correlação de Pearson entre as concentrações dos aerossóis bacterianos e fúngicos e os parâmetros físicos ou químicos relativos aos ambientes ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006) ----- | 33 |
| Tabela 7 - | Coefficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente naturalmente ventilado (janeiro a abril de 2006) ----- | 38 |
| Tabela 8 - | Coefficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente climatizado (janeiro a abril de 2006) ----- | 39 |
| Quadro 1 - | Medições das variáveis em ambiente ventilado e climatizado de uso público, determinadas antes da abertura ao expediente (1) em intervalos consecutivos de 30 minutos durante um período de 3 horas (junho a setembro de 2005) ----- | 18 |
| Quadro 2 - | Relação entre aerobiota bacteriana em UFC/m ³ de ar e variáveis ambientes naturalmente ventilados e climatizados (junho a setembro de 2005) ----- | 21 |
| Quadro 3 - | Relação entre aerobiota fúngica em UFC/m ³ de ar e variáveis em ambientes naturalmente ventilados e climatizados (junho a setembro de 2005) ----- | 22 |

| | | |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 4 - | Relação entre parâmetros ambientais e número de ocupantes em ambiente naturalmente ventilado e climatizado (junho a setembro de 2005) ----- | 24 |
| Quadro 5 - | Medições das variáveis em ambiente ventilado e climatizado de uso público, determinadas antes da abertura ao expediente (1) em intervalos consecutivos de 1 hora durante um período de 6 horas (janeiro a abril de 2006) ----- | 28 |
| Quadro 6 - | Relação entre aerobiota bacteriana em UFC/m ³ de ar e demais variáveis em ambientes naturalmente ventilados e climatizados (janeiro a abril de 2006) ----- | 31 |
| Quadro 7 - | Relação entre aerobiota fúngica em UFC/m ³ de ar e demais variáveis em ambientes naturalmente ventilados e climatizados (janeiro a abril de 2006) ----- | 32 |
| Quadro 8 - | Relação entre variáveis e número de ocupantes em ambiente naturalmente ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006) ----- | 34 |
| Quadro 9 - | Relação entre concentração de partículas e variáveis em ambiente naturalmente ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006) ----- | 36 |

1 INTRODUÇÃO

A palavra aerossol surgiu, por volta de 1920, em analogia ao termo hidrosol, designação utilizada para definir uma suspensão líquida estável. Apesar da terminologia aerossol ser utilizada, popularmente, em referência a produtos pressurizados em embalagens tipo “spray”, o conceito científico é mais abrangente, incluindo nessa terminologia uma gama de fenômenos (CAVINATTO, 1991), entre os quais podemos incluir a fumaça, poeira, névoa, neblina ou nuvem (LIDDAMENT, 2000).

Contaminantes do ar interior contêm uma mistura complexa de aerossóis contendo fungos, bactérias e alérgenos, bem como partículas não biológicas incluindo fumaça de cigarro, as geradas durante cozimento e preparo de alimentos, partículas provenientes da queima de combustíveis de automóveis e gases, orgânicos e inorgânicos (HARGREAVES et al., 2003).

Bioaerossóis ou aerossóis biológicos são definidos como partículas biológicas presentes no ar, na forma sólida, líquida ou gasosa, que podem causar doenças infecciosas ou não quando inalados (STETZENBACH et al., 2004; LAUMBACH e KIPEN, 2005). As partículas sólidas ou líquidas de bioaerossol aderem-se firmemente a qualquer superfície (KUMAR e BISWAS, 2005) e, ao entrarem em contato umas com as outras, formam agregados, propriedade esta que as distingue dos aerossóis gasosos (CAVINATTO, 1991).

Indivíduos expostos aos microrganismos do ar, tanto do ambiente exterior como de ambientes interiores, podem apresentar, além de sintomas respiratórios, outras conseqüências adversas relacionadas à saúde, tais como: infecções, hipersensibilidade, pneumonias e reações tóxicas (MAINELIS e YAO, 2004). Os microrganismos do ar podem estar presentes na forma unicelular, aglomerados de células viáveis, fragmentos celulares não-viáveis ou ainda como conglomerados com pequenas partículas de poeira, água ou saliva contendo mais de um microrganismo por partícula (GÓRNY et al., 1999).

No aparelho respiratório, a profundidade que os bioaerossóis alcançam e sua interação com o hospedeiro dependem do tamanho, forma, densidade, composição química e reatividade, envolvendo mecanismos complexos condicionados aos parâmetros físicos e mecânicos das partículas, assim como das características morfofuncionais de cada região do trato respiratório (GÓRNY, 2004).

A diferença no diâmetro das partículas proporcionou um critério de classificação, que inclui três locais de deposição no trato respiratório: a) partículas inaláveis, consideradas extratorácicas, depositam-se na região da naso e orofaringe; b) partículas torácicas, na traquéia, brônquios principais e segmentares; c) partículas respiratórias, também chamadas de alveolares, depositam-se nos bronquíolos, ductos e sacos alveolares. A deposição das partículas no trato respiratório depende ainda da capacidade pulmonar total e está sujeita a fatores individuais, como idade, sexo, altura e peso (VICENT, 2005).

Partículas que entram no trato respiratório, dependendo do tamanho, podem se depositar por impacto, sedimentação, difusão ou precipitação eletrostática (GÓRNY, 2004; KUMAR e BISWAS, 2005). A maioria das partículas com diâmetro maior que 10 μm e 80% das partículas com diâmetro entre 5 -10 μm são retidas na região da nasofaringe através do impacto por inércia, resultado da formação anatômica dessa estrutura (OWEN et al., 1992). Para partículas cuja relação diâmetro e comprimento é alta (como cadeia de esporos e bactérias), dois mecanismos são descritos: 1) partículas que possuem diâmetro acima de 5 μm depositam-se nos brônquios, bronquíolos e alvéolos por mecanismos primários, tais como sedimentação e impacto, pois, nesses locais, a velocidade do ar é baixa e a probabilidade de deposição é diretamente proporcional ao tempo de permanência nessas estruturas anatômicas; 2) partículas com diâmetro menor que 0,5 μm são selecionadas por difusão, processo que resulta na precipitação eletrostática e na interação entre a superfície de contato e a carga da partícula (PASTUSZKA et al., 2000; GÓRNY, 2004; VICENT, 2005).

Dentre os inúmeros poluentes normalmente encontrados no interior das edificações, o material particulado representa a forma mais visível de poluição. As partículas internas têm como origem fontes internas quanto externas, entretanto as presentes nos interiores dos edifícios diferem das externas, não só no tamanho, como também na composição química. Internamente, as partículas ocorrem em frações finas, visto as fontes tenderem a produzir partículas pequenas e apresentarem maior quantidade de matéria orgânica que aquela encontrada no ar externo, devido, principalmente, às atividades desenvolvidas dentro da edificação (CARMO, 1999).

A composição química da matéria particulada do ar de interiores é bastante variável, constituindo-se de amianto, fibras minerais, fibras sintéticas, restos de insetos, resíduos alimentares, pólen e aerossóis de produtos de consumo (MÖNKKÖNEN et al., 2005). As partículas podem tornar-se aéreas com o atrito entre partes que se

movimentam, facilitando sua suspensão no ar, como o ato de varrer, tirar a poeira e velocidade do vento (CAVINATTO, 1991).

O termo matéria particulada total refere-se à matéria, em fase líquida e sólida no ar, que é coletável. Existem vários mecanismos pelos quais as partículas do ar em recintos fechado podem ser produzidas ou tornarem-se aéreas. Dentre as fontes internas destacamos pessoas, ventiladores, aparelhos de ar condicionado, nebulizadores, umidificadores, pisos, vasos de plantas e certos tipos de alimentos.

O atrito entre partes que se movimentam produz partículas sólidas. O varrer, tirar poeira ou limpar utilizando aspiração a vácuo facilita a ressuspensão de partículas sólidas; umidificadores e vários tipos de “sprays” produzem partículas líquidas. O ato de fumar, ou mesmo cozinhar, produz a condensação de aerossóis, tanto sólidos como líquidos, assim como o simples acionar da descarga de banheiros (BRICKUS e NETO, 1999). O solo, água, material orgânico em decomposição, poeira de construções e reformas representam as principais fontes externas de matéria particulada (MOSCATO, 2000).

Contaminantes biológicos são encontrados, em diversas concentrações, em todos os tipos de ambiente. No ambiente interno, vários fatores favorecem a emissão de agentes biológicos e/ou permitem a sua preservação, multiplicação e disseminação. A própria atividade humana induz grande variedade de contaminantes. O ser humano emite, além de odores corporais, pequenas partículas decorrentes da descamação da pele. A respiração contém bioefluentes; o tossir ou falar alto libera, aproximadamente, 10^4 perdigotos, enquanto que espirrar 10^6 (BJORN e NIELSEN, 2002; LYNCH e POOLE, 1979).

A atividade metabólica humana por si só altera a qualidade do ar por diminuir a concentração de oxigênio e aumentar a de dióxido de carbono. Respiração e transpiração adicionam vapor de água no ambiente, elevando a umidade relativa (CARMO, 1999). A ventilação é de fundamental importância para a remoção e diluição de contaminantes que são inevitavelmente emitidos no ambiente, mantendo a boa qualidade do ar interior (SHENDELL et al., 2004).

Sistema de ar condicionado em edificações é apontado como essencial na produtividade e crescimento econômico em áreas de clima quente. Atualmente, o ar condicionado é utilizado no mundo todo, geralmente combinado a sistemas de aquecimento e ventilação. A maioria desses sistemas tem como proposta dar conforto térmico e qualidade de ar aceitável aos ocupantes (FANGER, 2001).

Doenças relacionadas com a qualidade do ar de interiores são cada vez mais relatadas, sendo classificadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como Síndrome do Edifício Doente (SED) (GIODA, 2003). As principais características da SED, cujos sintomas ocorrem em número significativo de usuários, são: irritação das mucosas, efeitos neurotóxicos, sintomas respiratórios e cutâneos, alterações dos sentidos, náuseas, entre outros (JO e SEO, 2005; ROSS et al., 2004).

O diagnóstico da SED é, muitas vezes, eminentemente epidemiológico. Segundo a OMS, havendo ausência de patologias definidas, o diagnóstico é realizado pela existência de dois ou mais sintomas que se sucedem pelo menos duas vezes por semana, desde que ocorram no interior da edificação e que regredam quando o indivíduo afasta-se do ambiente (GIODA, 2003).

Fatores ambientais são apontados como causa potencial desses sintomas, incluindo níveis extremos de temperatura, redução da umidade, tamanho das partículas, insuficiência na provisão de ar fresco, movimentação excessiva do ar, contaminação microbiana, compostos orgânicos voláteis e presença de material particulado (NIVEN et al., 2000).

Atualmente, sintomas relacionados a SED não se restringem apenas aos locais de trabalho, mas também a outros ambientes fechados em que pessoas permanecem grande parte do seu tempo, como residências, escolas, hospitais, ou seja, ambientes não industriais. Estudos revelam que a má qualidade do ar pode estar associada à ausência e ao baixo desempenho de alunos nas escolas (SHENDELL et al., 2004).

Apesar das sucessivas pesquisas, ainda não se conseguiu definir a causa da SED, citando-se como as mais prováveis: ventilação inadequada (52%), contaminantes químicos provenientes de fontes interiores (16%), contaminantes químicos provenientes de fontes exteriores (10%), contaminantes biológicos (5%) (LEMOS, 1997).

A ventilação mecânica é amplamente utilizada para assegurar um ambiente interior aceitável, empregada para arejar um recinto fechado levando em conta a saúde, conforto e produtividade dos ocupantes (ENGVALL et al., 2005), tendo como função a remoção e diluição dos poluentes internos, manutenção da umidade e temperatura (WARGOCKI et al., 2002).

A relação entre ventilação em ambientes interior e efeitos na saúde tem sido revisada e há evidências de que a taxa de ventilação de 10L/s por pessoa reduz sintomas relacionados a SED (GODISH e SPENGLER, 1996), sendo diminuídos quando os

níveis de CO₂ estão abaixo de 800ppm (SEPPANEN et al., 1999). A concentração de CO₂ no ambiente tem sido utilizado como método alternativo para estimar se está ocorrendo uma ventilação adequada (ENGVALL et al., 2005).

A contaminação microbiana de ambientes com sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado tem recebido considerável atenção nos últimos anos. Alguns estudos sugerem que materiais porosos orgânicos utilizados na construção, bandejas e umidificadores de condicionadores sem manutenção, ou mesmo, a simples ocupação do ambiente possam ser fontes de poluentes biológicos. Em ambientes climatizados, o condicionamento é o processo de tratamento do ar, destinado a manter os requerimentos de qualidade do ar interior do espaço, que controla variáveis como temperatura, umidade, velocidade, material particulado, partículas biológicas e teor de dióxido de carbono (WU et al., 2004).

Alguns estudos documentam que a qualidade do ar interior possui influência significativamente positiva na produtividade dos trabalhadores (FANGER, 2001). Ventilação inadequada, com reduzida troca de ar, e manutenção insatisfatória do equipamento podem resultar em concentrações elevadas de CO₂ e aerodispersóides no ambiente. A qualidade do ar interior também pode ser resultante do processo de ocupação de um ambiente fechado, com ou sem climatização artificial (GUO et al., 2004).

Nas últimas décadas, a qualidade do ar interior vem sendo objeto de atenção, em decorrência da maior permanência dos indivíduos em ambientes fechados (GUO et al., 2004; WU et al., 2004). Estudos recentes em diferentes ambientes internos, condicionado e não condicionado, tais como escritórios, residências, shoppings e restaurantes demonstram que a concentração de poluentes no interior desses locais é maior que a presente no ambiente externo (LAWRENCE et al., 2004; USTINAVICIENÉ et al., 2004).

Sistemas de ventilação mecânica e ar condicionado são utilizados para gerar conforto aos ocupantes, porém, quando mal dimensionados, podem promover baixa renovação do ar diminuindo a sua qualidade (SHENDELL et al., 2004). A incorreta utilização e manutenção desses sistemas também são consideradas fontes poluentes do ar, gerando modificações na temperatura e umidade dos ambientes (GUO et al., 2004).

A contaminação microbiológica do ar interno pode estar relacionada com falhas no projeto da edificação, sistema de ventilação ou ar condicionado que, associados às condições ambientais favoráveis de temperatura e umidade relativa,

permitem a preservação e proliferação de microrganismos nesses ambientes (WU et al., 2004). A concentração de aerossóis biológicos e a sobrevivência de microrganismos em um ambiente ainda são dependentes de outras variantes, como tempo de permanência e composição química do ar (LIGHTHART, 1973). Ainda não existe limite microbiológico de exposição e acredita-se que tais limites possam ser estabelecidos pelas espécies ou subgrupos de microrganismo (EDUARD e HEEDERIK, 1998).

O Governo Federal Brasileiro, através da LEI nº. 9294, ART. 02 de 15/07/1996, regulamentada pelo Decreto nº. 2.018, de 01/10/1996, proibiu, dentre outras restrições, o fumo em locais fechados de uso coletivo (BRASIL, 1996), demonstrando os primeiros sinais da importância da qualidade de ar interior.

O Ministério da Saúde, em 28 de agosto de 1998, publicou a Portaria 3.523 contendo Regulamento Técnico, cujo objetivo foi *“promover o estabelecimento de medidas referentes à limpeza dos sistemas de climatização e medidas específicas de padrões da qualidade do ar identificando poluentes de natureza física, química e biológica com suas respectivas fontes, visando a prevenção de riscos à saúde dos ocupantes desses ambientes”* (BRASIL, 1998). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em decorrência da Portaria nº 3.523, publicou a Resolução nº 176 de 24 de outubro de 2000 com algumas orientações técnicas sobre *“Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo”* (BRASIL, 2000). Essa Resolução definiu os parâmetros mínimos para uma boa qualidade do ar de interiores, como concentração de CO₂, material particulado, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, cujos desequilíbrios podem causar agravos à saúde dos ocupantes.

Em 16 de janeiro de 2003, a RESOLUÇÃO nº 9 da ANVISA recomenda que os órgãos competentes de Vigilância Sanitária, com o apoio de outros órgãos governamentais, órgãos representativos da comunidade e ocupantes de ambientes climatizados, utilizem essa Orientação Técnica como instrumento referencial para a realização de inspeções e de outras ações pertinentes em ambientes climatizados de uso público e coletivo (BRASIL, 2003).

Os contaminantes que podem influenciar na qualidade do ar ambiente e devem ser inspecionados são:

1. Dióxido de carbono (CO₂)

Parâmetro: Concentração de CO₂ £ 1.000 ppm

O dióxido de carbono é um gás incolor, inodoro e não inflamável obtido a partir da queima de combustíveis fósseis, como a gasolina (fumaça do cano de descarga de automóveis), presente na fumaça de cigarros e formado em processos metabólicos, como a respiração de seres humanos e animais. A concentração de CO₂ em ambientes interiores depende dos níveis externos deste gás e da taxa de produção dentro do estabelecimento, servindo como um bom indicador do nível de ventilação e renovação do ar. Apesar de ser um gás relativamente atóxico, o acúmulo de CO₂ no ambiente provoca o aumento da sensação de abafamento, calor e falta de ar nos ocupantes e é indicativo de que o ambiente é incapaz de diluir concentrações de poluentes químicos mais nocivos, como o dióxido de nitrogênio (também presente na composição da fumaça dos cigarros) e o formaldeído, utilizado na fabricação de materiais de limpeza.

2. Parâmetros físicos de conforto:

23°C £ Temperatura (T) £ 26°C

40% £ Umidade Relativa (UR) £ 65%

Velocidade do Ar (Var) £ 0,25m/s

As medições da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar têm por objetivo verificar o nível de conforto proporcionado pelo ambiente aos seus ocupantes. O não atendimento aos critérios da legislação indica que, além de desconforto, o ambiente torna-se mais favorável à proliferação de fungos e outros poluentes biológicos, além do aumento das concentrações de poluentes químicos. Portanto, apesar de não terem uma ligação direta com questões de saúde pública e, com isso, níveis de criticidade inferior aos demais, os parâmetros de conforto podem contribuir para o agravamento de situações de risco existentes em ambientes artificialmente climatizados.

3. Aerodispersóides (matéria particulada)

Parâmetro: Concentração de matéria particulada £ 80 mg/m³

Entende-se por matéria particulada, a mistura física e química de diversas substâncias que se encontra em suspensão no ar, sob a forma de sólidos, poeira, ou líquidos, como aerossóis, por exemplo. A quantificação de aerodispersóides presentes no ar ambiental é um bom indicador da eficiência dos filtros e do acúmulo de sujidades no interior dos dutos dos sistemas de climatização artificiais.

4. Padrão de normalidade para fungos (I/E)

Parâmetro: I/E £ 1,5

A contagem de fungos do ar interno é comparada a presente no ar externo, ou seja, compara-se a presente no ambiente externo a qual os indivíduos estariam expostos. A contaminação do ar interno pode ocorrer sob certas circunstâncias, sendo que, na maioria das vezes, está relacionada a uma falha no projeto do edifício, no sistema de ventilação ou ar condicionado, que, associada às condições ambientais favoráveis de temperatura e umidade relativa, permite a proliferação de microorganismos.

Os padrões referenciais de qualidade do ar interior são marcadores qualitativos e quantitativos utilizados como sentinela para determinar a necessidade de busca de fontes poluentes ou intervenções ambientais. Apesar de todo o esforço empreendido pela ANVISA, ainda faltam critérios que avaliem a adequação dos procedimentos adotados pelas empresas de manutenção dos sistemas de climatização, ou seja, se tais procedimentos refletem diretamente na qualidade do ar interior. O Grupo Técnico Assessor de estudos sobre padrões referenciais de qualidade do ar solicita que pesquisas sejam conduzidas para avaliar e corrigir situações que possam oferecer risco à segurança, bem-estar e conforto dos ocupantes de ambientes fechados (BRASIL, 2003).

Em virtude da já comprovada importância da qualidade do ar em ambientes fechados, muito embora ainda não haja uma plena conscientização por parte da população da importância da qualidade do ar de interiores, espera-se que o bem estar dos indivíduos que, temporariamente, fazem uso de ambientes coletivos possa ser garantido, mas que, principalmente, a saúde de trabalhadores que permanecem no ambiente durante todo o expediente, seja preservada. No Brasil, estudos sobre a qualidade de ar são escassos e muitos parâmetros precisam ser redefinidos.

O impacto do conforto térmico induzido por sistemas de climatização aos usuários de ambientes de uso público e coletivo é indiscutível, principalmente em períodos do ano onde a temperatura está elevada. Considerando o atual estágio de conhecimento na área de ar ambiental interior, a proposta desse estudo foi comparar contaminantes químicos, físicos e biológicos presentes no ar de ambiente não climatizado e climatizado, de uso público e coletivo bem como a influência da ocupação nos parâmetros ambientais.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do ar interior de ambiente fechado, com e sem climatização, de uso público e coletivo.

Objetivos Específicos

- I. Acompanhar alterações dos indicadores de qualidade de ar por um período de tempo;
- II. Relacionar a concentração de bioaerossóis bacterianos e fúngicos a outros indicadores de qualidade do ar interior;
- III. Avaliar a influência da ocupação na qualidade do ar;
- IV. Determinar a correlação das variáveis ambientais em dois períodos do ano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Ambientes interiores de duas edificações de uso público e coletivo, localizadas na cidade de Araraquara, foram selecionadas para a avaliação da qualidade do ar, no período de junho a setembro de 2005 (amostragem 1) e de janeiro a abril de 2006 (amostragem 2), sendo um naturalmente ventilado e outro climatizado. Na primeira amostragem, as medições foram realizadas antes do início do atendimento ao público (horário 1) e de 30 em 30 minutos, após início do expediente, num total de 6 ciclos (3 horas); na amostragem 2, as coletas foram realizadas de uma em uma hora, também antes e após o início do expediente, num total de 6 horas, obedecendo aos critérios utilizados anteriormente.

Os parâmetros de conforto e poluição temperatura, umidade relativa, velocidade média do ar, aerossóis bacterianos, aerossóis fúngicos, concentração de CO₂ foram determinados, simultaneamente, em todas as medições na amostragem 1. Concentração de partículas foi incluída na amostragem 2. O número de ocupantes dos ambientes foi estimado em cada um dos ciclos nas duas etapas.

As amostragens foram realizadas sempre no mesmo local do ambiente conforme as especificações de coletas dos padrões referenciais de Qualidade do Ar Interior recomendados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, de acordo com a Resolução RE nº 176 de 24 de outubro de 2000 (BRASIL, 2000).

a) Concentração de aerossóis bacterianos e fúngicos

A amostragem do ar para análise microbiológica dos ambientes foi realizada utilizando-se o amostrador de ar de um estágio MAS-100 (Merck, EUA), que aspira um volume de ar definido, através de placa perfurada, transmitindo-o diretamente para a superfície do meio de cultura contido em placa de Petri (padrão 90 mm). O aparelho permite que partículas em suspensão, com diâmetro maior que 1µm, sejam aspiradas. Duzentos litros de ar foram coletados em placas contendo agar soja tripticaseína (Acumedia, Canadá) adicionado de 0,5 g/L de cicloheximida (Sigma) e agar Sabouraud dextrose com cloranfenicol (Acumedia, Canadá) para contagem total de bactérias e fungos, respectivamente. As placas foram incubadas a 37°C e analisadas após 24 horas para determinação da concentração bacteriana e a 25°C por 48 horas para a concentração de fungos. A tabela de conversão do aparelho foi utilizada para a

determinação do número total de Unidade Formadora de Colônia (UFC)/m³ de ar. A concentração de bactérias e fungos foi calculada para cada ambiente, dia e hora do dia.

b) Concentração de dióxido de carbono

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) foi determinada através de monitor com sensor infravermelho de 2 canais, escala de 0 a 9999 ppm, TESTO 535 (BSRIA Instrument Solution, Inglaterra), para cada ambiente, dia e hora do dia. O aparelho foi colocado a uma altura de, aproximadamente, 1,5 m do piso para detectar as variações em cada amostragem.

c) Concentração de partículas

Para monitorar a concentração de aerodispersóides (µg/m³) foi utilizado o monitor de partículas em tempo real Air-Aide Modelo 3000 (HAZ-DUST), que aspira partículas torácicas cujo tamanho varia de 0.1 a 50 µm. O aparelho usa o princípio de varredura por dispersão óptica para medir a concentração de partículas aerotransportadas. Este princípio utiliza uma fonte de luz infravermelha posicionada em ângulo de 90 graus do fotodetector. As partículas aerotransportadas entram na câmara passando pelo feixe de luz, sendo que a quantidade de luz recebida é diretamente proporcional a concentração de partículas.

c) Parâmetros físicos de conforto

Os parâmetros temperatura (°C), umidade relativa (%) e velocidade do ar (Km/h) foram obtidos utilizando-se o anemômetro digital portátil NK 3000 (Kestrel, Inglaterra), posicionado a uma altura de, aproximadamente, 1,5 m do piso, para cada ambiente, dia e hora do dia.

d) Análise dos dados

Estatísticas descritivas foram utilizadas para analisar o comportamento dos dados experimentais entre o ambiente naturalmente ventilado e climatizado. O teste não-paramétrico de Mann-Whitney foi utilizado para a comparação das medianas, ao invés das médias, para cada variável e ambiente. Não foi utilizado nestas comparações um teste paramétrico (como o Teste t), pois não houve condições estatísticas entre as médias para empregá-lo.

A análise comparativa das variáveis ambientais do ar no ambiente ventilado e climatizado foi realizada pela avaliação dos coeficientes de Correlação de Pearson (R), analisada pelo valor de R, que fornece o grau de associação linear entre duas variáveis, bem como para o número de ocupantes. Quanto maior a proximidade dos pontos em relação à reta, melhor a descrição do comportamento das variáveis. Para a certificação da significância da correlação entre os parâmetros, o valor de p foi calculado e considerado significativo ao nível menor que 1%.

4 RESULTADOS

Durante os meses de junho a setembro de 2005 (primeira amostragem), foram realizadas 78 medições, sendo 36 no ambiente ventilado e 42 no ambiente climatizado. Os parâmetros obtidos foram: dióxido de carbono (ppm), UFC bacteriana/m³, UFC fúngica/m³, umidade relativa do ar (%), velocidade (Km/h) e temperatura (°C).

As variáveis ambientais, medidas de 30 em 30 minutos, no ambiente ventilado e climatizado estão demonstradas no Quadro 1. Ressalta-se que maiores variações foram observadas para a taxa de CO₂ e concentração bacteriana nos dois tipos de ambientes, sendo que os demais parâmetros não apresentaram alterações durante o período de 3 horas. Estatística descritiva foi empregada para caracterizar o comportamento dessas variáveis nos ambientes, independentemente do horário (Tabela 1). Exceto para a concentração bacteriana diferença significativa entre os dois ambientes foi observada quando a mediana dos parâmetros foi analisada. Nota-se que a taxa de CO₂, concentração bacteriana e fúngica foram menores no ambiente ventilado.

Com o objetivo de verificar a influência dos parâmetros ambientais na variação de UFC/m³ de ar para concentração bacteriana e fúngica realizou-se análise comparativa através do coeficiente de Pearson. Os Quadros 2 e 3 apresentam o grau de relacionamento dessas variáveis e a significância da linearidade foi considerada somente para o valor de p ao nível < 1% (Tabela 2). Os resultados demonstraram que os parâmetros que influenciaram a concentração de bioaerossóis no ambiente ventilado não foram os mesmos para o ambiente climatizado. Pelos valores de p obtidos, nota-se que existe significância na correlação entre UFC bacteriana e fúngica e umidade relativa no ambiente ventilado e apenas a temperatura apresentou correlação com a concentração de bactérias no ambiente climatizado.

Um dos principais objetivos desse estudo foi avaliar a relação entre a taxa de ocupação e os parâmetros ambientais. Assim, as variáveis foram correlacionadas ao número de ocupantes em cada amostragem. A comparação entre os ambientes também foi analisada através do coeficiente de Pearson (Quadro 4). A significância dessa correlação (ocupação x parâmetros ambientais) demonstrou ocorrer para a concentração

bacteriana e taxa de CO₂ no ambiente ventilado e para a concentração bacteriana, taxa de CO₂ e temperatura no ambiente climatizado (Tabelas 3 e 4).

De acordo com os resultados obtidos na primeira amostragem observou-se que:

1. Não houve alteração significativa dos parâmetros ambientais ao longo de um período de 3 horas, exceto quanto à taxa de CO₂ determinada no primeiro horário, quando o estabelecimento ainda não havia sido aberto ao público (Quadro 1);
2. Com exceção da concentração bacteriana, os demais parâmetros demonstraram diferenças entre os dois ambientes, sendo a umidade relativa e velocidade do ar maior no ambiente naturalmente ventilado e a concentração de fungos, taxa de CO₂ e temperatura no ambiente climatizado (Tabela 1);
3. A concentração de bioaerossóis bacteriano e fúngico demonstraram relação inversa com a umidade relativa do ar no ambiente naturalmente ventilado e que a concentração de bactérias no ambiente climatizado sofreu influência positiva da temperatura (Tabela 2);
4. O número de ocupantes apresentou relação direta com a concentração bacteriana e taxa de CO₂ nos dois ambientes (Tabelas 3 e 4);
5. A elevação da temperatura foi relacionada com a taxa de ocupação no ambiente climatizado (Tabela 4);
6. A comparação dos ambientes através do coeficiente de correlação de Pearson (significativo ao nível menor que 1%) demonstrou que no:
 - a) Ambiente naturalmente ventilado
 - A aerobiota bacteriana e fúngica sofreram influência negativa da umidade relativa do ar, ou seja, quanto menor a umidade relativa maior a concentração de microrganismos no ar;
 - A aerobiota bacteriana foi influenciada de forma positiva pelo número de ocupantes, demonstrando que o aumento do número de pessoas favorece a concentração de bactérias no ar;
 - A taxa de CO₂ sofreu influência positiva da temperatura e do número de pessoas.
 - b) Ambiente climatizado
 - A aerobiota bacteriana demonstrou sofrer influência positiva da temperatura e número de ocupantes;

- A taxa de CO₂ foi influenciada de forma positiva pelo número de ocupantes;
- A temperatura demonstrou ser positivamente influenciada pela velocidade do ar.

Durante o período de janeiro a abril de 2006, correspondente à segunda amostragem, foram realizadas 78 coletas, nos mesmos ambientes públicos, sendo 36 no ambiente ventilado e 42 no climatizado. Os parâmetros determinados foram: dióxido de carbono (ppm), UFC bacteriana/m³, UFC fúngica/m³, umidade relativa do ar (%), velocidade (Km/h), temperatura (°C) e concentração de partículas (µg/m³). As variáveis ambientais, medidas de uma em uma hora, estão demonstradas no Quadro 5.

Ressalta-se que maiores variações foram observadas para a taxa de CO₂, concentração bacteriana nos dois tipos de ambientes, durante o período de 6 horas. A concentração de partículas mostrou aumentar com tempo somente no ambiente climatizado. Estatística descritiva foi empregada para caracterizar o comportamento dessas variáveis nos ambientes, independentemente do horário (Tabela 5). A concentração bacteriana, concentração de fungos e temperatura não apresentaram diferença significativa entre os dois ambientes quando a mediana desses parâmetros foi analisada. Nota-se que a taxa de CO₂ e concentração de partículas apresentaram mediana menor no ambiente ventilado que a obtida no climatizado.

Com o objetivo de verificar a influência dos parâmetros ambientais na variação de UFC/m³ de ar para concentração bacteriana e fúngica, realizou-se análise comparativa através do coeficiente de Pearson. Os Quadros 6 e 7 apresentam o grau de relacionamento dessas variáveis e a significância da linearidade foi considerada somente para o valor de p ao nível < 1% (Tabela 6). Os resultados demonstraram que os parâmetros que influenciaram a concentração de bioaerossóis bacterianos não foram os mesmos que influenciaram a concentração de fungos. Pelos valores de p obtidos, nota-se que existe significância apenas na correlação entre UFC fúngica e concentração de partículas no ambiente ventilado. A aerobiota bacteriana não foi relacionada com nenhum dos parâmetros nesse ambiente. No ambiente climatizado, houve correlação significativa entre UFC bacteriana e taxa de CO₂, umidade relativa e concentração de partículas. A aerobiota fúngica não foi relacionada com nenhuma das variáveis nesse ambiente.

Um dos principais objetivos desse estudo foi avaliar a relação entre a taxa de ocupação e os parâmetros ambientais incluindo a concentração de partículas. Assim, as variáveis foram correlacionadas ao número de ocupantes em cada amostragem. A comparação entre os ambientes também analisada através do coeficiente de Pearson que é apresentada no Quadro 8. A ocupação demonstrou correlação com a taxa de CO₂, UFC bacteriana e concentração de partículas no ambiente ventilado. No ambiente climatizado essa correlação ocorreu para os mesmos parâmetros observados no ambiente ventilado além da UFC fúngica e umidade.

A concentração de partículas foi analisada em relação aos demais parâmetros ambientais, visando à observação da sua influência, principalmente, sobre a aeromicrobiota. O Quadro 9 apresenta as variações dos parâmetros ambientais em relação à presença de partículas sólidas com tamanho de 0,1 a 50 µm. A concentração de partícula foi relacionada à taxa de CO₂ nos dois ambientes.

Os coeficientes de correlação de Pearson para todas as variáveis avaliadas nessa segunda amostragem demonstraram que no ambiente ventilado a concentração de partículas influenciou a aerobiota fúngica e umidade relativa do ar. Nesse ambiente, o número de pessoas apresentou relação com a taxa de CO₂ (Tabela 7). No ambiente climatizado, a concentração de aerodispersóides influenciou a concentração bacteriana, sofrendo também a influência da umidade relativa e temperatura. O número de pessoas foi significativo quando relacionado com a taxa de CO₂, aeromicrobiota e umidade relativa do ar (Tabela 8).

De acordo com os resultados obtidos na segunda amostragem observou-se que:

1. A taxa de CO₂ e concentração bacteriana sofreram maiores variações nos dois tipos de ambientes, durante o período de 6 horas. A concentração de partículas mostrou aumentar com tempo somente no ambiente climatizado (Quadro 5);
2. A concentração bacteriana, fúngica e temperatura não demonstraram diferenças significativas entre os dois ambientes, sendo a umidade relativa do ar maior no ambiente naturalmente ventilado e a taxa de CO₂, temperatura e concentração de partículas no ambiente climatizado (Tabela 5);

3. A aeromicrobiota demonstrou uma relação direta com a umidade relativa do ar nos dois tipos de ambiente. Podemos observar, ainda, que a taxa de CO₂ influenciou a concentração de bactérias no ambiente climatizado (Tabela 6);
4. A concentração de partículas apresentou relação com a concentração de fungos no ambiente ventilado e com a concentração de bactérias no ambiente climatizado;
5. O número de ocupantes apresentou relação direta com a concentração bacteriana e fúngica no ambiente climatizado;
6. A comparação dos ambientes através do coeficiente de correlação de Pearson (significativo ao nível menor que 1%) demonstrou que no:

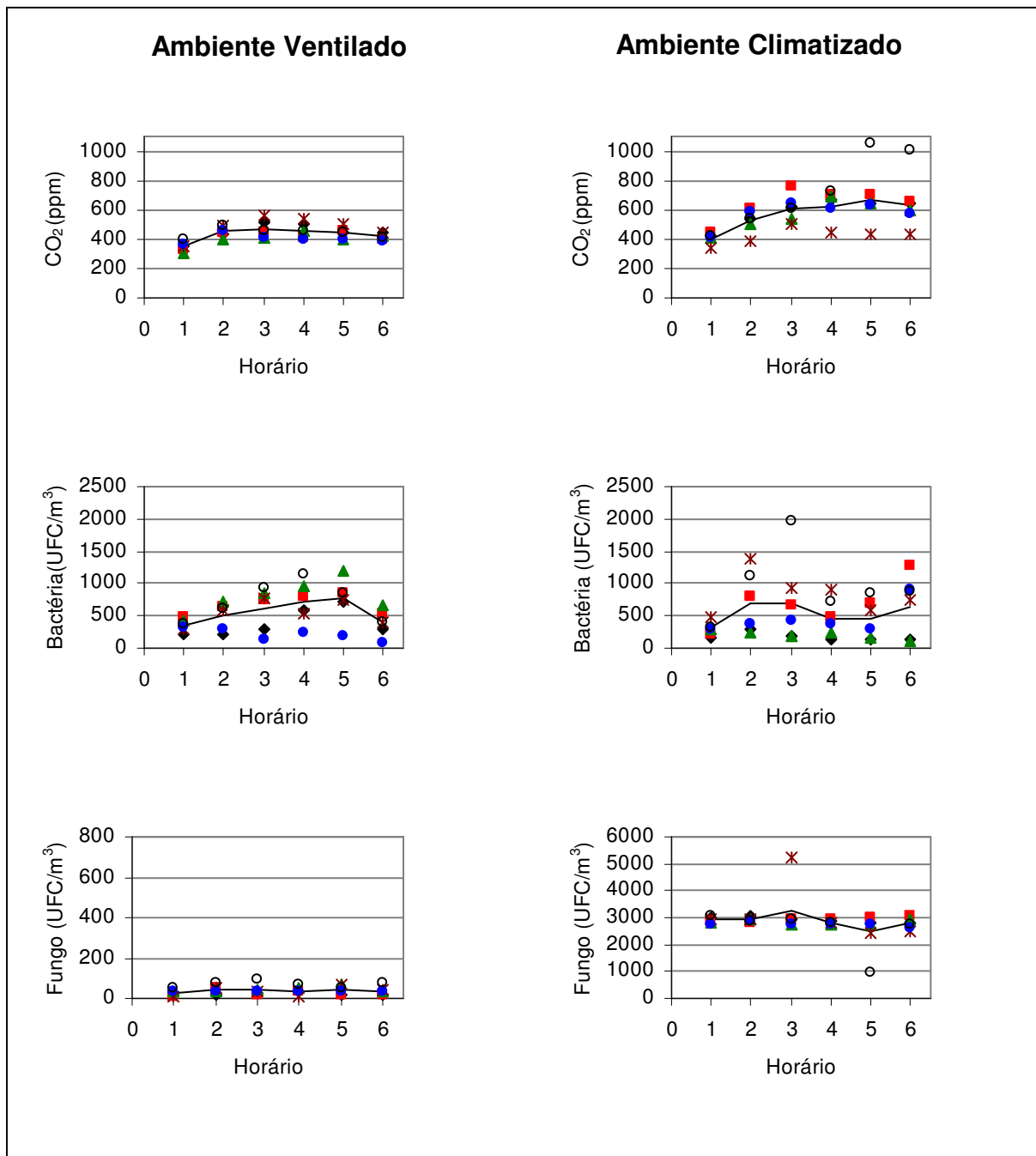
a) Ambiente naturalmente ventilado:

- A aerobiota fúngica foi influenciada, positivamente, pela umidade relativa do ar e concentração de partículas;
- A aerobiota bacteriana não foi influenciada por nenhum dos parâmetros avaliados;
- A umidade relativa influenciou de forma positiva a concentração de partículas;
- A taxa de CO₂ foi influenciada de forma positiva pelo número de ocupantes, ou seja, quanto maior o número de pessoas no ambiente, maior a concentração de CO₂.

b) Ambiente climatizado:

- A aerobiota fúngica não foi influenciada por nenhum dos parâmetros avaliados;
- A aerobiota bacteriana foi influenciada pela taxa de CO₂, umidade relativa e concentração de partículas;
- A concentração de partículas foi influenciada de forma positiva pela umidade relativa e de forma negativa pela temperatura;
- O número de ocupantes influenciou de forma positiva a taxa de CO₂, aerobiota bacteriana, aerobiota fúngica e umidade relativa.

Quadro 1 – Medições das variáveis no ambiente ventilado e climatizado de uso público, determinadas antes da abertura ao expediente (1) em intervalos consecutivos de 30 minutos durante um período de 3 horas (junho a setembro de 2005)



Quadro 1 – continuação

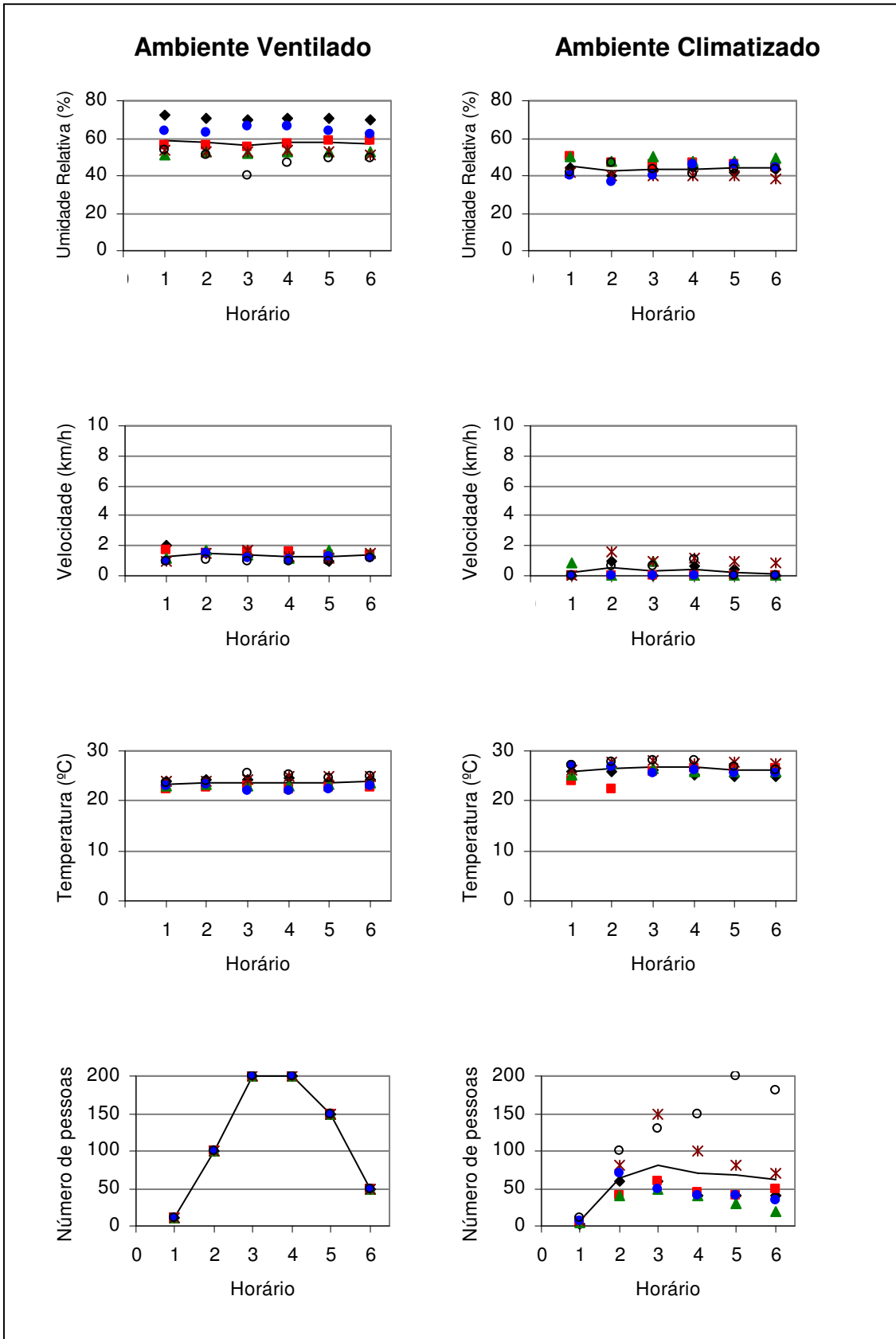
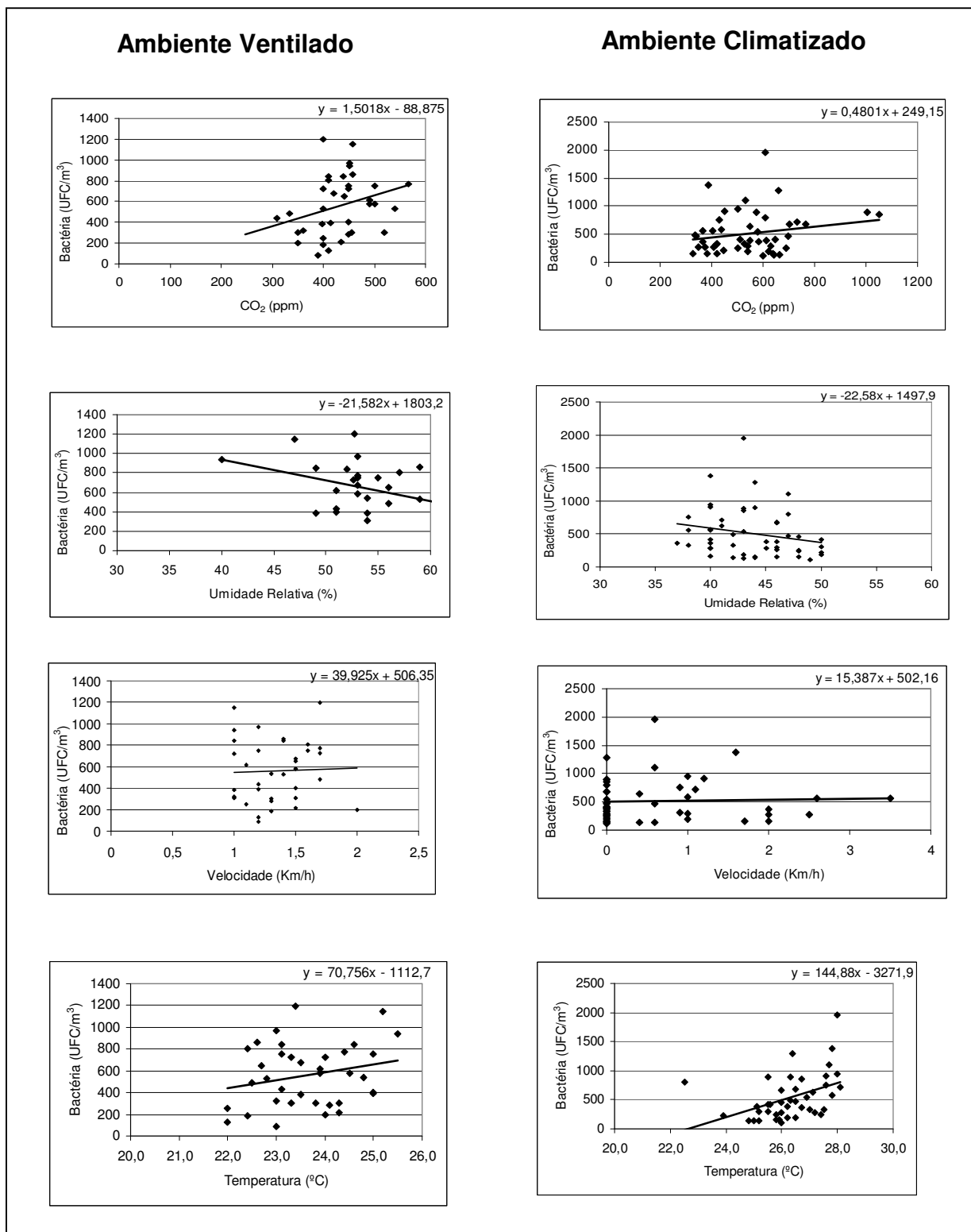


Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis de ambientes de uso público com ou sem climatização (junho a setembro de 2005)

| Variável | Estatística | Ambiente | | MW ¹ | t ² |
|--------------------------------------------|---------------|-----------|-------------|-----------------|----------------|
| | | Ventilado | Climatizado | | |
| CO₂ (ppm) ^(a) | Mínimo | 310 | 337 | | |
| | Máximo | 566 | 1050 | | |
| | Mediana | 446,8 | 606,0 | ** | |
| | Média | 432,0 | 576,0 | | ** |
| | Desvio padrão | 42,6 | 125,4 | | |
| Bactérias (UFC /m³) | Mínimo | 85 | 110 | | |
| | Máximo | 1197 | 1955 | | |
| | Mediana | 645,0 | 460,0 | ns | |
| | Média | 559,9 | 540,8 | | ns |
| | Desvio padrão | 262,7 | 391,8 | | |
| Fungos (UFC /m³) | Mínimo | 10 | 989 | | |
| | Máximo | 90 | 5256 | | |
| | Mediana | 35,3 | 2872,5 | ** | |
| | Média | 38,0 | 2862,8 | | ** |
| | Desvio padrão | 20,9 | 473,5 | | |
| Umidade relativa (%) | Mínimo | 40 | 37 | | |
| | Máximo | 72 | 50 | | |
| | Mediana | 55,3 | 44,0 | ** | |
| | Média | 57,6 | 44,0 | | ** |
| | Desvio padrão | 8,6 | 3,8 | | |
| Velocidade (km/h) | Mínimo | 1,0 | 0,0 | | |
| | Máximo | 2,0 | 1,6 | | |
| | Mediana | 1,3 | 0,0 | ** | |
| | Média | 1,3 | 0,3 | | ** |
| | Desvio padrão | 0,3 | 0,5 | | |
| Temperatura (°C) | Mínimo | 22,0 | 22,5 | | |
| | Máximo | 25,5 | 28,1 | | |
| | Mediana | 23,7 | 26,3 | ** | |
| | Média | 23,6 | 26,3 | | ** |
| | Desvio padrão | 1,0 | 1,2 | | |

¹ teste de Mann-Whitney; ² teste t; ** diferença significativa entre medianas ou entre médias ao nível menor do que 1%; ns sem evidência de diferença significativa, ^(a) sem o horário inicial

Quadro 2 – Relação entre aerobiota bacteriana em UFC/m³ de ar e variáveis no ambiente naturalmente ventilado e climatizado (junho a setembro de 2005)



Quadro 3 – Relação entre aerobiota fúngica em UFC/m³ de ar e variáveis no ambiente naturalmente ventilado e climatizado (junho a setembro de 2005)

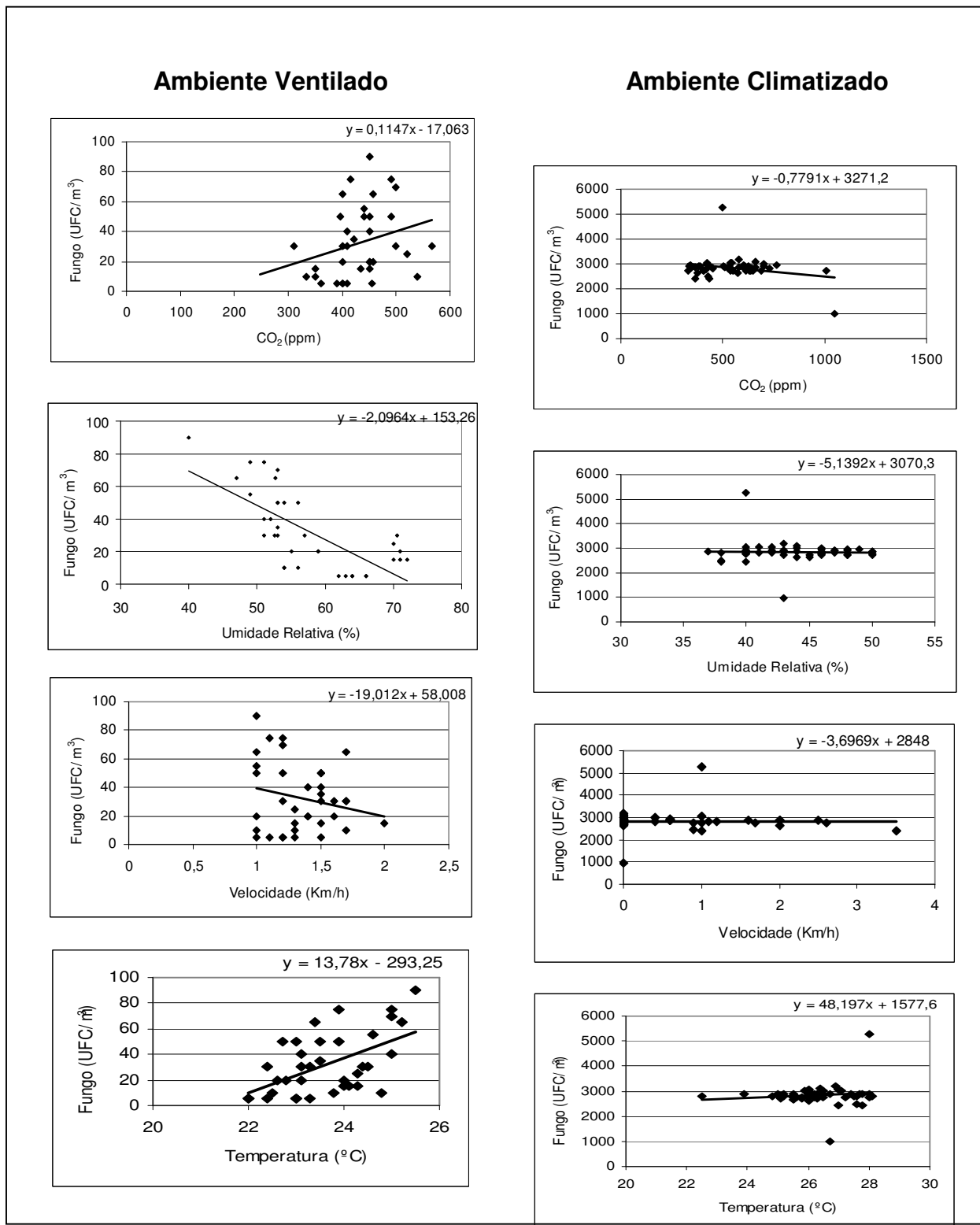
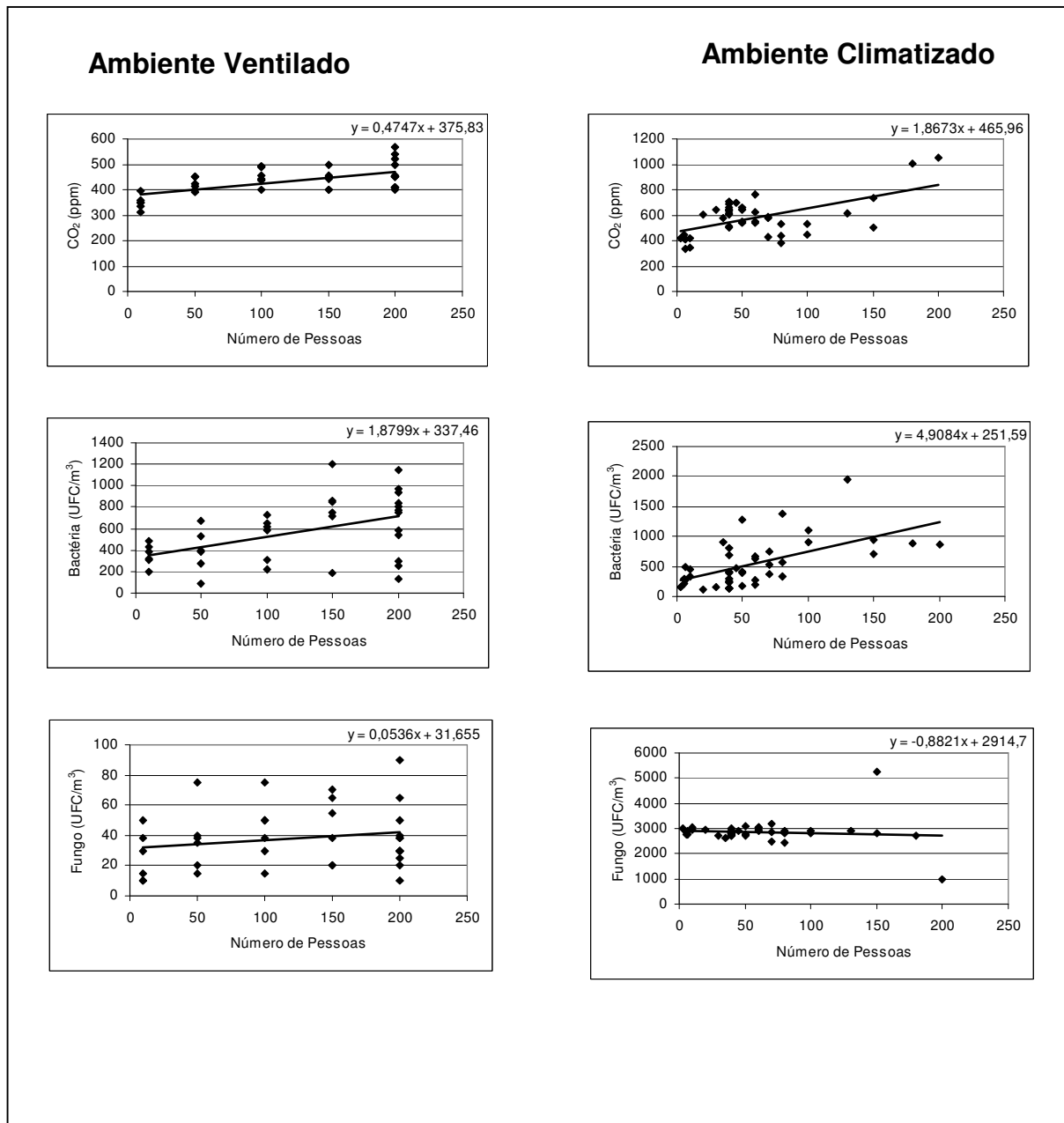


Tabela 2 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as concentrações dos aerossóis bacterianos e fúngicos e as demais variáveis ambientais no ambiente ventilado e climatizado (junho a setembro de 2005)

| Parâmetro | Ambiente Ventilado | | Ambiente Climatizado | |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | Bactéria (UFC/ m ³) | Fungo (UFC/ m ³) | Bactéria (UFC/ m ³) | Fungo (UFC/ m ³) |
| CO ₂ (ppm) | 0,29 | 0,17 | 0,12 | -0,35 * |
| Umidade relativa (%) | -0,60 ** | -0,60 ** | -0,24 | -0,07 |
| Velocidade (km/h) | 0,04 | -0,38 * | 0,35 * | 0,18 |
| Temperatura (°C) | 0,23 | 0,34 * | 0,43 ** | 0,14 |

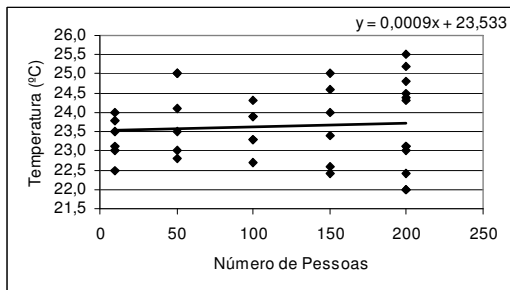
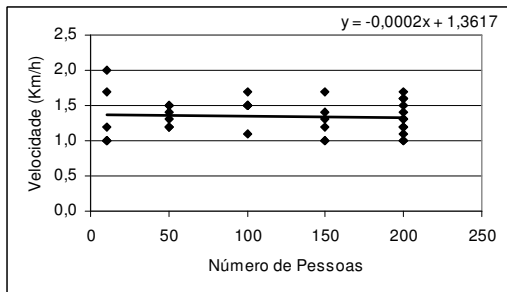
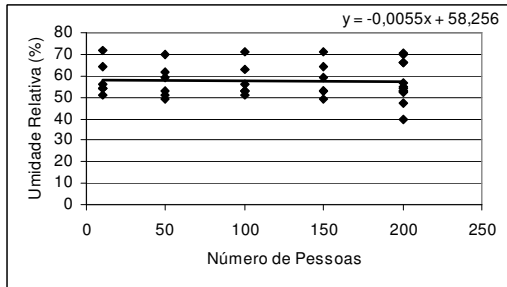
* significativo ao nível entre 1% e 5%, ** significativo ao nível menor do que 1%

Quadro 4 - Relação entre número de ocupantes e variáveis no ambiente naturalmente ventilado e climatizado (junho a setembro de 2005)



Quadro 4 – continuação

Ambiente Ventilado



Ambiente Climatizado

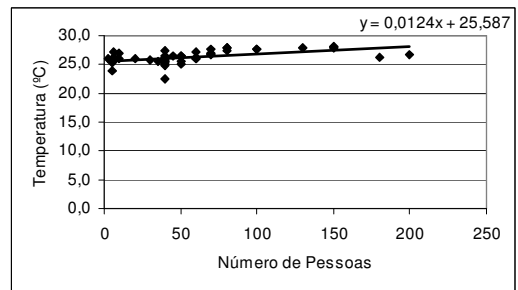
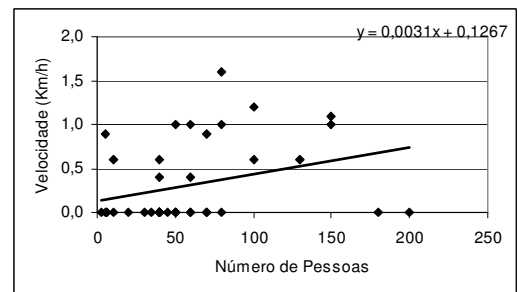
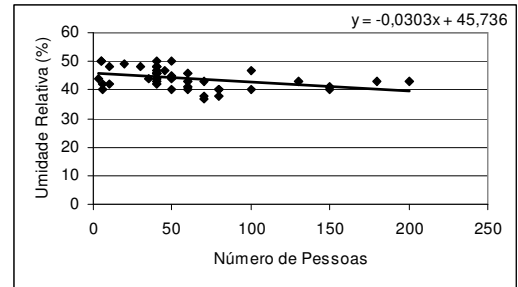


Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente naturalmente ventilado (junho a setembro de 2005)

| | CO ₂ (ppm) | Bactéria (UFC/m ³) | Fungo (UFC/m ³) | Umidade (%) | Velocidade (Km/h) | Temperatura (°C) | Número de pessoas |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| CO ₂ (ppm) | - | 0,29 | 0,17 | -0,05 | 0,01 | 0,50 ** | 0,62 ** |
| Bactéria (UFC/ m ³) | 0,29 | - | 0,41 * | -0,60 ** | 0,04 | 0,23 | 0,48 ** |
| Fungo (UFC/ m ³) | 0,17 | 0,41 * | - | -0,60 ** | -0,38 * | 0,34 * | 0,19 |
| Umidade relativa (%) | -0,05 | -0,60 ** | -0,60 ** | - | 0,18 | -0,30 | -0,05 |
| Velocidade (Km/h) | 0,01 | 0,04 | -0,38 * | 0,18 | - | -0,17 | -0,05 |
| Temperatura (°C) | 0,50 ** | 0,23 | 0,34 * | -0,30 | -0,17 | - | 0,07 |
| Número de pessoas | 0,62 ** | 0,48 ** | 0,19 | -0,05 | -0,05 | 0,07 | - |

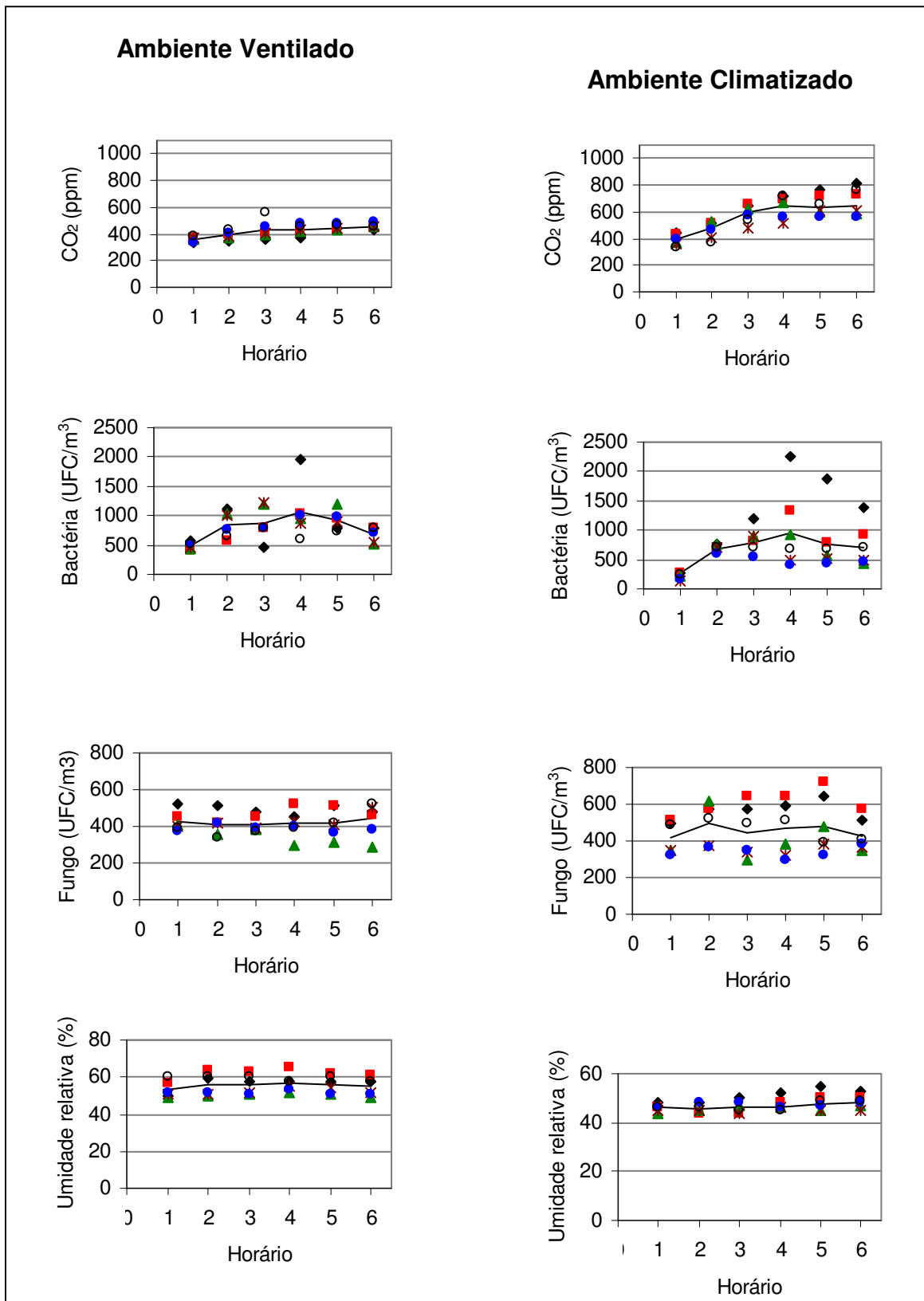
* significativo ao nível entre 1% e 5%, ** significativo ao nível menor do que 1%

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente climatizado (junho a setembro de 2005)

| | CO ₂ (ppm) | Bactéria (UFC/ m ³) | Fungo (UFC/ m ³) | Umidade (%) | Velocidade (Km/h) | Temperatura (°C) | Número de pessoas |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| CO ₂ (ppm) | - | 0,12 | -0,35 * | 0,06 | -0,33 * | -0,12 | 0,58 ** |
| Bactéria (UFC/ m ³) | 0,12 | - | 0,06 | -0,24 | 0,35 * | 0,43 ** | 0,58 ** |
| Fungo (UFC/ m ³) | -0,35 * | 0,06 | - | -0,07 | 0,18 | 0,14 | -0,08 |
| Umidade relativa (%) | 0,06 | -0,24 | -0,07 | - | -0,27 | -0,49 ** | -0,38 * |
| Velocidade (Km/h) | -0,33 * | 0,35 * | 0,18 | -0,27 | - | 0,44 ** | 0,31 * |
| Temperatura (°C) | -0,12 | 0,43 ** | 0,14 | -0,49 ** | 0,44 ** | - | 0,49 ** |
| Número de pessoas | 0,58 ** | 0,58 ** | -0,08 | -0,38 * | 0,31 * | 0,49 ** | - |

* significativo ao nível entre 1% e 5%, ** significativo ao nível menor do que 1%

Quadro 5 – Medições das variáveis em ambiente ventilado e climatizado de uso público, determinadas antes da abertura ao expediente (1) em intervalos consecutivos de 1 hora durante 6 horas (janeiro a abril de 2006)



Quadro 5 – continuação

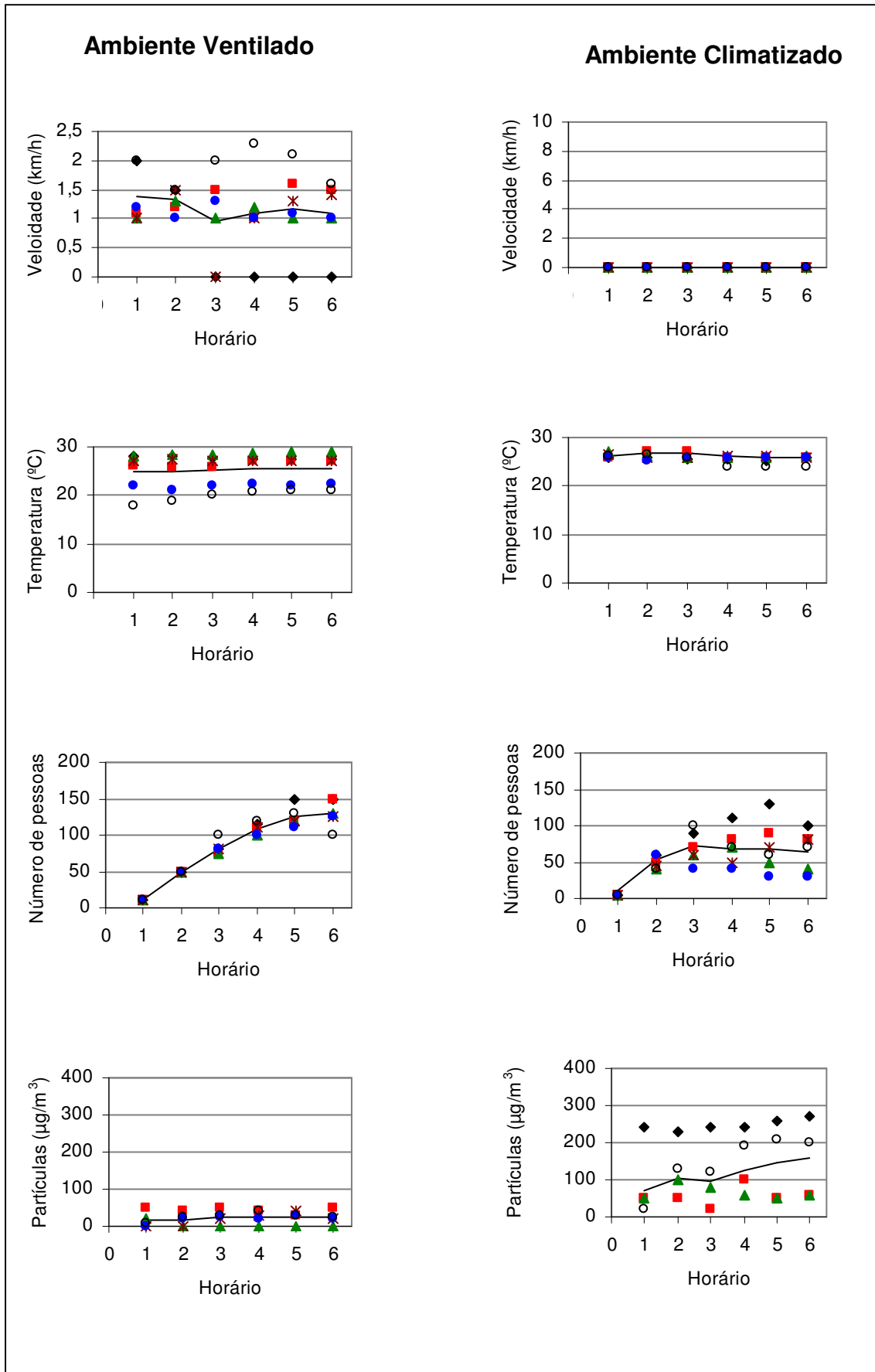


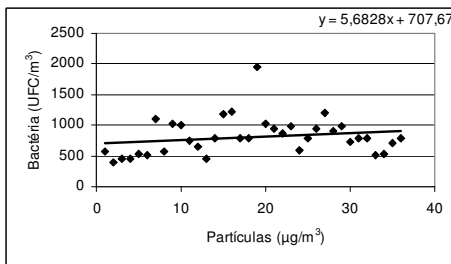
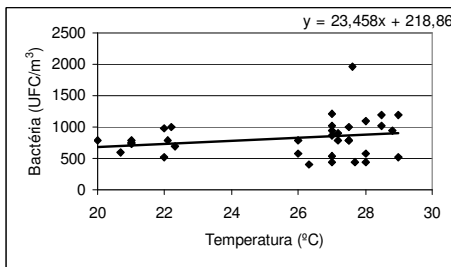
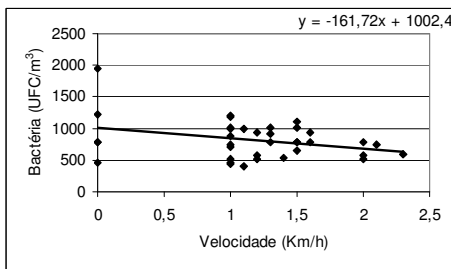
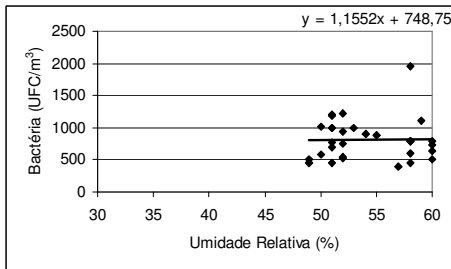
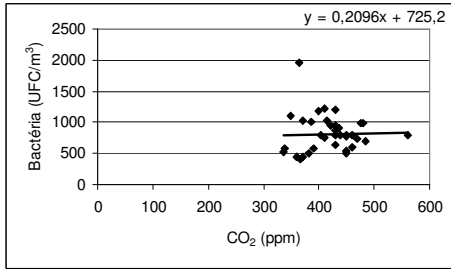
Tabela 5 – Estatísticas descritivas das variáveis de ambientes de uso público com ou sem climatização (janeiro a abril de 2006)

| Variável | Estatística | Ambiente | | MW ¹ | t ² |
|--------------------------------------------|---------------|-----------|-------------|-----------------|----------------|
| | | Ventilado | Climatizado | | |
| CO₂ (ppm) ^(a) | Mínimo | 335 | 329 | | |
| | Máximo | 560 | 810 | | |
| | Mediana | 415,8 | 608,5 | ** | |
| | Média | 418,0 | 564,6 | | ** |
| | Desvio padrão | 37,1 | 78,2 | | |
| Bactérias (UFC/m³) | Mínimo | 400 | 135 | | |
| | Máximo | 1955 | 2245 | | |
| | Mediana | 831,3 | 632,0 | ns | |
| | Média | 812,8 | 687,8 | | * |
| | Desvio padrão | 256,2 | 384,8 | | |
| Fungos (UFC/m³) | Mínimo | 290 | 300 | | |
| | Máximo | 525 | 720 | | |
| | Mediana | 413,8 | 412,5 | ns | |
| | Média | 420,0 | 453,9 | | ns |
| | Desvio padrão | 67,4 | 115,6 | | |
| Umidade relativa (%) | Mínimo | 49 | 42 | | |
| | Máximo | 65 | 55 | | |
| | Mediana | 55,3 | 46,0 | ** | |
| | Média | 55,4 | 46,8 | | ** |
| | Desvio padrão | 4,9 | 2,7 | | |
| Velocidade (km/h) | Mínimo | 0,0 | 0,0 | | |
| | Máximo | 2,3 | 0,0 | | |
| | Mediana | 1,2 | 0,0 | ** | |
| | Média | 1,2 | 0,0 | | ** |
| | Desvio padrão | 0,6 | 0,0 | | |
| Temperatura (°C) | Mínimo | 18,0 | 23,8 | | |
| | Máximo | 29,0 | 30,9 | | |
| | Mediana | 26,9 | 26,0 | ns | |
| | Média | 25,3 | 26,3 | | ns |
| | Desvio padrão | 3,6 | 1,3 | | |
| Partículas (µg/m³) | Mínimo | 0 | 0 | | |
| | Máximo | 50 | 270 | | |
| | Mediana | 22,5 | 100,0 | ** | |
| | Média | 22,2 | 117,3 | | ** |
| | Desvio padrão | 17,7 | 90,7 | | |

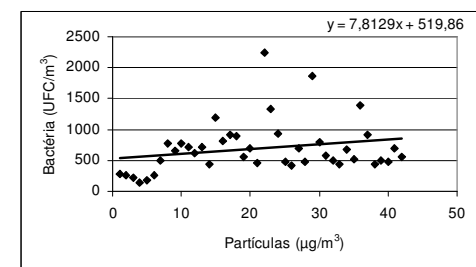
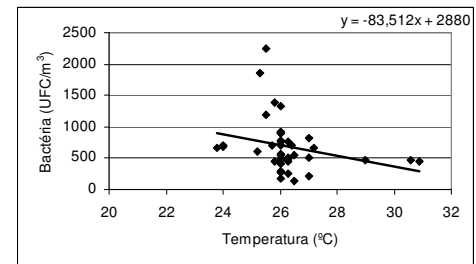
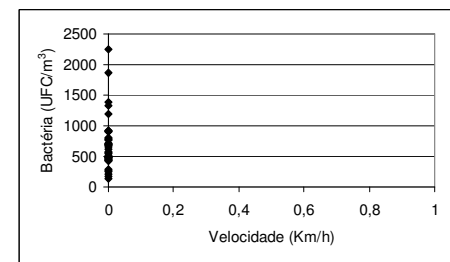
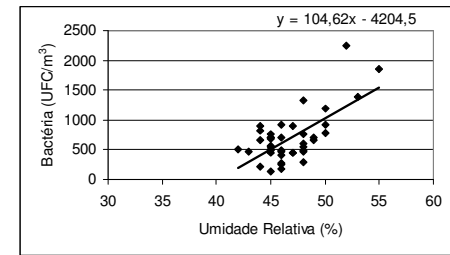
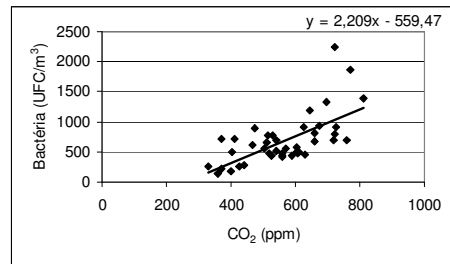
¹ teste de Mann-Whitney; ² teste t; ** diferença significativa entre medianas ou entre médias ao nível menor do que 1%; ^{ns} sem evidência de diferença significativa, ^(a) sem o horário inicial

Quadro 6 – Relação entre aerobiota bacteriana em UFC/m³ de ar e demais variáveis no ambiente naturalmente ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006)

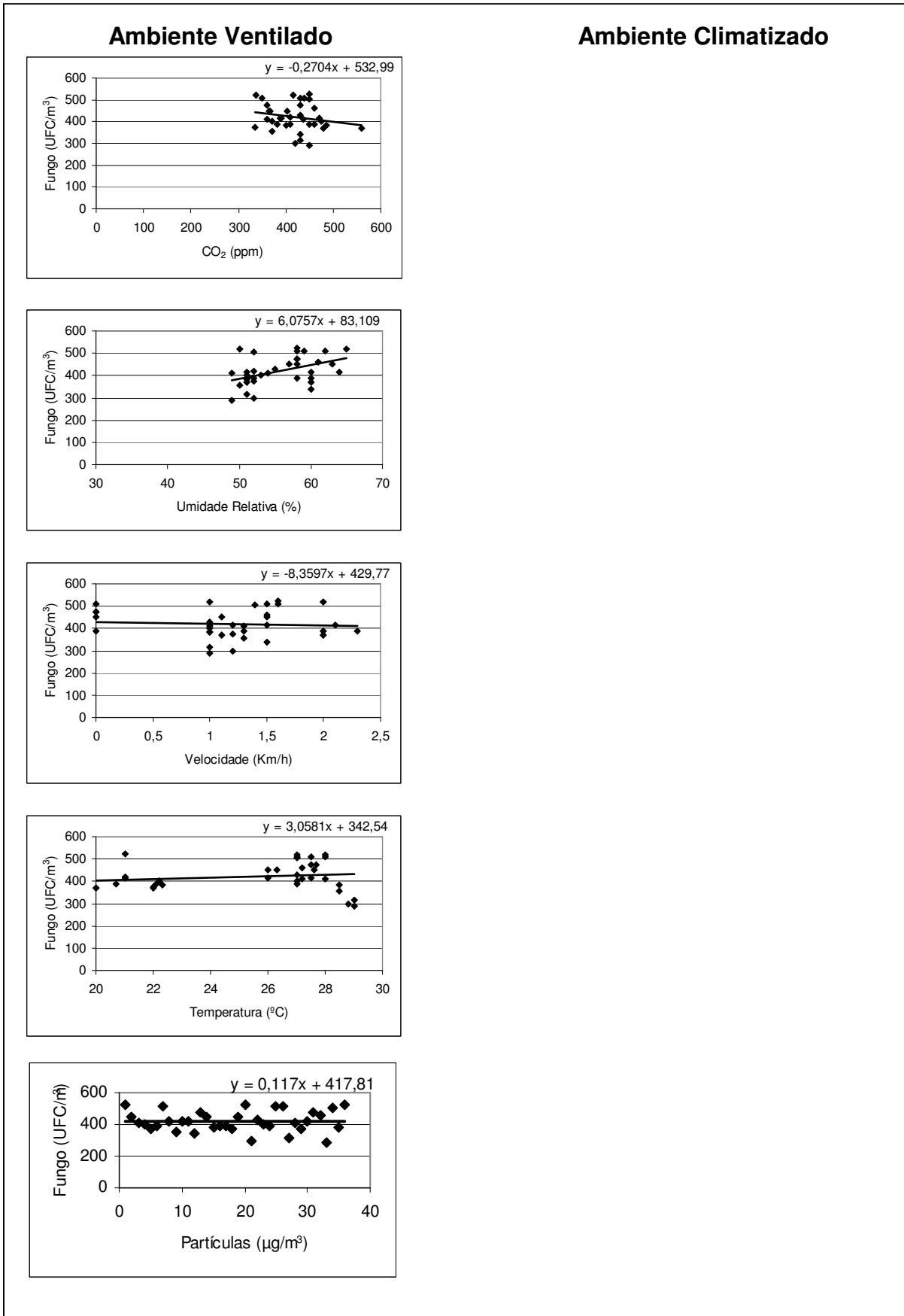
Ambiente Ventilado



Ambiente Climatizado



Quadro 7 – Relação entre aerobiota fúngica em UFC/m³ de ar e demais variáveis no ambiente naturalmente ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006)



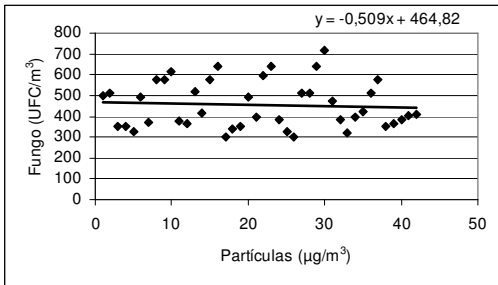
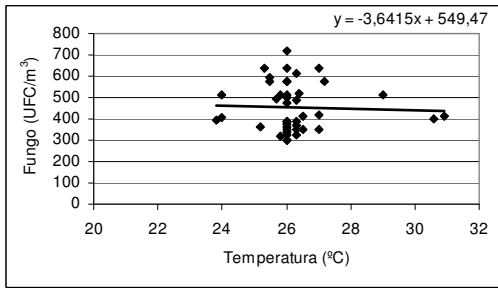
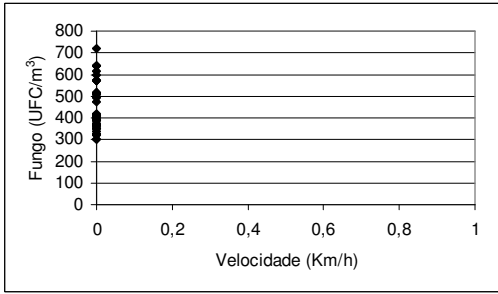
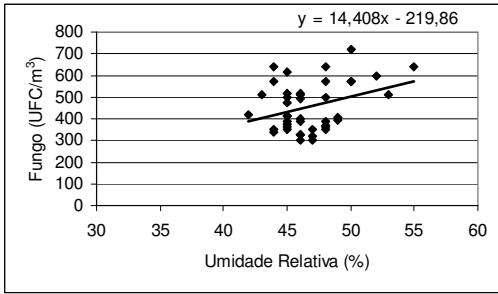
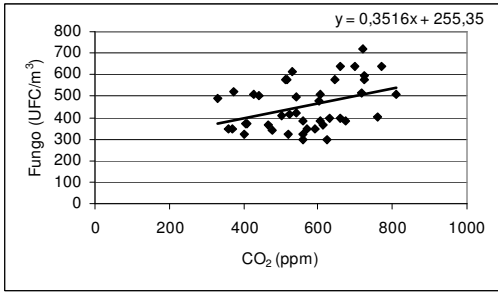


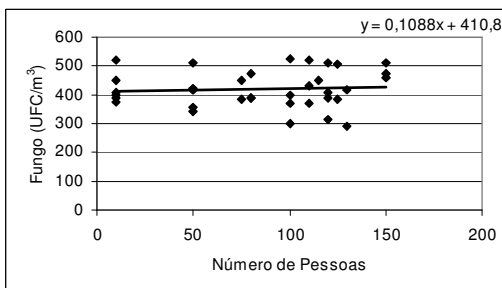
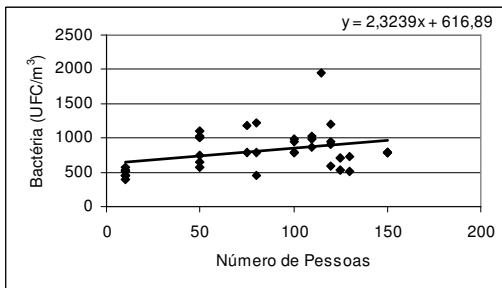
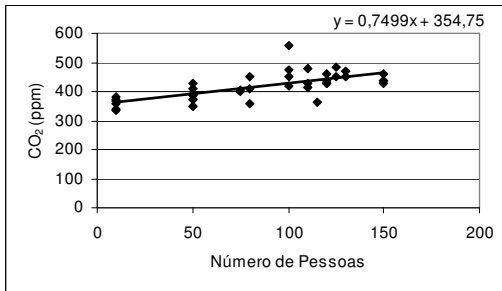
Tabela 6 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as concentrações dos aerossóis bacterianos e fúngicos e as demais variáveis ambientais no ambiente ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006)

| Parâmetro | Ambiente Ventilado | | Ambiente Climatizado | |
|----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| | Bactérias (UFC/ m³) | Fungos (UFC/ m³) | Bactérias (UFC/ m³) | Fungos (UFC/ m³) |
| CO ₂ (ppm) | 0,03 | -0,21 | 0,65 ** | 0,39 * |
| Umidade relativa (%) | 0,02 | 0,45 ** | 0,66 ** | 0,34 * |
| Velocidade (km/h) | -0,32 | -0,08 | - | - |
| Temperatura (°C) | 0,26 | 0,16 | -0,26 | -0,04 |
| Concentração de partículas | -0,15 | 0,55 ** | 0,53 ** | 0,18 |

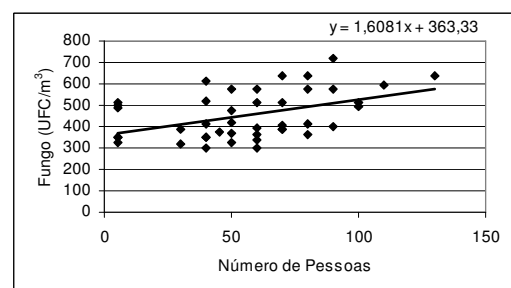
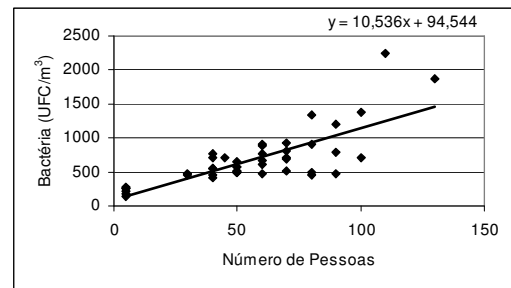
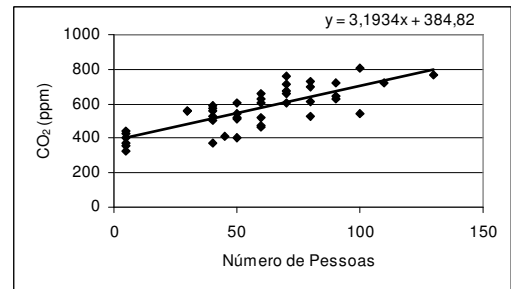
* significativo ao nível entre 1% e 5%, ** significativo ao nível menor do que 1%

Quadro 8 - Relação entre número de ocupantes e variáveis no ambiente naturalmente ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006)

Ambiente Ventilado

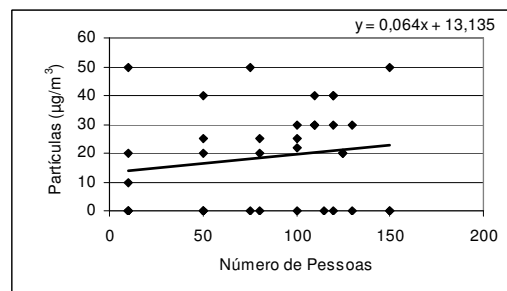
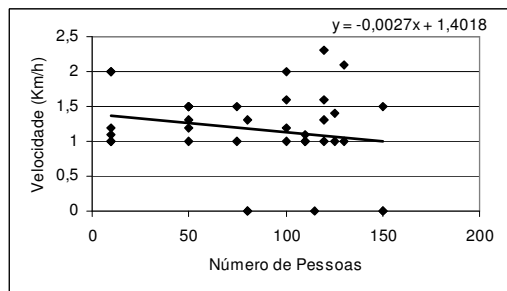
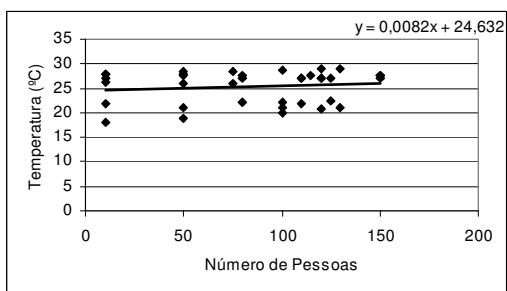
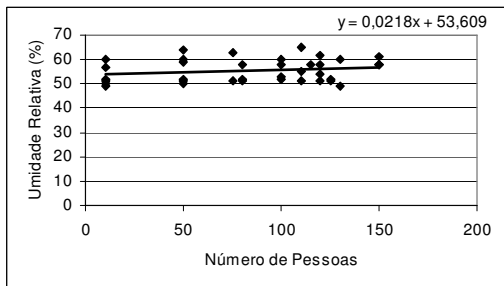


Ambiente Climatizado

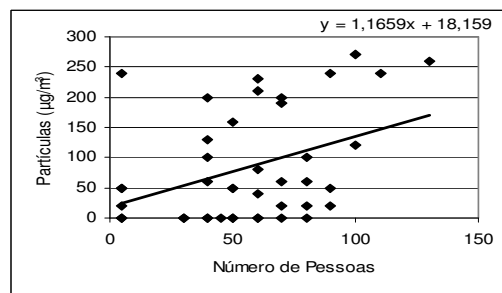
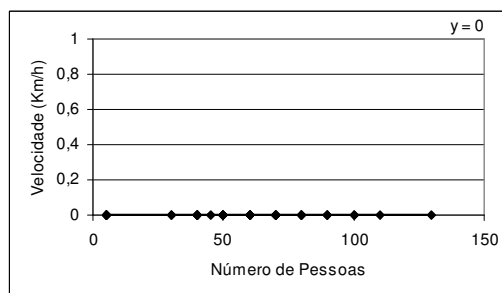
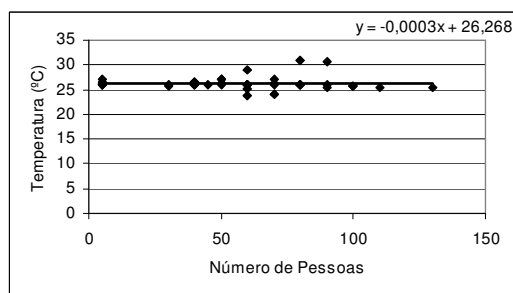
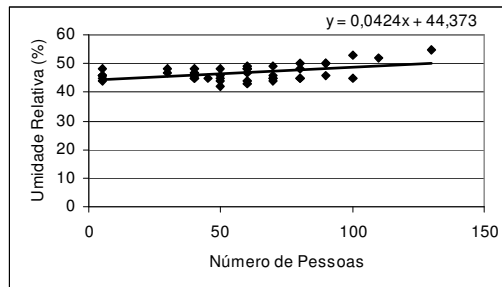


Quadro 8 – continuação

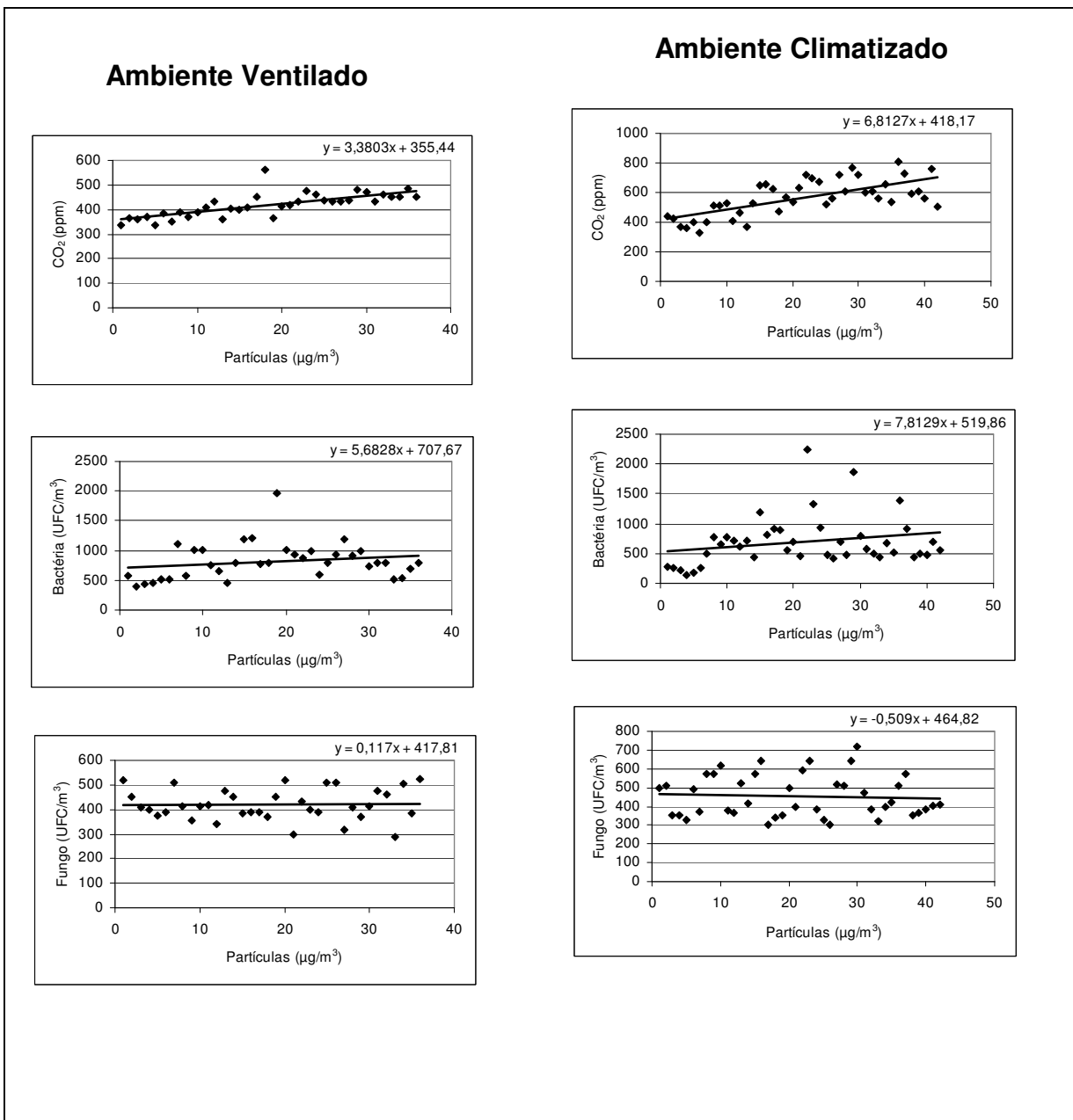
Ambiente Ventilado



Ambiente Climatizado

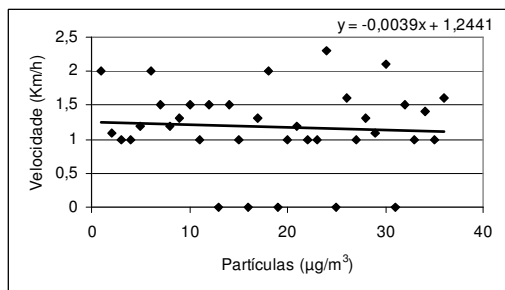
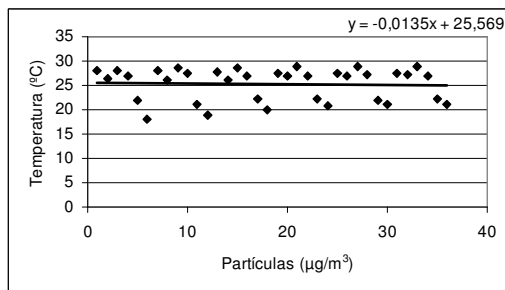
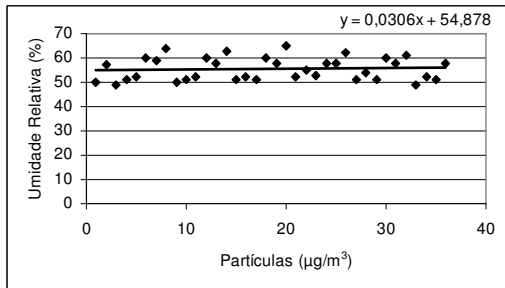


Quadro 9 - Relação entre concentração de partículas e variáveis no ambiente naturalmente ventilado e climatizado (janeiro a abril de 2006)



Quadro 9 – continuação

Ambiente Ventilado



Ambiente Climatizado

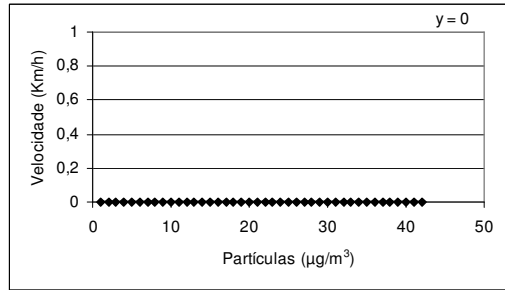
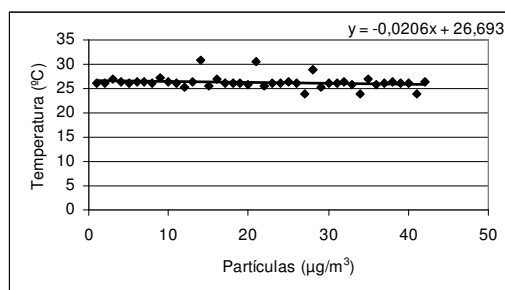
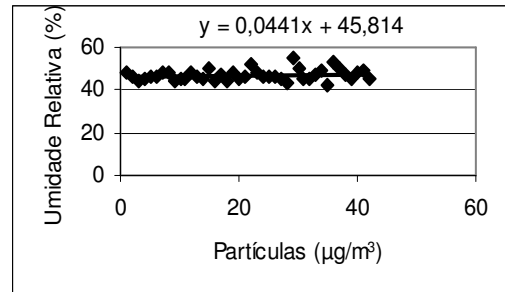


Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente naturalmente ventilado (janeiro a abril de 2006)

| | CO ₂ (ppm) | Bactérias (UFC/ m ³) | Fungos (UFC/ m ³) | Umidade (%) | Velocidade (km/h) | Temperatura (°C) | Partículas (µg/m ³) | Número de pessoas |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------|
| CO ₂ (ppm) | - | 0,03 | -0,21 | 0,12 | 0,21 | -0,41 * | 0,30 | 0,69 ** |
| Bactérias (UFC/ m ³) | 0,03 | - | 0,00 | 0,02 | -0,32 | 0,26 | -0,15 | 0,34 * |
| Fungos (UFC/ m ³) | -0,21 | 0,00 | - | 0,45 ** | -0,08 | 0,16 | 0,55 ** | 0,08 |
| Umidade relativa (%) | 0,12 | 0,02 | 0,45 ** | - | 0,15 | -0,22 | 0,69 ** | 0,21 |
| Velocidade (Km/h) | 0,21 | -0,32 | -0,08 | 0,15 | - | -0,45 ** | 0,24 | -0,20 |
| Temperatura (°C) | -0,41 * | 0,26 | 0,16 | -0,22 | -0,45 ** | - | -0,19 | 0,11 |
| Partículas (µg/m ³) | 0,30 | -0,15 | 0,55 ** | 0,69 ** | 0,24 | -0,19 | - | 0,27 |
| Número de pessoas | 0,69 ** | 0,34 * | 0,08 | 0,21 | -0,20 | 0,11 | 0,27 | 0,69 ** |

* significativo ao nível entre 1% e 5%, ** significativo ao nível menor do que 1%

Tabela 8 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis do ambiente climatizado (janeiro a abril de 2006)

| | CO ₂ (ppm) | Bactérias (UFC/ m ³) | Fungos (UFC/ m ³) | Umidade (%) | Velocidade (Km/h) | Temperatura (°C) | Partículas (µg/m ³) | Número de pessoas |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------|
| CO ₂ (ppm) | - | 0,65 ** | 0,39 * | 0,53 ** | - | -0,21 | 0,37 * | 0,79 ** |
| Bactéria (UFC/ m ³) | 0,65 ** | - | 0,53 ** | 0,66 ** | - | -0,26 | 0,53 ** | 0,77 ** |
| Fungos (UFC/ m ³) | 0,39 * | 0,53 ** | - | 0,34 * | - | -0,04 | 0,18 | 0,44 ** |
| Umidade Relativa (%) | 0,53 ** | 0,66 ** | 0,34 * | - | - | -0,40 ** | 0,56 ** | 0,49 ** |
| Velocidade (Km/h) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Temperatura (°C) | -0,21 | -0,26 | -0,04 | -0,40 ** | - | - | -0,55 ** | -0,01 |
| Partículas (µg/m ³) | 0,37 * | 0,53 ** | 0,18 | 0,56 ** | - | -0,55 ** | - | 0,32 * |
| Número de Pessoas | 0,79 ** | 0,77 ** | 0,44 ** | 0,49 ** | - | -0,01 | 0,32 | - |

* significativo ao nível entre 1% e 5%, ** significativo ao nível menor do que 1%

5 DISCUSSÃO

O Ministério da Saúde, em 1998, em decorrência da preocupação mundial com a qualidade do ar de interiores, elaborou orientações técnicas relacionadas aos padrões referenciais de qualidade do ar para ambientes climatizados artificialmente, de uso público e coletivo, no que diz respeito aos valores recomendáveis para contaminação biológica, química e parâmetros físicos (BRASIL, 1998). Entretanto, a literatura aponta dificuldades em se estabelecer valores limites para os principais parâmetros ambientais, visto serem definidos de modo eminentemente epidemiológico, ou seja, valores que separam condições de ausência e presença de risco de agressão à saúde humana (NIVEN et al., 2000). A qualidade do ar pode induzir reações individuais em seus ocupantes, pois as pessoas respondem de forma diferente aos contaminantes presentes em ambientes interiores (GUO et al., 2004).

Concentrações de poluentes no ar exterior sugerem que o aumento de problemas de saúde relacionado a SED seja decorrente da ampliação de bioaerossóis e outros aeroalergenos no interior das edificações (DeKOSTER e THORNE, 1995). A prevalência de sintomas respiratórios associados à umidade excessiva, que, provavelmente, promove o crescimento de fungos, justifica os primeiros trabalhos que envolveram condições ambientais (BOVALLIUS et al, 1978; JONES e COOKSON, 1983). Estudos demonstram que a concentração e os gêneros de fungos presentes no ar atmosférico variam entre áreas geográficas e são influenciados por fatores sazonais (LACAZ et al., 2002; JUOZAITIS et al., 1997).

Em ambientes climatizados, a OMS considera aceitável a concentração de fungos de até 500 UFC/m³ de ar (WHO, 1998), para a Healty Building International essas concentrações devem ser menores que 750 UFC/m³ (RAO et al., 1996), para o Institute of Occupational Safety and Healthy (USA) de até 1000 UFC/m³ (ROSS et al., 2004) e o Ministério da Saúde aceita 750 UFC/m³ como valor máximo recomendável (BRASIL, 2000).

A presença de grandes concentrações de fungos em ambientes condicionados tem sido relatada ser proveniente de fontes dispersoras internas, visto que o condicionamento do ar tem a função de controlar, além de outras variáveis, partículas biológicas provenientes do ar exterior (GUO et al., 2004). Durante a primeira amostragem, a concentração fúngica no ambiente climatizado encontrava-se acima dos

índices recomendados por todos os órgãos que regulamentam a qualidade do ar, atingindo concentração máxima de 5.256 UFC/m³.

Entre os principais grupos de contaminantes em ambientes climatizado, os fungos estão entre as partículas microbianas provenientes do ar externo. A contaminação por essas partículas pode causar conseqüências aos ocupantes, destacando-se infecções, reações alérgicas e irritantes, resultando em desconforto, doença, perda de produtividade e absenteísmo, entre outras (WHO, 1998).

O padrão referencial da quantidade de fungos no ambiente interior deve ser utilizado como sentinela para determinar a busca de fontes poluentes ou intervenções ambientais que estejam relacionadas com a amplificação desses poluentes. Dentre as fontes dispersoras a Organização Mundial de Saúde destaca o sistema de climatização, a própria edificação, mobiliário, carpete e ocupantes (WHO, 1998). A diminuição da aerobiota fúngica no ambiente climatizado avaliado, demonstrada na segunda amostragem, foi justificada em decorrência da reforma que a edificação foi submetida, sendo o carpete substituído por piso frio no intervalo entre as amostragens, que diminuiu, consideravelmente, a concentração de fungos no ambiente. No ambiente ventilado, observou-se um aumento na concentração de fungos no período de janeiro a abril (2006) em relação aos meses de junho a setembro de 2005, sendo de 525 UFC/m³ o valor máximo determinado. Maiores concentrações de fungos são descritas ocorrerem no verão, tanto no ar externo como em ambientes interiores (LEE e JO, 2006).

A concentração de bactérias em um ambiente fechado, relatada ser dependente do número e atividades dos ocupantes, não apresentou diferença significativa entre o ambiente ventilado e climatizado nas duas amostragens. A observação de que não houve relação entre bioaerossóis bacterianos em ambiente ventilado e climatizado, com e sem carpete, é concordante com os achados de Bartlett et al. (2004).

A medida da concentração de CO₂ em um espaço tem sido defendida como alternativa para avaliar a taxa de ventilação e, por conseqüência, diluir bioefluentes (SCHEFF et al., 2000). As concentrações médias de CO₂ no ambiente ventilado e climatizado, nas duas amostragens, demonstraram que esse parâmetro não sofreu variações, sendo maior no ambiente climatizado. A literatura aponta que, em espaços densamente ocupados, a concentração de bactérias é relacionada com a taxa de CO₂ quando acima de 1000 ppm, demonstrando um insuficiente suprimento de ar exterior no ambiente, mesmo com a utilização de ventilação mecânica (BARTLETT et al., 2004).

O aumento da taxa de ventilação é um modo efetivo de melhorar a qualidade do ar interior, contudo eleva o consumo de energia (LI e HOU, 2003).

A baixa ventilação pode induzir aumento da umidade no ambiente, elevando o risco de crescimento e subsequente dispersão microbiana (SEPPANEN e FISK, 2004). O ambiente climatizado demonstrou ter a umidade relativa controlada, visto não ter sofrido variação nas duas amostragens. Em geral, a contaminação de edificações por fungos está associada ao aumento da umidade, a qual deve ser reduzida com máxima eficiência (BARDANA Jr., 2003).

O efeito da temperatura em relação ao conforto térmico é amplamente aceito, entretanto o seu efeito na qualidade do ar ainda não é conhecido. Altas temperaturas aumentam a prevalência de sintomas da SED, deteriora a qualidade do ar, acrescenta a sensação de ar seco, além de afetar o desempenho e qualidade de trabalho dos usuários do ambiente (DAYSE et al., 2003). No ambiente climatizado, a temperatura, em média, manteve-se constante nos dois períodos avaliados. A temperatura demonstrou sofrer influência da velocidade do ar independente do tipo de climatização, sendo a ventilação utilizada para reduzir altas temperaturas, dados coerentes com os apresentados na literatura (SEPPANEN et al., 1999).

É reconhecido que a ocupação do ambiente afeta a qualidade do ar interior (SEPPANEN e FISK, 2004). Alguns parâmetros, já estabelecidos, foram também demonstrados nesse estudo. A utilização dos ambientes induziu aumento na taxa de CO₂ e concentração de aerossóis bacterianos independente do sistema de ventilação, aqui demonstrado durante a ocupação dos ambientes nas duas amostragens. Apesar da concentração de partículas não ter sido avaliada na primeira amostragem, maior quantidade foi observada no ambiente climatizado, apresentando relação direta com a ocupação, podendo ser associada à movimentação de pessoas no interior da edificação. No decorrer da ocupação, os demais parâmetros (concentração de fungos, URA, velocidade e temperatura) sofreram pouca ou nenhuma influência decorrente da utilização dos espaços. Esses achados demonstram que os contaminantes gerados no interior dos ambientes dependentes da ocupação são CO₂, aerossóis bacterianos e concentração de partículas. Em locais onde o número de ocupantes é variável, a renovação do ar deve ser suficiente para diluir a concentração de contaminantes a níveis aceitáveis durante todo o período (ASHARE, 2001). A ocupação dos ambientes estudados alterou os mesmos parâmetros ambientais relacionados à qualidade do ar, porém os valores médios no ambiente ventilado foram menores que no climatizado.

A literatura apresenta correlação linear (Pearson) entre as variáveis ambientais, sendo concentração bacteriana e taxa de CO₂ as que mais se relacionam com a ventilação. A limitação do presente estudo deve-se ao fato da taxa de ventilação não ter sido determinada nos ambientes com ocupação variável, todavia observa-se que os principais bioefluentes gerados durante a ocupação não foram diluídos pela ventilação.

Nesse estudo, através da análise de correlação conduzida entre os parâmetros ambientais, também foi demonstrado que nos ambientes a taxa de CO₂ e concentração bacteriana estão diretamente relacionadas com a ocupação, entretanto a concentração de fungos não apresentou a mesma correlação. Estudo anterior demonstrou que altas concentrações de fungos no ar interior estão associadas às características da edificação (CHAO et al., 2002) e que grande número de ocupantes também aumentou a concentração desses bioaerossóis no ambiente (WU et al., 2004).

A concentração de partículas apresentou relação direta com a concentração bacteriana e umidade relativa no ambiente climatizado, mas não foi relacionada estatisticamente com a ocupação nesse mesmo ambiente, que podem ser justificados devido as grandes variações observadas nas amostragens. No ambiente ventilado a concentração de partículas também não demonstrou correlação com a ocupação, apresentando relação direta apenas com a concentração de fungos e umidade relativa do ar.

Vários estudos apontam a influência da umidade (teor de água) na viabilidade e seleção dos microrganismos, sendo as bactérias mais vulneráveis que fungos. Essas variações ocorrem devido a maior complexidade estrutural e metabólica das bactérias (parede celular, membrana e metabolismo) (HURST et al, 1997). Esse trabalho revelou que, tanto no ambiente climatizado como no ventilado, a umidade apresentou influência positiva na concentração bacteriana e/ou fúngica.

Processos que influenciam o transporte de bioaerossóis, baseados em parâmetros físicos e biológicos (processo molecular), podem justificar a deposição, adesão e liberação de maior ou menor número de partículas no ambiente. Deposição é, em parte, governada pela massa da partícula. Partículas entre 1 a 5 µm, normalmente, seguem a aerodinâmica do ar ao redor. Partículas maiores, freqüentemente, têm uma força de desvio da aerodinâmica, seguida de um impacto com a superfície próxima onde é depositada (WICKMAN, 1994).

A adesão pode ser superada por forças mecânicas ou pela aerodinâmica e liberar as partículas biológicas das superfícies. A energia mecânica é freqüentemente originada

pela turbulência do movimento do vento, sendo que quanto menor o tamanho da partícula maior é a força necessária para sua remoção. Esse trabalho demonstrou que a movimentação de maior número de pessoas não influenciou significativamente no aumento de partículas nos ambientes. O aumento de partículas no ambiente climatizado foi relacionado com a taxa de CO₂. Em decorrência da taxa de CO₂ ter demonstrado correlação com a ocupação nos dois ambientes, o aumento da concentração de partículas, indiretamente, pode ter associação com a ocupação.

Alguns trabalhos comprovam que níveis elevados de material particulado têm relação com o decréscimo da função pulmonar (HARGREAVES et al., 2003; BRICKUS, 1998). A concentração média de material particulado no ambiente climatizado avaliado foi de 117µg/m³. É reconhecido que a inalação de uma concentração de 150 µg/m³ de material particulado durante um período de 24 horas está associada ao aumento de 26% em sintomas respiratórios e até 271% ao uso de medicação para asma quando comparada ao número de casos determinados para concentração de até 50 µg/m³ (BRICKUS, 1998).

O movimento de pessoas é importante fonte de partículas, pois o mínimo de atividade é capaz de ressuspender pequenas porções desse material. O tamanho das partículas presentes no interior de uma edificação reflete seu processo de formação (ABT et al., 2000). A baixa ventilação eleva a concentração de partículas que permanecem mais tempo no ar, permitindo seu acúmulo no ambiente. Poucos são os estudos que correlacionam a concentração de partículas a parâmetros ambientais de conforto, enfatizando a necessidade de pesquisas para conhecer a real relevância dessas relações.

Temperatura, umidade relativa do ar e taxa de CO₂ de ambiente interno são relatadas apresentarem diferenças estatisticamente significativas mais baixas em ambiente com ventilação natural adequada em relação a ventilação natural inadequada (ENGVALL et al., 2005). A análise da performance do sistema de ventilação é necessária para determinar o fluxo de ar e níveis de temperatura e umidade como indicador de conforto térmico. A baixa taxa de ventilação está associada ao aumento de CO₂ e a outros poluentes emitidos pelos ocupantes no ar de ambientes interiores (AKBAR-KHANZADEH, 2000). Nunes et al. (2005) sugerem que, possivelmente, mudanças na temperatura e umidade do ambiente não são as principais causas de alterações da aeromicrobiota, mas que podem estar associadas à dispersão de microrganismos.

6 CONCLUSÃO

O comportamento das variáveis nas duas amostragens, quando comparados, demonstrou que somente a UFC bacteriana/m³ de ar demonstrou não haver diferença significativa entre as medianas no ambiente ventilado e climatizado. A concentração de CO₂, umidade relativa e velocidade do ar apresentaram valores médios próximos nas duas amostragens para os dois ambientes. O coeficiente de correlação de Pearson mostrou-se significativo nas duas amostragens quando foi relacionado concentração de bioaerossóis bacteriano e número de pessoas no ambiente climatizado, os demais parâmetros não demonstraram significância, mantendo o mesmo comportamento. A correlação entre o número de pessoas e as demais variáveis obteve significância, nas duas amostragens, para concentração de aerossóis bacterianos, taxa de CO₂ e temperatura no ambiente climatizado. No ambiente ventilado, apenas a concentração de CO₂ e número de pessoas foi correlacionado nas duas amostragens.

Estudos multidisciplinares integrados ainda são necessários para avaliar a aplicação e relação custo-efetividade do controle de alguns parâmetros ambientais que visam minimizar o potencial risco da má qualidade do ar de ambientes climatizados na saúde, face à permanência prolongada dos indivíduos em ambientes dotados desses sistemas.

Em decorrência da utilização, cada vez mais freqüente, de sistemas de condicionamento do ar, esse trabalho visou colaborar com o conhecimento dos principais parâmetros de qualidade de ar em ambientes climatizados e naturalmente ventilados. Nossos achados apontam que os parâmetros mais influenciados pela ocupação em ambientes climatizados são taxa de CO₂ e aerossóis bacterianos. Contudo, atenção também deve ser dada a ambientes naturalmente ventilados de uso público e coletivo tendo em vista que, além da ocupação, outras condições ambientais podem comprometer a qualidade do ar desses ambientes.

Este estudo demonstra que as variáveis ambientais analisadas isoladamente não oferecem informações consistentes da qualidade do ar de interiores devido a alta variação entre os valores máximo e mínimo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABT, E.; SUH, H. H.; ALLEN, G.; KOUTRAKIS, P. Characterization of indoor particle sources: A study conducted in the metropolitan Boston area. **Environ. Health Perspect.**, v. 108, p. 35-44, 2000.

AKBAR-KHANZADEH, F.; TAN, Y.; BROWN, E. N.; AKBAR-KHANZADEH, M. An evaluation of ventilation system flow rates and levels of carbon dioxide, ambient temperature, and relative humidity in restaurants. **Appl. Occup. Environ. Hyg.**, v. 17, p. 640-647, 2000.

ASHARE Standart 62. Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Airconditioning Engineers, 2001.

BARDANA, E. J. Jr. Indoor air quality and health does fungal contamination play a significant role? **Immunol. Allergy Clin. North Am.**, v. 23, p. 291-309, 2003.

BARTLETT, K. H.; KENNEDY, S. M.; BRAUER, M.; NETTEN, C. V.; DILL, B. Evaluation and predictive model of airborne fungal concentrations in school classroom. **Ann. Occup. Hyg.**, v. 48, p. 547-554, 2004.

BJORNE, E.; NIELSEN, P.V. Dispersal of exhaled air and personal exposure in displacement ventilated rooms. **Indoor Air**, v. 12, p. 147-164, 2002.

BOVALLIUS A, BUCHT B, ROFFEY R, ANÄS P. Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in sweden. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.35, p. 847-852, 1978.

BRASIL, Ministério da Saúde. RESOLUÇÃO –RE nº 9, de janeiro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, Disponível em http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/re/09_03_1.pdf, 2003. Acesso em 04 de Fevereiro de 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde. RESOLUÇÃO –RE nº 176, 24 de outubro de 2000, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, Disponível em http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/176_00re.htm, 2000. Acesso em 04 de Fevereiro de 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde. PORTARIA/GM nº 3.532, de 28 de agosto de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, Disponível em http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523_98.htm, 1998. Acesso em 05 de Março de 2003.

BRASIL, Ministério Público, Decreto nº. 2.018, de 01/10/1996, Lei nº 9.294, de 15 de julho de 1996, nos termos do § 4º do art. 220 da Constituição Federal.

BRICKUS, L. C. R.; NETO, F. R. A. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, v. 22, p. 65-74, 1999.

CARMO, A.T. **Qualidade do ar interno**, 1999: 35f. Texto técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

CAVINATTO, V. M. Influência de fatores ambientais na dispersão de partículas originadas em um sistema de tratamento biológico de esgotos em valos de oxidação. Dissertação (Mestrado). 123p. Faculdade de Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo, 1991.

CHAO, H. J.; SCHWARTZ, J.; MILTON, D. K.; BURGE, H. A. Populations and determinants of airborne fungi in large office building. **Environ. Health Perspect**, v. 110, p. 777-782, 2002.

DAISEY, J. M.; ANGELL, W. J.; APTE, M. G. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. **Indoor Air**, v. 13, p. 53-64, 2003.

DeKOSTER, J. A.; THORNE, P.S. Bioaerosol concentration in noncomplaint, complaint and intervention homes in the Midwest. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J.**, v. 56, p. 573-580, 1995.

EDUARD, W., HEEDERIK, D. Methods for quantitative assessment of airborne levels of noninfectious microorganisms in highly contaminated work environments. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J.**, v. 59, p. 113-127, 1998.

ENGVALL, K.; WICKMAN, P.; NORACK, D. Sick building syndrome and perceived indoor environment in relation to energy saving by reduced ventilation flow during heating season: a 1 year intervention study in dwellings. **Indoor Air**, v. 15, p. 120-126, 2005.

FANGER, P.O. Human requirements in future air-conditioned environments. **International Journal of Refrigeration**, v. 24, p. 148-153, 2001.

GIODA, A. Considerações sobre estudos de ambientes industriais e não industriais no Brasil: uma abordagem comparativa. **Cad. Saúde Pública**, v. 19, p. 1389-1397, 2003.

GODISH, T.; SPENGLER, J. D. Relationships between ventilation and indoor air quality: a review. **Indoor Air**, v. 6, p. 135-145, 1996.

GÓRNY, R. L., DUTKIEWICZ, J., KRYSINSKA – TRACZYK, E. Size distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air. **Ann. Agric. Environ. Med.**, v. 6, p. 105-113, 1999.

GÓRNY, R.L. Filamentous microorganisms and their fragments in indoor air – a review. **Ann. Agric. Environ. Med.**, v. 11, p. 185-197, 2004.

GUO, H.; LEE, S.C.; CHAN, L.Y. Indoor air quality investigation at air-conditioned and non-air-conditioned markets in Hong Kong. **Sci. Total Environ.**, v. 323, p. 87-98, 2004.

HARGREAVES, M.; PARAPPUKKARAN, S.; MORAWSKA, L.; HITCHINS, J.; HE, C.; GILBERT, D. A pilot investigation into associations between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. **Sci. Total Environ.**, v. 312, p. 89-101, 2003.

HURST, C. J.; KNUDSEN, G. R.; MCLNERNEY, M. J.; STETZENBACH, L. D.; WALTER, M. V. Manual of Environmental Microbiology. ASM press. Washington, p. 619-650, 1997.

JENSEN, P. A.; SCHAFER, M. P. Sampling and characterization of bioaerosols. Manual of analytical methods. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J.**, p. 82-112, 1998.

JONES, B. L.; COOKSON, J.T. Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 45, p. 919-934, 1983.

JO, W.K.; SEO, Y.J. Indoor and outdoor bioaerosols levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. **Chemosphere**, 2005 (In Press).

JUOZAITIS, A.; LUGAUSKAS, A.; SVEISTYTE, L. The composition and concentration of airborne fungal flora near to the busy streets in Vilnius City. **J. Aerosol Sci.**, v.28, p. 669-670, 1997.

KUMAR, P.; BISWAS, P.; Analytical expressions of the collision frequency function for aggregation of magnetic particles. **Aersol Sci.**, v. 36, p. 455-469, 2005.

LACAZ, C. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C.; HENIS-VACCARI, E. M.; MELO, N. T. Tratado de Micologia Médica Lacaz, São Paulo: Ed. Savier, p. 1104, 2002.

LAUMBACH, R.J.; KIPEN, H.M. Bioaerosols and sick building syndrome: particles, inflammation, and allergy. **Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol.**, v. 5, p. 135-139, 2005.

LAWRENCE,A.J.; MASIH,A.; TANEJA, A. Indoor/outdoor relationships of carbon monoxide and oxides of nitrogen in domestic homes with roadside, urban and rural locations in a central Indian region. **Indoor Air**, v. 15, p. 76-82.

LEE, J. H.; JO, W. K. Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment building. **Environ. Research**, v. 101, p. 11-17, 2006.

LEMOS, E.T. (1997) Poluição interior: abordagem ao síndrome dos edifícios doentes, disponível em: www.ipv.pt/millennium/ect7_etl.htm, acesso em 01 de fevereiro de 2005.

LI. C.; HOU, P. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. **Sci Total Environ.**, v. 305, p. 169-176, 2003.

LIDDAMENT, M. W. A review of ventilation and the quality of ventilation air. **Indoor Air**, v. 10, p. 193-199, 2000.

LIGHTHART, B. Survival of airborne bacteria in a high urban concentration of carbon monoxide. **Appl. Microbiol.**, v. 25, p. 86-91, 1973.

LYNCH, J.M.; POOLE, N.J. Aerial dispersal and the development of microbial communities. *Microbial Ecology: a conceptual approach*. New York: Jonh & Son, p. 140-170, 1979.

MAINELIS, H.R.A.; YAO, M. Evaluation of a high-volume portable bioaerosol sampler in laboratory and field environments. **Indoor Air**, v. 14, p. 385-393, 2004.

MÖNKKÖNEN, P.; PAI, P.; MAYNARD, A.; LEHTINEN, K.E.J.; HAMERI, K.; RECHKEMMER, P.; RAMACHANDRAN, G.; PRASAD, B.; KULMALA, M. Fine particle number and mass concentration measurements in urban Indian households. **Sci. Total Environ.**, v.347, p. 131-147, 2005.

MOSCATO, U. Hygienic management of air conditioning systems. **Ann. Ig.**, v. 12, p. 249-254, 2000.

NEVALAINEN, A.; PASTUSZKA, J.; LIEBHABER, WILLEKE, K. Performance of bioaerosols samplers collection characteristics and sampler design considerations. **Atmos. Environ.**, v. 26, p. 531-540, 1992.

NIVEN, R. M.; FLETCHER, A. M.; PICKERING, C. A. C.; FARANGHER, E. B.; POTTER, J. N.; BOOTH, W. B.; JONES, T. J.; POTTER, P. D. R. Building sickness syndrome in healthy and unhealthy building: an epidemiological and environmental assessment with cluster analysis. **Occup. Environ. Med.**, v. 57, p. 627-634, 2000.

NUNES, Z. G.; MARTINS, A. S.; ALTOE, A. L. F.; NISHIKAWA, N. M.; LEITE, M. O.; AGUIAR, P. F.; FRACALANZZA, S. E. L. Indoor air microbiological evaluation of offices, hospital, industries, and shopping centers. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v. 100, p. 351-357, 2005.

OWEN, M. K.; ENSOR, D. S.; SPARKS, L. E. Airborne particle sizes and sources found in indoor air. **Atmos. Environ.**, v. 26, p. 2149, 1992.

PASTUSZKA, J. S., KYAW THA PAW, U., LIS, D. O., WLAZLO, A., ULFIG, K. Bacterial and fungal in indoor environment in upper Silesia, Poland. **Atmos. Environ.**, v. 34, p. 3833-3842, 2000.

RAO, C. Y.; BURGE, H. A.; CHANG, J. C. S. Review of quantitative standards and guidelines for fungi in indoor air. **J. Air & Waste Manag. Assoc.**, v. 46, p. 899-908, 1996.

ROOS, C.; MENEZES, J. R.; SVIDZINSKI, T. I. E.; ALBINO, U.; ANDRADE, G. Studies on fungal and bacterial population of air-conditioned environments. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v. 47, p. 827-835, 2004.

SEPPANEN, O. A.; FISK, W. J.; MENDELL, M. J. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. **Indoor Air**, v. 9, p. 226-252, 1999.

SEPPANEN, O. A.; FISK, W. J. Summary of human responses to ventilation. **Indoor Air**, v. 14, p. 102-118, 2004.

SCHEFF, P. A.; PAULIUS, V. K.; HUANG, S. W.; CONROY, L. M. Indoor air quality in a middle school, Part I: Use of CO₂ as a tracer for effective ventilation. **Appl. Occup. Environ. Hyg.**, v. 15, p. 824-834, 2000.

SHENDELL, D.G.; PRILL, R.; FISK, W.J.; APTE, M.G.; BLAKE, D.; FAULKNER, D. Association between classroom CO₂ concentration and student attendance in Washington and Idaho. **Indoor Air**, v. 14, p. 333-341, 2004.

STECZENBACH, L.D.; BUTTNER, M.P.; CRUZ, P. Detection and numeration of airborne biocontaminants. **Curr. Opin. Biotechnol.**, v. 15, p.170-174, 2004.

USTINAVICIENĖ, R.; OBELENIS, V.; EREMINAS, D. Occupational health problems in modern work environment. **Medicina (Kaunas)**, v. 40, p. 897-904, 2004.

VICENT, J.H. Health-related aerosol measurement: a review of existing sampling criteria and proposals for new ones. **J. Environ. Monit.**, v. 7, p. 1037-1053, 2005.

WARGOCKI, P.; SUNDELL, J.; BISCHOF, W.; BRUNDRETT, G.; FANGER, P. O.; GYNTELBERG, F.; HANSEN, S. O.; HARRISON, P.; PICKERING, A.; SEPPANEN, O; WOUNTERS, P. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN), **Indoor Air**, v. 12, p. 113-128, 2002.

WICKMAN, H. H. Deposition, adhesion, and release, p. 99-165. In B. Lighthart and A. J. Mohr (ed), *Atmospheric Microbial Aerosols*. Chapman & Hall, New York, 1994.

World Health Organization (WHO). *The Right to Health Indoor Air*, 2000.

World Health Organization (WHO). *Indoor air quality: biological contaminants. European Series*, n. 31, 1998.

WU, P-C.; LI, Y-Y.; CHIANG, C.M.; HUANG, C.Y.; LEE, C.C.; LI, F.C.; SU, H.J.
Changing microbial concentrations are associated with ventilation performance in
Taiwan's air-conditioned office buildings. **Indoor Air**, v.15, p. 19-26, 2004.

RESUMO

Os principais parâmetros de qualidade do ar de um ambiente naturalmente ventilado e outro climatizado, destinados a ocupação comum, foram analisados. As variáveis ambientais consideradas foram concentração de bactéria (UFC/m³ de ar), concentração de fungo (UFC/m³ de ar), taxa de CO₂ (ppm), umidade relativa do ar (%), velocidade (Km/h), temperatura (°C) e concentração de partículas (µg/m³ de ar). O número de ocupantes dos ambientes foi determinado em cada medição. As medições foram conduzidas em dois períodos do ano, sendo que no primeiro período as coletas foram realizadas de 30 em 30 minutos durante 3 horas, nos meses de junho a setembro de 2005; no segundo, as coletas foram realizadas de uma em uma hora, totalizando 6 horas, nos meses de janeiro a abril de 2006. A relação entre as variáveis para os dois ambientes foi determinada pelo teste de correlação de Pearson e a significância dessa correlação avaliada pelo valor de p menor que 1%. A comparação do comportamento das variáveis nas duas amostragens demonstrou que, dentre os parâmetros avaliados, apenas a concentração de aerossóis bacterianos não apresentou diferença significativa entre as medianas nos dois ambientes. A taxa de CO₂, umidade relativa e velocidade do ar apresentaram valores médios próximos nos dois ambientes. A correlação entre o número de pessoas e parâmetros ambientais foi significativa para concentração de aerossóis bacterianos, taxa de CO₂ e temperatura no ambiente climatizado. No ambiente ventilado, apenas a taxa de CO₂ foi correlacionada com o número de pessoas, sendo que os demais parâmetros sofreram pouca ou nenhuma influência decorrente da ocupação. Nossos achados apontam que os parâmetros mais influenciados pela ocupação dos ambientes são taxa de CO₂ e concentração de aerossóis bacterianos, porém os valores médios no ambiente ventilado foram menores que no climatizado. Em decorrência da utilização, cada vez mais freqüente, de sistemas de condicionamento do ar, esse trabalho visou colaborar com o conhecimento dos principais parâmetros de qualidade de ar em ambientes climatizados e naturalmente ventilados. Para que a boa qualidade do ar de interiores possa ser mantida, em ambientes onde a ventilação é constante, é imprescindível o controle do número de ocupantes.

ABSTRACT

The mainly environmental parameters of the air quality in ventilated and climatized ambients, destined to the common occupation, were analyzed in this research. The evaluated environmental variables were the concentration of bacteria (CFU/m³ of air), concentration of fungo (CFU/m³ of air), rate of carbon dioxide (ppm), relative air humidity (%), speed (Km/h), temperature (°C) and concentration of particles (µg/m³ of air). The number of ambients occupants was determined in each sample. The evaluation of the ambients was conducted in two periods; in the first period, the collects were done from 30 to 30 minutes during three hours, during the months from June to September of 2005; in the second, the collects were done from hour to hour, totalizing six hours, from January to April of 2006. The relation among the variables showed for the two ambients were determined by the Pearson correlation test and the meaning of this correlation evaluated by smaller than 1% in the p value. In the first sample, the analysis showed in a ventilated ambient, the concentration of bioaerosols bacteria and fungicals. The number of occupants influences the rate of CO₂ and bacterial aerobiota. In the climatized ambient, the bacterial aerobiota suffered temperature influence. The number of people influenced the rate of CO₂, bacterial aerobiota and temperature. In the second sample, the fungus concentration showed to be influenced by relative humidity and the particles concentration. The number of occupants influenced the CO₂ rate. The bacterial aerobiota wasn't significantly related with any parameters. In the climatized ambient, the bacteria concentration presented a direct relation with the CO₂ rate, relative humidity. The correlation coefficient of Pearson showed itself significative in the two samples when it was related the concentration of bacterial bioaerosols and the number of people in the climatized ambient; the others parameters didn't show significance, therefore, kept the same behavior. The correlation among the number of people, and the other variables, obtain significance, in the two samples, for the concentration of bacterial aerosols, CO₂ rate and the temperature for the climatized ambient. In the ventilated ambient only the CO₂ concentration and the number of people was correlated in the two samples.

Keywords: bioaerosols, environmental parameters, air quality