

CLAUDIO TIVIROLI GIUSTI

SALAS LIMPAS

E

ESTERILIZAÇÃO HOSPITALAR

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção de título de graduação em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Mecânica dos Fluidos**

**Professor-Orientador:
Saburo Ikeda**

**São Paulo
1994**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e avós que viabilizaram não
só este trabalho como também esta
realidade de vida.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e co-orientador Prof. Antônio Luis de Campos Mariani pelas colaborações práticas.

Ao Dr. Celso Simões Alexandre, pelas importantíssimas "consultorias" e materiais.

À Alethéa Z. Bonfocchi pelo incentivo e colaboração na confecção do trabalho.

À atenção do Prof.-Orientador Saburo Ikeda.

Sumário

1. Objetivos.....	1
2. Contaminantes do Ar	3
2.1. Variação na Composição do ar.....	3
2.2. Classificação dos Contaminantes do Ar.....	4
2.3. Natureza dos Contaminantes Aéreos.....	6
2.4. Quantidade Total de Particulados Suspensos.....	7
2.5. Poluição do Ar	8
2.6. Microrganismos Aéreos.....	9
3. Princípios Fisiológicos, Conforto e Saúde.....	11
3.1. Relacionamento entre a Ocupação Humana e o Ambiente.....	11
3.2. Infecções.....	11
4. Condicionamento de ar para a Saúde.....	14
4.1. Condicionamento de Ar na Prevenção e Tratamento de Doenças.....	14
4.2. Aplicações de Ar Condicionado em Tratamentos Hospitalares.....	16
5. Estudo das Condições a serem utilizadas no Projeto	28
5.1. Carta Psicrométrica	28
5.2. Classificação da Sala Limpa	28
6. Seleção dos Componentes da Sala Limpa - Materiais.....	29
6.1. Filtros.....	30
6.2. Paredes e Tetos.....	35
6.3. Pisos.....	36
6.4. Vedação.....	37
6.5. Acessórios.....	37
6.6. Equipamentos de Condicionamento de Ar.....	38
6.7. Dutos de Ar.....	39
6.8. Tubulações de Fluidos	39
7. Parâmetros a serem considerados no Projeto.....	40
8. Operação, Manutenção e Comportamento.....	43
9. Dimensionamento da Sala	46
10. Dimensionamento do Equipamento	47
11. Tabela das Condições de Operação do equipamento	48
12. Conclusões	50
13. Referências Bibliográficas:	51

1. Objetivos

O presente trabalho visa caracterizar as propriedades e parâmetros importantes do ar normalmente encontrado na atmosfera, para que, a partir do ar a ser utilizado e das necessidades dos diversos ambientes hospitalares, possamos projetar um equipamento que atenda essas necessidades. Procuraremos levantar as reais necessidades de pacientes hospitalares típicos a fim de que parâmetros do equipamento possam ser fixados.

Em uma primeira avaliação, pode-se dizer que as variáveis que devem ser consideradas para avaliarmos as necessidades das pessoas podem ser resumidas como sendo:

- Temperatura;
- Umidade;
- Grau de "limpeza" da sala;
- Número de Movimentações de ar da sala;
- Pressão.

Em um primeiro momento, será avaliado os diversos particulados que podem ser encontrados (em suspensão ou não) no meio. Pode-se dizer, que no caso de esterilização hospitalar, os particulados que mais preocupam são aqueles que representam contaminações. Estes particulados podem também ser encontrados em suspensão, como explicado a seguir e nos obrigam a utilizar filtros com altas eficiências (os chamados "Filtros Absolutos") nas regiões mais críticas.

Feita uma avaliação dos principais "contaminantes do ar", será abordada cada situação, dentre as mais encontradas, para a determinação das condições de projeto. Procuraremos trabalhar com um "range" de condições grande para que tenhamos ao final um equipamento prático e flexível, podendo assim atender aos mais diversos casos de doenças.

Tendo as condições de projeto, será feita uma seleção dos dispositivos necessário para a implementação do equipamento.

Além de livros, citados nas referências, este trabalho também foi baseado em seminários promovidos pela SBCC (Sociedade Brasileira de Controle de Contaminação) dias 19/05/94 e 16/06/94 e pela documentação adquirida.

2. Contaminantes do Ar

O ar é uma mistura de vários gases. O ar atmosférico normalmente é constituído de aproximadamente 21% de oxigênio, 78% de nitrogênio, 1% de argônio e 0,03% de dióxido de carbono. Também participam outros gases como hidrogênio, neônio, criptônio, hélio, ozônio e xenônio, além de quantidades variáveis de vapor de água e matéria sólida microscópica, geralmente chamada impureza atmosférica permanente.

O homem é dependente do ar para sobreviver, mas variações significativas na composição percentual de seus constituintes normais, além da presença de materiais alheios (que podem ser chamados de contaminantes), podem torná-lo impróprio. O engenheiro de ventilação e condicionamento de ar deve preocupar-se tanto com a composição quanto com a contaminação, uma vez que é responsável pela qualidade e quantidade do ar de abastecimento.

2.1. Variação na Composição do ar

A composição do ar pode ser mudada acidentalmente ou deliberadamente. Em locais como esgotos, estações de tratamento ou galerias, o oxigênio contido no ar pode ser reduzido a níveis inaceitáveis à sobrevivência humana. Em espaços restritos, a respiração humana também pode reduzir o oxigênio de maneira similar e causar um aumento de dióxido de carbono.

A pressão atmosférica, concentrações de oxigênio abaixo de 12% ou concentrações de dióxido de carbono maiores que 5% são perigosas, até mesmo por períodos curtos.

As impurezas permanentemente presentes na atmosfera podem originar-se de processos naturais como erosão eólica, maresia e erupção vulcânica. Apesar das concentrações do ar variarem consideravelmente, as concentrações finais estão abaixo do limite humano.

2.2. Classificação dos Contaminantes do Ar

Os contaminantes do ar podem ser classificados como particulados ou gasosos; orgânicos ou inorgânicos; visíveis ou invisíveis; submicroscópicos, microscópicos ou macroscópicos; tóxicos ou não-tóxicos. Outra classificação baseada na origem ou formação dos materiais é feita da seguinte forma:

- 1) Poeiras, fumos e fumaças, que são matérias sólidas particuladas, onde a fumaça contém sempre particulados líquidos;
- 2) Neblina, névoa, que são particulados líquidos;
- 3) Vapores e gases, que não são particulados.

Poeiras, fumos e fumaças

Poeiras são partículas sólidas que chegam ao ar através de acontecimentos naturais como o vento, erupção vulcânica ou terremotos, ou por processos mecânicos como esmagamento, moagem, demolição, rajadas, furações, pancadas, peneiragem e varrição. Alguns destes eventos produzem poeira por causa da redução de grandes massas, enquanto que outros simplesmente dispersam materiais que já estejam pulverizados.

Geralmente, partículas não são chamadas de poeiras enquanto forem menores do que cerca de 100 microns. As poeiras podem ser *minerais*, como rochas, metais ou argila; *vegetais* como sementes, grãos, farinha, serragem, pólen ou algodão; ou *animais* como cabelo, couro, seda, lã ou plumagem.

Fumos são partículas sólidas comumente formadas pela condensação de vapores. Fumos metálicos são gerados de metais derretidos e normalmente ocorrem como óxidos devido a sua alta reatividade. Fumos também podem ser formados pela sublimação, destilação ou reação química, quando os processos formam particulados voláteis predominantemente menores que um micron.

Fumaças são extremamente pequenas, partículas sólidas e ou líquidas produzidas pela combustão incompleta de substâncias orgânicas como o fumo, madeira, carvão, e outros materiais carbonatados. Partículas de fumaça variam consideravelmente em tamanho, sendo que as menores possuem menos que um micron, porém sempre entre 0,1 a 0,3 micron.

A classificação acima não inclui organismos vivos aéreos cujo tamanho varia desde vírus submicroscópicos até os maiores grãos de pólen, não incluindo os menores insetos.

Neblina e Névoa

Neblinas são partículas muito pequenas de materiais que são líquidos a pressões e temperaturas normais. Elas podem ser formadas pela atomização, pulverização, mistura, reações químicas violentas, vaporização ou escape de gases dissolvidos com a diminuição de pressão. Partículas muito pequenas expelidas ou atomizadas por espirros contém microrganismos que podem contaminar o ar.

Névoas são partículas muito pequenas normalmente formadas pela condensação do vapor. A distinção entre neblina e névoa é mínima, uma vez que ambos os termos são usados para particulados aéreos líquidos. A natureza volátil da maioria dos líquidos reduz o tamanho dos seus particulados aéreos.

Vapores e Gases

Vapores são a fase gasosa de substâncias que são encontradas normalmente como líquidos ou sólidos. Como exemplos temos: gasolina, querosene, benzeno, mercúrio, iodo e cânfora.

Gases são normalmente fluidos que tendem a ocupar um espaço completamente e uniformemente. Os gases podem ser solidificados ou liquefeitos com um controle da temperatura e da pressão, porém mais dificilmente do que os vapores.

2.3. Natureza dos Contaminantes Aéreos

Tamanhos dos Particulados Aéreos

Apesar de serem principalmente os particulados viáveis os mais preocupantes, estes podem agregar-se à outras.

Particulados menores do que 0,1 micron passam a ter um comportamento similar a moléculas gasosas, tendo um movimento Browniano e sem velocidade mensurável.

Partículas que tenham de 0,1 a 1,0 micron possuem velocidades que podem ser calculadas, mas que são tão baixas que para fins práticos são desconsideradas (uma vez que as correntes de ar são muito mais rápidas). Mais do que 99% das partículas atmosféricas possuem menos que 1,0 micron.

Partículas de 1,0 a 10 microns possuem velocidades apreciáveis. Contudo as correntes de ar as mantêm suspensas por períodos de tempo consideráveis. A maioria do peso da poeira atmosférica faz com que essas caiam.

Os higienistas industriais estão mais interessados por partículas entre 0,5 e 2,0 microns devido ao fato dos pulmões reterem a maioria destas partículas. Partículas menores são exaladas enquanto que partículas maiores são separadas e retidas na região superior do aparelho respiratório.

Partículas maiores que 10 microns assentam rapidamente, sendo que só são encontradas suspensas no caso de fortes condições do vento. Exceções são lã e outros materiais fibrosos como sementes que podem permanecer suspensas por maiores períodos de tempo. A maioria das partículas maiores que 10 microns são visíveis a olho nu sob condições favoráveis de iluminação, contraste, etc. Partículas menores só podem ser visíveis quando em alta concentração. Fumaça de cigarro (com tamanho de

partículas médio menor do que 0,5 micron) e nuvens são exemplos comuns.

Distribuição do Tamanho das Partículas

É uma forma de expressar a porcentagem do número de partículas que são menores do que determinado tamanho. Gráficos podem ser plotados onde pode-se ver claramente o número relativo das partículas presentes em certo espaço. Partículas menores do que 0,1 micron de diâmetro (mas maiores do que o tamanho mínimo de detecção do microscópio eletrônico - 0,005 micron) perfazem 80% do número de partículas da atmosfera, mas contribuem apenas com 1% em peso. Assim como, as partículas maiores do que 1 micron, apesar de serem 70% em peso, representam apenas 0,1% do total do número de partículas. Isto é claramente explicado pelo fato de que os pesos das partículas aumentam com o cubo do diâmetro. Apesar de que 80% da contaminação é composta por partículas menores que 5,0 microns de diâmetro.

2.4. Quantidade Total de Particulados Suspensos

O problema da quantidade total de particulados suspensos é importante como um forte indicador do grau da contaminação atmosférica de determinado local.

A quantidade de particulados suspensos é enorme. Mesmo se considerarmos as partículas menores do que 0,3 microns que podem ser facilmente contadas por instrumentos de dispersão luminosa, cifras da ordem de milhões de partículas por pé cúbico de ar são comuns. Em uma sala onde tem-se alguns fumantes pode ter concentrações em torno de 1 bilhão de partículas por metro cúbico (30.000.000 de partículas por pé cúbico). Até em locais *limpos*, o ar pode conter mais do que 35 milhões de partículas por metro cúbico (1.000.000 de partículas por pé cúbico). Se as partículas menores fossem contabilizadas (por um microscópio eletrônico

ou um contador de condensação nuclear) a concentração de partículas poderia ser multiplicado por um fator entre 10 e 100.

Medições de Partículas Aéreas

O tamanho e a concentração de materiais aéreos são determinados por procedimentos de amostragem. A quantidade de poeira presente pode ser determinada com base na contagem de partículas ou no peso total. Partículas de poeira podem ser medidas com escalas graduadas ou comparações óticas, usando um microscópio comum. O limite inferior do tamanho de partículas observadas pelo microscópio é de aproximadamente 0,9 micron, apesar de existir variações dependendo da visão do observador, da cor das poeiras e do contraste disponível. Com o emprego de técnicas de imersão da objetiva em óleo, este tamanho pode ser reduzido para cerca de 0,4 micron. Técnicas de campo ótico escuro revelam partículas menores do que esta, com um limite de aproximadamente 0,1 micron. Partículas menores podem ser visualizadas com um microscópio eletrônico. Outras técnicas de medição usam-se de artifícios de medições a partir de arranjos em equipamentos de laboratório. Contadores de condensação nuclear são empregados para a contagem e medição de partículas submicroscópicas com menos de 0,01 micron. Essas partículas, que estão presentes em grande número na atmosfera, participam como núcleos da condensação de vapor d'água.

2.5. Poluição do Ar

Além de ser um problema nas cidades que causa desastres ecológicos e condições metereológicas e topográficas desfavoráveis, uma prolongada exposição da população a esses poluentes acarreta indisposição e até a morte daqueles que são especialmente susceptíveis. Reações químicas facilitadas pela luz do sol e a acumulação de contaminantes podem causar irritação dos olhos, nariz e vias respiratórias que aparecem desde pessoas

muito jovens, apesar dos mais velhos serem particularmente susceptíveis às doenças respiratórias.

A Agência de Proteção Ambiental estipula limites para muitos contaminantes do ar gasosos e para particulados. Estes limites são específicos para os vários tipos de ambientes e utilização do ar e são calculados em função de ensaios, pesquisas ou por um método empírico que determine as condições toleráveis para se ter um ambiente sadio e isento de substâncias que possam prejudicar os seres, equipamentos, etc.

2.6. Microrganismos Aéreos

O interesse em microrganismos aéreos e sua capacidade de permanecerem vivos em diferentes meios é intensificado pela necessidade de se ter espaços que não permitam infecção extra-corpórea em cirurgias e em tratamentos hospitalares sob condições estéreis(1). Métodos de controle de contaminação baseados nestes estudos são similares aos empregados em salas limpas para a proteção de áreas de produções críticas de contaminação de poeiras.

O foco do interesse público no assunto de microrganismos aéreos concentra-se em bactérias responsáveis por doenças e infecções. Entretanto, deve-se notar que existe grande quantidade de microrganismos aéreos além de bactérias que são significativos economicamente e que podem causar contaminação ou perda de produtos.

A maioria dos microrganismos tornam-se aéreos por se agregarem a particulados ou a outros microrganismos. As bactérias originadas do solo são formadoras de esporos e capazes de sobreviverem em meio ambiente hospitalar. Outras bactérias aéreas, especialmente aquelas que ocupam espaços fechados são originárias de gotículas produzidas por ações como o espirro. A concentração de microrganismos na atmosfera varia em grande faixa, de poucas a algumas centenas por pé cúbico, dependendo de muitos

fatores(2). A coleta em um filtro de papel seco pode causar uma degradação na contagem de uma amostra de microrganismos devido a perda de alguns organismos por desidratação.

Quando a remoção máxima de microrganismos aéreos é necessária ou desejável, filtros de alta eficiência de interceptação são usados. Eles são capazes de criar atmosferas essencialmente estéreis(3) e eles são atualmente preferidos se comparados com limpezas químicas ou radiação ultravioleta (métodos também empregados no controle de microrganismos aéreos).

Há muitas situações onde o controle total de microrganismos aéreos é exigido. Para essas situações existe uma variedade de filtros de grande superfície seca de alta eficiência disponíveis. Estes filtros possuem diferença de pressão menores do que os filtros HEPA e freqüentemente possuem capacidade mais alta.

3. Princípios Fisiológicos, Conforto e Saúde

Os princípios fisiológicos são essenciais a um engenheiro para estabelecer projetos de condicionamento de ar e sistemas de ventilação que propiciem ambientes saudáveis e confortáveis termicamente. Baseados nestes princípios, são desenvolvidos critérios e dados sobre a ocupação humana.

3.1. Relacionamento entre a Ocupação Humana e o Ambiente

A temperatura média do corpo humano depende do balanço entre o calor líquido produzido e o calor líquido perdido ao ambiente. Apesar do corpo humano ser um organismo de extraordinária capacidade de adaptação, é necessário um tempo de aclimatação para que este suporte condições térmicas adversas. No caso de condicionamento de ar em hospitais, a questão da interação entre o paciente e o ambiente deve ser mais cuidadosamente estudada levando-se em conta seus problemas e deficiências. A qualidade do ar deve ser garantida de forma que sejam evitadas infecções e contaminações hospitalares. Os cálculos de trocas térmicas e da faixa de temperatura e umidade que o sistema de condicionamento de ar deve prover ao ambiente hospitalar devem ser mais minuciosos do que aqueles feitos em prédios ou ambientes fabris. Muitos tratamentos exigem temperaturas e umidades restritas e imprescindíveis que serão mais tarde citadas. O sistema de condicionamento de ar deve conter além do controle de temperatura e umidade, filtros e outros sistemas que isentem o ar insuflado ao ambiente de particulados indesejáveis, microrganismos e outros constituintes que podem ser nocivos à saúde.

3.2. Infecções

A transmissão de várias doenças se dá através de microrganismos presentes no ar. Com o desenvolvimento da Microbiologia e o

descobrimento de organismos específicos causadores de muitas doenças, foram observadas discrepâncias entre a microbiologia aérea e a distribuição das doenças. Experimentos foram feitos na intenção de descobrir-se o tempo de sobrevivência dos microrganismos do ar e causaram uma reavaliação das possibilidades de infecção por transmissão aérea. Esses estudos concluíram que gotículas podem permanecer suspensas por horas se forem suficientemente pequenas. Se forem maiores, elas assentam formando poeiras e juntando-se a outros materiais contendo microrganismos. Esta poeira pode voltar a ficar suspensa no ar através de atividades normais ou não usuais. Bactérias e vírus sobrevivem e permanecem infecciosos no ambiente se estes resistirem a falta de umidade. É sabido que a sobrevivência em locais secos é possível desde que esses organismos sejam colocados em locais frios e em vácuo (liofilização). As condições para obtenção de resultados equivalentes sob condições normais não são completamente conhecidas. Logo é impossível dizer com exatidão as condições atmosféricas necessárias. Pesquisas de gotículas mostraram que estas evaporam em um curto intervalo de tempo. Os núcleos então formados possuem menos de 20 microns e permanecem em suspensão por longos períodos. Sabe-se que estes núcleos contêm microrganismos vivos. Outros experimentos com bactérias e vírus podem mostrar que estes podem sobreviver no ar e em forma de particulados, além de mostrarem claramente a capacidade de produzirem infecção. Geralmente a situação se agrava em caso de pouca ventilação. Em áreas críticas (por exemplo salas de operações) o fluxo laminar é também utilizado. A esterilização do ar feita com luz ultravioleta é útil em áreas como enfermarias, mas somente na ausência ou se isolada de pessoas. O movimento do ar deve ser projetado para evitar a movimentação do ar potencialmente infectado para áreas não infectadas através do uso adequado do ar externo, evitando o

movimento do ar entre as salas, e limpando o ar recirculante. Esses métodos são empregados em situações onde o risco de infecção é alto, como em tratamentos médicos e em áreas de pesquisas.

Os fatores auxiliadores para o crescimento de alguns organismos podem ser calor, umidade, poeira orgânica, etc. Isto reforça a necessidade de sistemas que façam o controle destas propriedades. Nesse sentido a ventilação exerce um papel muito importante uma vez que pode remover o contaminante ou diluí-lo através do fornecimento de ar (recirculado ou externo) por meios naturais ou mecânicos. As quantidades de ar de ventilação são recomendadas(4) com base nas proporções entre o ar externo e o ar recirculante.

4. Condicionamento de ar para a Saúde

Avanços na área da Medicina e da Tecnologia provocam constantes reavaliações para as necessidades de Ar-Condicionado de hospitais e áreas médicas. Existem evidências médicas de que a utilização de um ar condicionado pode garantir condições específicas e propícias para o tratamento e prevenção de doenças em várias condições. O custo relativamente alto destas instalações é devido a projetos muito específicos e cuidadosos para que seja assegurada uma condição de gerenciamento econômico da energia.

4.1. Condicionamento de Ar na Prevenção e Tratamento de Doenças

Condições áridas constituem um risco para doenças e debilitações pela contribuição de infecções secundárias ou infecções totalmente não relacionadas às condições clínicas, causando hospitalização.

Áreas clínicas dirigidas ao tratamento do aparelho respiratório superior, assim como outras áreas clínicas do hospital devem ser mantidas à uma umidade relativa mínima de 30%.

Pacientes com doenças pulmonares crônicas sempre possuem secreções viscosas através do aparelho respiratório. Com a acumulação e o aumento da viscosidade, as trocas de calor e água diminuem. Assim, um ar de inspiração que seja aquecido e umidificado é essencial para prevenir desidratação nestas circunstâncias.

Pacientes que requerem oxigênio ou aqueles traqueostômicos (com uma abertura artificial para a utilização de um tubo de respiração) requerem atenção especial para que o suprimento de ar seja quente e úmido. Em condições extremas, usa-se o oxigênio frio e seco. Técnicas de respiração artificial para anestesia e incubação são tratamentos que devem considerar a difícil perda de calor.

O condicionamento de ar hospitalar deve assumir um compromisso principalmente com os pacientes em detrimento ao conforto. Em muitos casos, o condicionamento de ar é um fator no tratamento dos pacientes, e em alguns outros este é o principal tratamento.

Uma análise de pacientes em hospitais com condicionamento de ar particulares onde o ambiente é quente e úmido, tem revelado uma melhoria dos seus sinais vitais se comparados com um grupo de uma parte não condicionada do hospital. O grupo com condicionamento de ar estava mais tranqüilo e tiveram melhorias físicas mais rápidas.

Pode-se citar os casos de pacientes que serão primordialmente considerados neste trabalho:

- Pacientes com tireotoxicose (intoxicação orgânica por excesso de secreção tireóidea) muito dificilmente toleram condições de umidade quente ou "baforadas". Um ambiente frio e seco favorece a perda de calor por radiação e evaporação da pele e pode salvar a vida do paciente.

- Pacientes cardíacos são incapazes de manter a circulação necessária para garantir a perda de calor natural. A importância do condicionamento de ar controlado, particularmente em pacientes com deficiência cardíaca crônica, tem sido reforçada como uma extensão terapêutica. Isto é mais importante em climas tropicais e subtropicais. Indivíduos com lesões na cabeça, submetidos a operações cerebrais e aqueles envenenados por barbitúricos podem ter hipertermia, especialmente em ambientes quentes devido ao distúrbio do centro regulador de temperatura do cérebro. Obviamente os fatores mais importantes para que estes pacientes possam perder calor por evaporação e radiação são a baixa temperatura e a desumidificação do ar. Um ambiente quente e seco de 32°C e 35% de umidade relativa tem sido usado por um extenso período para o tratamento de pacientes com artrite reumatóide com melhorias observadas.

- Pacientes queimados necessitam de um ambiente quente e com alta umidade relativa. O controle para vítimas de queimaduras severas deve permitir ajustes da temperatura da sala acima de 32°C e umidade relativa acima de 95%.

- Um outro caso comum e que deve ser considerado, refere-se àqueles pacientes que se sujeitaram a cirurgias de grande porte, muitas vezes demoradas (debilitando muito o organismo), ou em regiões do corpo que, por natureza, não são consideradas regiões limpas (como por exemplo em casos de operações intestinais). Principalmente neste último caso, o maior problema é a contaminação por microrganismos (algumas vezes até da própria flora do paciente).

Fazendo uma análise (por ora superficial) das situações enumeradas acima, pode-se afirmar que a diversidade de condições de temperatura, umidade e nível de contaminação requer sistemas de condicionamento de ar extremamente flexíveis e que possam operar em uma ampla gama de operações.

4.2. Aplicações de Ar Condicionado em Tratamentos Hospitalares

A aplicação direta do ar condicionado para tratamento de saúde pode apresentar muitos problemas não encontrados em sistemas de condicionamento de ar usados para conforto térmico.

As diferenças básicas entre o condicionamento de ar para hospitais e os normalmente usados em edifícios são:

- a. A necessidade de restringir o movimento do ar dentro e entre as várias salas;
- b. As necessidades específicas de ventilação e filtragem para diluição e remoção dos contaminantes em forma de odor e microrganismos aéreos;
- c. As necessidades de temperatura e umidade diferentes das várias áreas;

d. A sofisticação necessária no projeto a fim de permitir um controle preciso das condições ambientais.

Atualmente muitas destas diferenças básicas têm sido acentuadas pelo problema sério dos *Staphylococcus* e outras infecções comuns em muitos hospitais.

O Problema da Infecção

Um hospital moderno é um caso singular dentre as construções uma vez que em seu projeto deve-se levar em conta a manutenção de um ambiente asséptico. Dentre as preocupações do engenheiro está relacionada a contaminação bacteriológica aérea e seus efeitos na incidência da infecção.

Drogas "miraculosas" não reduzem os procedimentos assépticos porque certos organismos desenvolvem uma imunidade a estas drogas.

Qualidade do Ar

Além de se prover um ambiente confortável e razoavelmente livre de poeira, odores e poluentes químicos, o engenheiro deve preocupar-se com os contaminantes bacterianos aéreos. O uso de sistemas de filtragem de alta eficiência podem livrar o ar de contaminação bacteriológica, quer seja o ar externo ou ar recirculado(5). Pode-se observar que a qualidade do ar externo varia bastante se considerarmos as estações do ano. No verão, a quantidade de poeira presente na atmosfera pode chegar até a quatro vezes a poeira encontrada no inverno. A degradação da qualidade do ar externo e a necessidade da conservação da energia são fatores que tendenciam para a escolha da recirculação.

A contaminação encontrada no ar hospitalar é proveniente de pacientes, funcionários e visitantes ou do resultado de atividades associadas ao tratamento do paciente.

O significado de contagens bacteriológicas na incidência das infecções ainda não foi estabelecido, a menos da indicação da relação entre a taxa de infecção e a qualidade do ar. Por causa da falta completa de informação, autoridades médicas estão relutantes em adotar limites permissíveis para a contaminação bacteriológica do ar das várias áreas de um hospital. Todas as autoridades médicas são unânimes, entretanto, quanto ao fato de que a contaminação deve ser mantida mínima, particularmente em áreas como salas de cirurgia, berçários, unidades de terapia intensiva, salas de recuperação de queimados e salas de distribuição.

Como no controle de odores, o ar de ventilação serve para a diluição da contaminação bacteriológica do ambiente e como um veículo de remoção da contaminação. A quantidade de ventilação requerida em trocas de ar por hora depende da área, do número de pessoas envolvidas e do grau de risco a que o paciente está submetido.

Lâmpadas de esterilização ultravioleta para melhoria da qualidade do ar não são recomendadas para uso geral em hospitais por causa da manutenção requerida na limpeza das lâmpadas, a limitação da localização das lâmpadas e a blindagem de proteção requerida para pacientes e funcionários, além da possibilidade que a exposição letal de organismos aos raios pode não ser eficiente, principalmente em organismos transportados por poeiras. Instalações de lâmpadas de esterilização em dutos têm alta eficiência quando operadas sob condições cuidadosamente controladas. Estes sistemas entretanto são muito complicados além de possuírem custos, inclusive de manutenção, maiores que as instalações de filtragem usadas para o mesmo propósito.

Outro fator importante na manutenção da qualidade do ar é a localização dos dutos de ventilação externa e do sistema de

condicionamento de ar. Estes dutos não devem estar localizados próximos ao piso ou saídas da exaustão do hospital ou de edificações vizinhas. A não observação deste fator pode trazer sérios riscos da entrada de contaminantes perigosos de fontes como: escapamento de veículos, fertilizantes e poeiras, bactérias da terra no ar de suprimento. Além disso, são verificados problemas com a vida do sistema de filtragem, a qualidade do filtro e a manutenção dos dutos.

Nesta consideração da ventilação externa deve-se dizer que os dutos de entrada devem estar localizados no mínimo a 7,62 m (25 pés) de saídas de exaustão do hospital e de edificações vizinhas, sistemas de vácuo da sala cirúrgica, etc. O duto deve estar também a mais ou menos 1,83 m (6 pés) acima do nível do chão, ou instalado abaixo do teto no mínimo a 0,91 m (3 pés) (6).

Ultimamente, a poluição atmosférica com produtos químicos proveniente de processos industriais e da combustão de combustíveis em áreas muito urbanizadas tem recebido especial atenção por causa dos seus prejuízos à saúde. Na maioria dos casos, níveis de contaminação baixos não afetam as condições clínicas dos pacientes. Entretanto, repentinas concentrações altas resultantes de inversões térmicas pode ter efeitos fatais, geralmente sobre pessoas com problemas cardio-pulmonares. Apesar destas inversões serem muito rápidas, a recirculação completa é aconselhada nestes casos em áreas que servem a pacientes com doenças respiratórias ou do aparelho respiratório superior.

Limpeza do Ar

Muitos métodos podem ser utilizados para a determinação da eficiência de sistemas de filtragem na remoção de particulados inorgânicos de uma corrente de ar(7). Filtros comercialmente encontrados podem remover quase totalmente bactérias, e outros filtros especialmente

desenvolvidos podem remover particulados inorgânicos de 0,1 micron de tamanho. Há evidências que muitas destas subpartículas são menores do que as bactérias (0,5 a 4 μm) e certas autoridades acreditam que a performance dos sistemas de esterilização deve ser medida com base no tamanho viável de organismos vivos.(8) (9). Observa-se que, por mais eficientes que sejam os filtros, a remoção de microrganismos viáveis como os *virus* (0,003 a 0,005 μm) é impossível. Estudos indicam que 90% das partículas encontradas no meio hospitalar possuem tamanho maior do que 5 micron, sendo que o seu diâmetro varia normalmente entre 6 e 14 microns. Estes estudos devem considerar o fato de que os microrganismos podem estar associados a outros particulados (aumentando assim o seu tamanho aparente).

Eficiências dos filtros usados em ventilação central ou em sistemas de condicionamento de ar são especificadas de acordo com a área de designação dos sistemas e, em alguns casos são especificados dois estágios de sistemas de filtragem. Nestes casos, o primeiro estágio deve estar localizado à jusante do equipamento de condicionamento de ar (com uma eficiência menor) e um segundo estágio deve estar após o ventilador de insuflamento, qualquer sistema de borrifo de água recirculada e de umidificadores tipo reservatório. Precauções devem ser tomadas para se evitar umidade dos componentes dos filtros. Nos casos de termos apenas um filtro, este deve estar localizado após o equipamento de condicionamento de ar (filtro "terminal").

Eficiências de Filtros para Ventilação Central e Sistemas de Ar-Condicionado em Hospitais

Área	Número mínimo de Estágios de Filtros	Eficiências do Filtro, %	
		Primeiro Estágio de Filtros	Segundo Estágio de Filtros
Áreas Críticas *	2	25	90
Cuidados e Tratamento dos Pacientes	2	25	90 **
Áreas de Preparação de Alimentos e Lavanderias	1	80	—
Administração, Estoques e Áreas Adjacentes	1	25	—

* Inclui salas de operações, quartos de recuperação e unidades de terapia intensiva.

** Pode ser reduzido à 80 % para sistemas que utilizam ar externo.

- Filtros "Absolutos" HEPA e ULPA.

Em função do número de partículas presentes no ar, podemos classificá-lo em *classes* conforme segue:

Classes de Salas Limpas - Particulados Aéreos

Classes		Limites das Classes (em volume)				
		0,1 (µm)	0,2 (µm)	0,3 (µm)	0,5 (µm)	5,0 (µm)
Inglesa	SI	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
	M 1	350	75.7	30.9	10.0	-
	M 1.5	1.240	265	106	35.3	-
1	M.2	3.500	757	309	100	-
	M 2.5	12.400	2.650	1060	353	-
	M 3	35.000	7.570	3.090	1.000	-
100	M 3.5	-	26.500	10.600	3.530	-
	M 4	-	75.700	30.900	10.000	-
	M 4.5	-	-	-	35.300	247
1.000	M 5	-	-	-	100.000	618
	M 5.5	-	-	-	353.000	2.470
	M 6	-	-	-	1.000.000	6.180
100.000	M 6.5	-	-	-	3.530.000	24.700
	M 7	-	-	-	10.000.000	61.800

Retirada da norma Fed Std. 209E (mais recente norma e que está em implantação em todo o mundo).

Movimento do Ar

A próxima tabela ilustra como e a quais níveis a contaminação pode ser dispersa em um hospital se consideradas a atividade de arrumar-se a cama no trato de um paciente. A contagem de bactérias no corredor ilustra claramente a contaminação se espalhando.

Assim sendo, o controle da movimentação do ar deve ser projetado de tal forma a minimizar o espalhamento da contaminação nestes casos. O conceito de fluxo laminar desenvolvido para processos industriais possui uma utilização atrativa nos casos médicos mais críticos. Há defensores dos dois tipos de fluxo: o horizontal e o vertical com ou sem paredes (fixas ou móveis) em volta do grupo de cirurgões.

O fluxo laminar em salas de cirurgia pode ser definido como aquele em que o fluxo é predominantemente unidirecional quando não obstruído. Geralmente possui uma velocidade de $0,46 \pm 0,10$ m/s. O uso do fluxo laminar de ar ainda é restrito devido à falta de endosso das autoridades como o *Committee on Operating Room Environment of the American College of Surgeons*. Em alguns hospitais utilizam-se exaustores que removem o ar de camadas mais baixas da área de operação.

Tem-se observado que o fluxo laminar de ar teve bons resultados em pacientes normalmente susceptíveis à doenças infecciosas. Entre estes pacientes poderíamos citar: os severamente queimados, aqueles tratados com terapia de radiação, quimioterapia concentrada, transplantados de órgãos, amputados e operados do quadril, cirurgia cardíaca e cirurgias ortopédicas.

Influência do Ato de se arrumar a cama na Contagem das Bactérias Aéreas em

Hospitais

Item	Contagem em Pés Cúbicos (Metros Cúbicos)	
	Dentro do Quarto do Paciente	Corredor perto do Quarto
Chão	34 (1200)	30 (1059)
Durante o ato de arrumar a cama	140 (4944)	64 (2260)
Após 10 minutos	60 (2119)	40 (1473)
Após meia hora	36 (1271)	27 (953)
Chão	16 (565)	
Arrumar a cama normalmente	100 (3521)	
Arrumar a cama vigorosamente	172 (6074)	

Uma pequena quantidade do ar de exaustão sobre a área da mesa de operação deve ser considerada para remoção de gases anestésicos, minimização do calor da lâmpada de operação além da descontaminação da

área de cirurgia. O fluxo indesejável de ar entre os quartos e andares dificulta o controle do espalhamento de contaminantes principalmente por causa de portas abertas, movimentos de funcionários e pacientes, diferenciais de temperatura, escadas, elevadores, etc. Enquanto alguns destes fatores podem ser controlados praticamente, o efeito de outros pode ser minimizado pelo controle de aberturas de salas fechadas e pelo projeto e balanceamento de sistemas de ar a fim de criar uma pressão de ar positiva ou negativa em certas salas e áreas.

Os sistemas que servem áreas muito contaminadas como quartos de isolamento para doenças contagiosas e salas de autópsia devem manter uma pressão de ar negativa destas salas com relação às áreas adjacentes ou o corredor. A pressão negativa é obtida por um fornecimento de ar menor do que a sua exaustão. Isto induz um fluxo de ar para dentro desta área através das portas e janelas, prevenindo assim um fluxo de ar para o exterior. A sala de operação é um exemplo da condição oposta. Esta sala, que requer ar livre de contaminação, deve ser pressurizada com relação às áreas adjacentes ou corredores evitando movimento de ar de fora para dentro.

Diferenciais de pressão de ar somente podem ser mantidos em salas completamente fechadas. Logo é importante que todas as portas ou aberturas de áreas pressurizadas sejam razoavelmente herméticas. Isto é melhor conseguido com o uso de guarnições nas portas. A abertura de uma porta entre duas áreas instantaneamente reduz o diferencial de pressão entre elas, anulando a eficiência da pressão. Assim, nas aberturas, ocorrerá uma troca natural de ar, também explicada pelas correntes térmicas resultantes de diferenças de temperaturas entre as duas áreas.

Para as áreas mais críticas, as consequências do movimento de pessoas entre as áreas podem ser minimizadas pelo uso apropriado de cortinas de ar ou ante-salas.

Em geral, é recomendado que o ar seja fornecido a áreas ultra-limpas como a áreas muito contaminadas com dutos de saída perto do teto e dutos de exaustão localizados perto do piso. Isto determina um movimento descendente do ar limpo passando pelas áreas de trabalho em direção ao solo contaminado para a exaustão.

A tabela condensa as condições das situações descritas acima.

Condições para as situações consideradas para projeto

Situações Designação da Área	Temp. (°C)	Umidade (%)	Classe da Área (e)	Mínimo de Trocas de Ar Ext. p/hora	Relação de Pressões c/adjacências	Exaustão Externa Total	Mínimo de Movim. de Ar p/ hora
Sala de Operações (a)	20 a 24 (c)	50 (min) 60 (max)	100 (f) 1.000	15	Positiva excesso 15%	Sim	15
Sala de Operações (b)	20 a 24 (c)	50 (min) 60 (max)	1.000 100.000	5	Positiva excesso 15%	Opcional	25
Unidade Terapia Intensiva (d)	24 a 27 (c)	30 (min) 60 (max)	1.000 100.000	2	Positiva	Opcional	6
Sala de Traumatologia		50 (min) 60 (max)	100.000	5	Positiva	Opcional	12
Berçários	24 a 27 (c)	30 (min) 60(max)	100.000				
Pacientes com Tireotoxicose	20	35	100.000				
Pacientes Cardíacos	32 a 35	35	—				
Sala de Queimados	32 (min)	95 (min)	100 (localizada)				

(a) Sistema de utilização somente de ar externo. A utilização de 100% de ar externo deve ser limitado a locais que realmente necessitem, e somente se são utilizados sistemas de recuperação de calor. Este tipo de sala pode ser citado como sendo salas de operações de grande porte ou demoradas, como transplantes, ortopédicas, etc.;

(b) Sistema com Recirculação de Ar;

(c) O sistema de condicionamento de ar deve ser capaz de variar a temperatura na faixa especificada;

(d) Esta unidade geralmente serve pacientes seriamente doentes de condições clínicas que variam desde pacientes em pós-operatório até coronarianos;

(e) As classes das áreas aqui citada está conforme a norma Fed Std. 209E;

(f) Nestas áreas, as condições de projeto prevêem que a sala seja um ambiente classe 1000 e a área que inclui a mesa de cirurgia ou o leito do paciente queimado seja de classe 100 (descontaminação localizada);
Obs.: O equipamento deve estar em conformidade com a NFPA N° 56A (*Standart for the Use of Inhalation Anesthetics*).

Seleção do Regime de fluxo

Classe Regime	1	10 unidirecional	100	1.000	10.000 não-unidirecional	100.000
Taxa de Renovação por Hora		Maior do que 400		>50	>30	>20

No caso de áreas com regime unidirecional e taxa de renovação de ar por hora maior do que 400, é possível a obtenção de ar estéril.

Assim, pelo que se observa nos dados contidos na tabela acima, as situações consideradas fazem com que o projeto de equipamento que atenda todos quesitos seja um projeto amplo e completo em termos de ar condicionado. Avaliando ainda as condições acima, podemos perceber que há certas situações que possuem condições de temperatura e umidade limites para o caso do projeto.

Como situações atendidas, podemos citar:

- Temperatura de 19°C e umidade de 45%. Aplicadas à pacientes com tireotoxicose;
- Temperatura de 20 a 24°C e umidade de 50%. Consideradas condições normais de operação;
- Temperaturas maiores do que 32°C e umidades maiores do que 95%. Aplicadas a pacientes queimados;
- Temperaturas maiores do que 32°C e umidades em torno de 45%. Aplicadas a pacientes cardíacos.

Obs.: poderíamos incluir outras condições intermediárias. Mas é facilmente perceptível que estas condições podem ser *setadas* com certa precisão em um equipamento que atenda condições tão dispares.

Com certeza estas condições, somadas às condições de classe de limpeza (em certos casos classe 100), devem ser consideradas com bastante cuidado, uma vez que não é fácil obtermos as condições estando garantidos níveis de contaminação aceitáveis.

As exigências básicas para as condições do ar ambiental em instalações de ar condicionado e ventilação para unidades médico-assistenciais estão descritas na norma brasileira **NBR-7256/82**. Os dados constantes nesta tabela, podem não estar totalmente condizentes com tabelas expostas acima mas servem como mais um referencial para a adoção das condições de projeto. Segue a seguir uma *Tabela-resumo* das informações contidas nesta norma.

Norma NBR-7256/82 (para maiores informações, veja norma)

Classe do Ambiente	Exemplos de Ambiente	Condições físicas do ar ambiente				Unid. Rel. (%)	Temp. Max. (°C)	Vazão Min. m³/m²/h	Troca Min. Amb. (h⁻¹)	Etapas de Filtragem		Ar de Exaustão Mínimo Desejável	Nível Sonoro Instal. dB	Pressão do ar amb. em rel. adj. Positiva
		Temp. Min. (°C)	Unid. Rel. (%)	Ar de Insuflamento	(*)									
I - Ambientes com nível muito baixo de germes	Salas de Operação	19	45-60	24	45-50	15	25			G2/F2/A3	G2/F2/A3	-	50	
	Unidades de Internação Especiais	24	40-60	26	40-60	15	25			G2/F2/A3	G2/F2/A3	-	40	
	Laboratórios Especiais	20	40-60	26	40-60	15	25			G2/F2/A3	G2/F2/A3	-	50	
II - Ambientes com nível baixo de germes	Salas de operações sépticas e assépticas (exceto da classe I), Operação de acidentados	19	45-60	24	45-60	15	15						45	Positiva
	Demais amb. do centro cirúrgico e corredores	19	45-60	24	45-60	15	10			G2/F2	G2/F2	-	45	Positiva
	Berçários de prematuros e perinatologia	24	40-60	26	40-50	15	10						40	Positiva
III - Ambientes com nível normal de germes	Salas de gesso (no centro cirúrgico)	19	45-60	24	45-60	15	15						45	Positiva
	Unidades de Tratam. Int. (cirurg. e internístico)	24	40-60	26	40-60	15	15						35	Positiva
	Unidade de Queimados	24	40-60	28	45-65	15	15						35	Positiva
IV - Ambientes com ar contaminado	Centro Obstétrico	22	45-60	26	45-60	15	15						45	Positiva
	Isolamento (excluindo U.T.I.)	22	40-60	26	40-60	6	6						40	Negativa
	Salas de Recuperação Pós-operatória	22	45-60	24	45-60	15	10			G2/F2	G2/F3	F2/A1	40	Indifere
V - Demais Ambientes	Berçários Normais (baixo risco)	24	40-60	26	40-60	15	10						40	Positiva
	Emergência (área de atendimento)	22	45-60	26	45-60	15	15						45	Indifere
	Unidade de Moléstias Transmissíveis	20	40-60	26	40-60	6	6			G2/F2	G2/F2	F2/A3	40	Negativa
VI - Demais Ambientes	Sala de Roupa suja	-	-	-	-	-	-						-	-
	Necrotério (sem câmaras frigoríficas)	20	40-60	26	40-60	3	3			G2	-	G3	45	Negativa

(*) Tem relação com o filtro que deve ser utilizado;

(*) Tem relação com o filtro que deve ser utilizado:

- Classe G - filtros grossos - podem ser laváveis ou descartáveis;
- Classe F - filtros finos - são descartáveis;
- Classe A - filtros Absolutos - são descartáveis.

Obs.: Os dados desta tabela são acompanhados de notas informativas que, na maioria dos casos, trata situações especiais onde outras condições podem ser usadas.

Os ambientes classe I são:

- Salas de operações de alto risco como transplantes, cirurgias cardíacas, ortopédicas e ósseas;
- Unidades de internação especiais como imunologia, tratamento de leucemia, queimaduras, pós-operatório imediato de transplantados;
- Laboratórios especiais como engarrafamento de soro, preparação de fluidos para transfusões, câmaras assépticas.

Os ambientes classe II são:

- Salas de operações sépticas e assépticas (desde que não da classe I), operação de queimados;
- Demais ambientes do centro cirúrgico e circulação correspondente;
- Berçário de prematuros e perinatologia (condições ambientais fora da incubadora);
- Salas de gesso (desde que no centro cirúrgico);
- Unidades de Tratamento Intensivo (cirúrgico e internístico), incluindo-se pós-operatórios de cirurgias cardíacas e neurocirurgias, excluindo-se o caso de UTI para tratamento de infartados, que podem ser considerados como enfermarias classe III.

Os ambientes classe III são:

- Centro Obstétrico;
- Isolamento, excluindo-se os da UTI.

Com respeito à classificação de salas limpas de acordo com o critério adotado pela Federal Standard 209D, podemos fazer a seguinte correlação aproximada:

- Ambiente classe I - sala limpa classe 100;
- Ambiente classe II - sala limpa classe 10.000;
- Ambiente classe III - sala limpa classe 100.000 a 100.000;

5. Estudo das Condições a serem utilizadas no Projeto

Temos, a partir da pesquisa realizada, as condições que o equipamento deve atender. Além da simples enumeração destas condições, deve-se fazer um estudo mais aprofundado para que possamos ter uma definição mais precisa dos processos que serão envolvidos. Para tanto, utilizaremos o *Diagrama Psicrométrico*. Os princípios de Psicrometria serão aplicados em assuntos relacionados com o cálculo da carga térmica, sistemas de ar condicionado, serpentinas de desumidificação e resfriamento e condensadores evaporativos. Em equipamentos como umidificadores, serpentinas de desumidificação e resfriamento e condensadores evaporativos ocorrem processos com transferência de calor e massa simultaneamente entre o ar e uma superfície molhada.

5.1. Carta Psicrométrica

Anexo ao relatório, encontra-se o diagrama Psicrométrico que pode ser facilmente encontrado na literatura. As condições do ar antes e depois dos processos envolvidos serão enumerados baseados nos dados já coletados e a partir de normas, manuais e livros. Como condições de entrada, fixaremos as condições especificadas como de projeto para a cidade de São Paulo no inverno e no verão. Conforme citado nestas próprias normas, as condições asseguram uma margem de segurança para que o equipamento possa ser eficaz "todo o tempo" sem que sejam muito superdimensionados.

5.2. Classificação da Sala Limpa

A sala limpa que se pretende projetar tem a finalidade de servir como quarto de recuperação para os diversos pacientes citados. Para atender ao caso mais crítico quanto à limpeza da sala, esta deve, pelo menos, oferecer condições para que tenhamos uma área localizada de classe 100.

6. Seleção dos Componentes da Sala Limpa - Materiais

A partir das condições acima doravante chamadas de "condições de projeto", deve-se especificar que tipos de dispositivos devem estar presentes em um equipamento eclético que atenda a todas as condições listadas.

Diante do que foi dito e de acordo com os objetivos da medicina, pode-se afirmar que a prioridade não é principalmente a concentração de particulados, mas sim a proporção de elementos biologicamente ativos no ar. Apesar da alta tecnologia atual, a esterilidade de ambientes não está assegurada, mas os riscos de contaminação por organismos vivos podem ser reduzidos.

Com certeza o projeto de salas limpas é a reunião de documentos gerados a partir da experiência anterior. O reaproveitamento de instalações existentes deve ser criteriosamente avaliado e pode, eventualmente, ser decisivo na decisão de um investimento. Como este trabalho dispõem-se a projetar algo que não leve em conta o local de instalação especificamente, os equipamentos a serem escolhidos não terão vínculo com qualquer informação sobre o que é usado atualmente. Dentre os dispositivos já presentes no mercado para atender certas necessidades, podemos agrupá-los para futura seleção em classes de acordo com a sua função.

Propõe-se duas alternativas de construção que deverão ser consideradas e ponderadas para o projeto. As condições de projeto são as mesmas mas a disposição dos equipamentos é diferente.

Nos parágrafos em que encontrarmos uma → devemos interpretar como sendo uma opção de material ou equipamento para o sistema. Estas alternativas podem ou não ser viáveis para as duas opções de projeto. Assim, a escolha destas opções pode ser feita em um outro parágrafo ou até mesmo em um apêndice, sendo que o melhor entendimento para sabermos de qual opção de projeto estamos nos referindo só é conseguida atendo-se às figuras e aos cálculos.

6.1. Filtros

Antes de comentarmos sobre estes elementos, deve-se fazer um comentário importante. Existem basicamente *quatro métodos* para quantificarmos a eficiência de um filtro. Estes métodos, por basearem-se em princípios bastante distintos, dão como resultados eficiências muito diferentes. Os métodos são os seguintes: o teste colorimétrico (ou eficiência de mancha); o método gravimétrico (ou arrestância); o teste de penetração (ou de eficiência fraccional); e o teste de eficiência por tamanho de partícula. As eficiências que são normalmente mencionadas dependem da classificação do filtro (fino, grosso, absoluto) mas geralmente, os filtros grossos têm a sua eficiência mencionada pelo método da pesagem (gravimetria); os filtro finos podem ser referenciados pelo teste colorimétrico.

Usualmente em ventilação e ar condicionado pode-se utilizar vários tipos de filtros. Entre estes, podemos citar:

Filtros Planos - são filtros cujo meio filtrante é composto de "adesivos" e podem ser dos seguintes tipos:

- Filtro de Telas Expandidas. é formado por telas expandidas e trabalham por interceptação direta. Possui baixa eficiência.

- Filtros Metálicos. Um metal corrugado forma um labirinto de alguns passos onde a mudança brusca de direção do ar causa a impactação inercial, além do efeito de intersecção. Só possui eficiência de 63% com o uso de adesivo.

- Filtro Planos de Fibras. Fibras com densidade de acumulação progressivamente aumentada desde a entrada do ar até a saída.

Todos os filtros planos possuem eficiência baixa. São usados normalmente com uma velocidade média de 2,5 m/s.

Filtros de Cunha - são basicamente iguais ao do tipo anterior, onde por razões de menor ocupação de espaço, são montados em cunha.

Filtros de Bolsas - São filtros que utilizam meios filtrantes de microfibras de densidade e diâmetros progressivos do tipo seco. Possuem superfície expandida podendo acumular uma grande quantidade de pó. A construção é mais complicada devido às bolsas. Possui uma velocidade máxima de 2,6 m/s sendo que a variação de eficiência é desprezível com a variação da velocidade. Os filtros desta série são usados normalmente como pré-filtros de filtros absolutos (HEPA).

Filtros de Papel Microplissado - possuem eficiências similares às maiores eficiências do tipo anterior. A sua construção permite colocar grandes quantidades de papel do tipo celulósico em pequenos espaços, permitindo assim que se trabalhe com maiores vazões para a mesma área frontal. Sua eficiência pode chegar à 93%

Filtros Eletrostáticos - têm a sua eficiência diminuída com o uso pois as placas, ao carregarem-se de pó fazem diminuir o campo elétrico, gerado pela diferença de potencial. A eficiência varia entre 85 a 95%, atingindo maiores valores para velocidades de 0,8 a 1,8 m/s (menores do que 2,5 m/s - nominal para os filtros de fibras).

Filtros Absolutos ou HEPA - são fabricados em papel de fibra de vidro de alta qualidade com diferentes gramaturas, sendo as mais comuns 85 e 95 gramas por m² de papel. Devido à baixa porosidade do papel e ao pequeno número de poros para garantir o alto grau de eficiência, a velocidade do ar no papel é de cerca de 2,5 cm/s (0,025 m/s), tornando então necessária uma grande quantidade de papel. Num filtro de, por exemplo 610x610x292mm, para se conseguir uma vazão de 2000 m³/h é necessário colocar-se 22,2 m² de papel. A perda de carga neste tipo de filtro, depende não só da resistência específica do meio filtrante, mas

também das perdas aerodinâmicas devida às configurações do filtro. Assim, o aumento do papel para diminuir a velocidade no meio filtrante, tem como limitante o fato de, ao aumentar o número de dobras, aumentam as perdas aerodinâmicas ou de configuração. Esses filtros também devem garantir, em salas limpas, o paralelismo do fluxo.

Normalmente a pressão diferencial do filtro HEPA é de 130 Pa sendo que a velocidade do ar pode chegar à 0,5 m/s com uma tolerância de $\pm 15\%$.

Em casos de filtragem em áreas hospitalares, utiliza-se filtros "absolutos". Estes filtros absolutos devem ter pré-filtros com eficiência mínima de 80%. Os filtros absolutos seguem a seguinte classificação:

HEPA	eficiência de 99,97%	($> 0,3 \mu\text{m}$)
ULPA	eficiência de 99,9995%	($> 0,12 \mu\text{m}$)

Apesar de, conforme dito acima, estarmos mais preocupados com os elementos biologicamente ativos, a experiência nos comprova que em média existe 1 microrganismo por 3.500 partículas. Logo, se quisermos reduzir o número de microrganismos do ar, devemos reduzir o número de partículas.

Para assegurarmos que a classe da sala seja 100, devemos utilizar o número de filtros conforme segue:

nota : as eficiências consideradas são mencionadas de acordo com o teste que verifica a passagem de partículas maiores do que $0,5 \mu\text{m}$. (DOP)

- na entrada do equipamento, devemos utilizar um filtro grosso que tenha uma eficiência de 12% para a retenção de particulados grossos. Assim, se considerarmos que a concentração de partículas do ar externo seja de $3,53 \times 10^7$ partículas/ m^3 , após este filtro teremos $3,11 \times 10^7$ partículas/ m^3 ;
- na saída do módulo de tratamento do ar externo, devemos colocar um filtro fino para que alcancemos níveis aceitáveis de concentração de partículas. Como podemos considerar que um filtro fino tenha uma

eficiência de 67%, após este filtro, teremos que a concentração será de $1,03 \times 10^7$ partículas/m³;

- no módulo de tratamento da recirculação do ar, devemos considerar a parcela de ar que é proveniente da recirculação do ar. Para cálculo, consideraremos que o ar insuflado na sala é composto de 35% de ar externo. Se a concentração de ar de retorno da sala for de $1,75 \times 10^3$ partículas/m³, a concentração do ar na caixa de mistura é de $3,86 \times 10^6$ partículas/m³. Se colocarmos um filtro fino de 83% na saída, o ar de entrada da sala será de $6,57 \times 10^5$ partículas/m³;
- na sala limpa propriamente dita, deve-se instalar um filtro HEPA (com eficiência de 99,97%) para que possamos ter uma concentração da ordem de 197 partículas/m³.

Assim, de acordo com as solicitações de concentrações expostas acima, podemos concluir que devemos utilizar os filtros citados a seguir.

nota : as eficiências consideradas são mencionadas de acordo com o teste colorimétrico, pois os catálogos baseiam-se neste teste para especificação dos filtros.

- filtro grosso, com uma eficiência de 50%. Para a seleção de filtros deste tipo, escolheremos dentre os filtros planos ou de bolsas (preferindo de antemão o segundo tipo);
- filtros finos, sendo um com eficiência perto de 85% e um segundo com eficiência próxima à 95%. Neste caso, deve-se considerar os filtros de papel microplissado e os filtros eletrostáticos. Apesar dos eletrostáticos possuírem uma eficiência maior, os de papel microplissado são acomodados em um espaço menor com uma maior vazão de ar;
- no teto da sala, só podemos utilizar os filtros absolutos (HEPA ou ULPA). Apesar deste último possuir uma eficiência maior

(inclusive para particulados menores) percebe-se, inclusive pelo exposto acima, que a distribuição de particulados no ambiente e o grau de limpeza da sala não justificam o uso de tal sofisticação. O filtro ULPA não é usado para aplicações hospitalares. Assim, fica determinado o uso de filtro HEPA na região de insuflamento do teto da sala.

O Filtro Absoluto possui a característica de perda de carga variável a ponto de precisarmos compensar esta variação. A perda de carga imposta à linha quando o filtro está novo é muito menor do que esta perda de carga para o filtro carregado. O sistema de compensação deve ser de tal forma a que possa servir de parâmetro para a troca do Filtro. Como primeira hipótese, é cogitado o seguinte:

- a utilização de uma válvula (*air locks*) que restringisse a vazão de tal forma a que a vazão total (válvula mais Filtro) seja praticamente constante. Existe, no mercado, válvulas automáticas que, com a queda da vazão, abriam liberando a vazão. Também há a opção de se usar válvulas manuais apoiadas à manômetros inclinados aos filtros. Esta solução resolve a perda de carga do circuito como um todo uma vez que pode-se compensar a perda de carga de todas as singularidades. Sabe-se que, para o caso do filtro HEPA (que representa a maior perda de carga variável do sistema) esta variação é da ordem de 130 Pa (com o filtro novo) à 400 Pa (situação em que o filtro deve ser trocado). Sendo assim, uma válvula que pudesse impor uma perda de carga máxima de 150 Pa poderia controlar o sistema com razoável precisão. A desvantagem desta solução é a perda de energia, pois, neste caso, parte da energia está sendo dissipada para o controle do sistema;

- a utilização de um sistema que variasse a rotação do sistema de ventiladores a ponto de forçar-se uma maior vazão caso tenhamos uma maior perda de carga. Este sistema, apesar de ser imediatamente mais caro, não ocasionaria perdas de energia na operação do sistema.
- a não utilização de nada, pois como o filtro HEPA neste caso trabalhará em uma condição abaixo da sua vazão nominal, o tempo para que tenhamos uma variação de perda de carga muito significativa é muito grande. Perdas de carga até 400 Pa são aceitáveis.

A disposição e o número de filtros utilizados no equipamento será comentada na ocasião da enumeração das propostas para a sala.

6.2. Paredes e Tetos

As paredes e tetos devem ter as seguintes características:

- Lisos, livres de abrasão, resistentes contra ácidos e diluentes, vedados contra partículas, resistentes à oscilações ou vibrações, difícil combustão e de fácil limpeza;
- Rápidos para montar e desmontar, com flexibilidade de montagem;
- Os vidros devem ser duplos para salas de grande limpeza;
- As emendas, visores, etc, deverão facear perfeitamente as paredes, perfazendo uma superfície lisa e contínua, sem frestas e cantos;
- O teto deverá ser modular, integrando as luminárias e componentes de insuflamento de ar sendo portanto constituído por uma malha de perfis suportando placas de fechamento e acessórios.

Como opções de construção, temos as seguintes:

- Chapa de aço (revestimento PVC; pintura);
- Aço Inox;
- Laminado melamínico com juntas tomadas em epoxi;

- Azulejo (descartado por apresentar vincos difíceis de lavar);
- Massa fina com pintura epoxi (Ancora);
- Chapa de Alumínio (pintura, esmalte metálico, pintura eletrostática, cromado);
- Vidro - visores e revestimentos de luminárias;
- Gesso (com cantos arredondados em gesso);
- Polimetacrilato;
- Alvenaria (sem frestas) com tinta epoxi de revestimento.

A partir dos dados acima e da troca de experiência com o que há no mercado, será feita a escolha por paredes de alvenaria com acabamento feito com pintura com base de verniz epoxi e tinta epoxi.

6.3. Pisos

Devem ter construção anti-estática e resistente aos ácidos. Como materiais, podem ser empregados:

- PVC - placas;
- Resina de Epoxi;
- Resina de Poliéster;
- Poliuretano;
- Chapa de aço perfurada esmaltada;
- Aço Inox.

A opção será feita por poliuretano ou materiais à base de resina epoxi.

Em salas de grau de limpeza muito grande e em salas de produção limpas, é aconselhado a utilização de pisos elevados (construídos em placas de 600/600 mm). No nosso caso (sala de recuperação), este artifício não é necessário.

6.4. Vedação

- Silicone ou látex para componentes móveis (portas, luminárias, etc);
- Silicone ou látex para elementos fixos (todas as emendas e junções).

A vedação deve merecer um cuidado muito especial uma vez que um serviço mal executado pode por a perder a sobrepressão da sala além de poder permitir a entrada de particulados que não foram considerados no projeto.

6.5. Acessórios

Os acessórios como:

- Luminárias;
- Painéis Elétricos;
- Tubulações de fluidos de processo;
- Dutos de ar.

Deverão ser embutidos ou colocados para fora do ambiente limpo, para evitar pontos de acumulação de sujeira e que a manutenção se faça do lado de fora das áreas limpas.

As soluções podem conter equipamentos que já disponham de iluminação própria.

Para o caso do cálculo da geração de calor pelas luminárias, consideraremos que a instalação permitirá a opção de dois tipos de iluminação: um tipo com uma intensidade menor, mais indicada para um quarto de paciente e outro tipo com uma intensidade maior, empregada para uma sala de recuperação.

Sem dúvida este item tende a variar muito dependendo com a opção de projeto considerada.

6.6. Equipamentos de Condicionamento de Ar

Especificaremos a seguir os equipamentos que, em uma primeira análise serão utilizados no projeto:

♦ Geração de Frio

Costuma-se utilizar uma central de água gelada geralmente já disponível nas instalações de um hospital;

Outra opção, caso não se disponha de Chillers ou de fornecimento adicional de água àquelas atividades já usuárias, é o uso de Ciclo de Refrigeração baseados na utilização da expansão de um fluido térmico;

As soluções cogitadas levarão em conta a disponibilidade de água gelada (geralmente disponível em hospitais de grande porte - alvo neste projeto) e de água quente.

♦ Fonte de Aquecimento

Pode-se utilizar vapor ou água quente. Resistências elétricas não são recomendadas;

Como no caso anterior, podemos usar Ciclos de Bombas de Calor;

♦ Resfriamento e Desumidificação

Utiliza-se serpentinas de água gelada ou serpentinas de exposição direta. Como outra opção seria o que foi citado acima, ou seja ciclos térmicos.

No caso de serpentinas, percebe-se que, além de mais baratas e práticas, possuem uma flexibilidade maior de controle de temperatura e umidade. Deve-se tomar um cuidado especial na manutenção que, apesar de ser mais fácil do que os outros sistemas, inclui a limpeza das serpentinas. O projeto deve ater-se à este fato de forma a que não sejam colocadas mais do que oito passes de tubos. A partir deste valor, as limpezas ficam praticamente impossíveis.

♦ **Umidificação**

Utiliza-se umidificadores a vapor, não sendo normalmente usados umidificadores elétricos ou por spray de água.

A questão de qual umidificador será utilizado será finalizada na parte de dimensionamento da sala e no desenho esquemático.

♦ **Condicionadores de Ar**

São utilizados equipamentos compactos e preferencialmente modulares.

6.7. Dutos de Ar

Normalmente são construídos a partir de chapa de aço galvanizado, com ligações feitas por flanges (devido à pressões e à facilidade de desmontagem). O isolamento dos dutos deve ser instalado de maneira a evitar pontos de condensação.

6.8. Tubulações de Fluidos

Podem ser construídos com os materiais:

- Aço inox ou PVC especial para a água potável;
- Cobre para gases diversos.

Os fluidos circulam por dentro das tubulações para evitar perdas térmicas ou contaminação.

7. Parâmetros a serem considerados no Projeto

Além das condições de projeto já citadas, devemos também nos preocuparmos com os vários parâmetros que são necessários para viabilizar o condicionamento de ar na sala limpa.

♦ Tamanho da Sala

Será estimado a partir do que podemos observar em um quarto e que possa comportar, pelo menos em primeira avaliação, todos os equipamentos.

♦ Cálculo de Carga Térmica

Deve ser feito um levantamento criterioso da carga térmica do ambiente, considerando-se:

- temperaturas internas máxima e mínima necessárias nos ambientes;
- umidades relativas máxima e mínima;
- ganho de calor devido à penetração e insolação;
- dissipação térmica interna ao ambiente devido:
 - calor liberado por pessoas;
 - calor dissipado por equipamentos, inclusive a iluminação;
 - calor dissipado pelos ventiladores de insuflamento.

♦ Vazão Mínima do ar exterior;

Para a classe 100, vazão de ar deve ser de no mínimo 15 m³ por hora por m² de área limpa.

♦ Velocidade e Fluxo de Ar

O fluxo deve ser laminar e com uma velocidade média de 0,30 m/s. Considera-se como melhor alternativa o insuflamento feito por cima através de filtros HEPA e saída pelas laterais (nas paredes por baixo) através de grelhas. Uma outra opção será citada e considera a utilização de

um equipamento que dispõe de um fluxo laminar modular que garante a velocidade de ar laminar localizada.

♦ **Número Mínimo de Movimentações do ar;**

Ainda para salas de classe 100, é pré-estabelecido que o número de trocas de ar deve situar-se acima de 500 trocas de ar por hora. Para efeitos de economia de energia, este número de movimentações de ar poderá ser feito de forma localizada (em uma área restrita ao leito do paciente). Esta localização será proposta de duas formas diferentes.

♦ **Etapas de Filtragem;**

Estão calculadas acima no tópico sobre filtros. E como conclusão do exposto, usaremos três ou quatro filtros para chegarmos a níveis aceitáveis à uma classe 100.

♦ **Nível de Ruído Interno no ambiente;**

Cálculo para a verificação da necessidade do uso de supressores de ruído no equipamento. Este item é mais crítico no caso da utilização do equipamento de fluxo laminar modulado, uma vez que o ventilador de insuflamento está interno à sala.

♦ **Pressão do ar do ambiente em relação ao ambiente contíguo;**

Como no nosso caso estaremos tratando de pacientes especiais no quarto, devemos ter uma pressão positiva do quarto em relação aos ambientes contíguos. Para o controle da pressão interna, podemos nos utilizar de:

- Reguladores de pressão, Dampers de Sobrepressão e Conversores de Frequência para variar a vazão de exaustão controlando assim a pressão estática.

♦ **Sistema de Distribuição e Movimentação do Ar.**

Devemos ter, então dois cálculos para o fluxo de ar na sala:

- Baseado na Concentração de Partículas;
- Baseado na Carga Térmica.

Os dois procedimentos citados acima nos darão valores de vazão de ar externo e de circulação para que tenhamos o atendimento das condições propostas. Com base nestes valores, devemos escolher aquele que possa atender os dois critérios. Pode-se adiantar que geralmente a vazão exigida pelo critério da Concentração de partículas será maior do que aquela calculada pela Carga Térmica. Esta idéia somente não é válida em condições extremas de fornecimento de calor ou frio. Assim, a proposta (para economia de espaço, de energia, etc) seria a de se usar um *by-pass* para que o tratamento dado pelo sistema de condicionamento de ar fosse feito apenas na vazão de ar necessária para a manutenção das condições de temperatura e umidade. Para o controle dos particulados, a vazão maior poderia ser obrigada a passar pelos filtros apenas. Outra consideração que pode reforçar esta idéia, é a de que grandes quantidades de fluxo de ar facilitam o controle das condições do ambiente. As condições de umidade serão mais influenciadas pelas condições externas (alterações climáticas) do que por geração de umidade no ambiente.

Existem normas que preocupam-se com níveis mínimos de renovação de ar para o suprimento de oxigênio para as pessoas. No Brasil, utiliza-se a NBR 6401/80. Mas o que se observa é que os valores estão muito aquém dos valores impostos pelo critério de concentração de particulados e, por este motivo, deve ser desconsiderado para efeitos práticos neste trabalho.

8. Operação, Manutenção e Comportamento

Apesar de estarmos tratando de uma sala de recuperação de pacientes, a imagem que temos normalmente quando vamos a um hospital não se aplica à uma sala limpa de recuperação. Isto porque certos comportamentos devem ser regularizados para a garantia da saúde do paciente. São cuidados que serão citados a seguir e que, se não forem seguidos, podem por a perder o tratamento.

Assim sendo são consideradas regras de comportamento pessoal:

- Reduzir ao mínimo o vaivém das pessoas;
- Alimentos, bebidas, cigarros, jóias e enfeites são proibidos;
- Somente roupas prescritas e corretamente vestidas são permitidas;
- Evitar tossir, falar ou espirrar na sala;
- É proibido o uso de cosméticos;
- Pessoas com problemas respiratórios ou doenças de pele não devem entrar na sala;
- Fumantes só são admitidos na sala após duas horas do último cigarro;
- Todos os equipamentos devem ser limpos adequadamente antes de serem admitidos na sala;
- Registros e relatórios devem ser feitos fora da sala;
- É absolutamente proibido levar objetos particulares para a sala limpa;
- Estas regras devem ser aplicadas a todos os freqüentadores da sala.

Além disso, os equipamentos devem ser de fácil limpeza e esterilização. Os reparos e a manutenção devem ser feitos por um mínimo de pessoal, adequadamente vestidos, usando ferramentas e equipamentos esterilizados. As operações de limpeza e esterilização devem ser feitas em áreas separadas das áreas estéreis. Um cuidado muito especial deve ser considerado na compra e manutenção dos equipamentos uma vez que umidades absolutas acima de 50% podem causar processos de corrosão em componentes e contatos elétricos.

A água e os equipamentos de tratamento devem ser regularmente monitorados, química e biologicamente. A água destilada não deve ficar por mais de quatro horas entre a coleção e esterilização, a menos que sejam tomadas precauções especiais para evitar o crescimento de bactérias. Esta esterilização pode ser feita por calor seco ou úmido, por óxido de etileno, por filtração ou irradiação com radiação iônica (mas não com radiação ultravioleta).

A sala deve estar em operação o ano inteiro, sem interrupções. Por razões de economia, à noite e em períodos de menor movimentação o sistema poderá operar com vazões de ar reduzidas mas com velocidade do fluxo de ar não menor que 0,3 m/s. Por questões de conveniência, recomenda-se que, após a parada do sistema e, antes da entrada de operação, efetuar, junto com o trabalho de limpeza, a manutenção preventiva e corretiva. A limpeza deve ser feita com panos úmidos, que não soltem fibras e os resíduos devem ser aspirados ou retirados com ar comprimido filtrado e com a utilização de líquidos descontaminantes.

A manutenção dos sistemas de ventilação ou ar condicionado deve ser preventiva constante e em períodos regulares. Este período está relacionado com as solicitações dos processos operacionais. Para o bom funcionamento dos sistemas das salas limpas, podemos citar:

- Velocidade do fluxo de ar;
- Volume de ar;
- Grau de pureza de ar.

Nas fichas de acompanhamento e nos resultados de inspeções, devemos sempre estar atentos às algumas propriedades.

- Velocidade do fluxo de ar;
- Vazão de ar;
- Pureza do ar primário;
- Pressão diferencial dos filtros absolutos.

Saturações dos filtros podem ser responsáveis pela redução do volume de ar (e da velocidade do fluxo) e podem significar a necessidade da troca dos pré-filtros e, se não resolver, a troca dos filtros absolutos (com o devido cuidado com o controle de vedação contra a estrutura básica).

Nas operações dos equipamentos da sala devem ser feitos com os sistemas de ventilação ou Ar-Condicionado ligados a fim de que as impurezas geradas sejam eliminadas do ambiente. No caso da utilização de água ou qualquer outro fluido que sirva de meio para a operação do equipamento, estes fluidos devem ser constantemente monitorados a fim de não contaminarem o ar de insuflamento. Percebe-se aqui uma vantagem dos sistema que se utilizam de ciclos térmicos. Estes possuem um contato menor com o ar de trabalho.

9. Dimensionamento da Sala

Um cuidado deve ser tomado em todo este trabalho. Como foram propostas duas opções de projeto, tanto o texto como os cálculos estão subdivididos (as vezes de uma forma nem tão clara devido à analogia dos casos) para a melhor comparação possível.

O memorando de cálculo do dimensionamento encontra-se no apêndice 1. Os dados e valores calculados que não foram expostos acima foram encontrados na bibliografia ou a partir da consulta a pessoal especializado em salas limpas e estão citados como dados assumidos.

No Critério da Carga Térmica, foi exposto que será colocada uma televisão na sala. Pode-se pensar que esta é uma situação inviável. Mas o ganho térmico da televisão, além de nos fornecer uma melhor margem de segurança (caso ela realmente não exista) faz com que tenhamos um elemento representativo em termos de geração de calor na sala (por possuir elementos eletrônicos e monitor).

Na opção 1 tem-se os seguintes comentários:

O que está calculado no apêndice supõe que não nos utilizaremos de um *by-pass* para a circulação do ar porque as vazões usadas para cálculo no Critério da Carga Térmica são de condições extremas. Para estas condições, a vazão de concentração de partículas é próxima ou menor às vazões impostas pelo Critério da Carga Térmica.

Mas as demais condições justificam a utilização de um *by-pass* no Fan-Coil.

10. Dimensionamento do Equipamento

As observações feitas no tópico acima continuam valendo. Assim como foi feito para a caracterização da sala, agora será feito para o equipamento. Os dados necessários estão no apêndice 1 e no apêndice 2 e foram completados no próprio apêndice 3. Muitas informações técnicas foram obtidas através de catálogo fornecido pela TROX TECHNIK como dimensões externas, capacidades e disponibilidades.

11. Tabela das Condições de Operação do equipamento

Esta tabela supõe que existam um termostato e um umidistato no equipamento que permitam que sejam *setadas* as condições listadas.

Opção de Projeto 1:

Pacientes	Temperatura Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa	Vazões		
			Ar Recirculado	Ar Externo	
Tireotoxicose	19	45%	2.470	350	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			270	344	inverno
Queimados	32	95%	870	350	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			2.810	350	inverno
Cardíacos	32	45%	50	350	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			1.180	350	inverno
Situações Gerais	22	50%	1.120	350	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			1.840	350	inverno

Obs.: a vazão de recirculação necessária para o Critério da Concentração de partículas é de 2.160 m³/h. Os valores da tabela acima que estiverem abaixo deste valor indicam condições que necessitam da instalação de um *by-pass*. Os valores foram arredondados pois supõe-se que não se tenha um controle tão preciso destes valores.

Opção de Projeto 2:

Pacientes	Temperatura Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa	Vazões		
			Ar Recirculado	Ar Externo	
Tireotóxicose	19	45%	1.210	290	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			200	290	inverno
Queimados	32	95%	660	290	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			2.430	290	inverno
Cardíacos	32	45%	30	290	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			800	290	inverno
Situações Gerais	22	50%	520	290	verão
			(m³/h)	(m³/h)	
			520	290	inverno

Obs.: a vazão de recirculação necessária para o Critério da Concentração de partículas é de 486 m³/h. Os valores da tabela acima que estiverem abaixo deste valor indicam condições que necessitam da instalação de um *by-pass*. Como esses valores são apenas dois, não fica justificável a instalação de um *by-pass*. Os valores foram arredondados pois supõe-se que não se tenha um controle tão preciso destes valores.

12. Conclusões

Durante toda a parte de dimensionamento da sala e do equipamento, foram consideradas duas opções de projeto. Estas propostas foram levadas até um nível que nos desse uma noção mais apurada das vantagens e desvantagens de cada uma delas. Pretendeu-se mostrar como os equipamentos de cada opção prestariam-se às condições e situações de projeto.

É claro que questões como manutenção e facilidade de operação devem ser analisadas à parte com uma melhor avaliação dos equipamentos disponíveis no mercado.

Não foi feita uma escolha final entre as opções por se achar certo deixar a decisão final aos prováveis clientes do equipamento. Há critérios que ficam certos apenas em considerações finais.

Uma vantagem que pode não ter ficado clara no trabalho é a da disponibilidade de equipamentos (de série) no caso da primeira opção de projeto. Verificando os equipamentos disponíveis no mercado, percebemos que o ventilador, as serpentinas e a caixa de mistura devem ser feitos sob encomenda para atender as condições de vazão na segunda opção. Esta tendência pode encarecer o sistema.

A questão custo é muito relativa e deve ser analisada à luz das disponibilidades. O custo dos equipamentos pode ser facilmente obtido em contatos com empresas especializadas. Em uma primeira avaliação, estima-se que a primeira opção é a mais barata e está em torno de US\$20.000,00. Se este preço for comparado com o preço de uma diária de internação na UTI, verificaremos que este preço é bem próximo aos praticados em vários hospitais.

13. Referências Bibliográficas:

ASHRAE Handbook of Fundamentals - Chapter 07 - 1972;

ASHRAE Handbook of Applications - Chapter 07 - 1982;

ASHRAE Cooling Calculation Manual - 1992;

ASHRAE Illuminating Engineering Society of North America - IES 901 - 1989.

- (1) F.B. Engley, Jr. : *The Persistence and Survival of Micro-organisms: I air- borne organisms* (Texas Reports on Biology and Medicine, vol. 13, 1955, p. 712).
- (2) V.W. Greene *et al*: *Air Handling system must be planned to reduce the spread of infeccion* (*Modern Hospital*, August 1960);
- (3) H.M. Decker *et al*: *Air Filtration of Microbial Particles* (Public Health Service Bulletin No. 953, 1962).
- (4) *Standart for Ventilation Required for Minimum Acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE Standart 62-81, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Ga., 1981.
- () Rudoy W., *Cooling and heating Load Calculation Manual*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Ga., 1979.
- (5) J.A. Ulrich, William Cribbs, e G.S. Michaelson: *Recirculation of Air in Operation Rooms* (unpublished report, Mayo Clinic, Microbiology Section, Rochester, MN, August 1968)
- (6) *Minimum Requirements of Construction & Equipment for Hospital and Medical Facilities* (U.S. Department of Health, Education & Welfare, Publlication No. (HRA) 76-4000, 1974).
- (7) ASHRAE Handbook of Equipment - Chapter 10 - 1979.
- (8) H. M. Decker *et al*.: *Air Filtration of Microbial Particles* (U.S. Public Health Service Publication, Communicable Disease Center, Atlanta, Ga, 1962).
- (9) K. R. Goddard: A Procedure for microbiological testing of air filters (*ASHRAE Journal* , February 1963, p.75).

Wilbert F. Stoecker : Refrigeração e ar condicionado;

Celso C.A.Simões, Siegmar H. Adolph : Instruções Básicas para Salas Limpas;

J.P. Holman : Transferência de Calor.

Apêndice 1
Dimensionamento da Sala

CRITÉRIO DA CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS:

Para o Dimensionamento dos Equipamentos, vamos considerar:

(Este projeto pressupõe que o fluxo laminar dar-se-á apenas sobre o leito do paciente)

Dimensões da Sala:	(metros)	Vazão Mínima de Ar Externo:
Largura:	4,0	$Q_{ext} = 284 \quad (m^3/h)$
Comprimento:	3,0	(para que na sala tenhamos 10 trocas de ar por hora)
Altura:	2,7	

Volume da Sala:	=	32,4	(m^3)	Vazão Mínima de ar externo para o leito:
				$Q_{ext} = 60 \quad (m^3/h)$

Dimensões do Leito:	(metros)	Vazão sobre o Leito para $Vel=0,3m/s$:
Largura:	1,0	$Q_{leito} = 2.160 \quad (m^3/h)$
Comprimento:	2,0	(recirculação)

As necessidades de vazão de recirculação para carga térmica estão consideradas no apêndice 3.

Para que tenhamos no mínimo 500 trocas de ar por hora no leito, teremos:

Vazão no Leito: $Q_{leito} = 2.000 \quad (m^3/h)$ (recirculação)

O cálculo da vazão mínima pelo critério de frestas é o seguinte: (m^3/h)

$$Q_{ext} = Q_{vazamentos} + Q_{pressurização} + Q_{exaustão}$$

$$*Q_{vazam.} = C_d * A_{frestas} * (dp)^{1/2} + 0,01 * Vazão = 68,8 \quad (\text{sobrepressão de 15\%})$$

$$\text{onde } C_d = \text{coef. descarga} = 0,87 \quad (\text{ASHRAE}) \quad (\text{vazamento nos dutos})$$

$$*Q_{pressurização} = 3 * V_{sala} = 97,2$$

$$*Q_{exaustão} = 0 \quad (\text{não há exaustão})$$

Assim: $Q_{ext} = 166,0 \quad (m^3/h)$

O cálculo da vazão mínima para as pessoas é o seguinte:

De acordo com a ASHRAE, a vazão mínima para uma pessoa em um lugar sem poluição ou fumantes) é: $2,5 \quad (l/s)$ ou $9,0 \quad (m^3/h)$

Obs.: a vazão de ar externo é definida pelo maior resultado dos três critérios a seguir:

- Vazamentos por frestas;
- Vazão mínima para a classe 100;
- Vazão mínima de ar novo para as pessoas.

a vazão de ar recirculado é definido pelo maior resultado dos dois critérios a seguir:

- Condições de particulados na sala;
- Vazão mínima requerida para as serpentinas (obtenção de frio ou calor).

Conclui-se que a vazão de: $2.160 + 344 = 2.504 \quad (m^3/h)$ atende à classe 100.
sendo que: $284 + 60 = 344 \quad (m^3/h)$ seja ar externo.
 $2.220 \quad (m^3/h)$ seja ar de recirculação.

Apêndice 1
Dimensionamento da Sala

Pois, conforme visto acima, a vazão mínima para atender classe 100 é maior.
As vazões necessárias para carga térmica estão colocadas no apêndice 3.

• Deseja-se ter na sala 100 partículas/ft³ ou 3530 partículas/m³;

• Concentração de partículas no ar externo = 35.300.000 (part/m³)

• Fontes de contaminação interna:

pessoas: uma deitada	10.000 (part/min)
uma com peq.movim.	24.000 (part/min)
arrumar a cama:	3.520 (part.)

Obs.: a dimensão das partículas é de 0,5 micra ou maior; a segunda pessoa considerada deve estar de macacão com proteção da cabeça, boca e nariz.

Assim, o número de partículas geradas na sala, por minuto é de:

34.059 (part/min)

(foi considerado que a cama é refeita de hora em hora)

• O número de partículas transportadas para dentro da sala pelo ar externo, por minuto, é de:

35.300.000	X	5,7	X	0,88 X 0,33 X 0,17 X 0,0003	=	2.997
partículas do ar externo		vazão de ar externo (m ³ /min)		eficiências dos filtros		(part/min)

• A densidade de partículas no ar de retorno, por m³, é de:

34.059	+	2.997	=	1.002	(part/m ³)
		37			

• A densidade de ar primário na caixa de mistura é de:

35.300.000,0	X	5,7	X	0,88 X 0,33	+	1.002	X	37
				42				
=	1.409.189	(part/m ³)						

Ou seja, a densidade na caixa de mistura é a média ponderada entre a concentração de partículas do ar externo e do ar recirculado. Os pesos são as respectivas vazões.

• Após a passagem do ar na caixa de mistura, este ar passa por um filtro fino e um filtro HEPA.

Assim, o ar que chega à sala possui uma densidade como segue:

1.409.189	X	0,17 X 0,0003	=	72	(part/m ³)
-----------	---	---------------	---	--	------------------------

Na sala propriamente dita, fazendo-se uma média entre a região do leito e o restante da sala, temos:

72	X	42	+	34.059	=	888
		42				(part/m ³)

Este número médio calculado para a sala como um todo é 4,0 vezes menor que as 3530 partículas por metro cúbico exigidas para classe 100. Assim, conclui-se que o volume de ar primário pode ser reduzido. Esta redução não pode comprometer o cálculo da carga térmica para as serpentinas. Sendo assim, este valor foi estipulado a partir das exigências impostas pelo cálculo da carga térmica.

Apêndice 1
Dimensionamento da Sala

CRITÉRIO DA CARGA TÉRMICA:

Para o cálculo da Carga Térmica, devemos considerar:

Será suposto que não incidirá radiação solar em nenhuma das paredes da sala (por estarmos considerando que a sala é interna ao hospital). Como a sala provavelmente localizar-se-á em um prédio, a troca de calor através do piso dar-se-á com um ambiente que tenha as mesmas cond. ambientais.

-- Troca de calor com o meio ambiente externo através das fronteiras da sala:

Para a carga de penetração, pode-se considerar:

$$Q_{\text{parede}} = U_p \cdot A_p \cdot (T_e - T_i) \quad [\text{Kcal/h}]$$

$$Q_{\text{vidro}} = U_v \cdot A_v \cdot (T_e - T_i) \quad [\text{Kcal/h}]$$

onde : U_p é o coef. global de trasm. de calor $[\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$;

A_p, v é a área das paredes (ou vidros).

Assim: área de vidro: (m) largura: 2,0 altura: 1,5 $A_v = 3,0 \quad (\text{m}^2)$
área de parede: $A_p = 61,8 \quad - \quad 3,0 = 58,8 \quad (\text{m}^2)$

De acordo com o material escolhido (alvenaria comum e revestimento) tem-se:

Espessura da parede 0,15 Coef. Transm. Calor: alvenaria 0,69 Coef. de Conv. Nat.: 10,00
revestim. 0,29 Unidades em S.I.

$$U_p = \frac{1}{1/h + \Delta x / K} = 1,5 \quad U_v = 2,3 \quad (\text{considerado para vidros de 2 folhas})$$

$$Q_p = (U_p \cdot A_p + U_v \cdot A_v) \cdot (T_e - T_i) \quad (\text{Carga de Penetração})$$

Assim, com as equações acima e com as condições de projeto, podemos calcular:

Obs.: T_e = temperatura externa; T_i = temperatura interna. (em $^\circ\text{C}$)

Cálculo da Carga de Penetração da sala com o exterior: $[\text{Kcal/h}]$

Temperatura Interna

			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	1.147	860	-96
Externa	(inverno)	10	-860	-1.147	-2.102

Os sinais negativos indicam que a sala perde calor para o ambiente.

- Troca de calor com o ar externo, carga de serviço:

Considera o ganho de calor da sala a partir do ar externo que pode entrar no caso de aberturas de porta.

$$Q_s = U_s \cdot A_s \cdot (T_e - T_i) \quad (\text{Carga de Serviço})$$

onde : $A_s = A_p + A_v$ = área total da sala;

U_s = o coef. global $[\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$

Como tem-se poucas aberturas de portas e poucas frestas, pode-se considerar:

$$U_s = 0,14$$

Como acima, podemos construir uma tabela para a carga de serviço:

Cálculo da Carga de Serviço da sala com o exterior: $[\text{Kcal/h}]$

Temperatura Interna

			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	100	75	-8
Externa	(inverno)	10	-75	-100	-184

Os sinais negativos indicam que a sala perde calor para o ambiente.

Apêndice 1

Dimensionamento da Sala

Além disso, devemos considerar a carga do ar externo, ou seja:

$$Q_{ar} = m \cdot dh \quad (\text{calor que deve ser fornecido ao ar externo - pressão constante})$$

$$Q_{ar} = V/v \cdot dh \quad (\text{KW}) \quad \times 859,8 \quad (\text{Kcal/h})$$

Como acima, podemos construir uma tabela para a carga de ar externo:

Cálculo da Carga de Ar Externo para as várias condições: [Kcal/h]

			Temperatura Interna		
			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	-4.439	-2.939	4.723
Externa	(inverno)	10	1.249	2.876	11.189

Os sinais negativos indicam que o ar deve ser resfriado pelo equipamento.

Cálculo da Carga de Ar Externo + Carga de Serviço: [Kcal/h]

			Temperatura Interna		
			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	-4.539	-3.015	4.731
Externa	(inverno)	10	1.324	2.976	11.373

Os sinais negativos indicam que o equipamento deve retirar calor do ar externo

- Troca de calor com pessoas, lâmpadas, etc - cargas diversas:

Equipamentos a serem utilizados no quarto (geração de calor estimada):

Pessoas :	200	W	(estamos considerando apenas uma pessoa)
Televisão :	100	W	
Diatherm Machine :	360	W	
Ventilador de insuflamento :	300	W	(estamos considerando uma eficiência de 60%)
Iluminação :	15	ou	25 W/m ²
	(quarto de paciente)		(sala de recuperação)

Supondo-se que o quarto possua os equipamentos acima, temos:

$$Q_d = 980 \text{ Kcal/h} \quad (\text{para luminosidade de } 15 \text{ W/m}^2)$$

$$Q_d = 1.084 \text{ Kcal/h} \quad (\text{para luminosidade de } 25 \text{ W/m}^2)$$

- Além do coeficiente de Segurança:

A princípio, a segurança está embutida na televisão, que é um equipamento que gera bastante calor e que, na maioria dos casos estará desligada. Isso se ela existir.

Percebe-se que o equipamento deve estar apto à fornecer, no máximo :

12.495

e retirar, no máximo 6.769 Kcal/h de calor do ar.

Os valores considerados acima foram calculados da seguinte forma:

- O equipamento deverá fornecer o valor acima de calor à sala quando não existir ganho de calor devido à carga de equipamentos (luzes apagadas e TV desligada).
- A retirada de calor se fará, com o valor acima, com tudo ligado (com a máxima carga diversa).

Para o cálculo do controle da umidade, devemos partir das condições que esperamos ter no inverno e no verão. As condições de geração de umidade na sala estão descartadas por não haver

Apêndice 1

Dimensionamento da Sala

nenhum equipamento que possa interferir neste sentido.

Assim, temos :

Condições Atmosféricas Padrões :

<i>inverno</i>	10	(°C) TBS	70	(%) Umid.Rel.
<i>verão</i>	31	(°C) TBS	24	(°C) TBU

Condições Desejáveis na Sala :

19	24	32	32	(°C)	TBS
45	50	95	45	(%)	Umid. Rel.
I	II	III	IV		

A partir das condições acima, podemos facilmente retirar (a partir da carta psicrométrica ou de um programa de psicrometria os seguintes valores:

(a pressão barométrica foi considerada de 92,08 KPa - altitude de 800 m)

Propriedades do Ar

Pontos	TBS (°C)	TBU (°C)	Umid.Relat. (%)	Umid.Absol. (kg/kg)	Vol.Especif. (m³/kg.mist.)	Pres.Vapor (KPa)	Entalpia do Ar (KJ/Kg de ar seco)
<i>inverno</i>	10	8	70,0	0,0065	0,886	0,952	26,44
<i>verão</i>	31	24	55,4	0,0237	0,961	3,379	91,84
I	19	13	45,0	0,0082	0,915	1,197	39,90
II	24	18	50,0	0,0131	0,933	1,896	57,45
III	32	32	95,0	0,0449	0,976	6,194	147,11
IV	32	23	45,0	0,0205	0,963	2,934	84,63

Pode-se perceber que, se considerarmos todos os processos que teremos no ar, estes processos serão, ao todo oito processos.

Segue a denominação básica dos oito processos envolvidos:

<i>inverno > I</i>	Aquecimento e umidificação	
<i>inverno > II</i>	Aquecimento e umidificação	
<i>inverno > III</i>	Aquecimento e umidificação	(processo mais crítico)
<i>inverno > IV</i>	Aquecimento e umidificação	
<i>verão > I</i>	Resfriamento e desumidificação	(serpentina de resfriamento)
<i>verão > II</i>	Resfriamento e desumidificação	(serpentina de resfriamento)
<i>verão > III</i>	Pouco aquecimento e umidificação	
<i>verão > IV</i>	Pouco aquecimento e pouca umidificação	

Nestes processos devemos também nos preocupar com a mistura com as duas correntes de ar que se dá na caixa de mistura.

Para conseguirmos estes processos, o equipamento proposto para a primeira opção de projeto compõe-se de um aquecedor, uma serpentina de resfriamento e desumidificação e um umidificador.

Opção 2 de Projeto:

CRITÉRIO DA CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS:

Esta opção de projeto tem como pressuposto que o Equipamento de Fluxo Laminar Modulado garante a classe 100 localizada sobre o leito desde que a concentração de partículas da sala permita.

Assim, o que tem a ser feito é o controle da temperatura e umidade e dos particulados de forma a que tenhamos uma vida útil boa do filtro HEPA.

A sala pode ser classe 100.000 pois o filtro faz com que tenhamos, no máximo 1059 part./m³ sobre o leito.

Baseando-se então no desenho esquemático e, de forma análoga à opção anterior, temos:

Continuaremos tendo 10 trocas de ar por hora na sala, ou seja:

Vazão Mínima de Ar Externo:

$$Q_{\text{ext}} = 284 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Tem-se também exigência sobre a troca mínima ambiental:

$$Q'_{\text{ext}} = 486 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

(para que na sala tenhamos 15 trocas de ar por hora)

Conclui-se que a vazão de: 770 (m³/h) atende à classe 100.000.

Sendo que: 284 (m³/h) seja ar externo.

E 486 (m³/h) seja ar de recirculação.

Percebe-se também que as considerações feitas à respeito das demais condições para o cálculo da vazão de ar externo continuam satisfeitas.

As fontes de contaminação interna continuam as mesmas.

Assim, analogamente ao caso anterior, temos:

O número de partículas transportadas para dentro da sala pelo ar externo, por minuto, é (part/m³)

35.300.000	X	12,8	X	0,88 X 0,33	=	131.556.040
partículas do ar externo		vazão de ar externo (m ³ /min)		eficiências dos filtros		(part/min)

Fontes de contaminação interna: 34.059 (part/min)

A densidade de partículas no ar de retorno, por m³, é de:

34.059	+	131.556.040	=	16.245.691
		8,1		

A densidade de ar primário na entrada do fan-coil:

16.245.691	X	8,1	+	35.300.000	X	5
				12,8		
				=	23.273.514 (part/m ³)	

ou seja, a densidade na entrada do fan-coil é a média ponderada entre a concentração de partículas do ar externo e do ar recirculado. Os pesos são as respectivas vazões.

Apêndice 1

Dimensionamento da Sala

• Após a entrada do ar no fan-coil, este passa por um filtro grosso e um filtro fino.

Assim, o ar que chega à sala possui uma densidade como segue:

$$23.273.514 \times 0,88 \times 0,33 = \boxed{6.758.629} \text{ (part/m}^3\text{)}$$

• Na sala propriamente dita, fazendo-se uma média entre a região do leito e o restante da sala, temos:

$$\frac{6.758.629 \times 12,8 + 34.059}{12,8} = \boxed{6.761.282} \text{ (part/m}^3\text{)}$$

• Na área onde teremos classe 100, ou seja, a região sob o equipamento, teremos o seguinte:

Densidade de partículas sobre o paciente:

$$6.761.282 \times 0,0003 = \boxed{2.028} \text{ (part/m}^3\text{)}$$

Este número demonstra que teremos uma densidade de partículas na área localizada menor do que o exigido para a classe 100 com o uso de um filtro grosso e um fino (além do filtro HEPA do equipamento).

CRITÉRIO DA CARGA TÉRMICA:

A princípio os cálculos feitos para a primeira opção de projeto continuam sendo válidos.

A preocupação deve estar focada na geração de calor do equipamento de fluxo laminar modulado.

Este equipamento não deve sofrer danos com as condições de temperatura e umidade da sala.

- Troca de calor com o meio ambiente externo através das fronteiras da sala:

O cálculo é completamente análogo ao feito acima uma vez que o quarto do paciente não mudou.

Cálculo da Carga de Penetração da sala com o exterior: [Kcal/h]

			Temperatura Interna		
			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	1.147	860	-96
Externa	(inverno)	10	-860	-1.147	-2.102

Os sinais negativos indicam que a sala perde calor para o ambiente.

- Troca de calor com o ar externo, carga de serviço:

A carga de serviço a ser considerada também é a mesma do caso anterior.

Cálculo da Carga de Serviço da sala com o exterior: [Kcal/h]

			Temperatura Interna		
			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	100	75	-8
Externa	(inverno)	10	-75	-100	-184

Os sinais negativos indicam que a sala perde calor para o ambiente.

Além disso, devemos considerar a carga do ar externo, ou seja:

Apêndice 1
Dimensionamento da Sala

Como acima, podemos agora construir uma tabela para a carga de ar externo para a opção 2:

Cálculo da Carga de Ar Externo para as várias condições: [Kcal/h]

Temperatura Interna

			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	-3.665	-2.427	3.899
Externa	(inverno)	10	1.031	2.374	9.238

Os sinais negativos indicam que o ar deve ser resfriado pelo equipamento.

Cálculo da Carga de Ar Externo + Carga de Serviço: [Kcal/h]

Temperatura Interna

			19	22	32
Temperat.	(verão)	31	-3.765	-2.502	3.907
Externa	(inverno)	10	1.106	2.474	9.421

Os sinais negativos indicam que o equipamento deve retirar calor do ar externo

- Troca de calor com pessoas, lâmpadas, etc - cargas diversas:

Equipamentos a serem utilizados no quarto (geração de calor estimada):

Pessoas :	200	W	(considerando apenas uma pessoa)
Televisão :	100	W	
Diatherm Machine :	360	W	
Ventilador de insuflamento :	200	W	(considerando eficiências de 60%)
Ventilador do Eqto modular:	200	W	
Iluminação :	15 ou 25	W/m ²	
	(quarto de paciente)	(sala de recuperação)	

Supondo-se que o quarto possua os equipamentos acima, temos:

$Q_d = 1.066$ Kcal/h (para luminosidade de 15 W/m²)

$Q_d = 1.170$ Kcal/h (para luminosidade de 25 W/m²)

- Além do coeficiente de Segurança:

Em princípio, a segurança está embutida na televisão, que é um equipamento que gera bastante calor e que, na maioria dos casos estará desligada. Isso se ela existir.

Percebe-se que o equipamento deve estar apto à fornecer, no máximo :

10.763

ou retirar, no máximo 6.081 Kcal/h de calor do ar.

Os valores considerados acima foram calculados como ao cálculo da opção 1

Deve ser notado que este cálculo leva em conta a sala como um todo. Se considerarmos apenas a região do leito, devemos nos preocupar com a elevação de temperatura local.

Para esta região, temos:

Área = A = 2,0 m²

Veloc = V = 0,45 m/s logo Vazão=Q= A x V = 0,9 (m³/h)

A vazão acima garante um número de trocas no leito de: 810,0 (trocas/h)

Apêndice 1
Dimensionamento da Sala

A potência do Ventilador será pois:

se considerarmos uma perda (no equipamento modular) de 400 Pa, temos:

$$Pot_{vent} = Vazao * \Delta P * \gamma_{ar} = 518 \text{ W}$$

podemos assim calcular a variação de temperatura da região do leito se considerarmos a dissipação de 40% da potência do ventilador de circulação de ar):

se fizermos a equação : $Q = m * c_p * DT$, tem-se:

$$\text{Variação de temperatura na região do leito} = DT = \boxed{4,5} (^{\circ}C)$$

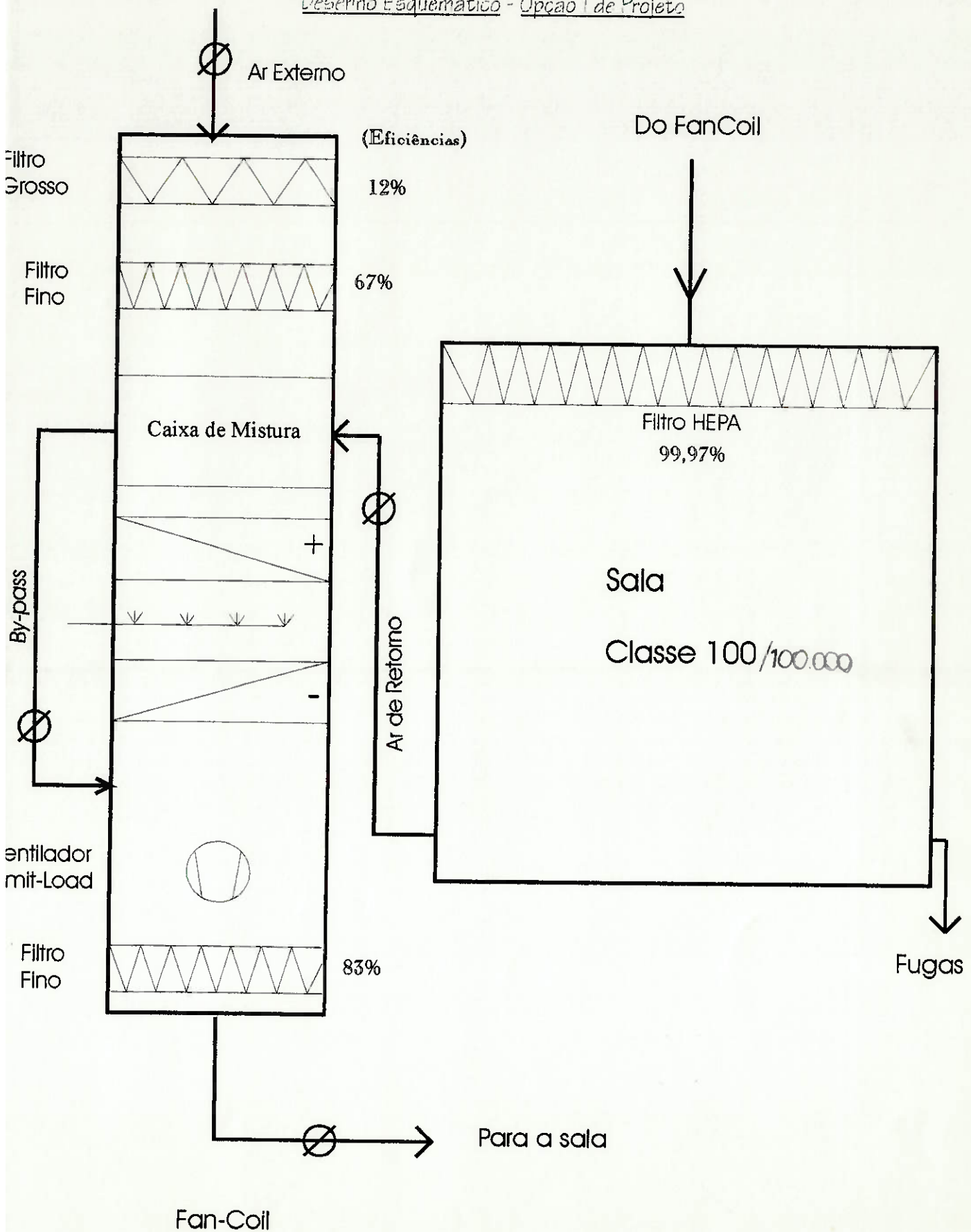
Este ganho de temperatura não pode ser desprezado uma vez que altera em cerca de 20% a temperatura de set-point na região do leito.

Apesar de existir um dimensionamento de fornecimento de "frio" para a sala, este ganho é localizado. Assim, uma opção seria a colocação de uma serpentina de resfriamento no equipamento modular.

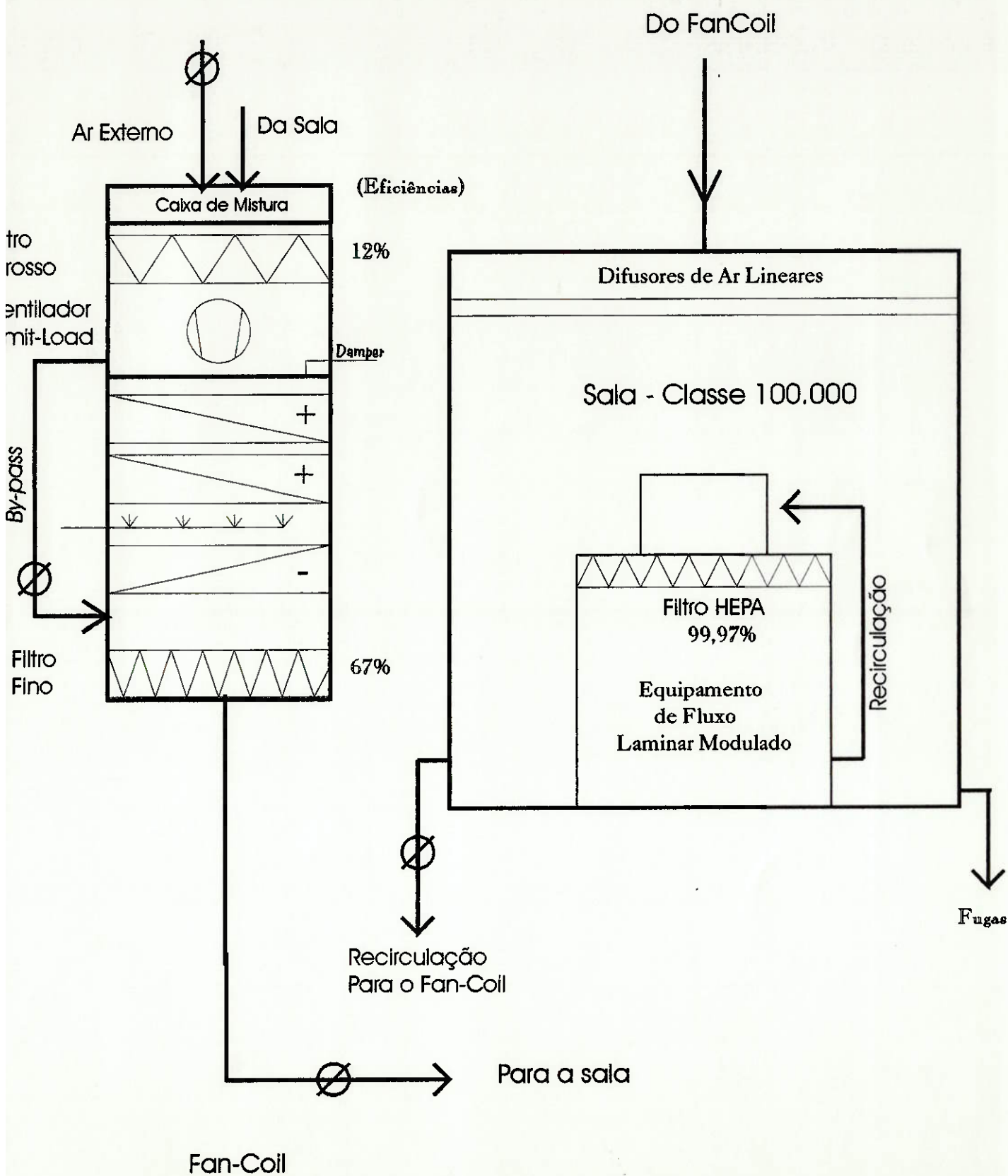
Como segunda opção, poderia pensar-se em uma fixação do set-point da sala em uma temperatura 4 a 5 °C menor daquela desejada na região do paciente. Esta opção apresenta problemas no caso de termos condição de temperatura de 19 °C, pois a temperatura da sala deve ser de 15 °C (uma temperatura que pode ser considerada muito baixa para os médicos ou pessoas que assitiriam o paciente.

Na sala devemos ter uma pressão de 5 Pa como dado de projeto. Assim sendo a configuração do fan-coil proposto deve ser calculada de forma que o ventilador possa viabilizar as condições de pressão nos pontos do sistema.

Apêndice 2
Desenho Esquemático - Opção 1 de Projeto



Apêndice 2
Desenho Esquemático - Opção 2 de Projeto



Apêndice 3
Dimensionamento dos Equipamentos

Para o dimensionamento dos equipamentos, serão usados muitos dados citados no Apêndice 1 e no catálogo da TROX.

Estes equipamentos serão divididos em seus principais grupos a fim de que possamos comparar as várias opções. Como o trabalho dispõe de 2 opções de projeto, para cada acessório, mencionaremos as duas opções.

•Filtros :

Os filtros foram selecionados no texto do trabalho e estão explícitos com a suas devidas eficiências (baseadas em teste DOP) nos desenhos esquemáticos do apêndice 2.

Os tipos de filtros a serem utilizados estão descritos no textos (item 6.1).

Opção 1 de Projeto:

•Ventiladores :

Conforme já citado no próprio desenho esquemático, utilizaremos ventiladores do tipo limit-load de dupla polaridade (para termos maior flexibilidade de vazão)

O ventilador possuirá uma vazão, conforme descrito a seguir, no critério da carga térmica de :

Vazão total : 2.810 (m³/h)

Devemos fazer uma primeira estimativa da perda de carga a ser vencida pelo o ar.

Se considerarmos os acessórios de todo o Fan-Coil, teremos:

•para os dutos em particular, temos:

$$\Delta p = f * \frac{L_{eq}}{D_{eq}} * \frac{V^2}{2} * \rho \quad Deq = \frac{2 * a * b}{a + b}$$

Estas propriedades estão disponíveis em livros da bibliografia do trabalho.

A velocidade nos dutos será fixada em (m/s) 6

A vazão prevista para entre o Fan-Coil e a sala é: 2.810 (m³/h)

A área do duto será: 0,13 (m²)

Medidas razoáveis para o duto são: (a b) 0,30 0,40

Ou seja, Deq = (m) 0,34

Um comprimento médio equivalente razoável é o de (m) 40

Tem-se então:

Perda de Carga = 49,3 m

•Os valores da tabela abaixo foram obtidos no catálogo da TROX .

Baseado na tabela abaixo e nas vazões acima postas, pode-se entrar em um catálogo de ventiladores, de onde podemos retirar os valores de potência, rendimento e rotação de operação.

Dimensionamento dos Equipamentos

Perda de Carga para os equipamentos que configuram a opção 1 de projeto

Perda de Carga		
Equipamentos	Média (Pa)	Observações
Tomada de ar externo	60	Com registro - perda variável (controle) Para os filtros, a pressão diferencial refere-se à máxima pressão aconselhada
Filtro Grosso	50	
Filtro Fino	120	
Caixa de Mistura	20	
Serpentina - Aquecimento	150	Com eliminador de gotas
Umidificador	50	
Serpentina - Resfriamento	180	
Filtro Fino	160	Apesar de aconselhar-se 600 Pa.
Filtro HEPA	400	
Dutos	49,3	
Grelhas - ar de retorno	30	

Perda de Carga Total : 1.269 Pa

Assim, para o Ventilador: (Dp=1.269 Pa) (Vazão = 0,76 m³/s)

Ventilador de dupla polaridade de aspiração simples, sem defletor de ar;

Diâmetro de 450 mm;

Velocidade de descarga = 6,4 m/s;

Eficiência de 60%;

Potência dinâmica = 7 Pa;

Rotação = 1.900 rpm;

Potência absorvida = 1.301 W ou 2,09 CV
(2 CV)

•Serpentina de Aquecimento :

Adotaremos para o caso do aquecimento o valor :

680 m³/h/TR

Deve-se ter a vazão de : 2.810 m³/h

então a serpentina poderá ceder : 4,13 Toneladas de Refrigeração (T.R.)

O processo necessita de 12.495 ou 4,13 T.R.

Considerando-se o que temos acima, percebe-se que devemos reinteragir todo o processo

para a vazão de 2.810 m³/h (calculada de tal forma a que o equito possa fornecer) : 12.495 kcal/h

Este processo já foi feito e o valor acima chegado de vazão é o que mais corresponde ao ideal.

Podemos aumentar a vazão de recirculação (uma vez que as serpentinas estão à montante da caixa de mistura).

Com o aumento da vazão para atender ao critério de carga térmica, temos:

Concentração de partículas na sala : 791 part/m³ (4,5 vezes menos do que o exigido para a classe).

Apêndice 3
Dimensionamento dos Equipamentos

•Serpentina de Resfriamento :

Tem-se também a relação : 680 m³/h/TR
Assim, temos disponível 3,68 Toneladas de Refrigeração (T.R.)
O processo necessita de 6.769 ou 2,24 T.R.

Tem-se duas opções para este caso:

•Usar um by-pass na serpentina;

•Como a condição de resfriamento máximo é diferente da condição de aquecimento máximo, pode-se propor uma outra vazão (desde que não comprometa a condição de particulados). São dois pontos de operação diferentes.

Esta nova vazão deveria ser de : 1.522 m³/h

Se reinteragirmos este valor no apêndice 1, teríamos:

Concentração de particulados na sala: 1.478 part/m³

(concentração esta 2,4 vezes menor do que a prevista para a classe 100)

Perante as duas opções, percebe-se a viabilização da 2ª com o uso do ventilador operando com apenas um par de polos, dispensando o uso do by-pass e facilitando a variação entre as condições de operação.

•Grelhas e/ou Dampers de regulação :

difusores de insuflamento

disponíveis para seleção em catálogos de fabricantes.

difusores de retorno

disponíveis para seleção em catálogos de fabricantes.

•Caixa de Mistura :

A caixa de mistura deve ter uma vedação que permita termos uma pressão negativa interna. Esta caixa está determinada pelas suas dimensões no catálogo da TROX.

•Umidificador :

As condições de adição de água dependem da situação.

Os valores negativos indicam que deve haver desumidificação.

Pode ser utilizado o umidificador do tipo "panela evaporativa" ou do tipo spray.

A massa de água a ser adicionada foi calculada pela equação:

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \dot{m}_{\text{ar}} * (W_{\text{final}} - W_{\text{inicial}})$$

Massa de água a ser adicionada (Kg/min)

Umidade Absoluta Interna

			I	II	III	IV
			0,0082	0,0131	0,0449	0,0205
Umid.Absol.	(inverno)	0,0065	0,0092	0,0356	0,2074	0,0756
Externa	(verão)	0,0237	-0,0837	-0,0572	0,1145	-0,0173

Percebe-se que o umidificador deve adicionar no máximo 0,207 kg água/min

Opção 2 de Projeto:

Como na opção anterior, temos:

•Ventilador :

O ventilador limit-load neste caso deve ter as seguintes características:

Vazão : 770 (m³/h)

Vazão baseada no apêndice 1.

Devemos fazer uma primeira estimativa da perda de carga a ser vencida pelo o ar.

Se considerarmos os acessórios de todo o Fan-Coil, teremos:

•para os dutos, podemos considerar uma perda semelhante ao caso da opção 1
ou seja : 49,3 m

Perda de Carga para os equipamentos que configuram a opção 1 de projeto

Perda de Carga		
Equipamentos	Média (Pa)	Observações
Tomada de ar externo	60	Com registro - perda variável (controle) Para os filtros, a pressão diferencial refere-se à máxima pressão aconselhada
Filtro Grosso	50	
Filtro Fino	120	
Caixa de Mistura	20	duas serpentinas
Serpentinas - Aquecimento	300	
Umidificador	50	
Serpentina - Resfriamento	180	Com eliminador de gotas Possui regulagem de perda de carga
Difusores de Insuflamento	40	
Dutos	49,3	
Grelhas - ar de retorno	30	
Perda de Carga Total :	899	Pa

Ventilador: (Dp=712Pa) (Vazão = 0,34 m³/s)

Ventilador de dupla polaridade de aspiração simples, sem defletor de ar;

Diâmetro de 250 mm; (limit load)

Velocidade de descarga = 5,0 m/s;

Eficiência de 70%;

Potência dinâmica = 11,9 Pa;

Rotação = 3.500 rpm;

Potência absorvida = 275 W ou 0,44 CV
(0,75CV)

•Serpentina de Aquecimento :

Adotaremos que tanto para o caso do aquecimento como para o resfriamento, temos:

680 m³/h/TR

Como para esta serpentina temos uma vazão de 770

então a serpentina poderá ceder : 1,13 Toneladas de Refrigeração (T.R.)

O processo necessita de 10.763 ou 3,56 T.R.

Apêndice 3
Dimensionamento dos Equipamentos

Como neste caso, a vazão de recirculação é muito pequena quando comparada com a vazão total, propõem-se o uso de duas serpentinas de aquecimento.

Assim, continuando com o mesmo raciocínio, tem-se (desconsiderando-se os efeitos de colocar-se as serpentinas em série):

T.R.'s fornecidas ao ar de insuflamento : 2,26

Comparando-se este valor com o valor almejado, percebe-se que devemos ainda aumentar a vazão de recirculação.

Devemos este valor para termos um valor de 1,78 T.R. em cada serpentina.

Reinteragindo o processo no programa, tem-se :

Esta nova vazão deveria ser de : 1.210 m³/h

Se reinteragirmos este valor no apêndice 1, teríamos:

Concentração de particulados na sala: 1.616 part/m³

(concentração esta 2,2 vezes menor do que a prevista para a classe 100)

•Serpentina de Resfriamento :

Tem-se também a relação : 680 m³/h/TR

Assim, temos disponível 1,13 Toneladas de Refrigeração (T.R.)

O processo necessita de 6.081 ou 2,01 T.R.

Para atendermos esta condição de resfriamento, podemos usar apenas uma serpentina.

A nova vazão deverá ser de: 1.367 m³/h

(concentração esta 2,1 vezes menor do que a prevista para a classe 100)

Usando o ventilador de dupla polaridade, podemos chegar à esta vazão.

•Grelhas e/ou Dampers de regulação :

podem ser obtidos como descrito para a primeira opção (sendo opção do cliente)

•Caixa de Mistura :

idem ao anterior.

•Umidificador :

Utilizando-se dos mesmos comentários anteriores, temos:

			Massa de água a ser adicionada (Kg/min)			
			Umidade Absoluta Interna			
			I	II	III	IV
			0,0082	0,0131	0,0449	0,0205
Umid.Absol.	(Inverno)	0,0065	0,0073	0,0284	0,1651	0,0602
Externa	(verão)	0,0237	-0,0667	-0,0456	0,0912	-0,0138

Percebe-se que o umidificador deve adicionar no máximo 0,165 kg água/min

Apêndice 3
Dimensionamento dos Equipamentos

Assim como explícito no texto, neste apêndice não se propõe a escolher esta ou aquela opção. Esta escolha deve ser feita com vistas às disponibilidades de fornecimento dos equipamentos e principalmente nas condições locais.

Exemplo de uso do Multiplicador m

Conhecendo S (25°C e 50%), sabendo que no processo
 $I \rightarrow S$, m = calor total/calor sensível = $(h_S - h_I) / 0,24 (t_S - t_I) = 1,5$
 e que $\phi_I = 90\%$, determinar I e t_I . Desenhe-se SI passando por S
 e com inclinação m = 1,5.
 Tem-se I e $t_I = 11,0^\circ\text{C}$.

