MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO, DO CONSUMO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM SALAS CIRÚRGICAS, ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE LAYOUT

por

Mônica do Amaral Melhado

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, 20 de Outubro de 2003.

ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO, DO CONSUMO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM SALAS CIRÚRGICAS, ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE LAYOUT

por

Mônica do Amaral Melhado
Arquiteta e Urbanista

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Energia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer – PROMEC/UFRGS
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Fernando de Góes Siqueira – FSP/USP

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Arno Krenzinger – PROMEC/UFRGS

Prof. Dr. Heitor da Costa Silva – PROAR/UFRGS

Prof. Dr. Maria Regina Alves Cardoso – FSP/USP

Prof. Dr. Jun Sérgio Ono Fonseca
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 20 de Outubro de 2003

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família:

Papai, Mamãe, Alexandre, Marco Antônio, Fabrício, Ana Luiza, e ao lindinho do Fellipe, por serem sempre presentes em minha vida, me dando alegrias, força e carinho. Vocês são muito especiais para mim!

AGRADECIMENTOS

Agradeço

A Deus, pelas oportunidades de aprendizado que tem me dado.

Aos meus orientadores Dr. Paulo Otto Beyer e Dr. Luiz Fernando de Góes Siqueira, por tudo que me ensinaram, pela amizade, atenção, paciência e dedicação.

A toda a minha família Amaral e Melhado, pelo carinho e compreensão que tiveram comigo.

Aos queridos amigos Inara Cipriano, Luciano Jaconi, Cassius Renner, Jean Brandaleiro e Luiz Gustavo Dizzars, por serem minha família em Porto Alegre, pelo carinho e cuidado.

Aos Professores Dr. Paulo S. Schneider e Milton Antônio Zaro, PhD, pela amizade, atenção e dedicação.

À todos os Professores, aos Coordenadores Jun Sérgio Ono Fonseca, Sergio Viçosa Möller e Alberto Tamagna, e ao pessoal do PROMEC, pelo apoio e pelos ensinamentos.

Ao Paulo Prado Kutter por sua dedicação e amizade.

À todos os amigos que fiz durante o Mestrado, por tudo que me ensinaram, pelas conversas, pelos socorros quando tive dúvidas, pelas risadas, pela companhia, carinho e por me fazerem sentir não muito longe de casa. Admiro muito todos vocês!

A Dra. Neide Sato, por ter me auxiliado no uso do software Energy Plus.

Aos Engenheiros Fúvio Petraco, Aldo Bianco e Sergio, por terem disposto parte de seus tempos para me ensinarem.

A todos das Empresas Trox Brasil e Springer Carrier, por terem me auxiliado nas dúvidas e pela atenção.

À Marisa Weiss, Ana Maria Mainiere, Mônica Anner e Vivian Molina pela amizade.

Aos meus velhos amigos por serem sempre presentes!

E a todos que contribuíram para meu aprendizado e desenvolvimento desta trabalho.

RESUMO

No presente trabalho foi feita a simulação computacional de três salas cirúrgicas e de alguns ambientes contíguos. Este estudo teve como objetivo verificar a influência dos diferentes *layouts* no conforto térmico dos ocupantes, na qualidade do ar interior, no dimensionamento dos equipamentos de climatização e no gasto energético. Todos os ambientes foram simulados para as condições climáticas de cinco capitais Brasileiras: Belém, Brasília, Porto Alegre, Recife e São Paulo.

Estudou-se três tipos de distribuição arquitetônica. No Caso 1, o layout apresentado foi uma sala cirúrgica e um corredor. No Caso 2 foram analisados a sala cirúrgica, um corredor limpo e um corredor "sujo" (corredor de expurgo); enquanto no Caso 3, a sala cirúrgica, antecâmara e corredor. Os ambientes estudados são hipotéticos.

As características construtivas e parâmetros ambientais (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, etc.) foram pré-estabelecidos segundo o tipo de cirurgia, baseando-se em normas brasileiras e algumas internacionais.

Os tipos de cirurgias estudadas foram a ortopédica e a abdominal, considerando-as, respectivamente, asséptica e séptica.

O conforto térmico foi calculado para os seguintes ocupantes: paciente, cirurgiã, anestesista, enfermeira auxiliar, enfermeira instrumentadora, enfermeira circulante, equipe de preparo e equipe de limpeza, pessoas no corredor e pessoas acessando a antecâmara. A escala utilizada para estabelecer as condições de conforto térmico, foi a ISO 7730.

O gasto energético foi simulado para o período de um ano de projeto, enquanto os demais parâmetros, para um dia de verão (21 de janeiro) e um dia de inverno (21 de julho).

O software utilizado na simulação foi o *Energy Plus*, versão 1.03. Com o modelamento foi possível observar o comportamento de cada parâmetro requerido, dentro de um espaço de tempo e nas diferentes regiões brasileiras estudadas.

Na simulação, verificou-se que as variáveis, temperatura e umidade relativa, mantiveram-se dentro dos parâmetros exigidos. Estas variáveis, estando sob controle, não expuseram o ambiente a condições favoráveis para a amplificação de microorganismos.

O controle de contaminantes nos ambientes, fez-se a partir do diferencial de pressão, da política de acesso de pessoas às salas cirúrgicas, bem como as filtragens recomendadas pelas normas.

Com o dimensionamento dos equipamentos, foi possível ter as potências de cada *fan-coil* no dia de verão e de inverno para cada cidade e tipo de cirurgia. A menor potência encontrada para a sala cirúrgica foi no Caso 2.

Dentro das análises realizadas, o *layout* do Caso 2 se mostrou mais eficiente, do ponto de vista energético, e em relação ao conforto térmico. Em todos os casos o anestesista e o paciente encontraram-se em situação de extremo desconforto, porém, no dia de inverno no Caso 2, apresentaram uma pequena melhora na sensação térmica, enquanto as demais pessoas, mantiveram-se em conforto ou pouco desconfortáveis.

Analisando a política de acesso às salas cirúrgicas o layout com dois corredores permite um maior controle da sala cirurgica, diminuindo assim o risco de infecção cruzada nestes ambientes. Com o controle do ambiente interior, melhora-se as condições de segurança e saúde do corpo clínico e pacientes.

O uso de simulação computacional mostrou-se uma importante ferramenta de suporte, permitindo avaliar o desempenho de diferentes soluções. A simulação computacional permite identificar ainda na fase de projeto, os projetos que são mais adequados ao uso do ambiente e o de maior qualidade, e os mais eficientes do ponto de vista energético.

ABSTRACT

"Study of the thermal comfort, the energy consumption and indoor air quality in operating rooms, through computational simulation and architectural analysis"

At the present report, was made a computational simulation of three operating rooms and some adjacent areas. The purpose of this study was to verify the influence of the different layouts in the thermal comfort of the occupants, the indoor air quality, in the HVAC characteristics and in the energy consumption. All the environments were simulated according to the climate conditions of five Brazilian capitals: Belem, Brasilia, Porto Alegre, Recife e Sao Paulo.

Three different layouts were studied. In Case 1, the layout consisted of an operating room and a hallway. Case 2 consisted of an operating room, a hallway with ultra-clean air and a second hallway with normal air treatment which is used as exit from the operating room and remove contaminated materials and instruments. Case 3 were considered an operating room, an antechamber and a hallway. The three cases described and studied are hypothetical.

The constructive characteristics and the environmental parameters (temperatures, relative humidity, the air velocity, pressure, filters, etc.) were established according to the type of surgery and also based on Brazilian and some International standards.

Two types of surgeries were evaluated: the orthopedic and the abdominal, considering them aseptic and septic, respectively.

The thermal comfort of the patient, surgical team, support staff and the person, who cleans the operating room, were evaluated. The scale ISO 7730 was used to establish the thermal comfort conditions.

The energy consumption was simulated for a one-year project, while the other parameters for one Summer day (21st January) and one Winter day (21st July).

The software used in the simulation was the Energy Plus, version 1.03. With the modeling, it was possible to observe the behavior of each required parameters within a time space in the different Brazilian capitals.

In the simulation, the environment temperature and the relative humidity were analyzed, and they remained in the demanded parameters. Those variables were under control and, therefore do not exposed the environment to favorable conditions of microorganisms increase.

The architectural analysis was made to the politics of people's access to the operating room.

With the equipment dimensioning, it was possible to have the potencies of each fan-coil in the Summer and Winter day for each city and kind of surgery. The lowest power found was the one for the surgery room in Case 2.

Based on the results of the simulations, comparing the performance of the three different layouts, Case 2 revealed to be more efficient on the energy consumption and also to the thermal comfort. However, in Case 1, 2 and 3, the anesthesiologist and the patient were in a situation of extreme thermal discomfort, although in winter day Case 2 revealed a small improvement on the feeling of thermal discomfort, while the other people remained in comfort or a little thermal discomfort.

Analyzing the politics of people's access to the operating rooms, Case 2 provides higher control of the indoor environment, since the surgical team and aseptic materials and instruments enter in the operating room for a hallway with clean air and leave the room for another hallway. Case 2 layout works as an architectonic barrier, defining the people behavior in the Operating Unit and, therefore, decreasing the risk of cross-infection.

A computational simulation is an important support tool in the performance assessment of architectonic solutions. The use of computational simulation permits to compare and evaluate different design solutions during the design process, and to identify designs that are more efficient, adequate for the use and that provides improved indoor environment quality for the users.

ÍNDICE

Pág.

1. Introdução..... 1
   1.1. Motivação do Trabalho..... 2
   1.2. Revisão Bibliográfica..... 2
2. Apresentação do Problema..... 7
   2.1. Fundamentos..... 7
      2.1.1 – Fundamentos de Transferência de Calor..... 13
      2.1.2 – Fundamentos de Psicrometria..... 14
   2.2. Conforto Térmico..... 20
   2.3. Arquitetura..... 28
   2.4. Qualidade do Ar Interior..... 28
      2.4.1- Contaminantes..... 28
      2.4.2- Política de Acesso..... 34
      2.4.3. Casos Analisados..... 38
      2.4.4. Ar Condicionado..... 39
      2.4.5. Pressões..... 45
      2.4.6. Vazões e Difusores..... 52
   2.5. *Softwares* Empregados..... 57
      2.5.1. Cterm..... 57
      2.5.2. *Energy Plus*..... 60
3. Objetivos do Trabalho..... 63
4. Modelamento..... 64
5. Análise de Resultados..... 72
   5.1. Análise das Temperaturas..... 73
   5.2. Análise da Umidade Relativa..... 81
   5.3. Análise do Voto Médio Previsto (PMV)..... 88
   5.4. Análise das Potências dos Equipamentos..... 95
   5.5. Análise do Gasto Energético..... 109
   5.6.Discussão..... 110
6. Conclusão..... 112

Referências Bibliográficas..... 114

Bibliografias Consultadas..... 119

Anexo – Valores das Vazões 123

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área	[m^2]
Af	área de fresta	[m^2]
CD	coeficiente de arraste	
c_p	calor específico a volume constante	[J/ kg K]
e	energia interna térmica por unidade de massa	[J/kg]
h	coeficiente de transferência convectiva de calor	[W/m^2 K]
H	taxa de produção de calor interna de um ocupante por unidade de área	
h_r	coeficiente de transferência radiativa de calor	[W/m K]
k	coeficiente de condutividade	[W]
L	indicação de comprimento característico	
M	taxa metabólica por unidade de área	[W/m^2]
q''	fluxo de calor	[W/m^2]
q	taxa de transferência de energia	[W]
q_x	taxa de transferência de energia por condução	[W]
q_{rad}	taxa de transferência de energia por radiação	[W]
Q_{se}	calor sensível	[J]
$\overset{o}{Q}$	vazão do ar no ambiente	[m^3/ s]
$R_{t,cond}$, $R_{t,conv}$, $R_{t,rad}$	resistência térmica	[K/ W]
T	temperatura	[°C]
T_1	temperatura inicial	[°C]
T_2	temperatura final	[°C]
T_s	temperatura da superfície	[°C]
T_{viz}	temperatura da superfície vizinha	[°C]
T_∞	temperatura do fluido	[°C]
U	coeficiente de transferência de calor	[W/m^2 K]
V	volume	[m^3]

LETRAS GREGAS

ΔT	escala característica da variação de temperatura	[°C]
Δt	intervalo de tempo	[s]
α	difusividade termica molecular	[m^2/s]
σ	constante de Stefan-Boltzmann	
ρ	densidade	[kg/m^3]
ε	emissividade	

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 2.1 - Transferência de calor por condução unidimensional..... 8

Figura 2.2 - Representação do vetor do fluxo térmico,
normal a uma isotérmica, num sistema de coordenadas bidimensionais..... 9

Figura 2.3 - Processo de transferência de calor por convecção..... 10

Figura 2.4 - Troca radiativa entre uma superfície e as suas vizinhanças..... 11

Figura 2.5 - Processo de transferência de calor por condução, convecção e
adiação..... 13

Figura 2.6 - Planta baixa do Caso 1, onde os ambientes analisados
são a sala cirúrgica e o corredor..... 21

Figura 2.7 - Corte do Caso 1, com identificação dos materiais,
das camadas de ar e dos ambientes..... 21

Figura 2.8 - Planta baixa do Caso 2, onde os ambientes analisados são
o corredor “limpo”, a sala cirúrgica e o corredor “sujo”..... 22

Figura 2.9 - Corte do Caso 2, com identificação dos materiais,
das camadas de ar e dos ambientes..... 23

Figura 2.10 - Planta baixa do Caso 3, onde os ambientes analisados são
a sala cirúrgica, a antecâmara e o corredor..... 23

Figura 2.11 - Corte do Caso 3, com identificação dos materiais,
das camadas de ar e dos ambientes..... 24

Figura 2.12 - Perspectivas do Caso 1, Caso 2 e Caso 3, respectivamente..... 25

Figura 2.13 - Política de acesso Caso 1, onde as cirurgias realizadas podem
ser assépticas e sépticas..... 35

Figura 2.14 - Política de acesso no Caso 2, onde a cirurgia realizada é asséptica..... 36

Figura 2.15 - Política de acesso no Caso 2, onde a cirurgia realizada é séptica..... 37

Figura 2.16 - Política de acesso Caso 3, onde as cirurgias realizadas
podem ser assépticas e sépticas..... 37

Figura 2.17 - Esquema do *fan-coil*..... 44

Figura 2.18 - Representação esquemática da entrada de dados do
sistema de climatização da Zona 1 e 2..... 45

Figura 2.19- Representação gráfica (em corte) do caso C1CA2..... 48

Figura 2.20- Representação gráfica (em corte) do caso C1CS2..... 49

Figura 2.21 - Representação gráfica (em corte) do caso C1CS3..... 49

Figura 2.22 - Representação gráfica (em corte) do caso C2CA1..... 50
Figura 2.23 - Representação gráfica (em corte) do caso C2CS2..... 50
Figura 2.24 - Representação gráfica (em corte) do caso C3CA1..... 51
Figura 2.25 - Representação gráfica do caso C3CS1..... 52
Figura 2.26 – Exemplo de difusor unidirecional e linear..... 54
Figura 2.27 – Perspectiva do Difusor Linear tipo ALS , e detalhe do direcionamento do fluxo do ar insuflado..... 55
Figura 2.28 - Representação do fluxo de ar (em corte) e dos difusores em projeção na planta baixa..... 55
Figura 2.29 - Entrada de dados do software Cterm..... 59
Figura 2.30 - Resultados obtidos para o conforto térmico do paciente, através do uso do Cterm..... 60
Figura 2.31 - Simulador *Energy Plus*..... 61
Figura 2.32 - Editor *Energy Plus*..... 62
Figura 4.1 - Plantas baixas: Caso 1, Caso 2 e Caso 3, respectivamente..... 68
Figura 3.1 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CA2POA..... 73
Figura 3.2 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CA2SP..... 74
Figura 3.3 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CS2POA..... 75
Figura 3.4 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CS2SP..... 76
Figura 3.5 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CA1POA..... 76
Figura 3.6 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CA1SP..... 77
Figura 3.7 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CS2POA..... 78
Figura 3.8 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CS2SP..... 78
Figura 3.9 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CA1POA..... 79
Figura 3.10 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CA1SP..... 79
Figura 3.11 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CSPOA..... 80
Figura 3.12 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CS1SP..... 80
3.13 - Umidade Relativa encontrada no caso C1CA2POA, para um Dia de Projeto..... 82
3.14 – Umidade Relativa encontrada no caso C1CA2SP, para um Dia de Projeto..... 82
3.15 - Umidade Relativa encontrada no caso C1CS2POA, para um Dia de Projeto..... 83
3.16 - Umidade Relativa encontrada no caso C1CS2SP, para um Dia de Projeto..... 83
3.17 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CA21POA, para um Dia de Projeto..... 84
3.18 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CA1SP, para um Dia de Projeto..... 84
3.19 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CS2POA, para um Dia de Projeto..... 85
3.20 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CS2SP, para um Dia de Projeto..... 85

3.21 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CA1POA, para um Dia de Projeto..... 86
3.22 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CA1SP, para um Dia de Projeto..... 86
3.23 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CS1POA, para um Dia de Projeto..... 87
3.24 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CS1SP, para um Dia de Projeto..... 87
Figura 3.25 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CA2POA..... 88
Figura 3.26 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CA2SP..... 89
Figura 3.27 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CS2POA..... 89
Figura 3.28 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CS2SP..... 90
Figura 3.29 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CA1POA..... 91
Figura 3.30 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CA1SP..... 91
Figura 3.31 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CS2POA..... 92
Figura 3.32 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CS2SP..... 93
Figura 3.33 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CA1POA..... 93
Figura 3.34 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CA1SP..... 94
Figura 3.35 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CS1POA..... 94
Figura 3.36 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CS1SP..... 95
Figura 3.37 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno,
caso C1CA2POA..... 103
Figura 3.38 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno,
caso C1CS2POA..... 104
Figura 3.39 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno,
caso C2CA1POA..... 105
Figura 3.40 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno,
caso C2CS2POA..... 106
Figura 3.41 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno,
caso C3CA1POA..... 107
Figura 3.42 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno,
caso C3CS1POA..... 108

ÍNDICE DE TABELAS

Pág.

TABELA 2.1 - Escala de Conforto Térmico pelo PMV..... 19
TABELA 2.2 - Equipamentos utilizados nas cirurgias..... 27
TABELA 2.3 - Parâmetros ambientais estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256)..... 42
TABELA 2.4 - Parâmetros ambientais estabelecidos pela ASHRAE, 2001..... 42
TABELA 2.5 - Parâmetros ambientais estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256), para os ambientes contíguos aos analisados..... 43
TABELA 2.6 - Parâmetros estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256) e Ministério da Saúde, 2002 (RDC nº 50), para os ambientes analisados..... 46
TABELA 2.7 - Faixa de vazão para o difusor unidirecional, difusor 600 x 900 mm..... 57
TABELA 4.1 - Resistência Térmica das Vestimentas (m^2 °C/W) da pessoa típica em funções diferentes..... 66
TABELA 4.2 - Geração de calor Metabólico típico para diferentes atividades..... 67
TABELA 4.3 - Listagem dos materiais construtivos utilizados e suas características físicas..... 70
TABELA 4.4 - Parâmetros encontrados no Cterm e utilizados no *Energy Plus*..... 71
TABELA 5.1 Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C1CA2..... 96
TABELA 5.2 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C1CA2..... 96
TABELA 5.3 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C1CS2..... 97
TABELA 5.4 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C1CS2..... 97
TABELA 5.5 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C2CA1..... 97
TABELA 5.6 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C2CA1..... 97
TABELA 5.7 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C2CS2..... 98
TABELA 5.8 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C2CS2..... 98
TABELA 5.9 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C3CA1..... 98

TABELA 5.10 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento,
para o dia de projeto (21 de julho) do caso C3CA1..... 98
TABELA 5.11 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração,
para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C3CS1.....99
TABELA 5.12 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento,
para o dia de projeto (21 de julho) do caso C3CS1.....99
TABELA 5.13 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração,
para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C1CS2 e C1CS3..... 100
TABELA 5.14 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento,
para o dia de projeto (21 de julho) do caso C1CS2 e C1CS3..... 100
TABELA 5.15 - Carga térmica e consumo energético anual..... 109
TABELA 5.16 - Custo energético anual e mensal dos casos analisados..... 110

INTRODUÇÃO

A maior parte das pessoas passa grande parte de seu tempo em ambientes fechados, seja em casa ou no trabalho, ficando assim, submetido às condições internas destes ambientes. Muitos dos ambientes apresentam condições inadequadas de qualidade e do ar interior, ocasionando desconforto, problemas de saúde, perda de produtividade do trabalhador, ou sua ausência por problemas de saúde, e conseqüentemente, geram gastos para reverter alguns quadros de doença.

A má qualidade do ar interior no ambiente, muitas vezes, está relacionada às condições do ar exterior, às características arquitetônicas, ao uso do ambiente e a fontes poluentes. Em ambientes climatizados artificialmente a situação pode apresentar-se ainda mais crítica.

A arquitetura contribui positivamente para a qualidade do ambiente quando faz uso adequado de materiais construtivos, de acordo com o uso e as características climáticas da região. Buscar a melhor orientação solar, o cuidado na distribuição dos ambientes dentro do edifício e favorecer a ventilação, são outros fatores importantes para a qualidade do ambiente e do ar interior.

Maior cuidado deve ser tomado quando for utilizado o ar condicionado. O número de trocas de ar exterior deve levar em conta o número de pessoas e o tipo de ambiente. A temperatura, a umidade relativa e os processos de filtragem devem respeitar as exigências requeridas pelos ambientes. Todos estes parâmetros e outros cuidados foram pré-estabelecidos por normas, como é o caso da ABNT, 1982 (NBR 7256).

Como visto, há várias atitudes que podem contribuir positivamente para a qualidade do ambiente, porém, na atual situação econômica do Brasil, a expressão alto custo inicial é determinante para algumas pessoas abrirem mão da qualidade. Em ambientes hospitalares também há esta preocupação, somado ao custo direto da diária de um paciente portador de infecção hospitalar. A racionalização de custos e a lucratividade são relevantes em qualquer empresa, porém, devem ter importância secundária quando se está lidando com a vida de um ser humano, podendo lhe proporcionar saúde, bem-estar, conforto e qualidade de vida.

1.1. MOTIVAÇÃO

Visto que o ambiente tem importante influência na qualidade de vida das pessoas, optou-se, neste trabalho, por um maior aprofundamento do assunto.

Para avaliar a qualidade do ar interior, o conforto térmico, o desempenho térmico e o gasto energético da edificação foi necessário conhecer todas as variáveis envolvidas. As investigações das variáveis ambientais, meteorológicas, arquitetônicas, pessoais e de outras que serão abordadas durante o trabalho, podem ser feitas através de técnicas experimentais ou de simulação computacional.

No método experimental, as medidas de campo são mais realistas. Porém, devido às medições terem que ser feitas em diferentes *layouts* e cidades, este método tornou-se inviável, pois envolveria alto custo, tempo e talvez não encontrasse os ambientes com as mesmas características desejadas. Dentro da proposta do trabalho, o método experimental apresentaria dificuldades em obter resultados conclusivos, pois as variáveis analisadas nem sempre são controláveis, como é o caso do itinerário das cirurgias, o número de pessoas e suas características físicas, e as condições meteorológicas dos ambientes.

Partindo das considerações feitas sobre o método experimental, do fato de hoje existirem vários *softwares* disponíveis para cálculos térmicos, e dos ambientes a serem analisados terem seus parâmetros e variáveis estabelecidos por norma, optou-se pela simulação dos ambientes.

A ferramenta computacional escolhida foi o *Energy Plus*, por apresentar resultados coerentes com os dados de entrada, obtidos tanto na validação do *software* como nos trabalhos de Grings, 2003 e Wallauer e Beyer, 2002. Além do fato de possibilitar o cálculo térmico, cálculo do Voto Médio Previsto (PMV) e calcular o gasto energético.

Este tipo de estudo é importante, pois através dele podem ser determinadas as condições mais adequadas de trabalhar com tais variáveis. Ele possibilita avaliar o ambiente, visando uma maior eficiência energética e condições de conforto para as pessoas e qualidade do ar interior.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nicol *et al*., 1995, referenciam a ISO 7730, que determina os índices de Voto Médio Previsto (PMV) e do Percentual Previsto de Dissatisfação (PPD), e especificações das condições para o conforto térmico. Tem como propósito apresentar um método para predizer

a sensação térmica e o grau de desconforto térmico de pessoas expostas a meios térmicos moderados e para especificar condições ambientais aceitáveis para o conforto.

No trabalho de Williamson, referenciado por Nicol *et al*., 1995, analisam a sensação térmica de 48000 pessoas e os compara com os resultados obtidos pela ISO 7730. Com os resultados da análise do índice de conforto térmico, ressalta que pouco pode ser dito das opiniões particulares de cada um, o mesmo não ocorrendo quando a teoria de conforto térmico é aplicada a ambientes com temperaturas controladas para ocupação geral. Diz ser muito importante analisar o nível de variação entre as opiniões de cada pessoa, onde em alguns climas esta variação pode alterar as decisões de projeto. A dificuldade da aplicabilidade da teoria de conforto térmico é talvez a mais importante para todos os projetistas, pois o PMV se mostra dependente parcialmente das temperaturas médias externas, além de outras variáveis.

Whyte, 1992, comenta que para salas cirúrgicas, onde requer condições assépticas, principalmente no campo cirúrgico, foram especificados o uso do filtro HEPA (*High Efficiency Particle Air* - Filtro de Alta Eficiência para Partículas de Ar) e que o ar fosse insuflado sobre o campo cirúrgico, e que o fluxo do ar tenha deslocamento descendente na direção vertical, caracterizando-a por um campo muito uniforme de velocidade e estabelecida as velocidades do ar.

Miquelin, 1992, em um estudo realizado sobre o desenvolvimento das anatomias dos edifícios ligados à saúde desde a Antiguidade até início do século XX, comenta que a principal causa do aumento do custo das construções se deve às medidas preventivas e preditivas, no controle e combate à infecção. Salienta a importância do diferencial de pressão, a determinação do número de trocas de ar por hora e do sistema de distribuição de ar. Faz referência ao trabalho de Ervin Pütsep, o qual estabelece um número 15 ou 20 de trocas por hora, como sendo suficiente para garantir conforto, pressurização, controle de microorganismos dentro de uma sala cirúrgica. Os sistemas de distribuição de ar discutidos por ele foram: fluxo turbulento, fluxo exponencial, fluxo unidirecional e o sistema de ar "ultra-limpo" (*ultra clean air system*).

A ABNT, 1982 (NBR 7256), estabelece os parâmetros térmicos, processos de filtragem, número de trocas de ar por hora, o diferencial de pressão e a movimentação do ar dentro de uma sala cirúrgica e dos ambientes contíguos a ela. Todos estes fatores corresponderão às exigências para os ambientes analisados, conforme o tipo de cirurgia realizada.

Os ambientes são classificados conforme o nível de germes aceitável dentro de tais ambientes: Classe I, nível muito baixo de germes; Classe II, nível baixo de germes; Classe III,

nível normal de germes. A sala cirúrgica, onde realizar-se-á uma cirurgia ortopédica, é classificada como Classe I; o mesmo ocorrendo para um corredor limpo e antecâmara. Qualquer corredor de unidades médico-assistenciais, desde que não se enquadre à Classe I, e a sala cirúrgica, onde realizar-se-á uma cirurgia abdominal, são classificados como Classe II. A temperatura e umidade relativa das duas Classes são as mesmas. O que diferenciará uma da outra é o número de trocas de ar por hora, que na Classe I é 25 $m^3/(m^2/h)$ e Classe II é 15 $m^3/(m^2/h)$.

Na ASHRAE, 2001 (capítulo 7), é comentado que o ar condicionado tem papel importante na promoção de conforto térmico, controle de contaminantes na forma de odores e microorganismos e, em alguns casos, determinantes da terapia. Ela estabelece parâmetros de temperatura, umidade relativa, pressões, filtragem, de acordo com o ambiente analisado. O número de trocas de ar por hora nas salas cirúrgicas é definido conforme as exigências do tipo de cirurgia e se o ambiente aceita, ou não, a recirculação de ar. O uso do fluxo unidirecional é indicado, principalmente, para pacientes imunodeprimidos, com as velocidades do ar podendo variar de 0,10 m/s a 0,45 m/s.

Segundo Fernandes, 1998, num estudo epidemiológico elaborado pelo Ministério da Saúde, foram analisados 99 hospitais terciários, localizados em capitais brasileiras. Avaliados 8624 pacientes com mais de 24 horas de internação, cujo tempo médio de permanência foi de 11,8 dias. “Os maiores índices de infecção foram obtidos em hospitais públicos, 18,4%, e os menores nos hospitais privados sem fins lucrativos, 10%”. A clínica cirúrgica recebeu destaque no estudo, com a ferida cirúrgica, ocupando o segundo lugar com as maiores taxas de infecção.

Dantas *et al*., 2001, utilizam um modelo bidimensional – o triângulo, onde cada ponta representa um dos elementos do “triângulo epidemiológico” – na concepção de uma doença qualquer. Os três elementos do triângulo são: agente, hospedeiro e meio. O desequilíbrio em um destes elementos faz com que surja a doença. O autor credita a caracterização dos elementos a Rouquayro, 1994:

- agente: mecânico, físico, químico, biológico.
- hospedeiro: idade, sexo, hábitos e costumes, ocupação e grupo étnico.
- meio, abrangendo o ambiente: físico, biológico, econômico.

Em todos os ambientes, exceto nos estéreis, existem microorganismos, podendo ser responsáveis por epidemias de infecções hospitalares.

“A qualidade do ar, em ambientes climatizados, é determinada pela interação de diversos fatores com o objetivo de esfriar, desumidificar e purificar. O resultado da conjunção

desses três fatores deveria ser o conforto dos ocupantes dos ambientes e a higienização do ar" [Dantas *et al*., 2001].

Dantas *et al*., 2001, dizem ser fundamental observar o nível de pressão nos ambientes, para que o ar de uma área não seja aspirado para a outra área. Controlar as fontes poluentes, através de barreiras de contenção com filtros adequados e o diferencial de pressão, não é suficiente, pois os poluentes podem ingressar no ambiente através dos equipamentos e utensílios carregados de uma área para a outra por pessoas. Estes equipamentos e utensílios devem ser descontaminados. Para que o beneficio dos sistemas de ventilação e ar condicionado e diferencial de pressão seja plenamente aproveitado, é preciso observar a política de acesso às áreas, em função do grau de risco.

Segundo Ayliffe *et al*., 1998, a cirurgia de prótese total de joelho ou quadril, e outras tem a ferida protegida contra infecções provenientes do ar. O ar "ultra-limpo", possível por meio do fluxo de ar unidirecional, com 300 trocas de ar por hora, com recirculação e passando pelo filtro HEPA. Referenciou Lidwell *et al*, 1982 e 1987, que observaram uma maior redução na taxa de infecção atribuindo ao uso do fluxo de ar unidirecional, além do uso de roupas com ventilação e de outros fatores. Quando o ar "ultra-limpo", foi usado concomitantemente com a antibioticoprofilaxia, seus efeitos se somaram e reduziram a taxa de infecção hospitalar de próteses de 3,4% para 0,19%.

Lemos, 2001, diz que as infecções cirúrgicas ortopédicas se manifestam nos primeiros 30 dias a partir da data da cirurgia e no caso de implante de prótese, no primeiro ano [Horan *et al.*, 1992]. As cirurgias ortopédicas para colocação de prótese são classificadas em infecções agudas e infecções tardias. As agudas ocorrem antes do terceiro mês de pós-operatório, estando associadas à própria flora do paciente e ao ambiente cirúrgico.

De acordo com Carletti e Raffellini, 1996, em ambientes hospitalares as condições do microclima e poluição de ar podem contribuir particularmente à transmissão de infecções em salas cirúrgicas e unidades de terapia intensivas. Os autores examinam o microclima, a ventilação e as condições de qualidade de ar em alguns hospitais italianos e sugerem que haja estratégias de operações e manutenção para assegurar o conforto e a qualidade de ar em recintos fechados.

Salvigni, *et al*., 1993, discute o nível de esterilidade atingível dentro de uma sala cirúrgica durante o ato cirúrgico, a um baixo consumo de energia e de risco de infecção pós-operatória. No sistema de ventilação, com recirculação do ar ambiente, ele alcançou bons resultados em relação à esterilidade, mantendo-a dentro dos padrões aceitáveis e reduzindo significantemente o consumo energético. A eficiência no controle de infecção parece também

estar relacionada com o tempo gasto na desinfecção da sala e ao fluxo de ar, porém, seria necessário simular a dinâmica dos fluidos.

2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A problemática envolvida neste trabalho abrange três áreas distintas: a arquitetura, a engenharia e a área de saúde.

Com o intuito de esclarecer alguns termos particulares a cada área, e de facilitar a compreensão de alguns processos, como o caso da transferência de calor, em cada um dos tópicos estará sendo discutido um assunto.

2.1. FUNDAMENTOS

2.1.1. FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para uma melhor compreensão dos mecanismos físicos envolvidos no presente trabalho, se fez necessária a apresentação, mesmo que resumidamente, de alguns importantes fundamentos. Todo o equacionamento de transferência de calor, necessários para o cálculo de carga térmica e do Voto Médio Previsto (PMV), está inserido nos cálculos internos do programa *Energy Plus*. Mais adiante serão apresentadas algumas destas equações.

De acordo com Incropera e Witt, 1992, a transferência de calor é o trânsito de energia provocado por uma diferença de temperatura, ou seja, sempre que houver um gradiente de temperatura em um meio, ou entre vários meios, ocorrerá obrigatoriamente a transferência de calor no sentido da menor energia. Os modos de transferência de calor são condução, convecção e radiação.

O primeiro processo citado – C*ondução* – ocorre com a diferença de temperatura num meio sólido ou num fluido estacionário. Tanto no meio sólido como no fluido, a transferência de energia se dá pela movimentação de partículas que colidem e, através deste contato as partículas mais energéticas transferem parte de sua energia para as menos energéticas. A velocidade da partícula é diretamente proporcional à diferença de temperatura. Esta transmitância de calor pode ocorrer num mesmo corpo ou em vários, desde que estejam em íntimo contato.

Através da taxa de calor transferido, é possível quantificar a energia transferida por unidade de tempo. Na figura 2.1, é representada uma superfície plana unidimensional, com o gradiente de temperatura, pela qual se exprime a equação da taxa (1) conhecida como lei de Fourier. Esta lei é aplicável a todos os estados da matéria, sólido, liquido e gasoso. Na

condução unidimensional de uma superfície plana, a transferência de calor se dá apenas em uma direção, em função do eixo.

$$q_x'' = k\frac{\Delta T}{L} = k\frac{T_1 - T_2}{L} \qquad (1)$$

onde k é uma propriedade de transporte dos materiais, conhecida como condutividade térmica; L é a espessura da parede e T corresponde a temperatura.

A taxa de condução de calor é definida pela equação 2.

$$q_x = q_x'' \cdot A \qquad (2)$$

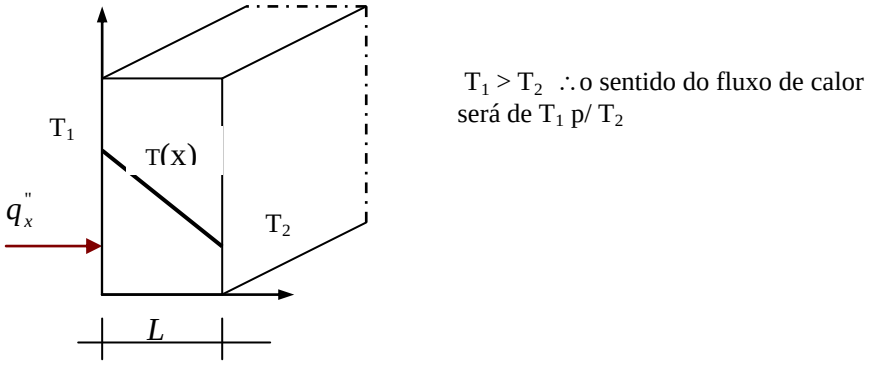


Figura 2.1 -Transferência de calor por condução unidimensional

Através da expressão da lei de Fourier é possível definir a condutividade térmica, de acordo com a equação 3. Entende-se por condutividade térmica uma propriedade de transporte onde é indicada a taxa de transferência de energia através do processo de difusão.

$$k \equiv -\frac{q_x''}{(\partial T / \partial x)} \qquad (3)$$

onde K corresponde à condutividade térmica, ∂_x à direção x, e ∂T ao gradiente de temperatura.

Numa superfície não plana, isotérmica – mesma temperatura – e de sistema de coordenadas bidimensionais, o fluxo térmico estará perpendicular à superfície, como representado na figura 2.2 (fonte: Incropera e Witt, 1992). O vetor q_n, é descrito na equação 4:

$$q_n'' = -k\frac{\partial T}{\partial_n} \tag{4}$$

Em uma mesma parede podemos encontrar camadas de materiais diferentes, os quais possuem características térmicas diferentes. Para calcular o fluxo de calor nesta superfície é necessário conhecer a condutividade térmica (*k)* de cada um dos materiais. Um cuidado a ser tomado, é que, segundo Costa, 1974, o coeficiente de condutividade cresce com a porcentagem de umidade, e para materiais porosos esse aumento pode ser bem elevado devido à grande diferença entre o *k* da água e do ar. O valor de *k* varia com a composição, temperatura, pureza, densidade aparente e homogeneidade. Mais adiante, algumas destas características físicas dos materiais serão discutidas.

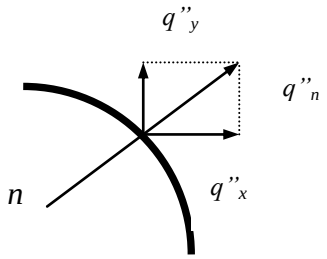


Figura 2.2 - Representação do vetor do fluxo térmico, normal a uma isotérmica, num sistema de coordenadas bidimensionais

No capítulo sobre condutividade, Incropera e Witt, 1992, citam outras propriedades relevantes. Uma delas é a propriedade de difusividade térmica (α), através da qual é medida a relação entre a capacidade do material conduzir, e de acumular, energia térmica. Na equação 5 está demonstrada esta relação, onde ρ é a densidade e o calor específico é denominado de c_p, e o produto dos dois é denominado capacidade calorífica volumar.

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \tag{5}$$

O segundo modo de transferência de calor a ser comentado é o de *Convecção*, o qual compreende dois mecanismos: movimento molecular aleatório e movimento de massa do fluido. A convecção se dá entre uma superfície e um fluido em movimento, quando existir um gradiente de temperatura entre os dois. A transferência de calor por convecção pode ser classificada em convecção forçada e convecção natural.

A convecção é denominada forçada, quando o escoamento do fluido é provocado por meios externos como no caso de um ventilador ou vento, e natural, quando o escoamento do fluido é determinado a partir da variação de temperatura que ocasiona a diferença de densidade.

Na figura 2.3 está demonstrado o mecanismo de convecção forçada de uma superfície para um fluido em movimento.

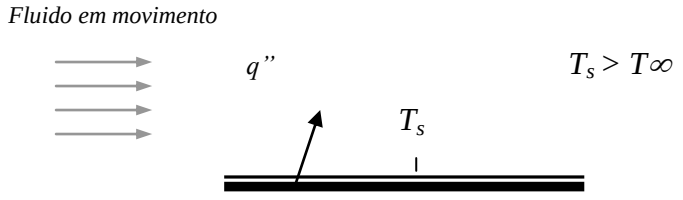


Figura 2.3 - Processo de transferência de calor por convecção

Para exemplificar a convecção natural, imagine-se um ambiente onde em determinados pontos estejam equipamentos e pessoas liberando calor para o ambiente, conseqüentemente sofrerá um acréscimo nestes pontos, fazendo com que este ar mais quente, e, portanto mais leve, se desloque para o teto e um fluxo de ar mais frio o substitua. Caso este mesmo ambiente tenha a temperatura média do ar controlada por equipamentos de climatização, como ocorre neste trabalho, este ambiente passará a ter convecção natural combinada a convecção forçada.

Segundo Costa, 1974, Prandtl em sua teoria das correntes, diz que em todo fluido em movimento e em contato com superfícies sólidas, forma-se na proximidade da parede uma camada mais ou menos estacionária – camada limite – na qual o calor será transmitido por condução.

O fluxo de calor convectivo está expresso por meio da equação 6. Esta equação é conhecida como a segunda lei de Newton, onde h é coeficiente de transferência convectiva de calor, ou coeficiente de película.

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \tag{6}$$

A terceira transmissão de calor a ser comentada é a *Radiação*. Segundo definido por Incropera e Witt,1992, a radiação térmica é a energia emitida, na forma de ondas eletromagnéticas, pela matéria que estiver numa temperatura finita. Esta emissão pode ocorrer de sólidos, de líquidos e de gases. Ao contrário da condução e da convecção, que só ocorrem

diante da existência de um gradiente de temperatura e de um meio material para a transferência de calor a radiação se mostra mais eficaz no vácuo. Para ilustrar este mecanismo de transmissão de calor foi inserida a figura 2.4.

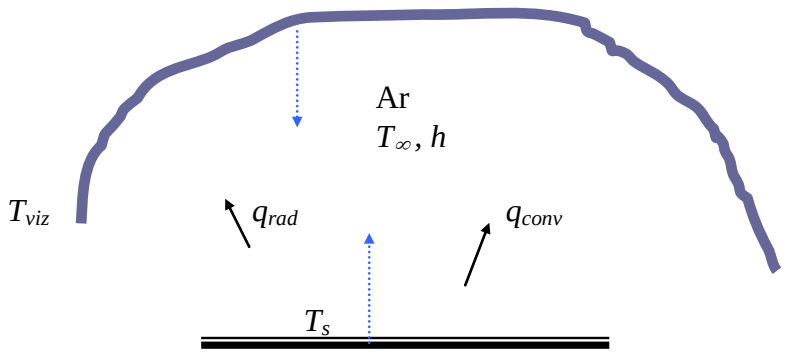


Figura 2.4 - Troca radiativa entre uma superfície e as suas vizinhanças

Quando a temperatura de uma superfície for maior que a temperatura da superfície vizinha, a radiação ocorrerá da quente para a fria, até que a superfície se resfrie e iguale a temperatura com a da vizinha. Dentro de um ambiente, este mecanismo pode ser observado em móveis, em paredes, no forro, piso, e outros meios, e quando ao ar livre, no solo, nas edificações, na atmosfera e no sol.

Algumas propriedades importantes a serem citadas neste modo de transferência de calor são: a absortividade e a transmissividade. A absortividade corresponde à fração da radiação incidente que é absorvida pela superfície, e a transmissividade é a fração de radiação que é emitida à superfície e por ela refletida.

Por intermédio da equação 7, é possível calcular a troca térmica por radiação, onde T_{viz} corresponde à temperatura da superfície vizinha, ε é a emissividade, cujo valor está compreendido no intervalo $0 \leq \varepsilon \leq 1$, σ é a constante de Stefan-Boltzmann (σ = 5,67 x 10^{-8} W/m^2K^4) e h_r é o coeficiente de transferência radiativa de calor linearizado.

$$q'' = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{viz}^4) \quad \text{ou} \quad q'' = h_r A(T_s^4 - T_{viz}^4) \tag{7}$$

A troca de calor feita a partir dos mecanismos de condução, convecção e radiação é denominada calor sensível, descrito pela equação 8, e, a troca por evaporação, discutida no item 2.2, é chamada de calor latente, conforme demonstrado por Lamberts *et al.*, 1997.

$$Q_{se} = \rho c V \Delta t \tag{8}$$

onde, a densidade do ar (ρ) corresponde a 1,2 kg/m^3, *c* é igual a 1000 J/kgK e *V* é o volume de ar trocado no ambiente a cada segundo.

Outro método de resolução dos problemas de transmissão de calor é feito através do conceito de resistência térmica. Fazendo uma analogia entre a difusão do calor e a condução de carga elétrica, foram definidas as seguintes equações 9, 10 e 11, onde R_t corresponde a resistência térmica; *A*, a área, *q* ao fluxo, h ao coeficiente de convecção e *T* às temperaturas:

$$R_{t,cond} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \tag{9}$$

$$R_{t,conv} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \tag{10}$$

$$R_{t,rad} \equiv \frac{T_s - T_{viz}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A} \tag{11}$$

Numa superfície composta por mais de um material, a taxa de transferência de calor unidimensional está representada pela equação 12 e 13, onde $T_{\infty,1}$- $T_{\infty,4}$ é tida como a diferença global de temperatura, e R_t envolve todas as resistências térmicas. Define-se como *U* o coeficiente global de transferência de calor.

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\sum R_t} \tag{12}$$

$$\sum R_t = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \tag{13}$$

Ainda a respeito de superfícies compostas, é observada uma queda de temperatura na junção de dois materiais, a qual é atribuída à resistência de contato, sendo esta conseqüência dos efeitos da rugosidade da superfície. Portanto, haverá transferência de calor por condução quando as superfícies estiverem em contato e transferência de calor por radiação na presença de buracos entre as superfícies.

Na figura 2.5, está representada uma parede em corte, podendo ser observada a ocorrência dos três mecanismos de transferência de calor.

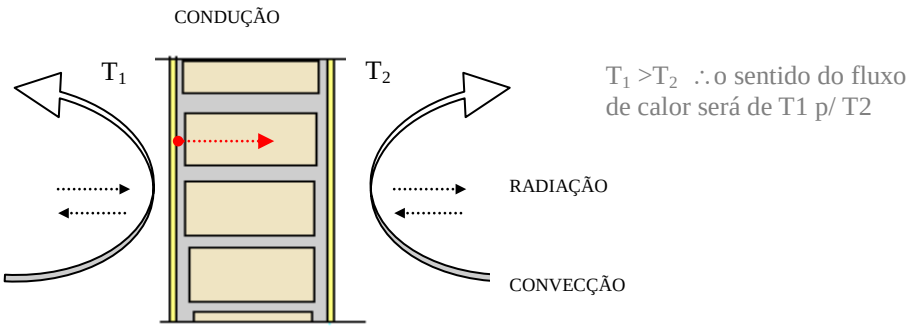


Figura 2.5 - Processo de transferência de calor por condução, convecção e radiação

Os conceitos aqui apresentados serão aplicados no cálculo do PMV, no cálculo térmico do ambiente e influenciarão no gasto energético da edificação e no controle do ambiente térmico. Segundo Givoni, 1976, a magnitude destes efeitos térmicos, dependerá da orientação da edificação, do gradiente de temperatura, das cores das paredes – no caso das paredes externas – e das características dos materiais. Compreendendo estes mecanismos de transferência de calor e tirando partido das técnicas construtivas de forma coerente, é possível garantir eficiência energética na edificação, conforto térmico e um ambiente de qualidade.

2.1.2. FUNDAMENTOS DE PSICROMETRIA

A Psicrometria estuda as propriedades termodinâmicas e analisa as condições e processos que envolvem o ar úmido.

O ar atmosférico, tido como ar úmido, é constituído por mistura de gases, vapor d'água e contaminantes. Já o ar seco é definido como sendo o ar atmosférico, excluindo de sua composição o vapor d'água.

Os parâmetros psicrométricos são os seguintes: umidade absoluta, umidade relativa, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de orvalho, volume específico, entalpia e grau de saturação. No uso da carta psicrométrica tendo dois parâmetros destes citados, é possível encontrar as demais variáveis.

A temperatura de bulbo seco (Tbs, °C) corresponde à temperatura indicada em um termômetro. Recebe este nome para não ser confundida com a temperatura de bulbo úmido. A temperatura de bulbo úmido (Tbu, °C) é a temperatura de evaporação da água no ar, sendo obtida a partir do uso do psicrômetro, aparelho este que tem a função de medir as propriedades do ar úmido.

O psicrômetro é formado por dois termômetros idênticos, onde um deles é envolvido por um pedaço de algodão, ou material similar que tenha as mesmas propriedades físicas, e, embebido em água destilada e que é ventilado, e o outro, medirá a temperatura de bulbo seco.

A umidade relativa (UR, %), segundo descrito por Simões, 1999, é dada pela razão entre a pressão parcial do vapor de água na mistura e a pressão de saturação do vapor d'água na temperatura da mistura. "A umidade relativa depende fortemente da temperatura (em uma relação quase exponencial, se a concentração de vapor for constante). Assim, esta variável apresenta importantes variações diurnas e anuais, aproximadamente em oposição de fases com as temperaturas". Vale mencionar que a umidade de saturação corresponde na carta psicrométrica a curva de 100% de UR.

Os parâmetros psicrométricos têm influência no conforto térmico das pessoas, no controle de contaminantes e funcionamento dos equipamentos de climatização e, serão discutidos oportunamente.

2.2. CONFORTO TÉRMICO

A produção de energia térmica pelo organismo se dá com a oxidação da glicose proveniente dos alimentos consumidos, processo este denominado de metabolismo. De acordo com Guyton, 1988, parte desta energia, aproximadamente 80%, é utilizada no funcionamento vital do organismo da pessoa e o restante poderá ser despendido em trabalho externo. A produção desta energia começa com a ingestão dos alimentos e posteriormente sendo oxidados pelo oxigênio extraído do ar pela respiração. Como resultado desta oxidação dos alimentos, tem-se a produção do gás carbônico e água, os quais serão liberados para o ambiente através da expiração; quanto à produção de energia, ela será consumida ou dissipada pelo organismo. Pode-se sintetizar tais conceitos pela expressão bioquímica abaixo (número 14), onde $C_6H_{12}O_6$ corresponde à glicose:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{Energia liberada ao corpo} \qquad (14)$$

A reação química citada acima pode ser intensificada com o aumento do metabolismo, através dos seguintes fatores: aumento da atividade física, efeito da estimulação simpática e da norepinefrina, efeito do hormônio tiroidiano, ação dinâmico-específica dos alimentos e efeito da temperatura corporal.

Na atividade física, com a contração dos músculos, uma grande quantidade de trifosfato de adenosina (ATP) é convertida a difosfato de adenosina (ADP). A norepinefrina e a epinefrina são liberadas, respectivamente, nos tecidos e no sangue, os quais têm efeito sobre todas as células, aumentando o metabolismo e algumas reações enzimáticas que promovem a oxidação dos alimentos. O hormônio tiroidiano aumenta em até 100% o metabolismo, quando secretado em grandes doses. Uma refeição rica em carboidratos e gorduras aumenta o metabolismo em 4 ou 5%, enquanto uma refeição de grande teor de proteína pode aumentar em até 30%. O aumento da temperatura corporal ocasiona o aumento das reações químicas, sendo que a cada grau de aumento da temperatura aumenta intensidade do metabolismo em cerca de 10%.

A temperatura interna do corpo humano é considerada constante. Esta temperatura, tida como temperatura normal, é da ordem de 37° C, podendo, variar entre a faixa dos 36,1 e 37.2° C; ultrapassando estes limites, uma pessoa poderá suportar, em estado de enfermidade, uma temperatura mínima de 32°C e máxima de 42°C, de acordo com Frota e Schiffer, 1988.

No caso de trocas térmicas entre a pessoa e o ambiente em que ela se encontra, o organismo utiliza mecanismos termo-reguladores como forma de compensar o ganho ou a perda de calor, objetivando a manutenção da constância da temperatura interna. O sistema interno que controla e regula a temperatura corporal é chamado de termostato hipotalâmico. Este termostato “ordena” ao organismo, que aumente a perda de calor quando a temperatura interna ultrapassar os 37° C, e que diminua a perda de calor caso a temperatura fique abaixo do valor limite. Caso os mecanismos termo-reguladores não respondam de forma adequada, pode-se, no limite, ter situações de risco de morte para a pessoa.

Quando ocorrerem perdas de calor do organismo para o meio, causando a sensação de frio, os mecanismos termo-reguladores entram em funcionamento. De forma resumida, é possível entender a fisiologia envolvida nas trocas térmica nas seguintes situações: a vasoconstrição periférica, o arrepio, tremor, diminuição da sudorese e aumento da produção do hormônio da tireóide.

A vasoconstrição periférica é o mecanismo de dilatação dos vasos capilares localizados próximos aos órgãos e a contração dos vasos próximos a superfície da pele. Com

este mecanismo tem-se o resfriamento da pele e diminuição de sua umidade, e o equilíbrio térmico do corpo.

Com o arrepio aumenta-se a rugosidade da pele, evitando as perdas de calor por convecção. Devido o movimento da musculatura, este mecanismo provoca o aquecimento da pele por atrito. E, quando este mecanismo não for suficiente para equilibrar a temperatura interna do organismo, começamos a apresentar tremor da musculatura na intenção de se aumentar o metabolismo.

O efeito do hormônio tiroidiano sobre o metabolismo depende de forma direta e proporcional com a quantidade de secreção produzida pela glândula. Quando esta glândula secretar grandes quantidades de hormônios pode aumentar o metabolismo do sujeito em até 100% e, ao contrário, quando pequena quantidade é secretada, o valor pode ser reduzido em até 50% do valor apresentado, quando no estado normal, conforme descrito por Guyton, 1988.

Para o caso de ganho de calor, sensação de calor, o sistema termo-regulador da pessoa entrará em ação para manter o equilíbrio interno do corpo. O primeiro processo na tentativa de resfriar o corpo é com o mecanismo de vasodilatação periférica, processo inverso ao vasoconstrição. A vasodilatação ocasiona o aumento da temperatura superficial da pele, por onde se dará a dissipação do calor em excesso, tendendo assim, a regular a temperatura interna.

Outros meios de se regular a temperatura interna, devido ao ganho de calor, é através da produção de suor e da redução do metabolismo, o que diminui a produção de energia no organismo.

Entende-se por conforto térmico a situação em que uma pessoa expressa satisfação com o ambiente térmico em que se encontra. A pessoa não precisará recorrer a nenhum dos mecanismos termo-reguladores para manter o equilíbrio térmico interno, necessitando apenas que o calor produzido em excesso seja dissipado ao ambiente. O conforto térmico também pode ser expresso partindo dos relatos de percepções fisiológicas, relacionadas com os fatores climáticos, a atividade física que a pessoa estiver realizando e suas vestimentas.

Doravante, utilizar-se-á a expressão “Conforto Térmico” sempre na acepção acima descrita.

O calor produzido pelo organismo é dissipado para o meio ambiente na forma de radiação, condução, convecção e evaporação. A troca de calor feita a partir dos mecanismos de condução, convecção e radiação é denominada calor sensível, a troca por evaporação é chamada de calor latente. Segundo Guyton, 1988, uma pessoa despida, num ambiente a 21°C

de temperatura, a perda de calor apresentada por radiação é cerca de 60%, evaporação 22% e por condução e convecção, 18%. Por outro lado, Koenigsberger *et al.*, 1973, dizem que uma pessoa despida no mesmo ambiente térmico apresentaria uma radiação de 45%, evaporação 20%, convecção 30% e condução 5%. Analisando as diferentes taxas encontradas pelos dois autores, verificada-se a dificuldade em estabelecer parâmetros desta natureza.

A perda de calor por radiação pelo corpo humano ocorre geralmente por estar a temperatura superficial da pele superior à temperatura das superfícies do entorno, conseqüentemente, o fluxo de calor emitido da pessoa para o ambiente será maior do que recebido por ela.

O mecanismo de transferência de calor por condução em uma pessoa ocorre na camada limite, a qual é removida depois de aquecida e substituída por um ar mais frio. Esta troca é diretamente proporcional à velocidade do ar que toca o corpo. Em seguida, o ar aquecido e saturado é transportado para longe por convecção. Caso este ar saturado não seja retirado rapidamente, o processo de evaporação será interrompido. Um detalhe importante citado por Frota e Schiffer, 1988, é que o fluxo térmico neste mecanismo é ascendente, há coincidência do sentido do fluxo com o natural deslocamento ascendente das massas de ar aquecidas, enquanto que no caso de fluxo descendente, o ar, aquecido pelo contato com a superfície, encontra nela mesma uma barreira para sua ascensão, dificultando a convecção.

A evaporação é o mecanismo de “troca térmica úmida proveniente da mudança do estado líquido para o gasoso”. A perda de calor por evaporação, segundo dados de Guyton, 1988, é realizada através da sudorese. Numa situação onde a temperatura ambiental é maior que a do corpo, o único meio que a pessoa dispõe para a manutenção da temperatura interna é através da evaporação. A evaporação de um grama de água remove, aproximadamente, 2,09 J (0,5 caloria) de calor do corpo.

Estes mecanismos de transferência de calor do corpo para o ambiente podem ser alterados pelas vestimentas. As roupas funcionam como barreiras, impedindo que a troca por radiação e condução seja efetiva, ou seja, o calor que na situação de uma pessoa despida se dissiparia para o ambiente agora terá antes que atravessar toda a espessura da roupa, diminuindo a intensidade de perda de calor do corpo para a roupa e ainda, parte deste calor podendo ser radiado de volta para o corpo. A vestimenta impede também a troca de calor por convecção, pois mantém uma pequena camada de ar parado entre a roupa e o corpo.

As propriedades isolantes das roupas resultam da presença do ar nas malhas do tecido – quando seco - e de suas características químicas (tipo de material que são manufaturadas).

Quando a roupa é molhada, levando em consideração que a água é um bom condutor de calor, elas passam a não ser mais consideradas isolantes, podendo quase considera-la inexistente.

As roupas feitas de materiais naturais, como é o caso do algodão e do linho, absorvem melhor a água, ou seja, não impedem o resfriamento evaporativo do corpo. Já os tecidos sintéticos impedem o resfriamento do corpo por evaporação, pois possuem baixa permeabilidade à umidade.

Como pode ser observada, a vestimenta contribui positivamente ou negativamente, nas trocas térmicas com o ambiente, a qual junto a outras variáveis resultará na sensação térmica da pessoa.

Neste trabalho foram analisados três diferentes tipos de layout que influem no conforto térmico das pessoas de forma significativa, pois apresentam exigências físicas diferentes. Nos três casos as condições meteorológicas no interior do ambiente são controladas. O que diferenciou no conforto térmico das pessoas de um caso para o outro foi a distância percorrerem até entrarem na sala cirúrgica. No Caso 1, a pessoa percorre a menor distância, saindo do corredor e tendo acesso direto à sala cirúrgica. Já no Caso 2, a pessoa terá que percorrer a maior distância, dos 3 casos, para acessar a sala cirúrgica, pois possui dois corredores diferentes, um de acesso e outro de saída. No Caso 3 a pessoa passa pelo corredor e em seguida pela antecâmara, para chegar a sala cirúrgica.

O conforto térmico também será diferente quando compararmos os dois tipos de cirurgias analisadas. O número de equipamentos cirúrgicos utilizados para a cirurgia ortopédica é superior ao da cirurgia abdominal, influenciando no cálculo do índice de conforto térmico, devido o aumento da temperatura média radiante, e na temperatura do ar da sala. O número de trocas do ar interior, no caso da cirurgia ortopédica é maior que a da outra.

Os ambientes contíguos à sala cirúrgica, aos corredores e às antecâmaras teriam influência nas condições de conforto térmico se tivessem temperaturas diferentes, porém, estes se apresentam climatizados e na maioria, com temperaturas idênticas. Quando os ambientes contíguos apresentam temperatura superior aos ambientes analisados, transmitem calor para os ambientes que dividirem a mesma parede e, quando a temperatura for inferior, perdem calor para eles.

Todas estas variáveis citadas acima, resultam em estímulos que são expressos por um valor numérico chamado de Voto Médio Previsto (PMV), onde resulta em zero (0) quando a pessoa está na condição de conforto, positivo quando na situação de calor e negativo para frio. Estes parâmetros foram estabelecidos, através do trabalho experimental realizado por Fanger, 1984 - baseado na ISO 7730 - no qual avaliou pessoas de diferentes nacionalidades,

idades, sexo e sob influência de determinadas condições ambientais [Nicol *et al.*, 1995]. A equação para o cálculo do PMV está expressa na equação 15, onde L corresponde ao total das perdas de energia pelo corpo, H é a taxa de produção de calor interna de um ocupante por unidade de área e M é a taxa metabólica por unidade de área. Na tabela 2.1 estão representados os valores de PMV na escala de conforto térmico.

$$PMV = (0{,}303e^{-0{,}036M} + 0{,}028)(H - L) \tag{15}$$

Outros fatores que não foram considerados no presente trabalho, mas que influenciam no conforto térmico são: a idade e o sexo da pessoa, o seu estado de saúde, estímulo visual, stress e tempo de exposição.

TABELA 2.1 - Escala de Conforto Térmico pelo PMV

PMV	Sensação Térmica	Conforto
+4	Muito Quente	Extremamente Desconfortável
+3	Quente	Muito Desconfortável
+2	Morno	Desconfortável
+1	Levemente Morno	Pouco Desconfortável
0	Neutro	Confortável
-1	Levemente Frio	Pouco Desconfortável
-2	Frio	Desconfortável
-3	Gelado	Extremamente Desconfortável

2.3. ARQUITETURA

A arquitetura deve não apenas ter a função de abrigo, mas também se preocupar com a plástica e funcionalidade, o uso coerente de materiais e das técnicas construtivas, buscar a melhor implantação da edificação no terreno, propiciar o conforto térmico, ventilação e iluminação adequadas, e uma boa qualidade do ar interior. Somada a todas estas características, a arquitetura deve prover qualidade de vida às pessoas.

A arquitetura enfocada neste trabalho foi a Arquitetura Hospitalar, que possui algumas particularidades quando comparada a outros tipos. Os ambientes são complexos e apresentam

um alto nível de exigência de qualidade e funcionalidade, por lidarem com um grande número de pessoas em situações e funções diferentes, e em estados físicos e emocionais distintos.

O ambiente hospitalar deve ser funcional, evitando cruzamentos de fluxos de pacientes, visitantes e pessoal interno; respeitar a hierarquia de atendimento, ter o ar ambiente condizente com as exigências normativas e necessidades a cada especialidade. Segundo estabelecido pelo Ministério da Saúde, 1998 (Portaria 3523/GM), o ambiente deve garantir conforto térmico, e oferecer qualidade do ar interior, onde as concentrações de contaminantes estejam dentro dos limites aceitáveis e, que no mínimo 80% dos ocupantes estejam satisfeitos com o ambiente.

Devido à complexidade das várias especialidades médicas e cada uma exigindo uma característica arquitetônica diferente, optou-se por estudar alguns ambientes do Centro Cirúrgico. Todos os ambientes são hipotéticos, porém representam as características físicas de vários Blocos Cirúrgicos encontrados no Brasil, principalmente o Caso 1. A organização física do Centro Cirúrgico, segundo denominação usada no meio médico e descrita por Lamb, 2000, pode distinguir-se em três Zonas: Zona de Transição, Zona Restrita e Zona de Descarte. As Zonas de Transição são os ambientes que intermediam o ingresso ao Bloco Cirúrgico, como por exemplo, os vestiários. A segunda zona seria a Restrita, onde têm acesso apenas pessoas autorizadas e paramentadas; e a Zona de Descarte seria, por exemplo, o corredor "sujo" analisado no Caso 2. Neste trabalho foi analisado apenas as Zonas Restritas – corredores de acesso à sala cirúrgica, antecâmara e sala cirúrgica – e um ambiente da Zona de Descarte.

No Caso 1 são analisados a sala cirúrgica e o corredor, ambos tendo suas dimensões estabelecidas pelo Ministério da Saúde, 2002 (Resolução RDC nº 50) e *American Institute of Architects*, 2001. Para uma cirurgia de grande porte a área mínima exigida para a sala cirúrgica é de 36 m^2, com dimensão mínima de 5 metros, enquanto a largura do corredor é de 2,5 m. O layout do Caso 1 pode ser observado na figura 2.6, e na figura 2.7, o Corte AA. No corte estão identificados o forro do ambiente analisado e também o do ambiente do pavimento inferior, este último, descrito por ter grande importância térmica, pois a camada de ar dificultará que o calor do ambiente inferior seja transferido para a sala cirúrgica e corredor. Esta característica construtiva foi descrita no programa *Energy Plus*.

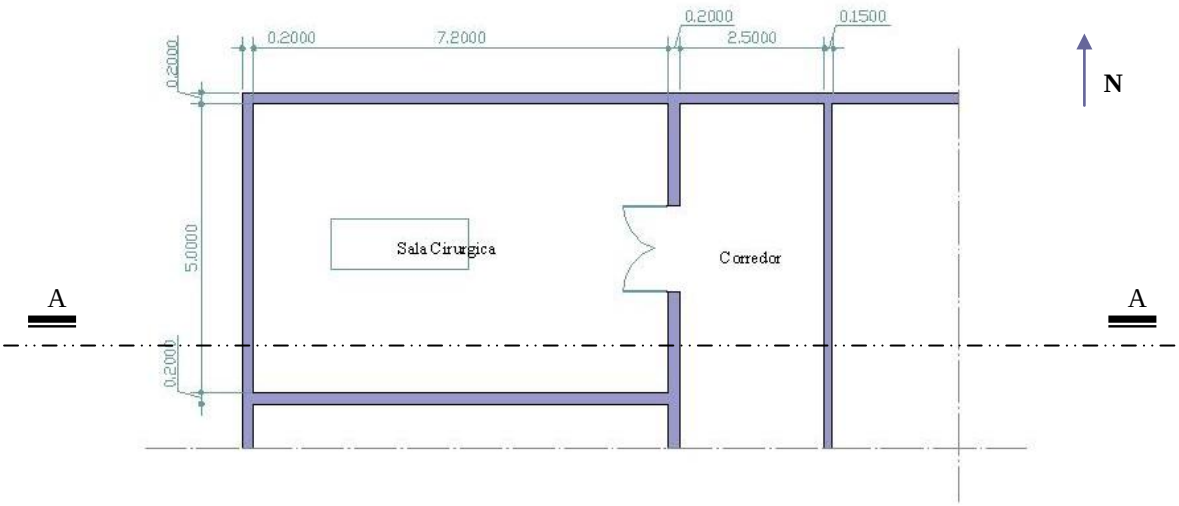
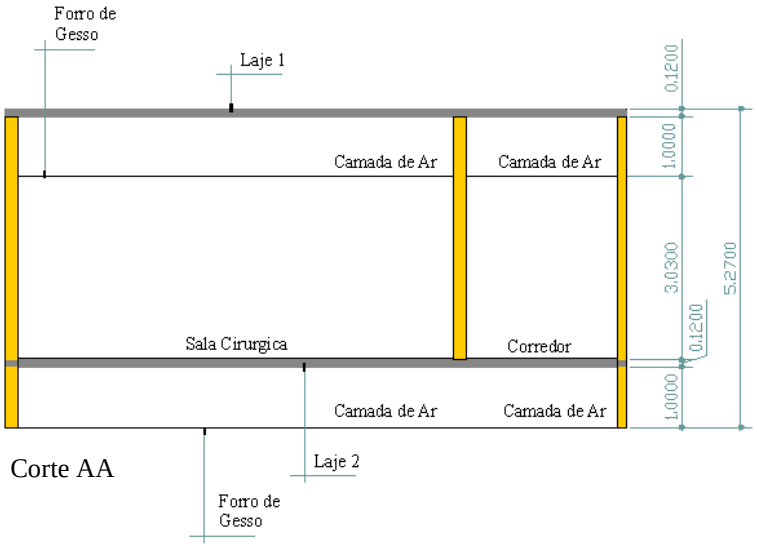


Figura 2.6 - Planta baixa do Caso 1, onde os ambientes analisados são a sala cirúrgica e o corredor



Corte AA

Figura 2.7 - Corte do Caso 1, com identificação dos materiais, das camadas de ar e dos ambientes

O detalhe construtivo descrito no Corte AA, representado acima, se repetirá nos cortes do Caso 2 e Caso 3, conforme pode ser observado nas figuras 2.9 e 2.11.

Os ambientes analisados no Caso 2 são corredor “limpo”, sala cirúrgica, e corredor “sujo”, os quais dividem parede com o exterior, com a sala cirúrgica 2 e sala de gesso, ficando definido no pavimento inferior e superior, respectivamente, unidade de internação e unidade de queimados. As dimensões da sala cirúrgica são idênticas às estabelecidas no Caso 1 e Caso 3, e as larguras dos corredores atendem as exigências das normas de 2,5 m - maior

fluxo de pessoas e portas dos dois lados - e 2,0 m. Maiores informações podem ser esclarecidas observando as figuras 2.8.

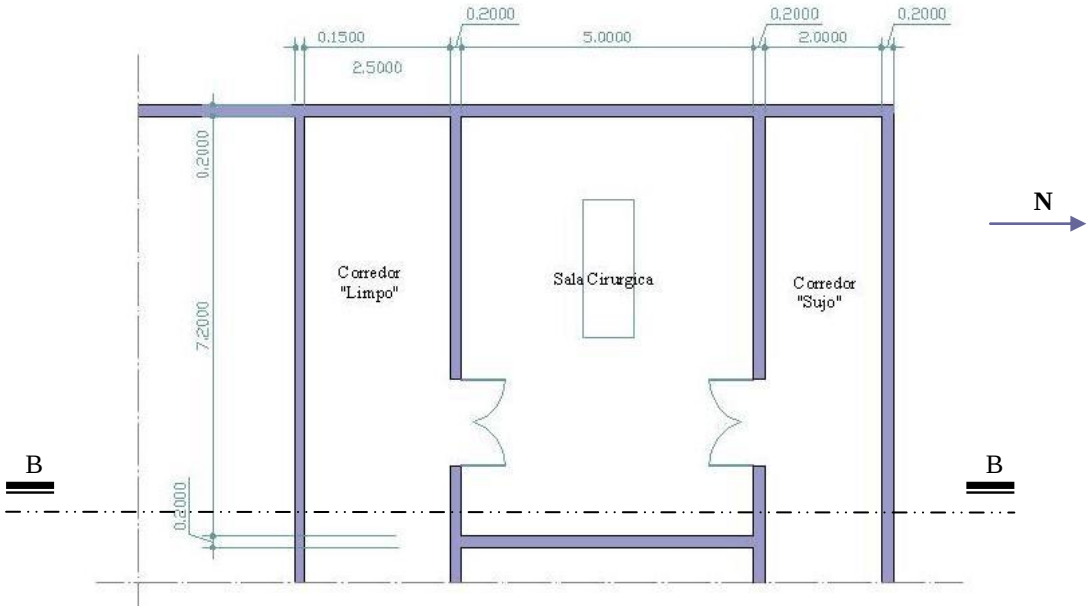
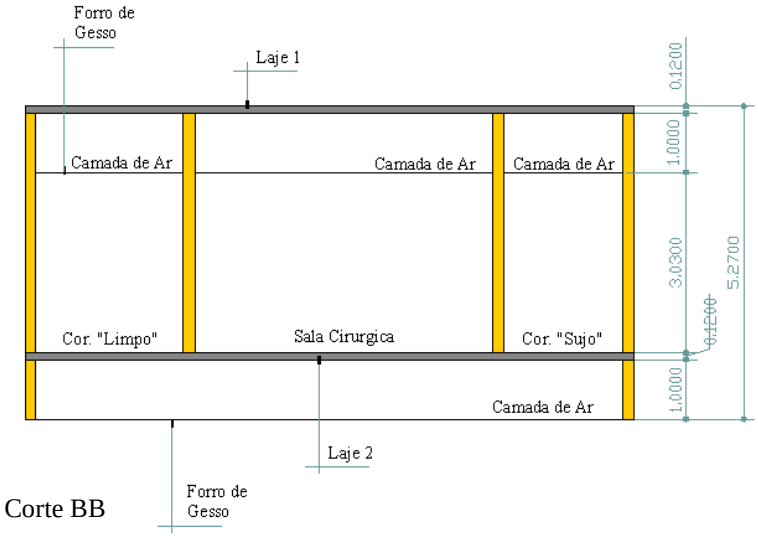


Figura 2.8 - Planta baixa do Caso 2, onde os ambientes analisados são o corredor “limpo”, a sala cirúrgica e o corredor “sujo”

O *layout* do Caso 3 foi definido por três ambientes: corredor; antecâmara e sala cirúrgica. O corredor teve sua largura estabelecida por norma e a antecâmara a acompanhou; já o comprimento da antecâmara foi definido de forma a adequar o acesso da maca à sala cirúrgica, possibilitando, no momento em que a acessem, fechar a porta que divide a antecâmara do corredor e somente depois abrir a porta que dá acesso à sala cirúrgica. A sala cirúrgica apresenta as mesmas dimensões – 7,2 x 5 m - e metragem quadrada do Caso 1 e Caso 2. Nas figuras 2.10 e 2.11 é possível observar a representação gráfica destes ambientes em planta baixa e corte.



Corte BB

Figura 2.9 - Corte do Caso 2, com identificação dos materiais, das camadas de ar e dos ambientes

Através do *layout* dos ambientes, apresentados nas figuras 2.6, e 2.8 e 2.10, podemos analisar também a política de acesso de pessoas, responsáveis em grande parte pela qualidade do ar interior e, que será discutida mais adiante.

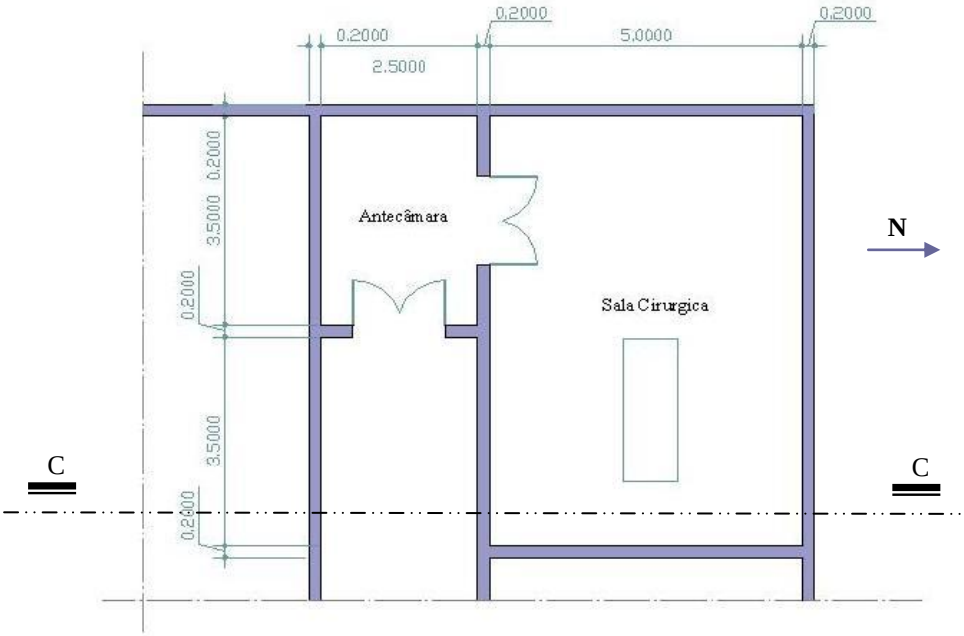


Figura 2.10 - Planta baixa do Caso 3, onde os ambientes analisados são a sala cirúrgica, a antecâmara e o corredor

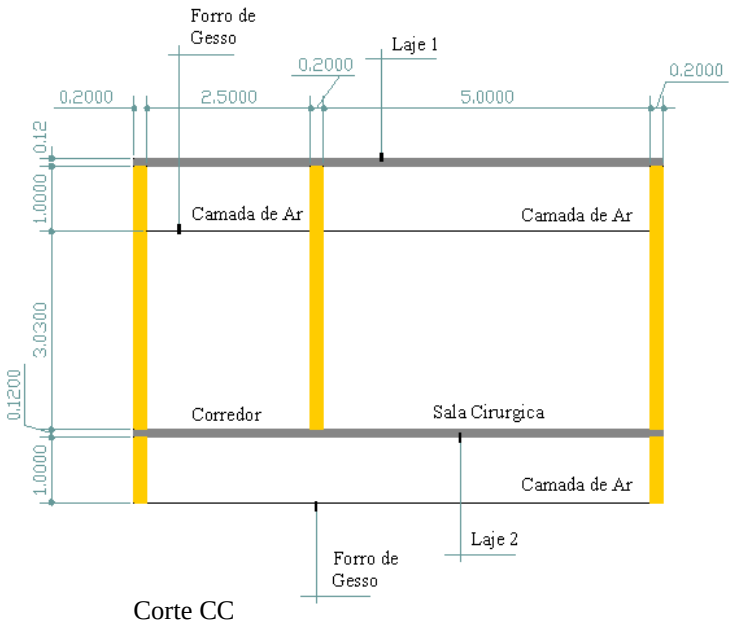


Figura 2.11 - Corte do Caso 3, com identificação dos materiais, das camadas de ar e dos Ambientes

Outros fatores importantes a serem considerados na análise térmica dos ambientes são: a localização geográfica e a orientação da edificação em relação ao eixo norte. É importante conhecer a orientação da edificação, para poder analisar a influência das fachadas ensolaradas e as transferências de calor ocorridas. Determinar diferentes posições geográficas nas análises possibilita comparar o desempenho térmico da edificação, porque as variáveis meteorológicas – umidade relativa, temperatura, a quantidade de radiação solar incidente, o fator de céu, a predominância de época e sentido dos ventos e índices pluviométricos – se alteram conforme a localização.

Nos três casos de *layout* analisados, a edificação foi exposta à incidência solar, podendo assim, dimensionar os equipamentos de climatização para a pior condição e estimar, através de cálculos, o maior gasto energético anual. As salas cirúrgicas foram voltadas com sua maior dimensão para a fachada norte e a menor para a fachada oeste, conforme pode ser observado nas figuras 2.6, e 2.8 e 2.10. Esta orientação foi considerada no programa *Energy Plus* no item *"Thermal Zone Description/Geometry"*.

Na figura 2.12 estão representadas as perspectivas dos três casos analisados.

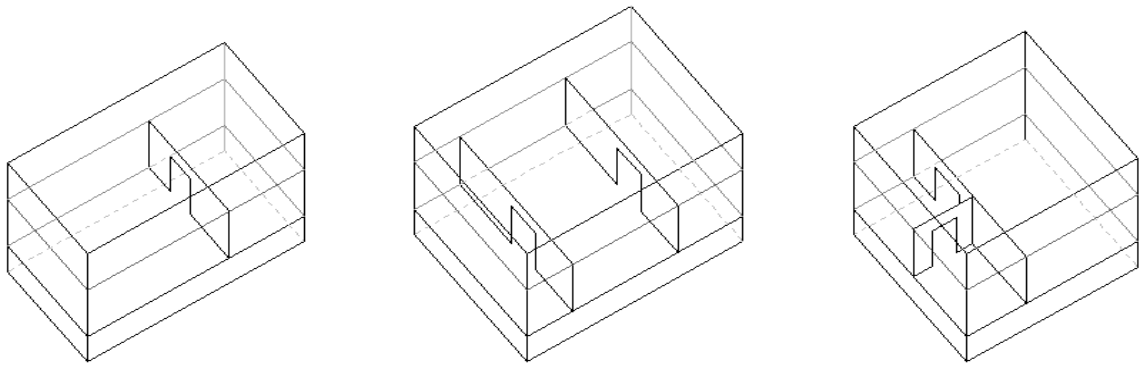


Figura 2.12 - Perspectivas do Caso 1, Caso 2 e Caso 3, respectivamente

Os materiais de acabamento e construtivos têm papel fundamental no isolamento térmico e acústico dos ambientes. Conforme a cidade em que se localiza a edificação, temos que levar em conta as condições climáticas na hora da escolha dos materiais construtivos, pois cada um apresenta características físicas que irá contribuir ou atrapalhará a qualidade térmica do ambiente. Por exemplo, em uma cidade de clima quente e seco, uma parede de espessura 20 cm e de tijolo 6 furos, apresentará condutividade térmica inferior a uma parede de 15 cm em tijolo maciço, isto, considerando-se as mesmas características para o material, melhorando-se então o desempenho térmico da edificação.

A cores das paredes e vidros do edifício terão influência na transmitância da radiação solar para o interior do ambiente, e a cor da parede, na absorção ou na reflexão desta mesma radiação.

Nos três casos analisados foram utilizados os mesmos materiais construtivos nas vedações; já nos acabamentos, a única diferença foi no caso da sala cirúrgica ortopédica, na qual foi previsto o uso de chumbo (Pb) em todas as superfícies da sala cirúrgica. As placas de Chumbo (Pb) foram aplicadas nas paredes, piso, teto e porta.

As paredes da sala cirúrgica e outras que têm contato com o exterior foram determinadas com espessura de 20 cm, enquanto as demais com 15 cm. Os materiais utilizados foram: tijolo de 6 furos, argamassa de emboço, massa corrida, argamassa de regularização, piso vinílico do tipo contínuo e condutivo, laje de concreto, forro de gesso, e no caso de cirurgias ortopédicas foram especificadas chapas de chumbo por toda a sala cirúrgica. As paredes e o forro de gesso receberam pintura de tinta Epóxi, ideal para higienização das superfícies. A escolha dos acabamentos respeitou as exigências estabelecidas pelo Ministério da Saúde, 2002 (Resolução RDC nº 50) e segundo descrito por Lamb, 2000. As características destes acabamentos especificados devem obrigatoriamente garantir alta resistência a abrasividade, evitando o desgaste que possivelmente gerariam

aerossóis, resistência a produtos químicos, porosidade baixa, ausência de frestas e facilidade na manutenção.

Quanto às esquadrias, optou-se apenas pelo uso de portas e ignorou-se o uso de janelas, apesar de alguns cirurgiões e anestesistas dizerem que o contato com o exterior proporciona um conforto visual momentâneo no decorrer da cirurgia. Segundo referenciado por Lamb, 2000, este costume foi abandonado há cerca de trinta ou quarenta anos quando cirurgiões concluíram que, dependendo do nível de iluminamento do dia poderia atrapalhar o desempenho do foco cirúrgico. As portas utilizadas são de material aço inox. No caso da cirurgia ortopédica, foi acrescentada uma placa de chumbo entre as camadas da porta.

O uso de forro de gesso foi previsto em todos os ambientes analisados. Além da função estética, o forro é responsável pelo controle de poluentes; facilita a higienização do ambiente; possibilita que a iluminação de base seja embutida, funciona como isolante termo-acústico e esconde as instalações do ar condicionado. O pé direito das salas cirúrgicas foi definido com três (3) metros, altura ideal para a instalação do foco cirúrgico, e a altura da antecâmara e dos corredores acompanham este padrão.

Nas salas cirúrgicas foram especificados quatro tipos de iluminações, sendo que dois são responsáveis pela iluminação de base e os outros pela iluminação do campo cirúrgico. A iluminação de base, constituída por lâmpadas fluorescentes e incandescentes, deve apresentar nível de iluminamento no mínimo de 1000 lux, conforme sugerido por Santana, 1996. Já as lâmpadas utilizadas no foco cirúrgico deverão totalizar iluminamento mínimo de 20.000 lux, conforme exigências do ABNT, 1982 (NBR 5413) e Santana, 1996. Há ainda a iluminação auxiliar por meio do foco móvel, de grande importância no auxilio a grandes cirurgias. A quantidade de luz emitida pelo foco cirúrgico deve evitar a formação de sombras sobre o campo cirúrgico e sobre o paciente, pois podem confundir a equipe e prejudicar no momento da cirurgia.

O critério usado para definir o nível de iluminação dos ambientes adjacentes à sala cirúrgica foi que estes estivessem com 50% do nível estabelecido em norma para a sala cirúrgica, conforme preconizado por Santana, 1996. Este cuidado permite que pessoas que passem de um ambiente a outro tenham fácil adaptação visual.

Como visto acima, a iluminação de base possui dois tipos de lâmpadas. Optou-se pela lâmpada fluorescente por apresentar algumas vantagens se comparada com a incandescente: maior durabilidade; produção e emissão de menor quantidade de calor, atingindo o mesmo nível de iluminamento; e economia energética. Porém, a lâmpada fluorescente tem a desvantagem de acentuar algumas cores e reduzir outras, o que pode mascarar a cianose dos

pacientes. Para resolver este impasse, foi também especificado o uso de lâmpadas incandescente, só que em menor quantidade e sendo utilizada apenas em certas ocasiões, por proporcionar boa reprodução de cores. Uma opção que poderia substituir o uso das duas lâmpadas juntas seria o uso de lâmpadas fluorescente do tipo luz do dia, porém, foi intencional considerar a emissão de calor pela lâmpada incandescente que é maior.

A iluminação de base foi adotada embutida e protegida por acrílico, pois facilita a higienização do ambiente e não atrapalha o deslocamento do foco cirúrgico. O foco cirúrgico foi fixado ao teto da sala cirúrgica, possibilitando que o braço giratório do foco se deslocasse facilmente. O conjunto de lâmpadas do foco foi protegido por um filtro – vidro de coloração verde-azulada – com a intenção de bloquear a emissão de raios infravermelhos, evitando assim, queimaduras nos tecidos humanos.

TABELA 2.2 - Equipamentos utilizados nas cirurgias

Equipamentos Cirurgia Ortopédica	Equipamentos Cirurgia Abdominal	Potência (W)
Carrinho de anestesia e aspirador cirúrgico elétrico	Carrinho de anestesia e aspirador cirúrgico elétrico	245
Negatoscópio	Negatoscópio	80
ECG	ECG	240
Eletrocirurgia (bisturi elétrico)	Eletrocirurgia (bisturi elétrico)	400
Carro de emergência com desfibrilador	Carro de emergência com desfibrilador	450
Eletrocautério	Eletrocautério	400
Raios-X móvel		20 kW
Raios-X com intensificador e mesa buck		50 kW
Serra elétrica		200

OBS.- no caso do raio-X, será considerado apenas uma parcela desta potência, pois o uso deste equipamento é por um tempo razoavelmente curto.

Os equipamentos médicos presentes na sala cirúrgica contribuíram para o ganho térmico no ambiente, por isso, foi preciso conhecê-los e saber as suas potências. De acordo com o guia de equipamentos do Ministério da Saúde, 1994, na sala cirúrgica ortopédica e na abdominal, são exigidos os equipamentos descritos na tabela 2.2 (apresentada acima). As potências foram retiradas de catálogos, e, quando não fornecidas, questionadas as partes técnicas dos equipamentos em questão.

2.4- QUALIDADE DO AR INTERIOR

2.4.1- CONTAMINANTES

O ar atmosférico é constituído por uma mistura de gases, além de vapor d'água e contaminantes. O ar puro é constituído por gases a determinadas porcentagens (78% de N_2, gases raros, H; 16% de O_2; 4% de CO_2; 5% de vapor d'água), e, tendo estes parâmetros pré-estabelecidos ultrapassados considera-se o ar como sendo poluído. No ar também são encontradas pequenas partículas de poeira, microorganismos (bactérias, vírus, fungos e outras partículas biológicas), além de odores a partir de moléculas químicas.

As partículas sólidas, líquidas, ou microorganismos presentes no ar atmosférico, são denominados de aerossóis, ou aerodispersóides pelo fato das partículas, muitas vezes, estarem dispersas no meio gasoso. De acordo com Macintyre, 1990, os aerossóis podem ser formados por dispersão, por condensação ou por uma reação processada entre gases. São denominados "aerossóis formados por dispersão" quando resultam de pulverização, transferência de poeiras, pólen e microorganismos, e atomização de sólidos e líquido. Os aerossóis formados por condensação são os vapores supersaturados, e o material não-volátil é resultado da reação processada entre gases.

Os aerossóis têm seu comportamento e sua velocidade de sedimentação, definidos pelo tamanho da partícula, sua densidade, a concentração e a movimentação do ar. Os conceitos dados para estas variáveis são baseados nas informações de Macintyre, 1990, Mesquita, 1985 e Dorman, 1974.

"O *tamanho de uma partícula* corresponde ao diâmetro de uma esfera hipotética, e mesma velocidade de queda da partícula e uma massa especifica igual a 1 g/cm^3" [Mesquita, 1985]. Identificado o tamanho das partículas é possível definir a eficiência do filtro a ser utilizado no ar condicionado. A respeito da área superficial da partícula, é importante citar que quanto maior o número de partículas numa mesma massa, maior o risco de inalação dos aerossóis.

Uma partícula que tenha se formado a partir de um material sólido, tem sua *densidade* idêntica à deste mesmo material. Por outro lado, quando é formado um conglomerado de partículas, sólidas e "não-porosas", sua massa específica pode ser até 10 vezes menor que a do material que a originou, devido aos espaços vazios formados em sua geometria final.

A *movimentação do ar*, a adesividade e a carga eletrostática são propriedades importantes, pois podem interferir na movimentação das partículas aerodispersas.

A *adesão* é a "Atração entre dois corpos sólidos ou plásticos, com superfícies de contato comuns, e produzida pela existência de forças atrativas intermoleculares de ação a curta distância" [Ferreira, 1986]. Tem-se a adesão quando uma pequena camada de líquido é espalhada sobre uma superfície, ficando "sujeita a forças de adesão proporcionais à atração molecular, à tensão superficial do líquido e ao raio de curvatura da superfície liquida molhante"; por isto a necessidade de manter, principalmente os ambientes hospitalares, limpos, secos e com umidades controladas, pois poderiam favorecer a adesão de contaminantes.

A *carga eletrostática* de partículas dispersas em meio gasoso surge quando estas se tocam ou quando se separam, ou ainda através da indução eletromagnética. De acordo com Macintyre, 1990, quando as partículas são submetidas a uma carga pela ação de um campo eletromagnético, as forças que atuam sobre elas modificam suas condições de escoamento, ocasionando a atração e aglutinação das mesmas ou com outras partículas a exemplo das partículas biológicas (bactérias e fungos).

Um dado interessante citado por Mesquita, 1985, é que o gradiente de temperatura entre as superfícies é utilizado para se obter amostragens de partículas de poeira, para análise subseqüente em microscópio. Este processo é possível devido à precipitação térmica de partículas, que estando sujeitas à diferença de temperatura tendem a mover-se contra a superfície mais fria. A velocidade média das partículas que se aproximam do lado quente da superfície é maior do que aquelas que se aproximam do lado frio. Este movimento é causado por uma força térmica e, se a considerar igual à força de resistência do fluido, é possível calcular a velocidade da partícula.

Conhecidas as características de comportamento das partículas é possível estabelecer seu movimento dentro do ambiente.

Para analisar a qualidade do ar interior é importante conhecer as exigências requeridas pelo ambiente, seu uso (política de ocupação) e os possíveis tipos e fontes de contaminantes. Com estes dados, torna-se possível desenvolver um método preventivo ou, quando não for uma variável controlável, optar pelo uso de técnicas que reduzam tais concentrações a níveis aceitáveis.

No caso das salas cirúrgicas, antes de analisar a qualidade do ar dos ambientes, foi necessário especificar os tipos de cirurgias que seriam realizadas. Como há vários tipos de cirurgias e, cada uma apresentando uma particularidade e um nível de exigência, restringiu-se a análise a apenas dois tipos, sendo uma considerada Asséptica e a outra Séptica. As cirurgias escolhidas foram: a **cirurgia ortopédica** e a **cirurgia abdominal**.

Uma cirurgia é considerada asséptica (limpa) quando não apresenta infecções na ferida cirúrgica e quando não houver invasão do trato respiratório, alimentar, genital ou trato urinário não infectado. E, segundo o Ministério da Saúde, 1998 (Portaria n° 2616), são consideradas sépticas (infectada ou suja) todas as intervenções cirúrgicas realizadas em qualquer tecido ou órgão, em presença de processo infeccioso (supuração local) e/ou tecido necrótico.

O ambiente em que será realizada a **cirurgia ortopédica** deverá ser asséptico, ou seja, estar obrigatoriamente livre de contaminantes que poderiam comprometer a qualidade do procedimento cirúrgico e a recuperação do paciente. Neste tipo de cirurgia, altamente crítica, o paciente fica muito exposto às condições do ar ambiente, por isso a necessidade de cuidados especiais com o ar interior, como paramentação adequada da equipe médica e a assepsia dos materiais e do ambiente. A qualidade do ar interior dependerá também de outros fatores como a política de acesso de pessoas, a qualidade dos procedimentos médicos e os outros cuidados, que serão citados adiante.

A **cirurgia abdominal** - cirurgia séptica - expõe o ambiente a contaminantes, tendo como fonte o paciente. Tais contaminantes não devem se dispersar para os ambientes contíguos, e quando o ar for exaurido deverá obrigatoriamente passar por filtros antes de ser descartado, ou antes que parcela deste retorne à sala cirúrgica. A equipe médica e a equipe de limpeza também ficarão expostas a tais contaminantes, por isso a necessidade de paramentação e de não estarem debilitados. Já o paciente, devido a fatores relacionados à cirurgia e a fatores sistêmicos, estará mais suscetível em adquirir uma infecção hospitalar. Os fatores sistêmicos podem ser: a idade da pessoa, a obesidade mórbida, o estado de nutrição, se o paciente é portador de Diabetes melittus, a anestesia geral, choque, imunodepressões entre outros.

De acordo com o Ministério da Saúde, 2000 (Resolução RDC n° 48), a infecção hospitalar é adquirida após a admissão do paciente na Unidade Hospitalar e se manifesta durante a internação ou após a alta, estando relacionada com a internação ou com procedimentos hospitalares.

Nas infecções de ferida operatória, os agentes patógenos encontrados com mais freqüência são os *Staphylococcus aureus*, o *Escherichia coli* e *Enterococcus c*. Outros bacilos gram-negativos (*Klebsiella sp*, *Pseudomonas sp*, etc.) também aparecem como importantes agentes etiológicos. O *Staphylococcus epidermidis* é reconhecido como tendo importância significativa, particularmente em procedimentos com implantes, segundo dados do HICPAC, 2001.

A título de curiosidade, como mostra Fernandes, 1998, a taxa de infecção hospitalar é medida a partir do total de casos de infecção hospitalar (IH) dividido pelo total de saída de pacientes. Para saber o risco de um procedimento, divide-se o número das infecções pelo dos procedimentos. O índice de risco de IH é determinado segundo: a duração do procedimento, as condições pré-operatórias do paciente e o potencial de contaminação da cirurgia.

No custo direto da infecção hospitalar, estão incluídos os gasto no diagnóstico e tratamento do paciente. Num trabalho internacional, referenciado por Fernandes, 1998, os custos diretos foram elevados cerca de U$ 2,100.00, por quatro dias a mais de internação. A infecção da ferida cirúrgica aumenta a internação de um paciente em 7,4 dias, com custos médios de U$ 3,152.00. Um caso de infecção operatória aumentou a estadia do paciente em 68 dias. Estes custos podem ser aumentados num processo jurídico. Verificou-se neste trabalho, que para cada dólar investido no controle de infecção, deixa-se de gastar até quatro dólares com os custos diretos. Aplicando estes dados às internações do Brasil, considerando a taxa de infecção em 8%, seriam economizados 840 milhões de dólares, com medidas preventivas.

Os custos indiretos são relacionados à produtividade e descontinuidade do trabalho pelo paciente.

Um outro custo – intangível – está relacionado aos fatores psicológicos, decorrentes do sofrimento, isolamento, doença, dor, etc.

Num estudo realizado no Hospital Moinhos de Vento da cidade de Porto Alegre, por Körbes, 1991, foram levantados os procedimentos cirúrgicos não infectados e os infectados. A taxa de IH encontrada num procedimento de abdômen – não infectados - foi de 17,18%, contra 34,95% de infectados. Baseado na Unidade Padrão Hospitalar (UPH), o custo médio dos pacientes não infectados é de 3.628,40 UPHs, com permanência de 0,60 dia, enquanto o custo médio para os pacientes infectados corresponde a 59.492,05 UPHs e 15,66 dias de média permanência. Os procedimentos cirúrgicos de ossos correspondem a 13,09%, com custo médio de 89.675,56 UPHs e média de permanência de 26,2 dias.

As fontes poluentes do ar ambiente numa sala cirúrgica podem ser: o ar, os materiais de construção, reformas, as pessoas, a política de acesso de pessoas, os produtos utilizados para assepsia do local, os fluidos, os equipamentos médicos, o mobiliário, os odores, o ato cirúrgico e o manuseio do paciente, e o sistema de ar condicionado.

De acordo com Siqueira, 2000, com a amostragem microbiológica do ambiente hospitalar, o ambiente é responsável por uma faixa que varia de 0 a 20% dos casos de infecção hospitalar; sendo consideradas as principais fontes contaminantes em uma sala cirúrgica a política de acesso de materiais e pessoas, a de utilização do ambiente e alguns

outros fatores ambientais. Evidenciou-se, através de pesquisas, que surtos causados pela bactéria *Streptococcus pyogenes* em ferida pós-operatória foram adquiridas pelos fluxos de ar ambiental, e que a fonte "primária" do contaminante era o próprio paciente.

O ar, apesar de passar pelo processo de filtragem, ainda pode apresentar impurezas, pois os filtros utilizados não apresentam eficiência 100%. O filtro mais próximo da eficiência de 100% é o ULPA, com 99,9995% e que não foi especificado neste trabalho, pois a norma não o exigia.

Os materiais de construção podem tornar-se fontes dispersoras de partículas devido aos desgastes por conta de sua baixa resistência a abrasividade e a produtos químicos utilizados na assepsia da sala. Os materiais que são utilizados na edificação ou nos equipamentos cirúrgicos devem ser resistentes à corrosão, para não emitirem tais partículas no ambiente. As superfícies do ambiente, de equipamentos e do mobiliário, devem ser, quando possível, de materiais que não "atraiam" e não acumulem partículas, e não sejam porosos. Reformas são grandes fontes poluentes, as quais deverão ser controladas e se possível com isolamento de áreas.

O mobiliário, muitas vezes, constitui fonte poluidora. Em ambientes hospitalares estes cuidados devem ser ainda maiores, pois não devem emitir quaisquer substâncias químicas ao ambiente, e devem evitar o acúmulo de partículas.

Segundo dados da Sociedade Brasileira de Controle de Contaminação (SBCC), referenciado pelo Instituto de Higiene e Fisiologia de Trabalho da Universidade Técnica Federal *et al*., 1975, dentro de um ambiente, as pessoas são consideradas grandes fontes poluidoras. Uma pessoa pode emitir partículas por meio da descamação diária na unidade de até 20 g para uma pessoa de 70 Kg; podendo ser aumentada esta escamação, por exemplo, se a pele e cabelos estiverem ressecados, quando o cabelo é tocado, conforme o tipo de atividade realizada, etc. A taxa de liberação de partículas, segundo referenciado por McCarthy *et al*., 2000 uma pessoa que caminha é de 10000 partículas/min e cerca de 10 milhões de partículas em um dia. Por isso a necessidade de todas as pessoas que acessem um ambiente de nível controlado de assepsia estejam paramentadas, amenizando as fontes contaminantes; ao mesmo tempo, estando paramentadas, elas se protegem de possíveis contaminantes. Nos casos analisados deste trabalho, o paciente está apenas com uma camisola, ou sem ela no momento da cirurgia, possibilitando a disseminação de partículas. O vestuário também pode ser considerado uma fonte contaminadora de microrganismos, se a cirurgia for considerada séptica.

A respiração e o ato de falar podem disseminar partículas e gotículas para o ambiente, por isto a necessidade do uso da máscara em ambientes críticos, como o caso da sala

cirúrgica. Esta máscara também tem a função de proteção para que as pessoas não inalem alguns tipos de contaminantes.

O uso de jóias não é indicado em ambientes controlados, pois podem abrigar contaminantes em suas cavidades e estes podem ir se soltando conforme a pessoa se movimenta. De acordo com a SBCC, a emissão de partículas pode ocorrer mesmo quando a jóia estiver sob luvas e uniformes (citado por Instituto de Higiene e Fisiologia de Trabalho da Universidade Técnica Federal *et al*., 1975).

As roupas podem ser fontes poluidoras se seus tecidos liberarem fibra e se sua estática fizer com que poluentes se agreguem nela. No ambiente cirúrgico, a roupa utilizada é de algodão, possibilitando sua lavagem e secagem; não liberam muitas fibras para o ambiente, não são estáticos, e ainda, não impedem as trocas térmicas de calor do organismo com o ambiente, importantes para o equilíbrio térmico da pessoa.

Os sapatos são grandes fontes poluidoras, por isso em ambientes hospitalares, antes de acessar Unidades críticas, o pessoal deve passar pelo vestiário – barreira arquitetônica – para trocá-lo e antes de sair, deve calçar o propé. O propé foi utilizado, a despeito de atualmente algumas pesquisas sugerirem ser dispensável.

A política de acesso de pessoas, que será apresentada no item 2.4.2, é o trajeto que as pessoas, materiais e equipamentos, percorrem para entrar ou sair de um ambiente. Esta política contribui no controle ou na disseminação de contaminantes, por isso a necessidade de um maior aprofundamento no assunto.

Os fluidos que podem se constituir como contaminantes são: ar comprimido, oxigênio, gases anestésicos, secreções da cirurgia e água. Os gases anestésicos são dispersos para o ambiente das seguintes formas: pela fuga dos dispositivos do equipamento de anestesia; pelo paciente que exala o anestésico durante a cirurgia; e, no caso do uso de óxido nitroso, de acordo com Moore, 1997 (citado por McCarthy *et al*. 2000), o paciente o exalará até uma hora depois de encerrada a cirurgia. A concentração dos gases anestésicos é maior no nível do piso, porém, conforme a movimentação de pessoas e equipamentos ele é “levantado”, podendo ser inalado pela equipe médica. A inalação de gases anestésicos pode diminuir o desempenho da equipe durante os procedimentos cirúrgicos. O gás Halothano, usado como anestésico tem alto grau de toxidade, prejudicando especialmente o sistema nervoso central.

O uso de alguns equipamentos médicos pode gerar contaminantes no ambiente, como é o caso da serra de osso, utilizada na cirurgia ortopédica, que gera aerossóis, do carrinho de anestesia e do Raio-X portátil. O Raio-X portátil pode tornar-se uma fonte contaminante por ficar locado no corredor do Bloco Cirúrgico, ficando assim, sujeito ao acúmulo de poeira; caso não haja o cuidado em sua limpeza antes de colocá-lo para dentro da sala cirúrgica, ele

poderá ser veículo de poluentes. O fluxo de calor emitido pelos equipamentos e a sua movimentação, quando estão sendo usados, podem perturbar o escoamento do ar na sala, e ocasionar a concentração, ou deslocamento, de algum gás ou partículas para determinados pontos.

O sistema de ar condicionado tem sido causador de surtos de infecção hospitalar. Torna-se fonte contaminante quando: não feita devida higienização nas salas de equipamentos do ar condicionado e a manutenção destes, na presença de filtros colonizados e geração de bioaerossóis.

Conhecidas as fontes contaminantes, são estabelecidas suas concentrações e determinadas as recomendações para controle.

O Ministério da Saúde, 2003 (RE n° 9), estabelece os valores máximos recomendáveis para contaminações biológica, química e parâmetros físicos do ar interior em ambientes de uso público e coletivo (ambientes comuns). Ele determina que a contaminação microbiológica deve ser menor ou igual a 750 ufc/m^3 (unidades formadoras de colônia por metro cúbico) e que a quantidade de fungos no ambiente interior seja menor ou igual a 1,5 a do ambiente exterior. Quanto aos valores recomendáveis para contaminantes químicos tem-se a concentração de dióxido de carbono (CO_2) menor ou igual a 1000 ppm; e o total de aerodispersóides no ar menor ou igual a 80 $\mu g/m^3$.

As formas de controle de contaminantes - processos de filtragem, diferencial de pressão e princípios aerodinâmicos – e os parâmetros físicos do ar, serão discutidos em momento oportuno.

A política de acesso aos ambientes analisados, será apresentada logo abaixo, e, em seguida estabelecidos os casos analisados.

2.4.2- POLÍTICA DE ACESSO DE PESSOAS

A **política de acesso de pessoas** deve ser entendida como sendo o trajeto realizado para entrar e sair dos ambientes. Neste trabalho será analisada a política de acesso de 3 tipos de *layouts*: Caso 1, Caso 2 e Caso 3.

Através da distribuição dos ambientes é possível analisar a política de acesso, responsável em parte pela qualidade do ar interior. Conforme descrito nas figuras abaixo, o fluxo de pessoas e o fluxo de entrada de materiais e roupas, e saída de roupas sujas, materiais

utilizados, está representado por setas de cores diferentes. O lixo e as secreções respeitarão o mesmo fluxo dos materiais utilizados. Esta política de acesso reflete as exigências impostas pela distribuição dos ambientes e pelo regimento organizacional definido pelo hospital.

Na figura 2.13 é apresentada a Política de acesso do Caso 1, onde pode ser verificado que o corredor de acesso à sala cirúrgica é também o de saída. Toda a entrada de material esterilizado e saída de material contaminado, lixo, roupa suja e secreções – a serem levadas ao expurgo - farão o mesmo trajeto. Não esquecendo, porém, que o material contaminado, roupas sujas, e lixo serão transportados em carrinhos estanques. O mesmo percurso de entrada e saída será feito pela equipe médica, equipe de limpeza, paciente e enfermeira circulante.

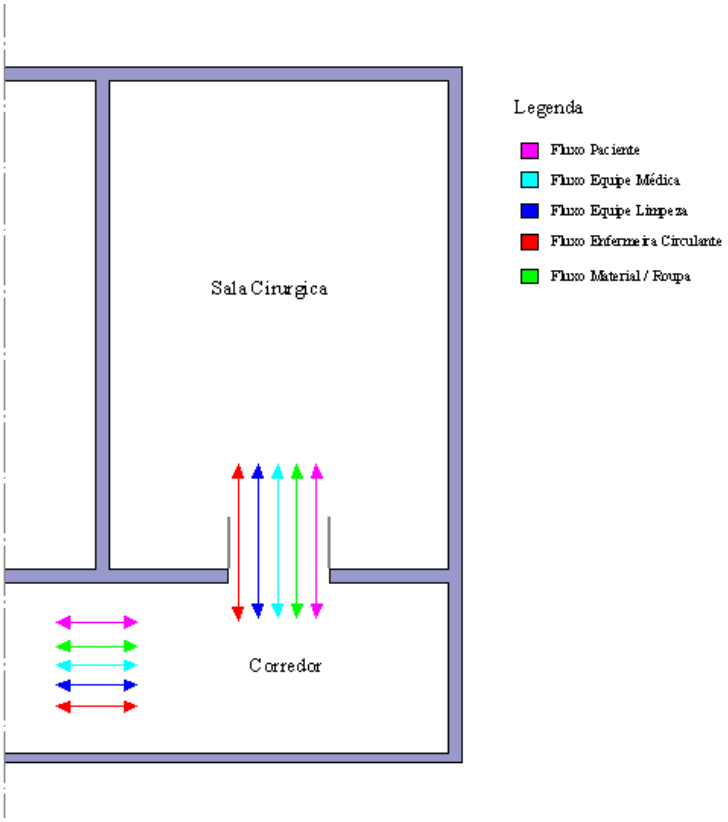


Figura 2.13 - Política de acesso **Caso 1**, onde as cirurgias realizadas podem ser **assépticas e sépticas**

O layout do Caso 2 não tem sido muito utilizado nos últimos anos, pois o julgam inviável economicamente – um metro quadrado tão caro, para ser usado "apenas" como circulação - e talvez por não ter sido estudada e comprovada sua eficácia no controle de contaminantes. Porém, esta é uma das opções de *layout* que reflete coerência na política de acesso, pois não apresenta cruzamentos de fluxos. De acordo com Siqueira, 2000 e Lamb, 2000, este *layout* possibilita que o fluxo de pessoal e paciente numa cirurgia asséptica não

seja o mesmo de uma cirurgia séptica. O fluxo de pessoal e paciente pode ser observado na figura 2.14 e 2.15, sendo que cada um se difere pelo tipo de cirurgia realizada.

No Caso 2, quando a cirurgia for asséptica a enfermeira circulante, o paciente e a equipe de preparo entrarão pelo corredor “limpo” e sairão pelo mesmo; enquanto a cirurgiã, a anestesista, as enfermeiras auxiliar e instrumentadora terão acesso pelo corredor “limpo” e sairão pelo corredor “sujo”. A entrada do material será pelo corredor “limpo” e sairá pelo corredor “sujo”, como o lixo, o material a ser descartado e a roupa suja.

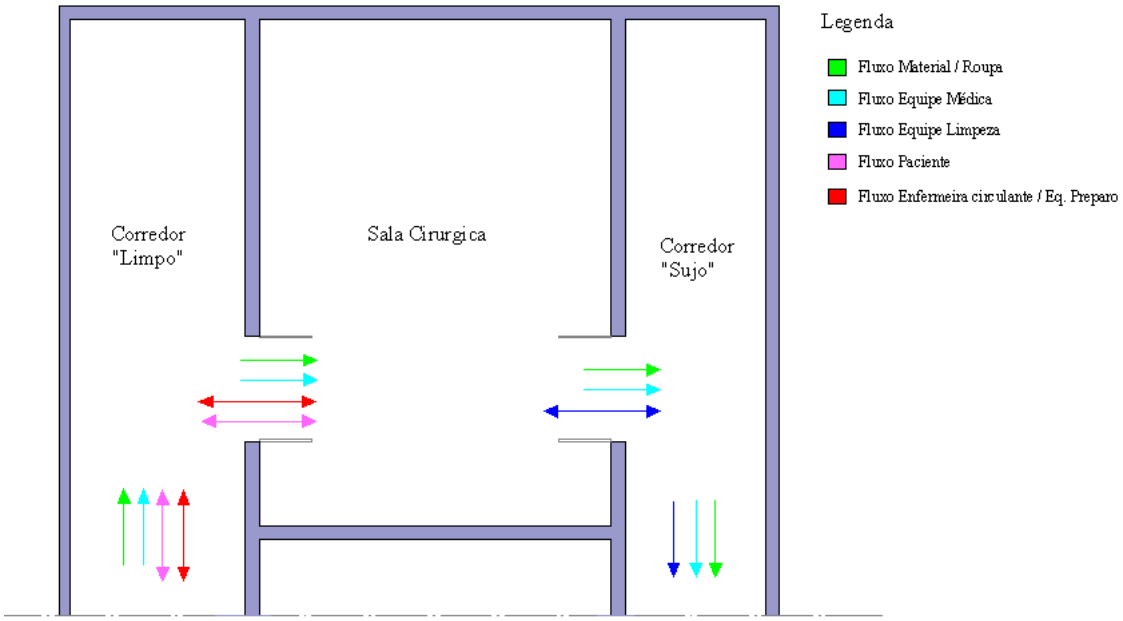


Figura 2.14 - Política de acesso no **Caso 2**, onde a cirurgia realizada é **asséptica**

Numa cirurgia séptica, a única pessoa a acessar e retornar pelo corredor “limpo” é a equipe de preparo, isto, quando a infecção do paciente for interna. No caso da infecção do paciente estar exposta, a equipe de preparo sairá pelo corredor “sujo”. A entrada da equipe médica e paciente será pelo corredor “limpo” e, após a cirurgia iniciada, esta porta de acesso ao corredor “limpo” não deverá mais ser aberta, devendo todos sair pelo corredor “sujo”. O paciente só poderá entrar pelo corredor “limpo” se a infecção for interna; no caso da infecção estar exposta, obrigatoriamente deverá entrar e sair pelo corredor “sujo”. Os materiais esterilizados, equipamentos médicos específicos de cada cirurgia que ficam guardados em outras salas do bloco cirúrgico, e roupas limpas terão acesso pelo corredor limpo e, após uso, deverão ser retirados pelo corredor “sujo”. A retirada de lixo, material a ser descartado e secreções oriundas da cirurgia, também são retiradas pelo corredor “sujo”. A enfermeira circulante e a equipe de limpeza acessarão a sala cirúrgica e sairão pelo corredor “sujo”.

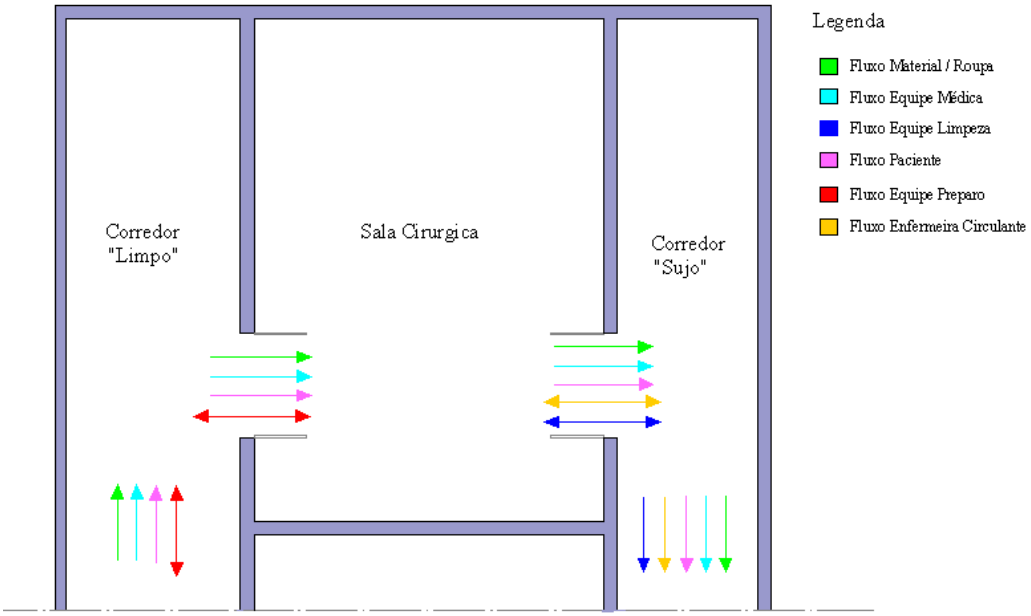


Figura 2.15 - Política de acesso no **Caso 2**, onde a cirurgia realizada é **séptica**

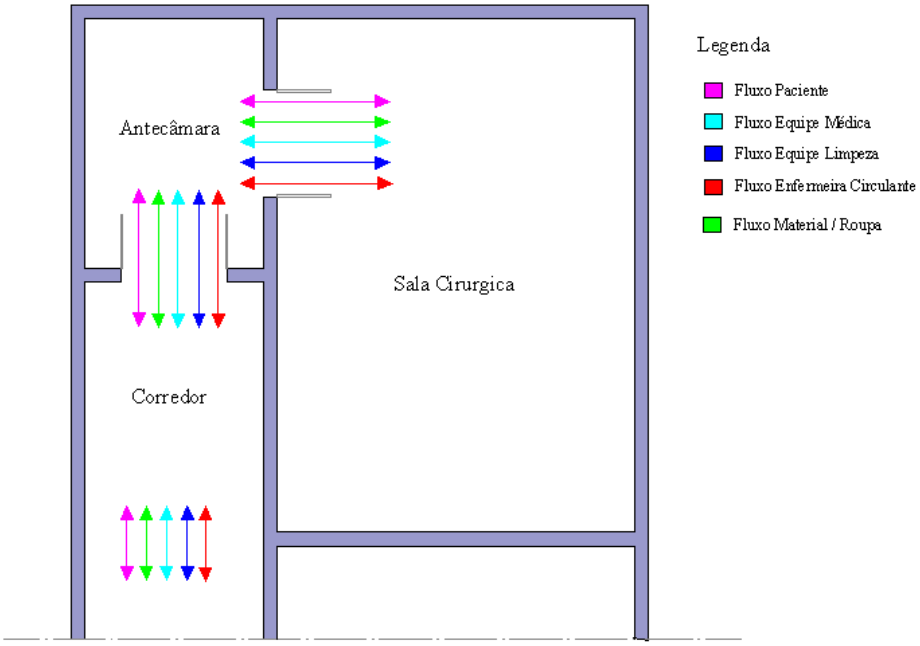


Figura 2.16 - Política de acesso **Caso 3**, onde as cirurgias realizadas podem ser **assépticas e sépticas**

No caso 3, representado na figura 2.16, a política de acesso é muito parecida com a do caso 1. A entrada e saída de materiais, roupas e pessoas, e saída de secreções, lixo e materiais a serem descartados é feita pelo mesmo corredor. O que diferencia um caso do outro é que, com a antecâmara intermediando a sala cirúrgica e o corredor, é possível controlar, através do

diferencial das pressões, um possível “espalhamento” dos contaminantes oriundos da sala cirúrgica para o corredor e, vice-versa.

2.4.3. CASOS ANALISADOS

Antes de serem definidas as vazões e pressões dos ambientes, no próximo tópico, é preciso explicar cada um dos casos analisados neste trabalho. As características estabelecidas para os ambientes seguem determinações da ABNT, 1982 (NBR 7256) e Ministério da Saúde, 2002 (RDC nº 50).

Para facilitar a identificação no momento da leitura e, como também foi usado durante o desenvolvimento do trabalho, cada um dos casos analisados recebeu uma sigla. Para cada um deles está identificada a norma utilizada, que definirá suas pressões, número de trocas de ar por hora e as temperaturas e umidades relativas. Os casos analisados e suas respectivas identificações são as seguintes:

1- **Caso 1 (C1)** · Ambientes analisados: corredor e sala cirúrgica.

1.1- Cirurgia Asséptica (CA):

- **C1CA2** - com recirculação; pressões: + (sala cirúrgica) e 0 (corredor).

1.2- Cirurgia Séptica (CS):

- **C1CS2** - com recirculação; pressões: 0 (sala cirúrgica) e 0 (corredor). Informações estabelecidas segundo ABNT.
- **C1CS3** - sem recirculação, pressões: - (sala cirúrgica) e 0 (corredor). As vazões, a Tbs e a UR, foram estabelecidos pela ABNT, e as pressões por Lamb, 2000 e Siqueira, 2000.

2- **Caso 2** (**C2)** · Ambientes analisados: corredor “limpo” (1), sala cirúrgica e corredor “sujo” (2).

2.1- Cirurgia Asséptica

- **C2CA1** - com recirculação; pressões: + (corredor “limpo”), ++ (sala cirúrgica) e 0 (corredor “sujo”). Informações estabelecidas segundo ABNT.

2.2- Cirurgia Séptica

- **C2CS2** - com recirculação; pressões: 0 (corredor “limpo”), 0 (sala cirúrgica) e 0 (corredor “sujo”). Informações estabelecidas segundo ABNT.

3- **Caso 3 (C3)** · Ambientes analisados: corredor, antecâmara e sala cirúrgica.

3.1- Cirurgia Asséptica

- **C3CA1** - com recirculação - pressão 0 (corredor) + (antecâmara) e ++ (sala cirúrgica) - ABNT

3.2- Cirurgia Séptica

- **C3CS1** - com recirculação - pressão 0 (corredor) + (antecâmara) e 0 (sala cirúrgica) - ABNT

Cada um destes casos assinalados foi simulado através da ferramenta computacional *Energy Plus*.

Neste trabalho, toda vez que aparecer o termo Dia de Projeto, deve-se entender como sendo o dia do ano que foi escolhido a ser simulado; no caso foi determinado um dia de verão (21 de janeiro) e um dia de inverno (21 de julho).

O Dia de Projeto foi simulado para as condições de cinco capitais brasileiras, enquanto o cálculo anual, através do arquivo climático, foi realizado para quatro capitais. A apresentação dos detalhes de simulação será discutida oportunamente. Mais adiante estarão identificadas na frente destas siglas citadas acima a cidade analisada, por exemplo, quando estiver sendo analisada a cidade de Brasília (DF) a sigla do caso será C1CA2**DF.**

2.4.4. AR CONDICIONADO

O ar condicionado assume uma das mais importantes funções para a promoção de conforto e em alguns casos é parte determinante da terapia. O ar condicionado em ambientes hospitalares requer condições especiais, que normalmente não são exigidas em muitos ambientes. Muitas das Unidades requerem ventilação com 100% de ar exterior, e controle de umidade, principalmente no caso de salas cirúrgicas, no intuito de controlar a ampliação de microorganismos e evitar a ocorrência de eletricidade estática. O sistema deve aliar tais exigências, a um baixo custo operacional.

O sistema de ar condicionado implantado em cada um dos ambientes analisados foi o *fan-coil* (unidade ventilador-serpentina). Não foi usado um mesmo equipamento atendendo dois ambientes, pois cada um requer uma característica diferente. As características das variáveis, as quais o *fan-coil* deverá prover nos ambientes, foram estabelecidos pela ABNT,

1982 (NBR 7256) e ASHRAE, 2001 (capítulo 7, *Fundamentals),* conforme pode ser observado nas tabelas 2.3 e 2.4.

De acordo com a ABNT, 1982 (NBR 7256), quando a cirurgia for considerada asséptica, o ar obrigatoriamente passará por três processos de filtragem, acrescentando ao *fan-coil* um filtro absoluto. No caso do corredor "limpo", os padrões estabelecidos para a filtragem são idênticos as da sala cirúrgica ortopédica; e, quanto ao corredor "sujo", deverá passar no mínimo por dois processos de filtragem. Para o *fan-coil* que atende a sala abdominal, foram determinados três processos de filtragem, pois segundo a norma, é o ideal.

Para salas de cirurgias ortopédicas o sistema de filtragem deve apresentar três tipos de filtros, sendo que a eficiência do primeiro (G2) é de 75 - 84%, do segundo (F2) de 70 – 89% e o terceiro tendo eficiência (A3) de 99,97%. No caso do *fan-coil* estar atendendo as exigências de uma sala de cirurgia geral (podendo ser incluída a abdominal), deve apresentar, no mínimo, um sistema de filtro com duas camadas, sendo a primeira G2 e a segunda F2. Todos estes dados foram estabelecidos pela ABNT, 1980 (NBR 6401).

Segundo a ABNT, 1980 (NBR 6401), são apresentadas as definições para os filtros G (grossos), F (finos) e A (absolutos):

- G2 – Alta eficiência contra poeira grossa; boa eficiência contra pólen de plantas. Eficiência satisfatória contra a fração grossa (75 μm) da poeira atmosférica.
- F2 – Boa eficiência contra a fração fina (1-5 μm) da poeira atmosférica. Alguma eficiência contra fumaças de óleo e tabaco. Aplicações principais para condicionadores de sistemas centrais para exigências altas, pré-filtragem para filtros absolutos.
- A3 – Eficiência excelente contra a fração ultrafina (< 1 μm) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactéria, fungos microscópicos e vírus. Indicado para salas limpas das classes 100, 10 000 e 100 000, salas e cabinas estéreis para operações cirúrgicas e ortopédicas. Todas instalações que requerem teste de estanqueidade (*leak test*). Precisa pré-filtragem.

Definidos os filtros, foram determinadas suas perdas de carga. Estas informações são necessárias na entrada de dados do programa *Energy Plus*, para calcular a potência que o equipamento deverá ter. Os filtros utilizados são da mesma empresa dos difusores, que serão apresentados mais à frente. A pressão especificada para cada filtro foi a seguinte:

- Para G2, F700, com pressão igual a 140 Pa quando sujo, e inicial com 50 Pa.
- Para F2, F743, quando sujo com pressão igual a 250 Pa e limpo, com 50 Pa.
- Para A3, F781, quando sujo com pressão igual a 600 Pa e limpo, com 250 Pa.

Para todos os ambientes analisados, foi definida uma perda de carga de 775 Pa – *(G2 + F2 + A3 + serpentina + dutos + difusores)*. O cálculo da perda de carga dos filtros foi feito a partir da média entre a perda de pressão de um filtro sujo e de um filtro limpo.

O filtro HEPA (A3), no testes DOP TEST (teste fotométrico) apresentou eficiência de 99,97%. Este filtro é usado no suprimento de ar em salas de clínicas de tratamento de pacientes com suscetibilidade a infecções próprias de leucemia, queimaduras, transplantes de medula óssea, transplantes de órgãos, ou humanos imunodeficientes por vírus (HIV), e outras cirurgias que exigem um ambiente asséptico.

No momento da instalação do sistema de filtragem deve ser tomado o maior cuidado, pois este deverá garantir fácil acesso para a manutenção, prevenir vazamentos do ar entre os seguimentos do filtro, pois o menor vazamento poderia arruinar todo o benefício do sistema de ar limpo. Outra precaução é garantir que qualquer forma de sujidade não venha a contaminar os dutos e difusores.

Uma particularidade estabelecida neste trabalho, é que o ar condicionado ficou ligado constantemente, com as mesmas características de quando a sala em uso. Esta decisão teve como finalidade manter a temperatura e a umidade relativa sob controle, evitando assim, a amplificação de microorganismos no ambiente.

Os parâmetros estabelecidos pela ASHRAE, 2001 (capítulo 7, *Fundamentals*), não são classificados em relação ao tipo de cirurgia, e sim, na condição de recirculação de ar ou 100% de ar exterior, conforme pode ser observado na figura tabela 2.4. Já a ASHRAE, 2001 (capítulo 12, *Fundamentals*), classifica a cirurgia ortopédica como Classe 100, obrigando a passagem do ar por três filtros. Para uma cirurgia com 100% de ar exterior, é exigido o uso de um recuperador de calor.

Os parâmetros estabelecidos pela ASHRAE, apresentados na tabela 2.4, não serão utilizados como era a intenção. Foram apresentados, como forma de esclarecimento e também para fazer algumas considerações em relação a ABNT. A primeira justificativa da não simulação computacional com dados da ASHRAE é devido a ABNT, 1982 (NBR 7256), ter as temperaturas mínimas e máximas dentro dos limites estabelecidos por esta norma. A segunda justificativa foi pela exigência do uso de recuperador de calor quando houver 100% de troca de ar exterior. Como há vários tipos de recuperadores de calor e, não houve qualquer ressalva para que o sistema fosse estanque e quanto às especificações do mesmo, optou-se em não utilizar tal norma. Em ambientes, dependendo do tipo de recuperador aplicado, do seu posicionamento e da localização dos filtros – F2 e A3 – no *fan-coil*, pode haver mistura do ar de exaustão com o ar de entrada, colocando assim, em risco a pureza do ar a ser insuflado.

TABELA 2.3 - Parâmetros ambientais estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256)

Ambientes	Tbs °C	UR do ar (%)	Vazão min. Ar exterior m3/ (m2/h)	Troca min. p/ hora ar ambiental	Etapas de filtragem Ar insuflado		Pressão de ar ambiente
					Min.	Desejável	
Sl. Cirurgia (Ortopédica)	min. 19 max. 24	45-60	15	25	G2/F2/A3	G2/F2/A3	+
Sl. Cirurgia (Abdômen)	min. 19 max. 24	45-60	15	15	G2/F2	G2/F2/A4 até A3 (I)	0
Corredor	min. 19 max. 24	40-60	15	10	G2/F2	G2/F2/A4 até A3 (I)	0 ou +
Antecâmara	min. 19 max. 24	40-60	15	10	G2/F2/ A3	G2/F2/ A3	+ ou -

TABELA 2.4 - Parâmetros ambientais estabelecidos pela ASHRAE, 2001

Ambientes	Tbs (°C)	UR (%)	Troca Min. Ar Exterior p/ Hora	Troca Min. p/ Hora Ar Ambiental	Etapas de Filtragem Ar Insulflado	Pressão de Ar Ambiente
Sl. Cirurgia (100% Ar Ext.)	Min. 17 Max. 27	45 – 55	15	15	G2/F2/A3	+
Sl. Cirurgia – c/ Recirculação	Min. 17 Max. 27	45 – 55	5	25	G2/F2	+
Corredor	Min. 17 Max. 27	45 – 55	2	4	G2/F2	0
Antecâmara (100% Ar Ext.)	Min. 17 Max. 27	45 – 55	2	10	G2/F2/A3	+ ou -

Outro ponto que pesou na decisão de não usar a ASHRAE neste trabalho, foi o fato de exigirem pressão positiva na sala cirúrgica, independente da assepsia da cirurgia. Como existe a possibilidade de algum contaminante, proveniente de uma cirurgia infectada serem veiculados para o corredor, colocando todos que ali passem em risco, optou-se pelo uso de outras normas, que especificasse o uso de pressão negativa ou pressão nula em salas onde estão sendo realizadas cirurgias sépticas.

Na tabela 2.5 são apresentadas as características dos ambientes contíguos aos ambientes analisados. Na tabela estão estabelecidas as vazões, o número de trocas, a pressão e filtragem, porém, destes, o único dado utilizado na entrada de dados do Dia de Projeto foi a temperatura média do ambiente. Na sala de gesso estipulou-se a temperatura mínima (19 °C), enquanto para a Unidade de Internação e a Unidade de Queimados foi fixada a temperatura máxima.

TABELA 2.5 - Parâmetros ambientais estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256), para os ambientes contíguos aos analisados

Ambientes	**Tbs °C**	**UR do ar (%)**	**Vazão min. Ar exterior m3/ (m2/h)**	**Troca min. p/ hora ar ambiental**	**Etapas de filtragem Ar insuflado**		**Pressão de ar ambiente**
					Min.	Desejável	
Sl. de gesso	min. 19 max. 24	45-60	15	15	G2/F2	G2/F2/A4 até A3 (I)	+
Unidade Internação	min. 24 max. 26	40-60	15	25	G2/F2/A3	G2/F2/A3	+
Unidade de Queimados	min. 24 max. 28	40-60	15	15	G2/F2	G2/F2/A4 até A3 (I)	+

Na figura 2.17 está representada a parte do *fan-coil* utilizada. De acordo com Stoecker e Jones, 1985, o ventilador instalado na linha de retorno tem a intenção de evitar uma pressão ambiente elevada em relação à pressão externa.

O controle de temperatura das serpentinas, de aquecimento e resfriamento, é feito por um termostato. Quando os limites da umidade relativa, estabelecidos por norma, foram ultrapassados, foi necessário aumentar a potência da refrigeração. A desumidificação do ar foi feita com a diminuição da temperatura. O umidificador não foi usado, mesmo nos ambientes que tiveram as UR abaixo dos parâmetros das normas. Em ambientes cirúrgicos com umidade relativa a 40%, há uma melhora no controle de alguns microorganismos; quanto a estática, não apresentou problemas, pois foi adotado piso condutivo na sala cirúrgica e nos ambientes contíguos.

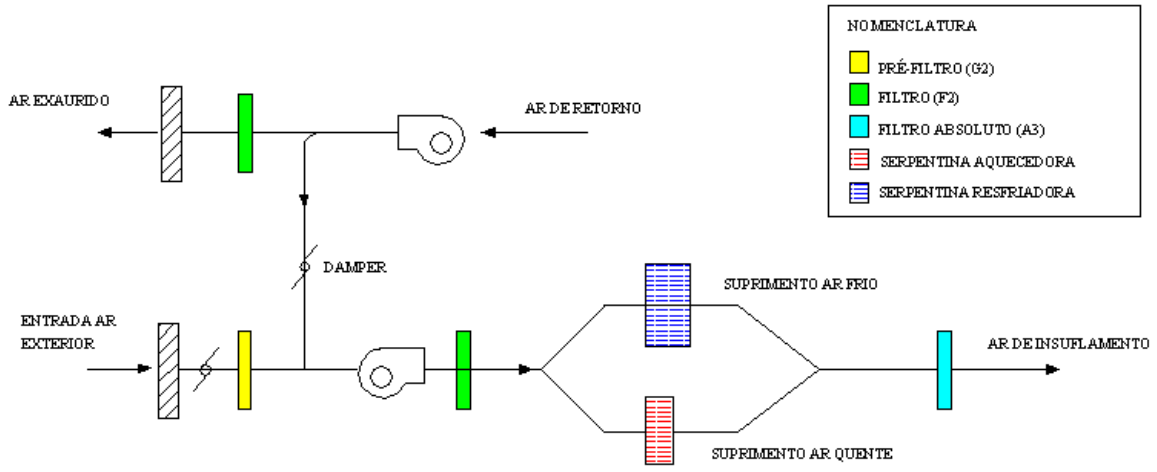


Figura 2.17 - Esquema do *fan-coil*

No presente trabalho, *chiller* e caldeira não foram especificadas. Optou-se pelo uso de água gelada e de água quente compradas. A água quente ou gelada seria fornecida por alguma central térmica existente no prédio, não havendo, portanto, a necessidade de se preocupar com sua operação. Na ferramenta computacional *Energy Plus* também foi possível prever este detalhe, porém, na saída de dados, depois de simulado cada caso, foi fornecida a potência necessária para o resfriamento e aquecimento da água, caso optasse pelo uso do *chiller* e de algum sistema de aquecimento da água.

Na figura 2.18 estão representados o sistema de climatização da Zona 1 e Zona 2. As zonas podem ser representadas, respectivamente, pela sala cirúrgica e pelo corredor. O sistema do Caso 1 foi descrito desta forma no programa *Energy Plus*. Nos Casos 2 e 3, o sistema teve acrescido mais uma zona. O *Purchased cooling* e o *Purchased heating* correspondem, respectivamente a água fria e quente compradas; M, é o misturador; CC serpentina resfriadora; HC a serpentina aquecedora; o OAM é o misturador do ar de exterior com o de retorno, e SH e SC são os divisores.

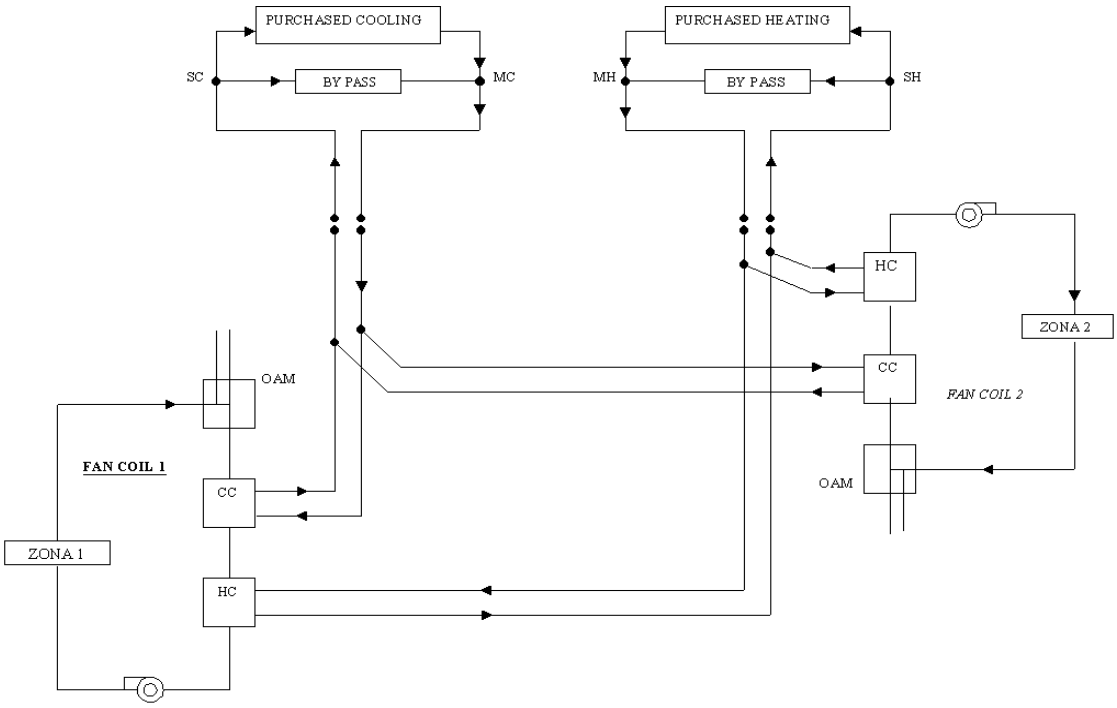


Figura 2.18- Representação esquemática da entrada de dados do sistema de climatização da Zona 1 e 2

2.4.5. PRESSÕES

A pressão no ambiente é estabelecida de acordo com a quantidade do ar insuflado e exaurido, em relação ao ambiente contíguo. Para haver o diferencial de pressão entre os ambientes analisados é necessário que um deles mantenha o ar com excesso de 15%, conforme sugerido pela ASHRAE, 2001 (capítulo 7, *Fundamentals*). A pressão pode ser nula, positiva ou negativa. É considerada nula quando a mesma quantidade de ar que entra no ambiente for a mesma que sai. A pressão é positiva quando entra mais ar do que sai no ambiente, e negativa, quando neste ambiente sai mais ar do que entra. As condições de pressão positiva e negativa só serão possíveis com portas, passagens e janelas fechadas, e paredes, pisos e teto estanques. O objetivo de o ambiente estar em sobrepressão é impedir que o mesmo seja contaminado por um ar menos puro vindo dos ambientes contíguos.

O primeiro passo para definir o diferencial de pressão é determinar o tipo de procedimento que será realizado no ambiente e as condições de assepsia do mesmo e, a partir daí prever o número de trocas de ar exigidas em normas. De acordo com Instituto de Higiene e Fisiologia de Trabalho da Universidade Técnica Federal, 1975, o gradiente de pressão orientou-se dos ambientes de maior assepsia para os recintos vizinhos ou para antecâmaras. No caso da sala cirúrgica, por não poder contar com a sorte, que uma cirurgia asséptica no decorrer do procedimento não a descubram séptica, é necessário que dentro desta sala tenha um dispositivo de controle que, acionado, possibilite a inversão de pressão positiva para negativa ou neutra, conforme as exigências das normas vigentes.

Conforme exigências encontradas nas normas da ABNT, 1982 (NBR 7256) e Ministério da Saúde, 2002 (RDC nº 50), e em algumas bibliografias foram determinadas as pressões para os três casos de *layout* analisados. Estas normas determinam que numa cirurgia ortopédica – considerada asséptica – a pressão seja positiva em relação aos ambientes contíguos, para que nenhum contaminante presente no corredor ou antecâmara possa atingi-la. Porém, no caso de existirem dois corredores, um “limpo” e outro “sujo”, a pressão do corredor limpo será 15% maior, que a encontrada na sala cirúrgica. Para uma cirurgia abdominal esta pressão deverá ser neutra em relação aos ambientes contíguos. Estas informações podem ser observadas na tabela 2.6.

Num outro caso analisado, sugerido por Siqueira, 2000 e Lamb, 2000, foi estabelecida a pressão negativa na sala cirúrgica, no caso da cirurgia ser considerada séptica.

TABELA 2.6 - Parâmetros estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256) e Ministério da Saúde, 2002 (RDC nº 50), para os ambientes analisados

Ambientes Analisados	Pressão de Ar Ambiente	Vazão Min. Ar Exterior ($m^3/(m^2/h)$)	Troca min. p/ Hora Ar Ambiental (h-1)	Exaustão Total do Ar Interior
Sala Cirúrgica Ortopédica / Corredor "Limpo"	+	15	25	Opcional
Sala Cirúrgica Abdominal	0	15	5	Opcional
Corredor	0 ou +	15	10	Opcional
Antecâmara	+ ou (-)	15	15	Sim

Na sala cirúrgica, as vazões foram calculadas para os dois tipos de cirurgias e os números de trocas do ar, estabelecidos conforme citado nas tabelas acima, através da equação 16.

Considerando a infiltração de ar pela porta, o cálculo foi feito a partir da equação 17.

Nas duas equações, 16 e 17, os índices foram estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256).

$$\overset{\circ}{Q}_{Ar\ Ambiente} = \frac{(n°de.trocas / h) \cdot volume}{3600} \tag{16}$$

$$\overset{\circ}{Q} = CDAf\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \tag{17}$$

Os cálculos das vazões e da infiltração estão disponíveis no Anexo. As indicações das vazões dos corredores e antecâmara, e de todos os demais pontos, estarão indicados nas figuras abaixo, e os valores das vazões de cada caso estão descritas no anexo.

Para compreender as representações gráficas que aparecerão nas figuras 2.19 a 2.25, deve-se atentar às seguintes definições, estabelecidas pela ABNT, 1982 (NBR 7256), acrescidas de algumas informações:

- ar de exaustão: todo o ar retirado do ambiente será descartado, após a passagem por filtro. Todo o ar a ser insuflado será 100% de ar exterior
- ar de retorno: é o ar que é retirado do ambiente. Pode ser todo exaurido, ou parte dele retornar ao ambiente, neste caso, sendo identificado como ar de recirculação.
- ar exterior: ar oriundo do exterior
- ar insuflado: é o ar que será insuflado no ambiente, por meios mecânicos, após ter passado pelos processos de filtragem e pelas serpentinas.

- ar de mistura: é o ar resultante da mistura do ar exterior com uma parcela do ar de retorno. Esta mistura só ocorrerá nos casos permitidos por norma. Recircular parte do ar de retorno possibilita uma redução no gasto energético. Após o ar ser misturado com o ar exterior, ele deverá passar por filtros, conforme determinações das normas vigentes.
- ar em excesso: é o ar que tende a sair do ambiente com maior pressão e migrar para o de menor pressão.

Na figura 2.19, foram seguidas as exigências da ABNT, 1982 (NBR 7256). O diferencial de pressão do caso **C1CA2** tem a intenção de impedir que o ar do corredor entre na sala cirúrgica. Neste caso, há recirculação de parte do ar de retorno para os dois ambientes, e o restante será exaurido para o exterior. Todo o ar antes de ser insuflado passará pelo processo de resfriamento, ou aquecimento, quando necessário, e pelos filtros F2 e A3.

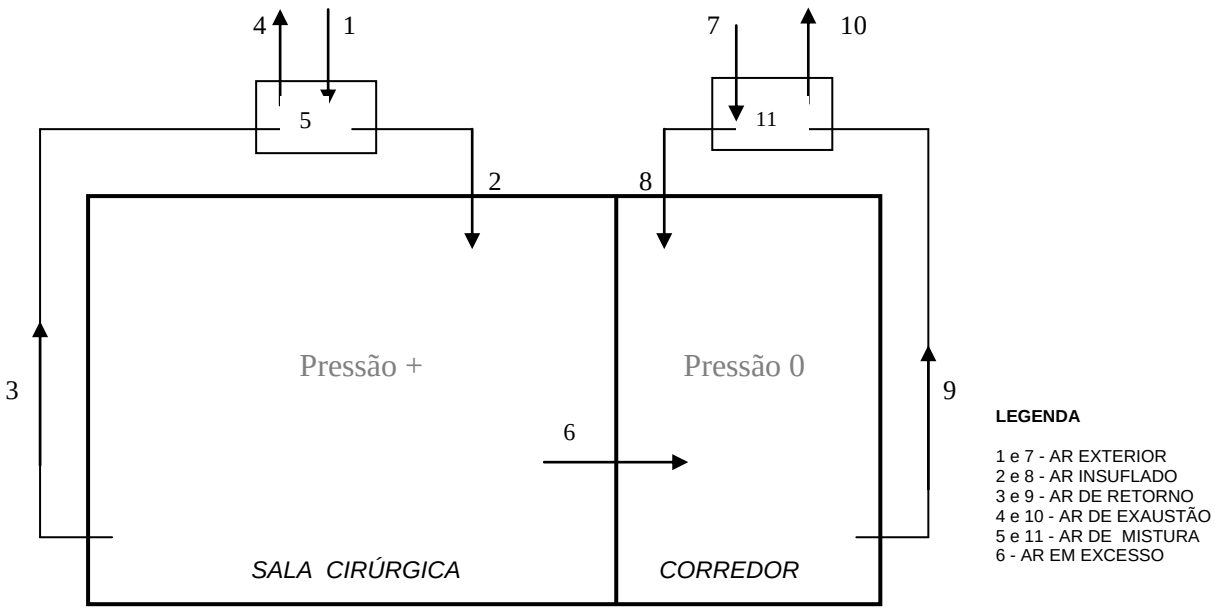


Figura 2.19- Representação gráfica (em corte) do caso C1CA2

Na figura 2.20 são representados graficamente os ambientes do caso **C1CS2** com suas vazões e pressões. Nela, podemos observar as pressões nulas nos dois ambientes; segundo determinação da ABNT, 1982 (NBR 7256), norma vigente neste caso, numa sala cirúrgica onde esteja sendo realizada uma cirurgia séptica, a pressão do ar na sala cirúrgica e no ambiente adjacente deverão ser nulas. As vazões seguem orientações quanto ao número de trocas por hora. Como cada ambiente possui um *fan-coil*, a ABNT, 1982 (NBR 7256), no

item 5.2.3, permite que o ar seja recirculado desde que provenha do mesmo ambiente e que passe por processos de tratamento antes de retornar a sala ou ao corredor.

O caso **C1CS3** apresenta a particularidade de ser o único a adotar pressão negativa na sala cirúrgica, onde será realizada uma cirurgia séptica. Este diferencial de pressão baseou-se nas informações de Siqueira, 2000 e Lamb, 2000, as quais sugerem que a sala fique em depressão, evitando assim, que contaminantes saiam dela e possam ser veiculados pelo ar para o corredor.

As vazões foram calculadas através de parâmetros estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256). Não haverá recirculação do ar em nenhum dos ambientes. O ar a ser insuflado passará obrigatoriamente por três processos de filtragem, no *fan-coil* 1 e *fan-coil* 2. Estes detalhes podem ser observados na figura 2.21.

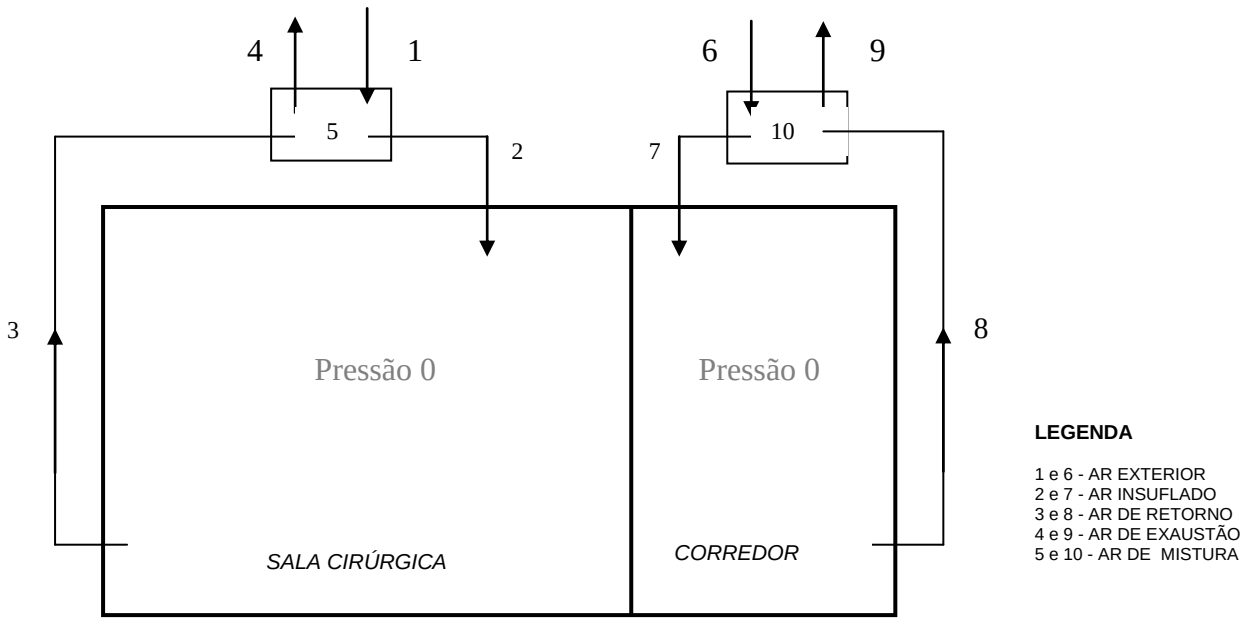


Figura 2.20- Representação gráfica (em corte) do caso C1CS2

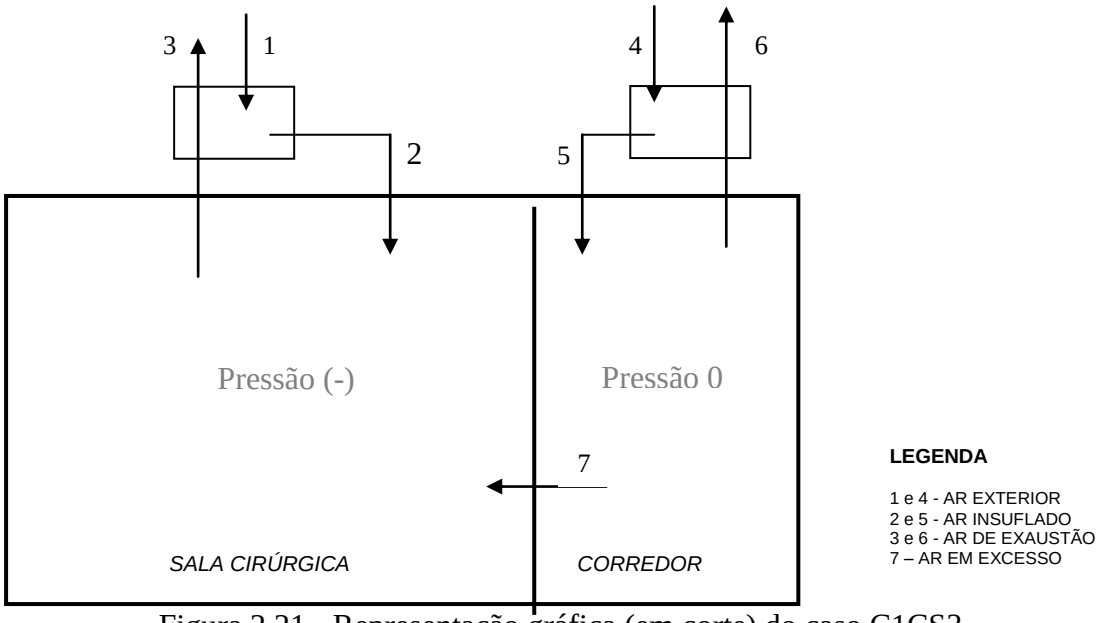


Figura 2.21 - Representação gráfica (em corte) do caso C1CS3

A análise das vazões e pressões, dos casos **C2CA1** e **C2CS2**, estão representadas, respectivamente, pelas figuras 2.22 e 2.23. Estes dois casos têm em comum os ambientes os corredores e a sala cirúrgica. Nos dois casos, as pressões e vazões foram estabelecidas conforme exigências da ABNT, 1982 (NBR 7256), a qual determina, para ambientes assépticos, pressão positiva.

No caso **C2CA1** representado na figura 2.22, a cirurgia considerada é asséptica, portanto, é obrigatória a sobrepressão da sala cirúrgica em relação aos corredores 1 e 2. O corredor “limpo” (1) está em sobrepressão em relação ao corredor “sujo” (2). Há recirculação do ar nos três ambientes.

Na figura 2.23 é representado o caso **C2CS2**, onde a cirurgia realizada é séptica. As pressões destes ambientes serão todas nulas, evitando que o ar de um ambiente adentre no ambiente contíguo. Os três ambientes terão recirculação de ar.

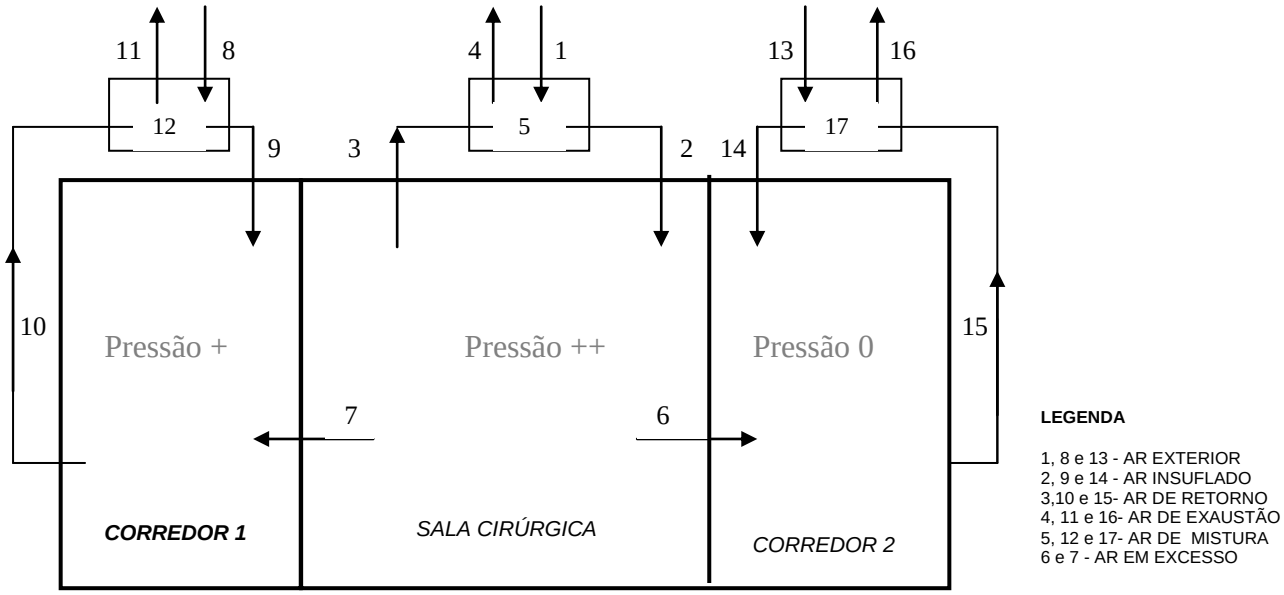


Figura 2.22 - Representação gráfica (em corte) do caso C2CA1

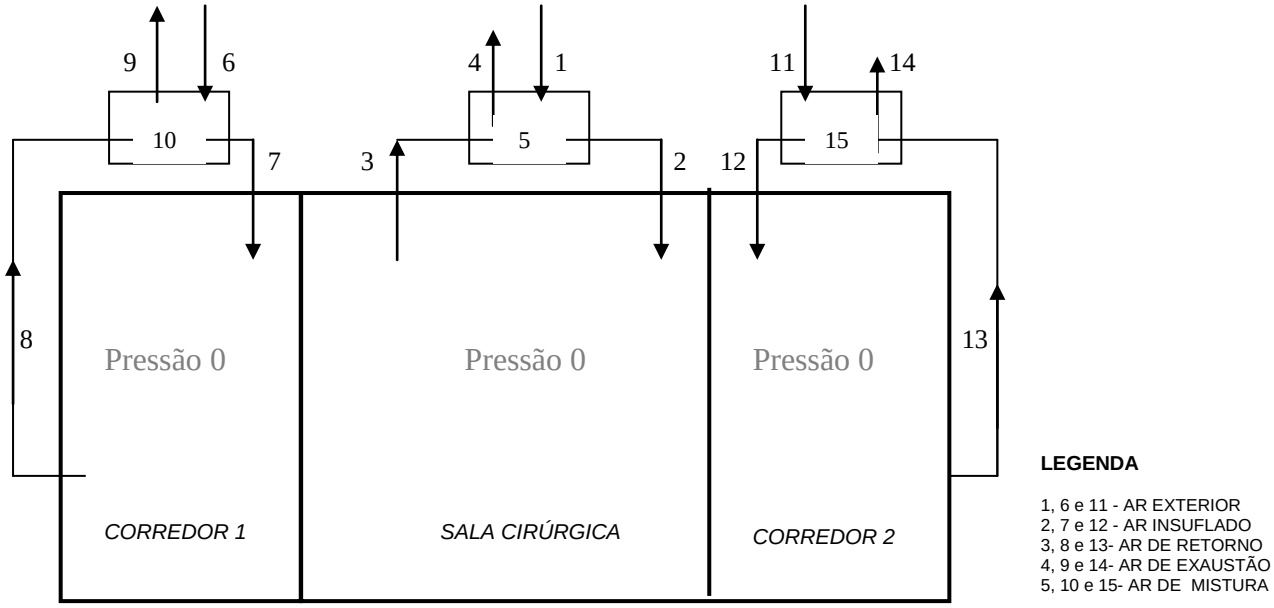


Figura 2.23 - Representação gráfica (em corte) do caso C2CS2

O caso **C3CA1** representado na figura 2.24 tem suas vazões e pressões estabelecidas pela ABNT. Como a cirurgia realizada é ortopédica, a ABNT, 1982 (NBR 7256), determina que a sala cirúrgica esteja sobrepressão em relação a antecâmara que, por sua vez, estará sobrepressão em relação ao corredor. Conforme citado na tabela 2.9, é permitida recirculação de parte do ar de retorno nos três ambientes.

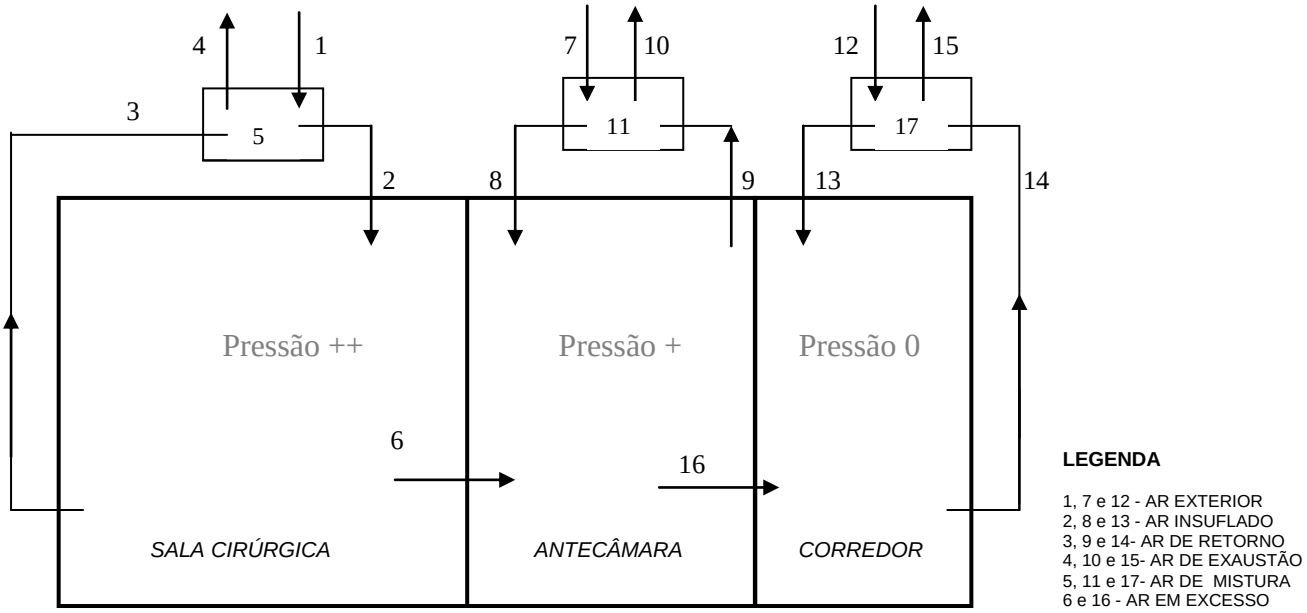


Figura 2.24 - Representação gráfica (em corte) do caso C3CA1

Na figura 2.25 são representados graficamente os ambientes do caso C3CS1, suas vazões e pressões. As pressões seguem determinações da ABNT, 1982 (NBR 7256), para cirurgias sépticas. Quanto às vazões mínimas estabelecidas em norma, as da sala cirúrgica foram mantidas, enquanto as da antecâmara foram alteradas. De acordo com o número de trocas estabelecido pela ABNT, a vazão no ponto 7 seria 0,0365 m^3/s, a do ponto 8 seria 0,1094 m^3/s, as dos pontos 6 e 12 seriam 0,03 m^3/s cada, portanto a vazão do ar de retorno - ponto 9 - seria de 0,0494 m^3/s. Como no ponto 11 ($\mathring{Q}_{11} = \mathring{Q}_8 - \mathring{Q}_7$) deveria retornar ao ambiente uma vazão de 0,0729 m^3/s e, a que sai do ambiente é menor que esta, houve portanto, a necessidade de aumentar a vazão do ar exterior e conseqüentemente o número de trocas por hora de ar ambiental. As vazões no ponto 7, 8, 9, 10 e 11 foram novamente calculadas e agora atendem as necessidades do sistema e não deixam de cumprir as exigências da norma; as vazões do corredor também foram alteradas Os valores destas vazões estão identificadas no anexo.

Ainda referente ao caso **C3CS1** podemos observar as pressões nulas em dois dos ambientes. Segundo determinação da ABNT, 1982 (NBR 7256), numa sala cirúrgica onde esteja sendo realizada uma cirurgia séptica, a pressão do ar na sala cirúrgica e no ambiente adjacente deverão ser nulas, porém, a antecâmara estará sobrepressão para isolar a sala cirúrgica do corredor. As vazões seguem orientações quanto ao número de trocas por hora. Como cada ambiente possui um *fan-coil*, a mesma norma brasileira, no item 5.2.3, permite

que o ar seja recirculado desde que provenha do mesmo ambiente e que passe por processos de tratamento antes de retornar aos ambientes.

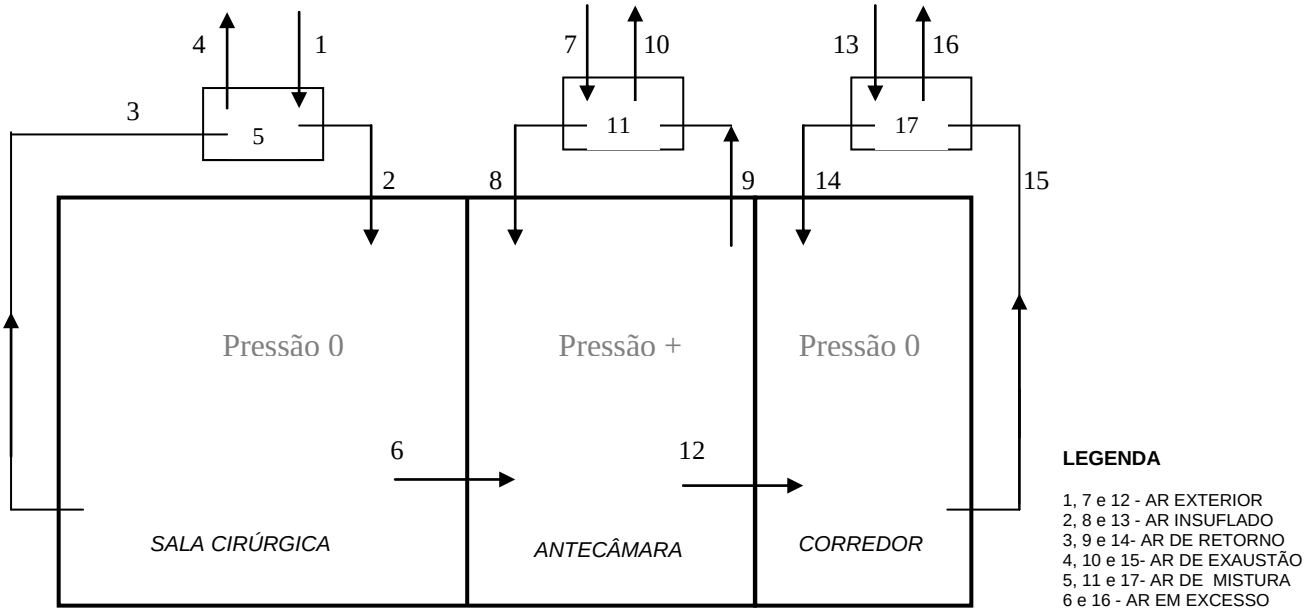


Figura 2.25 - Representação gráfica do caso C3CS1

2.4.6. VAZÕES E DIFUSORES

Os difusores são elementos responsáveis por introduzir e distribuir o ar "tratado" no ambiente. O fluxo do ar insuflado no ambiente será definido de acordo com os seguintes fatores: o tipo de difusor implantado, seu posicionamento dentro do ambiente, os detalhes arquitetônicos,

existência de infiltração por aberturas – janelas e portas – o *layout*, o gradiente de temperatura, o número de pessoas e suas atividades, e o calor dissipado, pelas pessoas, pela iluminação e pelos equipamentos. O posicionamento e o *design* da grelha de exaustão determinará o direcionamento do fluxo do ar ambiente.

São fabricados alguns tipos de difusores que podem ser utilizados em ambientes cirúrgicos, porém, alguns destes apresentam desvantagens quando verificamos os sentidos que os fluxos podem tomar. Por exemplo, numa sala cirúrgica conforme o tipo de difusor especificado, havendo a presença de alguns materiais particulados ou contaminantes, poderá, através da movimentação do ar, contaminar o campo cirúrgico expondo o paciente, a equipe médica, materiais esterilizados e equipamentos.

Optou-se neste trabalho pelo uso de um difusor que garantisse um ar interior de qualidade e que propiciasse o controle de contaminantes em todo o ambiente. Os sistemas de ventilação convencionais são difíceis de controlar os microorganismos dispersos numa sala cirúrgica. Os difusores unidirecionais e lineares têm sido os mais utilizados nos últimos tempos, pois previnem a entrada de bioaerossóis e qualquer outro contaminante no campo cirúrgico, a velocidade do ar é reduzida e fluxo de ar não turbulento, atingindo alto nível de controle do ambiente. Tanto o difusor unidirecional e o linear podem ser observados nas figuras 2.26 e 2.27. Segundo considerações de Whyte e Shaw, 1973, referenciadas por McCarthy, *et al*. 2000, o fluxo laminar insuflado verticalmente é melhor que o horizontal, pois no insuflamento horizontal verificou-se quantidade maior de bactérias e partículas devido ao cruzamento de fluxo de ar.

Após pesquisar qual dos difusores atenderia melhor às exigências requeridas pelo ambiente e tipo de atendimento, optou-se por implementar nas salas cirúrgicas os difusores unidirecionais e difusores lineares. Para os ambientes contíguos, definiu-se um tipo de difusor que permitisse baixa velocidade, insuflamento de ar em temperatura próxima a do ar ambiente e baixo nível de turbulência. As especificações destes difusores estão apresentadas na referência bibliográfica.

No Brasil, os difusores lineares e os unidirecionais estão disponíveis em algumas empresas no mercado, porém, neste trabalho, foram especificados apenas os produtos que forneceram todos as informações necessárias para os cálculos e desenvolvimento do trabalho. Os dados não fornecidos por alguns fabricantes foram as velocidades do ar no campo cirúrgico, que são fundamentais para o cálculo do conforto térmico dos ocupantes.

O difusor unidirecional escolhido foi o da série ICLF. Já o difusor linear poderia ser desta mesma série do unidirecional, porém, não possuía todas as informações, obrigando assim, a especificar o da série ALS. A diferença do difusor linear da linha ICLF para o da linha ALS é que o primeiro apresenta o fechamento com chapa perfurada e o segundo com lâminas ajustáveis que guiam o jato do ar.

O fabricante do difusor ALS dá a opção do uso de até três aberturas, porém, foi definido um difusor de apenas uma lâmina, sendo suficiente às exigências do sistema. Caso optasse pelo difusor com maior número de aberturas, seria necessário um novo dimensionamento, aumentando o custo de implantação do projeto e o operacional.

Os difusores unidirecionais serão locados no forro sobre a mesa cirúrgica e não deverão ter seu fluxo alterado, quando possível, pelo foco cirúrgico. O ar será insuflado verticalmente sobre o paciente, apresentando alto grau de pureza – exigido Classe I para cirurgias ortopédicas e Classe II, no mínimo, para cirurgias abdominais, segundo

determinações do Ministério da Saúde, 2002 (RDC nº 50). Este ar deverá passar por vários processos de filtragem antes de ser insuflado e, deverá ter contato primeiramente com o paciente e, só então terá o fluxo desviado para o cirurgião, auxiliar e instrumentadora. Este tipo de difusor é formado por dois módulos. Suas medidas são as seguintes: 600 x 900 mm.

Figura 2.26 – Exemplo de difusor unidirecional e linear (fonte: catalogo do Fabricante)

O difusor linear tem a estrutura fixada na laje, e as aberturas no nível do forro em volta do campo cirúrgico, objetivando criar uma barreira e impedir que contaminantes ou corpos estranhos presentes no ambiente entrem em contato com o paciente ou com o ar do difusor unidirecional. O ar insuflado pelo difusor linear apresenta velocidade superior ao do difusor unidirecional e certa inclinação em relação à vertical. A cortina de ar formada por este difusor ajudará a induzir a saída do ar contaminado pelas grelhas de exaustão. Este difusor é formado por dois pares de difusores, com as dimensões de: 3600 x 200 mm e 2000 x 200 mm, totalizando um comprimento de 11200 mm. Os dois difusores de maior dimensão são locados em paralelo, acompanhando o comprimento da mesa cirúrgica, e os outros dois de menor dimensão, paralelos a largura da mesa cirúrgica.

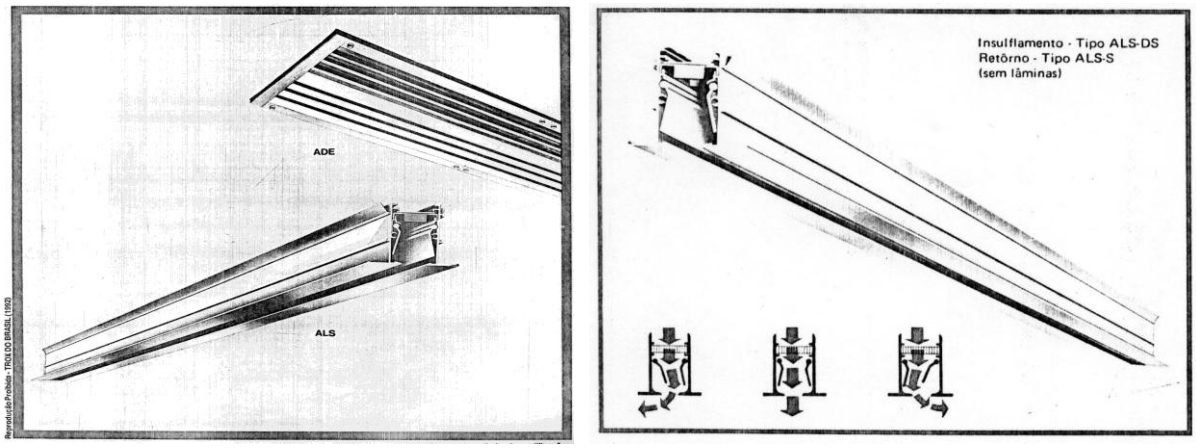


Figura 2.27 – Perspectiva do Difusor Linear tipo ALS , e detalhe do direcionamento do fluxo do ar insuflado (fonte: catalogo do Fabricante)

Na figura 2.28 estão representados em planta baixa os difusores - em projeção - na sala cirúrgica, e em corte os sentidos dos fluxos lineares, unidirecionais e do ar de retorno, sem a interferência de fatores no ambiente que poderiam perturbar seu escoamento.

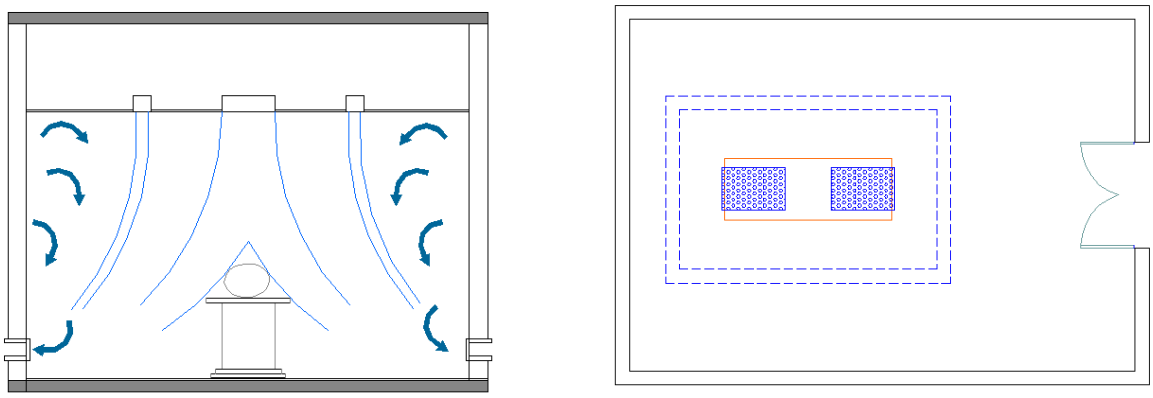


Figura 2.28 - Representação do fluxo de ar (em corte) e dos difusores em projeção na planta baixa

Definidos os difusores, foram calculadas suas vazões e, seguindo especificações técnicas, estabelecidas as velocidades do ar no ambiente.

O cálculo das vazões foi baseado no número mínimo de trocas de ar por hora, exigidas em normas brasileiras e internacionais para cada tipo de cirurgia, multiplicado pelo volume do ambiente. Para cirurgias ortopédicas, o valor mínimo é de 25 trocas por hora, e para cirurgias abdominais – contaminada – o número mínimo de trocas por hora é 15. A área da sala cirúrgica é de 36 m^2 e o volume de 108 m^3. Tem-se, portanto:

$$\overset{o}{Q}_1 = 15(trocas/h) \times 108 = 1620 \quad (18)$$

$$\overset{o}{Q}_2 = 25(trocas/h) \times 108 = 2700 \quad (19)$$

Obtidas as vazões $\overset{o}{Q}_1$ e $\overset{o}{Q}_2$, através das equações 18 e 19, o segundo passo foi encontrar as velocidades do ar no ambiente, e determinar o volume de ar insuflado dos dois tipos de difusores.

Segundo informações obtidas no catálogo e também através de técnicos da empresa, a "velocidade terminal" atuante dentro do campo cirúrgico, pelo difusor unidirecional, corresponde a 0,25 m/s. Este valor foi determinado a uma altura de 1,00 m da linha do piso, e no caso do paciente deitado na mesa cirúrgica a altura passou para 1,20 m. A vazão de cada difusor unidirecional foi obtida na tabela 2.10 que determina ao alcance de 1,80 m do forro, como é o caso do paciente, uma velocidade de 0,25 m/s e vazão de 374 m^3/h.

Para obter as vazões dos difusores lineares, houve a necessidade do uso das vazões do difusor unidirecional e das vazões totais do ambiente, conforme pode ser observado abaixo:

- *Para cirurgias abdominais:*

$$1620 - (374 \times 2) = 872 m^3/h \quad \Rightarrow 872 \div 11.20 = 77{,}85 m^3/hm$$

- *Para cirurgias ortopédicas:*

$$2700 - (374 \times 2) = 1952 m^3/h \quad \Rightarrow 1952 \div 11.20 = 174{,}28 m^3/hm$$

Partindo dos valores encontrados acima e baseando-se na tabela 2.7, foram definidas as velocidades do ar insuflado pelo difusor linear. Na cirurgia abdominal a velocidade atuante sobre a anestesista e a enfermeira circulante é de 0,28 m/s, enquanto quando a cirurgia realizada for ortopédica esta velocidade aumentará para 0,39 m/s. Nos demais ambientes analisados, a velocidade do ar foi considerada constante em 0,25 m/s.

A partir do momento que foram definidas as velocidades atuantes sobre cada pessoa na sala, foi possível calcular o conforto térmico por PMV, através do programa *Energy Plus*, e o balanço térmico através da ferramenta Cterm.

TABELA 2.7 - Faixa de vazão para o difusor unidirecional, difusor 600 x 900 mm*

m^3/ h por difusor	**Velocidade terminal (m/s) ao alcance de (m)**		
	0,50	0,38	0,25
170	-	0,30	0,30
204	-	0,30	0,60
238	-	0,30	0,90
272	0,30	0,60	1,20
306	0,30	0,60	1,50
340	0,60	0,90	1,50
374	0,60	0,90	1,80
408	0,60	1,20	1,80
442	0,90	1,50	2,10
476	0,90	1,50	2,40
510	0,90	1,50	2,40

* Reproduzida parcialmente do catálogo da TROX, 1997, série ICLF

2.5. SOFTWARES EMPREGADOS

A partir do momento que se decidiu pela simulação computacional, optou-se pelo uso de duas ferramentas: o *software Energy Plus* e o Cterm. O *software Energy Plus* foi escolhido por ser uma ferramenta de grande capacidade, possibilitando vários tipos de análises, e por se adequar muito bem à proposta que seria desenvolvida neste trabalho. O *software* Cterm serviu de apoio ao *Energy Plus*.

Porém, trabalhar com um programa já pronto, apresenta algumas desvantagens, pois existem pequenas possibilidades de alteração ou de criação de sub-rotinas. Durante o trabalho foram alteradas algumas sub-rotinas, no intuito de verificar seu funcionamento. Verificou-se a possibilidade de alterá-las, porém, foi fundamental antes ter o conhecimento do todo, do equacionamento e o algoritmo do software. Outro cuidado tomado foi no momento de entrar com os dados no programa, pois, se não fossem informados corretamente, poderiam ser obtidos resultados não condizentes com a realidade.

2.5.1. CTERM

A ferramenta computacional Cterm foi desenvolvida pelos Engenheiros Mecânicos Professor Paulo Otto Beyer e José Luis Salvadoretti, ambos membros do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Através deste programa foi possível calcular o conforto térmico dos ocupantes. O equacionamento

utilizado neste programa baseia-se no balanço térmico, proposto pela ASHRAE, 2001 (Capítulo 8, *Fundamentals*). A versão utilizada foi do ano de 2002.

O uso do Cterm teve como intenção obter dados necessários para informar no software *Energy Plus*, como por exemplo, o nível de atividade e a fração radiante.

Os dados de entrada, ilustrados na figura 2.29, serão discutidos na modelagem. Os dados de saída apresentados pelo programa Cterm podem ser verificados no exemplo da figura 2.30 e nas informações abaixo:

- metabolismo [W/m^2]
- trabalho efetuado [W/m^2]
- calor perdido pela respiração [W]
- calor sensível perdido pela pele [W]
- calor total perdido pela pele [W]
- calor perdido pela pele por convecção [W/m^2]
- calor perdido pela pele por radiação [W/m^2]
- temperatura da pele
- temperatura da vestimenta
- conclusão: diz a sensação térmica com que a pessoa está e quando na situação de desconforto sugere algumas medidas que podem ser tomadas para a pessoa sentir-se em conforto.

Através do calor perdido por radiação, dividido pelo calor total perdido pela pele, obteve-se a fração radiante. O nível de atividade das pessoas analisadas foi obtido partindo do metabolismo e multiplicando-o por 1,8 [W/pessoa].

O cálculo do conforto térmico através do Cterm foi feito para as seguintes pessoas:

- paciente
- cirurgiã
- anestesista
- enfermeira instrumentadora
- enfermeira auxiliar
- enfermeira circulante
- equipe de preparo
- equipe de limpeza

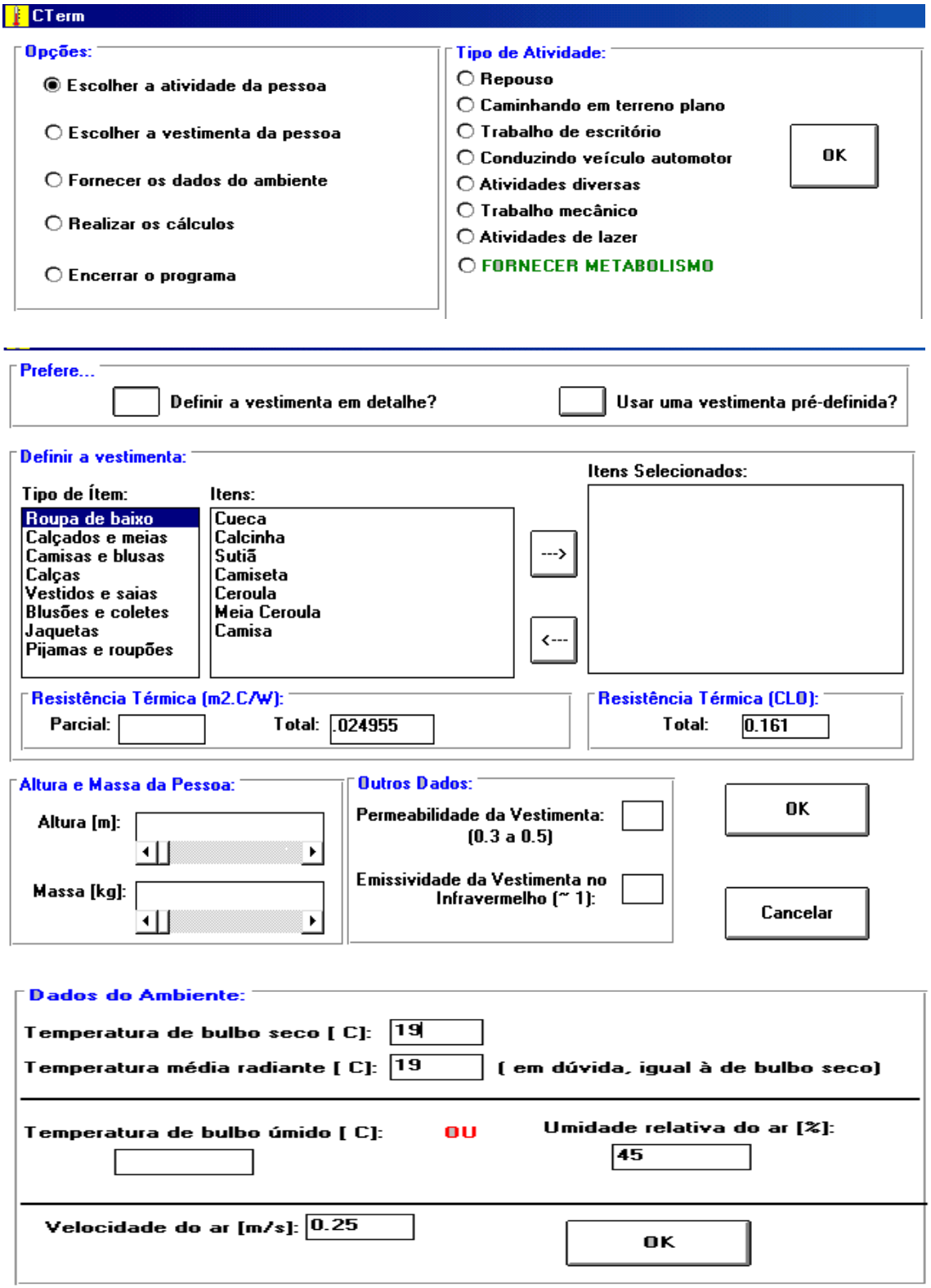


Figura 2.29 - Entrada de dados do software Cterm

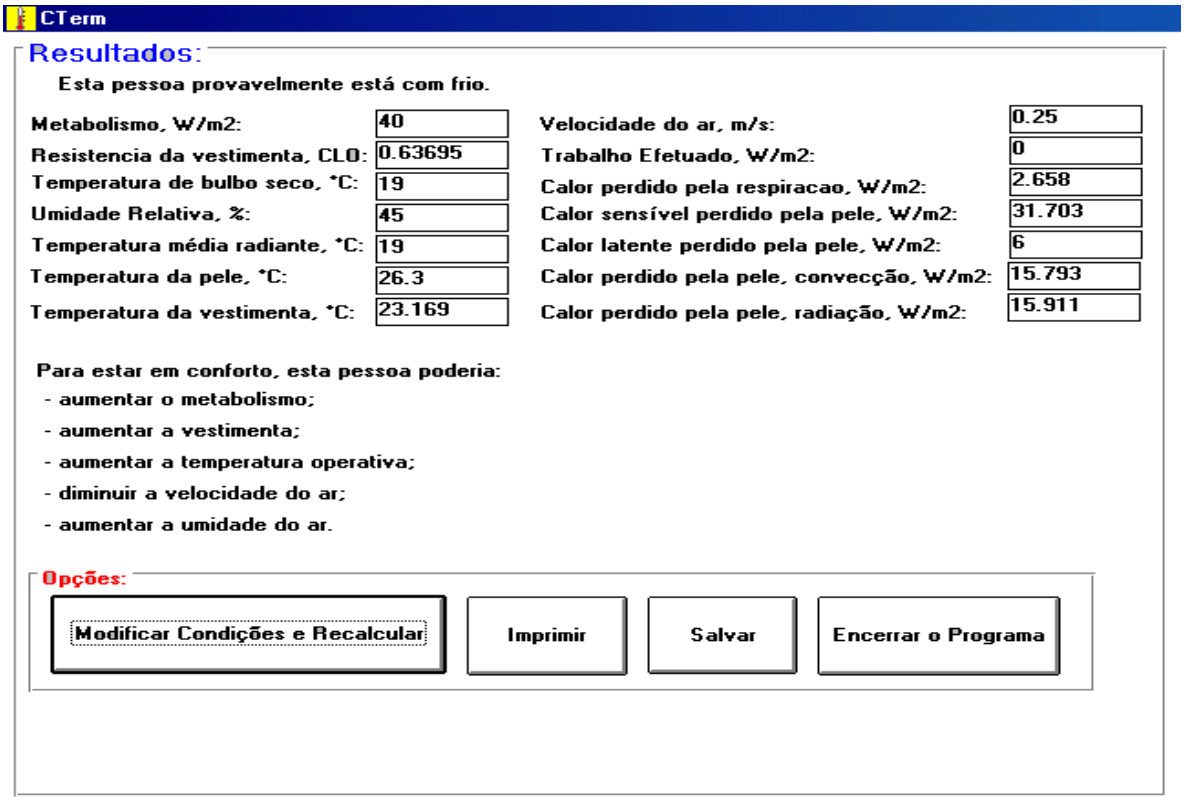


Figura 2.30 - Resultados obtidos para o conforto térmico do paciente, através do uso do Cterm

Nos ambientes analisados, foi mantida a mesma temperatura de bulbo seco, a umidade relativa. Já a velocidade do ar foi determinada conforme a atividade realizada por cada indivíduo. Os parâmetros ambientais foram estabelecidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256).

A altura e o peso das pessoas estudadas foram mantidos idênticos, variando apenas a posição da pessoa, o trabalho realizado e a composição das vestimentas.

2.5.2. ENERGY PLUS

O *Energy Plus* é um programa de simulação projetado para modelar o desempenho térmico da edificação, o consumo energético, o conforto térmico dos ocupantes, os equipamentos de climatização e os poluentes de um edifício. O programa foi projetado de forma que outras pessoas pudessem contribuir para o seu desenvolvimento. Todo o equacionamento envolvido está embutido na ferramenta computacional.

A linguagem de programação em que é escrito o *Energy Plus* é o Fortran 90. Considerada moderna e poderosa, além de possibilitar programa-la dentro de muitos estilos

diferentes. A linguagem do Fortran permite o uso de vários caracteres e apresenta outras vantagens, porém, não serão discutidos neste trabalho.

Este programa foi comparado com outros softwares e validado. Passou por uma série de testes baseado no *IEA BESTest*. Os resultados obtidos pelo *Energy Plus* foram bons e comparados com os do DOE-2, BLAST e IBLAST. Também foram testadas as metodologias. A primeira versão disponível foi a Beta no ano de 1999, continuando a ser desenvolvido e acrescentado programas compatíveis; hoje já estando disponível a versão 1.1.1. Todas estas informações têm como fonte o Crawley *et al.*, 2000 e a página do *Energy Plus* (*www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/*).

Neste trabalho foi utilizada a versão 1.03. O resultados obtidos, que poderão ser observados na análise de resultados, estão coerentes com os dados de entrada, como é o caso da temperatura e umidade relativa.

Grings, 2003, comparou resultados encontrados com o modelamento pelo *Energy Plus*, e os obtidos experimentalmente. Verificou que o ambiente simulado e o medido apresentaram temperaturas e carga térmicas muito parecidas. Wallauer e Beyer, 2002, utilizando a mesma ferramenta, realizaram um estudo do conforto térmico em edificações populares, obtendo resultados bastante coerentes. Diante os resultados obtidos nos dois trabalhos, é depositada certa confiança na qualidade da ferramenta.

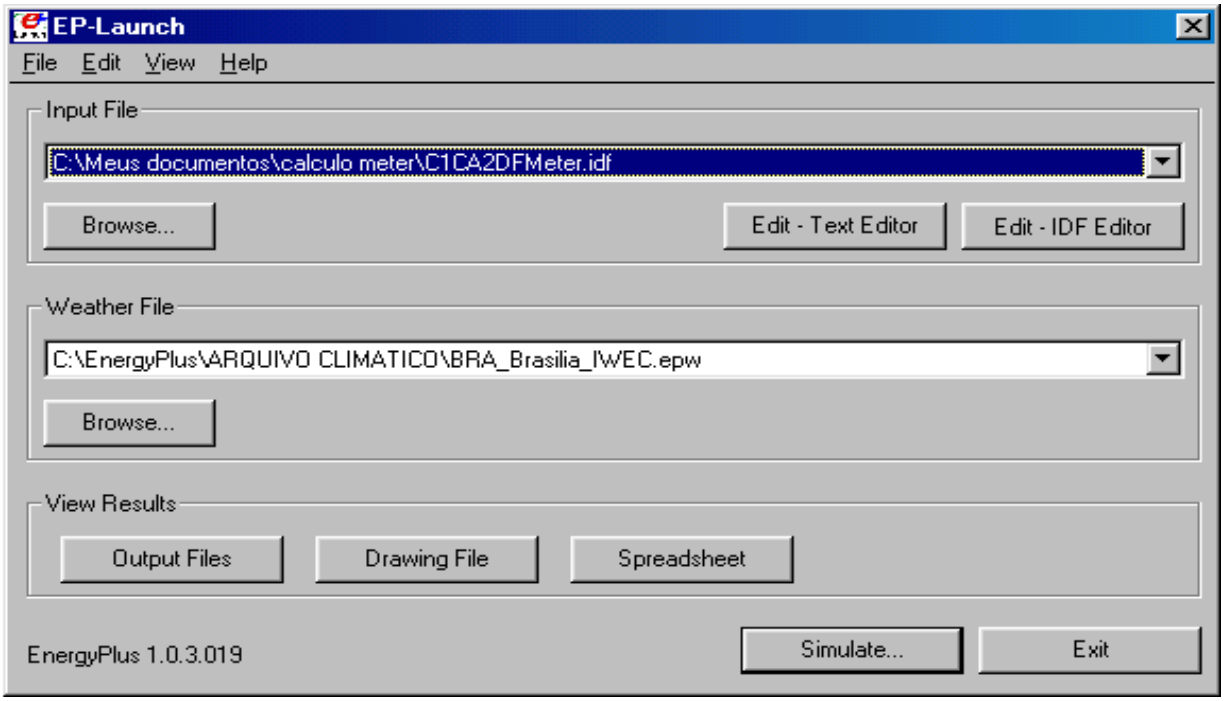


Figura 2.31 - Simulador *Energy Plus*

O programa *Energy Plus* possibilita vários tipos de análises e, dependendo das que necessitar, terão alguns campos do Editor preenchidos e outros ignorados. O programa foi simulado a partir de dados fornecidos no Editor e processados a partir do *EP-Launch*, ilustrados nas figuras 2.31 e 2.32.

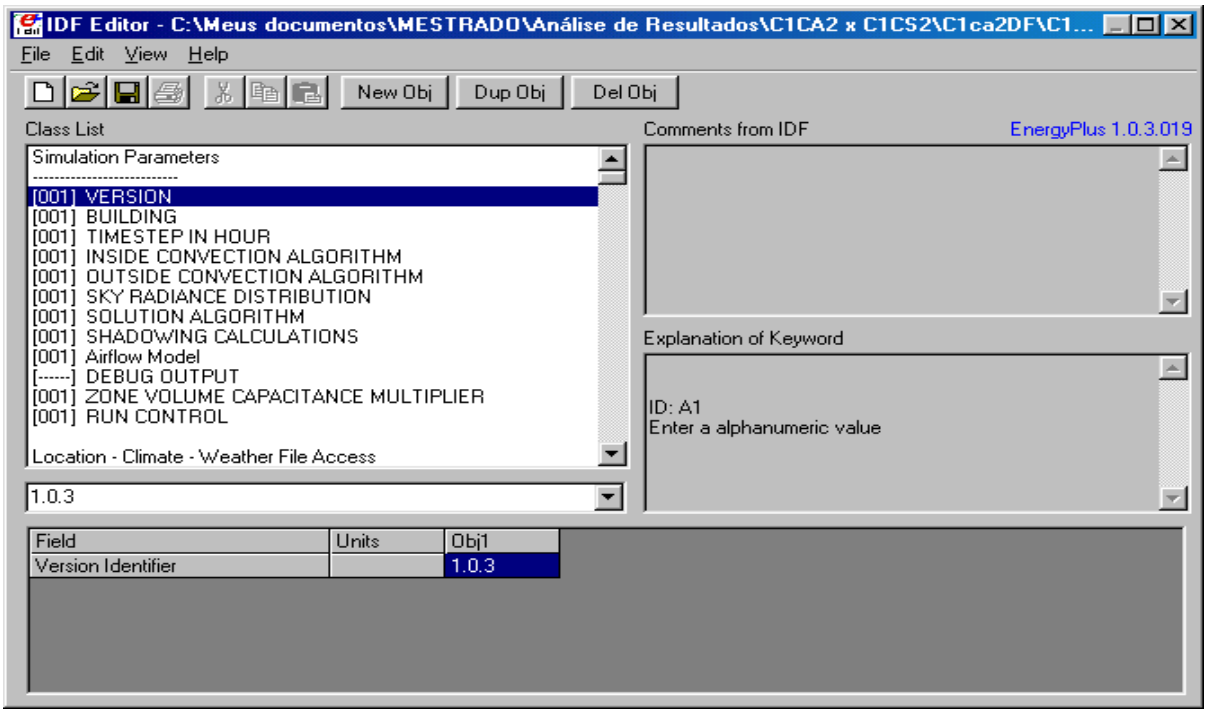


Figura 2.32 - Editor *Energy Plus*

3. OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo:

- verificar a influência da distribuição arquitetônica nos seguintes parâmetros: a) nas variáveis temperatura de bulbo seco e umidade relativa; b) no conforto térmico dos ocupantes; c) no gasto energético; d) no dimensionamento dos equipamentos de climatização.
- simular os ambientes para cinco capitais brasileiras, cada uma representando diferentes posições geográficas e características climáticas.
- verificar o comportamento térmico da edificação para o período de um ano de projeto, para um dia de verão e um dia de inverno.
- no cálculo do PMV, analisar uma pessoa típica em várias situações, funções e vestimentas, com o intuito de verificar a resposta térmica que cada uma teria.
- de acordo com o gasto energético, prever o custo diário em cada um dos casos e cidades analisados, tendo como referência o ano de 2003.
- avaliar a influência dos dois tipos de cirurgia em relação ao gasto energético, ao conforto térmico, a potência dos equipamentos de climatização e nas variáveis meteorológicas.
- discutir o custo-benefício em optar por um determinado tipo de layout, considerando o custo diário de um paciente com infecção hospitalar.
- traçar a política de acesso de pessoas, equipamentos, entrada e saída de material e saída de lixo e material a ser descartado, em cada um dos *layouts* analisados.

4. MODELAMENTO

Na entrada de dados são solicitadas as seguintes informações: as condições meteorológicas, as características do ar interior, a localização geográfica, a geometria da edificação e as características arquitetônicas, e outras informações que serão citadas mais à frente. Foi feito o "mapeamento" completo do projeto de estudo.

Para o cálculo das condições do ambiente interior, utilizando a ferramenta computacional *Energy Plus*, os parâmetros psicrométricos considerados foram: a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido e a umidade relativa, além de outras variáveis não consideradas na carta psicrométrica.

Os parâmetros psicrométricos do ar exterior, para cada cidade analisada e dia de projeto (verão e inverno), foram retirados da tabela da ASHRAE, 2001. No caso da temperatura de bulbo úmido, baseou-se nos valores encontrados por Goulart, Lamberts, e Firmino, 1997.

As variáveis ambientais têm influência na condição de conforto dos ocupantes, e algumas são responsáveis no controle da amplificação de microorganismos. São elas: a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura média radiante no ambiente. A temperatura média radiante, considerada no programa *Energy Plus*, corresponde à média entre a temperatura das superfícies do ambiente, mais a irradiância da iluminação de base, do foco cirúrgico, do foco auxiliar, e mais a irradiância emitida pelos equipamentos. As temperaturas de bulbo seco (Tbs) e umidades relativas (UR) do ar foram definidas, segundo parâmetros exigidos pela ABNT, 1982 (NBR 7256) e pelo Ministério da Saúde, 2002 (RDC n° 50), para cirurgia ortopédica e abdominal.

Para o cálculo do conforto térmico, foram utilizadas duas ferramentas computacionais: o Cterm e o *Energy Plus*. O primeiro *software* citado serviu de base para o uso do segundo, pois na entrada de dados do *Energy Plus* é pedido o nível de atividade da pessoa, o trabalho efetuado, o clo (resistência térmica da vestimenta), onde 1 clo equivale a 0,155 m^2 °C/W, e a fração radiante, os quais foram obtidos com o uso da primeira ferramenta.

No cálculo do conforto térmico, considerou-se uma pessoa típica em diferentes situações de exposição à atividade física, vestimenta e sob influência de variantes ambientais, que se alteram conforme o tipo de cirurgia realizada.

Na entrada de dados do programa Cterm, foram fornecidos os seguintes dados:

- altura da pessoa típica: 1,70 m

- peso da pessoa típica: 70 kg
- vestimenta: para o paciente foram considerados apenas uma camisola de hospital e um lençol. A cirurgiã, a enfermeira auxiliar e a instrumentadora, tiveram sua vestimenta constituída de calcinha, sutiã, calça, camisa de manga longa de algodão, avental de manga longa, meias, sapatos e propé. A vestimenta da anestesista e da enfermeira circulante foi constituída de calcinha, sutiã, calça, camisa de manga longa de algodão, sapatos, meias e propé.
- atividades físicas realizadas, conforme a função da pessoa.
- temperatura: 19°C
- umidade relativa: 45%
- velocidade do ar: sobre o paciente, a cirurgiã, auxiliar e instrumentadora uma velocidade de 0,25 m/s. Sobre a anestesista e enfermeira circulante, 0,28 m/s (em cirurgia abdominal) e 0,39 m/s (em cirurgia ortopédica). No caso das pessoas estarem no corredor, a velocidade do ar considerado foi de 0,25 m/s.

A vestimenta se distinguiu conforme a atividade da pessoa dentro da sala cirúrgica e foi, no caso da enfermeira circulante. Foi determinado desta maneira, para analisar a mesma pessoa em situações e vestimentas diversas e, a partir daí, comparar as condições de conforto de cada um dentro da sala cirúrgica e nos demais ambientes.

Foram consideradas oito atividades distintas dentro dos ambientes analisados, ou seja, foram oito análises da pessoa típica, sendo que cada uma com sua roupa definida. A pessoa analisada, suas vestimentas e respectivas resistências térmicas podem ser observadas na tabela 4.1. A resistência térmica total da vestimenta [clo] foi calculada pelo programa Cterm e utilizada na entrada de dados do *Energy Plus*. A emissividade da vestimenta no infravermelho foi fixada a 0,9, e a permeabilidade em 0,4.

Algumas vestimentas, por não terem sido consideradas no Cterm, foram substituídas por outras que fariam resistência térmica similar. A vestimenta do paciente, por exemplo, foi composta de vestido de manga longa leve e meia soquete, substituindo o uso de lençol. A cirurgiã e demais pessoas, representadas por suas funções, tiveram a meia soquete curta substituindo o uso do propé e os vestidos de manga longa no lugar dos aventais. A máscara, a toca e as luvas da equipe médica, não foram consideradas, pois, caso as substituíssem por outras vestimentas, não estariam representando a superfície real da toca e o material da luva (borracha).

A atividade física realizada pela pessoa também é um fator importantíssimo no cálculo do conforto térmico. O metabolismo da pessoa será diretamente proporcional ao trabalho realizado, ou seja, se a pessoa realizar um trabalho pesado, ela gerará maior quantidade de calor. A atividade física da equipe médica, equipe de limpeza, e paciente, foi considerada conforme a função que realizavam dentro da sala cirúrgica e no percurso dos corredores e antecâmara.

TABELA 4.1 - Resistência Térmica das Vestimentas (m^2 °C/W) da pessoa típica em funções diferentes

Pessoa Típica	**clo**	**Pessoa Típica**	**clo**
Paciente		**Cirurgiã / Instrumentadora / Auxiliar**	
Camisola	0,04805	Calcinha	0,00465
Vestido manga longa leve (*lençol)	0,05115	Sutiã	0,00155
Meia soquete média (*lençol)	0,00465	Meia soquete média	0,00465
		Sapatos ou tênis	0,00775
		Meia soquete curta (*propé)	0,00310
		Camisa algodão manga longa	0,05270
		Calça leve	0,02325
		Vestido de manga longa pesada (*avental)	0,07285
Anestesista		**Enf. Circulante / Eq. Preparo / Eq. Limpeza**	
Calcinha	0,00465	Calcinha	0,00465
Sutiã	0,00155	Sutiã	0,00155
Meia soquete média	0,00465	Meia soquete média	0,00465
Sapatos ou tênis	0,00775	Sapatos ou tênis	0,00775
Meia soquete curta (*propé)	0,00310	Meia soquete curta (*propé)	0,00310
Camisa algodão manga longa	0,05270	Camisa algodão manga longa	0,05270
Calça leve	0,02325	Calça leve	0,02325
Vestido manga longa leve (*avental)	0,05115		

* Foram substituídos por outras vestimentas

Para a cirurgiã, a atividade física descrita na sala cirúrgica, tanto para cirurgia ortopédica como também na abdominal, foi trabalho mecânico leve, realizado em pé e se movimentando. O paciente teve sua atividade descrita como estando deitado, em repouso e dormindo. A anestesista teve sua atividade descrita similar ao trabalho de escritório, sentado e escrevendo. Para a enfermeira auxiliar e a instrumentadora, considerou-se um trabalho médio, similar ao trabalho de escritório, trabalhando em pé e se movimentando. A enfermeira circulante e equipe de preparo da sala tiveram a atividade física considerada similar ao trabalho de escritório e caminhando, tanto quando está na sala cirúrgica, nos corredores e

antecâmara. A equipe de limpeza teve descrito seu trabalho como sendo de médio esforço e realizando diversas atividades. Porém, a equipe médica e equipe de limpeza, tiveram suas atividades físicas, quando nos corredores e antecâmara, consideradas as mesmas da enfermeira circulante. A taxa metabólica correspondente aos trabalhos efetuados está citada na tabela 4.2.

TABELA 4.2 - Geração de calor Metabólico típico para diferentes atividades

Atividade	**W/m^2**
Repouso - Dormindo	40
Trabalho Mecânico Leve	115
Trabalho de Escritório – Sentada – Escrevendo	60
Trabalho de Escritório – Trabalho Médio	140
Trabalho de Escritório - Caminhando	100
Atividades Diversas – Médio Esforço	115

Depois de simular e obter os resultados necessários através do Cterm, parte-se para a segunda fase – utilizar a ferramenta *Energy Plus*.

No *Energy Plus f*oram realizados duas simulações, uma que apresentasse resultados de um dia de projeto de verão e de inverno, e outra para um ano de projeto.

As cidades simuladas foram: Belém, Brasília (DF), Porto Alegre (POA), São Paulo (SP) e Recife. Estas capitais foram escolhidas pelas características climáticas, pela importância da cidade, por cada uma representar diferentes regiões do Brasil, e também por quatro destas terem o arquivo climático disponível para simular um ano de projeto. A cidade de Porto Alegre, por não possuir o arquivo climático, quando da realização destes cálculos, atualmente está disponível no LAFRIG/DEMEC/UFRGS, foi simulada apenas para o período de um dia de projeto no verão e inverno.

As informações necessárias, de cada capital, para a simulação foram as seguintes: latitude, longitude, altitude e horário em relação a Greenwich. Para a simulação de um dia de projeto, além da localização, foram fornecidas as condições meteorológicas, as condições de céu – considerou-se o céu limpo – e os dias escolhidos a serem simulados. Optou-se em simular os dias 21 de janeiro e 21 de julho.

No momento de descrever a edificação, foram informados a implantação, as características construtivas e os ambientes contíguos aos ambientes estudados.

O *layout* das três salas cirúrgicas foi descrito no programa como demonstrado em planta baixa na figura 4.1. As dimensões dos ambientes e as demais medidas estão presentes nas figuras 2.6, 2.8 e 2.10. Os ambientes foram desenhados a partir dos eixos x, y e z, sendo

que o Norte verdadeiro coincide com o eixo y, identificado nas plantas arquitetônicas. Os detalhes construtivos, como o forro de gesso, as camadas de ar e as portas, também foram definidas a partir do eixo das coordenadas. Todos os ambientes analisados foram situados no terceiro pavimento, não havendo, portanto, a necessidade de considerar a temperatura de solo.

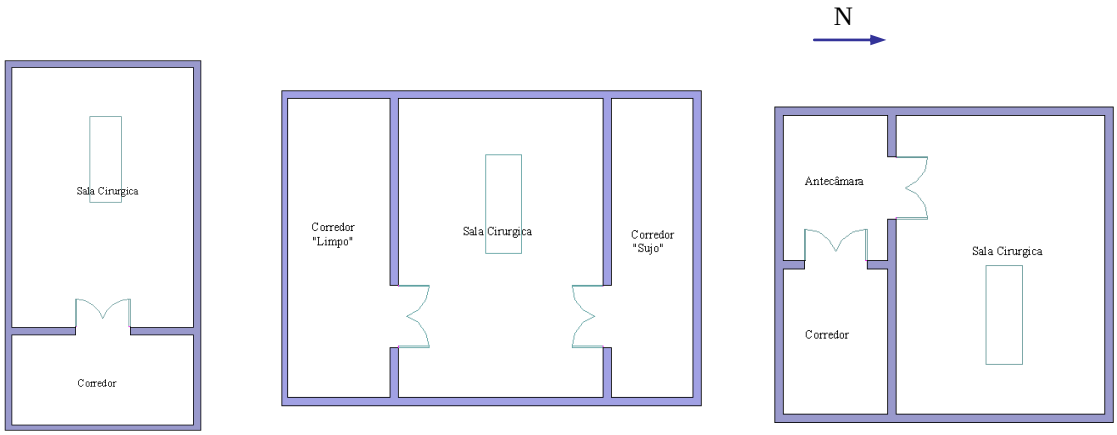


Figura 4.1 - Plantas baixas: Caso 1, Caso 2 e Caso 3, respectivamente

As fachadas norte e oeste não dividem a parede com nenhum outro ambiente e sim, com o exterior. As demais paredes dividem, como já visto anteriormente, com outros ambientes. Na entrada de dados do programa *Energy Plus*, os ambientes contíguos aos analisados, tiveram apenas descritas as temperaturas médias do ar ambiente.

As paredes analisadas apresentam duas espessuras diferentes. As paredes externas e as que dividem a sala cirúrgica de outro ambiente, possuem uma espessura de 20 cm, enquanto as demais são de 15 cm. Estas paredes são compostas de tijolo 6 furos, argamassa de regularização, massa corrida e tinta. Cada um dos materiais que a compõem, apresentam características físicas diferentes e terão influência na condutividade, absortância e emissividade, influenciando nas condições térmicas do ambiente.

A pintura não foi considerada por sua espessura ser muito pequena, porém, sua absortividade foi estabelecida no lugar da que teríamos para a massa corrida, e que por sinal são bem próximas. Este fator foi importante considerar, pois corresponde a porcentagem de energia que incide na superfície e que é absorvida, estando relacionada com a cor da mesma.

As paredes foram descritas em camadas: primeiro foi declarada a massa corrida, seguida do emboço, tijolo 6 furos, emboço e massa corrida. O piso foi descrito da seguinte maneira: começando do forro de gesso do piso inferior, e na seqüência, a camada de ar, a laje, a argamassa de regularização e o piso. O teto foi declarado no programa, começando da laje e na seqüência a camada de ar e o forro de gesso.

Como o uso de janelas não foi especificado nos casos analisados, a transmitância térmica não foi considerada nos cálculos.

As portas utilizadas são de duas folhas e de material aço inox – chapa de aço, camada de ar e outra chapa de aço - e um pequeno visor de vidro. Porém, no momento de descrever esta porta no programa *Energy* Plus foi considerado apenas o aço inox, pois a superfície em vidro corresponderia a 3% da superfície da porta, o que torna insignificante a parcela de transferência de calor, ainda mais que seria vidro duplo com uma camada de ar entre eles, e também, pelo fato de o programa não possibilitar o uso dos dois em conjunto. Quando a cirurgia simulada foi a ortopédica, declarou-se uma camada de chumbo entre as chapas de aço inox.

As características físicas dos materiais de construção utilizados estão descritas na tabela 4.3. Os valores foram estabelecidos segundo especificações de Lambert, 2000 e Incropera e Witt, 1992.

Além das características da edificação, localização e materiais, foi fundamental considerar quais fatores teriam influência nas características térmicas do ambiente. Os equipamentos elétricos utilizados nas cirurgias e a iluminação contribuem para o ganho energético do ambiente. Além destas variáveis, as pessoas também são fontes de calor.

As potências totais das lâmpadas utilizadas na sala cirúrgica são as seguintes: 240 W de lâmpadas incandescentes; 480 W de lâmpadas fluorescentes; os conjuntos de bulbos de halogêneo do foco cirúrgicos totalizam 630 W e 150 W a iluminação auxiliar. Os corredores e a antecâmara possuem, cada um, 320 W de lâmpadas fluorescentes. Cada tipo de lâmpada foi declarado separadamente. A iluminação foi descrita a partir do uso das salas cirúrgicas e da movimentação dos corredores e antecâmara.

Na sala cirúrgica, as lâmpadas incandescentes, o foco cirúrgico e o a iluminação auxiliar foram mantidos acesos das 07:00 às 09:00, das 10:00 às 13:00, das 14:00 às 16:00 e das 18:00 às 20:00 horas. As lâmpadas fluorescentes foram mantidas acesas das 06:00 às 22:00 horas, incluindo os intervalos entre as cirurgias, os momentos de preparo da sala e de limpeza e o mesmo acontecendo na antecâmara. Já a iluminação do corredor foi mantida com 50% das lâmpadas acesas das 00:00 às 06:00 horas e das 22:00 às 24:00 horas, e nas demais horas mantiveram-se todas acesas.

Quanto à potência dos equipamentos utilizados na cirurgia ortopédica e na cirurgia abdominal, foram especificadas, respectivamente, 2245 W e 1815 W.

TABELA 4.3 - Listagem dos materiais construtivos utilizados e suas características físicas

Características	Laje	Tijolo 6 Furos	Emboço	Massa corrida
Rugosidade	Media Rugosidade	Rugoso	Liso	Liso Médio
Espessura [m]	0,12	0,15 (A) e 0,20 (B)	0,025	0,01
Condutividade [W/m K]	1,75	0,9	1,15	0,25
Densidade [kg/m3]	2200	1600	2000	700
Calor específico [J/kg K]	1000	920	1000	840
Absortância: Térmica	0,90	0,90	0,9	0,90
Absortância: Solar	0,65	0,72	0,54	0,40
Absortância: Visível	0,65	0,72	0,54	0,40

Características	Forro de gesso	Piso Vinílico	Argamassa de Regularização	Porta de Aço
Rugosidade	Liso médio	Muito liso	Liso médio	Muito liso
Espessura [m]	0,02	0,05	0,02	0,15
Condutividade [W/m K]	0,25	0,2	1,15	44,96
Densidade [kg/m3]	700	1300	2100	7688,86
Calor específico [J/kg K]	840	1000	1000	410
Absortância: Térmica	0,90	0,90	0,90	0,90
Absortância: Solar	0,40	0,20	0,54	0,20
Absortância: Visível	0,40	0,20	0,54	0,20

Características	Camada de Chumbo (Pb) – usado apenas em salas cirúrgicas ortopédicas
Rugosidade	Liso médio
Espessura [m]	0,01
Condutividade [W/m K]	33
Densidade [kg/m3]	11340
Calor específico [J/kg K]	1290
Absortância: Térmica	0,90
Absortância: Solar	0,70
Absortância: Visível	0,70

Outros dados de entrada solicitados pelo *software* foram: os níveis de atividade de cada pessoa, os trabalhos efetuados, a resistência das roupas utilizadas, a velocidade do ar sobre cada um e seus itinerários, conforme se observa na tabela 4.4.

O itinerário de cada pessoa foi declarado separadamente. O paciente e a equipe médica estiveram na sala cirúrgica nos seguintes horários: 07:00 às 09:00, das 10:00 às 13:00, das 14:00 às 16:00 e das 18:00 às 20:00 horas. Já a equipe de limpeza, manteve-se na sala cirúrgica das 09:00 às 10:00, das 13:00 às 14:00 e das 20:00 às 22:00 horas.

A velocidade do ar atuante sobre cada pessoa foi a mesma especificada para o software Cterm.

Como os ambientes aqui estudados são controlados artificialmente, foram necessárias várias informações dos equipamentos na entrada de dados do programa. Todo o sistema, discutido anteriormente na figura 2.18, foi informado ao software. As características de cada

equipamento envolvido no sistema foram baseadas nas exigências do ambiente, ou seja, na temperatura, na umidade relativa, nas pressões, vazões e na qualidade do ar interior.

Os pedidos de saída do programa (*Reports*) foram os seguintes: as temperaturas, a umidade relativa, o gasto energético, o PMV, a carga térmica dos ambientes e as potências dos equipamentos.

TABELA 4.4 - Parâmetros encontrados no Cterm e utilizados no *Energy Plus*

Pessoas	**Nível de Atividade**	**Trabalho Efetuado**	**clo**
Paciente	72	0	0,63695
Cirurgiã	230,4	0,11	0,8791
Anestesista	108	0,0349	0,687
Enfermeira Auxiliar	216	0,0992	0,8791
Instrumentadora	216	0,0992	0,8791
Enfermeira Circulante	180	0,0745	0,687
Equipe de Limpeza	284,9	0,1552	0,687
Equipe de Preparo	180	0,0745	0,687
Pessoas Acessando os corredores	180	0,0745	0,687
Pessoas Acessando a Antecâmara	180	0,0745	0,687

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Em uma primeira análise, foram avaliados os seguintes casos: C1CA2 (Caso 1 – cirurgia asséptica), C1CS2 (Caso 1 – cirurgia séptica), C2CA1 (Caso 2 – cirurgia asséptica), C2CS2 (Caso 2 – cirurgia séptica), C3CA1 (Caso 3 – cirurgia asséptica) e C3CS1 (Caso 3 – cirurgia séptica), todos simulados para as condições meteorológicas de cinco capitais brasileiras. Para o Dia de Projeto de verão e de inverno, avaliou-se apenas as cidades de Porto Alegre, São Paulo e Brasília, enquanto Recife e Belém, por terem o inverno com características de verão, tiveram apenas simulado o dia de verão.

Foram verificadas as temperaturas: a) temperatura média radiante (TMR); b) temperatura média do ar (TMA) e c) temperatura do ar interior (TAI), além da Umidade Relativa (UR). O PMV e a potência dos equipamentos de climatização também foram analisados.

Nas figuras de 5.1 a 5.32, apresentar-se-ão os comportamentos das temperaturas, da UR e do PMV nos ambientes analisados.

Em relação às potências dos equipamentos, nas tabelas serão apresentadas as potências máximas encontradas para cada caso e para cada cidade analisada. Em seguida, informar-se-á a menor potência total para o dia de verão e de inverno, bem como a menor potência encontrada na sala cirúrgica, dentre os casos analisados.

Nas figuras 5.33 serão demonstrados a evolução da potência dos equipamentos e o funcionamento do sistema. Optou-se por apresentar apenas os gráficos da cidade de Porto Alegre, por dois motivos: primeiro, pelas características climáticas da cidade, que exige do sistema tanto no verão, quanto no inverno; segundo, pelo fato do comportamento do sistema ser muito parecido com o das outras cidades.

Na segunda análise, pegar-se-á o caso C1CS2 que apresentar maior potência nos equipamentos e comparar-se-á com caso C1CS3 correspondente, com o intuito de verificar como o diferencial de pressão influenciará no funcionamento do sistema.

O gasto energético dos três tipos de layout para as cidades de São Paulo, Brasília, Recife e Belém fará parte da terceira análise.

Como foram feitas várias análises, optou-se por apresentar apenas os gráficos mais representativos de cada caso. Os gráficos da temperatura, da umidade relativa e das potências dos equipamentos.

Nesta análise são apresentados apenas os gráficos mais representativos e que ilustram os comportamentos de todas as cidades e casos estudados. As figuras 5.1 a 5.12 referem-se às cidades de Porto Alegre e São Paulo.

5.1. ANÁLISE DAS TEMPERATURAS

Nesta análise são apresentados apenas os gráficos mais representativos e que ilustram os comportamentos de todas as cidades e casos estudados. As figuras 5.1 a 5.12 referem-se às cidades de Porto Alegre e São Paulo. Em todos eles é possível verificar a evolução da TMR, da TMA e TAI dos ambientes.

É importante citar que tanto nos gráficos apresentados abaixo, como nos gráficos das cidades de Belém, Brasília e Recife, as temperaturas mantiveram-se sob controle, dentro dos parâmetros exigidos por norma e dentro do comportamento esperado nos ambientes.

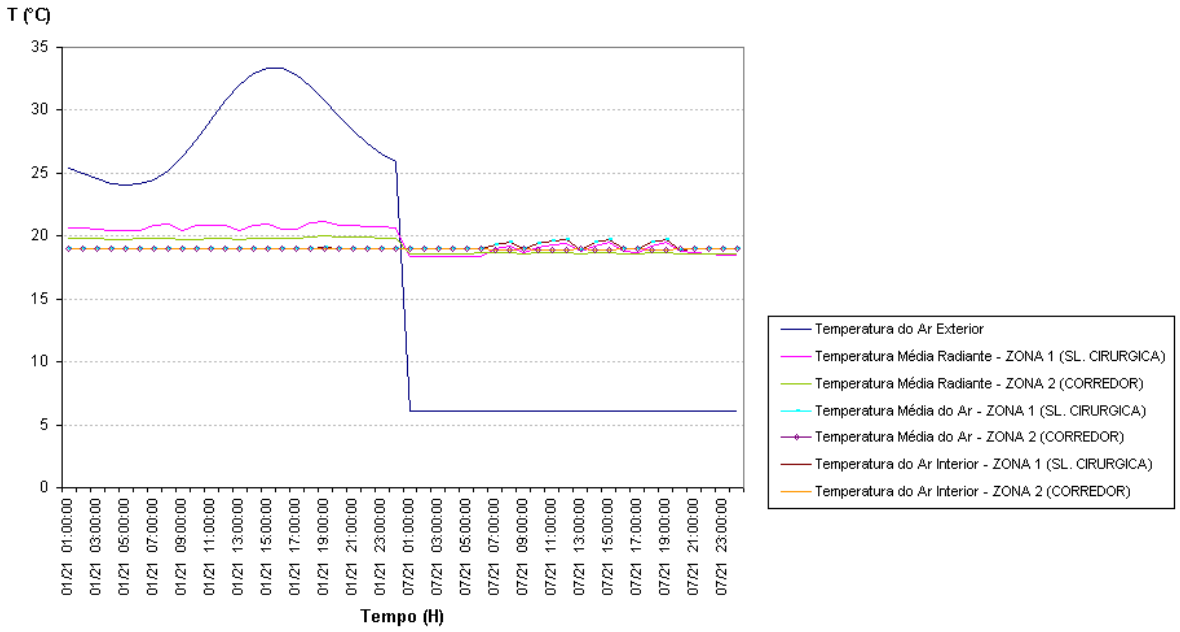


Figura 5.1 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CA2POA

Nos casos C1CA2 (caso 1 – cirurgia asséptica), representados graficamente nas figuras 5.1 e 5.2, a temperatura apresentou um comportamento bem parecido para o dia de verão nas cidades de Porto Alegre e São Paulo, e o mesmo ocorrendo nas cidades de Belém, Brasília, e Recife. Os picos da TMR na sala de cirurgia se verificam quando as cirurgias estão sendo realizadas, diminuindo nas horas que a sala está em desuso ou sendo limpa. Para esta última situação, considerou-se haver duas pessoas no ambiente. As salas cirúrgicas apresentam as

maiores TMR devido ao calor irradiado pelas pessoas, equipamentos, iluminação e das superfícies, principalmente as que recebem incidência solar. A maior TMR verificada na cidade de Recife, foi de 21°C, às 19:00 horas.

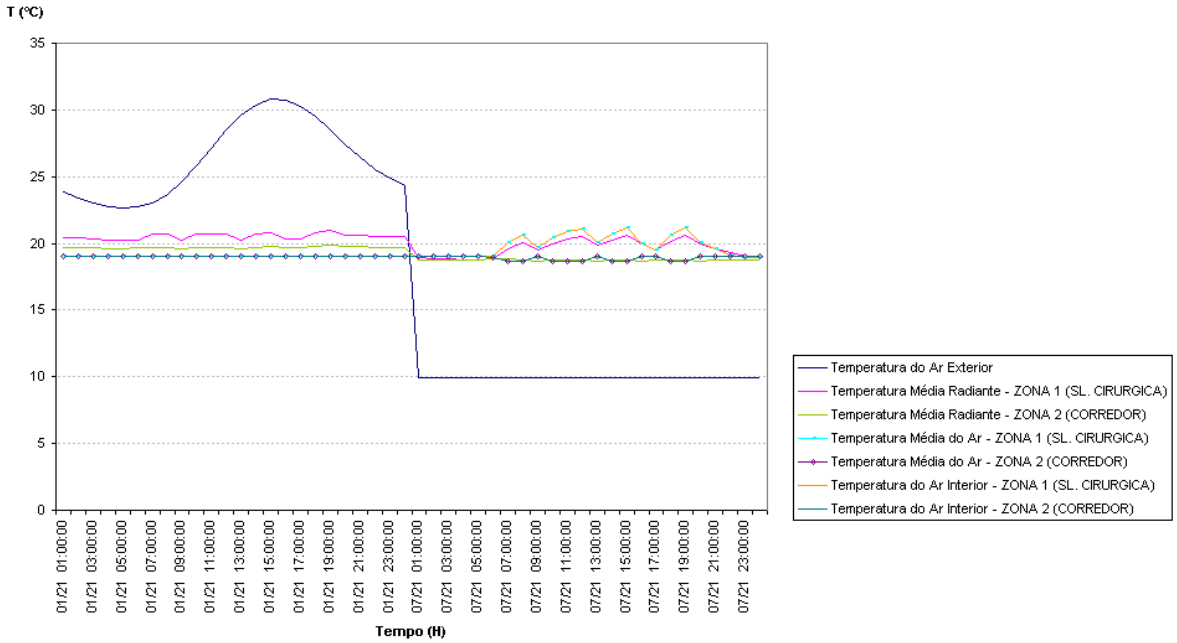


Figura 5.2 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CA2SP

A TMR do corredor varia de 19 a 20°C, para o dia de verão e a mínima apresentada, para o dia de inverno, foi de 18°C. Um dos fatores que contribui para a TMR do corredor ser menor do que a da sala cirúrgica é que apenas uma das superfícies do corredor está em contato com o ar exterior e com a incidência da radiação solar, enquanto que na sala cirúrgica há duas faces ensolaradas.

As temperaturas TMA e TAI são praticamente constantes o tempo todo. São idênticas, e toda vez que uma delas for citada no texto, referir-se-á também à outra. Elas apresentam uma variação muito pequena, devido às oscilações normais que ocorrem no sistema de controle dos equipamentos, como se pode observar nos gráficos de temperatura.

Para o dia de inverno, a maior TMR continua sendo da sala cirúrgica, porém apresentando uma pequena queda de aproximadamente 0,4°C. Já a TMR do corredor fica próxima do valor estipulado pela ABNT, 1982 (NBR 7256), de 19°C, apresentando pequenas oscilações.

A TMA da sala cirúrgica aumentou de 19°C para 21°C, pois o termostato para um dia de inverno foi fixado em 24°C. Logo, o ar começará a ser resfriado assim que a TMA atingir esta temperatura. Porém, como as temperaturas do dia de inverno em São Paulo, Brasília e, principalmente Porto Alegre foram baixas, os ambiente exigiram menor resfriamento do ar.

Por outro lado, o aquecimento do ar também foi pouco solicitado, pois a temperatura ficou estável, dentro dos limites de 19°C a 24°C devido o calor liberado pelas pessoas, equipamentos e iluminação.

Nas cidades analisadas, o corredor manteve-se próximo dos 19°C, em função dos seguintes fatores: a) influência da temperatura do ar exterior; b) pouca liberação de calor no ambiente; c) devido à modificação da incidência solar, de forma mais acentuada na cidade de Porto Alegre por sua posição geográfica ser mais ao sul.

A TMA dos casos avaliados, no dia de inverno, foi superior à TMR nos ambientes, fato que se deve à significante perda de calor das superfícies em contato com o exterior.

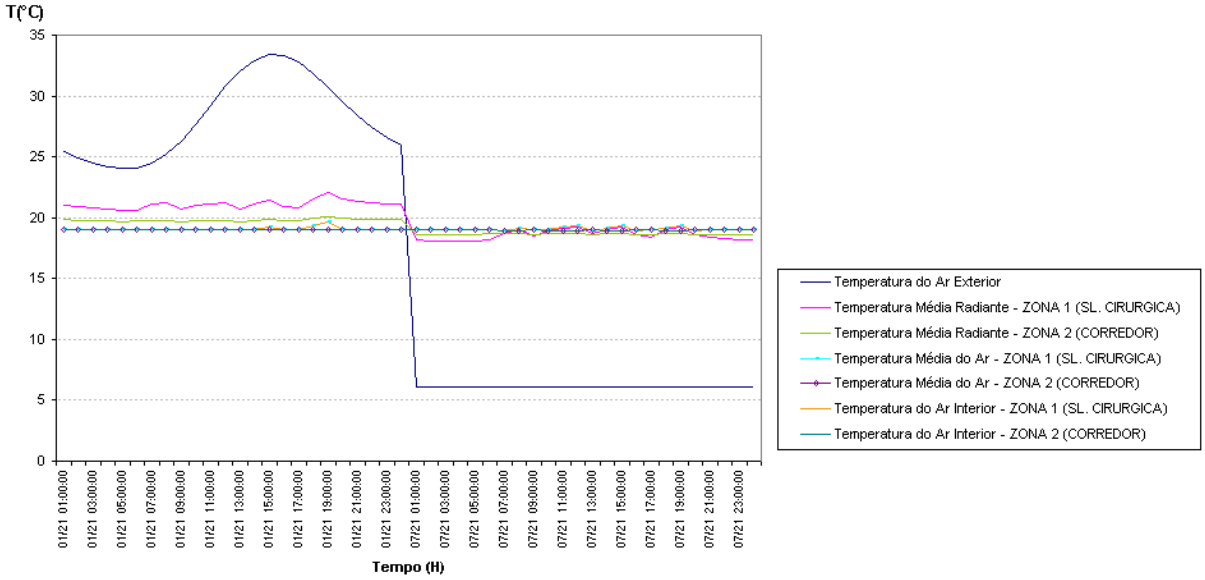


Figura 5.3 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CS2POA

A evolução das temperaturas do caso C1CS2, no dia de verão, é muito parecida com a do caso C1CA2, conforme se verifica nas figuras 5.3 e 5.4. A TMR da sala cirúrgica, em alguns pontos, apresenta diferença de 1°C. Na sala cirúrgica abdominal, apesar do número de equipamentos ser inferior ao da sala cirúrgica ortopédica, a TMR nesta foi superior, pois a vazão de ar é menor. O aumento da TMR, observado às 19:00 horas, coincidiu com a última cirurgia realizada. A TMA ambiente também apresentou uma maior oscilação às 19:00 horas.
A evolução da temperatura para o dia de inverno, a TMR e a TAI na cidade de Porto Alegre são menores que as encontradas na cidade de São Paulo e Brasília, além de apresentar pequenas oscilações. Esta diferença é devida à baixa temperatura do ar exterior, em relação às outras cidades. No dia de inverno repete-se a mesma situação do caso anterior, onde a TMA é superior à média radiante. A TMR do corredor apresenta menor oscilação que a temperatura do ambiente para todas as cidades analisadas no inverno.

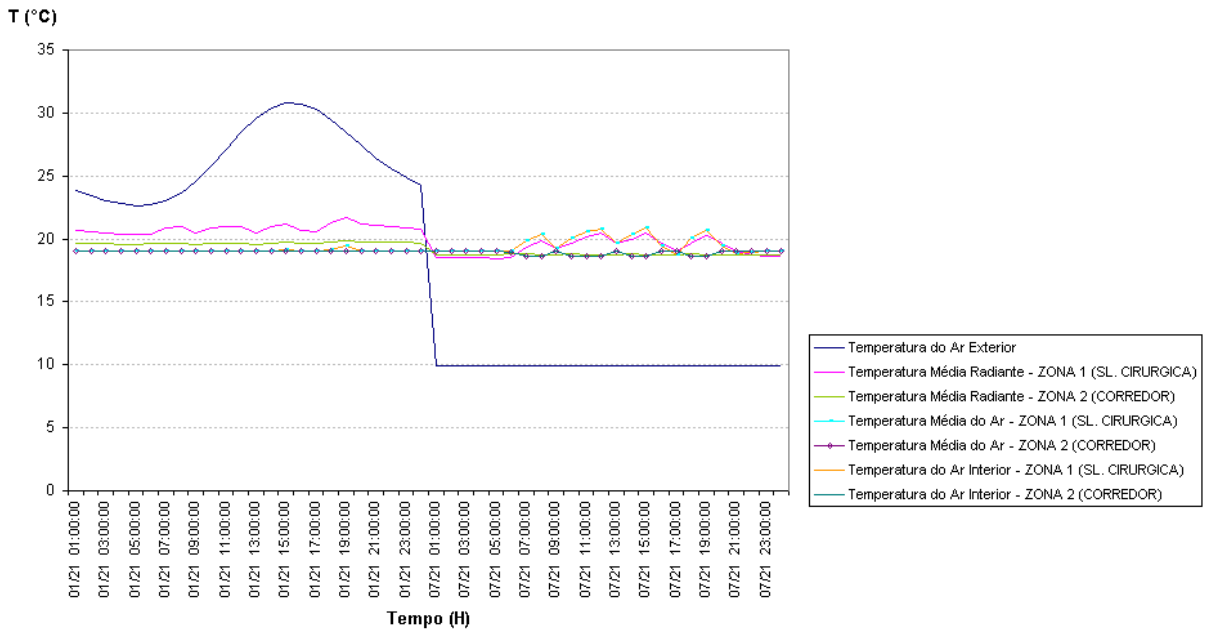


Figura 5.4 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C1CS2SP

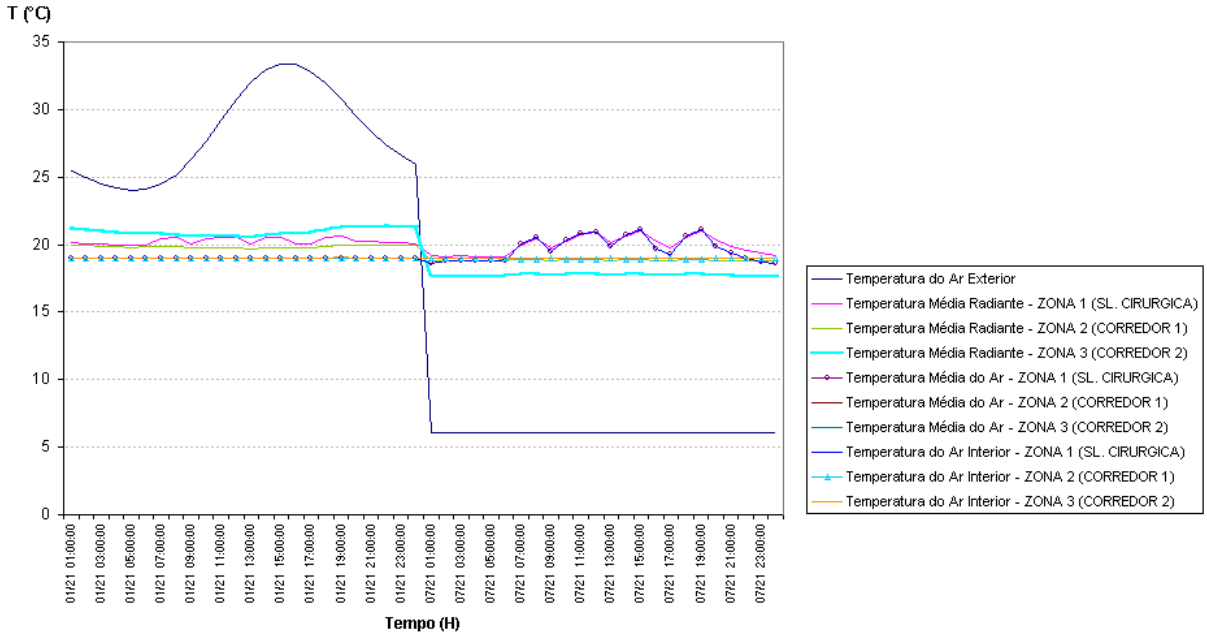


Figura 5.5 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CA1POA

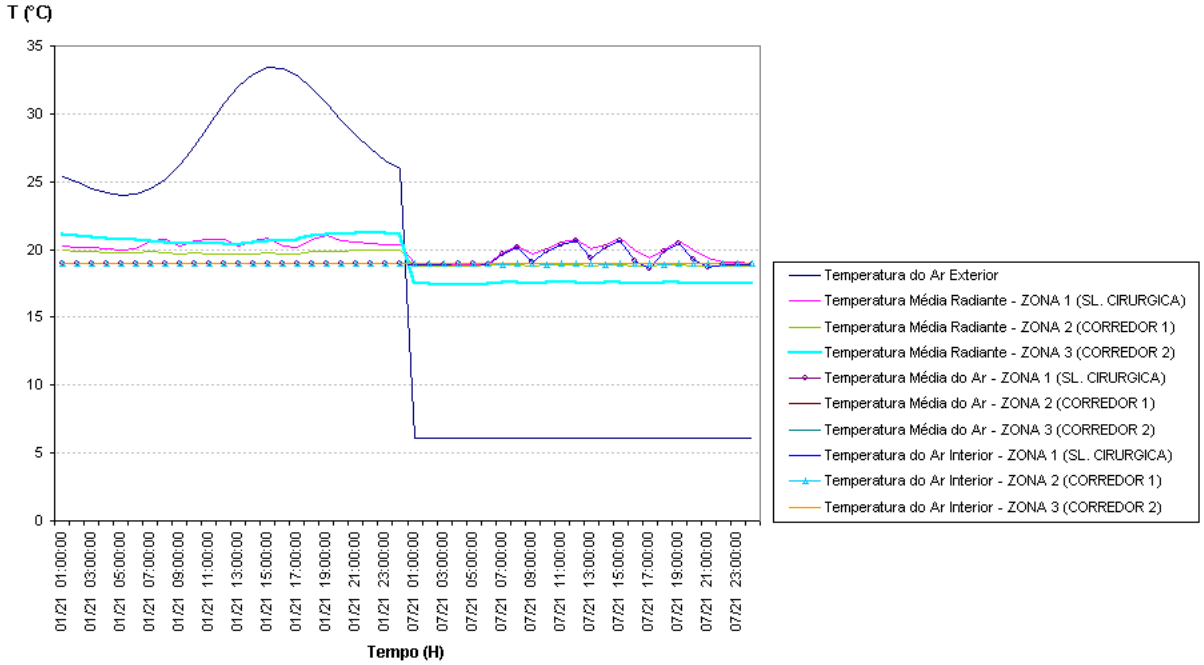


Figura 5.6 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CA1SP

Analisando a figura 5.5, verificou-se que no caso C2CA1, para o dia de verão, a maior TMR ocorreu no corredor 2 para a cidades de Porto Alegre, o mesmo ocorrendo para as cidades de Belém e Recife. Para a cidade de São Paulo, em alguns momentos, a TMR do corredor foi menor que a da sala cirúrgica, como se verifica na figura 5.6. Na cidade de Brasília, a TMR do corredor 2 foi menor que a das outras cidades, desde as primeiras até o término da última cirurgia. As temperaturas médias e do ar interior mantiveram-se praticamente constantes. O corredor 1 apresenta TMR menor do que a da sala cirúrgica e que do corredor 2.

Para o dia de inverno, a TMR e a TMA da sala cirúrgica evoluem quase juntas. Para a cidade de Porto Alegre observa-se um aumento destas duas temperaturas com o início das cirurgias e, sua diminuição quando estas terminam. A TMR do corredor 2 fica abaixo da TMA e a do corredor 1, acompanha sua evolução.

O caso C2CS2 tem a evolução da temperatura muito parecida com o caso C2CA1, como se pode ser verificado nas figuras 5.7 e 5.8. A diferença está na TMR, por apresentar em todos os gráficos uma pequena redução.

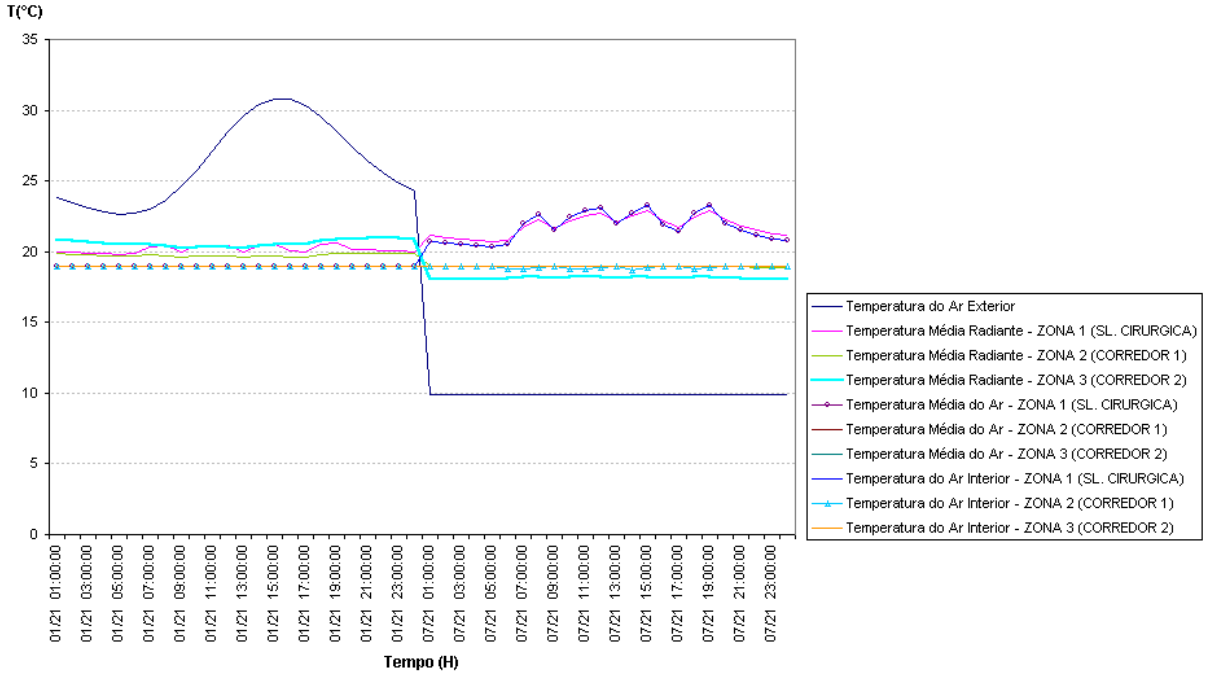


Figura 5.7 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CS2POA

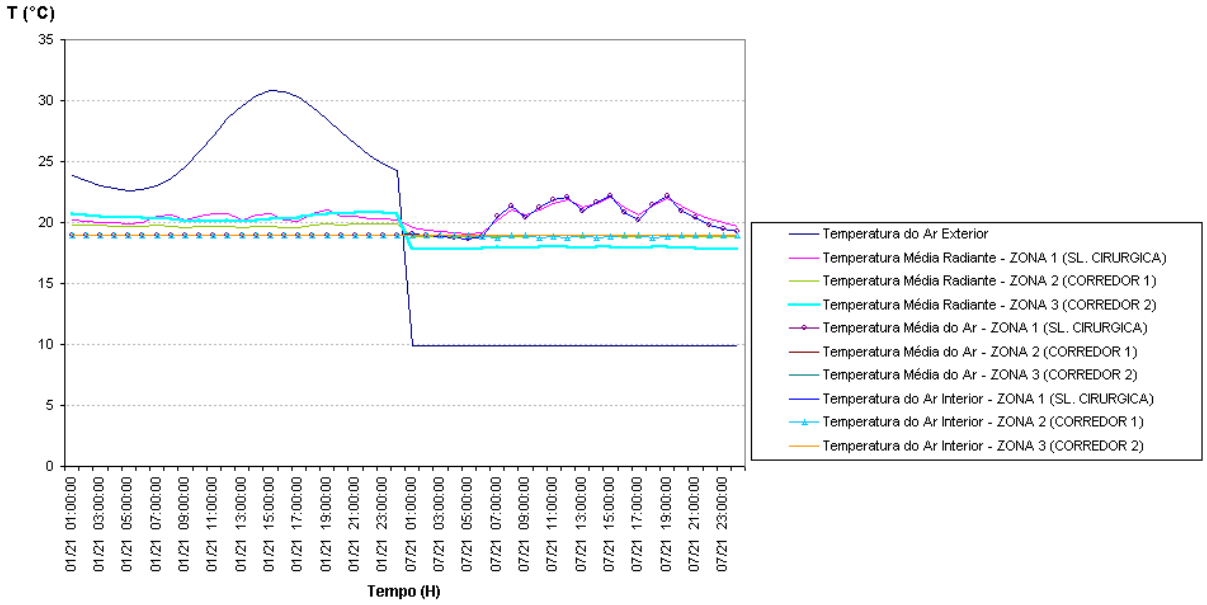


Figura 5.8 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C2CS2SP

Analisando os gráficos de temperatura do caso C3CA1 (figuras 5.9 e 5.10), observa-se que, para o dia de verão, a TMR da sala cirúrgica é a maior, seguida pela da antecâmara e a do corredor. As temperaturas médias dos ambientes permanecem praticamente sempre constantes, apresentando apenas uma pequena variação no corredor, na cidade de Porto Alegre, às 19:00 horas, sendo que este comportamento se repete na cidade de Recife. O fato de haver um aquecimento apenas no corredor está relacionado ao número de trocas do ar por hora.

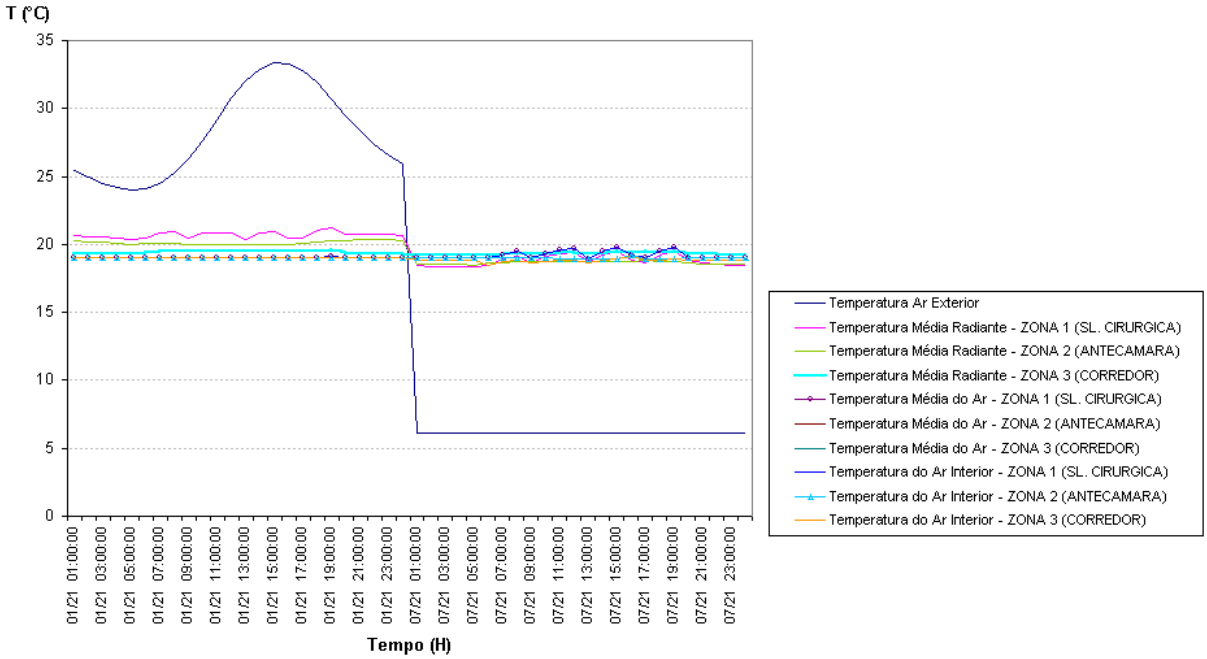


Figura 5.9 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CA1POA

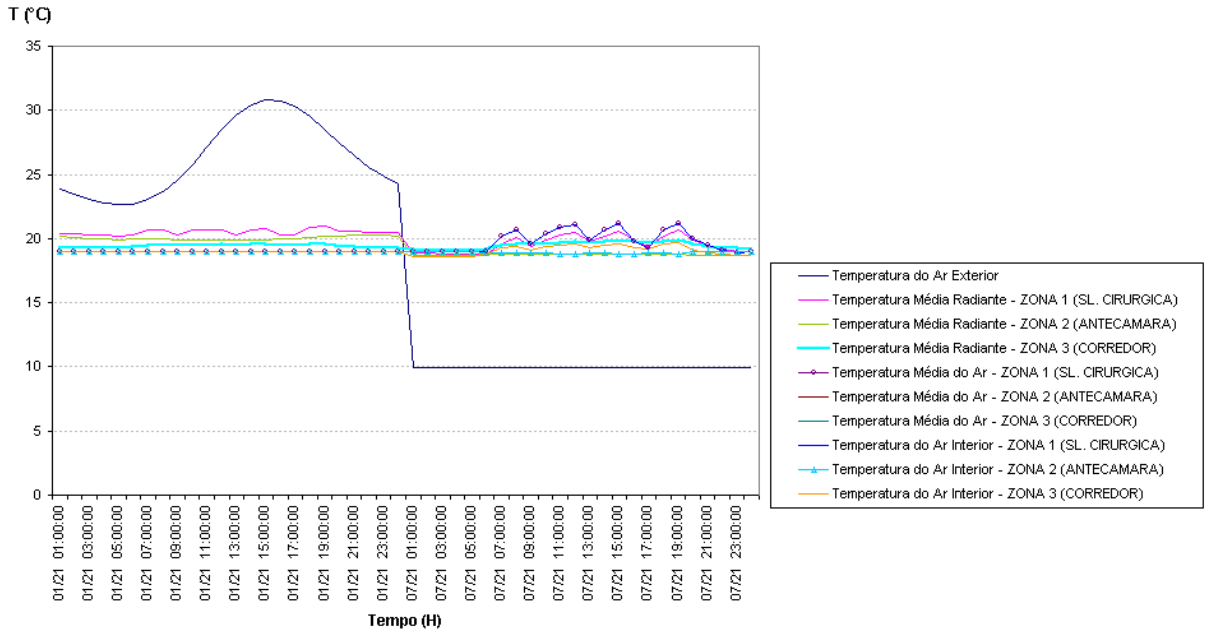


Figura 5.10 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CA1SP

Tanto no verão como no inverno, as temperaturas do corredor e da antecâmara têm a evolução similar. Porém, elas apresentam um aumento de temperatura no inverno, devido ao fato do termostato estar fixado em 24°C e não em 19°C como no verão. No inverno, a temperatura média do ar da sala cirúrgica é superior à TMR, para todas as cidades analisadas. Na cidade de Porto Alegre, as TMR e TMA apresentam comportamentos bem parecidos, com

pouca variação e, mesmo com o termostato fixado em 24°C, mantiveram-se próximas dos 19°C.

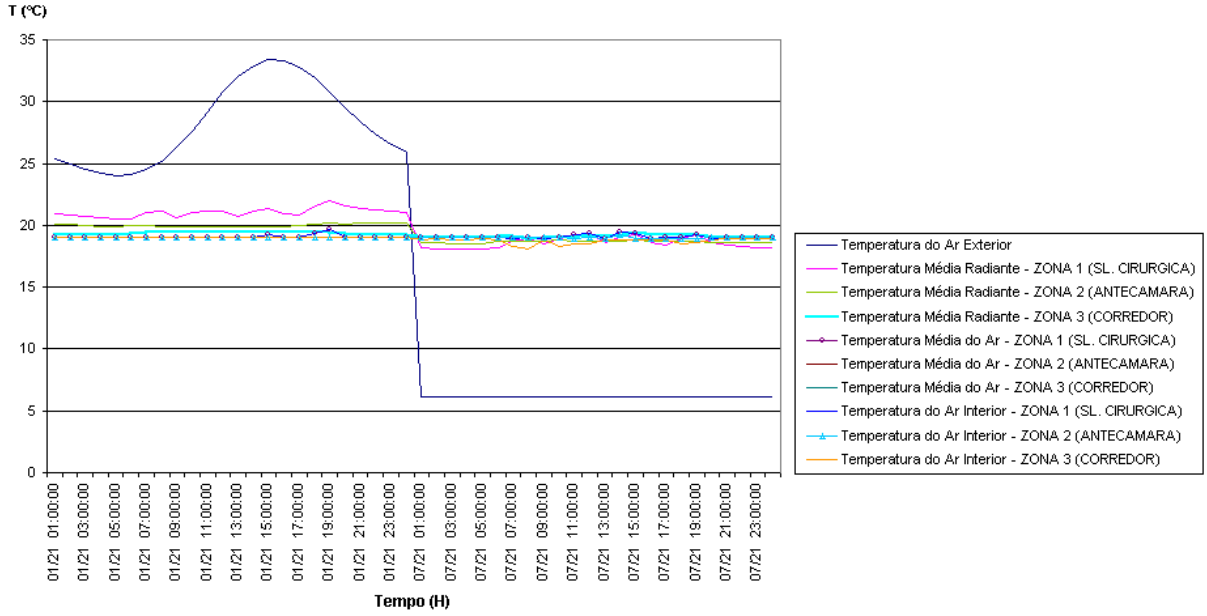


Figura 5.11 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CSPOA

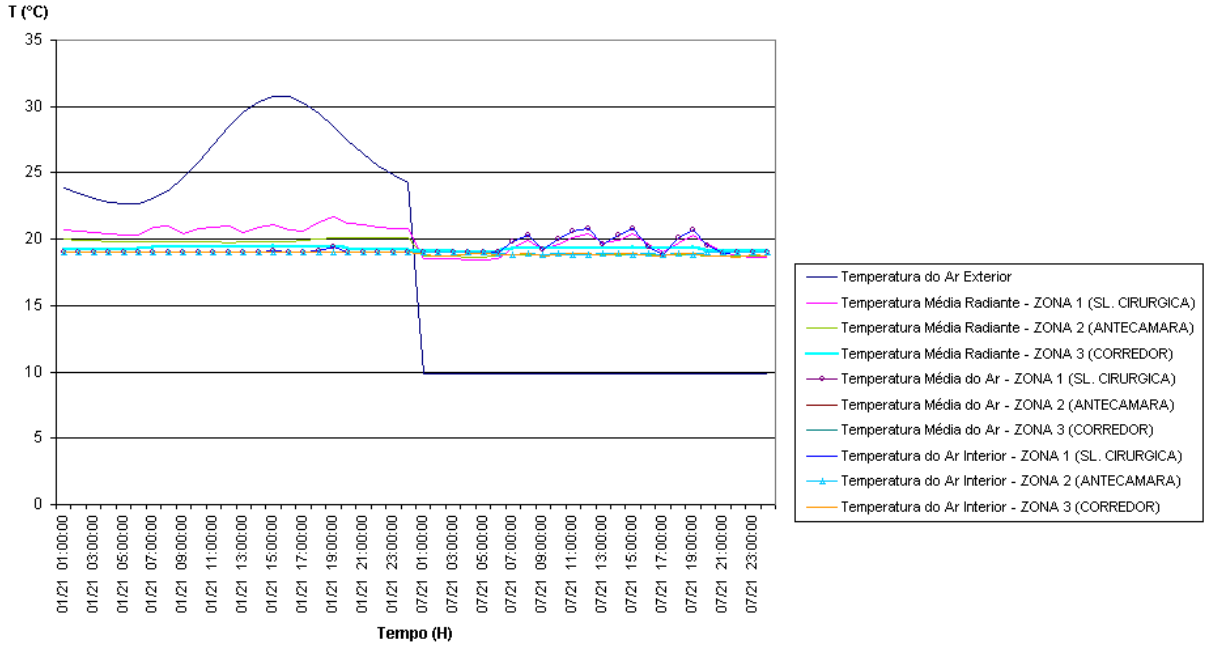


Figura 5.12 - Temperaturas encontradas nos Dias de Projeto para o caso C3CS1SP

Analisando-se a figura 5.11, gráfico da cidade de Porto Alegre, observa-se que as temperaturas comportaram-se como citado no caso C3CA1, exceto às 19:00 horas, momento em que a TMA se alterou um pouco. Para o dia de verão Recife apresenta esta mesma alteração.

Na figura 5.12 verificou-se que o comportamento da temperatura no caso C3CS1 é muito parecido com o caso C3CA1. Observou-se um pequeno aumento na TMR da sala cirúrgica para a cidade de São Paulo no dia de verão e uma diminuição das temperaturas média dos ambientes na situação de inverno; fato este que se repetiu na cidade de Brasília. A TMR destas cidades ficou próxima dos 19°C. Nesta figura, as temperaturas dos ambientes também apresentam pequena alteração devido às oscilações do sistema controle.

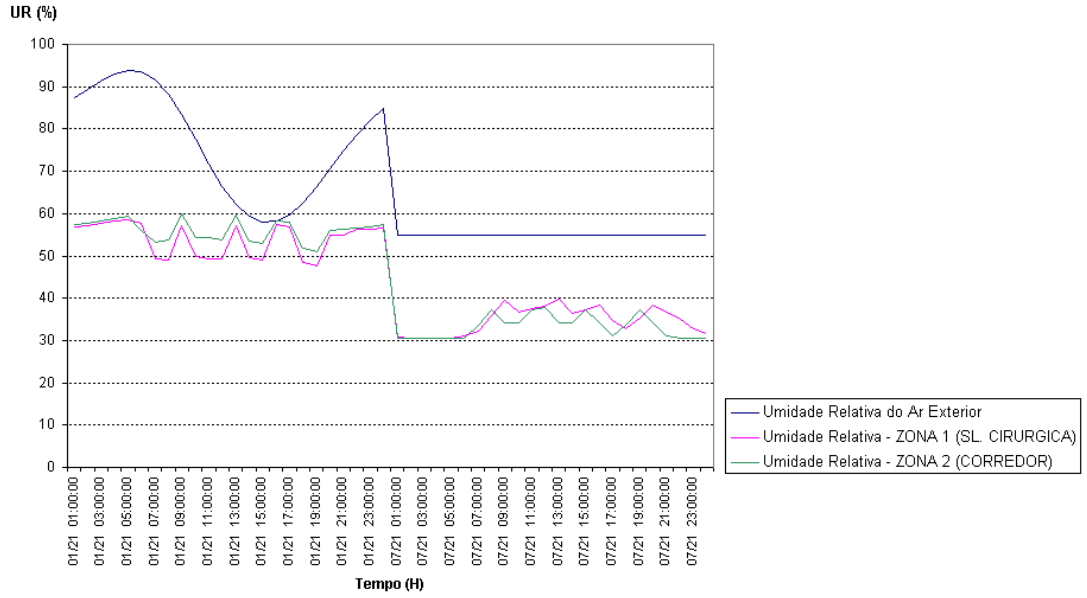
5.2. ANÁLISE DA UMIDADE RELATIVA

A análise dos gráficos de UR tem como objetivo verificar se a umidade esteve sob controle. Em 82,76% dos casos analisados, verificou-se que a UR da sala cirúrgica e a do corredor "sujo" estavam acima dos 60%, havendo assim, a necessidade de desumidificação do ar, feita, neste caso, por meio da retirada da umidade pela serpentina.

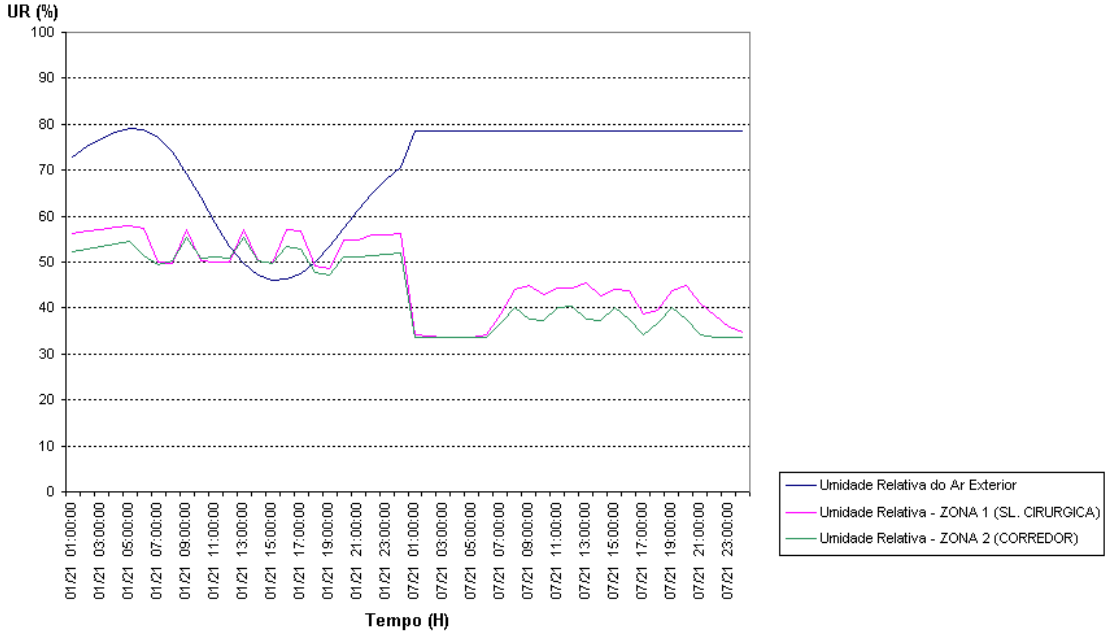
Nas figuras 5.21 a 5.24, na antecâmara e corredores limpos foi observado um pequeno aumento da UR, principalmente nos momentos em que não estavam ocorrendo cirurgias; porém, a diminuição da UR se fez necessária da mesma forma. Em ambientes cirúrgicos deve-se evitar umidade acima de 60%, que favorece o desenvolvimento de microorganismos. O controle da umidade foi feito da mesma maneira que nos outros ambientes já citados.

Quando a UR estiver abaixo do prescrito em norma, a sua porcentagem precisa ser aumentada, o que se faz retirando-se menos umidade pela serpentina ou implantando-se um umidificador. Porém, neste trabalho foi determinado que quando ocorresse UR abaixo dos 45% exigido em norma e, a uma taxa que não prejudicasse a saúde dos ocupantes, esta seria mantida. No caso da cirurgia envolver traumatismo na estrutura óssea e/ou na presença de queimaduras, a UR não poderá ficar abaixo das porcentagens exigidas no tratamento médico.

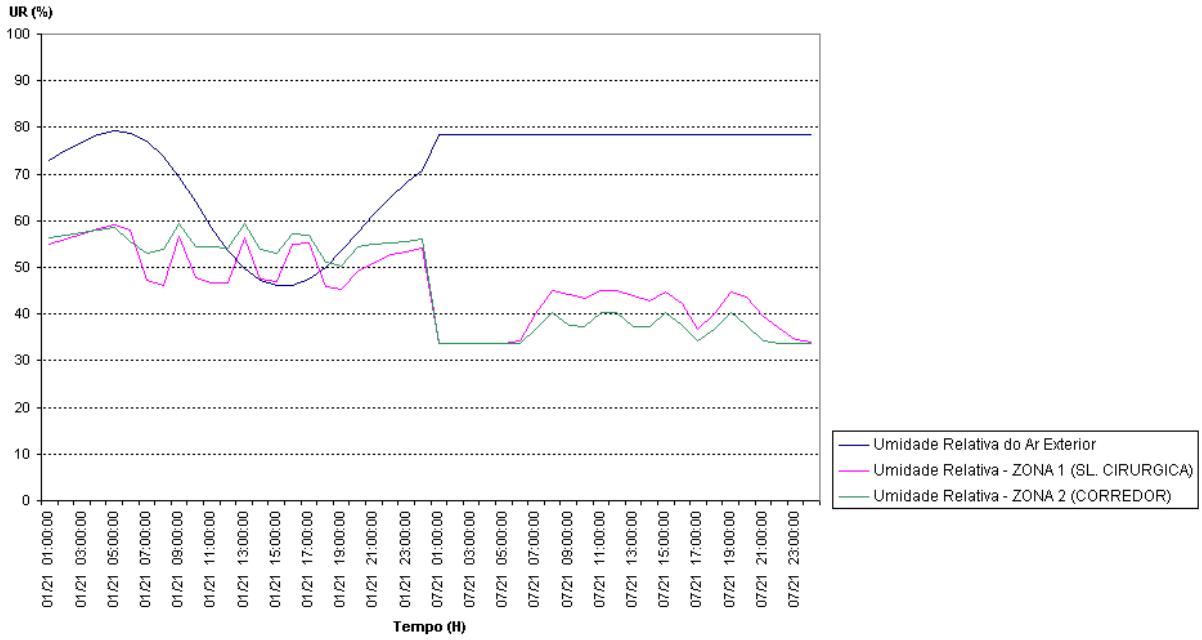
A evolução da UR acompanha os momentos de cirurgia, ou seja, a UR apresenta uma queda na sala cirúrgica de forma mais significante que nos demais ambientes nos intervalos entre as cirurgias, bem como no início e final do dia, quando a sala está em desuso. Estes detalhes citados acima podem ser observados nas figuras 5.13 a 5.24.



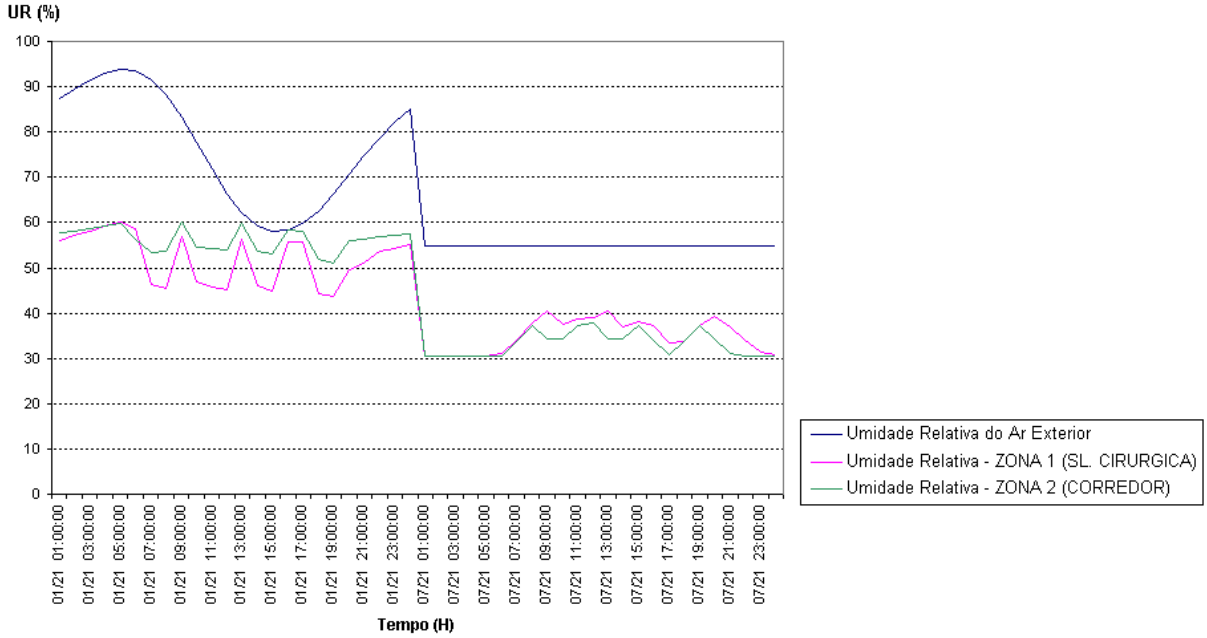
5.13 - Umidade Relativa encontrada no caso C1CA2POA, para um Dia de Projeto



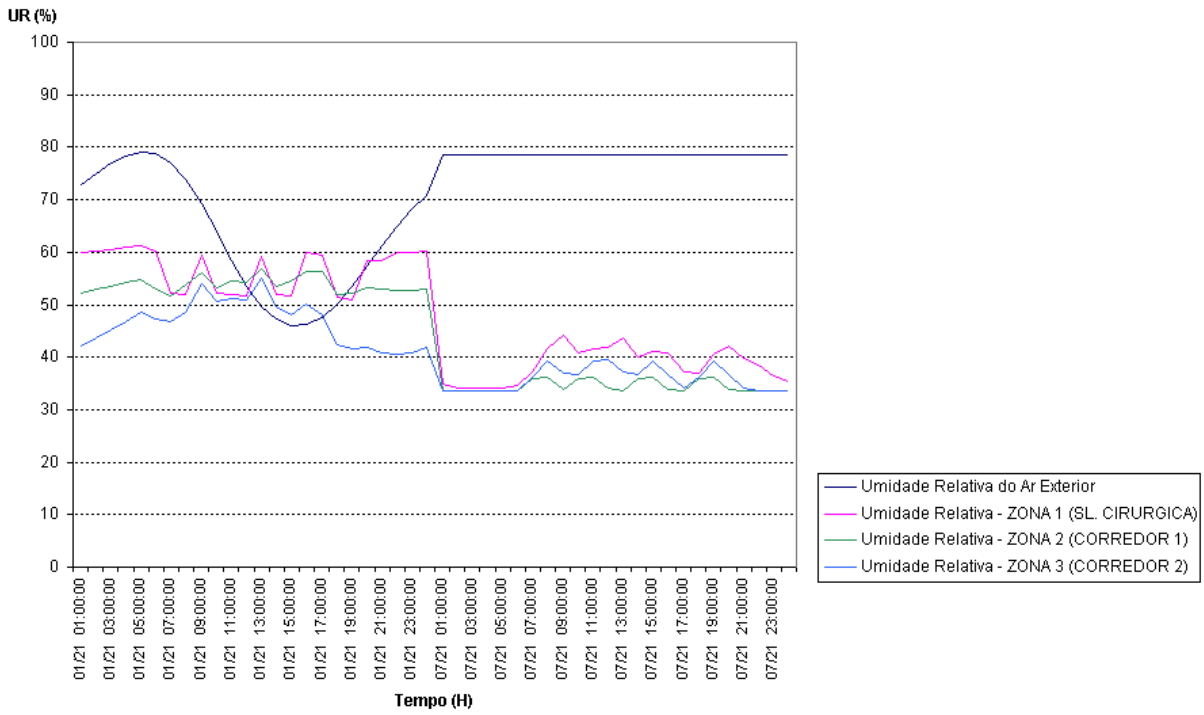
5.14 – Umidade Relativa encontrada no caso C1CA2SP, para um Dia de Projeto



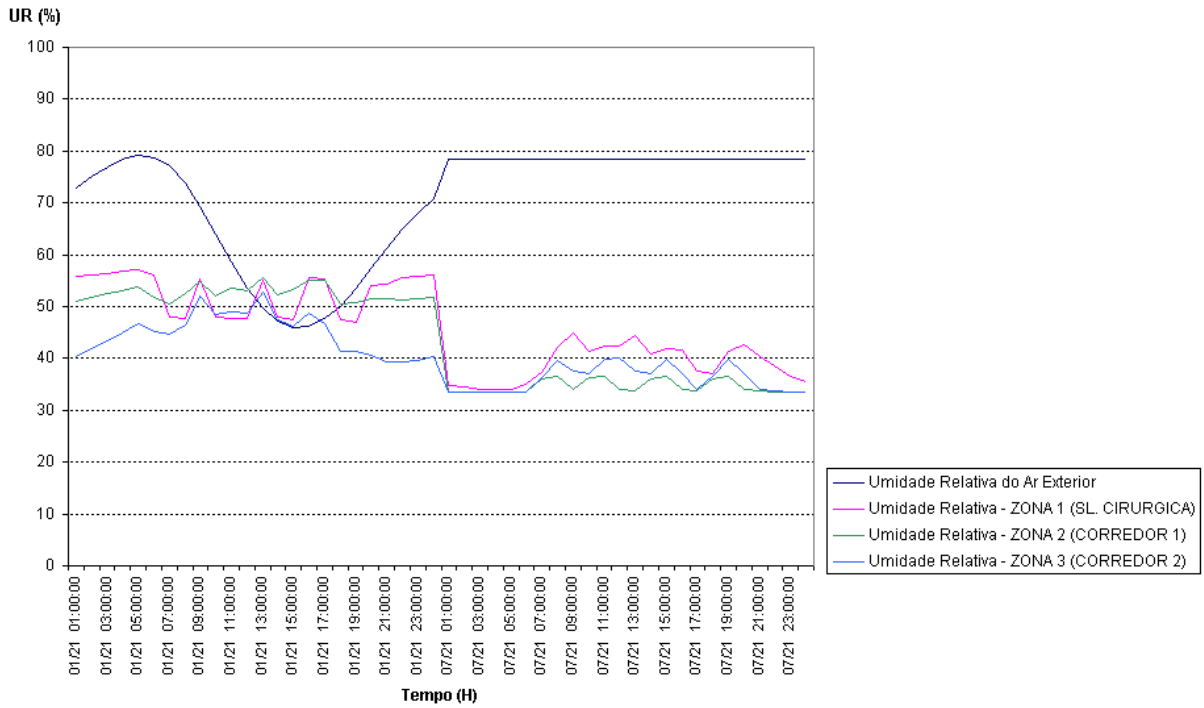
5.15 - Umidade Relativa encontrada no caso C1CS2POA, para um Dia de Projeto



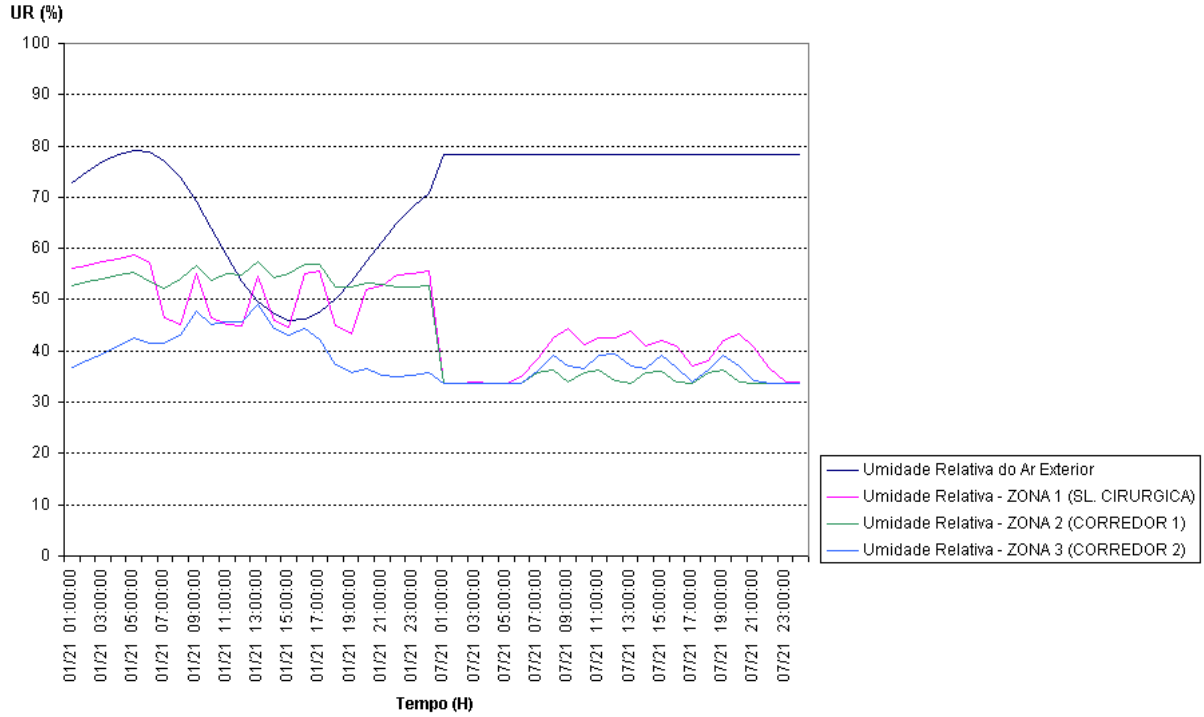
5.16 - Umidade Relativa encontrada no caso C1CS2SP, para um Dia de Projeto



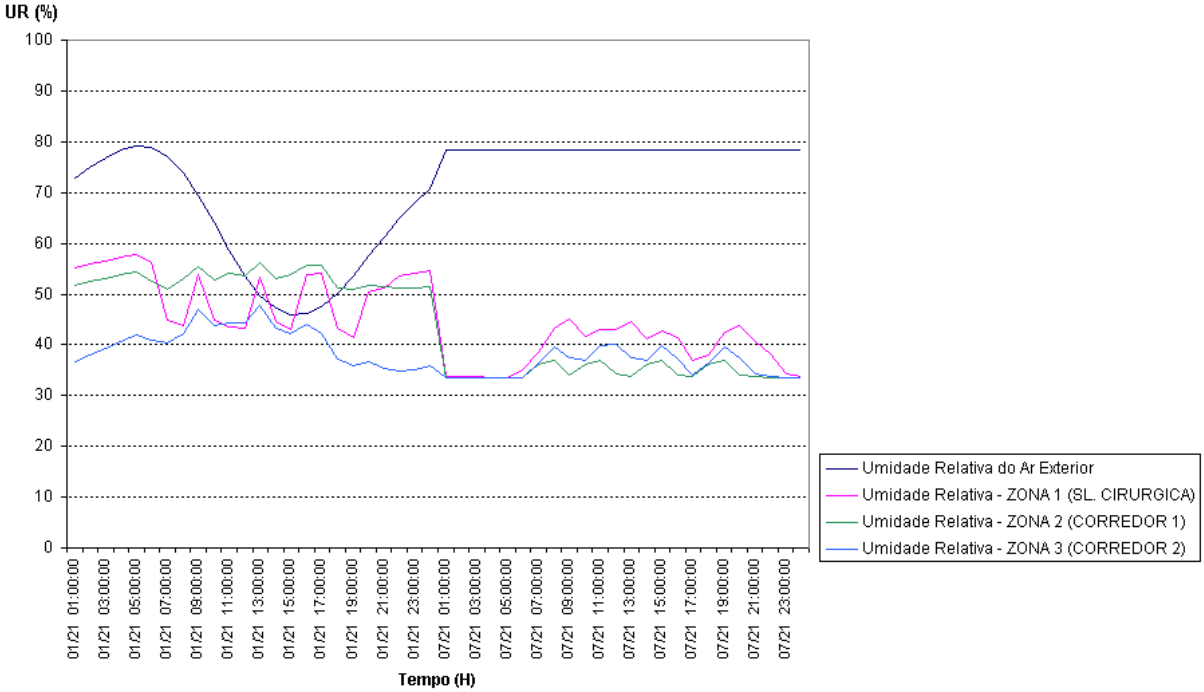
5.17 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CA21POA, para um Dia de Projeto



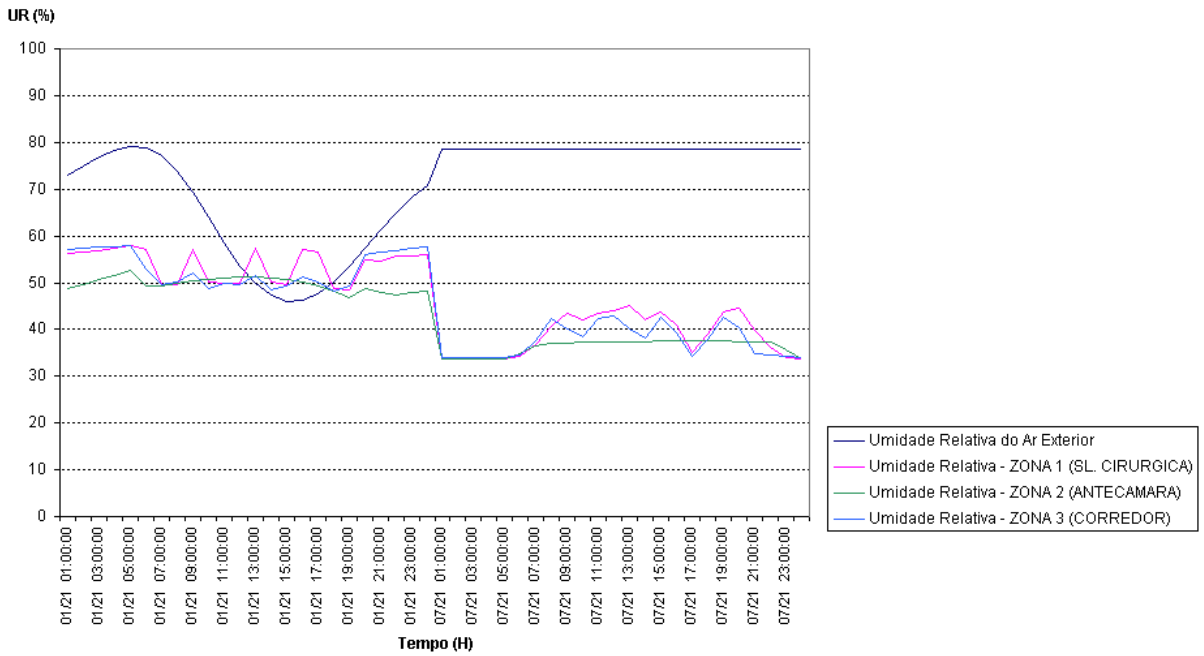
5.18 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CA1SP, para um Dia de Projeto



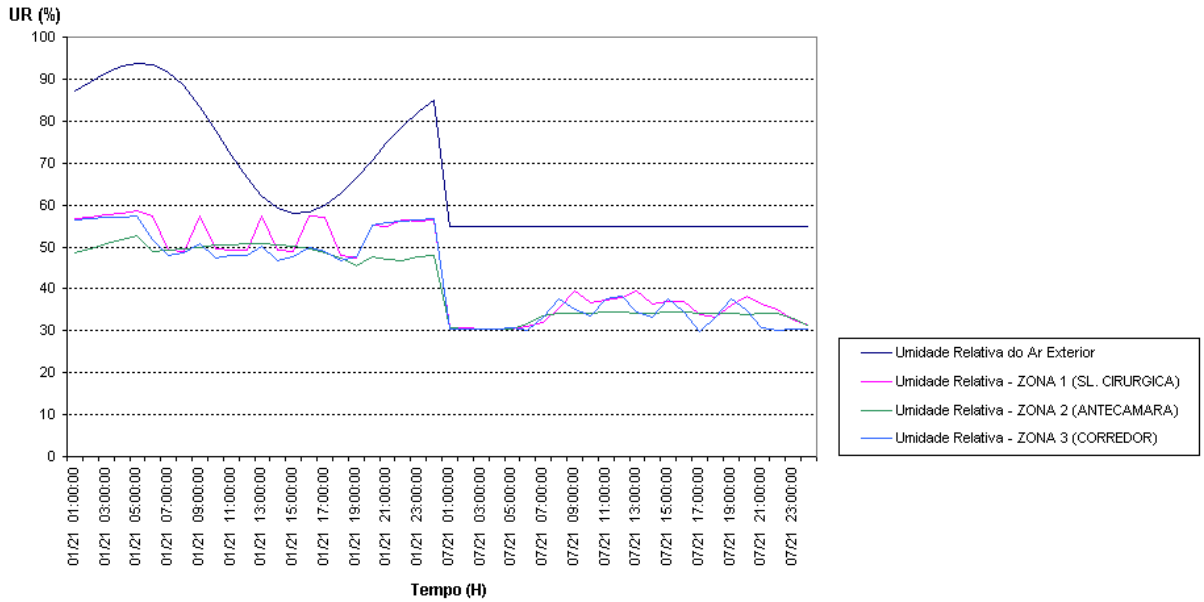
5.19 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CS2POA, para um Dia de Projeto



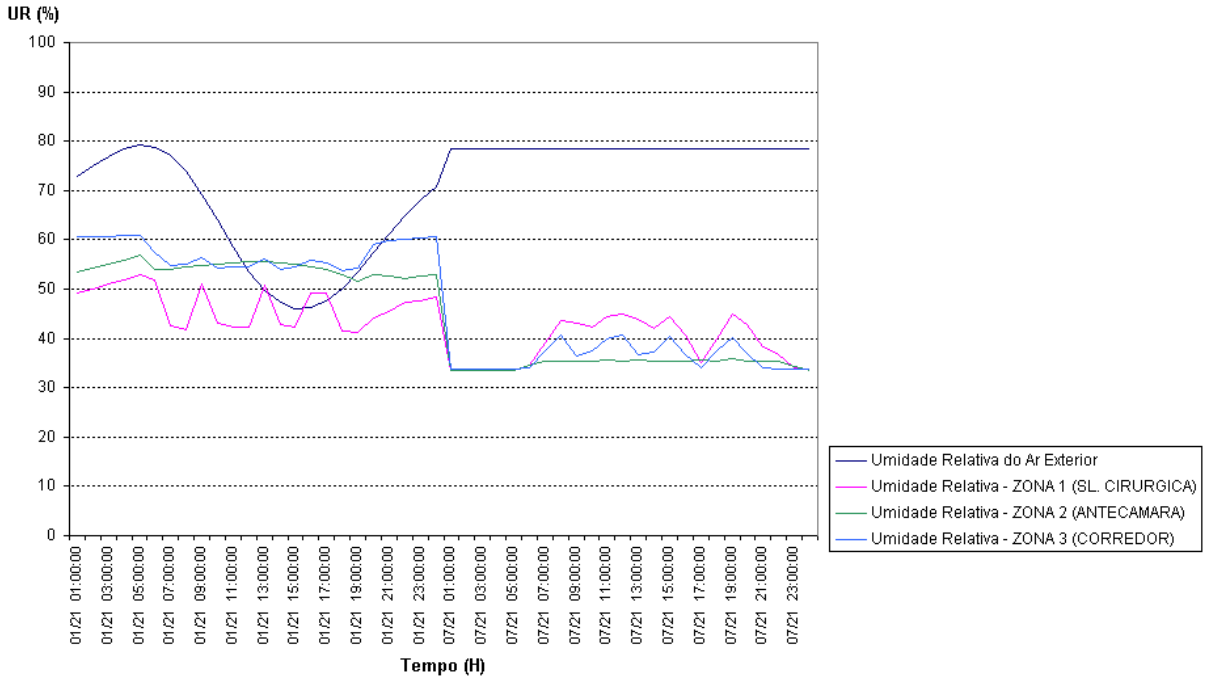
5.20 - Umidade Relativa encontrada no caso C2CS2SP, para um Dia de Projeto



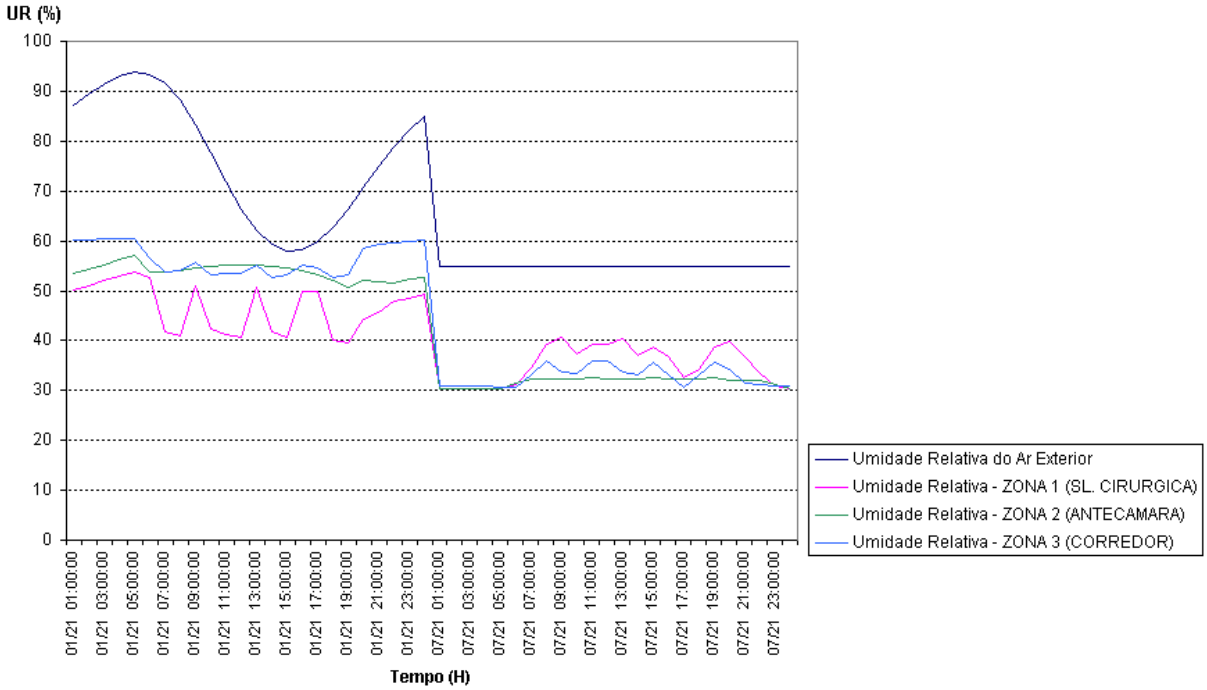
5.21 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CA1POA, para um Dia de Projeto



5.22 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CA1SP, para um Dia de Projeto



5.23 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CS1POA, para um Dia de Projeto



5.24 - Umidade Relativa encontrada no caso C3CS1SP, para um Dia de Projeto

5.3. ANÁLISE DO VOTO MÉDIO PREVISTO

Na análise dos gráficos do Voto Médio Previsto (PMV), como já citado anteriormente, serão apresentados apenas os gráficos referentes às cidades de Porto Alegre e de São Paulo.

Nos casos C1CA2 e C1CS2, representados pelas figuras 5.25 a 5.28, o PMV é quase sempre constante em todos eles. O PMV apresenta pequenas variações, dependendo das condições climáticas da cidade e do tipo de layout, porém, não alterando a sensação térmica. Nas situações de verão e inverno, o comportamento do PMV é muito parecido. Baseando-se na escala de PMV:

- o paciente encontra-se em baixa produção energética, perdendo mais calor que produz. Caso não estivesse anestesiado, a sensação térmica que estaria sentindo seria de extremo frio. O paciente encontra-se em situação delicada, sendo preciso aquecê-lo sempre que possível.
- a cirurgiã, a enfermeira auxiliar e a enfermeira instrumentadora apresentam a sensação térmica equivalente a levemente mornos, pela escala PMV.
- a anestesista encontra-se, segundo escala PMV, com sensação de frio.
- enfermeira circulante, pessoas circulando no corredor, e equipe de preparo, apresentam a sensação térmica equivalente a levemente frio.

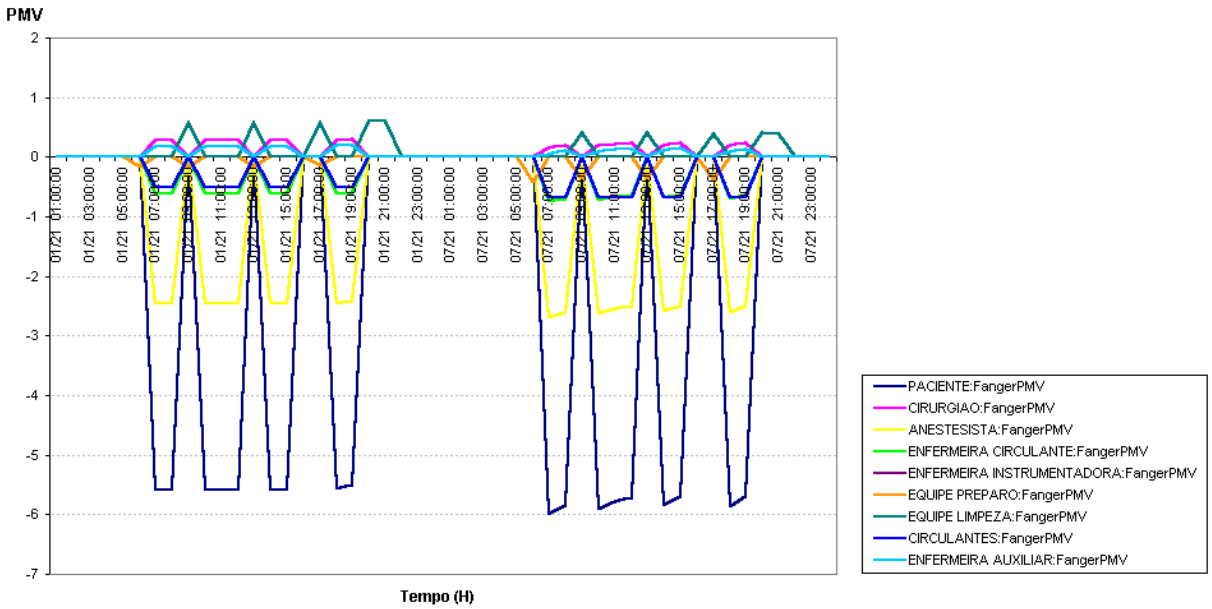


Figura 5.25 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CA2POA

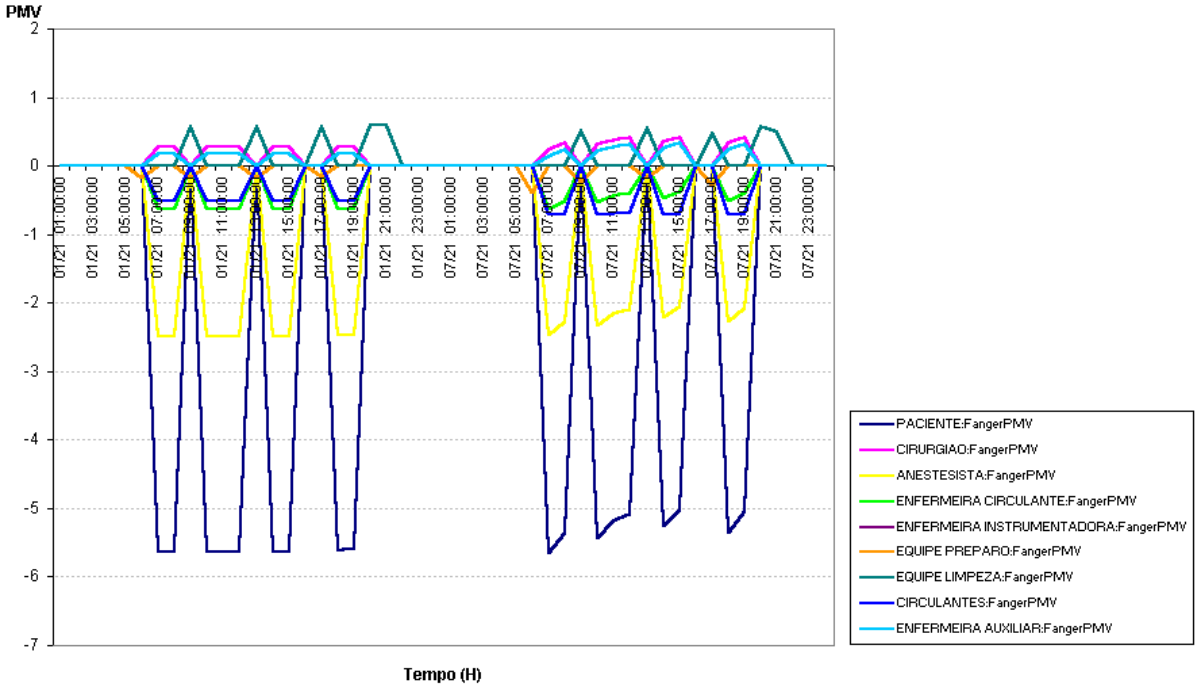


Figura 5.26 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CA2SP

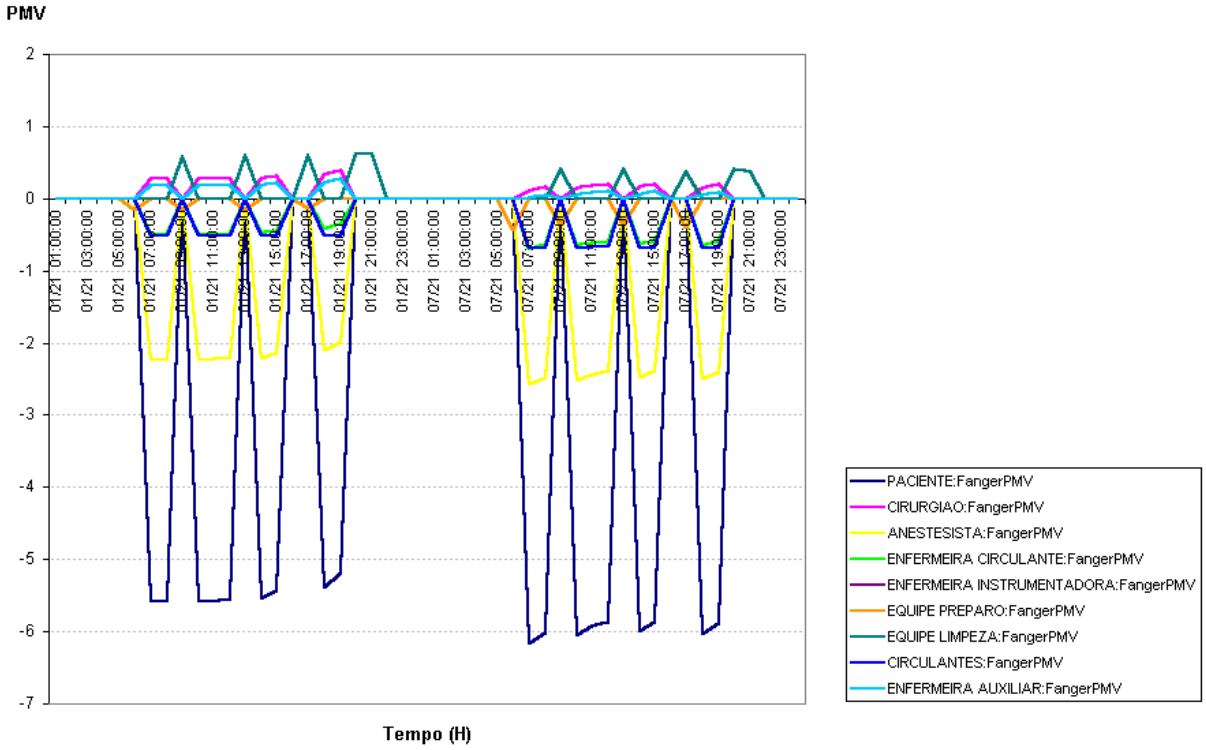


Figura 5.27 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CS2POA

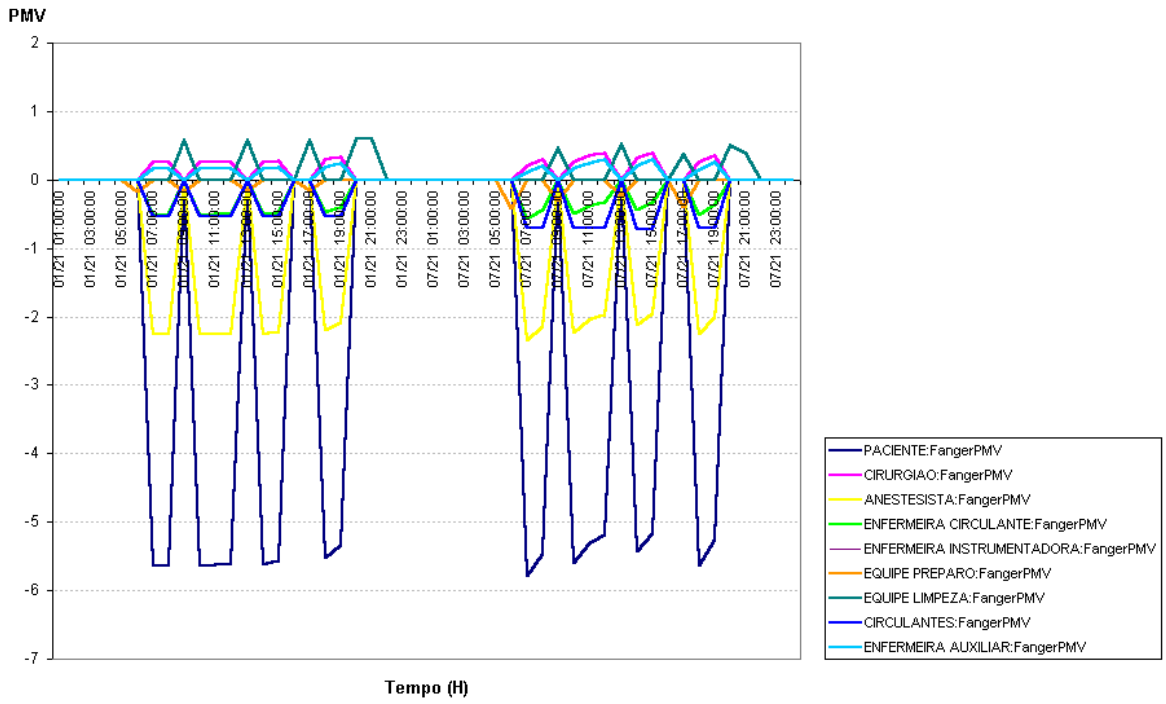


Figura 5.28 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C1CS2SP

Nos gráficos do caso C2CA1, a evolução do PMV é muito parecida com a dos casos C1CA2 e C1CS2. Porém, nos casos em que os ambientes apresentaram baixa UR e alta TMR, tiveram seus PMV um pouco alterados. Observando as figuras 5.29 e 5.30, o paciente apresenta na maioria dos casos um PMV por volta de –5, enquanto na cidade de São Paulo é de aproximadamente –4. Na cidade de Brasília, não representada graficamente, apresentou como valor mínimo –3 e máximo de –4.

Continuando a análise das figuras 5.29 e 5.30, as pessoas que se encontram com sensação de desconforto térmico são o paciente e a anestesista. Os demais estão pouco desconfortáveis. Um detalhe interessante que ocorre com a equipe de preparo, é que na cidade de São Paulo (figura 5.30), no inverno, ela encontra-se com um pouco de calor, contrario a sua situação de verão; este fato justifica-se por não haver resfriamento do ar nos intervalos das cirurgias e por estar usando o corredor “limpo” que não ter uma pequena superfície em contato com o ar exterior. A enfermeira circulante, como pode ser observado na figura 5.30 no dia de inverno, encontra-se praticamente em conforto.Os circulantes na zona 2 (corredor “sujo”) apresentam, na escala PMV, melhor situação de conforto no verão que nas condições de inverno. As cidades de Brasília, Recife e Belém, não representadas graficamente, tiveram o comportamento do PMV muito parecido com a cidade de São Paulo nas condições de verão; enquanto Brasília, nas condições de inverno, o paciente e a anestesista tiveram uma pequena alteração no PMV, porém, não mudando sua sensação térmica.

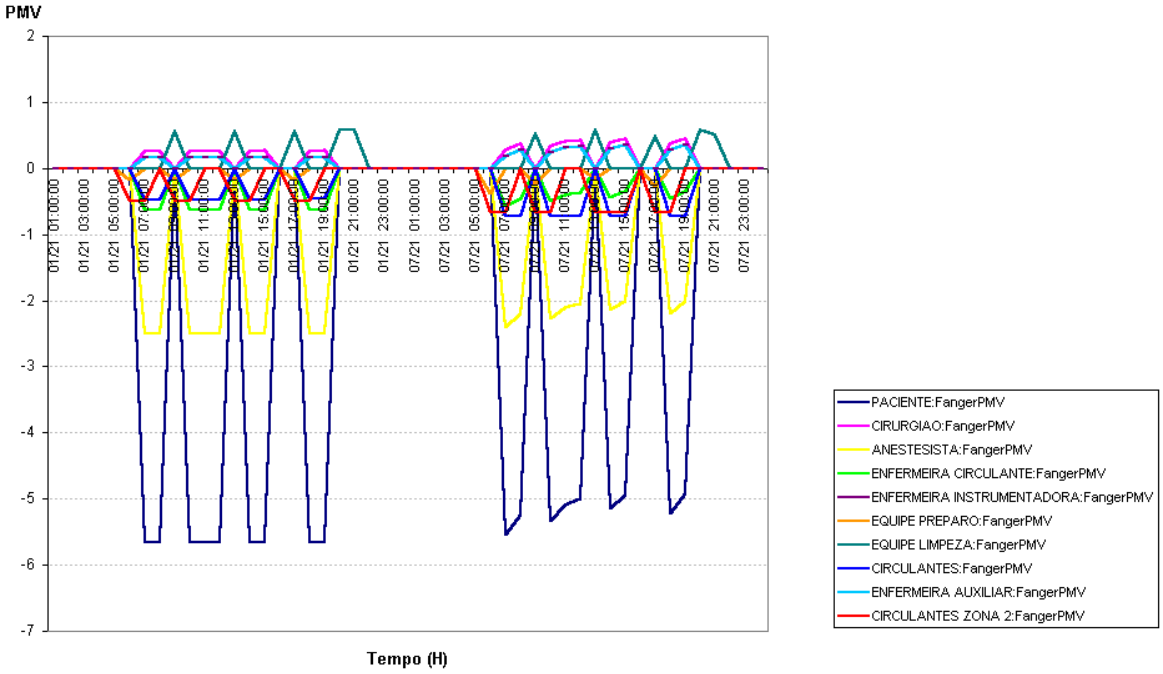


Figura 5.29 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CA1POA

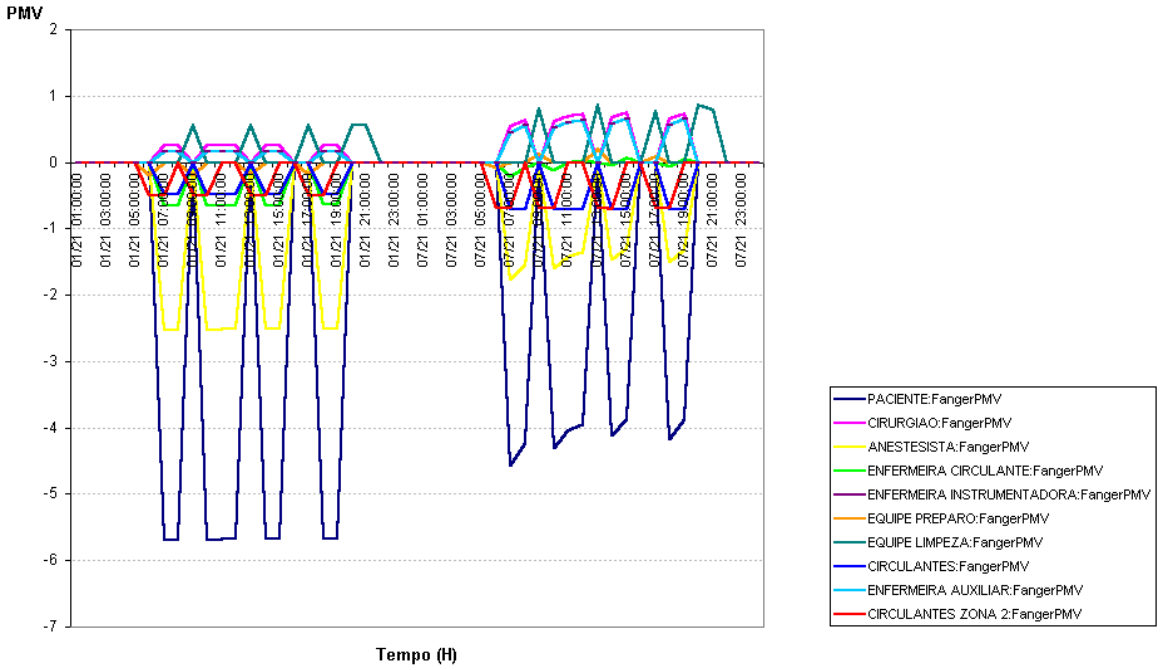


Figura 5.30 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CA1SP

Nas figuras 5.31 a 5.32, são apresentados os PMV do caso C2CS2. Estes casos apresentam uma particularidade em relação aos casos C2CA1, para todas as cidades, no inverno e no verão, onde as pessoas que circulam pela zona 2 (corredor “sujo”) encontram-se

na situação de conforto. A equipe de preparo nas condições de verão esteve, pode se dizer, em conforto térmico e, no inverno de Porto Alegre muito próximo do ponto zero (0). A enfermeira circulante este em conforto durante o inverno, na cidade de Porto Alegre um pouco desconfortável no inverno e próxima do conforto no inverno em São Paulo. A demais pessoas analisadas estão na mesma situação de desconforto citada no caso C1CA2. Na cidade de Brasília, os ocupantes apresentaram o mesmo comportamento que na cidade de São Paulo. Recife e Belém, no dia de verão, apresentaram os gráficos com comportamento parecido ao da cidade de Porto Alegre.

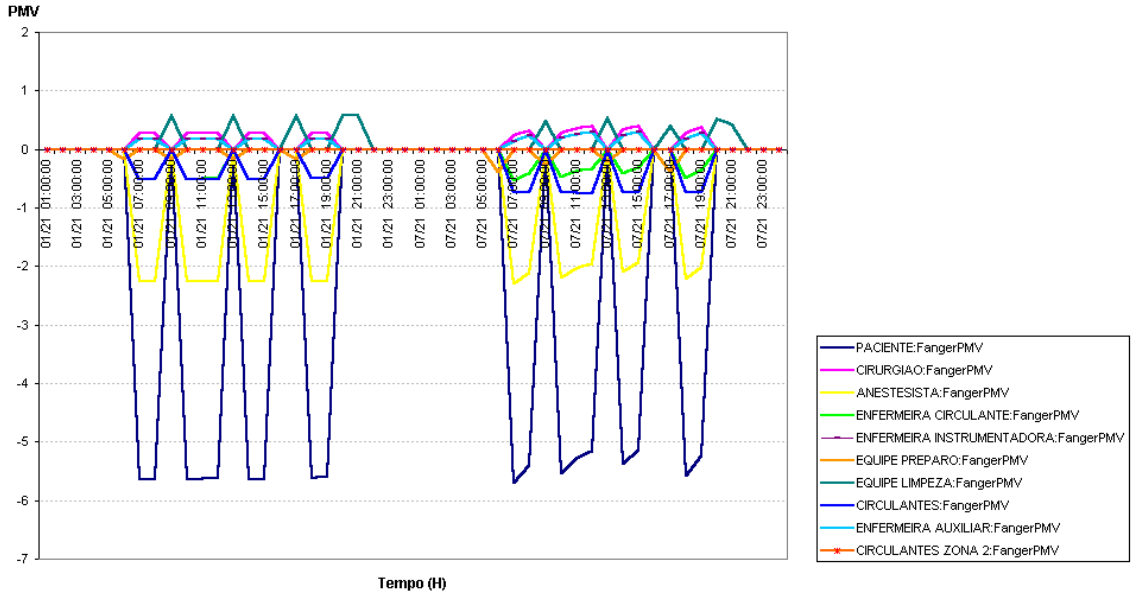


Figura 5.31 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CS2POA

Observando as figuras 5.33 e 5.34, uma característica que aparece é que no inverno as pessoas que estavam em desconforto por causa do frio nos outros casos analisados até aqui, tiveram esta sensação acentuada na cidade de Porto Alegre. Outra particularidade verificada no caso C3CA1, foi que as pessoas que entraram na antecâmara permaneceram com o PMV representado por uma constante. A constância do PMV foi devido ao fato de ser declarado no programa *Energy Plus* várias pessoas entrando na antecâmara, porém cada uma participando apenas com 0,25 (número de pessoas / hora), ou seja, permanecendo pequeno intervalo de tempo no ambiente. Belém, Brasília e Recife, no dia de verão, apresentaram o mesmo comportamento do PMV da cidade de São Paulo, e no inverno, Brasília comportou-se como a cidade de São Paulo.

O comportamento do PMV nas figuras 5.35 e 5.36 apresenta a mesma evolução dos casos C3CA1, comparando cada um com a cidade respectiva.

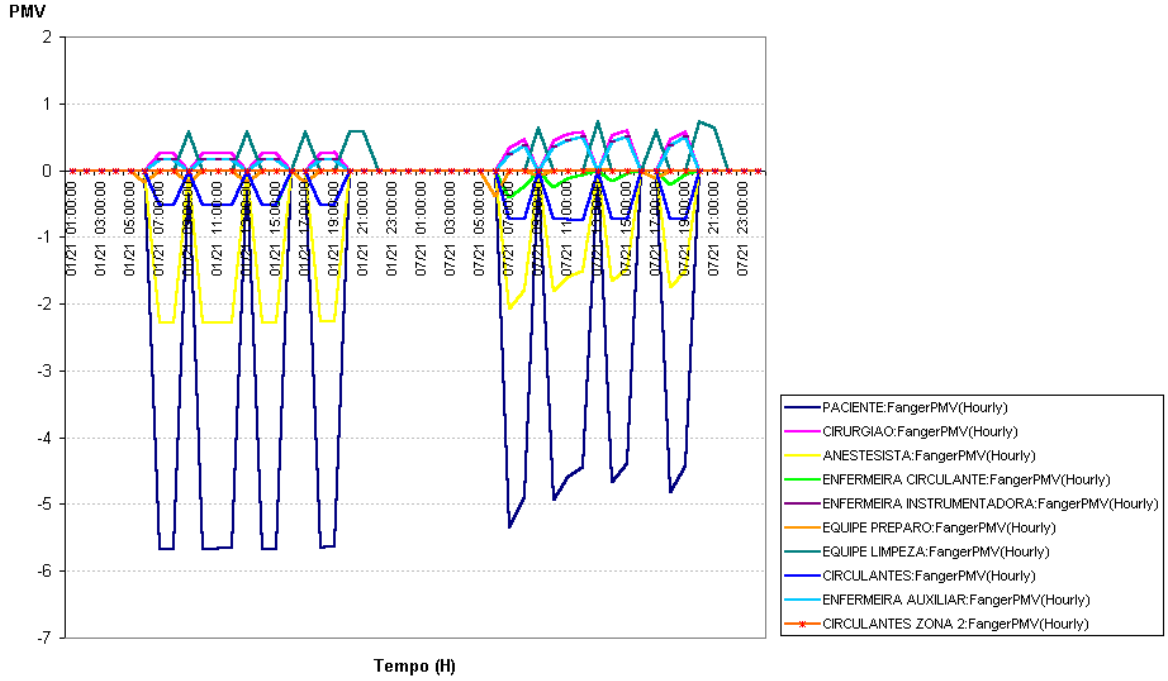


Figura 5.32 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C2CS2SP

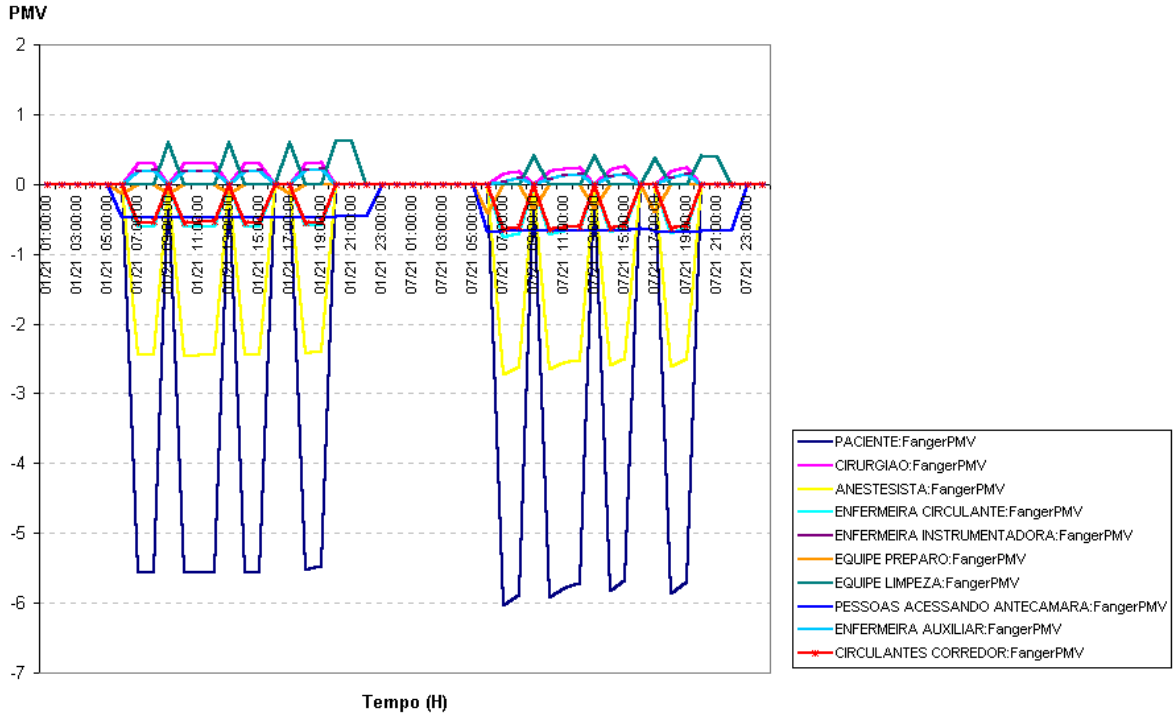


Figura 5.33 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CA1POA

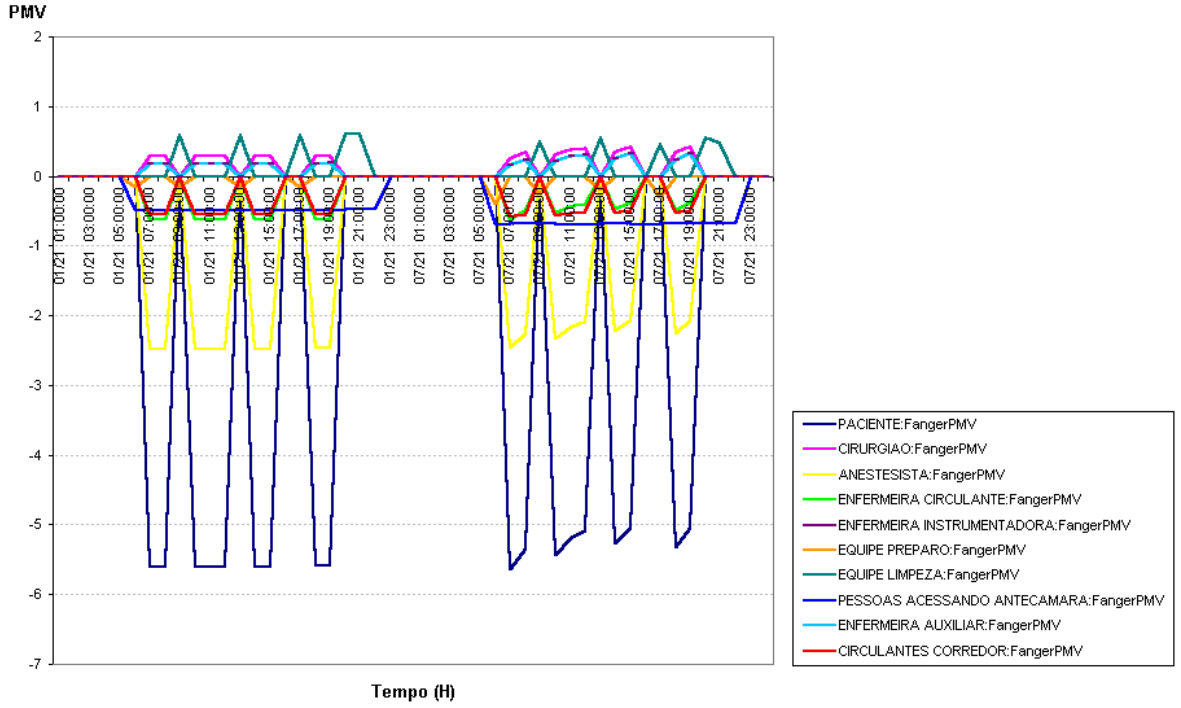


Figura 5.34 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CA1SP

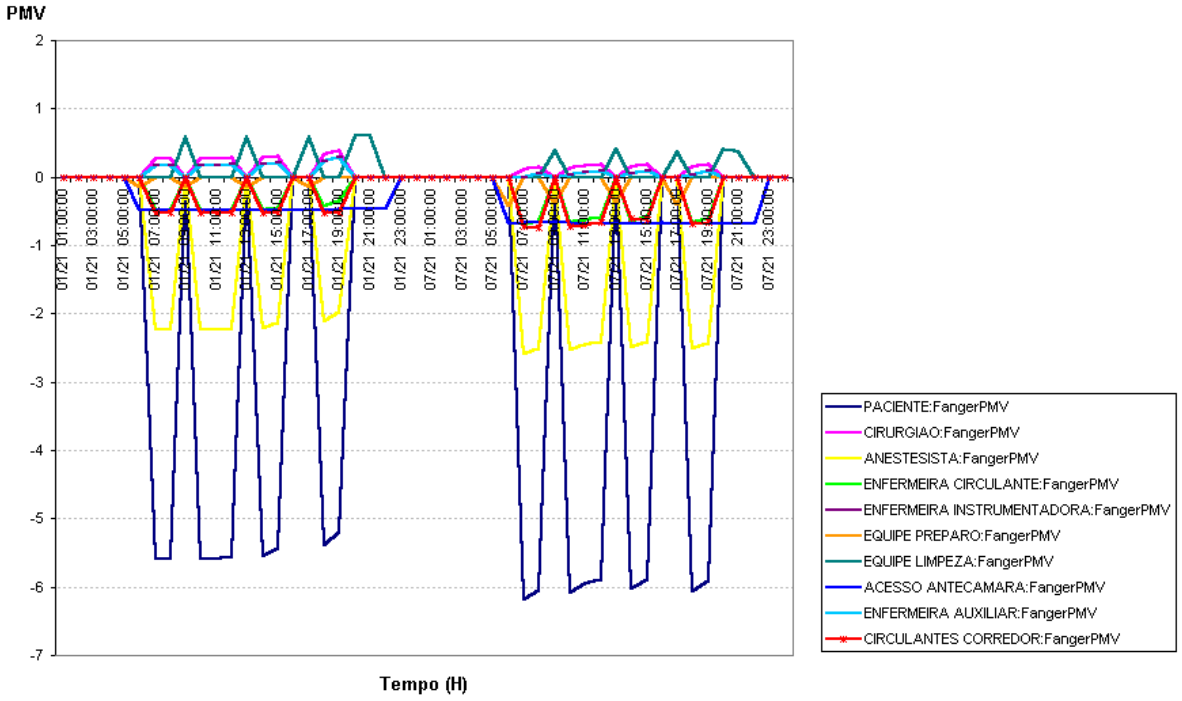


Figura 5.35 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CS1POA

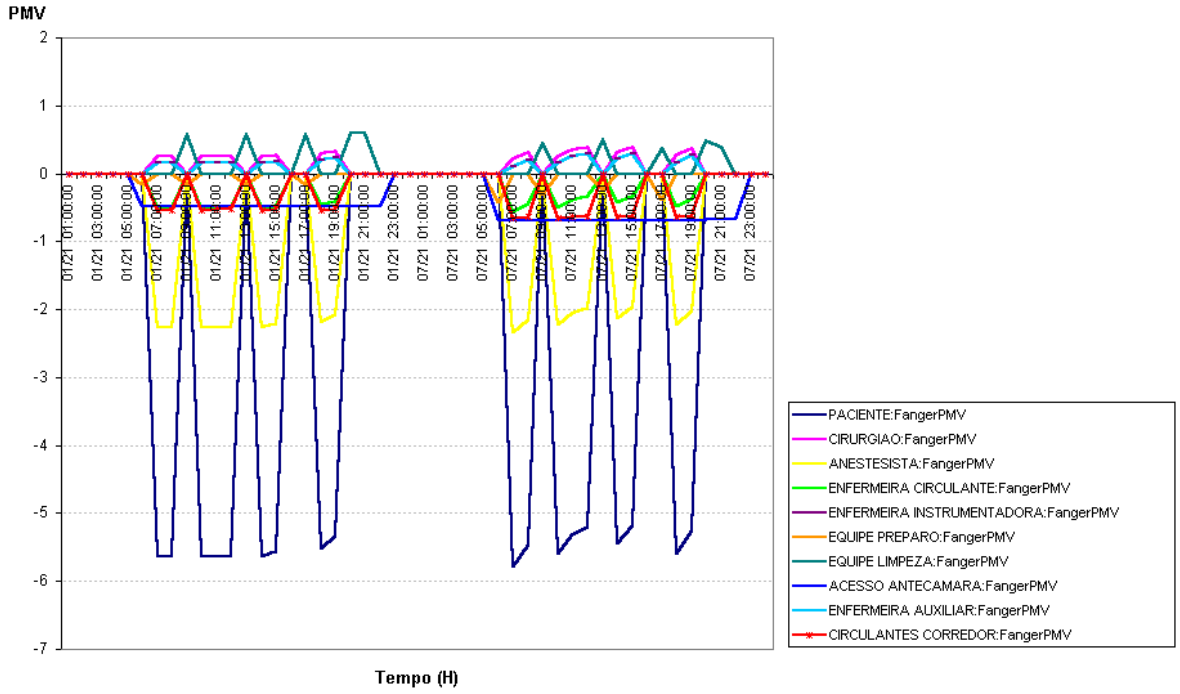


Figura 5.36 - PMV no dia de verão e de inverno do caso C3CS1SP

5.4. ANÁLISE DA POTÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS

Nas tabelas 5.01 a 5.14, foram apresentadas as potências máximas dos *fan-coils* e do resfriamento e aquecimento da água.

Em todos os casos analisados, houve a necessidade de resfriamento dos ambientes no dia de verão, e resfriamento e aquecimento nos dias de inverno.

O resfriamento dos ambientes para o dia de verão foi feito pela passagem do ar pela serpentina de água gelada; enquanto que no inverno, com o insuflamento do ar exterior frio e em alguns momentos com o ar exterior passando pela serpentina de água gelada. Os ambientes necessitaram de resfriamento devido aos ganhos térmicos por parte da edificação e por causa do deslocamento de pessoas, equipamentos, iluminação e condições climáticas da cidade, e conforme as características meteorológicas do dia de projeto escolhido.

O aquecimento dos ambientes, necessário para o dia de inverno nas horas em que a sala esteve em desuso, foi feito com o ar passando pela serpentina de água quente. Quando a sala cirúrgica esteve em uso, ela e os ambientes contíguos tiveram um ganho de calor, necessitando assim, de pouco aquecimento pelo *fan-coil* no dia de inverno.

Analisando as potências dos três casos – Casos 1, 2 e 3 – o ambiente que mais desempenho exigiu dos equipamentos de climatização foi a sala cirúrgica, tanto nas condições de verão como nas de inverno.

Para melhor compreensão das tabelas 5.01 a 5.14, citar-se-ão os equipamentos e a que ambientes atendem:

- *Fan-coil* 1: em todos os casos atendem às salas cirúrgicas.
- *Fan-coil* 2: no caso C1CA2, corresponde ao *fan-coil* que atende o corredor; no Caso 2, atende o corredor "limpo", e no Caso 3 a antecâmara.
- *Fan-coil* 3: no Caso 2 atende o corredor "sujo" e no Caso 3 ao corredor.
- Água gelada (*chiller* ou comprada) e água quente (aquecida por caldeira ou outro, ou comprada) são fornecidas aos três *fan-coils.*

TABELA 5.1 Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C1CA2

Caso C1CA2	**Fan-coil 1 - serpentina resfriadora**	**Fan-coil 2 - serpentina resfriadora**	**Chiller (água gelada - comprada)**
C1CA2Belem	16297,19	3975,43	19170,64
C1CA2DF	13242,14	2964,09	15006,40
C1CA2SP	13998,76	3193,41	16142,63
C1CA2Recife	15800,42	3712,31	18917,00
C1CA2POA	14161,2	3356,88	17456,73

TABELA 5.2 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C1CA2

Caso C1CA2	**Fan-coil 1- serpentina aquecedora**	**Fan-coil 2 - serpentina aquecedora**	**Aquecimento (água quente - comprada)**
C1CA2Belem			
C1CA2DF	316,73	432,41	747,81
C1CA2SP	841,80	531,55	1370,90
C1CA2Recife			
C1CA2POA	1149,68	888,24	3335,83

TABELA 5.3 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C1CS2

Caso C1CS2	**Fan-coil 1 -**	**Fan-coil 2 -**	**Chiller (água gelada -**

	serpentina resfriadora	serpentina resfriadora	comprada)
C1CS2Belem	15621,79	4096,07	18945,38
C1CS2DF	12462,47	2920,95	15180,09
C1CS2SP	13374,70	3255,08	16376,06
C1CS2Recife	14852,52	3886,71	18289,43
C1CS2POA	13272,20	3351,97	16767,32

TABELA 5.4 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C1CS2

Caso C1CS2	Fan-coil 1- serpentina aquecedora	Fan-coil 2 - serpentina aquecedora	Aquecimento (água quente - comprada)
C1CS2Belem			
C1CS2DF	1183,06	433,42	1613,61
C1CS2SP	1582,79	532,60	2111,67
C1CS2Recife			
C1CS2POA	3003,76	905,83	3902,88

TABELA 5.5 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C2CA1

Caso C2CA1	Fan-coil 1 - serpentina resfriadora	Fan-coil 2 - serpentina resfriadora	Fan-coil 3 - serpentina resfriadora	Chiller (água gelada - comprada)
C2CA1Belem	15460,08	5468,52	5591,57	24011,98
C2CA1DF	12527,89	3942,76	3923,90	18280,39
C2CA1SP	13327,52	4307,38	4587,40	20470,19
C2CA1Recife	14705,68	4942,72	5398,76	23279,50
C2CA1POA	13162,89	4342,41	4920,04	21451,74

TABELA 5.6 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C2CA1

Caso C2CA1	Fan-coil 1 - serpentina aquecedora	Fan-coil 2 - serpentina aquecedora	*Fan-coil 3 - serpentina aquecedora*	Aquecimento (água quente - comprada
C2CA1Belem				
C2CA1DF	0	439,99	911,87	1349,51
C2CA1SP	0	583,44	1156,65	1737,09
C2CA1Recife				
C2CA1POA	762,47	1116,89	1833,09	3706,18

TABELA 5.7 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C2CS2

Caso C2CS2	Fan-coil 1 - serpentina	Fan-coil 2 - serpentina	Fan-coil 3 - serpentina	Chiller (água

	resfriadora	resfriadora	resfriadora	gelada - comprada)
C2CS2Belem	15116,23	5482,55	5577,02	23641,20
C2CS2DF	12264,89	3987,87	3979,95	17708,06
C2CS2SP	12858,04	4311,35	4592,54	20059,28
C2CS2Recife	14578,31	4955,35	5330,68	23735,39
C2CS2POA	12741,13	4296,89	4938,34	20830,02

TABELA 5.8 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C2CS2

Caso C2CS2	Fan-coil 1 - serpentina aquecedora	Fan-coil 2 - serpentina aquecedora	*Fan-coil 3 - serpentina aquecedora*	Aquecimento (água quente - comprada)
C2CS2Belem				
C2CS2DF	0	511,54	1167,45	1676,07
C2CS2SP	0	630,13	1330,61	1957,36
C2CS2Recife				
C2CS2POA	1759,36	1132,88	1972,84	4856,86

TABELA 5.9 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C3CA1

Caso C3CA1	Fan-coil 1 - serpentina resfriadora	Fan-coil 2 - serpentina resfriadora	Fan-coil 3 - serpentina resfriadora	Chiller (água gelada - comprada)
C3CA1Belem	16145,87	3184,22	2797,95	20220,59
C3CA1DF	13203,17	2354,49	2167,28	15950,95
C3CA1SP	14125,87	2552,21	2276,94	17256,11
C3CA1Recife	15837,55	3070,16	2636,88	20274,14
C3CA1POA	14208,36	2565,52	2243,13	18491,53

TABELA 5.10 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C3CA1

Caso C3CA1	Fan-coil 1 - serpentina aquecedora	Fan-coil 2 - serpentina aquecedora	*Fan-coil 3 - serpentina aquecedora*	Aquecimento (água quente - comprada)
C3CA1Belem				
C3CA1DF	330,65	333,30	0	662,75
C3CA1SP	871,69	403,64	0	1273,04
C3CA1Recife				
C3CA1POA	2496,98	689,05	192,51	3372,58

TABELA 5.11 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C3CS1

Caso C3CS1	Fan-coil 1 - serpentina	Fan-coil 2 - serpentina	Fan-coil 3 - serpentina	Chiller (água gelada -

	resfriadora	resfriadora	resfriadora	comprada)
C3CS1Belem	15396,56	5055,41	3926,91	20826,15
C3CS1DF	12839,39	3766,70	3022,87	17070,53
C3CS1SP	13369,84	4104,85	3208,40	18310,26
C3CS1Recife	14845,88	5055,19	3817,70	20688,07
C3CS1POA	13277,55	4039,40	3296,46	19102,67

TABELA 5.12 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C3CS1

Caso C3CS1	**Fan-coil 1 - serpentina aquecedora**	**Fan-coil 2 - serpentina aquecedora**	*Fan-coil 3 - serpentina aquecedora*	**Aquecimento (água quente - comprada)**
C3CS1Belem				
C3CS1DF	1189,41	633,64	91,87	1911,54
C3CS1SP	1588,55	781,4	271,08	2603,20
C3CS1Recife				
C3CS1POA	3027,17	1261,40	675,86	4955,98

Observando-se as tabelas acima, é possível verificar que a maior potência encontrada no dia de verão foi na cidade de Belém, com exceção das tabelas 3.7 e 3.9 onde a maior potência foi na cidade de Recife. A maior potência no inverno foi verificada na cidade de Porto Alegre.

A menor potência total no dia de verão foi verificada nos seguintes casos:

- Belém, no caso C1CS2;
- Brasília, no caso C1CA2;
- São Paulo, no caso C1CA2;
- Porto Alegre, no caso C1CS2;
- Recife, no caso C1CS2;

A menor potência total no dia de inverno encontrada na cidade de Brasília foi no caso C3CA1, em São Paulo, no caso C3CA1, e em Porto Alegre, no caso C1CA2.

A menor potência encontrada nas salas cirúrgicas foi verificada nos Casos 2, como pode ser observado nas tabelas 5.5 a 5.8.

Os casos C2CA1, C2CS2 e C3CA1 apresentam algumas particularidades quando comparados ao Caso 1, como pode ser observado nas tabelas 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10. Nas cidades de Brasília e São Paulo, nos casos C2CA1 e C2CS2, o *fan-coil* 1 não utiliza a serpentina aquecedora; o mesmo ocorre no caso C3CA1, com o *fan-coil* 3. A explicação é que com a circulação de pessoas na sala cirúrgica e a liberação de calor para o ambiente pelos

equipamentos e iluminação, não houve a necessidade de aquecimento do ar. Outra justificativa possível seria que nos Caso 2 e 3, o ambiente tem apenas uma parede em contato com o exterior – a sala cirúrgica – ou nenhuma, mantendo assim, o ambiente termicamente isolado ou sofrendo pequena influência das temperaturas do ar exterior e da incidência solar.

TABELA 5.13 - Potência (em Watts) dos equipamentos de refrigeração, para o dia de projeto (21 de janeiro) do caso C1CS2 e C1CS3

Casos	Fan-coil 1 - serpentina resfriadora	Fan-coil 2 - serpentina resfriadora	Chiller - água gelada - comprada
C1CS2POA	13272,20	3351,97	16767,32
C1CS3POA	12951,66	3281,03	16413,69

TABELA 5.14 - Potência (em Watts) dos equipamentos de aquecimento, para o dia de projeto (21 de julho) do caso C1CS2 e C1CS3

Casos	Fan-coil 1 - serpentina aquecedora	Fan-coil 2 - serpentina aquecedora	Aquecimento - água quente -comprada
C1CS2POA	3003,76	905,83	3902,88
C1CS3POA	3002,5	909,03	3904,88

Nas duas tabelas acima são apresentadas as potências dos equipamentos dos casos C1CS2 e C1CS3, com o mesmo tipo de layout e mesma cidade, porém, com a diferença que o caso C1CS2 apresenta pressões nulas e recirculação do ar, enquanto que o caso C1CS3 apresenta pressão negativa na sala cirúrgica e 100% de ar exterior. Como pode ser observado nas tabelas 5.13 e 5.14, a sala cirúrgica estando com pressão negativa em relação ao corredor, mostra-se mais eficiente energeticamente nas condições de verão e inverno na cidade de Porto Alegre. Na tabela 5.14, na situação de inverno, os dois casos apresentam potências muito parecidas.

Um detalhe importante a ser comentado é em relação ao dimensionamento do *chiller*. Apesar do *software* ter sido validado, verificou-se um problema no dimensionamento do *chiller*, pois, quando comparadas as somas dos *fan-coils*, uma diferença foi encontrada. Os responsáveis pelo desenvolvimento da ferramenta sugeriram que fosse testada outra versão, pois provavelmente seria algum problema ligado à versão 1.03, já que não foram encontrados problemas na entrada de dados. Foram simulados alguns dos casos em outra versão mais atualizada, onde se verificou uma pequena alteração dos valores, porém, a potência do *chiller* continuou a não ser atendida. Analisandas as várias possibilidades de erro, chegou-se à

conclusão de que esta diferença pode ser resultado de alguma imprecisão do modelamento de cálculo, ou devido às perdas e/ou ganhos de calor em algum trecho do sistema; outra justificativa plausível poderia estar nas diferentes versões utilizadas do *software Energy Plus*.

Analisando os arquivos de extensão *.idf*, de quatro capitais estudadas e, comparando-os com o mesmo caso da cidade de Porto Alegre, verificou-se que este último teve suas potências do *chiller* atendidas em alguns casos e em outros com pequena defasagem do valor calculado. Esta análise levanta uma outra possível justificativa da diferença encontrada no *chiller*, podendo estar relacionada às condições meteorológicas ou geográficas. Apesar de todas as tentativas de investigação, não foi possível, no presente trabalho, encontrar as causas destas diferenças.

Em relação às figuras 5.37 a 5.42, foram apresentados os casos C1CA2, C1CS2, C2CA1, C2CS2, C3CA1 e C3CS1, todos simulados para as condições climáticas de Porto Alegre. Eles são apresentados no intuito de ilustrar o diferencial do dimensionamento dos equipamentos, conforme a arquitetura estudada, e também demonstrar as variações das exigências dos equipamentos.

As maiores potências, apresentadas nos gráficos abaixo, são *do chiller* (água gelada comprada), seguida dos *fan-coils*. Os maiores valores encontrados foram observados nas horas em que ocorreram as cirurgias.

No dia de verão, os gráficos apresentaram comportamento muito parecido: da 01:00 hora às 05:00 horas há uma redução na exigência dos equipamentos, conseqüentemente também na potência gasta. A partir das 06:00 horas a evolução das potências passa a aumentar e, novamente, reduz-se por volta das 22:00 horas. Nos períodos das 07:00 às 08:00 horas; das 10:00 às 12:00 horas; das 14:00 às 15:00 horas e das 18:00 às 19:00 horas, são verificadas as maiores potências, coincidindo com o período em que ocorrem as cirurgias. Apenas nos casos C3CA1 e C3CS1 (figuras 5.41 e 5.42), nos *fan-coil* 3 não foram observadas grandes variações.

No dia de inverno, nas figuras 5.37 a 5.42 pôde ser verificado o comportamento do sistema. Nas figuras 5.37, 5.38, 5.41 e 5.42, as maiores potências dos *fan-coils* coincidem com os momentos da cirurgia, onde há necessidade de resfriamento do ar, porém este é feito com o insuflamento do ar exterior já tratado. Quando a sala esteve em desuso – períodos das 01:00 às 5:00 h e das 22:00 às 24:00 h e também nos intervalos entre as cirurgias, o ar teve que ser aquecido pela serpentina de água quente.

Nas figuras 5.39 e 5.40, são verificados comportamentos diferentes comparado aos outros casos analisados no dia de inverno. Nestes casos, as salas cirúrgicas tiveram que ser resfriadas com o insuflamento do ar exterior nos períodos que ocorreram as cirurgias e nos

intervalos. Nos demais ambientes foi exigido pouco resfriamento. Exigiu-se o aquecimento nos períodos que precederam as cirurgias e após as 22:00 horas.

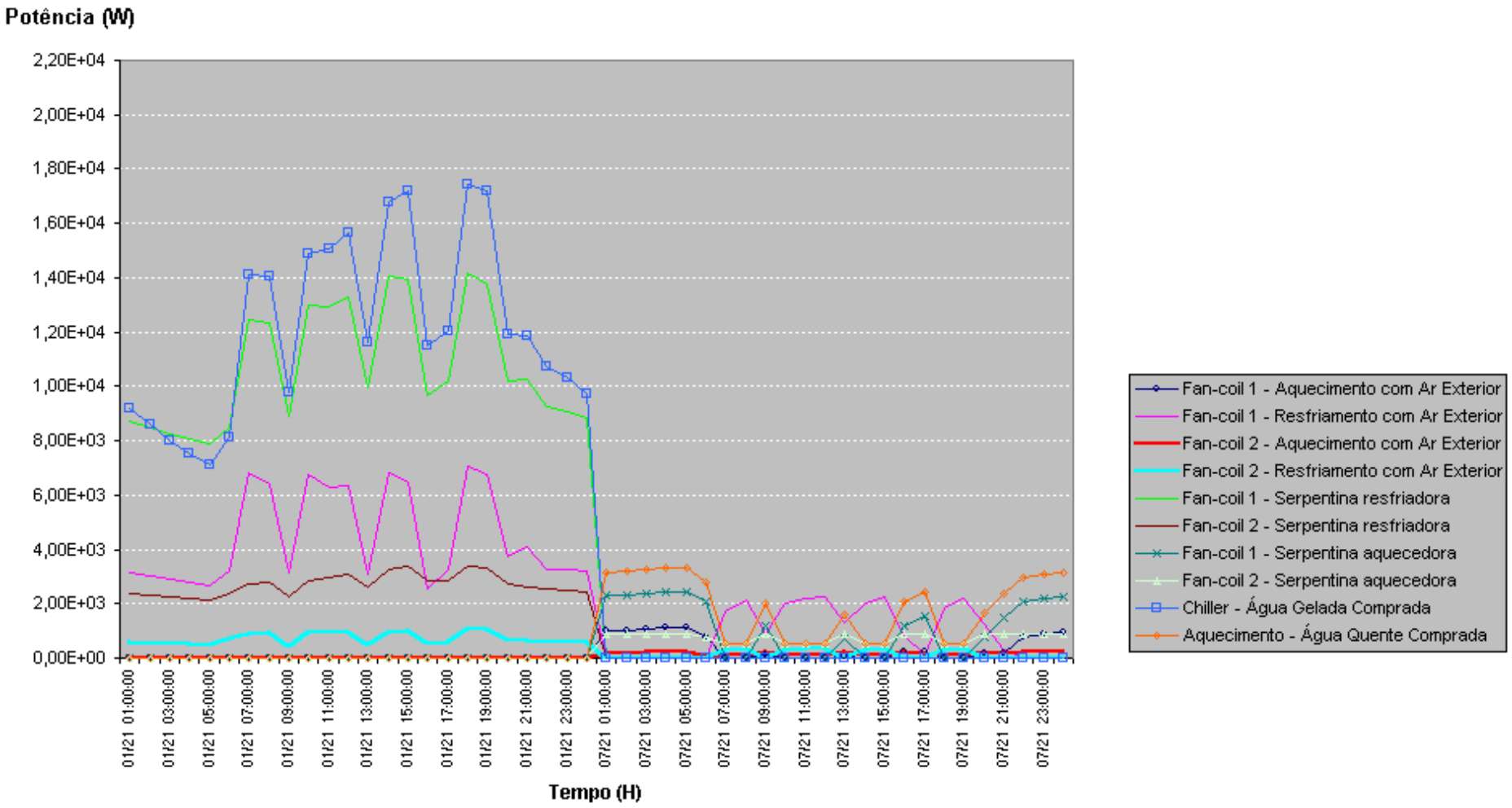


Figura 5.37 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno, caso C1CA2POA

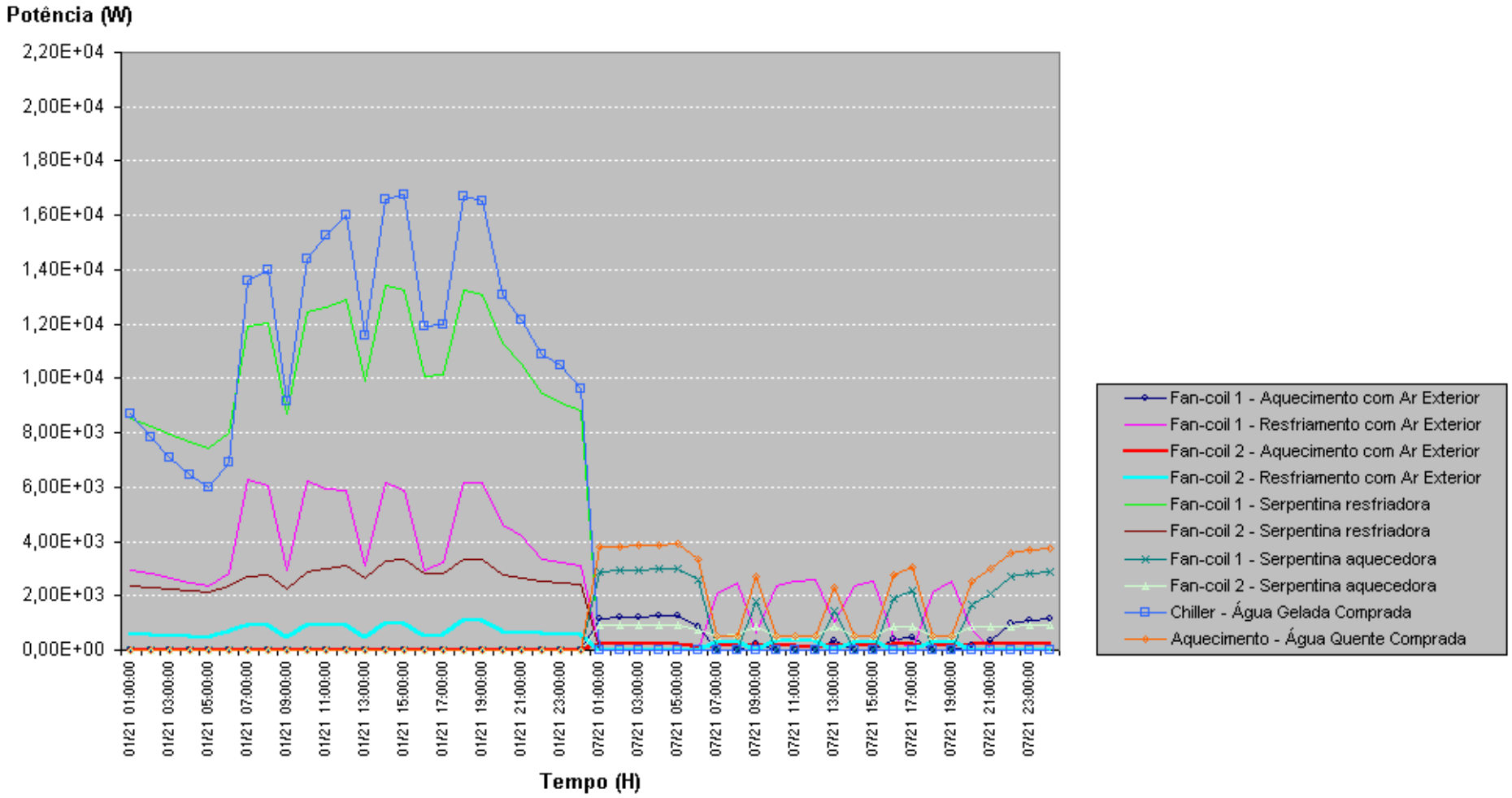


Figura 5.38 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno, caso C1CS2POA

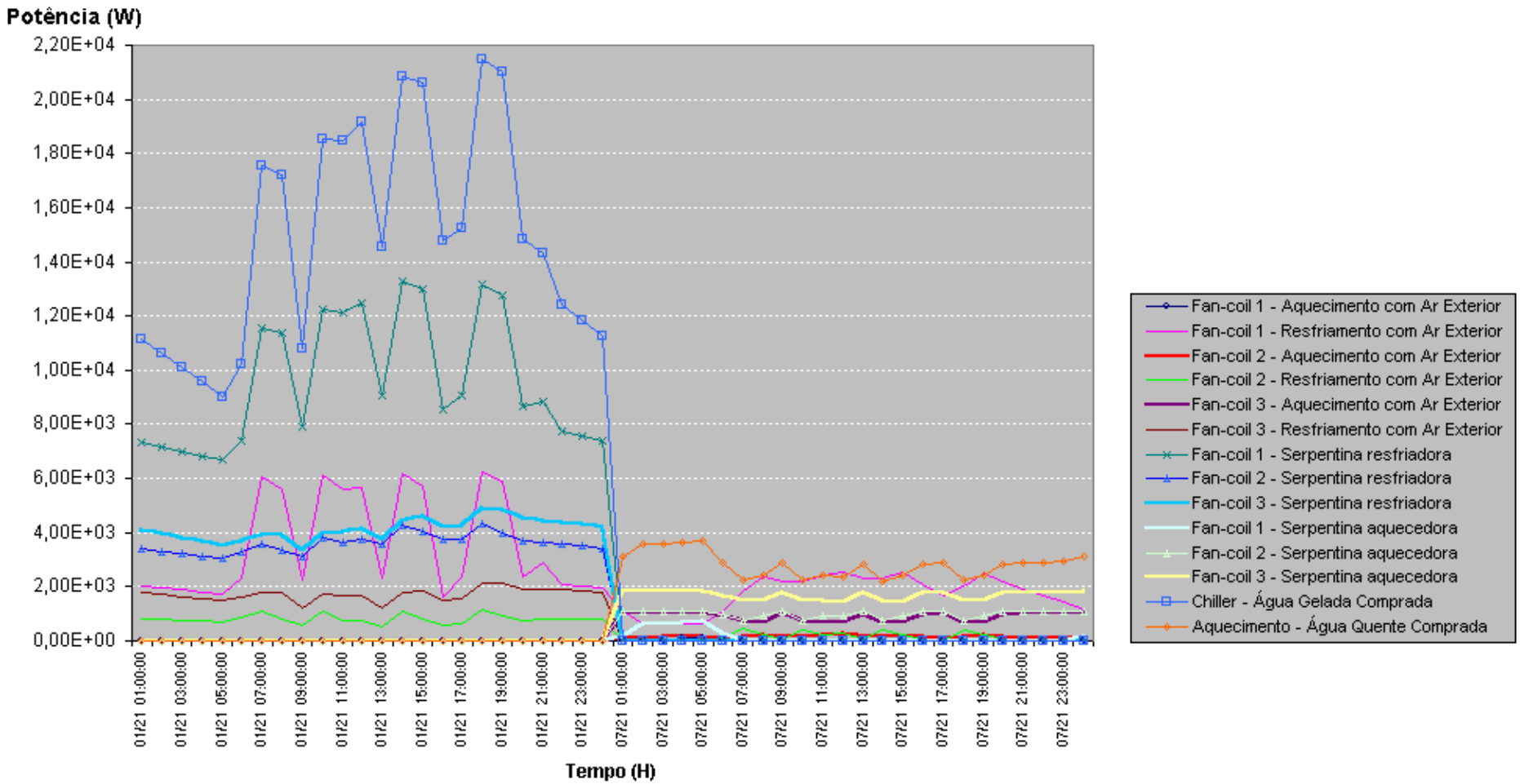


Figura 5.39 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno, caso C2CA1POA

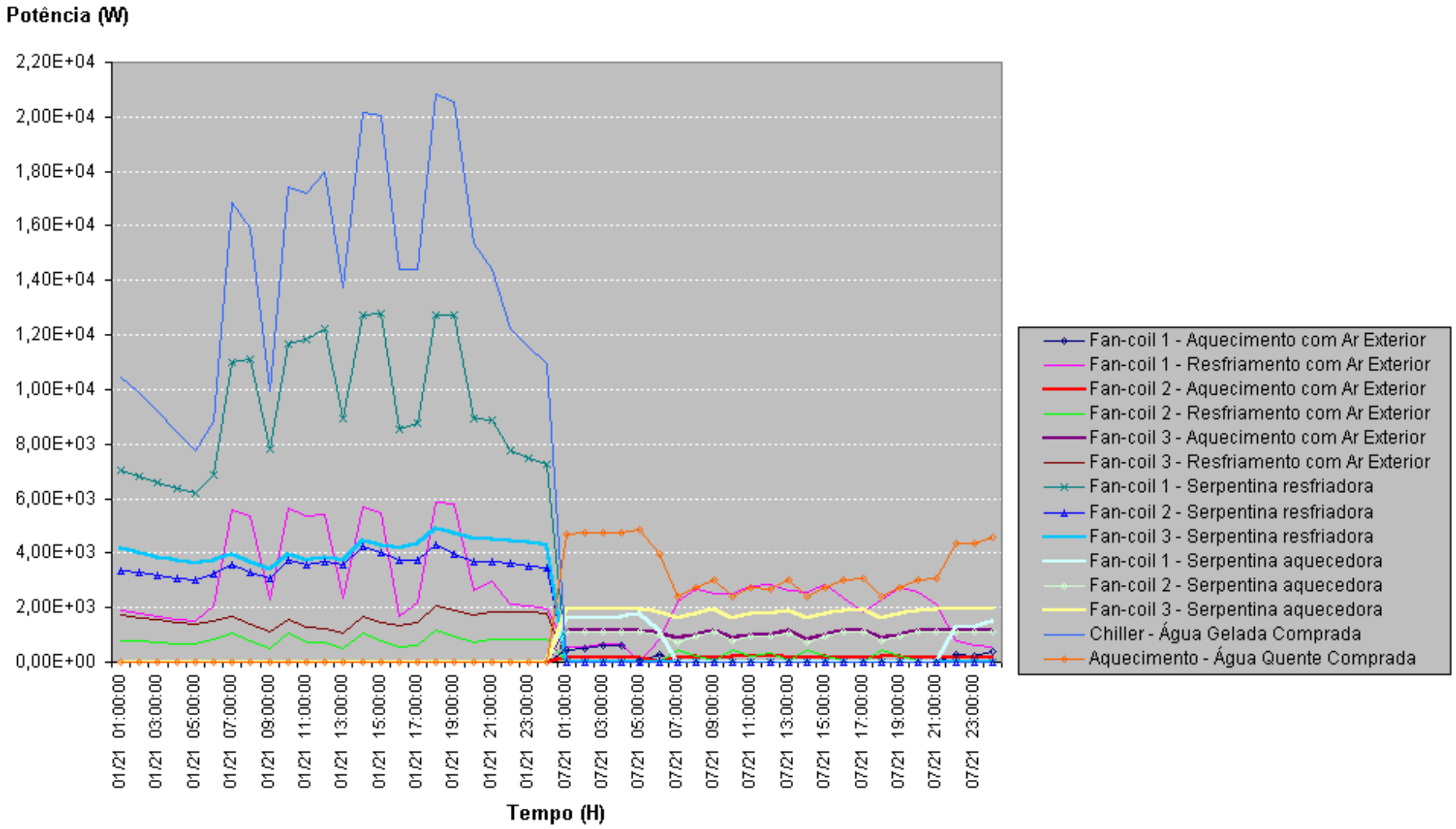


Figura 5.40 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno, caso C2CS2POA

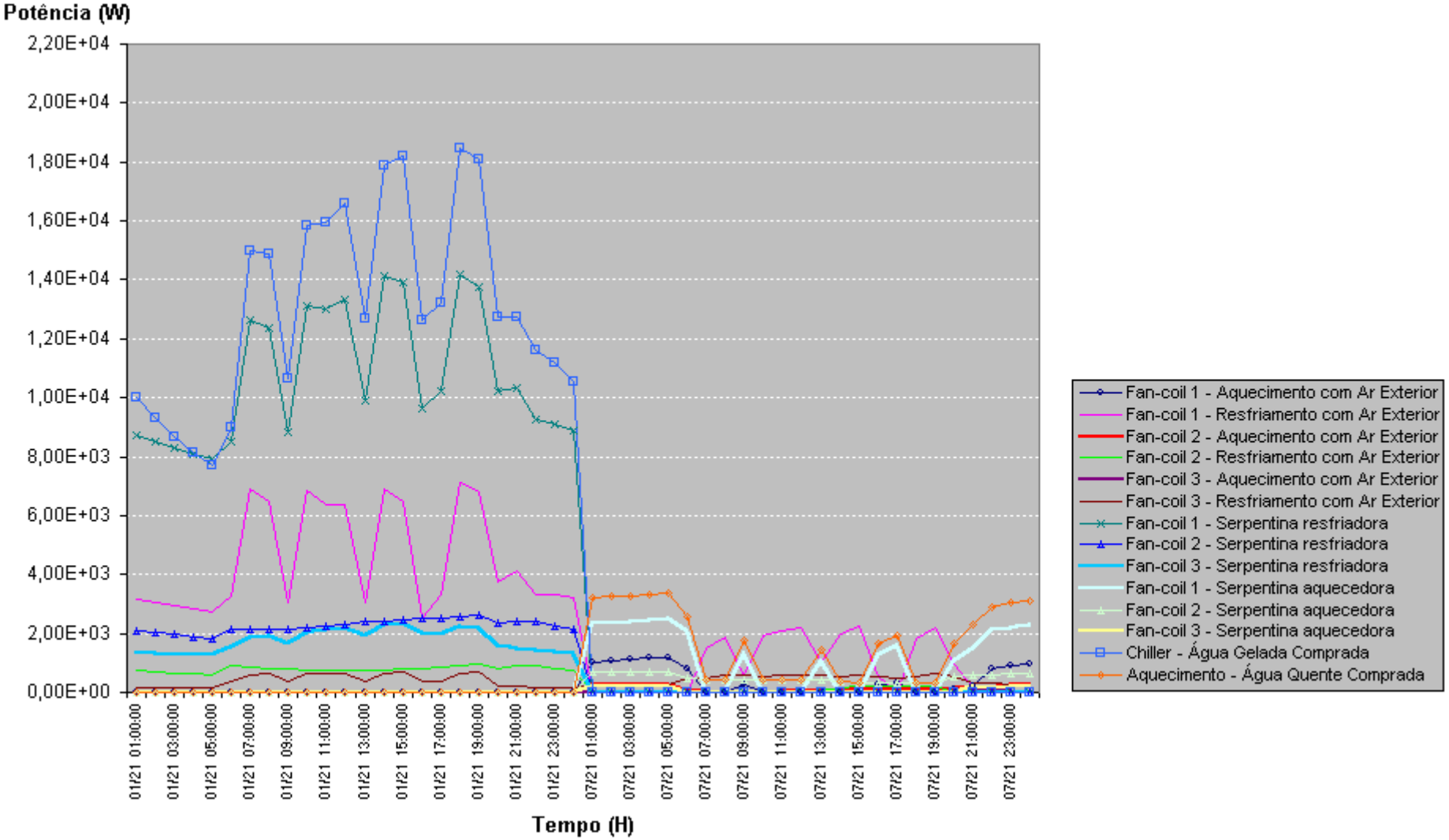


Figura 5.41 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno, caso C3CA1POA

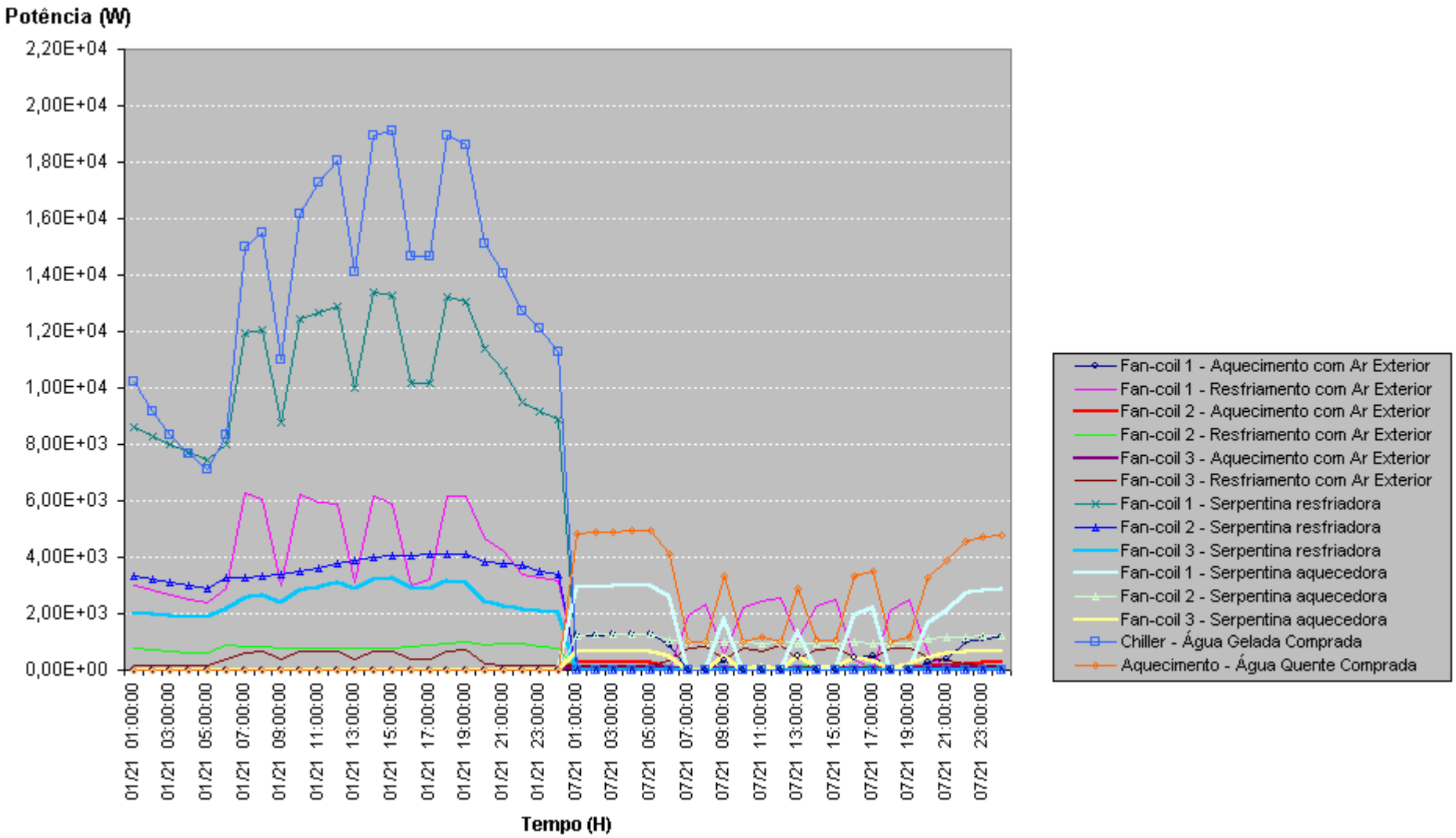


Figura 5.42 - Potência dos Equipamentos para um dia de verão e inverno, caso C3CS1POA

5.5. ANÁLISE DO GASTO ENERGÉTICO

Na tabela 5.15 são apresentados os consumos energéticos e as cargas térmicas totais dos ambientes analisados. No consumo energético, estão incluídos os gastos com iluminação, equipamentos e ar condicionado.

No caso C1CA2, o maior gasto energético ocorreu na cidade de Belém (C1CA2Belem), enquanto para o caso C2CA1 e C3CA1, o maior foi registrado na cidade de Recife. São Paulo e Brasília, no primeiro caso (C1CA2), apresentaram uma diferença entre si de 27 kWh ano, e nos demais casos o gasto energético foi o mesmo, independendo do tipo de arquitetura.

Os custos destes gastos energéticos estão demonstrados na tabela 5.16. Foram divididos em custo anuais, mensais e diários, para verificar o valor despendido, utilizando um tipo de *layout* ou outro.

No cálculo de custo energético, foi considerado apenas o consumo básico, não sendo incluídos o ICMS, a taxa de iluminação pública e da capacidade emergencial. O valor determinado no cálculo foi de R$ 0,2697 o kWh. O valor do kWh teve como referência o da cidade de São Paulo no dia 8 de outubro de 2003, e as demais cidades tiveram o custo calculado a partir deste mesmo valor.

TABELA 5.15 - Carga térmica e consumo energético anual

CASOS	Carga Térmica (J)	Consumo Energético (J)	Consumo Energético (kWh)
C1CA2Belem	2,96E+11	9,26E+10	25715,02
C1CA2 DF	2,03E+11	9,18E+10	25492,86
C1CA2SP	1,99E+11	9,19E+10	25520,63
C1CA2Recife	3,11E+11	9,24E+10	25659,48
C2CA1Belém	3,72E+11	1,04E+11	28880,80
C2CA1DF	2,39E+11	1,04E+11	28880,80
C2CA1SP	2,40E+11	1,04E+11	28880,80
C2CA1Recife	3,95E+11	1,05E+11	29158,50
C3CA1Belem	3,23E+11	1,04E+11	28880,80
C3CA1DF	2,20E+11	1,03E+11	28603,10
C3CA1SP	2,20E+11	1,03E+11	28603,10
C3CARecife	3,45E+11	1,06E+11	29436,20

TABELA 5.16 - Custo energético anual e mensal dos casos analisados

CASOS	Custo Energético Anual (R$)	Média do Custo Energético Mensal (R$)	Média do Custo Energético Diário (R$)
C1CA2Belem	6935,34	577,94	19,26
C1CA2 DF	6875,36	572,95	19,00
C1CA2SP	6882,91	573,57	19,11
C1CA2Recife	6920,36	576,70	19,22
C2CA1Belém	7789,15	649,09	21,63
C2CA1DF	7789,15	649,09	21,63
C2CA1SP	7789,15	649,09	21,63
C2CA1Recife	7864,04	655,34	21,84
C3CA1Belem	7789,15	649,09	21,63
C3CA1DF	7714,25	642,85	21,42
C3CA1SP	7714,25	642,85	21,42
C3CARecife	7946,22	662,18	22,07

5.6. DISCUSSÃO

Feitas as considerações acima, é importante destacar a influência do tipo de *layout* em cada análise realizada.

Nos três tipos de *layout* estudados – Caso 1, 2 e 3 – as variáveis temperatura e UR mantiveram-se sob controle. A temperatura média do ar foi mantida de acordo com a estabelecida no termostato, e a TMR, influenciada em parte pelo layout, manteve-se abaixo dos 24°C. O ar ambiente passou pelo processo de desumidificação quando teve a UR acima dos 60%. Do ponto de vista do controle de contaminantes, a UR e a temperatura estando sob controle, diminuem o risco de comprometimento do ambiente e amplificação de microorganismos. Em relação à política de acesso de pessoas, o *layout* encontrado no Caso 2 contribui positivamente, pois não há mistura de fluxos.

Quanto às condições de conforto térmico, o layout dos Casos 1 e 3 não apresentou diferenças significativas entre si. A sensação térmica dos ocupantes no Caso 2 alterou-se

um pouco, reduzindo um ponto na escala do PMV a situação de desconforto do paciente e do anestesista, no dia de projeto de inverno nas cidades de São Paulo e Brasília.

Ainda em relação ao layout do Caso 2, o gráfico do PMV apresentou pequena alteração na evolução, mas sem alterar a sensação térmica do paciente e as das equipes, médica e de limpeza.

O dimensionamento dos equipamentos de climatização foi influenciado pelo *layout* dos casos estudados, como pôde ser observado na sala cirúrgica: mesmo tendo as mesmas dimensões nos três casos mesmo assim foram verificadas potências diferentes. As maiores potências calculadas no *fan-coil* 1 (serpentina resfriadora) foram verificadas no Caso 1 para as cidades de Belém, Brasília, Recife e Porto Alegre e no Caso 3 na cidade de São Paulo.

Um detalhe interessante ocorrido com o *fan-coil* 1 (Caso 2) é que as cidades de São Paulo e Brasília tiveram potências iguais a zero na serpentina aquecedora, enquanto que nos outros *layouts* os valores foram bem diferentes. Para os demais *fan-coils* não foi possível fazer um comparativo entre os tipos de arquitetura, pois cada caso atendera à exigência e funções diferentes, além de possuírem dimensões distintas.

Fazendo um comparativo entre as potências totais (soma dos equipamentos) dos casos simulados C1CA, C2CA e C3CA para as cidades de Brasília, São Paulo e Porto Alegre, os maiores valores foram verificados no caso C2CA. A justificativa para a maior potência total ter ocorrido neste caso é por possuir as maiores dimensões ambientais e, conseqüentemente, maiores volumes de ar; além do fato do *fan-coil* 2 atender um ambiente limpo, segundo especificações da NBR 7256, 1982 e ASHRAE, 2001, apresentando o número de trocas de ar exterior igual ao da sala cirúrgica.

O maior gasto energético foi verificado no Caso 3 e o menor no Caso 1. Os Casos 2 e 3 não apresentaram grandes diferenças entre si e o maior gasto energético anual verificado entre os dois foi de 2.777,77 kWh. O tipo de arquitetura que se mostrou mais eficiente, considerando proporcionalmente à metragem quadrada foi o Caso 2.

6. CONCLUSÃO

Através da simulação do Dia de Projeto de verão e de inverno, foram obtidos os seguintes *reports*: PMV, potência, Temperatura (°C) e Umidade Relativa (%). Enquanto para um ano de projeto, tem-se o Gasto Energético (J).

Nos resultados encontrados e análises realizadas o *layout* que se mostrou mais eficiente, do ponto de vista de controle de contaminantes e energético foi o Caso 2, composto pelos ambientes: corredor "limpo", sala cirúrgica e corredor "sujo".

Nos três casos analisados tanto a UR quanto a temperatura de bulbo seco mantiveram-se sob controle, diminuindo o risco de comprometimento do ambiente.

O maior gasto energético total foi verificado no Caso 1 para a cidade de Belém, e nos Casos 2 e 3 na cidade de Recife, ambos simulados para o dia 21 de janeiro.

Baseando-se nos parâmetros estabelecidos pela ISO 7730, nos três *layouts* estudados a cirurgiã, a equipe de preparo, instrumentadora, auxiliar e equipe de limpeza apresentaram pequeno desconforto térmico; por outro, o paciente e a anestesista apresentaram sensação térmica de extremo desconforto.

As pequenas diferenças apresentadas e que puderam ser observadas nos gráficos do PMV, foram influenciadas pelo tipo de cirurgia e as conseqüentes diferenças no número de trocas de ar por hora.

Os tipos de cirurgias influenciaram em todos os parâmetros analisados, por terem exigências diferentes no número de trocas de ar no ambiente, devido ao número de equipamentos que na cirurgia ortopédica é maior.

Verificadas todas as vantagens e desvantagens, a distribuição arquitetônica que se mostrou mais eficiente, dentro da realidade analisada, foi o Caso 2. O uso de dois corredores de acesso, um "limpo" e um "sujo", possibilita a elitização de atendimento, conforme o tipo de cirurgia, além, de outras vantagens já citadas.

A curto prazo, a opção arquitetônica do Caso 2 talvez não seja viável de execução, pois o custo de construção do m^2 hospitalar é muito alto, bem como o custo de implantação dos equipamentos de climatização. A médio e longo prazo, mesmo sendo mantidos alguns custos fixos com manutenção, sua execução é justificável, pois o valor da diária de um

paciente com infecção hospitalar, somado aos custos indiretos, é superior ao investimento inicial. Tratando-se da preocupação de risco para vidas humanas, os custos não deveriam ser considerados de grande importância.

Para futuros trabalhos, têm-se as seguintes sugestões:

- Simular estes casos analisados utilizando outra ferramenta computacional e comparar os resultados.
- Avaliar, através do método experimental, o conforto térmico do paciente e da equipe médica.
- Avaliar experimentalmente os contaminantes dos ambientes estudados, através de amostragem de ar.
- Procurar um dos casos simulados neste trabalho já executado e avaliá-lo experimentalmente. Como os ambientes seguem especificações normativas, provavelmente será fácil encontrá-los nos hospitais dos municípios brasileiros, principalmente o Caso 1. Caso os ambientes contíguos não sejam os mesmo simulados, não haverá problema, desde que este tenha as mesmas características térmicas.
- Simular estes casos estudados, alterando os materiais construtivos - dentro do permitido – e assim, comparar o comportamento térmico dos ambientes e avaliar alterações nas potências dos equipamentos.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

American Institute of Architects Academy of Architecture for Health 2001. **"Guidelines for Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities"**, AIA, Washington.

American Society of Heathing, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers (ASHRAE), 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 7: Health Care Facilities**. Atlanta.

ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 8: Thermal Comfort"**. Atlanta.

ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 12: Air Contaminants"**. Atlanta.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1980. **NBR 5413:** Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro.

ABNT, 1980. **NBR 6401**: Instalações Centrais de Ar-condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto. Rio de Janeiro.

ABNT, 1982. **NBR 7256**: Tratamento de Ar em Unidades Médico-assistenciais. Rio de Janeiro.

Ayliffe, G.A.J. *et al*., 1998. **"Controle de Infecção Hospitalar"**, Revinter, Rio de Janeiro.

Carletti e Raffellini, 1996. **"Strategies of Operations & Maintenance to assure Confort & IIAQ Perfomances in Existing Health Care**". Indoor Air'96, Nagoya, Japan.

Costa, E.C., 1974. **"Física Aplicada à Construção; Conforto Térmico"**, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo.

Crawley, D. B. *et al*., 2000. **"EnergyPlus: Energy Simulation Program".** Journal Online ASHRAE.- April, 2000, vol. 42, no. 4, pg. 49-56.

Dantas, E. et al., 2001. **"Manual de Infecção Hospitalar – Epidemiologia, Prevenção e Controle"**- capitulo 59: Controle do Ar no Ambiente Hospitalar. MEDSI, Belo Horizonte.

Dorman, R.G., 1974. **"Dust Control and Air Cleaning"**, Oxford, Pergamon Press

Fernandes, A. T., 1998. "As Infecções dentro do Âmbito Hospitalar", Revista de Adminstração em Saúde (RAS), Vol. 1 – numero 2 – Abr-Jun 98. Páginas 9 a 16.

Siqueira, L.F.G., 2000. **"Síndrome do Edifício Doente, o Meio Ambiente e a Infecção Hospitalar"**. (Fernandes, A.T., Infecção Hospitalar e suas Interfaces na Área da Saúde - Vol. 2 - Capitulo 72). Editora Atheneu.

Ferreira, AB.H., 1986. **"Novo Dicionário da Língua Portuguesa"**, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro.

Frota, A. B. & Chiffer, S. R., 1988, **"Manual de Conforto Térmica",** Editora Nobel, São Paulo.

Givoni, 1976, **"Man, Climate and Architecture"**, Applied Science Publishers Ltd, London.

Goulart, S. V. G., Lamberts, R. e Firmino, S., 1997. **"Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras"**. UFSC, Florianópolis.

Guyton, A.C., 1988. **"Fisiologia Humana",** Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

Grings, E. T. O., Beyer, P. O., 2002. **"Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente".** ANAIS. MERCOFRIO 2002 -
Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, Agosto 20-23, Florianópolis.

Grings, E. T. O., 2003. **" Comparação entre Resultados Computacionais e Experimentais d Comporamento Térmico de um Ambiente"**. Trabalho de Dissertação – Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre.

Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC), 2001**. "Draft Guideline for Environmental Infection Control in Healthcare Facilities"**. Centers for Disease Control and Prevention.

Incropera, F.P. & Witt, D.P., 1992, **"Fundamentos de Transferência de Calor e Massa"**, Editora LTC, Rio de Janeiro.

Instituto de Higiene e Fisiologia de Trabalho da Universidade Técnica Federal *et al*., 1975, **"Normas para a Construção, Operação e Supervisão de Instalações de Condicionamento de Ar em Hospitais"**, Zurique.

Koenigsberger, O. H., *et al*. 1973. **" Manual of Tropical Housing and Building – Part One: Climatic Design".** Commonwealth Priting Press, *fourth impression, 1980*

Körbes, G. A., 1991. "Custos Diretos das Infecções Hospitalares", Arquivos Brasileiros de Medicina, outubro de 1991, vol. 65, n° 5, pág. 85S.

Lamb, P.L., 2000, **"Centro Cirúrgico e Recuperação Pós-anestésica"**, Editora Gráficaplub, Porto Alegre.

Lamberts, R.; Dutra, L. e Pereira, F.R., 1997. **"Eficiência Energética na Arquitetura"**, PW Editores, São Paulo.

Lemos, A.C.O.W., 2001. **"Manual de Infecção Hospitalar – Epidemiologia, Prevenção e Controle", Capítulo 27- Infecções Associadas a Próteses Ortopédicas**. Editora Medsi.

Macintyre, A.J., 1990, **"Ventilação Industrial e Controle da Poluição"**, Editora Guanabara, Rio de Janeiro.

McCarthy, J. *et al*., 2000. **"Health Building – Indoor Air Quality in Hospitals and Other Health Care Facilities"**. Workshop 22, Finland.

Mesquita, A.L.S, 1985. **"Engenharia de Ventilação Industrial"**, CETESB/ASCETESB, São Paulo.

Ministério da Saúde, 1994. **"Equipamentos para Estabelecimentos Assistenciais de Saúde: Planejamento e Dimensionamento"**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Ministério da Saúde, 2000. **Resolução RDC n° 48.** Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Ministério da Saúde, 2002. **Resolução RDC nº 50**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Ministério da Saúde, 2003. **Resolução RE n° 9**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Ministério da Saúde, 2000. **Resolução RE n° 176**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Ministério da Saúde, 1998. **Portaria n° 3523/GM**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Miquelin, L.C., 1992. **"Anatomia dos Edifícios Hospitalares"**, Editora CEDAS, São Paulo.

Munhoz, M.M., Soares, F. Fernandes, A.T., 2000. **"Arquitetura Hospitalar".** Infecção Hospitalar e suas Interfaces na Área da Saúde - Vol. 2, Capitulo 69. Atheneu.

Nicol, F. *et al*., 1995. **"Standards for Termal Confort; Indoor Air Temperatures Standards for the 21ST Century"**, Editora Chapman & Hall, London.

Salvigni, *et al*., 1993. **"On the Assessment of Ventilation Requirements for Hospital Operating Romos".** Indoor Air 93. Pág. 393 a 397 – Finlândia.

Santana, C. J. R., 1996. **"Instalações Elétricas Hospitalares"**, EDIPUCRS, Porto Alegre.

Simões, J. R., 1996. **"Fundamentos e Aplicações da Psicrometria"**, RPA Editorial Ltda, São Paulo.

Stoecker, W.F. e Jones, J.W., 1985. **"Refrigeração e Ar Condicionado"**, Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda, São Paulo.

Wallauer, M. D. e Beyer, P. O., 2002. **"Estudo do conforto térmico em edificações populares através da utilização do programa de simulação EnergyPlus"**. ANAIS. MERCOFRIO 2002 - Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, Agosto 20-23, Florianópolis.

Whyte, W., 1999. **"Cleanroom Design"**, John Wiley & Sons, Chichester.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Althuse, A.D., Turnquist, C.H. e Bracciano, A.F., 1996. **"Modern Refrigeration and Air Conditioning"**, The Goodheart-willcox Company, Inc.,Tinley Park.

ASHRAE, 1986. **"ASHRAE Techinical Data Bulletin – Hospital and Operation Room Ventilation"**, AIA, Washington.

ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 9: Indoor Environmental Heah"**. Atlanta.

ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 13: Odors"**. Atlanta.

ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 15: Clean Spaces"**. Atlanta.

ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 17: Energy Resources"**. Atlanta.

ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook: **Fundamentals – Chapter 32: Spaces Air Diffusion"**. Atlanta.

ASHRAE, 1990. **"Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality".** Atlanta

Baird, G. *et al.*, 1984. **"Energy Performance of Buildings"**, CRC Press, Boca Raton

Beyer, P.O., 2000. **"Cálculo da Necessidade Fisiológica Mínima do Ar de Respiração Baseado na Concentração de CO_2"**, Revista Mercofrio, Pág. 16 a 19, Editora ASBRAV, Porto Alegre.

Beyer, P. O., 2000. **"Conforto Térmico"**. Notas de Aula: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica , PROMEC - UFRGS, Porto Alegre.

Comissão de Implementação Biblioteca de Teses Digitais, 2001. **"Diretrizes para Apresentação de Teses e Dissertações à USP: documento eletrônico ou impresso".** Universidade de São Paulo, São Paulo.

Commision of the European Communities Directorate-General for Energy, 1993. **"Energy Efficiency in Hospitals and Clinics"**, AICVF, Paris.

Croiset, M., 1970. **"Humidad y Temperatura en Los Edificios"**, Editores Técnicos Asociados Maignón, Barcelona, Espanha.

Croome, D.J. e Roberts, B.M., 1981. **"Airconditioning and Ventilation of Buildings"**, Pergamon Press, Pergamon.

EnergyPlus Manual. Version 1.0.2, July 2002. COPYRIGHT 1998-2002, GARD.

Godish, Trad, 1989. **"Indoor Air Pollution Control"**, Lewis Publishers, Chelsea.

International Standard, 1993. **ISO 7730: Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD indicies and specification of the conditions for thermal confort.**

International Standard, 1998. **ISO/FDIS 14644-1: Cleanrooms and Associated Controlled Environments.**

International Standard, 1998. **ISO/FDIS 14644-2: Cleanrooms and Associated Controlled Environments.**

International Standard, 1998. **ISO/FDIS 14644-4: Cleanrooms and Associated Controlled Environments.**

International Standard, 1999. **ISO/FDIS 14698-1: Cleanrooms and Associated Controlled Environments – Biocontamination Control.**

International Standard, 1999. **ISO/FDIS 14698-2: Cleanrooms and Associated Controlled Environments - Biocontamination Control.**

International Standard, 1999. **ISO/FDIS 14698-3: Cleanrooms and Associated Controlled Environments - Biocontamination Control.**

Jones, W.P., 1983, **"Engenharia de Ar Condicionado"**, Editora Campus, Rio de Janeiro.

Lamberts, R., Ghisi, E., Papst, A.L., 2000. **"Desempenho Térmico de Edificações"**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

McQuiston, F.C. e Parker, J.D., 1994, **"Heating, Ventilating, and Air Conditioning – Analysis and Desing"**, John Wiley & Sons, New York.

Menezes, M. S., 2001, **"Qualidade do Ar Interior"**, Revista Mercofrio, Editora ASBRAV, Página 16 a 19, Porto Alegre.

Ministério da Saúde, 1997. **Lei n° 9431.** Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Ministério da Saúde, 1998. **Portaria n° 792**.Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Ministério da Saúde, 1998. **Portaria n° 2161/MS/GM**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

Pilla, A., 2000, **"Caminhos para a Qualidade do Ar Interior"**, Revista Mercofrio, Editora ASBRAV, Pág. 10 a 15, Porto Alegre.

CATÁLOGOS

Difusor Hospitalar, série ICLF, TROX Technik, 1997

Qualidade do Ar Interior (IAQ), Boletim Técnico n° 8, TROX Technik

Filtros Absolutos Bactericidas, TROX Technik – Folheto N° C7-002, TROX Technik, 1999

Difusores Lineares ALS, TROX Technik, 1992

Dados técnicos Série ALS, 1988, TROX

SITES

http://www.abnt.org.br/

http://www.anvisa.gov.br

http://www.cdc.gov/

http://www.cihh.com.com.br/infeccirurg.htm

http://www.clean-rooms.com

http://www.eere.energy.gov/buiding/energyplus/

http://www.funasa.gov.br/

http://www.opas.rg.br/noticias/informa/infeccao.htm

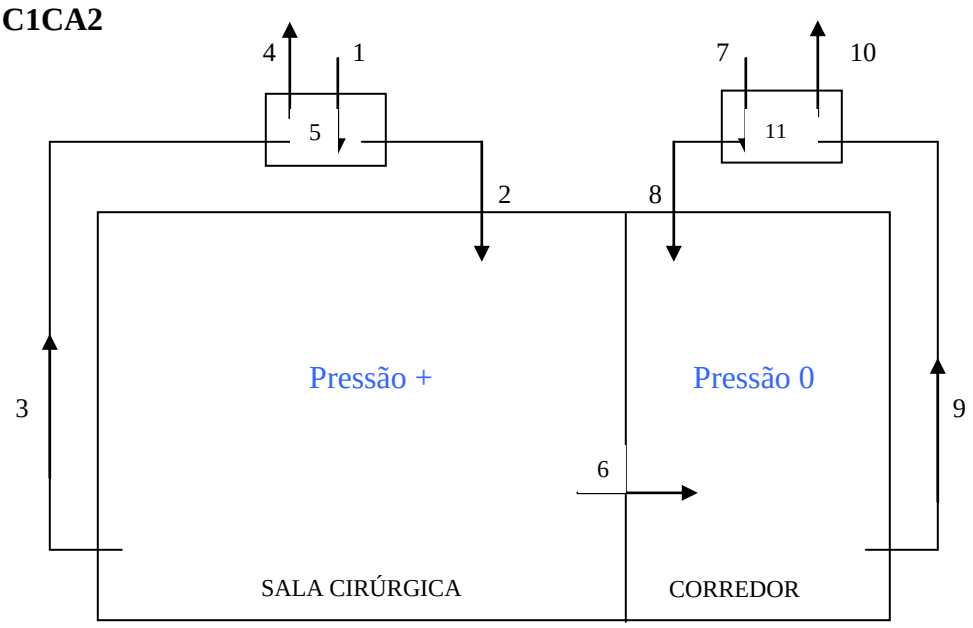
http://www.osha.gov/

http://www.saude.gov.br

http://www.shea-online.org/

ANEXO

C1CA2



As vazões são as seguintes:

1- $\overset{\circ}{Q}_1 = 0{,}15 m^3/s$

2- $\overset{\circ}{Q}_2 = 0{,}75 m^3/s$

3- $\overset{\circ}{Q}_3 = 0{,}6522 m^3/s$

4- $\overset{\circ}{Q}_4 = 0{,}0522 m^3/s$

5- $\overset{\circ}{Q}_5 = 0{,}6 m^3/s$

6- $\overset{\circ}{Q}_6 = 0{,}0978 m^3/s$

7- $\overset{\circ}{Q}_7 = 0{,}0521 m^3/s$

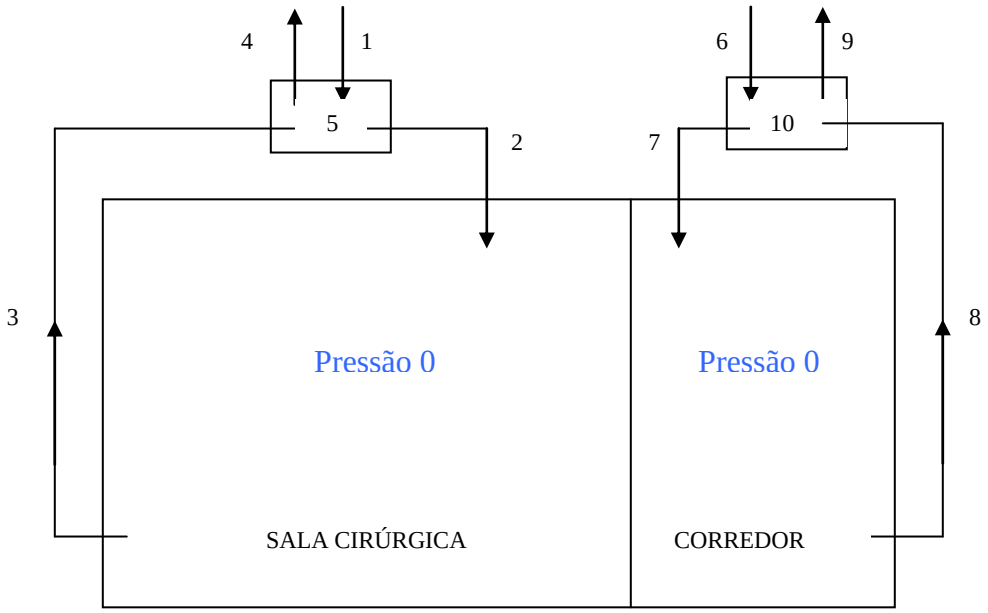
8- $\overset{\circ}{Q}_8 = 0{,}1042 m^3/s$

9- $\overset{\circ}{Q}_9 = 0{,}2020 m^3/s$

10- $\overset{\circ}{Q}_{10} = 0{,}1499 m^3/s$

11- $\overset{\circ}{Q}_{11} = 0{,}0521 m^3/s$

C1CS2



As vazões são as seguintes:

1- $\overset{\circ}{Q}_1 = 0{,}15 m^3/s$

2- $\overset{\circ}{Q}_2 = 0{,}45 m^3/s$

3- $\overset{\circ}{Q}_3 = 0{,}45 m^3/s$

4- $\overset{\circ}{Q}_4 = 0{,}15 m^3/s$

5- $\overset{\circ}{Q}_5 = 0{,}30 m^3/s$

6- $\overset{\circ}{Q}_6 = 0{,}0521 m^3/s$

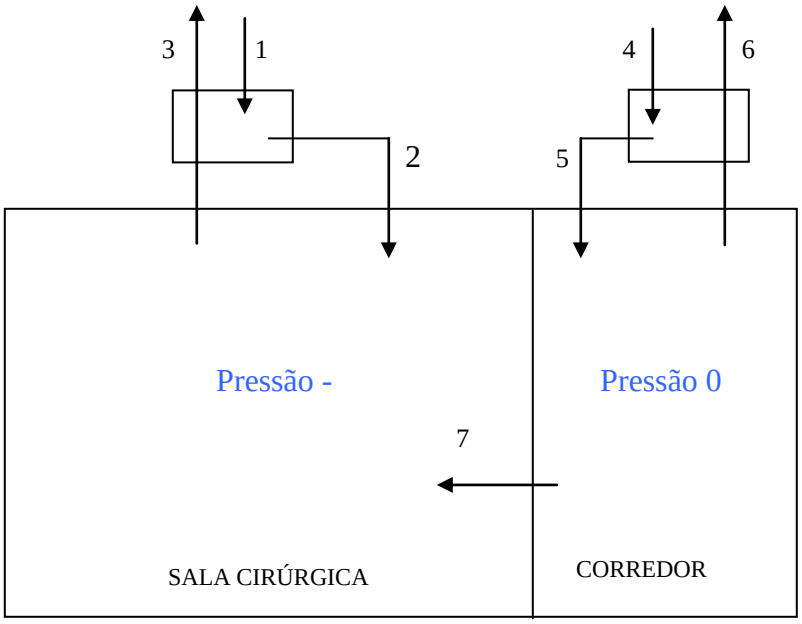
7- $\overset{\circ}{Q}_7 = 0{,}1042 m^3/s$

8- $\overset{\circ}{Q}_8 = 0{,}1042 m^3/s$

9- $\overset{\circ}{Q}_9 = 0{,}0521 m^3/s$

10- $\overset{\circ}{Q}_{10} = 0{,}0521 m^3/s$

C1CS3



As vazões são as seguintes:

1- $\overset{\circ}{Q}_1 = 0{,}45 m^3/s$

2- $\overset{\circ}{Q}_2 = 0{,}45 m^3/s$

3- $\overset{\circ}{Q}_3 = 0{,}5175 m^3/s$

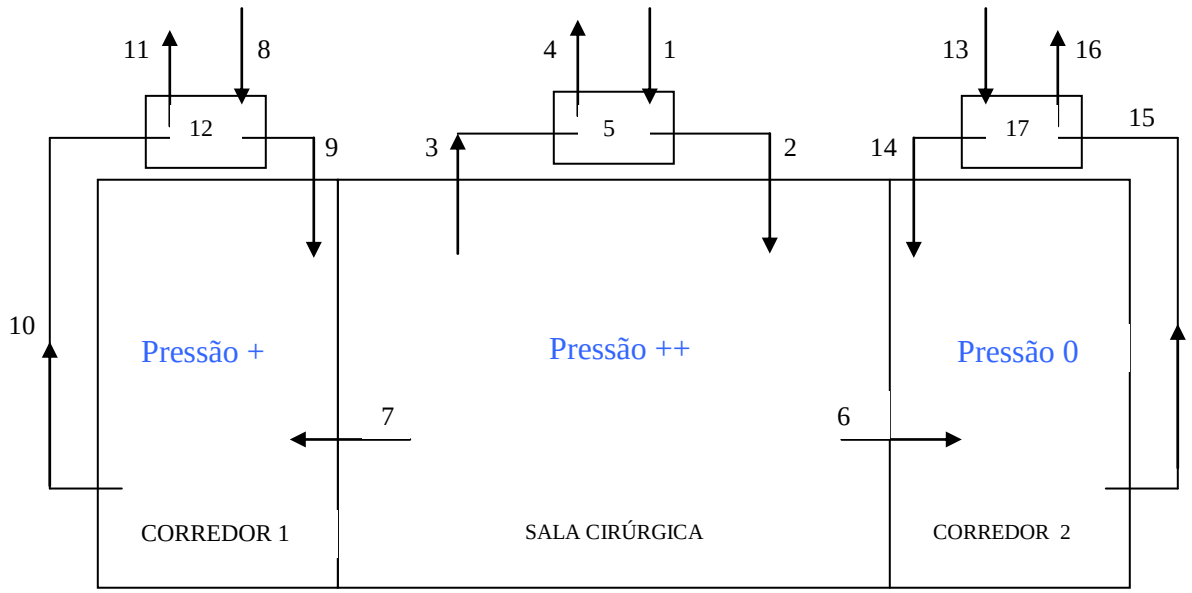
4- $\overset{\circ}{Q}_4 = 0{,}1042 m^3/s$

5- $\overset{\circ}{Q}_5 = 0{,}1042 m^3/s$

6- $\overset{\circ}{Q}_6 = 0{,}0367 m^3/s$

7- $\overset{\circ}{Q}_7 = 0{,}0675 m^3/s$

C2CA1



As vazões são as seguintes:

1- $\overset{\circ}{Q}_1 = 0{,}15 m^3/s$

2- $\overset{\circ}{Q}_2 = 0{,}75 m^3/s$

3- $\overset{\circ}{Q}_3 = 0{,}6773 m^3/s$

4- $\overset{\circ}{Q}_4 = 0{,}0773 m^3/s$

5- $\overset{\circ}{Q}_5 = 0{,}6 m^3/s$

6- $\overset{\circ}{Q}_6 = 0{,}0427 m^3/s$

7- $\overset{\circ}{Q}_7 = 0{,}03 m^3/s$

8- $\overset{\circ}{Q}_8 = 0{,}075 m^3/s$

9- $\overset{\circ}{Q}_9 = 0{,}015 m^3/s$

10- $\overset{\circ}{Q}_{10} = 0{,}18 m^3/s$

11- $\overset{\circ}{Q}_{11} = 0{,}105 m^3/s$

12- $\overset{\circ}{Q}_{12} = 0{,}075 m^3/s$

13- $\overset{\circ}{Q}_{13} = 0{,}06 m^3/s$

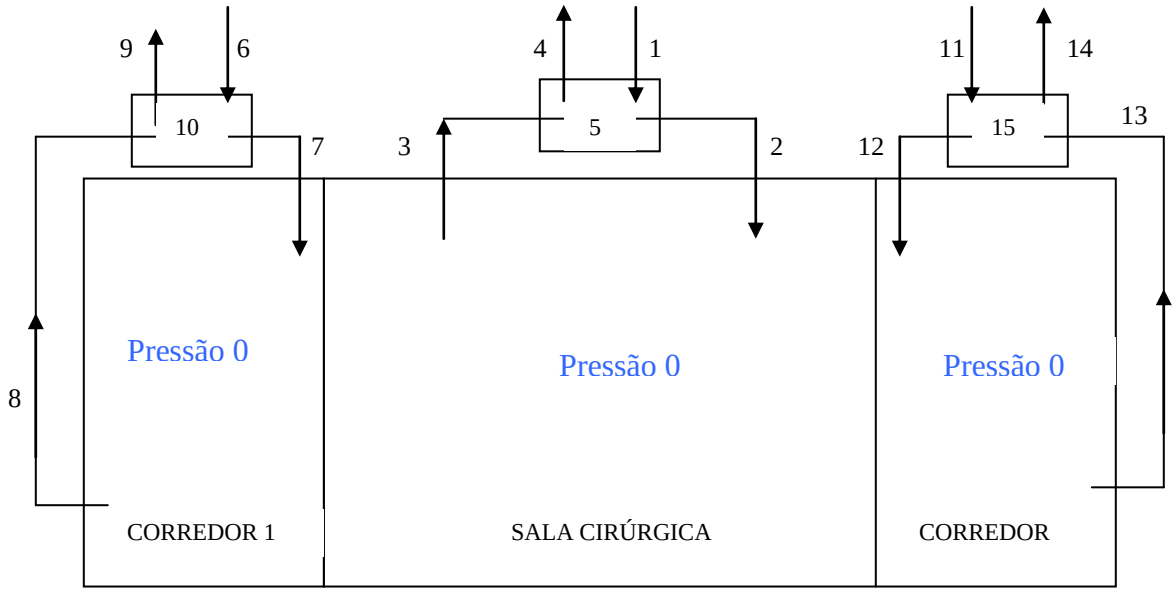
14- $\overset{\circ}{Q}_{14} = 0{,}12 m^3/s$

15- $\overset{\circ}{Q}_{15} = 0{,}1627 m^3/s$

16- $\overset{\circ}{Q}_{16} = 0{,}1027 m^3/s$

17- $\overset{\circ}{Q}_{17} = 0{,}06 m^3/s$

C2CS2



As vazões são as seguintes:

1- $\overset{\circ}{Q}_1 = 0{,}15 m^3/s$

2- $\overset{\circ}{Q}_2 = 0{,}45 m^3/s$

3- $\overset{\circ}{Q}_3 = 0{,}45 m^3/s$

4- $\overset{\circ}{Q}_4 = 0{,}15 m^3/s$

5- $\overset{\circ}{Q}_5 = 0{,}30 m^3/s$

6- $\overset{\circ}{Q}_6 = 0{,}075 m^3/s$

7- $\overset{\circ}{Q}_7 = 0{,}15 m^3/s$

8- $\overset{\circ}{Q}_8 = 0{,}15 m^3/s$

9- $\overset{\circ}{Q}_9 = 0{,}075 m^3/s$

10- $\overset{\circ}{Q}_{10} = 0{,}075 m^3/s$

11- $\overset{\circ}{Q}_{11} = 0{,}06 m^3/s$

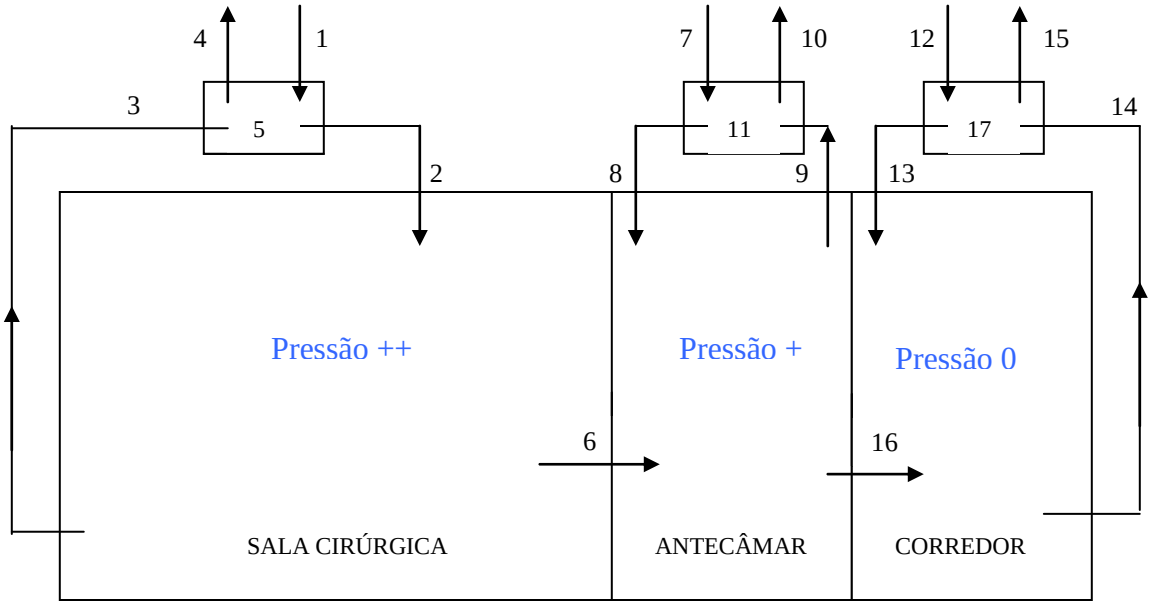
12- $\overset{\circ}{Q}_{12} = 0{,}12 m^3/s$

13- $\overset{\circ}{Q}_{13} = 0{,}12 m^3/s$

14- $\overset{\circ}{Q}_{14} = 0{,}06 m^3/s$

15- $\overset{\circ}{Q}_8 = 0{,}06 m^3/s$

C3CA1



As vazões são as seguintes:

1- $\overset{\circ}{Q}_1 = 0{,}15 m^3/s$

2- $\overset{\circ}{Q}_2 = 0{,}75 m^3/s$

3- $\overset{\circ}{Q}_3 = 0{,}72 m^3/s$

4- $\overset{\circ}{Q}_4 = 0{,}12 m^3/s$

5- $\overset{\circ}{Q}_5 = 0{,}6 m^3/s$

6- $\overset{\circ}{Q}_6 = 0{,}03 m^3/s$

7- $\overset{\circ}{Q}_7 = 0{,}0363 m^3/s$

8- $\overset{\circ}{Q}_8 = 0{,}1094 m^3/s$

9- $\overset{\circ}{Q}_9 = 0{,}1094 m^3/s$

10- $\overset{\circ}{Q}_{10} = 0{,}0363 m^3/s$

11- $\overset{\circ}{Q}_{11} = 0{,}0731 m^3/s$

12- $\overset{\circ}{Q}_{12} = 0{,}0363 m^3/s$

13- $\overset{\circ}{Q}_{13} = 0{,}0729 m^3/s$

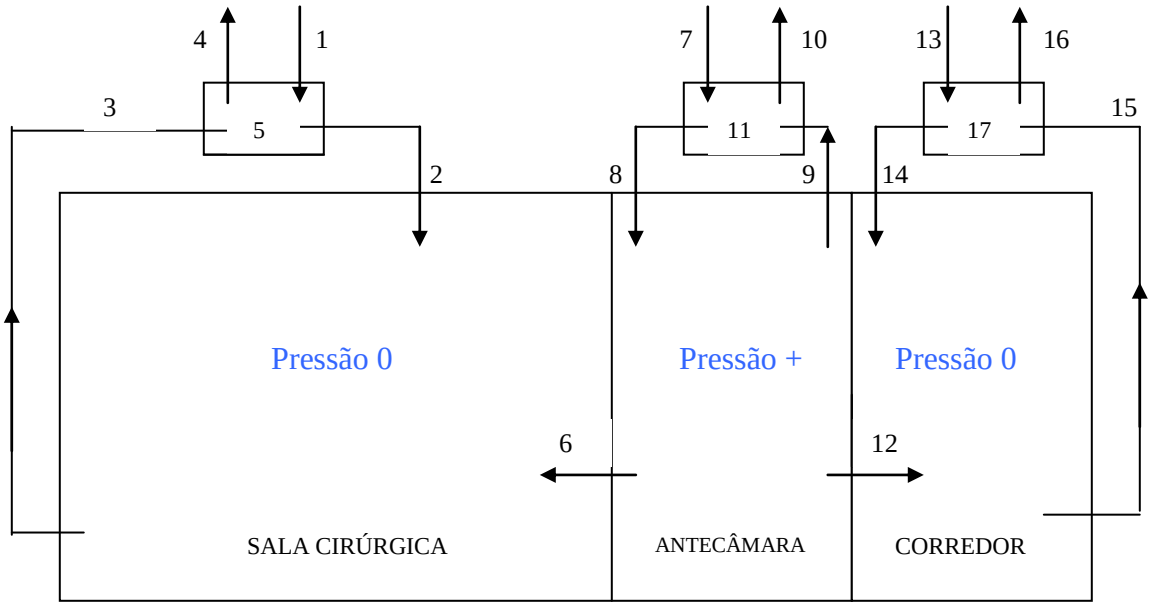
14- $\overset{\circ}{Q}_{14} = 0{,}1092 m^3/s$

15- $\overset{\circ}{Q}_{15} = 0{,}3993 m^3/s$

16- $\overset{\circ}{Q}_{16} = 0{,}03 m^3/s$

17- $\overset{\circ}{Q}_{17} = 0{,}2901 m^3/s$

C3CS1



As vazões são as seguintes:

1- $\overset{\circ}{Q}_1 = 0{,}15 m^3/s$

2- $\overset{\circ}{Q}_2 = 0{,}45 m^3/s$

3- $\overset{\circ}{Q}_3 = 0{,}48 m^3/s$

4- $\overset{\circ}{Q}_4 = 0{,}18 m^3/s$

5- $\overset{\circ}{Q}_5 = 0{,}30 m^3/s$

6- $\overset{\circ}{Q}_6 = 0{,}03 m^3/s$

7- $\overset{\circ}{Q}_7 = 0{,}075 m^3/s$

8- $\overset{\circ}{Q}_8 = 0{,}15 m^3/s$

9- $\overset{\circ}{Q}_9 = 0{,}09 m^3/s$

10- $\overset{\circ}{Q}_{10} = 0{,}15 m^3/s$

11- $\overset{\circ}{Q}_{11} = 0{,}075 m^3/s$

12- $\overset{\circ}{Q}_{12} = 0{,}03 m^3/s$

13- $\overset{\circ}{Q}_{13} = 0{,}06 m^3/s$

14- $\overset{\circ}{Q}_{14} = 0{,}12 m^3/s$

15- $\overset{\circ}{Q}_{15} = 0{,}15 m^3/s$

16- $\overset{\circ}{Q}_{16} = 0{,}09 m^3/s$

17- $\overset{\circ}{Q}_{17} = 0{,}06 m^3/s$

Considerando a infiltração de ar pela porta, o cálculo foi feito a partir da seguinte equação:

$$\overset{\circ}{Q} = CDAf\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \text{ (m3/s)}$$

onde:

CD=0,65
Af (área de fresta) = (3+6,30)0,001=0,0093 m^2
ρ = 1,2 kg/m^3

$\overset{\circ}{Q} = CDAf\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = (0{,}65 \times 0{,}0093)\sqrt{\frac{2 \times 15}{1{,}2}} = 0{,}03\,\text{m3/s}$, para diferença de uma pressão positiva (++→ +)

$\overset{\circ}{Q} = CDAf\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = (0{,}65 \times 0{,}0093)\sqrt{\frac{2 \times 30}{1{,}2}} = 0{,}0427\,\text{m3/s}$, para diferença de uma pressão positiva (++→ 0)

$$\overset{o}{Q}_{cir.ortopédica} = 25(trocas/h)\cdot 108 = (2700m^3/h):3600 = 0{,}75m^3/s$$