

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DA BIBLIOTECA MÁRIO
DE ANDRADE**

Arthur Garuti dos Santos

São Paulo

2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DA BIBLIOTECA MÁRIO
DE ANDRADE**

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia

Arthur Garuti dos Santos

Orientador: Alberto Hernandez Neto

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Arthur Garuti dos

**Projeto de sistema de climatização da biblioteca Mário de Andrade /
A.G. dos Santos / A.G. dos Santos. – São Paulo, 2014. 218 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

1.Climatização 2.Bibliotecas I.Universidade de São Paulo.

Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

A biblioteca Mário de Andrade (BMA) é a segunda maior do país e possui um enorme acervo de livros e periódicos, além do intenso trânsito de pessoas nas áreas de circulação. Para a conservação deste material é necessário um sistema de climatização que mantenha controlado os ambientes dentro dos parâmetros definidos pelos profissionais da BMA. Para os acervos deve-se manter uma temperatura de bulbo seco de 21° C e umidade relativa de 45% no interior da sala, por sua vez, os parâmetros das áreas de circulação são valores comuns para conforto térmico obtidos em normas. A metodologia utilizada para o projeto segue a seguinte ordem: definição dos parâmetros externos e internos ao prédio (clima típico, iluminação, número de pessoas nas salas, material das paredes e vidros), cálculo das cargas térmicas dos ambientes utilizando o método CLTD/CLF (Diferença de temperatura de carga térmica e fatores de carga térmica) desenvolvido pela American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE, seleção do sistema de climatização e seleção dos equipamentos (*chillers*, bombas, climatizadores, difusores, grelhas). O estudo do sistema adequado para a BMA é fundamental para a conservação do material cultural e levanta questões e soluções para outros projetos de acervos, museus e bibliotecas.

ABSTRACT

The Mário de Andrade library (BMA) is the second largest in Brazil and has a very large collection of books and periodicals; moreover, it has an intense transit of people at the circulation areas. For the preservation of this collection, a HVAC system is necessary to keep controlled environments within the range defined by the professionals of the BMA. For the archives there must maintained a dry bulb temperature of 21° C and 45% relative humidity inside the room. On the other hand, the parameters of the circulation areas are common values for thermal comfort obtained in standards. The methodology used for the project follows the following order: definition of external and internal parameters of the building (typical climate, lighting, number of people in the rooms, confection material of the walls and windows), calculation of the thermal loads of the rooms using the method CLTD/CLF (*Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Factors*) developed by American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE, HVAC system selection and selection of equipment (chillers, pumps, air conditioners, diffusers, grilles). The study of the proper system for the BMA is essential to the conservation of cultural material and raises questions and solutions to other archives, museums and libraries projects.

SUMÁRIO

1. CARACTERIZAÇÃO DA BIBLIOTECA MÁRIO DE ANDRADE	1
1.1. Contexto Histórico do Edifício	1
1.2. Acervos	3
1.3. Público	4
1.4. Orientação geográfica do edifício	5
1.5. Material construtivo (Paredes, lajes e vidros).....	6
1.6. Iluminação.....	7
2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	9
3. CARGA TÉRMICA	14
3.1. Parâmetros internos.....	16
3.2. Parâmetros climáticos	17
4. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA: ACERVO	20
4.1. Carga térmica das paredes - Acervo.....	20
4.2. Carga térmica dos vidros - Acervo	23
4.3. Carga térmica total do acervo.....	26
5. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA: ÁREA CIRCULANTE.....	29
5.1. Cálculo da carga térmica: Sala de Artes	29
5.1.1. Carga térmica das paredes – Artes	29
5.1.2. Carga térmica dos vidros – Artes	30
5.1.3. Carga térmica da laje – Artes	31
5.1.4. Carga térmica de iluminação – Artes	32
5.1.5. Carga térmica de pessoas – Artes	33

5.1.6.	Carga térmica de infiltração – Artes.....	34
5.1.7.	arga térmica Total – Artes.....	36
5.2.	Cálculo da carga térmica: Coleção Geral.....	38
5.2.1.	Carga térmica das paredes – CG	38
5.2.2.	Carga térmica dos vidros – CG	39
5.2.3.	Carga térmica de iluminação – CG	40
5.2.4.	Carga térmica de pessoas – CG	40
5.2.5.	Carga térmica de infiltração – CG.....	41
5.2.6.	Carga térmica Total – CG.....	42
5.3.	Cálculo da carga térmica: Mapoteca.....	43
5.3.1.	Carga térmica das paredes – Mapoteca.....	43
5.3.2.	Carga térmica dos vidros – Mapoteca.....	44
5.3.3.	Carga térmica de iluminação – Mapoteca	45
5.3.4.	Carga térmica de pessoas – Mapoteca	45
5.3.5.	Carga térmica de infiltração – Mapoteca.....	45
5.3.6.	Carga térmica Total – Mapoteca	47
5.4.	Cálculo da carga térmica: Consulta de Obras Raras	48
5.4.1.	Carga térmica das paredes – Consulta de Obras Raras.....	48
5.4.2.	Carga térmica dos vidros – Consulta de Obras Raras.....	49
5.4.3.	Carga térmica de iluminação – Consulta de Obras Raras.....	50
5.4.4.	Carga térmica de pessoas – Consulta de Obras Raras	50
5.4.5.	Carga térmica Total – Consulta de Obras Raras	51
5.5.	Cálculo da carga térmica: Circulante.....	53
5.5.1.	Carga térmica das paredes – Circulante.....	53
5.5.2.	Carga térmica dos vidros – Circulante.....	54
5.5.3.	Carga térmica da laje – Circulante	55
5.5.4.	Carga térmica de iluminação – Circulante	56
5.5.5.	Carga térmica de pessoas – Circulante	57
5.5.6.	Carga térmica de infiltração – Circulante.....	57
5.5.7.	Carga térmica Total – Circulante.....	58
5.6.	Cálculo da carga térmica: Área dos pesquisadores	60
5.6.1.	Carga térmica das paredes – Área dos pesquisadores.....	60
5.6.2.	Carga térmica da laje – Área dos pesquisadores	61

5.6.3.	Carga térmica de iluminação – Área dos pesquisadores	61
5.6.4.	Carga térmica de pessoas – Área dos pesquisadores	62
5.6.5.	Carga térmica de infiltração – Área dos pesquisadores	62
5.6.6.	Carga térmica Total – Área dos pesquisadores	63
6.	CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA: SERPENTINA.....	65
6.1.	Serpentina – Acervo	65
6.1.1.	Balanço de energia no ambiente – Acervo	66
6.1.2.	Balanço de massa na caixa de mistura – Acervo.....	68
6.1.3.	Balanço de energia serpentina – Acervo.....	71
6.1.4.	Serpentina – Área Circulante	72
6.1.5.	Balanço de energia no ambiente – Área Circulante.....	73
6.1.6.	Balanço de massa na caixa de mistura – Área Circulante	73
6.1.7.	Balanço de energia serpentina – Área Circulante	76
7.	SELEÇÃO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO.....	77
7.1.	Sistema de condicionamento – Acervo	80
7.2.	Sistema de condicionamento – área circulante	82
8.	SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	84
8.1.	Climatizadores de ar.....	84
8.1.1.	Ventilador.....	87
8.1.2.	Serpentina de resfriamento e desumificação	89
8.1.3.	Resistência de aquecimento	91
8.1.4.	Umidificador.....	91
8.1.5.	Filtros	93
8.1.6.	Seleção final por catálogos.....	95
8.2.	Central de água gelada	101
8.2.1.	Condensadores	101
8.2.2.	Chiller	105
8.2.3.	Torres de resfriamento	108
8.2.4.	Seleção dos <i>chillers</i> e torre de resfriamento.....	110
8.2.5.	Bombas de água gelada	112

8.2.6.	Configuração e seleção das bombas de água gelada	113
9.	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE AR.....	115
9.1.	Distribuição de ar – Acervo.....	115
9.1.1.	Configuração	116
9.1.2.	Dimensionamento.....	118
9.1.3.	Elementos terminais	119
9.1.4.	Balanceamento	120
9.2.	Distribuição de ar – Circulante.....	124
9.2.1.	Configuração	124
9.2.2.	Dimensionamento.....	127
9.2.3.	Elementos terminais	130
9.2.4.	Balanceamento	132
9.3.	Distribuição de ar – Consulta de obras raras e Mapoteca	136
9.3.1.	Configuração	136
9.3.2.	Dimensionamento.....	139
9.3.3.	Elementos terminais	140
9.3.4.	Balanceamento	142
10.	ORÇAMENTO	146
11.	REFERÊNCIAS.....	149
	ANEXO A – DESENHOS DO ACERVO E ÁREA CIRCULANTE	153
	ANEXO B – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DO ACERVO	157
	ANEXO C – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA SALA DE ARTES	165
	ANEXO D – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA COLEÇÃO GERAL.....	169
	ANEXO E – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA MAPOTECA.....	172

ANEXO F – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA CONSULTA DE OBRAS RARAS	
.....	175
ANEXO G – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DO CIRCULANTE	179
ANEXO H – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DAS SALAS DOS PESQUISADORES	
.....	182
ANEXO I – SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E CATÁLOGOS	184
ANEXO J – DISTRIBUIÇÃO DE AR	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coleções disponíveis para consulta (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013c).....	3
Tabela 2 - Público para de janeiro a outubro de 2013 da BMA (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013). ..	4
Tabela 3 - Valores adotados para paredes, vidros e lajes.	7
Tabela 4 - Luminárias em cada sala da BMA.....	8
Tabela 5 - Parâmetros internos de temperatura de bulbo seco e umidade relativa.....	16
Tabela 6 – Dados de projeto para Guarulhos, São Paulo (ABNT, 2008).....	17
Tabela 7 - Fator f para cálculo de T_m (ASHRAE, 2005).....	18
Tabela 8 - Perfil de temperaturas médias.....	18
Tabela 9 - Dados referentes às paredes do acervo	21
Tabela 10 - Definição dos blocos de andares do acervo – Paredes e lajes.....	23
Tabela 11 - Área das janelas do acervo.....	24
Tabela 12 - SHGF para as paredes do acervo (ASHRAE, 1985).	25
Tabela 13 - Definição dos blocos de andares do acervo – Vidros.	25
Tabela 14 - Dados referentes às paredes da sala de artes	29
Tabela 15 - Área das janelas da sala de artes	30
Tabela 16 - Dados referentes à laje da sala de artes.....	31
Tabela 17 - Fator LM para paredes ou telhados horizontais (ASHRAE, 1985).	32
Tabela 18 - Carga Térmica de infiltração na sala de artes.	36
Tabela 19 - Dados referentes às paredes da CG.....	38
Tabela 20 - Área das janelas da CG	39
Tabela 21 - Carga Térmica de infiltração na CG	41
Tabela 22 - Dados referentes às paredes da Mapoteca	43
Tabela 23 - Área das janelas da Mapoteca	44
Tabela 24 - Carga Térmica de infiltração na Mapoteca	46
Tabela 25 - Dados referentes às paredes da área de consulta de obras raras.....	48
Tabela 26 - Área das janelas da área de consulta de obras raras.	49
Tabela 27 - Dados referentes às paredes do circulante	53
Tabela 28 - Área das janelas do circulante.....	54
Tabela 29 - Dados referentes à laje do circulante.....	56
Tabela 30 - Carga Térmica de infiltração no circulante	58
Tabela 31 - Dados referentes às paredes das salas da área dos pesquisadores.	60
Tabela 32 - Dados referentes à laje do circulante.....	61
Tabela 33 - Carga Térmica de infiltração nas salas dos pesquisadores.....	63
Tabela 34 - Balanço de energia no ambiente - acervo.	68

Tabela 35 - Valores de Fp e Fa para edifícios públicos. (ABNT, 2008).....	69
Tabela 36 - Vazão de renovação - área circulante.....	69
Tabela 37 - Caixa de mistura - Acervo.....	71
Tabela 38 - Carga térmica na serpentina - Acervo.	72
Tabela 39 - Balanço de energia no ambiente - Área de circulação	73
Tabela 40 - Valores de Fp e Fa para edifícios de escritórios. (ABNT, 2008)	74
Tabela 41 - Vazão de renovação - área circulante.....	74
Tabela 42 - Caixa de mistura – Áreas de circulação.	75
Tabela 43 –Carga térmica na serpentina – área de circulação.	76
Tabela 44 - Matriz de decisão para seleção do sistema de condicionamento do acervo (ASHRAE, 2004).....	81
Tabela 45 - Tipos de filtros de partículas de acordo com a EN 779:2002 (ABNT, 2008).	94
Tabela 46 - Classe mínima de filtragem (ABNT, 2008).	95
Tabela 47 - Resumo da seleção dos climatizadores.	97
Tabela 48 - Seleção dos "fancoletes" - Modelos da Carrier.....	99
Tabela 49 - Carga térmica sensível - resistência de aquecimento.	99
Tabela 50 - Modelos de resistência de aquecimento da York.	100
Tabela 51 - Capacidade necessária dos umidificadores dos andares do acervo.	100
Tabela 52 - Seleção das bombas de água gelada.	114
Tabela 53 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 4º ao 22º andar do acervo.....	118
Tabela 54 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 4º ao 22º andar do acervo.....	119
Tabela 55 - Seleção das grelhas de insuflamento (GI) e retorno (GR) dos andares do acervo.	120
Tabela 56 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 8º ao 22º andar.	121
Tabela 57 - Balanceamento do 8º ao 22º andar do acervo.	122
Tabela 58 – Ângulo de fechamento dos <i>dampers</i> tipo borboleta - acervo.	123
Tabela 59 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do circulante.	127
Tabela 60 - Dimensionamento dos dutos de retorno do circulante.	129
Tabela 61 - Seleção dos difusores de insuflamento e grelhas de retorno do circulante.	131
Tabela 62 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do circulante.....	132
Tabela 63 - Balanceamento do circulante.....	133
Tabela 64 - Ângulo de fechamento dos <i>dampers</i> tipo borboleta - circulante.....	135
Tabela 65 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento da consulta de obras raras e mapoteca.	139
Tabela 66 - Dimensionamento dos dutos de retorno da consulta de obras raras e mapoteca.	140
Tabela 67 - Seleção dos difusores de insuflamento e grelhas de retorno da consulta de obras raras e mapoteca.	141

Tabela 68 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos da consulta de obras raras e mapoteca - insuflamento.	142
Tabela 69 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos da consulta de obras raras e mapoteca - retorno.	143
Tabela 70 – Balanceamento da consulta de obras raras e mapoteca – insuflamento.	143
Tabela 71 - Balanceamento da consulta de obras raras e mapoteca – retorno.....	144
Tabela 72 - Ângulo de fechamento dos <i>dampers</i> tipo borboleta – consulta obras raras.....	145
Tabela 73 - Orçamento estimado total.	147
Tabela 74 - CLTD para parede tipo B e laje númeo 3 (ASHRAE, 1985).	157
Tabela 75 - Fator LM (ASHRAE, 1985).	157
Tabela 76 - Perfil de CLTD corrigido para cada face no verão e no inverno - Acervo.	158
Tabela 77 - Carga Térmica de condução das paredes - 1º andar.	158
Tabela 78 - Carga Térmica de condução das paredes - 2º e 3º andar.	158
Tabela 79 - Carga Térmica de condução das paredes - 4º ao 7º andar.	159
Tabela 80 - Carga Térmica de condução das paredes - 8º ao 22º andar.	159
Tabela 81 - Carga Térmica de condução das paredes - 23º andar.	159
Tabela 82 – CLTD _{tab} para condução através de vidros (REF).	159
Tabela 83 - CLTD _{corr} para condução nos vidros do acervo.	159
Tabela 84 – Carga térmica de condução para os vidros do acervo – 2º e 3º andar.....	160
Tabela 85 - Carga térmica de condução para os vidros do acervo – 4º e 7º andar.	160
Tabela 86 - Carga térmica de condução para os vidros do acervo – 8º e 23º andar.	160
Tabela 87 - CLF para construção H referente ao acervo (REF)	161
Tabela 88 - Carga térmica de radiação para o acervo – 2º e 3º andar.....	161
Tabela 89 - Carga térmica de radiação para o acervo – 4º ao 7º andar	161
Tabela 90 - Carga térmica de radiação para o acervo – 8º ao 23º andar.	161
Tabela 91 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da sala de artes no verão e no inverno	165
Tabela 92 - Carga térmica de condução para as paredes da sala de artes.....	165
Tabela 93 - CLTD _{corr} para condução nos vidros da sala de artes.	165
Tabela 94 - Carga térmica de condução para os vidros da sala de artes.....	166
Tabela 95 - CLF para construção H referente a sala de artes (ASHRAE, 1985).	166
Tabela 96 - Carga térmica de radiação para a sala de artes	166
Tabela 97 - CLTD _{tab} para condução através deu uma laje de aproximadamente 203mm de concreto (ASHRAE, 1985).	167
Tabela 98 - CLTD _{corr} para o terraço da sala de artes.	167
Tabela 99 - Carga térmica total através do terraço para a sala de artes.	167
Tabela 100 - Perfil de CLFele para sala de artes (ASHRAE, 1985).	167
Tabela 101 - Carga térmica total de iluminação da sala de artes	167

Tabela 102 - Perfil CLFp para a sala de artes (ASHRAE, 1985).	168
Tabela 103 - Calor sensível e latente das pessoas na sala de artes.	168
Tabela 104 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da CG no verão e no inverno.....	169
Tabela 105 - Carga térmica de condução para as paredes da CG.	169
Tabela 106 - Carga térmica de condução para os vidros da CG.	169
Tabela 107 - CLF para construção H referente a CG (ASHRAE, 1985).	170
Tabela 108 - Carga térmica de radiação para a CG.....	170
Tabela 109 - Perfil de CLF _{ele} para CG (ASHRAE, 1985).	170
Tabela 110 - Carga térmica total de iluminação da CG.....	170
Tabela 111 - Perfil CLFp para a CG (ASHRAE, 1985).....	170
Tabela 112 - Calor sensível e latente das pessoas na CG.....	171
Tabela 113 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da Mapoteca no verão e no inverno	172
Tabela 114 - Carga térmica de condução para as paredes da Mapoteca.....	172
Tabela 115 - Carga térmica de condução para os vidros da Mapoteca.....	172
Tabela 116 - CLF para construção H referente a Mapoteca (ASHRAE, 1985).	173
Tabela 117 - Carga térmica de radiação para a Mapoteca.	173
Tabela 118 - Perfil de CLF _{ele} para Mapoteca (ASHRAE, 1985).....	173
Tabela 119 - Carga térmica total de iluminação da Mapoteca.	173
Tabela 120 - Perfil CLFp para a Mapoteca (ASHRAE, 1985).	173
Tabela 121 - Calor sensível e latente das pessoas na Mapoteca	174
Tabela 122 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da área de consulta de obras raras no verão e no inverno	175
Tabela 123 - Carga térmica de condução para as paredes da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado	175
Tabela 124 - Carga térmica de condução para as paredes da consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.	175
Tabela 125 - Carga térmica de condução para os vidros consulta de obras raras – Sala Paulo Prado	176
Tabela 126 - Carga térmica de condução para os vidros consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.	176
Tabela 127 - CLF para construção H referente a área de consulta de obras raras (ASHRAE, 1985).176	
Tabela 128 - Carga térmica de radiação para a consulta de obras raras – Sala Paulo Prado.....	177
Tabela 129 - Carga térmica de radiação para a consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.	177
Tabela 130 - Perfil de CLF _{ele} para consulta de obras raras (ASHRAE, 1985).	177
Tabela 131 - Carga térmica total de iluminação da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado ...	177

Tabela 132 - Carga térmica total de iluminação da consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.	177
Tabela 133 - Perfil CLFp para a consulta de obras raras (ASHRAE, 1985).	178
Tabela 134 - Calor sensível e latente das pessoas da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado.	178
Tabela 135 - Calor sensível e latente das pessoas da consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.	178
Tabela 136 - Perfil de CLTD corrigido para cada face do circulante no verão e no inverno.....	179
Tabela 137 - Carga térmica de condução para as paredes do circulante.	179
Tabela 138 - CLTD _{corr} para condução nos vidros do circulante (ASHRAE, 1985).	179
Tabela 139 - Carga térmica de condução para os vidros do circulante.	180
Tabela 140 - CLF para construção H referente ao circulante (ASHRAE, 1985).	180
Tabela 141 - Carga térmica de radiação para o circulante	180
Tabela 142 - Carga térmica total através do terraço para o circulante.....	180
Tabela 143 - Perfil de CLF _{ele} para o circulante (ASHRAE, 1985).	181
Tabela 144 - Carga térmica total de iluminação do circulante.	181
Tabela 145 - Perfil CLFp para o circulante (ASHRAE, 1985).	181
Tabela 146 - Calor sensível e latente das pessoas no circulante.	181
Tabela 147 - Carga térmica de condução para as salas dos pesquisadores (paredes e teto).	182
Tabela 148 - Perfil de CLF _{ele} para as salas de reunião (ASHRAE, 1985).	182
Tabela 149 - Carga térmica total de iluminação das salas de reunião.	182
Tabela 150 - Perfil CLFp das salas de reunião (ASHRAE, 1985).	182
Tabela 151 - Calor sensível e latente das salas de reunião.	183
Tabela 152 – Recorte do catálogo da Trane do umidificador. (TRANE, 2009).....	197
Tabela 153 - Tabela para determinação do fator de capacidade.	200
Tabela 154 - Tabela para seleção das torres séria WT.	200
Tabela 155 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 23o andar do acervo.....	203
Tabela 156 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 23o andar do acervo.....	204
Tabela 157 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 4º ao 7º andar do acervo.....	204
Tabela 158 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 4º ao 7º andar do acervo.	205
Tabela 159 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 1º ao 3º andar do acervo.....	206
Tabela 160 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 1º ao 3º andar do acervo.....	207
Tabela 161 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 23º andar.	212
Tabela 162 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 4º ao 7º andar.	213
Tabela 163 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 1º ao 3º andar.	214
Tabela 164 - Balanceamento do 23º andar do acervo.	215

Tabela 165 - Balanceamento do 4º ao 7º andar do acervo.	215
Tabela 166 - Balanceamento do 1º ao 3º andar do acervo.	216

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Biblioteca Mário de Andrade, vista da Rua da Consolação (Fotografia por ACAYABA, 2014).....	2
Figura 2 – Planta do térreo da BMA e sua respectiva face norte.	5
Figura 3 - Esquema de instalação de roda dessecante em sistemas convencionais de ar condicionado para controle de umidade (Adaptado de: SUBRAMANYAM et al, 2004).....	11
Figura 4 - COP para diversas vazões para sistemas distintos de climatização com controle de umidade (convencional, com roda dessecante e com reaquecimento) (Adaptado de: SUBRAMANYAM et al, 2004).....	12
Figura 5 - Sistema com controle na demanda de ventilação (DCV). (Adaptado de: ASCIONE et al, 2007).....	13
Figura 6 - Modelo para cálculo da carga térmica na serpentina (HERNANDEZ, 2013).	65
Figura 7 - Sistema de zona simples. (STOECKER, 1985)	78
Figura 8 - Sistema de volume de ar variável (VAV) (STOECKER, 1985).	79
Figura 9 - Sistema de zona simples com central de água gelada (THE ENGINEERING TOOLBOX, 2014).....	82
Figura 10 - Climatizador de ar da York – modelo YM.	84
Figura 11 - Intercambiador de calor do tipo piso-teto. (CARRIER, 2014)	85
Figura 12 - Intercambiador de calor do tipo Cassete. (CARRIER, 2014)	86
Figura 13 - Intercambiador de calor do tipo <i>Built-In</i> . (CARRIER, 2014).....	86
Figura 14 - Ventilador centrífugo (STOECKER, 1985).	87
Figura 15 - Ventilador centrífugo com pás voltadas para frente e sua curva característica. (ALÉ, 2001).....	88
Figura 16 - Ventilador centrífugo com pás voltadas para trás e sua curva característica. (ALÉ, 2001)	89
Figura 17 - Umidificador a vapor da Trane. (TRANE, 2012)	92
Figura 18 - Umidificador por pulverização de água (LORAN, 2014)	93
Figura 19 - Programa <i>Eclima</i> da York - Johnson Controls.....	96
Figura 20 - Condensador a ar. (adaptado de: BALTIMORE, 2014)	102
Figura 21 - Condensador a água do tipo tubo-tubo. (Adaptado de: MILLER, 2012)	103
Figura 22 - Condensador a água do tipo casco-serpentina. (Adaptado de: MILLER, 2012)	103
Figura 23 - Condensador a água do tipo casco-tubo. (Adaptado de: SPIRAX-SARCO,2014).....	104
Figura 24 - Condensador evaporativo. (Adaptado de: ASHRAE, 2004)	105
Figura 25 - Chiller com condensação a água da York. (JOHNSON CONTROLS, 2014)	106

Figura 26 - Resfriador de expansão direta do tipo casco-tubo. (Adaptado de: ASHRAE, 2004)	107
Figura 27 - Resfriador do tipo inundado de casco-tubo. (Adaptado de: ASHRAE, 2004).....	108
Figura 28 - Torre de resfriamento – circuito fechado. (Adaptado de: ASHRAE, 2004)	109
Figura 29 - Sistema de água gelada da BMA.	114
Figura 30 - Esquema unifilar do 4º ao 23º andar do acervo (GI: grelha de insuflamento; GR: grelha de retorno).	117
Figura 31 - Esquema unifilar do circulante.....	126
Figura 32 – Difusor linear da TROX modelo VSD50, medidas em mm. (Retirado do software Easy Product Finder da TROX).....	130
Figura 33 - Difusor de alta indução da TROX modelo VD 425 e VDW 600x24, medidas em mm. (Retirado do software Easy Product Finder da TROX).....	131
Figura 34 - Esquema unifilar da consulta de obras raras e mapoteca – insuflamento.	137
Figura 35 - Esquema unifilar da consulta de obras raras e mapoteca – retorno.....	138
Figura 36 – Difusor de teto da TROX modelo DLQ 300, medidas em mm. (Retirado do software Easy Product Finder da TROX).....	141
Figura 37 - Planta do 1o andar do acervo.	153
Figura 38 - 2o pavimento da BMA. No desenho: acervo de artes, sala de consulta de obras raras, chefia, digitação e consulta mapoteca.	153
Figura 39 - 3o pavimento da BMA. No desenho: 6º andar do acervo e salas de reuniões.	154
Figura 40 - Acervos do 8o ao 23o andar.....	154
Figura 41 - Corte da BMA. No desenho: térreo, 1o, 2o e 3o pavimentos; 1o ao 7o andar de acervo.	155
Figura 42 - Circulante, térreo.....	155
Figura 43 - Circulante, mezanino.	155
Figura 44 - Coleção Geral.....	156
Figura 45 - Sala de artes.	156
Figura 46 - Dimensões - modelo YM3	192
Figura 47 - Dimensões - modelo YM2	192
Figura 48 - Dimensões - modelo YM2.	193
Figura 49 - Dimensões - modelo YM4.	193
Figura 50 - Dimensões - modelo YM4.	194
Figura 51 - Dimensões - modelo YM5.	194
Figura 52 - Dimensões - modelo YM50.	195
Figura 53 - Recorte do catálogo do modelo cassete hidrônico da Carrier - Modelo 40HK10 para Sala de Artes.	196
Figura 54 - Recorte do catálogo do modelo cassete hidrônico da Carrier – Modelo 40HK16 para Coleção Geral.....	196

Figura 55 - Recorte do catálogo do modelo <i>hi-wall</i> hidrônico da Carrier – Modelo 40HP09 para área dos pesquisadores.	197
Figura 56 - Selecionamento do <i>chiller</i> com condesação a ar enviado pelos profissionais da York.	198
Figura 57 - Níveis de ruído do <i>chiller</i> com condesação a ar selecionado pelos profissionais da York.	199
Figura 58 - Recorte do catálogo da Johnson Controls para seleção do <i>chiller</i> com condensação a água.	199
Figura 59 - Dimensões da torre de resfriamento da marca Caravela modelo WT 51/12.	201
Figura 60 - Ábaco da SMACNA para dimensionamento de dutos pelo método da perda de carga constante. (MARIANI, 2007).	202
Figura 61 - Equivalência entre diâmetro circular e dimensões para dutos retangulares da SMACNA (MARIANI, 2007).	203
Figura 62 - Conexão em "T" - insuflamento. (MARIANI, 2007).....	209
Figura 63 - Conexão do tipo cotovelo. (MARIANI, 2007).....	209
Figura 64 - Redução em dois trechos de dutos. (MARIANI, 2007).....	210
Figura 65 - Expansão em dois trechos de dutos. (MARIANI, 2007).....	210
Figura 66 - Conexão em "T" - retorno. (MARIANI, 2007).....	211
Figura 67 - Junção convergente entre dois trechos - retorno. (MARIANI, 2007).....	211
Figura 68 - Junção divergente entre dois trechos - retorno. (MARIANI, 2007).....	212
Figura 69- Damper do tipo borboleta – seção retangular. (MARIANI, 2007).....	217
Figura 70 - Conexão em "T" com ramal circular. (MARIANI, 2007).....	217
Figura 71 – Curva em dutos circulares. (MARIANI, 2007).....	218
Figura 72 - Damper do tipo borboleta – seção circular. (MARIANI, 2007).....	218

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Carga térmica do 8º ao 22º andar do acervo – Verão	26
Gráfico 2 - Carga térmica do 8º ao 22º andar do acervo - Inverno	27
Gráfico 3 - Carga térmica total do acervo - Verão	27
Gráfico 4 - Carga térmica total do acervo - Inverno	28
Gráfico 5 - Carga térmica total de verão da sala de artes	37
Gráfico 6 - Carga térmica total de inverno da sala de artes	37
Gráfico 7 - Carga térmica total de verão da CG	42
Gráfico 8 - Carga térmica total de inverno da CG	42
Gráfico 9 - Carga térmica total de verão da Mapoteca	47
Gráfico 10 - Carga térmica total de inverno da Mapoteca	47
Gráfico 11 - Carga térmica total de verão da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado.....	51
Gráfico 12 - Carga térmica total de inverno da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado.....	51
Gráfico 13 - Carga térmica total de verão da consulta de obras raras – Chefia e Sala de digitação. 52	
Gráfico 14 - Carga térmica total de inverno da consulta de obras raras – Chefia e Sala de digitação.	52
Gráfico 15 - Carga térmica total de verão do circulante.....	59
Gráfico 16 - Carga térmica total de inverno do circulante	59
Gráfico 17 - Carga térmica de verão da sala de reunião.....	64
Gráfico 18 - Carga térmica de inverno da sala de reunião.....	64
Gráfico 19 - Carga térmica do 1º andar do acervo - Verão	162
Gráfico 20 - Carga térmica do 1º andar do acervo - Inverno	162
Gráfico 21 - Carga térmica do 2º e 3º andar do acervo - Verão.....	162
Gráfico 22 - Carga térmica do 2º e 3º andar do acervo - Inverno	163
Gráfico 23 - Carga térmica do 4º ao 7º andar do acervo - Verão	163
Gráfico 24 - Carga térmica do 4º ao 7º andar do acervo - Inverno	163
Gráfico 25 - Carga térmica do 23º andar do acervo - Verão	164
Gráfico 26 - Carga térmica do 23º andar do acervo - Inverno	164
Gráfico 27 - Carga térmica total de verão das 16 salas de reunião.....	183
Gráfico 28 - Carga térmica total de inverno das 16 salas de reunião.	183

1. CARACTERIZAÇÃO DA BIBLIOTECA MÁRIO DE ANDRADE

Os parâmetros utilizados nos cálculos da carga térmica de aquecimento e refrigeração que garantem conforto térmico e ou especificações para um dado ambiente estão baseados nas características construtivas do edifício e das condições internas nele presente.

O projeto de climatização da BMA possui dois ambientes que devem ser abordados de formas distintas: área de circulação e acervo.

A área de circulação (térreo, 1º e 2º pavimentos) necessita de um projeto do sistema de climatização com ênfase no conforto térmico dos visitantes e funcionários, além da harmonia estética com o ambiente. Por sua vez, o projeto do sistema de climatização do acervo (1º ao 23º andar) deve focar no sentido de manter os andares dentro das especificações de temperatura de bulbo seco e umidade relativa exigidos para acervos de museus e bibliotecas.

1.1.Contexto Histórico do Edifício

A BMA foi fundada em 1925 como Biblioteca Municipal de São Paulo localizada na Rua 7 de Maio no centro de São Paulo. Com o crescimento do acervo e a incorporação da Biblioteca Pública do Estado em 1937, viu-se necessária a mudança para um prédio com melhor estrutura.

Em 1936 o Diretor da Divisão de Bibliotecas, Rubens Borba de Moraes, dá início à construção do atual edifício projetado pelo francês Jacques Pilon, um marco na arquitetura da cidade de São Paulo, localizada na Rua da Consolação no centro de São Paulo. As obras se estenderam até 1942 com a área circulante inaugurada em 1944 (entrada pela Rua São Luís).

Após sua inauguração o problema de espaço persistiu e muitas reformas foram projetadas. Na década de 70 a reforma visou adequações de segurança e infraestrutura

com ganho de espaço graças à transferência da Seção Circulante para a Praça Roosevelt. Entretanto nos anos 90 e 2000 o problema de falta de espaço voltou à cena até que em 2007 as obras foram iniciadas junto com a reestruturação do acervo e reforma do prédio anexo onde hoje é destinado à Hemeroteca. A reinauguração do prédio principal da BMA ocorreu em janeiro de 2011 e do prédio Anexo em dezembro de 2012 (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013a).



Figura 1 - Biblioteca Mário de Andrade, vista da Rua da Consolação (Fotografia por ACAYABA, 2014).

1.2.Acervos

Considerada a maior biblioteca pública da cidade e segunda maior do país a BMA possui um acervo dividido em sete coleções. Cada coleção pode ser consultada em locais determinados dentro da Biblioteca com horários específicos (vide Tabela 1). É importante destacar que o trânsito interno dos itens é feito apenas por funcionários (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013b).

Tabela 1 - Coleções disponíveis para consulta (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013c).

Coleção	Local de Consulta	Horário	Conteúdo
Obras raras e especiais	Sala Paulo Padro – 1º Andar	Segunda a Sexta das 8h30 às 17h	Livros, Periódicos, Mapas, Cartões Postais, Moedas, Desenhos, etc.
Mapoteca	Sala da Mapoteca – 1º Andar	Segunda a Sexta das 8h30 às 17h	Mapas e Atlas.
Artes	Sala Sérgio Milliet – 1º Andar	Segunda a Sexta das 8h30 às 19h	Livros, <i>cds</i> , <i>dvds</i> , Periódicos, Gravuras, Calendários, Cartazes, etc.
Coleção Geral (CG)	Sala de Atendimento e Pesquisa da CG – 2º Andar	Segunda a Sexta das 8h30 às 17h	Livros atuais e históricos.
Periódicos	Sala Jerônimo de Azevedo – Térreo – Sala de Atualidades e Prédio Anexo	Segunda a Sexta das 8h30 às 20h30	Jornais, Revistas e Publicações.

Multimeios	Sala da Mapoteca – 1º Andar e Prédio Anexo	Segunda a Sexta das 8h30 às 17h	Microfilme, Fitas cassete e <i>Slides</i> .
Circulante	Circulantes – Térreo - Sala de Estudos e Café	Segunda a Sexta das 8h30 às 20h30h. Sábados das 10h às 17h	Livros de diversos gêneros, <i>cds</i> , <i>dvds</i> .

1.3.Público

A circulação de pessoas e a frequência em cada ambiente são essenciais para o projeto de climatização da área circulante. Para os andares de acervo, apenas funcionários podem transitar e o tempo de permanência dos mesmos dentro da sala é curto. Deste modo, a análise será feita apenas para o público visitante da área de circulante.

A Tabela 2 foi construída com os dados obtidos no sítio da BMA. Os dados apresentados constam apenas até o mês de outubro de 2013. Os dados de cada mês foram acrescentados em uma planilha e com isso a tabela com os valores anuais foi calculada.

Tabela 2 - Público para de janeiro a outubro de 2013 da BMA (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013).

Local	Público Anual (2013)	Frequência por dia
Café	523	2
Circulante	133953	527
Coleção Geral	1866	7

Artes	4342	17
Mapoteca	15	0
Raros	230	1
Multimeios	55	0
Atualidades	38129	150
Auditório	8740	34
Total	1878532	740

1.4.Orientação geográfica do edifício

A Figura 2 mostra o desenho do pavimento térreo da biblioteca e sua face norte definida.

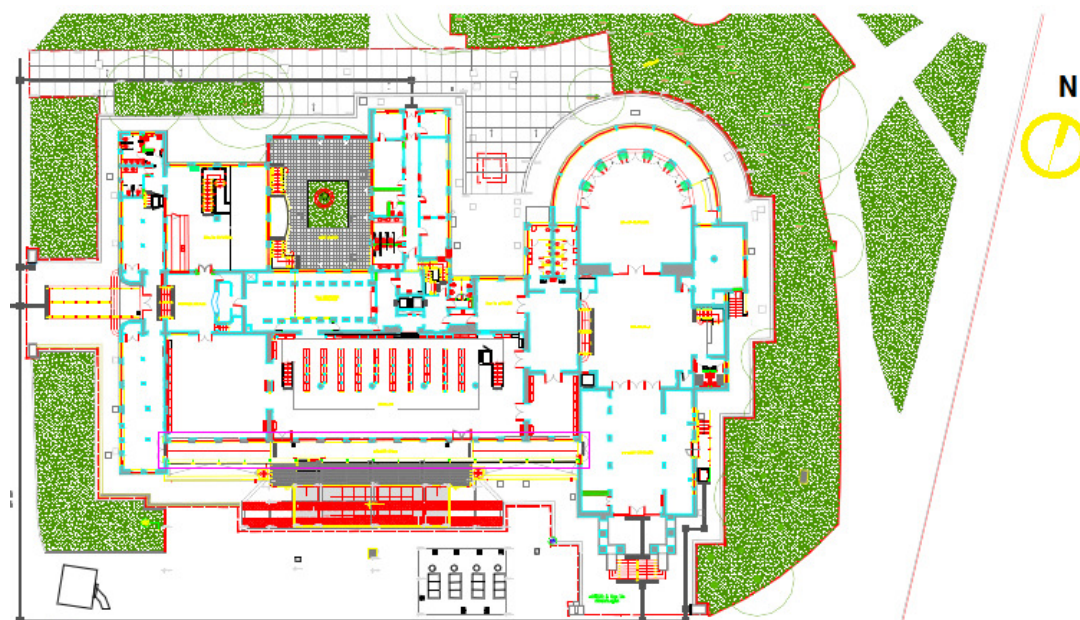


Figura 2 – Planta do térreo da BMA e sua respectiva face norte.

Observando a orientação da edificação em relação a rosa-dos-ventos, os cálculos serão simplificados com a face Sul voltada para a Rua da Consolação, por conseguinte a face voltada para Av. São Luís será oeste.

A posição geográfica da BMA é aproximadamente: (-23,547 S, -46,642 O). Portanto, para efeitos de cálculos será admitida latitude 24° Sul para a BMA.

1.5.Material construtivo (Paredes, lajes e vidros)

A BMA possui padrões construtivos diferentes dos atuais com dimensões de paredes e lajes distintas dos encontrados hoje no mercado de construção civil, portanto algumas simplificações serão adotadas para o cálculo de resistência térmica:

- As paredes externas e internas são formadas por tijolos maciços com uma camada de argamassa;
- As lajes e terraços terão uma resistência térmica como se tivessem uma camada única;
- Os vidros são laminados simples.
- Paredes de divisórias consideradas de gesso acartonado (*Drywall*) e resistência térmica adotada como típica para este componente.

Com as considerações expostas acima podemos definir as dimensões de cada parede, laje e vidros das regiões interessadas e obter o tipo de parede segundo a *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers* - ASHRAE (1985). As espessuras das diferentes paredes foram retiradas dos desenhos em CAD da BMA, sendo que a Tabela 3 resume as propriedades definidas neste trabalho.

Tabela 3 - Valores adotados para paredes, vidros e lajes.

Material	Espessura - e (m)	Condutividade Térmica - k (W/m.°C)	Resistência Térmica - R (m².°C/W)	Densidade (kg/m³)	Massa (kg/m²)
Tijolo maciço	0,11	0,72	0,153	1922	211,4
	0,28		0,389		538,2
	0,40		0,556		768,8
Argamassa	0,02	0,72	0,028	1790	35,8
Película Externa de ar (STOECKER, 1985)	----	----	0,044	----	----
Película Interna de ar (STOECKER, 1985)	----	----	0,121	----	----
Vidro	----	----	0,169	----	----
Laje/Terraço	0,35	0,381	0,92	609	213
Divisória	0,10	----	0,40	----	----

1.6. Iluminação

A quantidade de lâmpadas e tipo em cada sala foi retirada dos desenhos de luminárias em CAD da BMA, sendo que a Tabela 4 resume as informações das luminárias instaladas em cada sala a ser climatizada.

Tabela 4 - Luminárias em cada sala da BMA

Sala	Tipo e potência nominal	Quantidade
Acervo (por andar)	2xFluorescentes T8 32W	29
Artes	2xFluorescentes T8 32W	20
	1xCDM-T 70W	12
	Sanca Fluorescentes 32W	22
Atualidades	Sanca Fluorescentes 32W	64
	1xCDM-T 70W	16
Coleção Geral	2xFluorescentes T8 32W	14
Circulante	2xFluorescentes T8 32W	110
	Sanca Fluorescentes 32W	150
	2x Flur. Compacta 36W	7
	2xFlur. Compacta 55W	12
	1xCDM-TD 150W	6
	1xCDM-T 150W	12
Mapoteca	2xFluorescentes T8 32W	20
Sala Paulo Prado	2xFluorescentes T8 32W	15
Escritórios obras raras	2xFluorescentes T8 32W	8
Sala de pesquisador (por sala)	2xFluorescentes T8 32W	2

2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Para o desenvolvimento do projeto de climatização da Biblioteca Mário de Andrade (BMA) é necessário um levantamento bibliográfico direcionado especialmente para o controle de temperatura de bulbo seco e umidade relativa no interior de acervos. Será também abordado inicialmente o método de cálculo de carga térmica dos ambientes, entretanto o foco serão os sistemas de climatização, distribuição de ar e equipamentos utilizados na climatização de museus, acervos e galerias de arte.

O método utilizado no presente projeto para o cálculo da carga térmica do acervo e área circulante foi baseado no manual da *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers* (ASHRAE, 1985). O método chamado de *Cooling Load Difference Method/Cooling Load Factor* (CLTD/CLF) baseia-se em tabelas generalizadas para calcular as cargas térmicas devido aos diversos processos de transferência de calor através das paredes e janelas considerando a inércia térmica da edificação bem como a influência das cargas internas como pessoas, sistemas de iluminação e equipamentos. A escolha desse método deve-se ao fato de não ser preciso grande esforço computacional para ser implementado. Atualmente este método é pouco utilizado e a própria ASHRAE não detalhe este método nos manuais mais recentes.

Além da transferência de calor e radiação através das paredes e vidros, foi adicionada ao cálculo da carga térmica a geração de calor de equipamentos, pessoas e luzes no interior dos ambientes. Essa geração de calor possui valor significativo principalmente em prédios comerciais (STOECKER, 1985), além disso, o calor das lâmpadas liberado na forma de radiação não representa ganho instantâneo na carga térmica do sistema, ou seja, possui inércia térmica do mesmo modo que a radiação solar incidindo sobre as paredes do edifício.

Apesar de a carga térmica ser parte essencial do projeto, a BMA possui critérios específicos para conservação do material cultural presente no interior dos acervos além do conforto térmico dos visitantes e funcionários no interior do prédio.

Os parâmetros para museus, galerias de arte e acervos estão citados detalhadamente no manual da ASHRAE, mais especificadamente no volume dedicado a sistemas para museus presente no capítulo 21 do *Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications* (ASHRAE, 2011). Neste capítulo são discutidas classes de controle para ambientes controlados e também o tratamento de ar necessário para tais zonas, por exemplo, as temperaturas de bulbo seco e umidade relativa específicas para este tipo de ambiente, bem como a filtragem e tratamentos de ar adequados. Os parâmetros que serão adotados no projeto são especificados pelos responsáveis da BMA, entretanto, um estudo prévio da norma se faz necessário.

Para manter as condições específicas adotadas, um sistema eficiente e controlável deve ser instalado na biblioteca. Segundo STOECKER (1985):

“O sistema responsável pela transferência do calor do espaço condicionado para a fonte ou sumidouro é denominado sistema de distribuição térmica, que também é responsável pela introdução do ar externo de ventilação.”

Portanto para seleção do sistema de distribuição térmica ou sistema de condicionamento serão avaliados diversos aspectos como: custo inicial, instalação, renovação de ar, ciclo de vida, conforto acústico, níveis de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, condições climáticas locais, redundâncias, etc (ASHRAE, 2004). Os sistemas mais utilizados em acervos são segundo MAZZEI et al (2006) aqueles que apresentam volume de insuflamento constante, pois sistemas de volume de ar variável (VAV) podem apresentar, para cargas térmicas baixas, problemas de ventilação e circulação de ar no ambiente (STOECKER, 1985). A utilização de sistemas de água gelada é pouco utilizada em acervos, museus e galerias devido ao risco de vazamentos e consequentemente danos ao patrimônio cultural (MAZZEI et al, 2006). Para controle de temperatura de bulbo seco e umidade relativa em acervos o sistema citado por MAZZEI et al (2006) com melhor eficiência energética são de resfriamento por multizona com reaquecimento e umidificação zoneado. Este sistema, com equipamentos e projeto adequados, pode reduzir o consumo de energia (MAZZEI et al, 2006 apud BOVILL, 1988). Outro fator importante discutido por MAZZEI et al (2006) está relacionado com a divisão entre o sistema para o acervo e para a área

circulante. Segundo o autor, a separação resulta na diminuição de custos com energia uma vez que o acervo funcionará 24h e a área circulante apenas em horário comercial.

Os equipamentos utilizados nos sistemas são basicamente os mesmos presentes em projetos de conforto, entretanto o parâmetro principal a ser controlado é a umidade relativa. Para deixá-la em níveis recomendados para aplicação em acervos faz-se necessário o uso de um sistema de desumidificação. A opção de sistema de controle de umidade mais discutido e encontrado na literatura aberta é o sistema que faz uso de rodas dessecantes onde aspectos como consumo energético do sistema também são estudados. A roda dessecante esquenta e desumidifica o ar de insuflamento e para sua regeneração é utilizado o ar de retorno para resfriá-lo e umidificá-lo. Sua adição em sistemas de controle de umidade, Figura 3, leva o ar de insuflamento do sistema a temperaturas de orvalho baixas com pequenas alterações no coeficiente de eficácia (COP) do sistema, este coeficiente é a razão entre a refrigeração útil e o trabalho líquido (STOECKER, 1985), portanto busca-se sempre o maior valor possível para um sistema. Além disso, a resposta devido a mudanças de condições de operação deste sistema é melhor que sistemas de reaquecimento para os mesmos níveis de umidade (SUBRAMANYAM et al, 2004).

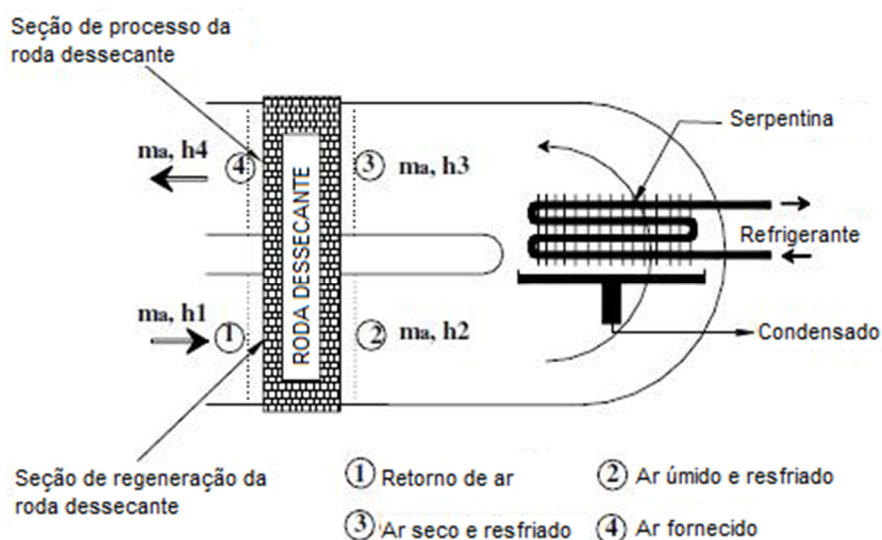


Figura 3 - Esquema de instalação de roda dessecante em sistemas convencionais de ar condicionado para controle de umidade (Adaptado de: SUBRAMANYAM et al, 2004).

Os resultados de SUBRAMANYAM et al (2004) mostram um COP um pouco menor dos sistemas de rodas dessecantes para diversas vazões de insuflamento

comparado a sistemas convencionais de climatização, porém um COP praticamente duas vezes maior em relação ao COP com sistemas de reaquecimento, Figura 4. Além disso, o controle e níveis de umidade relativa tiveram melhor resposta com a utilização da roda dessecante.

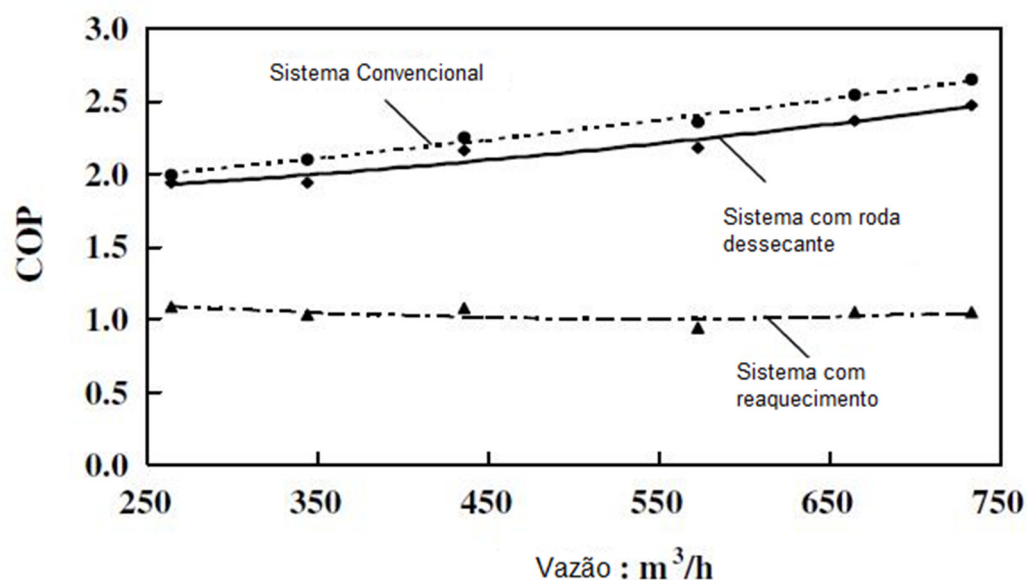


Figura 4 - COP para diversas vazões para sistemas distintos de climatização com controle de umidade (convencional, com roda dessecante e com reaquecimento) (Adaptado de: SUBRAMANYAM et al, 2004).

Entretanto, segundo BELLIA et al (2007), o uso de rodas dessecantes por absorção deve ser evitado, pois partículas ácidas ou gotículas provenientes da roda dessecante podem ser insufladas no ambiente, degradando a coleção. Portanto, o uso de rodas deve ser utilizado para cargas latentes muito elevadas e a necessidade de umidade relativa baixa. Uma alternativa, segundo ASCIONE et al (2007), para diminuir até 15% consumo energético (em relação ao sistema base de climatização do estudo) é a utilização apenas de rodas entálpicas no sistema. Em seu artigo, ASCIONE et al (2007), também compara os custos e consumos de outros dois sistemas: com roda dessecante e com controle na demanda de ventilação (DCV). O sistema com melhor economia de energia é o sistema com controle na demanda de ventilação, poupando até 45% dos gastos comparados ao sistema convencional. O sistema DCV mostrado na Figura 5, conta com sensor de CO₂ para regular a vazão de ar externo em relação ao número de pessoas no ambiente e deixar dentro da faixa aceitável em

norma. Além disso, avalia o ajuste da temperatura da sala para diferentes épocas do ano, por exemplo, 21° C no inverno e 23° C no verão tendo como resultado diminuição no consumo de energia comparado a uma temperatura fixa o ano todo.

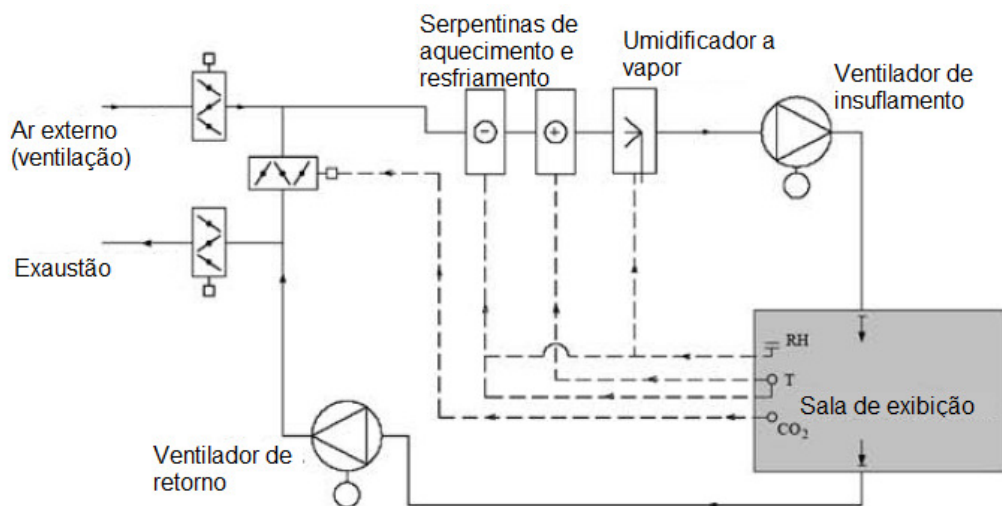


Figura 5 - Sistema com controle na demanda de ventilação (DCV). (Adaptado de: ASCIONE et al, 2007)

Os sistemas, para manter as condições de projeto, devem ter um controle que permita uma rápida resposta do sistema, evitando grandes oscilações de temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Segundo ZHANG et al (2010), o controle de temperatura de bulbo seco e umidade relativa independentes garantem vantagens operacionais e energéticas no sistema, ou seja, o controle independente garante que apenas o aquecedor ou o umidificador trabalhem, assim evitando que os dois trabalhem juntos e consequentemente diminuindo o consumo de energia da edificação.

3. CARGA TÉRMICA

A carga térmica de um ambiente é a quantidade de energia que precisa ser adicionada ou retirada do ambiente para manter a temperatura do ar constante dentro da zona térmica. Para melhor compreensão será apresentada a definição de ganho de calor (ASHRAE, 1985).

O ganho de calor instantâneo é a quantidade de calor que entra/sai ou é gerada no ambiente num período de tempo. Esse ganho pode ocorrer das seguintes formas: radiação solar através de superfícies transparentes; condução térmica através das divisões internas e externas do ambiente; calor gerado pelos ocupantes, iluminação e equipamentos; ventilação e infiltração de ar. Além disso, para a seleção dos equipamentos de climatização devem-se diferenciar os ganhos sensíveis dos latentes. Os ganhos sensíveis são aqueles que possuem adição de calor direta na zona térmica por condução, convecção e radiação. O ganho latente, por sua vez, existe quando umidade é adicionada ao ambiente. Assim, para manter a umidade no ambiente constante, a água deve ser condensada na mesma taxa que ela é inserida por fontes internas ou externas.

A soma de todos os ganhos instantâneos de calor para um dado período não reflete necessariamente a carga térmica. Isso porque o ganho de calor por radiação é parcialmente absorvido pelos elementos do ambiente (paredes, teto, vidros, etc) até a sua temperatura superficial fique acima da temperatura de bulbo seco do ar interno, transferindo calor para a zona térmica estudada. Esse fenômeno conhecido como inércia térmica é importante para o entendimento dos diferentes métodos de cálculo da carga térmica (ASHRAE, 1985).

Existem quatro principais métodos para o cálculo da carga térmica do ambiente: Balanço de energia; Diferença de Temperatura Total Equivalente (TETD); Funções de Transferência (TFM); Diferença de temperatura de carga térmica (em inglês *Cooling Load Temperature Difference*) e Fatores de carga térmica (em inglês *Cooling Load Factors*)-(CLTD/CLF).

O balanço de energia consiste em calcular quatro aspectos hora a hora: balanço de energia na face externa, interna e no ar da zona térmica e a condução de calor nas paredes. Este método é utilizado em softwares exigindo um grande esforço computacional para ser implementado (HERNANDEZ, 2013).

No método TETD ocorre a soma de diversos ganhos de calor a fim de encontrar um ganho instantâneo de calor (ASHRAE, 1985). Este é então convertido num perfil de carga térmica utilizando fatores de ponderação no tempo (TA) que avalia a inércia no ambiente causada pela radiação. Do mesmo modo que o balanço de energia, necessita de grande esforço computacional para ser implementado.

O método das funções de transferência, parecido com o anterior, aplica fatores de ponderação nos ganhos de calor de hora em hora levando em consideração a geometria, configuração, massa e outras características do ambiente, garantindo o efeito da inércia térmica na zona. Da mesma forma que os métodos descritos acima, necessita de grande esforço computacional para ser implementado (ASHRAE, 1985).

O método CLTD/CLF foi desenvolvido pela ASHRAE utilizando como base a metodologia do TFM. O CLTD aborda a condução através das paredes e tetos devido as condições de temperatura externa e interna, correlacionando com a incidência de sol hora a hora no dia. O CLF é utilizado nos cálculos da carga térmica causada pela incidência de sol pelas superfícies transparentes. Ambos levam em consideração, portanto, a inércia térmica e constroem um perfil de cargas térmicas durante o dia utilizando diversas tabelas encontradas no *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 1985).

No presente trabalho, o método utilizado será o CLTD/CLF, pois aborda detalhadamente todos os processos de transferência de calor que ocorrem entre o ambiente externo, o interno e as gerações internas. Além disso, necessita de pouco esforço computacional para sua implementação.

A carga térmica será calculada para sete zonas térmicas distintas. Cada uma delas representa uma sala a ser climatizada na BMA, sendo acervo o termo utilizado para os andares que necessitam dos parâmetros exigidos pela biblioteca em relação a temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Os demais ambientes que possuem

circulação e permanência de pessoas serão nomeados pelo tipo de pesquisa ou atividade exercida no local.

3.1.Parâmetros internos

Dois parâmetros de temperatura de bulbo seco e umidade relativa serão definidos. Primeiramente para o acervo, que necessita de cuidados especiais sem preocupação com conforto térmico, em segundo a área de circulação, que conta com 6 ambientes que devem levar em conta o conforto térmico de seus ocupantes.

Os critérios para o acervo foram definidos pela equipe de preservação da BMA e serão os utilizado para o projeto. A ASHRAE em seu *Handbook of HVAC Applications* (ASHRAE, 2011) possui uma seção especialmente dedicada para museus e bibliotecas. Deste modo, os parâmetros definidos pela BMA são, segundo a ASHRAE (2011), classe de controle AA, ou seja, controle preciso de temperatura e umidade sem mudança durante o ano. A Tabela 5 mostra os parâmetros do acervo definidos pela BMA e as flutuações recomendadas pela ASHRAE (2011).

Para a área de circulação a ASHRAE (2011) recomenda para locais de estudo e pesquisa em bibliotecas critérios direcionados para o conforto térmico de seus ocupantes juntamente com a conservação dos livros presentes. A Tabela 5 mostra os parâmetros adotados para a área circulante.

Tabela 5 - Parâmetros internos de temperatura de bulbo seco e umidade relativa.

Zona Térmica	Temperatura de bulbo seco interna TBS _i (°C)	Umidade relativa interna UR _i (%)	Variações recomendadas	
			TBS _i (°C)	UR _i (%)
Acervo (Definido pela BMA)	21	45	±2	±5

Acervo (ASHRAE, 2011)	20	50	± 2	± 5
Circulação (ASHRAE, 2011)	22	60	± 2	± 5

3.2. Parâmetros climáticos

Para o cálculo da carga térmica é necessário definir temperaturas externas médias de verão e de inverno, além de suas respectivas umidades absolutas. Para isso será utilizada a norma NBR 16401 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2008). A região escolhida será a de Guarulhos em São Paulo, apesar de Congonhas estar mais próximo da BMA optou-se pelo caso mais crítico entre Guarulhos e Congonhas. A Tabela 6 demonstra os valores que serão utilizados nos cálculos de carga térmica.

Tabela 6 – Dados de projeto para Guarulhos, São Paulo (ABNT, 2008)

SP	São Paulo Guarulhos		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s		
			23,43S	46,47W	750m	92,63	88/01		29,0	34,8	1,0	3,4	2,8		
Mês>Qt	Freq.	Resfriamento e desumidificação					Baixa umidade			Mês>Fr	Freq.	Aquec.	Umidificação		
Jan	anual	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	anual	TBS	TPO	w	TBSc	
	0,4%	32,9	22,3	24,9	28,7	24,1	20,8	25,8		99,6%	7,0	3,9	5,5	13,5	
ΔTmd	1%	31,8	22,0	24,2	27,9	23,2	19,7	25,1		99%	8,9	6,0	6,3	14,9	
8,9	2%	30,8	21,7	23,7	27,3	22,9	19,3	24,9							

Com os valores de projeto podemos definir a frequência anual a ser utilizada. Segundo a norma NBR16401 da ABNT (2008), em projetos críticos onde se deve evitar que a capacidade calculada seja inferior que a necessária para manter o ambiente na temperatura desejada, o valor da frequência anual é de 0,4% e 99,6%. Para projetos comerciais e residenciais comuns pode-se adotar o valor de 1% e 99%. O valor de 2% é utilizado apenas quando é admitido ultrapassar com mais frequência as condições internas de projeto.

Para o acervo será utilizado o critério de 0,4% e 99,6% por se tratar de um projeto crítico. Entretanto, para a área circulante adotar-se-á o critério intermediário de 1% e 99%.

Com os valores de projeto definidos a próxima etapa é construir o perfil de temperaturas médias ao longo do dia (T_m). Segundo a ASHRAE (2005) pode-se calcular T_m pela eq. (25):

$$T_m(h) = TBS_{\text{projeto}} - f^*(T_{md}) \quad (1)$$

Onde, f é um fator que varia de 01 a 24, sendo cada valor correspondente a hora do dia (Tabela 7).

Tabela 7 - Fator f para cálculo de T_m (ASHRAE, 2005).

hora	f	hora	f	hora	f
01	0,07	09	0,71	17	0,10
02	0,92	10	0,56	18	0,21
03	0,96	11	0,39	19	0,34
04	0,99	12	0,23	20	0,47
05	1,00	13	0,11	21	0,58
06	0,98	14	0,03	22	0,68
07	0,93	15	0,00	23	0,76
08	0,84	16	0,03	24	0,82

Deste modo, temos as temperaturas médias de verão para o acervo e para as áreas circulantes apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Perfil de temperaturas médias.

Acervo	Hora	T_m	Hora	T_m	Hora	T_m
	01	25,2	09	26,6	17	32,0
	02	24,7	10	27,9	18	31,0
	03	24,4	11	29,4	19	29,9
	04	24,1	12	30,9	20	28,7
	05	24,0	13	31,9	21	27,7
	06	24,2	14	32,6	22	26,9

	07	24,6	15	32,9	23	26,1
	08	25,4	16	32,6	24	25,6
	Hora	T _m	Hora	T _m	Hora	T _m
Circulação	01	24,1	09	25,5	17	30,9
	02	23,6	10	26,8	18	29,9
	03	23,3	11	28,3	19	28,8
	04	23,0	12	29,8	20	27,6
	05	22,9	13	30,8	21	26,6
	06	23,1	14	31,5	22	25,8
	07	23,5	15	31,8	23	25,0
	08	24,3	16	31,5	24	24,5

As temperaturas médias de inverno são as próprias temperaturas de projeto.
Assim para o acervo T_m de inverno é 7°C e para área circulante 8,9°C.

4. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA: ACERVO

Para o cálculo da carga térmica do acervo serão considerados apenas ganhos de calor por condução pelas paredes/lajes e ganho de calor por condução e radiação pelos vidros durante todo o dia, pois o sistema nos acervos não ficará desligado em nenhum momento. A entrada em cada andar no acervo é extremamente controlada e apenas funcionários podem entrar, portanto a carga térmica devido à presença e circulação de funcionários será ignorada. As luminárias existentes em cada andar são ligadas apenas quando necessário e sua parcela na carga térmica também será desprezada. Finalmente, a infiltração será considerada desprezível.

O cálculo será dividido em cinco blocos de andares do acervo: 1º andar, 2º e 3º andar, 4º ao 7º andar, 8º ao 22º andar e 23º andar. Isso será feito devido a diferenças na arquitetura de cada bloco. Os desenhos de cada bloco podem ser visualizados no anexo A, nas Figura 37, Figura 38, Figura 39 e Figura 40. Para melhor compreensão da arquitetura, no anexo A, está disponível um corte da BMA (vide Figura 41).

4.1.Carga térmica das paredes - Acervo

A carga térmica devido à condução nas paredes externas é obtida pela eq. (2) :

$$Q = U. A. CLTD \quad (2)$$

E nas paredes internas pela eq.(3):

$$Q = U. A. (T_m - T_i) \quad (3)$$

Onde:

U=Coeficiente global de troca de calor ($W/m^2.^\circ C$);

A=Área total de troca de calor (m^2);

CLTD= Diferença de temperatura de carga térmica;

T_m=Temperatura média (°C);

T_i=Temperatura de projeto interna (°C).

Pode-se calcular o coeficiente global de troca de calor pela eq.(4):

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \quad (4)$$

Onde R_{tot} equivale a somatória das resistências térmicas, eq.(5):

$$R_{\text{tot}} = \sum_{i=0}^n \frac{e_i}{k_i} \quad (5)$$

Considerando as camadas de argamassa, tijolo maciço e a película de ar externa e interna (Tabela 3), tem-se definido na Tabela 9 o coeficiente global de troca de calor (U) para cada face, a área de cada parede (o cálculo foi feito obtendo-se a área total e subtraindo a área das janelas) e a massa por metro quadrado. Com os valores obtidos, pode-se definir a parede como do tipo B (ASHRAE, 1985). A laje do 23º pavimento será considerada apenas com o valor da Tabela 3 que, segundo a ASHRAE (1985), é uma laje de tipo 3.

Tabela 9 - Dados referentes às paredes do acervo

Face	E (m)	U (W/m².°C)	Massa (kg/m²)	A (m²)
Norte	0,30	1,64	610	26,8
Sul	0,30	1,64	610	26,8
Oeste	0,30	1,64	610	14,0
Leste	0,15	1,84	283	13,8

HOR	0,35	1,10	681	90,0
-----	------	------	-----	------

Uma vez definida a parede, pode-se obter o $CLTD_{tab}$ do *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 1985) para cada face externa (Norte, Sul e Oeste) e laje (HOR) presentes na Tabela 74 no anexo A.

O valor utilizado na eq.(2) de CLTD deve ser o CLTD corrigido devido à latitude e meses do ano e pode ser calculado pela eq.(6):

$$CLTD_{corr} = (CLTD_{tab} + LM).K + (25,5 - T_i) + (T_m - 29,4) \quad (6)$$

Onde:

LM=Correção devido a latitude;

K=Correção devido a cor da superfície.

Os valores de LM estão listados na Tabela 75, e adotou-se o valor de K para paredes em área industrial igual a 1,0. O valor de T_m de verão é retirado da Tabela 8 e de inverno equivale à própria temperatura externa de projeto.

Aplicando os valores na eq. (6) obtém-se o perfil CLTD corrigido (Tabela 76).

Para paredes internas o valor de T_m pode ser calculado pela eq.(7):

$$T_m = TBS_{projeto} - \frac{T_{md}}{2} \quad (7)$$

Com todos os valores obtidos, aplicam-se as eq.(2) e eq.(3) para cada face e obtêm-se a carga térmica Q para cada hora do dia referente à condução nas paredes somando os seus valores. Os resultados para cada bloco definido de acervos estão presentes no anexo A nas Tabelas Tabela 77, Tabela 78, Tabela 79, Tabela 80 e Tabela 81.

Cada bloco de andares do acervo definidos anteriormente possui condições diferentes para cada face, sendo que a Tabela 10 demonstra as condições utilizadas.

Tabela 10 - Definição dos blocos de andares do acervo – Paredes e lajes.

Face	1º andar	2º e 3º andar	4º ao 7º andar	8º ao 22º andar	23º andar
Norte	EXT	EXT	EXT	EXT	EXT
Sul	CLI	CLI	INT	EXT	EXT
Oeste	INT	EX	EX	EXT	EXT
Leste	INT	INT	INT	INT	INT
Hor.	CLI	CLI	CLI	CLI	EXT
<p>EXT: Parede/laje possui fronteira com meio externo.</p> <p>CLI: Parede/laje possui fronteiro com zona climatizada (face não considerada nos cálculos).</p> <p>INT: Parede/laje possui fronteira com zona não climatizada.</p>					

4.2.Carga térmica dos vidros - Acervo

A carga térmica relacionada a transferência de calor nos vidros do acervo pode ser calculada do seguinte modo:

$$Q = Q_{\text{cond}} + Q_{\text{rad}} \quad (8)$$

$$Q_{\text{cond}} = U. A. (CLTD) \quad (9)$$

$$Q_{\text{rad}} = A. (SC). (SHGF). (CLF) \quad (10)$$

Onde:

Q_{cond} =carga térmica devido à condução (W);

Q_{rad} =carga térmica devido à radiação (W);

SC=Coeficiente de sombreamento;

SHGF=Ganho de calor solar (W/m^2);

CLF=Fator para carga térmica.

O coeficiente global de troca de calor dos vidros é obtido pelo tipo de vidro instalado, invertendo o valor de R (Tabela 3) tem-se $U=5,9$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$). As áreas dos vidros em cada face foram retiradas do desenho em CAD da BMA e estão na Tabela 11. O cálculo do CLTD é similar ao apresentado anteriormente para as paredes. A diferença está no $CLTD_{tab}$, Tabela 82 presente no anexo A.

Tabela 11 - Área das janelas do acervo

Face	Área de janela (m^2)
Norte	8,37
Sul	
Oeste	3,53

Os valores do CLTD corrigido, Tabela 83, são calculados pela eq.(6) com os fatores LM da Tabela 75.

Aplicando os valores encontrados na eq.(9) obtém-se as Tabela 84, Tabela 85 e Tabela 86 para as cargas térmicas de condução nos vidros para cada bloco do acervo.

O vidro presente nos acervos possui película de proteção UV e o SC do vidro é de 0,42 segundo o fabricante. O SHGF é obtido para cada face e época do ano, Tabela 12.

Tabela 12 - SHGF para as paredes do acervo (ASHRAE, 1985).

Face	Mês	SHGF (W/m ²)
Norte	Jan.	145
	Jul.	716
Sul	Jan.	142
	Jul.	85
Oeste	Jan.	672
	Jul.	599

O CLF é obtido para cada face definindo o tipo de construção. A BMA pode ser considerada uma construção pesada (H – *Heavy*), com isso o perfil CLF é o exposto na Tabela 87 (ASHRAE, 1985).

A carga térmica por radiação é então calculada pela eq.(10) e estão presentes nas Tabela 88, Tabela 89 e Tabela 90, anexo A.

Para cada bloco definido do acervo as faces sem vidros foram desprezadas no cálculo. A Tabela 13 demonstra as condições utilizadas.

Tabela 13 - Definição dos blocos de andares do acervo – Vidros.

Face	1º andar	2º e 3º andar	4º ao 7º andar	8º ao 22º andar	23º andar
Norte	N	S	S	S	S
Sul	N	N	N	S	S
Oeste	N	S	S	S	S
Leste	N	N	N	N	N
S: Possui janelas.					

N: Não possui janelas ou efeitos desprezados nos cálculos da carga térmica.

4.3. Carga térmica total do acervo

Para o cálculo da carga térmica total de cada andar do acervo somam-se os valores obtidos nas tabelas de carga térmicas das paredes e vidros apresentados no anexo A.

Os resultados dos Gráfico 1 e Gráfico 2 são correspondentes para o 8º ao 22º andares, os demais estão apresentados no anexo A. Os Gráfico 3 e Gráfico 4 são correspondentes a carga térmica total de verão e inverno de todos os acervos (1º ao 23º andar).

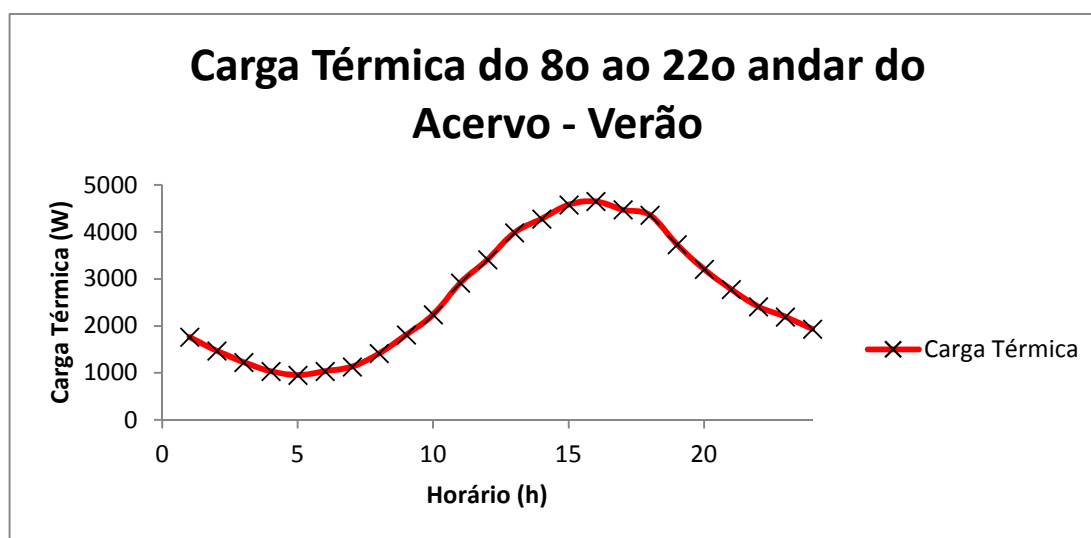


Gráfico 1 - Carga térmica do 8º ao 22º andar do acervo – Verão.

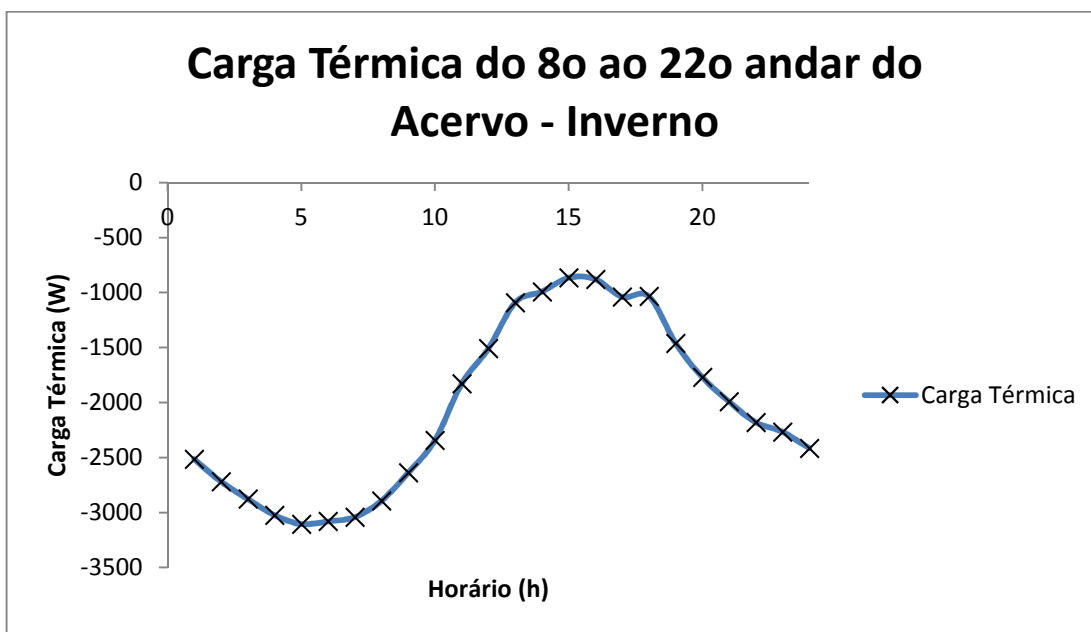


Gráfico 2 - Carga térmica do 8º ao 22º andar do acervo - Inverno

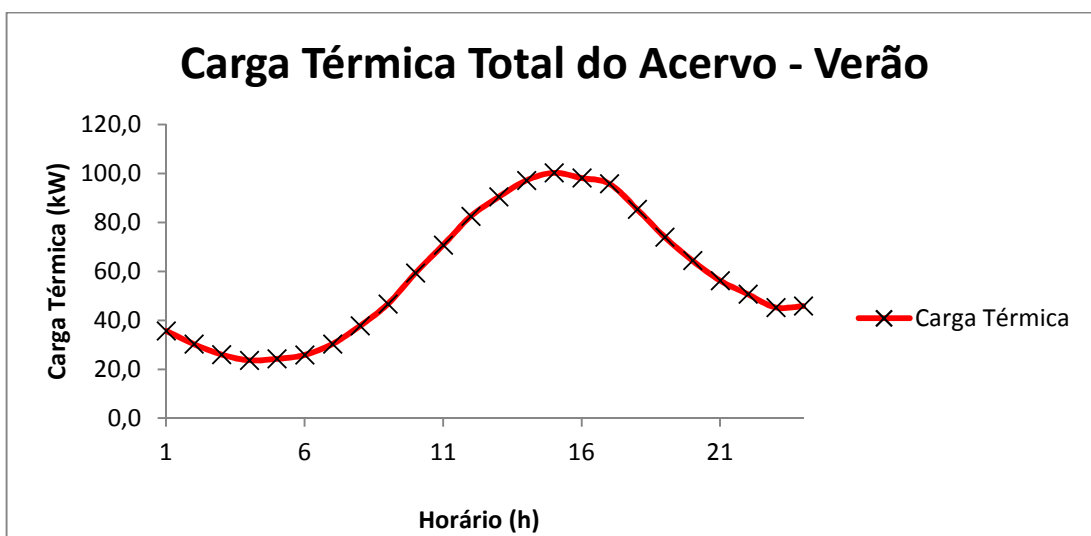


Gráfico 3 - Carga térmica total do acervo - Verão

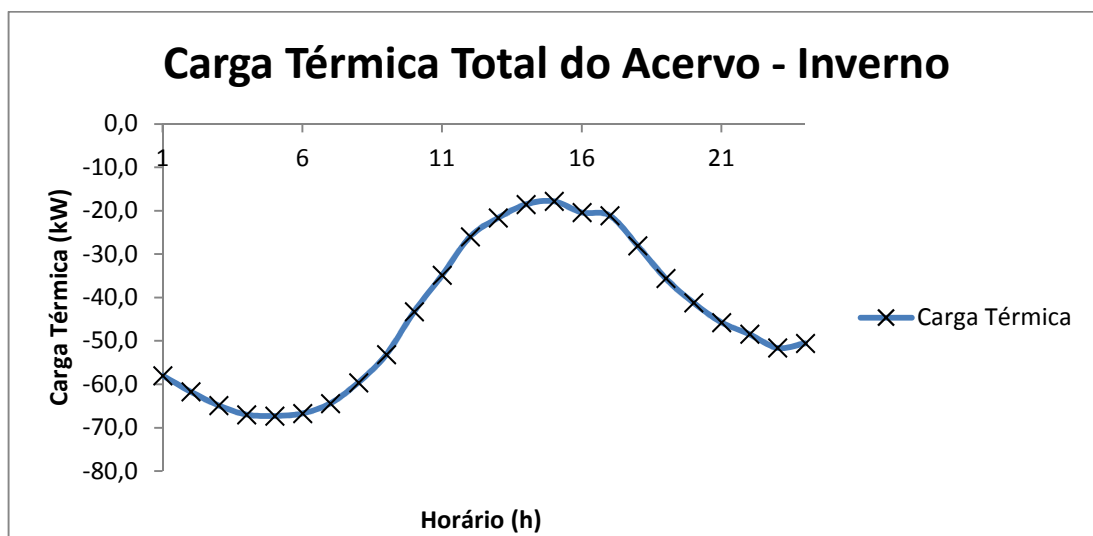


Gráfico 4 - Carga térmica total do acervo - Inverno

5. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA: ÁREA CIRCULANTE

A área circulante será dividida em sete ambientes distintos: Artes (Sala Sérgio Milliet), Atualidades (Sala Jerônimo de Azevedo), Coleção Geral, Circulante (empréstimos de livros e consulta), Mapoteca, área de consulta de obras raras (Sala Paulo Padro, corredor, escritório e sala de digitalização de obras raras) e área dos pesquisadores (16 salas individuais presentes no segundo pavimento). Os desenhos de cada ambiente podem ser visualizados no anexo A, Figura 38, Figura 39, Figura 42, Figura 43, Figura 44 e Figura 45. O cálculo de cada sala será feito separadamente, entretanto será apresentado em detalhes o cálculo realizado para a Sala de Artes, sendo que para os demais ambientes será seguida a mesma metodologia. Diferentemente do acervo, o sistema de climatização da área circulante funcionará apenas no horário aberto para visitas, ver Tabela 1.

A carga térmica da área circulante será realizada levando em consideração os seguintes agentes: paredes, teto, vidros, iluminação, pessoas e infiltração pela porta.

5.1.Cálculo da carga térmica: Sala de Artes

5.1.1. Carga térmica das paredes – Artes

O método é análogo ao apresentado na seção 4.1. aplicando-se as eq.(2) e eq.(3). Os valores para cada face da sala e sua respectiva área estão expostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados referentes às paredes da sala de artes

Face	e (m)	U (W/m ² .°C)	Massa (kg/m ²)	A (m ²)

Norte	0,28	1,64	610	37,80
Sul	0,40	1,29	769	38,34
Oeste	0,40	1,29	769	50,55
Leste	0,40	1,29	769	54,60

Apesar dos valores de U e de massa terem se modificado, a parede é do tipo B (ASHRAE, 1985), Tabela 74.

Com o fator LM da Tabela 75 obtém-se o $CLTD_{corr}$ a partir da eq.(6), os valores para cada hora do dia estão apresentados na Tabela 91.

Com todos os valores calculados, obtém-se o perfil da carga térmica das paredes da sala de artes aplicando as eq.(2) e eq.(3) e somando-as, Tabela 92.

5.1.2. Carga térmica dos vidros – Artes

Os cálculos são análogos à seção 4.2., aplicando-se as eq.(8), eq.(9) e eq.(10) para condução e radiação. O coeficiente global de troca de calor vale $U=5,9 \text{ W/m}^2.\text{°C}$. As áreas das janelas em cada face estão na Tabela 15.

Tabela 15 - Área das janelas da sala de artes

Face	Área de janela (m^2)
Norte	16,20
Sul	15,66
Oeste	5,4
Leste	3,15

Com o $CLTD_{tab}$ para os vidros (Tabela 82) é possível obter o $CLTD_{corr}$ através da eq.(6) e seus valores estão na Tabela 93.

A face norte é parede interna, deste modo aplica-se a eq.(3) para o cálculo com T_m obtido através da eq.(7). Com todos os dados de condução sabidos, aplica-se na expressão para condução e obtém-se o perfil de carga térmica nos vidros da sala de artes, Tabela 94.

Para calcular a carga de radiação os valores de SHGF são os mesmos apresentados na Tabela 12. O valor de SC, entretanto, foi obtido considerando os vidros da sala como simples de 6mm, deste modo $SC=0,95$. A face sul e norte serão desconsideradas no cálculo de radiação devido a sombra produzida pela laje e por ser uma parede interna, respectivamente. Deste modo tem-se na Tabela 95 o CLF para as duas faces consideradas (tipo H).

Com todos os valores determinados, aplica-se a eq.(10) e obtém-se o perfil de carga térmica para radiação (Tabela 96).

5.1.3. Carga térmica da laje – Artes

Uma grande parte da sala de artes está abaixo de um terraço, portanto é necessário calcular a carga térmica da laje horizontal no ambiente. O método é o mesmo utilizado para as paredes, aplicando para isso a eq.(2). A área do terraço e seu valor calculado do coeficiente global de troca de calor estão indicados na Tabela 16. O $CLTD_{tab}$ é obtido considerando a laje como um teto de concreto de aproximadamente 200mm, Tabela 97 (ASHRAE, 1985).

Tabela 16 - Dados referentes à laje da sala de artes

Face	e (m)	U (W/m ² .°C)	Massa (kg/m ²)	A (m ²)

Horizontal	0,35	0,92	213,2	121,5
------------	------	------	-------	-------

Para a correção do $CLTD_{tab}$ utiliza-se um LM para paredes ou telhados horizontais, Tabela 17. Assim o $CLTD_{corr}$ pode ser visto na tabela Tabela 98.

Tabela 17 - Fator LM para paredes ou telhados horizontais (ASHRAE, 1985).

Fator LM (24° S)		
Face	Mês	LM
HOR	Janeiro	0,5
	Julho	-6,1

Assim, a carga térmica total é calculada, Tabela 99.

5.1.4. Carga térmica de iluminação – Artes

As luminárias da sala de artes estão listadas na Tabela 4 e será considerado que ficaram acesas das 8h às 20h aproximadamente.

O cálculo é feito pela eq.(11) (HERNANDEZ, 2013):

$$Q_{ele} = (HG_{el}).(CLF_{el}) \quad (11)$$

Onde:

$$HG_{el} = W \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} \quad (12)$$

Sendo:

W =Potência instalada (W);

F_{ul} =Fator de uso;

F_{sa} =Fator de aplicação especial.

A potência instalada W é de 2824 W. O fator de uso será considerado unitário e o F_{sa} será 1,5 para as lâmpadas fluorescentes devido à presença dos reatores para seu funcionamento (ASHRAE, 1985), resultando $HG_{ele}=3816$ W.

O CLF_{ele} leva em consideração a inércia térmica das lâmpadas a partir do momento em que elas são ligadas. Para isso a escolha do perfil no *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 1985) deve-se definir o parâmetro a relacionado com a mobília e ventilação e o parâmetro b relacionado com o material do chão. Os parâmetros escolhidos foram: $a=0,65$ e $b=A$. Com posse destes valores e o número de horas que as lâmpadas ficaram ligadas, 12h, obtém-se o perfil CLF_{ele} , Tabela 100.

Com os dados definidos, aplica-se a eq.(11) e obtém-se o perfil de carga térmica total da iluminação mostrado na Tabela 101.

5.1.5. Carga térmica de pessoas – Artes

A carga térmica devido a presença de pessoas no ambiente é dividida em sensível e latente (HERNANDEZ, 2013):

$$Q_s = N \cdot (SHG_p) \cdot (CLF_p) \quad (13)$$

$$Q_l = N \cdot (LHG_p) \quad (14)$$

Onde:

Q_s =Carga térmica sensível (W);

Q_l =Carga térmica latente (W);

N =número de pessoas;

SHG_p =Calor sensível por pessoa (W/pessoa);

LHG_p =Calor latente por pessoa (W/pessoa);

CLF_p =Fator de carga térmica para pessoas.

Os valores de SHG_p e LHG_p foram obtidos considerando as pessoas sentadas fazendo trabalho leve, segundo a ASHRAE (1985), $SHG_p=65W$ e $LHG_p=55W$. O valor de N será definido considerando a permanência do número de pessoas da Tabela 2 durante 10h. Assim o perfil CLF_p é definido considerando N pessoas entrando as 9h e permanecendo até as 18h, como mostra a Tabela 102.

Com os dados definidos, obtêm-se a carga térmica sensível e latente, apresentada na Tabela 103.

5.1.6. Carga térmica de infiltração – Artes

A carga térmica de infiltração será considerada apenas na abertura e fechamento das portas de acesso, ou seja, a infiltração pelas frestas de portas e janelas fechadas será desprezada. O cálculo da carga térmica de infiltração é dividido em sensível e latente (HERNANDEZ, 2013):

$$Q_{\text{infs}} = V \cdot d \cdot C_p \cdot (T_e - T_i) \quad (15)$$

$$Q_{\text{infl}} = V \cdot d \cdot h_{lv} \cdot (w_e - w_i) \quad (16)$$

Onde:

V =Vazão de ar (m^3/s);

d =densidade do ar= $1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$;

C_p =Calor específico do ar= $1 \text{ (kJ/kg.}^\circ\text{C)}$;

h_{lv} =Calor latente de evaporação da água= 2508 (kJ/kg) ;

w_e =umidade absoluta do ar externo ($\text{g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{arseco}}$);

w_i =umidade absoluta do ar interno ($\text{g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{arseco}}$).

A vazão é encontrada considerando uma vazão de infiltração por pessoa em portas oscilantes de $V_p=9 \text{ (m}^3/\text{h)}$ (HERNANDEZ, 2013), assim:

$$V = \frac{V_p \cdot n}{3600} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (17)$$

Onde n é duas vezes o valor de N .

Aplicando a eq.(16) tem-se $V=0,085 \text{ (m}^3/\text{s)}$. As temperaturas externas são $T_e=31,8^\circ\text{C}$ no verão e $T_e=8,9^\circ\text{C}$ no inverno. As umidades absolutas externas no verão são $w_e=19,7 \text{ g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{arseco}}$ e no inverno $w_e=6,3 \text{ g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{arseco}}$. A umidade absoluta interna é obtida por uma carta psicrométrica com $TBS=22^\circ\text{C}$ e $ur=60\%$, obtendo $w_i=15,08 \text{ g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{arseco}}$. Deste modo, na Tabela 18, estão as cargas térmicas de verão e de inverno para infiltração de ar pela porta.

Tabela 18 - Carga Térmica de infiltração na sala de artes.

Carga Térmica	Mês	
Qinfs (W)	Jan.	999,60
	Jul.	-1336,20
Qinfl (W)	Jan.	1182,03
	Jul.	-2246,36

5.1.7. carga térmica Total – Artes

Para o cálculo da carga térmica total da sala de artes somam-se os valores totais obtidos de 5.1.1. a 5.1.6..O resultado está apresentado no Gráfico 5 e Gráfico 6 com a carga térmica em kW.

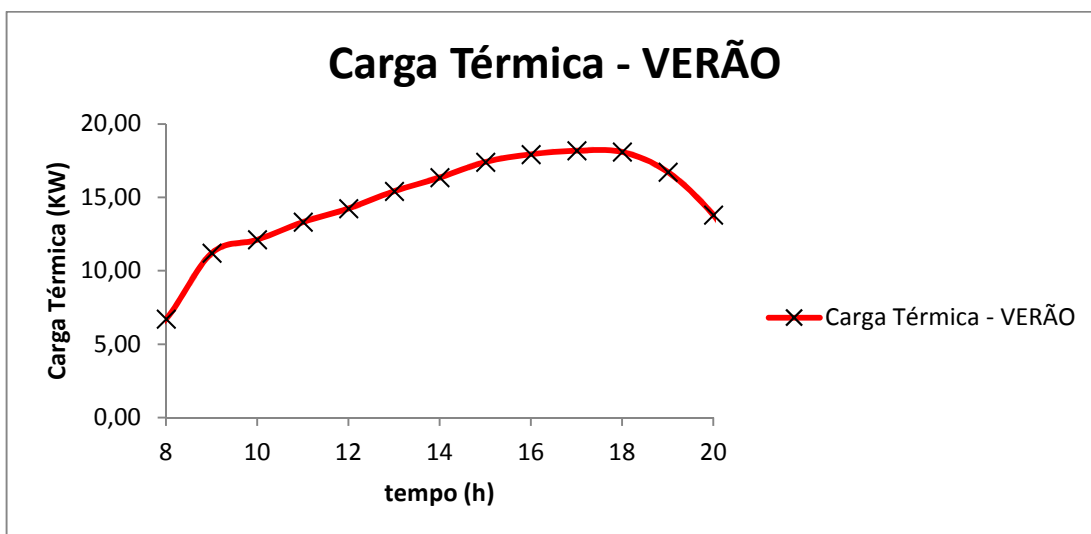


Gráfico 5 - Carga térmica total de verão da sala de artes

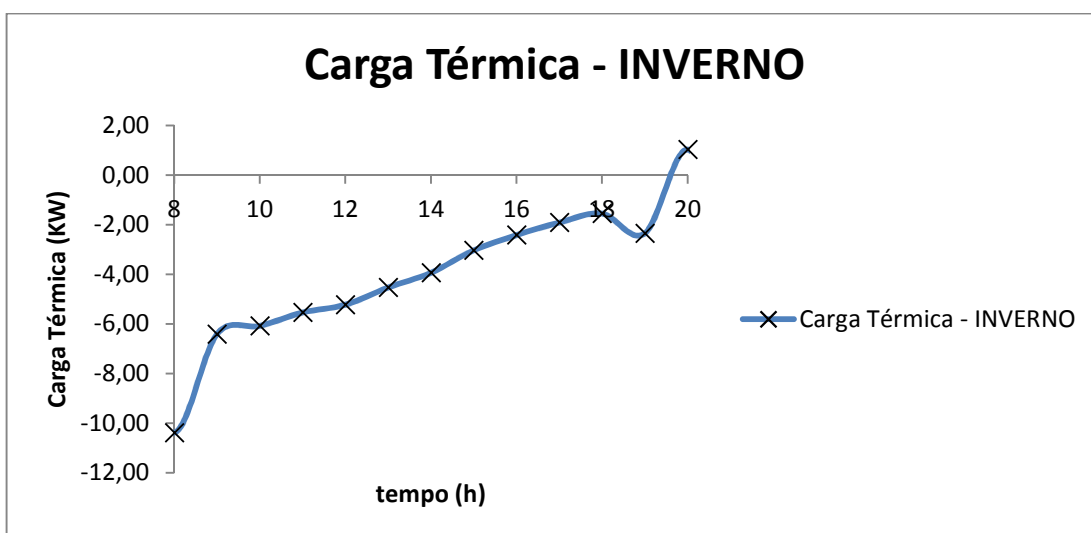


Gráfico 6 - Carga térmica total de inverno da sala de artes

5.2.Cálculo da carga térmica: Coleção Geral

5.2.1. Carga térmica das paredes – CG

O método é análogo ao apresentado na seção 4.1. aplicando-se as eq.(2) e (3). Os valores para cada face da sala e sua respectiva área estão expostos na Tabela 19.

Tabela 19 - Dados referentes às paredes da CG

Face	E (m)	U (W/m ² .°C)	Massa (kg/m ²)	A (m ²)
Norte	0,28	1,64	610	32,83
Sul	0,28	1,64	610	27,00
Oeste	0,28	1,64	610	22,8
Leste	0,28	1,64	610	22,8

Apesar dos valores de U e de massa terem se modificado, a parede é do tipo B (ASHRAE, 1985), Tabela 74.

Com o fator LM da Tabela 75 obtém-se o CLTDcorr a partir da eq.(6) (vide Tabela 104).

Com todos os valores calculados, obtém-se o perfil da carga térmica das paredes da sala de artes aplicando as eq.(2) e (3) e somando-as (vide Tabela 105).

5.2.2. Carga térmica dos vidros – CG

Os cálculos são análogos à seção 3.2., aplicando-se as eq.(8), (9) e (10) para condução e radiação. O coeficiente global de troca de calor vale $U=5,9 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$. As áreas das janelas em cada face estão na Tabela 20.

Tabela 20 - Área das janelas da CG

Face	Área de janela (m^2)
Norte	10,58
Sul	27,00

Com o CLTDtab para os vidros (Tabela 82) é possível obter o CLTDcorr através da eq.(6) e seus valores estão na

Tabela 104.

A face norte é parede interna, deste modo aplica-se a eq.(3) para o cálculo com T_m obtido através da eq.(7). Com todos os dados de condução sabidos, aplica-se na expressão para condução e obtém-se o perfil de carga térmica nos vidros da sala de artes, Tabela 105.

Para calcular a carga de radiação os valores de SHGF são os mesmos apresentados na Tabela 12. O valor de SC, entretanto, foi obtido considerando os vidros da sala como simples de 6 mm, deste modo $SC=0,95$ (ASHRAE, 1985). A face norte será desconsiderada no cálculo de radiação por ser uma parede interna. Deste modo tem-se na Tabela 107 o CLF para a face considerada (tipo H).

Com todos os valores determinados, aplica-se a eq.(10) e obtém-se o perfil de carga térmica para radiação (Tabela 108).

5.2.3. Carga térmica de iluminação – CG

As luminárias da CG estão listadas na Tabela 4 e será considerado que ficaram acesas das 8h às 17h sendo que a eq.(11) é utilizada para o cálculo.

A potência instalada W é de 896 W. O fator de uso será considerado unitário e o F_{sa} será 1,5 (ASHRAE, 1985) para as lâmpadas fluorescentes devido a presença dos reatores para seu funcionamento, resultando $HG_{ele}=1344$ W. Os parâmetros a e b são idênticos ao da seção 5.1.4., entretanto as lâmpadas ficam ligas por 10h. Deste modo o perfil CLF_{ele} é modificado, Tabela 109.

Com os dados definidos, aplica-se a eq.(11) e obtém-se o perfil de carga térmica total da iluminação, mostrado na Tabela 110.

5.2.4. Carga térmica de pessoas – CG

A carga térmica devido a presença de pessoas no ambiente é dividida em sensível e latente (HERNANDEZ, 2013) e pode ser calculada aplicando as eq.(13) e (14). Os valores de $SHGp$ e $LHGp$ foram obtidos considerando as pessoas sentadas fazendo trabalho leve (ASHRAE, 1985) $SHGp=65W$ e $LHGp=55W$. O valor de N será definido considerando a permanência do número de pessoas da Tabela 2 durante 8h. Assim o perfil $CLFp$ é definido considerando N pessoas entrando as 9h e permanecendo até as 16h, Tabela 111.

Com os dados definidos, obtêm-se a carga térmica sensível e latente, Tabela 112.

5.2.5. Carga térmica de infiltração – CG

A carga térmica de infiltração será considerada apenas na abertura e fechamento das portas de acesso, ou seja, a infiltração pelas frestas de portas e janelas fechadas será desprezada. O cálculo da carga térmica de infiltração é dividido em sensível e latente aplicando as eq.(15) e (16).

A vazão é encontrada considerando uma vazão de infiltração por pessoa em portas oscilantes de $V_p=9$ (m^3/h) (HERNANDEZ, 2013), assim utilizando a eq.(17) obtem-se $V=0,035$ (m^3/s).

As temperaturas externas, internas e umidades absolutas internas e externas são as mesmas utilizadas na seção 5.1.6. Deste modo, na Tabela 21 estão as cargas térmicas de verão e de inverno para infiltração de ar pela porta.

Tabela 21 - Carga Térmica de infiltração na CG

Carga Térmica	Mês	
Q _{infs} (W)	Jan.	411,60
	Jul.	-550,20
Q _{infl} (W)	Jan.	486,72
	Jul.	-924,97

5.2.6. Carga térmica Total – CG

Para o cálculo da carga térmica total da CG somam-se os valores totais obtidos de 5.2.1. a 5.2.5. O resultado está apresentado no Gráfico 7 e Gráfico 8 com a carga térmica em kW.

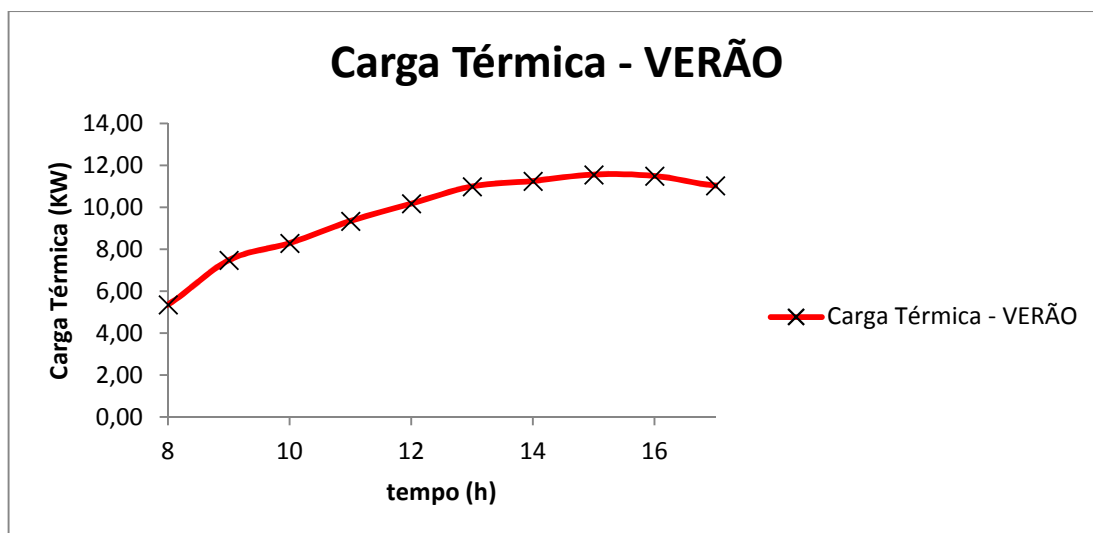


Gráfico 7 - Carga térmica total de verão da CG

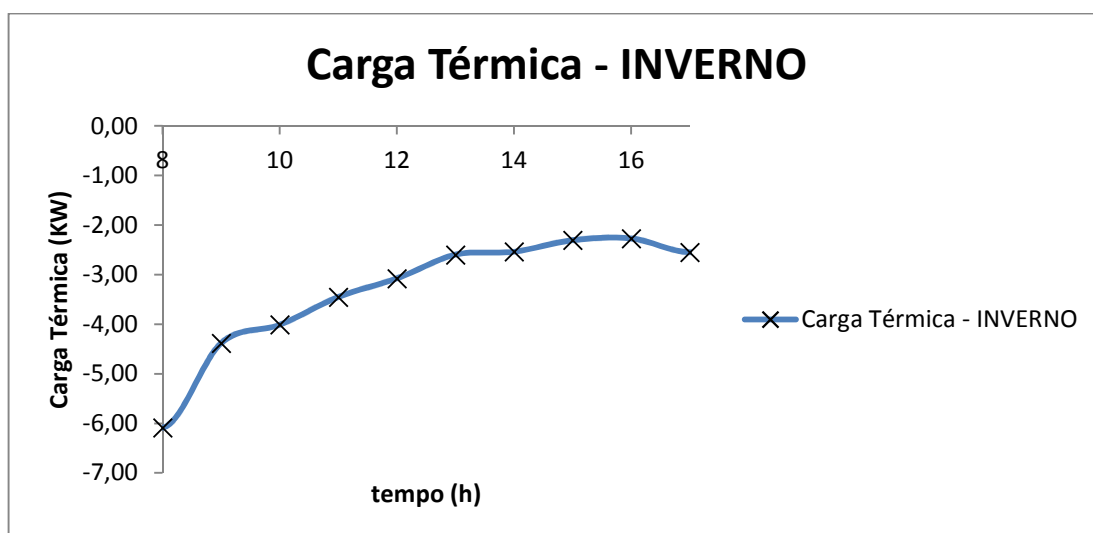


Gráfico 8 - Carga térmica total de inverno da CG

5.3.Cálculo da carga térmica: Mapoteca

5.3.1. Carga térmica das paredes – Mapoteca

O método é análogo ao apresentado na seção 4.1. aplicando-se as eq.(2) e (3). Os valores para cada face da sala e sua respectiva área estão expostos na Tabela 22.

Tabela 22 - Dados referentes às paredes da Mapoteca

Face	E (m)	U (W/m ² .°C)	Massa (kg/m ²)	A (m ²)
Norte	0,28	1,64	610	29,1
Sul	0,28	1,64	610	22,8
Oeste	0,28	1,64	610	50,4
Leste	0,28	1,64	610	39,8

Apesar dos valores de U e de massa terem se modificado, a parede é do tipo B (ASHRAE, 1985), Tabela 74.

Com o fator LM da Tabela 75 obtém-se o CLTD_{corr} a partir da eq.(6), Tabela 113.

Com todos os valores calculados, obtêm-se o perfil da carga térmica das paredes da Mapoteca aplicando as eq.(2) e (3) e somando-as, Tabela 114.

5.3.2. Carga térmica dos vidros – Mapoteca

Os cálculos são análogos à seção 4.2., aplicando-se as eq.(8), (9) e (10) para condução e radiação. O coeficiente global de troca de calor vale $U=5,9$ ($W/m^2.^\circ C$) . As áreas das janelas em cada face estão na Tabela 23.

Tabela 23 - Área das janelas da Mapoteca

Face	Área de janela (m^2)
Norte	25,2
Sul	18,9
Leste	10,6

Com o $CLTD_{tab}$ para os vidros (Tabela 82) é possível obter o $CLTD_{corr}$ através da eq.(6) e seus valores estão na Tabela 113.

A face leste é parede interna, deste modo aplica-se a eq.(3) para o cálculo com T_m obtido através da eq.(7). Com todos os dados de condução sabidos, aplica-se na expressão para condução e obtém-se o perfil de carga térmica nos vidros da Mapoteca, Tabela 114.

Para calcular a carga de radiação os valores de SHGF são os mesmos apresentados na Tabela 12. O valor de SC, entretanto, foi obtido considerando os vidros da sala como simples de 6mm, deste modo $SC=0,95$ (ASHRAE, 1985). A face leste e oeste serão desconsideradas no cálculo de radiação por serem uma parede interna. Deste modo tem-se na Tabela 116 o CLF para a face considerada (tipo H).

Com todos os valores determinados, aplica-se a eq.(10) e obtém-se o perfil de carga térmica para radiação (Tabela 117).

5.3.3. Carga térmica de iluminação – Mapoteca

As luminárias da Mapoteca estão listadas na Tabela 4 e será considerado que ficaram acesas das 8h às 17h aproximadamente. A eq.(11) é utilizada para o cálculo.

A potência instalada W é de 1280 W. O fator de uso será considerado unitário e o F_{sa} será 1,5 (ASHRAE, 1985) para as lâmpadas fluorescentes devido a presença dos reatores para seu funcionamento, resultando $HG_{ele}=1920$ W. Os parâmetros a e b são idênticos ao da seção 5.1.4., entretanto as lâmpadas ficam ligas por 10h. Deste modo o perfil CLF_{ele} é modificado, Tabela 118.

Com os dados definidos, aplica-se a eq.(11) e obtém-se o perfil de carga térmica total da iluminação, mostrado na Tabela 119.

5.3.4. Carga térmica de pessoas – Mapoteca

A carga térmica devido a presença de pessoas no ambiente é dividida em sensível e latente (HERNANDEZ, 2013) e pode ser calculada aplicando as eq.(13) e (14). Os valores de $SHGp$ e $LHGp$ foram obtidos considerando as pessoas sentadas fazendo trabalho leve (ASHRAE, 1985) $SHGp=65W$ e $LHGp=55W$. O valor de N será definido considerando a permanência do número de pessoas da Tabela 2 durante 8h. Assim o perfil $CLFp$ é definido considerando N pessoas entrando as 9h e permanecendo até as 16h, apresentado na Tabela 120.

Com os dados definidos, obtém-se a carga térmica sensível e latente, Tabela 121.

5.3.5. Carga térmica de infiltração – Mapoteca

A carga térmica de infiltração será considerada apenas na abertura e fechamento das portas de acesso, ou seja, a infiltração pelas frestas de portas e janelas

fechadas será desprezada. O cálculo da carga térmica de infiltração é dividido em sensível e latente aplicando as eq.(15) e (16).

A vazão é encontrada considerando uma vazão de infiltração por pessoa em portas oscilantes de $V_p=9$ (m³/h) (HERNANDEZ, 2013), assim utilizando a eq.(17) obtém-se $V=0,005$ (m³/s).

As temperaturas externas, internas e umidades absolutas internas e externas são as mesmas utilizadas na seção 5.1.6. Deste modo, na Tabela 24 estão as cargas térmicas de verão e de inverno para infiltração de ar pela porta.

Tabela 24 - Carga Térmica de infiltração na Mapoteca

Carga Térmica	Mês	
Q _{infs} (W)	Jan.	58,80
	Jul.	-78,60
Q _{infl} (W)	Jan.	69,53
	Jul.	-132,14

5.3.6. Carga térmica Total – Mapoteca

Para o cálculo da carga térmica total da Mapoteca somam-se os valores totais obtidos de 5.3.1. a 5.3.5. O resultado está apresentado no Gráfico 9 e Gráfico 10 com a carga térmica em kW.

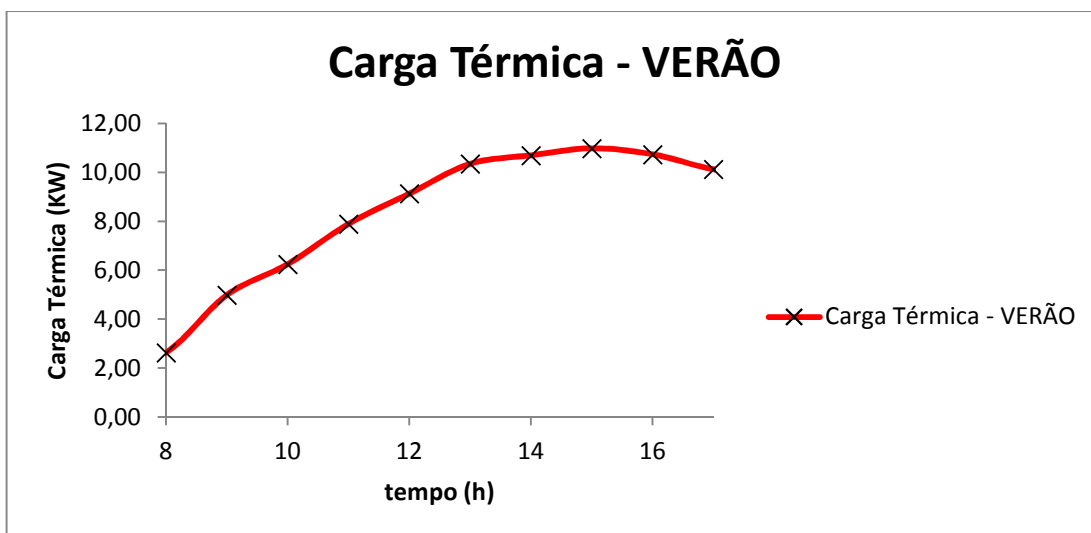


Gráfico 9 - Carga térmica total de verão da Mapoteca

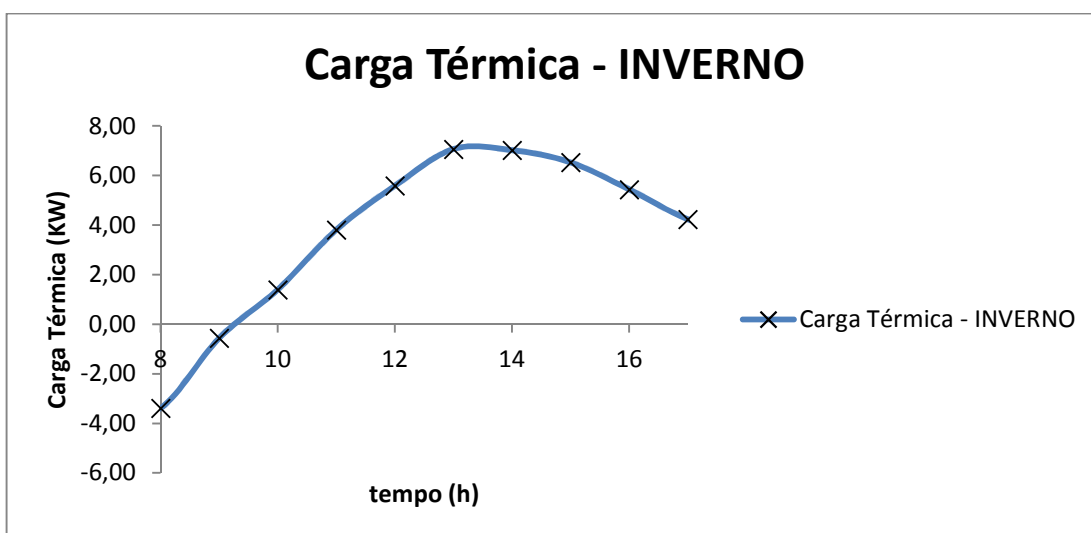


Gráfico 10 - Carga térmica total de inverno da Mapoteca

5.4.Cálculo da carga térmica: Consulta de Obras Raras

5.4.1. Carga térmica das paredes – Consulta de Obras Raras

O método é análogo ao apresentado na seção 4.1. aplicando-se as eq.(2) e (3). A região será dividida entre a Sala Paulo Prado (índice PP) e área de escritórios (corredor, escritório e sala de digitalização) (índice ES). Os valores para cada face das salas e sua respectiva área estão expostos na Tabela 25.

Tabela 25 - Dados referentes às paredes da área de consulta de obras raras.

Face	E (m)	U (W/m ² .°C)	Massa (kg/m ²)	A (m ²)
Norte _{PP}	0,28	1,64	610	61,2
Norte _{ES}	0,28	1,64	610	20,3
Sul _{PP}	0,28	1,64	610	29,0
Sul _{ES}	0,28	1,64	610	17,5
Oeste _{PP}	0,28	1,64	610	24,8
Oeste _{ES}	0,28	1,64	610	24,8
Leste _{PP}	0,28	1,64	610	24,8
Leste _{ES}	0,28	1,64	610	24,8

Apesar dos valores de U e de massa terem se modificado, a parede é do tipo B (ASHRAE, 1985), Tabela 74.

Com o fator LM da Tabela 75 obtêm-se o $CLTD_{corr}$ a partir da eq.(6), Tabela 122.

Com todos os valores calculados, obtêm-se o perfil da carga térmica das paredes da área de consulta de obras raras aplicando as eq.(2) e (3) e somando-as, Tabela 123 e Tabela 124.

5.4.2. Carga térmica dos vidros – Consulta de Obras Raras

Os cálculos são análogos à seção 4.2., aplicando-se as eq.(8), (9) e (10) para condução e radiação. O coeficiente global de troca de calor vale $U=5,9$ ($W/m^2.^\circ C$) . As áreas das janelas em cada face estão na Tabela 26.

Tabela 26 - Área das janelas da área de consulta de obras raras.

Face	Área de janela (m^2)
Sul _{PP}	32,5
Sul _{ES}	19,5

Com o $CLTD_{tab}$ para os vidros (Tabela 82) é possível obter o $CLTD_{corr}$ através da eq.(6) e seus valores estão na Tabela 93.

Com todos os dados de condução sabidos, aplica-se na expressão para condução e obtêm-se o perfil de carga térmica nos vidros da Mapoteca, Tabela 125 e Tabela 126.

Para calcular a carga de radiação os valores de SHGF são os mesmos apresentados na Tabela 12. O valor de SC, entretanto, foi obtido considerando os vidros da sala como simples de 6mm, deste modo $SC=0,95$ (ASHRAE, 1985). Deste modo tem-se na Tabela 127 o CLF para a face considerada (tipo H).

Com todos os valores determinados, aplica-se a eq.(10) e obtém-se o perfil de carga térmica para radiação (Tabela 128 e Tabela 129).

5.4.3. Carga térmica de iluminação – Consulta de Obras Raras

As luminárias da consulta de obras raras estão listadas na Tabela 4 e será considerado que ficaram acesas das 8h às 17h aproximadamente. A eq.(11) é utilizada para o cálculo.

A potência instalada W é de 1472 W. O fator de uso será considerado unitário e o F_{sa} será 1,5 (ASHRAE, 1985) para as lâmpadas fluorescentes devido a presença dos reatores para seu funcionamento, resultando $HG_{ele}=2208$ W. Os parâmetros a e b são idênticos ao da seção 5.1.4., entretanto as lâmpadas ficam ligas por 10h. Deste modo o perfil CLF_{ele} é modificado, mostrado na Tabela 130.

Com os dados definidos, aplica-se a eq.(11) e obtém-se o perfil de carga térmica total da iluminação, apresentado nas Tabela 131 e Tabela 132.

5.4.4. Carga térmica de pessoas – Consulta de Obras Raras

A carga térmica devido a presença de pessoas no ambiente é dividida em sensível e latente (HERNANDEZ, 2013) e pode ser calculada aplicando as eq.(13) e (14). Os valores de SHG_p e LHG_p foram obtidos considerando as pessoas sentadas fazendo trabalho leve (ASHRAE, 1985): $SHG_p=65W$ e $LHG_p=55W$. O valor de N será definido considerando a permanência do número de pessoas da **Tabela 2** durante 8h. Assim o perfil CLF_p é definido considerando N pessoas entrando as 9h e permanecendo até as 16h, Tabela 133.

Com os dados definidos, obtêm-se a carga térmica sensível e latente, Tabela 134 e Tabela 135.

5.4.5. Carga térmica Total – Consulta de Obras Raras

Para o cálculo da carga térmica total da área de consulta de obras raras somam-se os valores totais obtidos de 5.4.1. a 5.4.5. O resultado está apresentado no Gráfico 11, Gráfico 12, Gráfico 13 e Gráfico 14 com a carga térmica em kW.

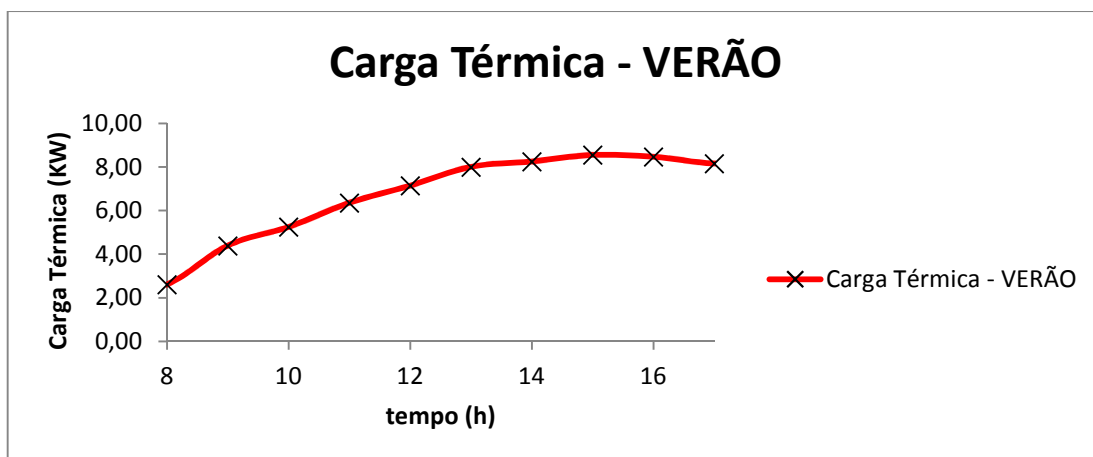


Gráfico 11 - Carga térmica total de verão da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado.

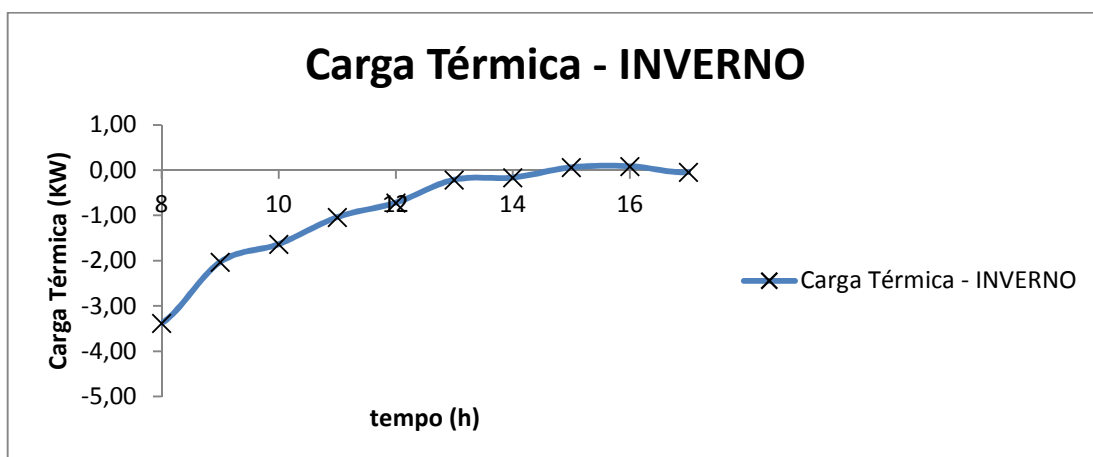


Gráfico 12 - Carga térmica total de inverno da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado.

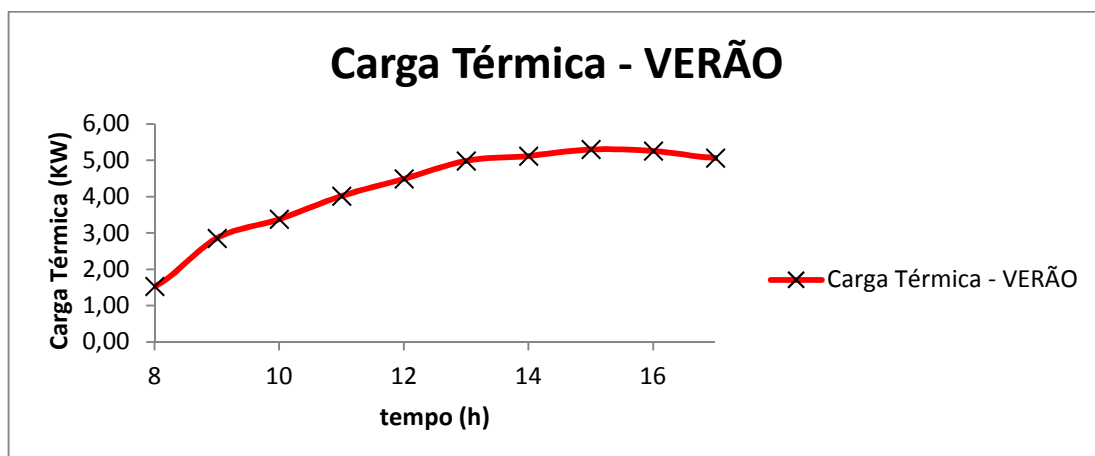


Gráfico 13 - Carga térmica total de verão da consulta de obras raras – Chefia e Sala de digitação.

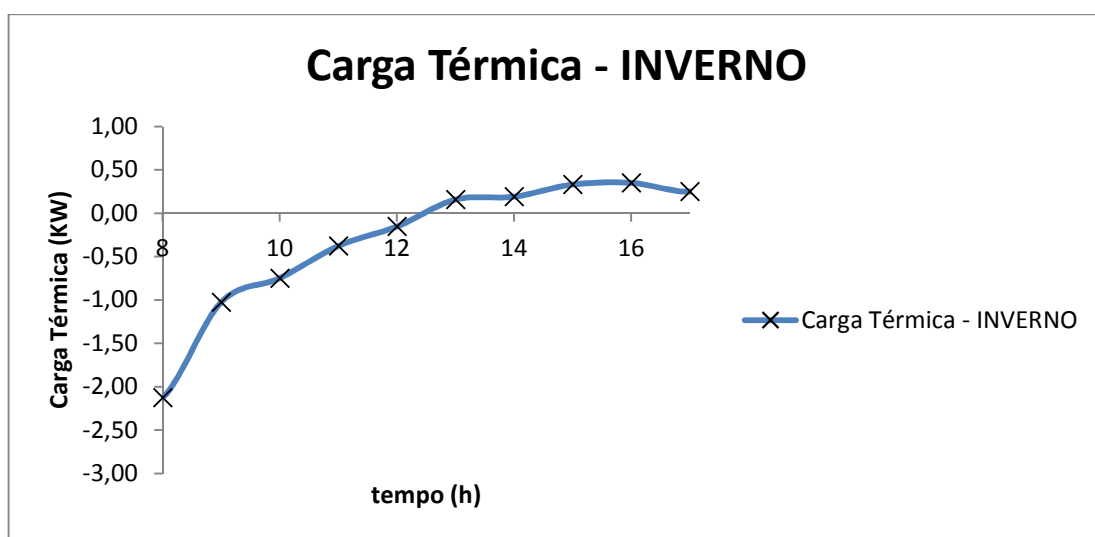


Gráfico 14 - Carga térmica total de inverno da consulta de obras raras – Chefia e Sala de digitação.

5.5.Cálculo da carga térmica: Circulante

5.5.1. Carga térmica das paredes – Circulante

O método é análogo ao apresentado na seção 4.1. aplicando-se as eq.(2) e (3). Os valores para cada face da sala e sua respectiva área estão expostos na Tabela 27. O circulante é composto por três ambientes e suas faces serão diferenciadas pelo índice 1, 2 e 3.

Tabela 27 - Dados referentes às paredes do circulante

Face	E (m)	U (W/m ² .°C)	Massa (kg/m ²)	A (m ²)
Norte ₁	0,4	1,29	840	67,3
Norte ₂				192,9
Norte ₃				32,4
Sul ₁				33,56
Sul ₂				87,15
Sul ₃				15,5
Oeste ₁				41,0
Oeste ₂				70,6
Oeste ₃				43,4
Leste ₁				70,6
Leste ₂				71,1

Leste ₃				48,8
--------------------	--	--	--	------

Apesar dos valores de U e de massa terem se modificado, a parede é do tipo B (ASHRAE, 1985), Tabela 74.

Com o fator LM da Tabela 75 obtêm-se o CLTD_{corr} a partir da eq.(6), Tabela 136 no anexo E.

Com todos os valores calculados, obtêm-se o perfil da carga térmica das paredes da sala de artes aplicando as eq.(2) e (3) e somando-as, Tabela 137.

5.5.2. Carga térmica dos vidros – Circulante

Os cálculos são análogos à seção 4.2., aplicando-se as eq.(8), (9) e (10) para condução e radiação. O coeficiente global de troca de calor vale $U=5,9$ (W/m².°C) . As áreas das janelas em cada face estão na Tabela 28.

Tabela 28 - Área das janelas do circulante

Face	Área de janela (m ²)
Norte ₁	6,38
Norte ₂	5,4
Norte ₃	5,3
Sul ₁	31,7
Sul ₂	79,2
Sul ₃	15,8
Oeste ₁	12,8

Oeste ₂	-
Oeste ₃	-
Leste ₁	-
Leste ₂	5,4
Leste ₃	-

Com o $CLTD_{tab}$ para os vidros (Tabela 82) é possível obter o $CLTD_{corr}$ através da eq.(6) e seus valores estão Tabela 138.

As faces norte são paredes internas, as faces sul são internas entre o circulante e o corredor de cristal e a face leste₂ é interna, deste modo aplica-se a eq.(3) para o cálculo com T_m obtido através da eq.(7). Com todos os dados de condução sabidos, aplica-se na expressão para condução e obtém-se o perfil de carga térmica nos vidros da sala de artes, Tabela 139.

Para calcular a carga de radiação os valores de SHGF são os mesmos apresentados na Tabela 12. O valor de SC, entretanto, foi obtido considerando os vidros da sala como simples de 6mm, deste modo $SC=0,95$ (ASHRAE, 1985). As faces internas serão desconsideradas no cálculo de radiação. Deste modo tem-se na Tabela 140 o CLF para as duas faces consideradas (tipo H).

Com todos os valores determinados, aplica-se a eq.(10) e obtém-se o perfil de carga térmica para radiação (Tabela 141).

5.5.3. Carga térmica da laje – Circulante

Uma grande parte do circulante está abaixo de um terraço, portanto é necessário calcular a carga térmica da laje horizontal no ambiente. O método é o mesmo utilizado para as paredes aplicando a eq.(2). A área do terraço e seu valor

calculado do coeficiente global de troca de calor estão indicados na Tabela 29. O $CLTD_{tab}$ é obtido considerando a laje como um teto de concreto de aproximadamente 200mm (ASHRAE, 1985), Tabela 97.

Tabela 29 - Dados referentes à laje do circulante

Face	e (m)	U (W/m ² .°C)	Massa (kg/m ²)	A (m ²)
Horizontal	0,35	0,92	213,2	381,8

Para a correção do $CLTD_{tab}$ utiliza-se um LM para paredes ou telhados horizontais, Tabela 17. Assim o $CLTD_{corr}$ pode ser visto na tabela Tabela 98.

Deste modo, a carga térmica total é implementada, Tabela 142.

5.5.4. Carga térmica de iluminação – Circulante

As luminárias do circulante estão listadas na Tabela 4 e será considerado que ficaram acesas das 8h às 20h aproximadamente. A eq.(11) é utilizada para o cálculo.

A potência instalada W é de 16364 W. O fator de uso será considerado unitário e o F_{sa} será 1,5 (ASHRAE, 1985) para as lâmpadas fluorescentes devido a presença dos reatores para seu funcionamento, resultando $HG_{ele}=22284$ W. Os parâmetros a e b são idênticos ao da seção 5.1.4. e as lâmpadas ficam ligadas por 12h. Deste modo o perfil CLF_{ele} é exposto na Tabela 143.

Com os dados definidos, aplica-se a eq.(11) e obtém-se o perfil de carga térmica total da iluminação, apresentado na Tabela 144.

5.5.5. Carga térmica de pessoas – Circulante

A carga térmica devido a presença de pessoas no ambiente é dividida em sensível e latente (HERNANDEZ, 2013) e pode ser calculada aplicando as eq.(13) e (14). Os valores de SHGp e LHGp foram obtidos considerando as pessoas sentadas fazendo trabalho leve e digitando no computador (ASHRAE, 1985) SHGp=75W e LHGp=75W. O valor de N será definido considerando a permanência de 20% do número de pessoas da Tabela 2 durante 12h. Assim o perfil CLFp é definido considerando $0,2 \cdot N$ pessoas entrando as 8h e permanecendo até as 20h, Tabela 145.

Com os dados definidos, obtêm-se a carga térmica sensível e latente, Tabela 146.

5.5.6. Carga térmica de infiltração – Circulante

A carga térmica de infiltração será considerada apenas na abertura e fechamento das portas de acesso, ou seja, a infiltração pelas frestas de portas e janelas fechadas será desprezada. O cálculo da carga térmica de infiltração é dividido em sensível e latente aplicando as eq.(15) e (16).

A vazão é encontrada considerando uma vazão de infiltração por pessoa em portas oscilantes de $V_p=9 \text{ (m}^3/\text{h)}$, assim utilizando a eq.(17) obtém-se $V=2,6350 \text{ (m}^3/\text{s)}$.

As temperaturas externas, internas e umidades absolutas internas e externas são as mesmas utilizadas na seção 5.1.6. Deste modo, na Tabela 30 estão as cargas térmicas de verão e de inverno para infiltração de ar pela porta.

Tabela 30 - Carga Térmica de infiltração no circulante

Carga Térmica	Mês	
Q _{infs} (W)	Jan.	30987,6
	Jul.	-41422,2
Q _{infl} (W)	Jan.	36642,84
	Jul.	-69637,3

5.5.7. Carga térmica Total – Circulante

Para o cálculo da carga térmica total do circulante somam-se os valores totais obtidos de 5.5.1. a 5.5.6..O resultado está apresentado no Gráfico 15 e Gráfico 16 com a carga térmica em kW.

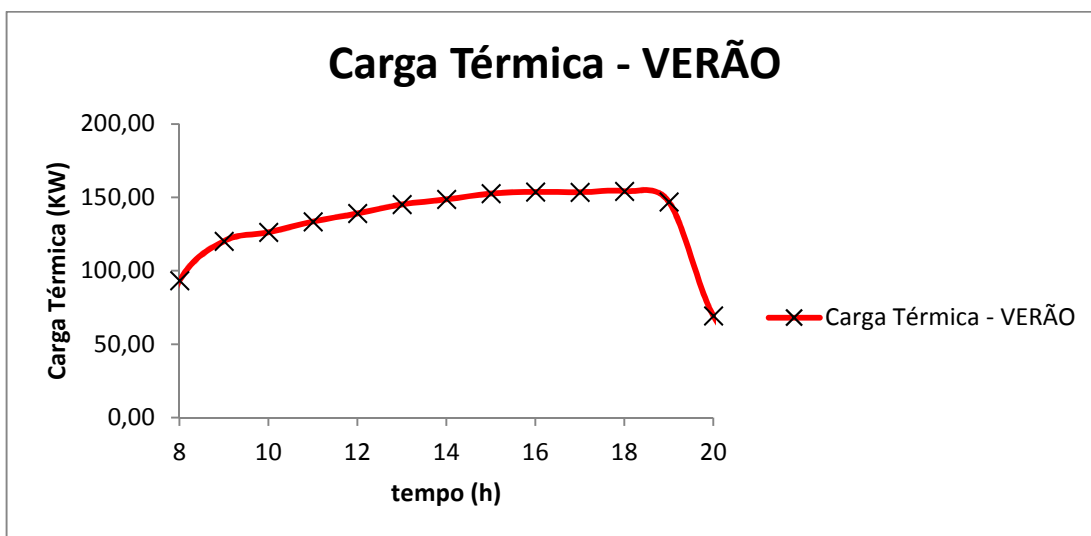


Gráfico 15 - Carga térmica total de verão do circulante

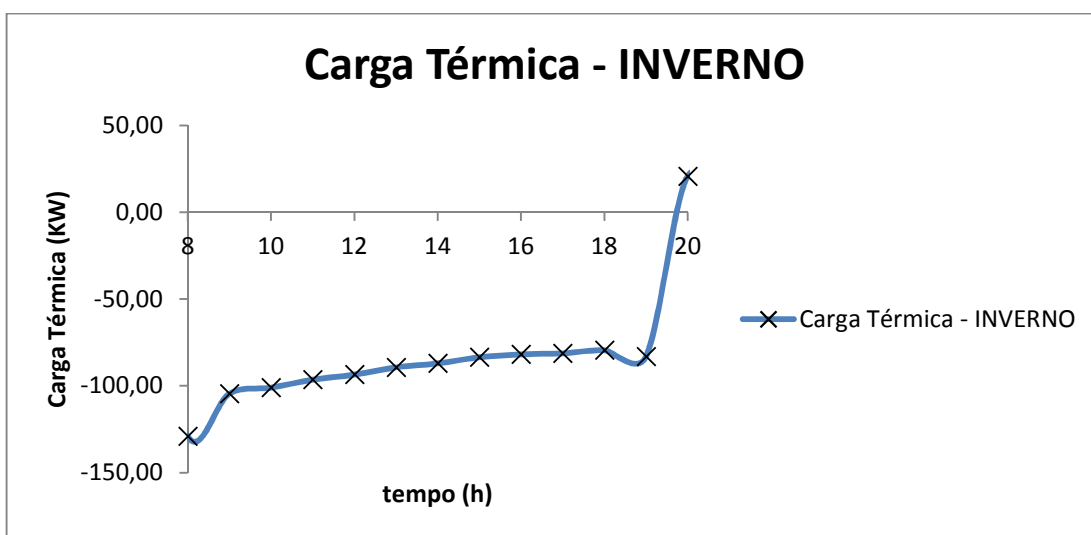


Gráfico 16 - Carga térmica total de inverno do circulante

5.6.Cálculo da carga térmica: Área dos pesquisadores

A área dos pesquisadores é dividida em 16 salas com paredes e teto de gesso acartonado (*Drywall*). A carga térmica por radiação será ignorada uma vez que os corredores não serão climatizados. Deste modo, duas paredes de cada sala serão consideradas como partições com áreas não climatizadas e as outras duas como partição com área climatizada, portanto não consideradas no cálculo. Não serão considerados efeitos dos vidros nas salas.

5.6.1. Carga térmica das paredes – Área dos pesquisadores

O método é análogo ao apresentado na seção 4.1. aplicando-se a eq.(3). Os valores para cada face da sala e sua respectiva área estão expostos na Tabela 31.

Tabela 31 - Dados referentes às paredes das salas da área dos pesquisadores.

Face	E (m)	U (W/m ² .°C)	A (m ²)
1	0,10	2,5	8,1
2	0,10	2,5	6,5

Com todos os valores calculados, obtêm-se o perfil da carga térmica das paredes das salas dos pesquisadores aplicando a eq.(3) para cada um das faces e somando-as, Tabela 147.

5.6.2. Carga térmica da laje – Área dos pesquisadores

O teto das salas dos pesquisadores será considerado de *Drywall* e possui um pé direito menor que a altura piso laje do andar, portanto o teto também será considerado uma partição com ambiente não climatizado. O método é o mesmo utilizado para as paredes aplicando a eq.(3).

Tabela 32 - Dados referentes à laje do circulante

Face	e (m)	U (W/m ² .°C)	A (m ²)
Horizontal	0,20	2,0	7,2

Assim, a carga térmica total é implementada, como mostrada na Tabela 147.

5.6.3. Carga térmica de iluminação – Área dos pesquisadores

As luminárias de cada sala estão listadas na Tabela 4 e será considerado que ficaram acesas das 8h às 20h. A eq.(11) é utilizada para o cálculo.

A potência instalada W é de 128 W. O fator de uso será considerado unitário e o F_{sa} será 1,5 (ASHRAE, 1985) para as lâmpadas fluorescentes devido a presença dos reatores para seu funcionamento. Portanto $HG_{ele}=192$ W. Os parâmetros a e b são idênticos ao da seção 5.1.4. e as lâmpadas ficam ligadas por 12h. Deste modo o perfil CLF_{ele} é exposto na Tabela 148.

Com os dados definidos, aplica-se a eq.(11) e obtém-se o perfil de carga térmica total da iluminação, Tabela 149.

5.6.4. Carga térmica de pessoas – Área dos pesquisadores

A carga térmica devido a presença de pessoas no ambiente é dividida em sensível e latente (HERNANDEZ, 2013) e pode ser calculada aplicando as eq.(13) e (14). Os valores de SHGp e LHGp foram obtidos considerando as pessoas sentadas fazendo trabalho leve e digitando no computador (ASHRAE, 1985), SHGp=75W e LHGp=75W. O valor de N será de 1 pesquisador por sala. Assim o perfil CLFp é definido considerando N pessoas entrando as 8h e permanecendo até as 20h, Tabela 150.

Com os dados definidos, obtêm-se a carga térmica sensível e latente, Tabela 151.

5.6.5. Carga térmica de infiltração – Área dos pesquisadores

A carga térmica de infiltração será considerada apenas na abertura e fechamento das portas de acesso, ou seja, a infiltração pelas frestas de portas e janelas fechadas será desprezada. O cálculo da carga térmica de infiltração é dividido em sensível e latente aplicando as eq.(15) e (16).

A vazão é encontrada considerando uma vazão de infiltração por pessoa em portas oscilantes de $V_p=9 \text{ (m}^3/\text{h)}$, assim utilizando a eq.(17) obtém-se $V=2,6350 \text{ (m}^3/\text{s)}$.

As temperaturas externas, internas e umidades absolutas internas e externas são as mesmas utilizadas na seção 5.1.6. Deste modo, na Tabela 33 estão as cargas térmicas de verão e de inverno para infiltração de ar pela porta.

Tabela 33 - Carga Térmica de infiltração nas salas dos pesquisadores.

Carga Térmica	Mês	
Qinfs (W)	Jan.	58,8
	Jul.	-78,6
Qinfl (W)	Jan.	69,5
	Jul.	-132,1

5.6.6. Carga térmica Total – Área dos pesquisadores

Para o cálculo da carga térmica total da área dos pesquisadores somam-se os valores totais obtidos de 5.6.1. a 5.6.5..O resultado está apresentado no Gráfico 17 e Gráfico 18 com a carga térmica em kW. Os Gráfico 27 e Gráfico 28 apresentam a carga térmica total das 16 salas.

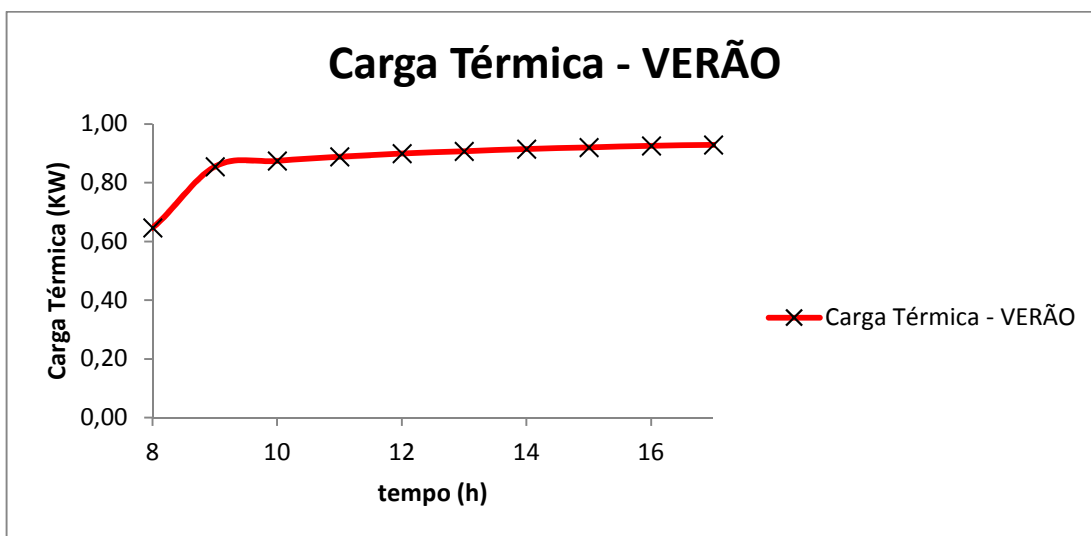


Gráfico 17 - Carga térmica de verão da sala de reunião.

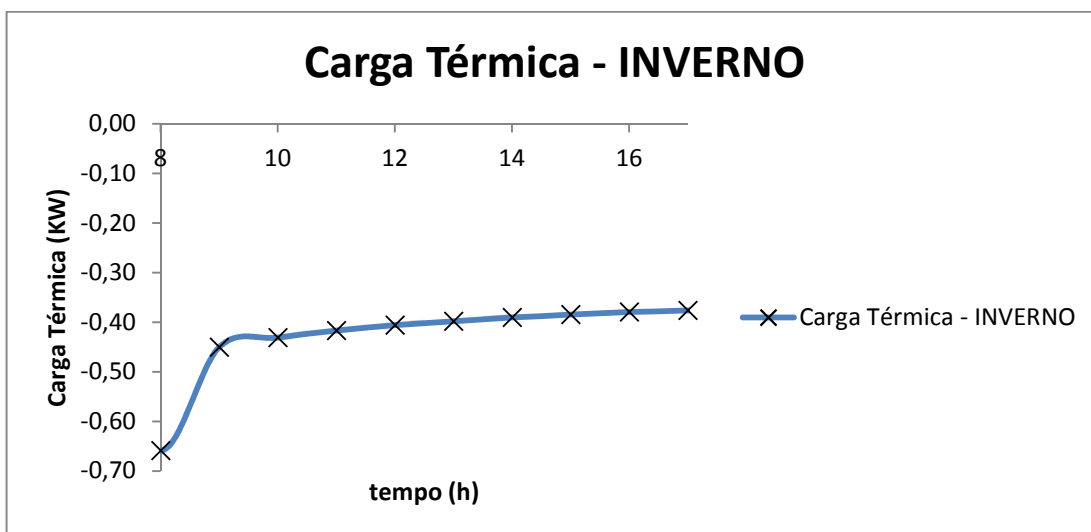


Gráfico 18 - Carga térmica de inverno da sala de reunião.

6. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA: SERPENTINA

Para seleção dos equipamentos que irão atender a carga térmica dos ambientes é necessário calcular a carga térmica na serpentina de resfriamento. A serpentina de resfriamento é utilizada para resfriar um escoamento de ar e conseqüentemente sua desumidificação. O processo, portanto, é composto da combinação de transferência de calor e massa entre a mistura ar-vapor de água com o metal resfriado da serpentina por um refrigerante (STOECKER, 1985).

O modelo de cálculo, exemplificado na Figura 6, será a base para os balanceamentos de energia e massa discutidos nas próximas seções. Os parâmetros utilizados para cada ambiente condicionado estão listados na Tabela 5, as condições do ar externo na Tabela 6.

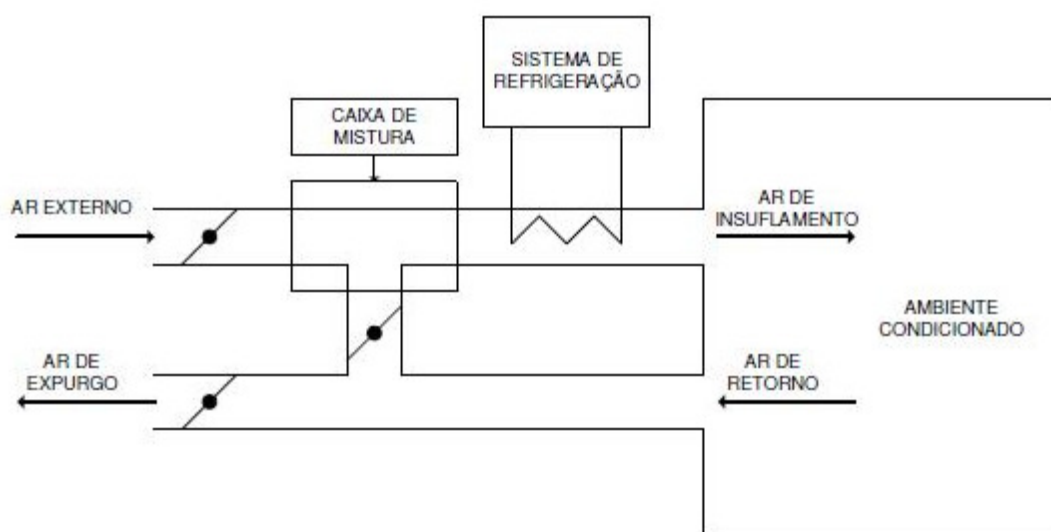


Figura 6 - Modelo para cálculo da carga térmica na serpentina (HERNANDEZ, 2013).

6.1.Serpentina – Acervo

Será apresentado nesta seção o cálculo detalhado de um dos blocos definidos do acervo, os resultados seguintes serão expostos numa tabela simplificada.

6.1.1. Balanço de energia no ambiente – Acervo

Para o balanço de energia do ambiente condicionado divide-se a carga térmica total em sensível e latente, eq.(18) e (19) (HERNANDEZ, 2013).

$$\dot{Q}_{\text{sensível}} = \dot{m}_{\text{ar insuflamento}} \cdot c_p \cdot (T_{\text{ar ambiente}} - T_{\text{ar insuflamento}}) \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{\text{latente}} = \dot{m}_{\text{ar insuflamento}} \cdot c_p \cdot (w_{\text{ar ambiente}} - w_{\text{ar insuflamento}}) \quad (19)$$

Onde:

$\dot{m}_{\text{ar insuflamento}}$ = vazão mássica de ar insuflado no ambiente, sua temperatura e umidade relativa serão definidas como valores de projeto de 9° C e 95% respectivamente (kg/s). Os valores do ar de insuflamento foram definidos observando a carta psicrométrica e o ponto de orvalho. Para uma temperatura no acervo de 21° C e UR = 45% a umidade absoluta é de 0,007609 kg/kg, esta umidade absoluta não se modifica, deste modo para este valor e uma umidade relativa próxima da saturação (aproximadamente 95%, uma vez que na prática o valor de 100% dificilmente é atingido) o valor encontrado da temperatura de bulbo seco de insuflamento é de aproximadamente 9° C.

c_p = calor específico do ar (J/kg.oC);

$T_{\text{ar ambiente}}$ = 21° C (Tabela 5);

$T_{\text{ar insuflamento}}$ = 9° C;

$w_{\text{ar ambiente}}$ = umidade absoluta do ar ambiente (kg/kg);

$w_{\text{ar insuflamento}}$ = umidade absoluta de insuflamento (kg/kg).

Sabe-se que a entalpia da mistura ar-vapor de água é:

$$h = c_p \cdot T + w \cdot h_v \quad (20)$$

Onde: h = entalpia (kJ/kg);

Deste modo, o balanço de energia fica reduzido à eq.(21).

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{m}_{\text{ar insuflamento}} \cdot (h_{\text{ar ambiente}} - h_{\text{ar insuflamento}}) \quad (21)$$

Os valores das entalpias do ar ambiente ($h_{\text{ar ambiente}}$) e do ar de insuflamento ($h_{\text{ar insuflamento}}$) são definidos pela carta psicrométrica de São Paulo a uma pressão atmosférica de 92,63kPa.

$$h_{\text{ar ambiente}}(\text{TBS: } 21^\circ \text{ C / UR: } 45\%) = 40,46 \text{ kJ/kg};$$

$$h_{\text{ar insuflamento}}(\text{TBS: } 9^\circ \text{ C / UR: } 95\%) = 27,72 \text{ kJ/kg};$$

Com a carga térmica definida para cada andar do acervo é possível determinar a vazão mássica de insuflamento. Para seleção utiliza-se vazão volumétrica, deste modo pela eq.(22) têm-se a vazão em metros cúbicos por hora.

$$\dot{V}_{\text{insuflamento}} = \dot{m}_{\text{ar insuflamento}} * \frac{3600}{\rho_{\text{ar}}} \quad (22)$$

A Tabela 34 resume os valores encontrados para a vazão de insuflamento em cada zona térmica.

Tabela 34 - Balanço de energia no ambiente - acervo.

Andar	\dot{Q}_{total} (kW)	$h_{ar\ ambiente}$ (kJ/kg)	$h_{ar\ insuflamento}$ (kJ/kg)	$\dot{m}_{ar\ ins.}$ (kg/s)	$\dot{V}_{ins.}$ (m ³ /h)
1o	1,3	40,46	27,72	0,1020	332
2o e 3o	2,9			0,2275	740
4o ao 7o	3,7			0,2903	945
8o ao 22o	4,7			0,3687	1199
23o	9,2			0,7218	2347

6.1.2. Balanço de massa na caixa de mistura – Acervo

O balanço de massa na caixa de mistura é a somatória das vazões mássicas de entrada igual a somatória das vazões mássicas de saída. Portanto é necessário definir as condições do ar externo e do ar de retorno, bem como a relação entre o retorno e o ar de insuflamento.

Primeiramente deve-se definir a vazão de ar externo para o acervo. Para isso serão utilizados dois critérios, o critério mínimo definido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) concebida na resolução RE-09 com 27 (m³/h) /pessoa e o critério definido pela NBR16401 (ABNT, 2008) relacionada a qualidade do ar interno de ambientes específicos.

Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008) é preciso uma vazão eficaz que depende tanto do número de pessoas como da área do ambiente definida pela eq.(23).

$$V_{ef} = Pz * Fp + Az * Fa \quad (23)$$

Onde:

V_{ef} = Vazão eficaz (L/s);

Pz = número máximo de pessoas na zona de ventilação;

F_p = vazão por pessoa ($L/s \cdot \text{pessoa}$) definida para biblioteca (Tabela 35);

A_z = área útil ocupada pelas pessoas (m^2);

F_a = vazão por área útil ocupada ($L/s \cdot m^2$) definida para biblioteca (Tabela 35);

Tabela 35 - Valores de F_p e F_a para edifícios públicos. (ABNT, 2008)

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ² a
		F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	
Edifícios públicos								
Aeroporto – saguão ^c	15	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Aeroporto – sala de embarque ^c	100	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Biblioteca	10	2,5	0,6	3,5	0,8	3,8	0,9	--
Museu, galeria de arte ^d	40	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Local de culto	120	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Legislativo – plenário	50	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – lobby	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório e plateia	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – palco	70	5	0,3	6,3	0,4	7,5	0,5	--
Tribunal – sala de audiências	70	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--

Aplicando a eq.(23) têm-se os valores de ar externo necessário para o acervo, caso o valor encontrado pela NBR (2008) for superior a $27 (m^3/h) / \text{pessoa}$, o valor definido pela ANVISA deve ser o utilizado. Essa decisão de projeto é específica para o acervo, pois não se trata de um ambiente de conforto e o ar externo deve ser o mínimo possível (MAZZEI, 2006). A Tabela 36 expõe o valor encontrado para o acervo considerando nível 2 – intermediário.

Tabela 36 - Vazão de renovação - área circulante.

Acervo - Nível 2	
P_z	2,0
$A_z (m^2)$	90,0
$F_p (L/s \cdot \text{pessoa})$	3,5
$F_a (L/s \cdot m^2)$	0,8
$V_{ef} (m^3/h)$	284

Deste modo o valor da ANVISA será utilizado no balanço de massa e equivale a $54 \text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, aproximadamente $0,01526 \text{ kg/s}$ (considerando 2 pessoas no interior do acervo).

A vazão do ar de retorno por balanço de massa pode ser encontrado pela eq.(24).

$$\dot{m}_{\text{ar retorno}} = \dot{m}_{\text{ar insuflamento}} - \dot{m}_{\text{ar externo}} \quad (24)$$

Sendo PR a razão entre a vazão de retorno e a vazão de insuflamento, eq.(25).

$$PR = \frac{\dot{m}_{\text{ar retorno}}}{\dot{m}_{\text{ar insuflamento}}} \quad (25)$$

É possível determinar pela eq.(26) e (27) a temperatura da mistura e a entalpia da mistura respectivamente.

$$T_{\text{mistura}} = (PR * T_{\text{retorno}}) + ((1 - PR) * T_{\text{externo}}) \quad (26)$$

$$h_{\text{mistura}} = (PR * h_{\text{retorno}}) + ((1 - PR) * h_{\text{externo}}) \quad (27)$$

Onde:

T_{mistura} = Temperatura da mistura (oC);

$T_{\text{retorno}} = \text{Temperatura de retorno} = 21^\circ \text{C};$

$T_{\text{externo}} = \text{Temperatura do ar externo} = 32,9^\circ \text{C (Tabela 6);}$

$h_{\text{mistura}} = \text{Entalpia da mistura (kJ/kg)} ;$

$h_{\text{retorno}} = \text{Entalpia do retorno (TBS: } 21^\circ \text{C / UR: 45\%)} = 40,46 \text{ kJ/kg};$

$h_{\text{externo}} = \text{Entalpia do ar externo (TBS: } 32,9^\circ \text{C / UR: 65\%)} = 91,14 \text{ kJ/kg.}$

Assim, a Tabela 37 resume os valores encontrados para a caixa de mistura do sistema do acervo.

Tabela 37 - Caixa de mistura - Acervo.

Andar	$\dot{m}_{\text{ar retorno}}(\text{kg/s})$	$\dot{V}_{\text{ar retorno}}(\text{m}^3/\text{h})$	PR	$T_{\text{mistura}} (\text{oC})$	$h_{\text{mistura}}(\text{kJ/kg})$
1o	0,08538	278	0,837	22,9	48,71
2o e 3o	0,2109	686	0,927	21,9	44,16
4o ao 7o	0,2737	890	0,943	21,7	43,36
8o ao 22o	0,3521	1145	0,955	21,5	42,74
23o	0,7051	2293	0,977	21,3	41,63

6.1.3. Balanço de energia serpentina – Acervo

Para determinar a carga térmica da serpentina basta aplicar o balanço de energia na serpentina, eq.(28).

$$\dot{Q}_{\text{serpentina}} = \dot{m}_{\text{ar insuflamento}} \cdot (h_{\text{mistura}} - h_{\text{ar insuflamento}}) \quad (28)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{serpentina}} = \text{Carga térmica na serpentina (kW)};$

Para seleção dos equipamentos é importante dividir a carga térmica da serpentina em sensível e latente. Para obter a carga sensível na serpentina aplica-se a eq.(18).

Os valores para cada andar do acervo estão resumidos na Tabela 38

Tabela 38 - Carga térmica na serpentina - Acervo.

Andar	\dot{Q}_{total} (kW)	$\dot{Q}_{serpentina}$ (kW)	$\dot{Q}_{sensível}$ (kW)	$\dot{V}_{ins.}$ (m³/h)
1o	1,3	2,1	1,5	332
2o e 3o	2,9	3,7	3,0	740
4o ao 7o	3,7	4,5	3,8	945
8o ao 22o	4,7	5,5	4,7	1200
23o	9,2	10,0	9,0	2300

6.1.4. Serpentina – Área Circulante

Serão apresentados nesta seção os resultados obtidos com os cálculos realizados na seção 6.1. para cada zona térmica da área circulante. Os cálculos são análogos apenas com modificações nos critérios de temperatura do ambiente condicionado, das vazões de ar externo e das respectivas entalpias envolvidas no processo.

6.1.5. Balanço de energia no ambiente – Área Circulante

Os valores das entalpias do ar ambiente ($h_{\text{ar ambiente}}$) e do ar de insuflamento ($h_{\text{ar insuflamento}}$) são definidos pela carta psicrométrica de São Paulo a uma pressão atmosférica de 92,63kPa.

$$h_{\text{ar ambiente}}(\text{TBS: } 22^{\circ} \text{ C / UR: } 60\%) = 49,70 \text{ kJ/kg};$$

$$h_{\text{ar insuflamento}}(\text{TBS: } 12^{\circ} \text{ C / UR: } 90\%) = 33,76 \text{ kJ/kg};$$

Com os valores acima, aplica-se a eq.(21) para determinar a vazão de insuflamento. A Tabela 39 resume os valores para cada zona térmica da área de circulação da BMA.

Tabela 39 - Balanço de energia no ambiente - Área de circulação

Zona	\dot{Q}_{total} (kW)	$h_{\text{ar ambiente}}$ (kJ/kg)	$h_{\text{ar insuflamento}}$ (kJ/kg)	$\dot{m}_{\text{ar ins.}}$ (kg/s)	$\dot{V}_{\text{ins.}}$ (m³/h)
Sala de Artes	18,2	49,70	33,76	1,1420	3752
CG	11,6			0,7278	2392
Mapoteca	11,0			0,6901	2268
Consulta Obras Raras	13,9			0,8721	2866
Circulante	154,2			9,6740	31791
Salas Pesquisadores	14,9			0,9348	3072

6.1.6. Balanço de massa na caixa de mistura – Área Circulante

Os valores da NBR 16401 (ABNT, 2008) para o cálculo da renovação de ar na caixa de mistura são iguais aos da seção 6.1.2. exceto nas salas dos pesquisadores onde admitiu-se valores típicos para escritório, Tabela 40.

Tabela 40 - Valores de F_p e F_a para edifícios de escritórios. (ABNT, 2008)

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ²
		F _p L/s*pers.	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pers.	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pers.	F _a L/s*m ²	
Edifícios de escritórios								
Hall do edifício, recepção	10	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritórios de diretoria	6	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com baixa densidade	11	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com média densidade	14	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com alta densidade	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala de reunião	50	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
CPD (exceto impressoras)	4	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala impressoras, copiadoras	--	--	--	--	--	--	--	2,5
Sala digitação	60	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
"Call center"	60	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--

Aplicando a eq.(23) e o critério mínimo recomendado pela resolução da ANVISA têm-se os valores de ar externo para cada zona da área circulante, Tabela 41.

Tabela 41 - Vazão de renovação - área circulante.

Nível 2- Intermediário	Sala de Artes	CG	Circulante	Mapoteca	Consult a O. R.	Sala Pesq.
Pz	17	7	105	5	6	1 (x16)
Az (m2)	200,0	77,0	540,0	155,0	200,0	7,2
F_p (L/s*pessoa)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,1
F_a (L/s*m ²)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4
V_{ef} (m3/h)	790	310	2878	509	652	22 (344)
ANVISA RE-09 (m3/h)	459	189	2835	135	162	27 (432)
Adotado (m3/h)	790	310	2878	509	652	27 (432)

Aplicando-se as eq.(24), (25) e (26) com:

T_{retorno} = Temperatura de retorno = 22° C;

T_{externo} = Temperatura do ar externo = 31,8° C (Tabela 6);

h_{mistura} = Entalpia da mistura (kJ/kg);

h_{retorno} = Entalpia do retorno (TBS: 22° C / UR: 60%) = 49,70 kJ/kg;

h_{externo} = Entalpia do ar externo (TBS: 31,8° C / UR: 65%) = 86,38 kJ/kg.

Assim, a Tabela 42 resume os valores encontrados para as caixas de mistura dos sistemas das zonas da área de circulação.

Tabela 42 - Caixa de mistura – Áreas de circulação.

Zona térmica	$\dot{m}_{\text{ar retorno}}$ (kg/s)	$\dot{V}_{\text{ar retorno}}$ (m³/h)	PR	T_{mistura} (oC)	h_{mistura} (kJ/kg)
Sala de Artes	0,9014	2962	0,7895	24,1	57,42
CG	0,6334	2082	0,8704	23,3	54,45
Mapoteca	0,5352	1759	0,7756	24,2	57,93
Consulta Obras Raras	0,6737	2214	0,7725	24,2	58,04
Circulante	8,798	28913	0,9095	22,9	53,02
Salas Pesquisadores	0,8033	2640	0,8594	23,4	54,86

6.1.7. Balanço de energia serpentina – Área Circulante

Para determinar a carga térmica da serpentina basta aplicar o balanço de energia na serpentina, eq.(28).

Para seleção dos equipamentos é importante dividir a carga térmica da serpentina em sensível e latente. Para obter a carga sensível na serpentina aplica-se a eq.(18).

Os valores para cada andar do acervo estão resumidos na Tabela 43.

Tabela 43 –Carga térmica na serpentina – área de circulação.

Zona térmica	\dot{Q}_{total} (kW)	$\dot{Q}_{serpentina}$ (kW)	$\dot{Q}_{sensível}$(kW)	$\dot{V}_{ins.}$ (m³/h)
Sala de Artes	18,2	27,0	14,1	3682
CG	11,6	15,1	8,4	2347
Mapoteca	11,0	16,7	8,7	2226
Consulta Obras Raras	13,9	21,2	11,0	2812
Circulante	154,2	186,3	108,0	31198
Salas Pesquisadores	14,9	19,7	10,9	3015

7. SELEÇÃO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO

O presente capítulo irá tratar e discutir sistemas de distribuição térmica, ou seja, sistema responsável pela transferência de calor do espaço condicionado para a fonte ou sumidouro (STOECKER, 1985). A seleção do sistema dos andares do acervo e áreas circulantes deverá atender os objetivos principais de cada ambiente levando em conta os parâmetros de projeto, de instalação, econômico e energético.

A BMA foi projetada com um sistema de ventilação natural o qual garantiu por muitos anos condições adequadas para o armazenamento do material cultural presente nos vinte e três andares de acervo. Entretanto, com o crescimento da cidade teve-se um aumento no número de prédios ao redor da BMA e uma diminuição da qualidade do ar no centro de São Paulo. Deste modo, o sistema escolhido para o condicionamento da biblioteca, não só dos acervos, mas também da área circulante, deverá ser selecionado considerando os aspectos arquitetônicos de um prédio não projetado para tal sistema.

Existem diversos sistemas utilizados no mercado atual, os principais são:

- Sistema de zona simples: neste sistema, Figura 7, o ar passa pelos seguintes componentes: serpentina de resfriamento, onde ocorre o resfriamento e desumidificação do ar caso a temperatura da serpentina seja menor que a temperatura de orvalho do ar; serpentina de aquecimento; ventilador de circulação e umidificador. No ambiente climatizado encontra-se um termostato que regula as serpentinas e um umidistato que regula o umidificador. O ar de retorno pode ser totalmente rejeitado ou voltar em parte para o sistema, misturando-se com o ar externo (renovação) na caixa de mistura (STOECKER, 1985).

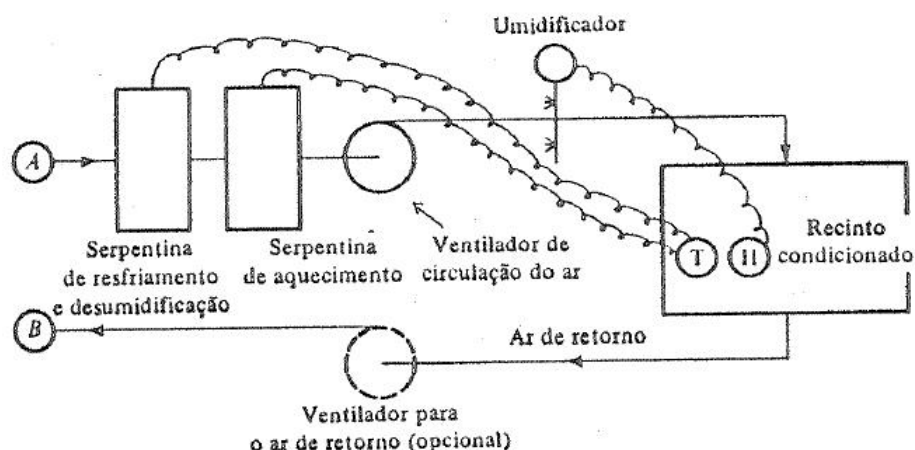


Figura 7 - Sistema de zona simples. (STOECKER, 1985)

- Sistema de zonas múltiplas: para edifícios maiores o uso do sistema de zona simples torna-se, em geral, de difícil instalação devido a dificuldades econômicas e energéticas. Uma opção é o sistema de zonas múltiplas que atende diversas zonas (ambientes controlados por termostatos distintos) a partir de um sistema central. Existem diversos tipos, os principais são: sistema com reaquecimento terminal que consiste em resfriar o ar do sistema garantindo a desumificação e reaquecendo em cada zona com o controle do termostato presente no ambiente e o sistema com volume de ar variável (VAV), Figura 8, que vem sendo muito utilizado em projetos recentes por possuir menor custo energético, pois regula a vazão proporcionalmente com a demanda de carga térmica do ambiente e consequentemente a carga térmica na serpentina. Entretanto o sistema de VAV em condições de cargas térmicas muito baixas o volume de ar no ambiente é reduzido a tal ponto que resulta em uma má distribuição de ar e ventilação (STOECKER, 1985).

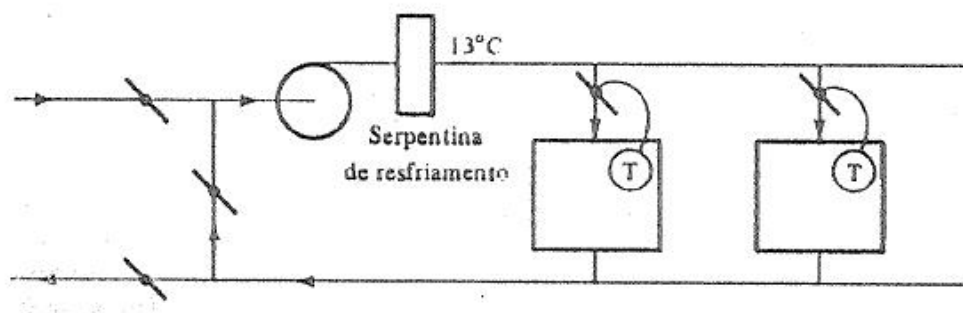


Figura 8 - Sistema de volume de ar variável (VAV) (STOECKER, 1985).

- Sistemas a ar: sistema possui uma fonte de calor ou sumidouro central para esquentar ou resfriar o ar. O ar condicionado é então distribuído a diversas zonas térmicas (BRANDEMUEHL, 2014). A vantagem desse sistema é evitar a passagem de dutos com refrigerante pela extensão do prédio, evitando vazamentos. Por outro lado, a dimensão dos dutos de ar pode ser um problema em prédios não projetados para tal sistema.
- Sistemas unitários: unidades compactas montadas em fábrica possuem todos os componentes de um sistema de ar condicionado. As vantagens estão no baixo custo inicial de instalação. Porém, a desvantagem é o maior consumo energético graças a limitações na serpentina, controle, ventilador e compressor (STOECKER, 1985). Os principais tipos no mercado são os condicionadores de janela e os *splits* (condensador e compressor separados do evaporador).

Todos os sistemas descritos acima resfriam o ar por uma serpentina. Este componente do sistema necessita de um refrigerante que circula pelas serpentinas, ocorrendo transferência de calor e massa entre o metal e o ar que escoa por entre os tubos. Os cálculos da carga térmica da serpentina estão expostos no capítulo 6.

Existem, portanto, dois sistemas principais que utilizam refrigerantes distintos:

- Sistema central de água gelada: utiliza-se a água líquida entre 5° C e 13° C como meio de troca de calor, a qual escoa pelos tubos da serpentina e retorna para o sumidouro de calor. Muito utilizado em equipamentos do tipo

serpentina-ventilador (*fan-coil*) por possuírem custo relativamente baixo e pequeno espaço físico para instalação (STOECKER,1985).

- Sistema de volume de refrigerante variável (VRV): utiliza-se de refrigerantes como o R-410A no sistema central, geralmente utilizado em sistemas *multi-spli*, necessita de um controle muito bem projetado aliado a microprocessadores. Possui fácil instalação e baixos níveis de ruído e menor gasto energético.

Apresentado os principais sistemas de condicionamento é necessário definir o sistema ou combinação de sistemas para o acervo e área circulante.

7.1.Sistema de condicionamento – Acervo

A escolha do sistema para o acervo será feita utilizando o método de seleção proposto pela ASHRAE (2004). Este método consiste em selecionar dois ou mais sistemas e aplicar uma matriz de decisão relacionando categorias para os sistemas e dando-lhes notas referentes ao objetivo principal do processo.

Segundo Mazzei et al. (2006) é necessário um sistema que opere constantemente com uma distribuição de ar e ventilação de 6 a 8 trocas por hora (ASHRAE, 2011). A utilização de sistemas de água gelada deve ser feita com muito cuidado, pois algum vazamento do sistema pode levar a prejuízos no material cultural presente nos acervos e estantes das áreas circulantes. Mazzei et all. (2006) discutem sobre a preferência de um sistema a ar para acervos e a pouca utilização de sistemas de água gelada, entretanto deixam claro que a instalação de sistemas a ar em prédios históricos e antigos geram problemas. O controle de temperatura e umidade podem ser feitos de forma eficiente por um sistema de zonas múltiplas com reaquecimento e humidificação (MAZZEI et al, 2006 apud BOVILL, 1988) com volume constante para garantir ventilação 24h por dia.

Para a BMA um sistema central de refrigerante é adequado, pois diminui os gastos energéticos do prédio. Entretanto, sistemas centrais de distribuição de ar podem levar, em caso de falha, a paralisação da conservação dos vinte e três andares. Deste

modo, dois sistemas foram pré-definidos e serão escolhidos pela matriz de decisão: Sistema de água gelada de zona simples com reaquecimento e umidificação e sistema a ar (*all air systems*) central, ambos com volume constante para garantir ventilação e distribuição de ar no interior dos acervos.

Tabela 44 - Matriz de decisão para seleção do sistema de condicionamento do acervo (ASHRAE, 2004).

<u>Objetivo: Sistema de condicionamento de ar responsável em conservar o material cultural presente nos vinte e três andares de acervo.</u>		
<u>(zero: fraco; 10: excelente)</u>		
Categorias de seleção	Sistema água gelada (Zona simples com reaquecimento e umidificação)	Sistema a ar central (<i>all air systems</i>)
Manter os parâmetros de TBS e UR de projeto dentro das faixas determinadas.	8	9
Custo, instalação e manutenção.	10	3
Vazamentos	6	10
Consequências negativas em caso de falha de componentes do sistema.	7	5
Eficiência energética.	5	7
TOTAL	36	34

A partir do resultado da Tabela 44, o sistema a ser utilizado nos acervos será um sistema central de água gelada com sistemas de zona simples por andar, Figura 9. Assim, cada andar terá uma casa de máquinas com um *fan-coil*, serpentina de

reaquecimento e umidificador, controlados por um termostato e umidistato no interior do acervo. Nos próximos capítulos será feita a seleção de cada componente, bem como dos equipamentos responsáveis pelo resfriamento e distribuição de água gelada.

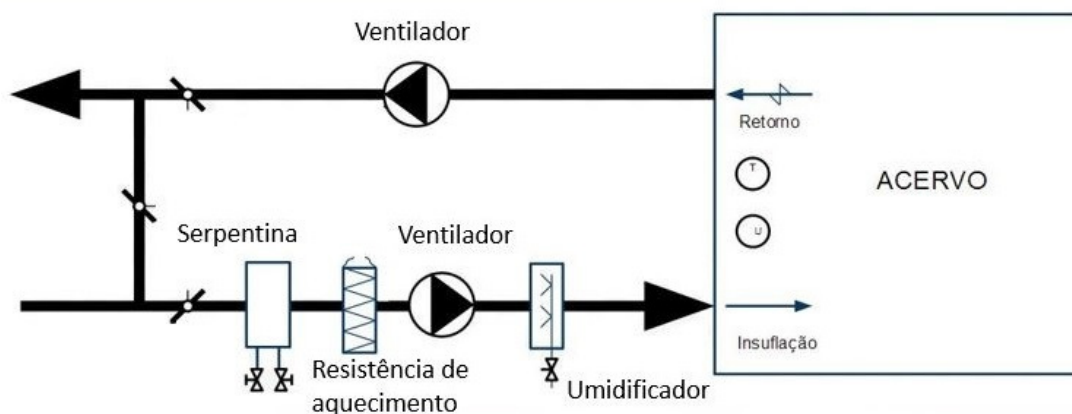


Figura 9 - Sistema de zona simples com central de água gelada (THE ENGINEERING TOOLBOX, 2014).

A utilização de roda dessecante não será utilizada no acervo. Apesar de muitos sistemas para acervo utilizarem este equipamento, o mesmo necessita de uma filtragem mais específica, pois, segundo BELLIA et al (2007), partículas ácidas e gotículas podem ser insufladas no acervo causando problemas na preservação. Deste modo, optou-se pela menor temperatura do líquido refrigerante e próxima da temperatura de orvalho do ar para ocorrer o resfriamento e desumidificação necessário.

7.2.Sistema de condicionamento – área circulante

Uma vez definido o sistema do acervo a seleção para área circulante deve seguir o mesmo procedimento, pois possui critérios menos rigorosos e serão instalados no mesmo tipo de arquitetura. A grande diferença está na maior carga térmica dos ambientes e a dificuldade de obter casas de máquinas para cada equipamento. Deve-se discutir também se o sistema central de água gelada dos acervos será o mesmo para a área circulante.

A utilização da área circulante será feita apenas em horário comercial e com parâmetros de controle menos rigorosos que o acervo. Além disso, o pico de carga térmica da área circulante pode levar a flutuações ou sobrecarga no sistema. Portanto, um sistema de água gelada exclusivo para área circulante será a opção adotada, apesar de o custo inicial ser maior.

O sistema selecionado para área circulante é análogo ao do acervo, entretanto a serpentina de aquecimento e o umidificador podem ou não ser utilizados e serão discutidos nos capítulos de seleção dos equipamentos.

8. SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Nesta seção será apresentada a seleção dos equipamentos utilizados na climatização dos acervos e área circulante. Primeiramente será abordada uma breve teoria sobre cada componente e em seguida a seleção baseada nos resultados obtidos nas seções anteriores e nos catálogos dos fabricantes.

8.1. Climatizadores de ar

Os climatizadores de ar que serão utilizados no sistema proposto são do tipo ventilador-serpentina (*fan-coil*). Os fan-coils são unidades compostas por diversos equipamentos, entre eles: ventilador, serpentina de resfriamento, resistência de aquecimento, umidificador, filtros, caixa de mistura, etc. Os equipamentos são montados em unidades convencionais ou modulares, ou seja, cada modulo corresponde a um sub-sistema da unidade de tratamento.

A principal vantagem deste tipo de equipamento é a versatilidade e o grande número de opções e combinações disponíveis no mercado. Deste modo, é possível selecionar o equipamento mais próximo da necessidade do sistema. A Figura 10 exemplifica um modelo da York utilizado no mercado.



Figura 10 - Climatizador de ar da York – modelo YM.

No projeto da área circulante serão utilizados também intercambiadores de calor, conhecidos no mercado como “fancoletes”. Esse equipamento é análogo ao exposto anteriormente, entretanto com capacidades menores e maior dificuldade de incorporar equipamentos como umidificador, caixa de mistura e filtros. Este aparelho é utilizado principalmente para conforto em ambientes menores, como escritórios e quartos, pois possui baixo ruído, compacto e possibilita um controle individual de temperatura de bulbo seco e vazão de ar.

Existem diversos tipos de “fancoletes”, os mais comuns são do tipo piso-teto, Cassete (1 ou demais vias) e *Built-In*.

Os “fancoletes” piso-teto (Figura 11) são os mais comuns e versáteis, pois podem ser instalados sem grandes modificações na arquitetura uma vez que ficam expostos no ambiente. Esse equipamento é utilizado principalmente em projetos de *retrofit*.



Figura 11 - Intercambiador de calor do tipo piso-teto. (CARRIER, 2014)

Os intercambiadores de calor do tipo Cassete (Figura 12) são embutidos no forro e apresentam boa harmonia com o ambiente. Podem ser colocados no centro da zona térmica.



Figura 12 - Intercambiador de calor do tipo Cassete. (CARRIER, 2014)

Por fim, os “fancoletes” *Buil-In* (Figura 13) são embutidos no forro e não apresentam nenhuma parte visível. Possuem capacidades maiores que os demais e utilizam-se dutos para a distribuição de ar.



Figura 13 - Intercambiador de calor do tipo *Built-In*. (CARRIER, 2014)

8.1.1. Ventilador

Os ventiladores utilizados em sistemas de ar condicionado são em geral centrífugos. A trajetória do ar nesse tipo de ventilador ocorre com a entrada pelo seu eixo, dirigindo para direção radial das pás e finalmente deixando através da voluta até a saída (STOECKER, 1985).

O ventilador pode ser classificado, em relação a entrada de ar, como simples ou duplo. Aqueles em que o ar entra apenas por um lado é considerado simples e ar entrando pelos dois lados, duplo. A Figura 14 exemplifica um ventilador centrífugo.

Outro fator importante são os tipos de pás existentes para ventiladores centrífugos. Elas podem ser radiais, curvadas voltadas para frente, curvadas voltadas para trás e aerofólio (STOECKER, 1985).

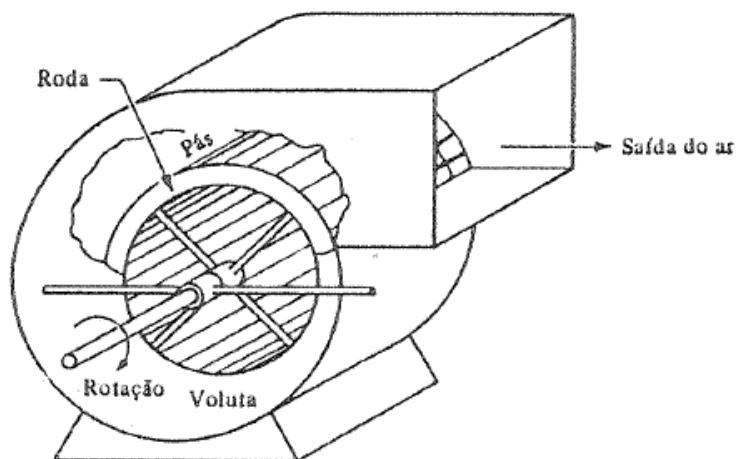


Figura 14 - Ventilador centrífugo (STOECKER, 1985).

As pás curvadas para frente são típicas de sistemas que trabalham com baixas pressões, possui ramo instável na curva característica (Figura 15) e a potência cresce junto com a vazão, portanto sua seleção deve ser cuidadosa. Um tipo muito comum é o ventilador do tipo Siroco com rotor largo e aletas curtas. Por ser o menor ventilador

centrífugo para uma dada vazão e pressão total, este tipo é o mais utilizado em climatizadores (ALÉ, 2001).

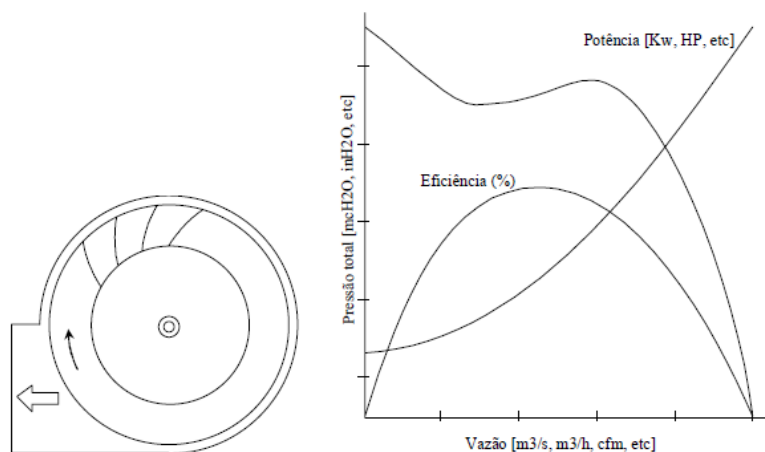


Figura 15 - Ventilador centrífugo com pás voltadas para frente e sua curva característica. (ALÉ, 2001)

Os ventiladores com pás curvadas para trás são utilizados em sistemas com pressões elevadas e maior vazão. É o mais eficiente dos ventiladores centrífugos e apresenta potência máxima a aproximadamente 70-80% da vazão máxima, Figura 16. Sua grande vantagem é não apresentar problemas de sobrecarga e operação inadequada do sistema (ALÉ, 2001).

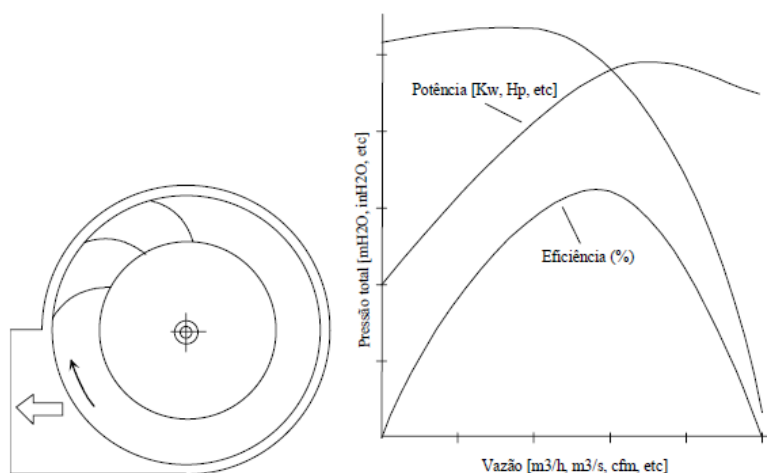


Figura 16 - Ventilador centrífugo com pás voltadas para trás e sua curva característica. (ALÉ, 2001)

Para seleção do ventilador é importante destacar a influência da configuração de dutos instalados na entrada ou saída do ventilador. O chamado efeito sistema, segundo a ASHRAE (2004), acontece quando a entrada e/ou saída de ar do ventilador não estão em condições favoráveis, consequentemente a eficiência do mesmo acaba caindo. Isso acontece, pois os ventiladores são testados com entradas e saídas livres, sem dutos ligados. Deste modo, para evitar perda de rendimento e pressão o efeito sistema deve ser corrigido com fatores disponibilizados pelo fabricante ou por fatores generalizados encontrados no *Handbook of Fundamentals* da ASHRAE (2005).

Para atender a norma brasileira os ventiladores devem, segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008), promover condições de acesso para limpeza interna, como a presença de portas de inspeção.

8.1.2. Serpentina de resfriamento e desumificação

As serpentinas de resfriamento e desumificação são trocadores de calor que possuem água gelada ou refrigerante circulando pelo seu interior e um fluxo de ar pelo seu exterior. A maioria consiste em tubos aletados na face externa para aumentar a

troca de calor, uma vez que a transferência de calor por convecção é muito menor pela parte externa do que pela parte interna onde ocorre a circulação do fluido refrigerante (STOECKER, 1985).

Serpentinas que possuem a evaporação do fluido refrigerante são chamadas de serpentinas de expansão direta. No sistema proposto para a BMA as serpentinas possuem refrigerante secundário, água gelada, portanto não ocorre evaporação do fluido na serpentina de resfriamento. A água gelada é resfriada por um evaporador na casa de máquinas do edifício (STOECKER, 1985).

Para a seleção da serpentina é necessário definir termos e tipos de serpentinas:

- Área frontal do resfriador: área da seção transversal do escoamento de ar na entrada do trocador (STOECKER, 1985).

- Velocidade frontal do ar: A vazão em volume do escoamento de ar dividida pela área frontal (STOECKER, 1985). Em geral, a velocidade frontal não deve ultrapassar o valor de 2,5 m/s, pois valores acima podem carregar partículas condensadas de água para os dutos do sistema (ASHRAE,2004). Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008), a velocidade não deve ultrapassar o valor de 2,7 m/s.

- Número de fileira de tubos: número de fileiras de tubos na direção do escoamento de ar (STOECKER, 1985). Os valores mais comuns de fileira encontrados no mercado são de 4, 6 e 8 fileiras (*rows*). Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008), para serpentinas com mais de 3 fileiras não é recomendado ter mais de 480 aletas por metro quadrado (12FPI). Além disso, não é recomendado utilizar mais de seis fileiras de profundidade, caso seja necessário, utilizar fileiras em série.

Um fator importante para a seleção da serpentina é a a velocidade do fluido no interior dos tubos que deve estar entre 0,3 e 2,4 m/s para água gelada, valores fora desta faixa tendem a diminuir a eficiência da serpentina (ASHRAE, 2004).

8.1.3. Resistência de aquecimento

Para o sistema do acervo os climatizadores serão dotados de uma resistência de aquecimento. Sua utilização é necessária, pois o sistema deve manter a temperatura de bulbo seco no acervo sempre próxima dos 21° C, como definido pela Tabela 5. Para a área circulante foi definido que não será utilizado sistema de aquecimento.

As resistências de aquecimento são resistências que transformam energia elétrica em térmica, efeito Joule. Esse equipamento é instalado após a serpentina de resfriamento e atua com as variações de um termostato próprio que deverá ser instalado no duto de insuflamento para atuar apenas quando a temperatura de bulbo seco estiver inferior a 9° C. A resistência de aquecimento, portanto, apenas aumenta o calor sensível do ar insuflado.

Para seleção das resistências é necessário calcular a quantidade de calor sensível que deve ser adicionado ao sistema na condição de inverno para uma dada cidade. Observando a Tabela 6, referente aos dados climáticos para a região de Guarulho, é possível observar que para uma frequência anual de 99,6% a menor temperatura de bulbo seco do ar em São Paulo é de 7° C.

O cálculo é feito utilizando a eq.(18). Com $T_{ar\ ambiente} = 7^{\circ} C$ e $T_{ar\ insuflamento}$ igual ao valor da seleção do climatizador, deste modo têm-se a carga térmica sensível para uma dada vazão de insuflamento (considera-se ar externo total para o cálculo). Com este resultado busca-se em catálogos o equipamento mais próximo que atenda a essa demanda.

8.1.4. Umidificador

Do mesmo modo que a resistência elétrica, o umidificador tem a finalidade de controlar juntamente com a serpentina a umidade relativa no interior do acervo. A área circulante não possui critérios rígidos de umidade relativa, portanto os climatizadores não serão dotados de umidificador.

Existem dois principais tipos de umidificador que podem ser instalados no duto, logo após a resistência de aquecimento: umidificador a vapor e umidificador por pulverização de água.

O equipamento a vapor, Figura 17, possui um sistema bem simples, dois eletrodos imersos dentro de um pequeno reservatório com água são aquecidos por efeito Joule ocorrendo a evaporação da água. Este vapor é então injetado no ar insuflado. O umidificador é controlado por um umidistato no interior da sala, entretanto o problema deste sistema é a grande inércia devido ao intervalo de tempo entre a tomada do sinal pelo sensor e a produção de vapor pelo equipamento.



Figura 17 - Umidificador a vapor da Trane. (TRANE, 2012)

O outro tipo possui um sistema mais complexo, apesar do seu simples funcionamento. O umidificador, Figura 18, para pulverizar a água em partículas minúsculas necessita de uma rede de água pressurizada, deste modo através de um pequeno bocal a água é eliminada junto ao ar de insuflamento. A grande vantagem deste sistema é a menor inércia na resposta do umidistato e a grande desvantagem, além do sistema ser mais complexo, é o risco de partículas de água serem carregadas até o acervo.



Figura 18 - Umidificador por pulverização de água (LORAN, 2014)

Segundo a ASHRAE (2011), o sistema de umidificação deve prevenir o acúmulo de água e minimizar o crescimento de microorganismos com a utilização de um umidificador a vapor. Portanto o recomendado será utilizado no projeto.

Para determinar a quantidade de vapor necessária a ser adicionada no ar de insuflamento é preciso determinar a condição de baixa umidade na região de projeto. Observando a Tabela 6 têm-se uma umidade absoluta do ar com uma frequência anual de 99,6% equivalente a $0,0055 \text{ kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$. Deste modo, subtraindo este valor da umidade absoluta de insuflamento de projeto têm-se a umidade a ser adicionada. A capacidade do umidificador é então calculada multiplicando-se o valor encontrado pela vazão de insuflamento (considera-se ar externo total para o cálculo). O umidistato será instalado próximo ao retorno no interior do acervo.

8.1.5. Filtros

A filtragem é essencial para evitar contaminantes que podem prejudicar a preservação do material no acervo e a qualidade do ar para a área circulante. Os contaminantes podem ser elementos produzidos pelo próprio acervo (poeira e gases como sulfetos, aldeídos, ácido carboxílico, etc), por elementos externos ao edifício

(partículas suspensas de construções e reformas, gases tóxicos, etc) ou pela circulação de pessoas e materiais (ASHRAE, 2007).

Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008) adota-se a classificação de filtros da EN 779. A Tabela 45 apresenta os diversos tipos de filtros, a letra G equivale a classes de filtros grossos que possuem eficiência testadas por ensaio gravimétrico com poeira padronizada e F para filtros finos que possuem eficiência testada em relação a retenção de partícula de 0,4 μm produzidas por dispersão de aerosol líquido (DEHS) (ABNT, 2008).

Tabela 45 - Tipos de filtros de partículas de acordo com a EN 779:2002 (ABNT, 2008).

Tipo de filtros	Classe	Eficiência gravimétrica média <i>Eg</i> %	Eficiência média para partículas de 0,4 μm <i>Ef</i> %
Grossos	G 1	$50 \leq Eg < 65$	---
	G 2	$65 \leq Eg < 80$	---
	G 3	$80 \leq Eg < 90$	---
	G 4	$90 \leq Eg$	---
Finos	F 5	---	$40 \leq Ef < 60$
	F 6	---	$60 \leq Ef < 80$
	F 7	---	$80 \leq Ef < 90$
	F 8	---	$90 \leq Ef < 95$
	F 9	---	$95 \leq Ef$

Para determinar as condições de filtragem para o acervo e área circulante a NBR 16401 disponibiliza uma tabela com diversos ambientes e sua respectiva classe de filtragem. A partir da Tabela 46, conclui-se que o nível de filtragem para o acervo é equivalente ao item “Biblioteca, museu – exposição e depósito de obras sensíveis” com uma pré-filtragem com filtro classe G3 e uma pós-filtragem com filtro classe F8. A área circulante é equivalente ao item “Biblioteca, museu – áreas do público” com apenas pós-filtragem com filtro classe F5.

Entretanto, segundo a norma brasileira, deve ser instalado um pré-filtro (no mínimo de classe G4) adicional caso o ar exterior seja admitido diretamente na casa de máquinas ou o ar externo seja suprido por dutos a diversos condicionadores a partir de um ventilador.

Deste modo para os acervos têm-se um pré-filtro de classe G4 e um pós-filtro de classe F8. Para a área circulante um pré-filtro de classe G4 e um pós-filtro de classe F5.

Tabela 46 - Classe mínima de filtragem (ABNT, 2008).

Aplicação típica	Classe
Supermercado, <i>mall</i> de centros comerciais, agências bancárias e de correios, lojas comerciais e de serviços	G4
Escritórios, sala de reunião, CPD, sala de digitação, <i>call center</i> , consultórios	F5
Aeroporto – saguão, salas de embarque	F5
Aeroporto - torre de controle	G3 + F6
Biblioteca, museu – áreas do público	F5
Biblioteca, museu – exposição e depósito de obras sensíveis	G3 + F8
Hotéis 3 estrelas ou mais - apartamentos, <i>lobby</i> , salas de estar, salões de convenções	F5
Hotéis - outros, motéis - apartamentos	G4
Teatro, cinema, auditório, locais de culto, sala de aula	F5
Lanchonete, cafeteria	G4
Restaurante, bar, salão de coquetel, discoteca, danceteria, salão de festas, salão de jogos	F5
Ginásio (áreas do público), <i>fitness center</i> , boliche, jogos eletrônicos	G4
Centrais telefônicas – sala de comutação	G3 + F6
Residências	G3
Sala de controle – ambiente eletrônico sensível	G3 + F6
Impressão – litografia, <i>offset</i>	G3 + F7
Impressão - processamento de filmes	G3 + F8

8.1.6. Seleção final por catálogos

A seleção dos climatizadores foram feitas utilizando o programa de seleção digital *Eclima* da York – Johnson Controls. O programa consiste em adicionar as condições externas e internas do ar, a carga térmica da zona térmica, vazão de insuflamento e retorno. Com a determinação das temperaturas de entrada e saída da

água gelada da serpentina o programa calcula os valores da caixa de mistura. Após feito isso, o projetista deve escolher um climatizador e uma configuração da serpentina de resfriamento. Na Figura 19 é possível visualizar a aparência do programa e os dados de entrada do 8º ao 22º andar.

The screenshot displays the 'Eclima Home Page' interface for selecting a climate control system. The interface is organized into several sections:

- Top Navigation:** Includes tabs for 'Selecionar Climatizador' and 'Modelo YM 2'. Below these are checkboxes for system types: Mist (checked), Aquec, Pré Filtro, Pós Filtro, Absol, Resist, Aten, and Umid.
- Series and Position:** 'Série' is set to 'Eclipse YM' and 'Posição' is 'Vertical V2'. 'Status' is 'Cotação'.
- Market and Accessories:** 'Mercado Brasil' is selected, and 'Válvulas e Acessórios' is a sub-section.
- Tag and Location:** 'Tag' is '8 ao 22' and '1'. 'Altitude' is '715 m' and 'Pressão' is '694.71 mmHg'.
- Filters:** A section titled 'Filtros - Conforme NBR 16401' shows 'Grosso' as 'G2 Metálico 1" + G4 Descartável 1"'. 'Vel Ar' is set to '0.7 m/s'.
- Air Parameters (Ar):** A table with columns 'Renov' and 'Retorno'. Values include 'Vazão' (1174, 58.7, 1115.3), 'Tbs' (21.6, 32.9, 21), 'Tbu' (14.3, 24.9, 13.658), 'Ur' (46.2, 53.3, 45), and 'Ua' (0.00816).
- Water Parameters (Água):** 'Vazão' is '1.2648 m3/h', 'T Entrada' is '5 oC', 'Delta T' is '5 oC', and 'Q Nominal' is '7.3922 kW'.
- Right Panel:** Contains various performance metrics:
 - Restr:** 'Pc Ar', 'Vent', 'Aquec', 'Resist'.
 - Rows:** '6', 'Cir' '3'.
 - FPI:** '8/pol'.
 - Vel Face:** '2.05 m/s'.
 - Área Face:** '0.159 m2'.
 - Capacidade:** 'Total' (5.928 kW), 'Latente' (1.52 kW), 'Sensível' (4.41 kW).
 - Saída Ar:** 'Tbs' (9.34 oC), 'Tbu' (7.66 oC), 'Ua' (0.00646 Adim).
 - Fluido:** 'T Saída' (9.01 oC), 'Vel' (0.962 m/s), 'Pc' (2.27 mca).
 - Incrustação:** '0.044 m2.K/kw'.

Figura 19 - Programa Eclima da York - Johnson Controls.

A vantagem do programa está na velocidade de seleção e a proximidade dos dados de seleção com os dados de projeto. Além disso, o programa possui os intervalos de recomendados em norma brasileira para velocidade do ar na face e velocidade da água gelada no interior da serpentina. A seleção do ventilador é feita pelo programa e as perdas de carga da serpentina, caixa de mistura e filtros são consideradas na seleção.

Os climatizadores escolhidos são da linha eclipse YM da York com caixa de mistura e todos foram selecionados a partir do programa Eclima. Os dados da seleção podem ser encontrados no anexo I.

Por conta das baixas vazões para os sete primeiros andares o zoneamento foi feito colocando uma máquina que irá atender os três primeiros andares e do 4º ao 7º cada máquina terá uma vazão ligeiramente maior que a de projeto. Essa vazão poderá ser modificada mudando a rotação do motor no momento da instalação sem prejudicar o rendimento da máquina.

A Tabela 47 apresenta o resumo das máquinas selecionadas para cada zona térmica.

Tabela 47 - Resumo da seleção dos climatizadores.

Equipamento (Modelo Eclipse YM da York)	Zona Térmica	Carga Térmica (kW)	Vazão de insufl. (m³/h)	Ar Entrada (°C)		Ar Saída (°C)		Quant.
				TBS	TBU	TBS	TBU	
YM3	Acervo (1º, 2º e 3º andares)	9,3	1775	21,5	14,7	9,7	7,9	1
YM2	Acervo (4º ao 7º andar)	5,1	1040	21,1	13,8	8,6	7,1	4
YM2	Acervo (8º ao 22º andar)	5,9	1200	21,6	14,3	9,3	7,7	15
YM4	Acervo	10,7	2300	21,2	13,9	9,5	7,8	1

	(23ºandar)							
YM4	Mapoteca	16,3	2226	24,0	18,5	11,5	9,8	1
YM5	Ob. Raras	20,2	2812	24,0	18,5	11,6	10,0	1
YM50	Circulante	185,0	31198	22,7	17,4	12,1	10,3	1

Algumas zonas térmicas não serão climatizadas por *fan-coils* convencionais, deste modo intercambiadores de calor serão utilizados. Optou-se pelos intercambiadores na Sala de Arte e Coleção Geral por falta de espaço para a casa de máquinas do *fan-coil*. Na Área dos Pesquisadores será utilizado “fancoletes” pelo tamanho reduzido das zonas térmicas e pelo fato das salas serem individuais, ou seja, a possibilidade do controle do ocupante e uma redução no consumo energético, uma vez que não necessariamente todas as salas estarão ocupadas.

O “fancoletes” foram selecionados pelos catálogos dos modelos hidrônicos do tipo cassette e *hi-wall* da Carrier. A tabela de seleção do catálogo é limitada para diferentes valores de temperatura da mistura, como os valores de projetos encontrados são inferiores ao menor valor disponível para seleção ($TBS=26,7^{\circ}\text{C}$ e $TBU=19,4^{\circ}\text{C}$), os equipamentos selecionados irão trabalhar com uma margem de segurança. Além disso, os “fancoletes” não irão garantir controle de umidade e sua seleção será baseada apenas na carga térmica sensível do ambiente. Para cada ambiente a vazão e a carga térmica foram divididas pelo número de “fancoletes” adequados, levando em consideração o alcance e distribuição de ar adequadas dentro de cada sala. Com uma diferença de temperatura de entrada e saída da água gelada igual a 6°C e água gelada entrando na serpentina do equipamento a 6°C foi possível selecionar o modelo adequado, considerando as correções de vazão determinadas pelo catálogo. As tabelas do catálogo podem ser visualizadas no anexo I. A Tabela 48 resume a distribuição e seleção dos equipamentos para cada zona térmica.

Tabela 48 - Seleção dos "fancoletes" - Modelos da Carrier.

Zona	Qtd.	CT_{total} (kW)	CT_{sensível} (kW)	Vazão (m³/h)	Modelo	CT_{sensível} (kW)	Fator de correção	CT_{sensív} el(kW)
Sala de Artes	8	4,5	2,35	620	40HK10	2,46	1	2,46
Coleção geral	3	5,0	2,8	780	40HK16	2,99	1	2,99
Pesquisadores	16	1,2	0,7	190	40HP09	1,8	0,75	1,35

A seleção da resistência de aquecimento foi feita utilizando os cálculos da seção 8.1.3., onde a temperatura de bulbo seco do ar é a apresentada pela Tabela 47. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 49.

Tabela 49 - Carga térmica sensível - resistência de aquecimento.

Andar do acervo	Saída do ar - TBS(°C)	Vazão mássica de insuf. (kg/s)	Ar externo - TBS(°C)	Carga Térmica sensível (kW)
1º, 2º e 3º	9,7	0,5567	7	1,5
4º ao 7º	8,6	0,3245	7	0,5
8º ao 22º	9,3	0,3688	7	0,9
23º	9,5	0,7216	7	1,8

Uma vez definido os valores da carga térmica das resistências de aquecimento seleciona-se o modelo a partir de catálogos. A marca escolhida foi a mesma dos modelos dos climatizadores por motivos de compatibilidade. A Tabela 50 apresenta a faixa de modelos de resistência elétrica da York.

Tabela 50 - Modelos de resistência de aquecimento da York.

Modelo	Potência total (KW)	Quantidade	Número de Estágios	Potência Resistência (KW)	Capacidade por estágio (KW)
02	1,5	3	1	0,5	1,5
	2,25	3	1	0,75	2,25
	4,5	6	2	0,75	2,25
03	3	3	1	1	3
	4,5	3	2	0,75	2,25
	6	6	2	1	3
04	4,5	6	2	0,75	2,25
	6	6	2	1	3
	9	6	2	1,5	4,5

Deste modo, a resistência elétrica do 1º ao 22º andar do acervo é a número 02 com um estágio e potência total de 1,5kW. Para o 23º andar a resistência escolhida é de número 02 com um estágio e potência total de 2,25kW.

Finalmente, o umidificador será instalado no duto de insuflamento, pois o climatizador Eclipse da York não admite a instalação no equipamento. A marca escolhida de umidificador será a Trane. A Tabela 51 apresenta os resultados dos cálculos do item 8.1.4. para cada andar do acervo. A hipótese considerada para o cálculo foi de 100% de ar externo e a umidade absoluta mantém-se constante ao passar pela serpentina (ar seco).

Tabela 51 - Capacidade necessária dos umidificadores dos andares do acervo.

Andar do acervo	W _{ar externo}	W _{ambiente}	W _{adicionar}	Vazão mássica (kg/s)	Capacidade (kg _{vapor} /h)
1º, 2º e 3º	0,0055	0,007611	0,002111	0,5567	4,23
4º ao 7º				0,3245	2,47
8º ao 22º				0,3688	2,80
23º				0,7216	5,48

A partir dos valores de capacidade encontrados busca-se no catálogo da Trane o umidificador apropriado (TRANE, 2009). Utilizando a Tabela 152, no anexo I, seleciona-se o para um equipamento com serpentina de resfriamento de 1/2" (6 fileiras) e resistência elétrica o umidificador modelo 08 com vazão de 5,0 a 8,0 kg_{vapor}/h para o 23º andar e para os restantes o modelo 06 com vazões de 1,5 a 5,0 kg_{vapor}/h.

8.2. Central de água gelada

8.2.1. Condensadores

O condensador em um sistema de refrigeração consiste em um trocador de calor que rejeita todo o calor do sistema para o meio externo. Este calor equivale a parte absorvida pelo evaporador mais o calor da energia requerida pelo compressor. O compressor descarrega gás a alta pressão e temperatura no condensador que rejeita o calor para algum sistema ou diretamente para o ambiente externo. Assim, o refrigerante frio condensa e volta para fase líquida, retornando para o evaporador.

Os condensadores são classificados pelo processo de rejeição de calor. Os principais são: condensadores a ar, condensadores a água e condensadores evaporativos (ASHRAE, 2004).

Nos condensadores a ar (Figura 20) o calor do refrigerante é removido pela circulação de ar ambiente pela serpentina. A capacidade varia entre centenas de Watts até aproximadamente 350 kW. Os menores são usados em residências e não possuem ventiladores, ou seja, a circulação de ar pela serpentina ocorre por convecção natural. Entretanto, condensadores maiores utilizam ventiladores para circulação do ar, uma vez que a convecção forçada é predominante neste processo (ASHRAE, 2004).

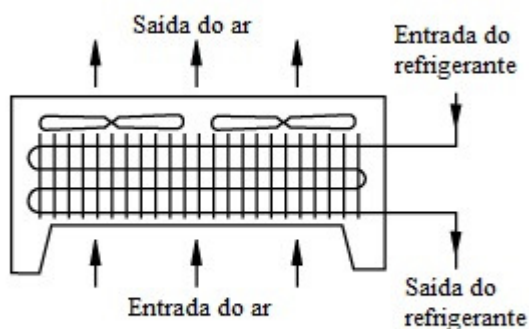


Figura 20 - Condensador a ar. (adaptado de: BALTIMORE, 2014)

Segundo a ASHRAE, a taxa de remoção de calor dos condensadores a ar são baseadas na diferença de temperatura (TD) de bulbo seco do ar de entrada na serpentina com a temperatura de saturação da condensação. Valores típicos de TD são de 5K a 8K para sistemas de baixas temperaturas do sistema (-30 a 40° C), 8K a 11K para médias temperaturas (-7° C) e 14K a 17K para sistemas de climatização, como os utilizados na BMA.

Deste modo, na seleção dos condensadores a ar é importante considerar a máxima temperatura de bulbo seco para a localidade do projeto, encontrada nas tabelas da norma brasileira NBR 16401. Uma temperatura de entrada mais elevada que o esperado rapidamente causa aumento da pressão e potência do compressor, consequentemente, pode levar ao desligamento do sistema (ASHRAE, 2004).

Os condensadores a água utilizam a troca de calor entre a serpentina de condensação e água para rejeitar o calor. Os três principais tipos são:

- Tubo-tubo, Figura 21: consiste em dois tubos, um no interior do outro. A água é bombeada pelo tubo interno e o refrigerante pelo tubo mais externo, com fluxos opostos. Utilizado em sistemas com espaço reduzido, podem ser instalados na vertical, horizontal ou ângulos variados. Em geral, o

refrigerante entra a 41° C e a água a 30° C e sai a 35° C. (MILLER, 2012).
A capacidade varia entre 1 a 180 kW (ASHRAE, 2004).

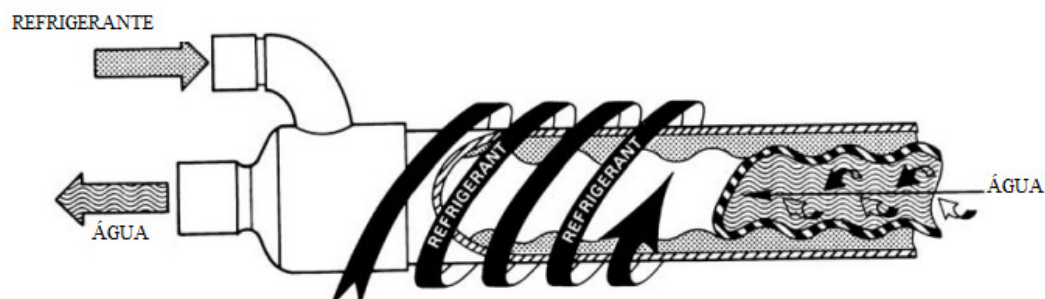


Figura 21 - Condensador a água do tipo tubo-tubo. (Adaptado de: MILLER, 2012)

- Casco-serpentina (Figura 22): a água de condensação é bombeada por uma ou mais serpentinas contidas no interior de uma casca. O refrigerante condensa fora dos tubos e a capacidade varia entre 1,75 a 50 kW. (ASHRAE, 2004).

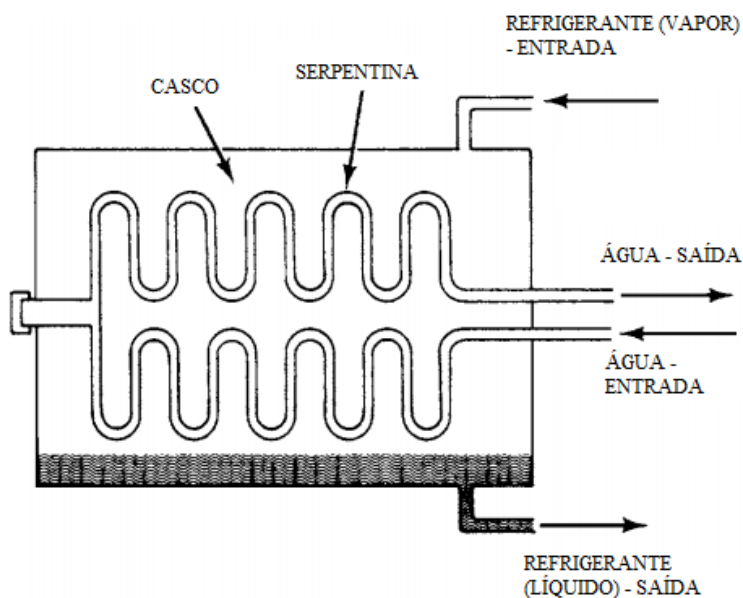


Figura 22 - Condensador a água do tipo casco-serpentina. (Adaptado de: MILLER, 2012)

- Casco-tubo (Figura 23): o refrigerante é condensado fora dos tubos e a água é circulada através de tubos em um circuito simples ou múltiplo. Tipicamente instalados na horizontal, porém podem ser visto na vertical em locais de espaço reduzido com perdas na eficiência devido a problemas na drenagem do refrigerante. Capacidades variam de 3 a 35000 kW (ASHRAE, 2004).

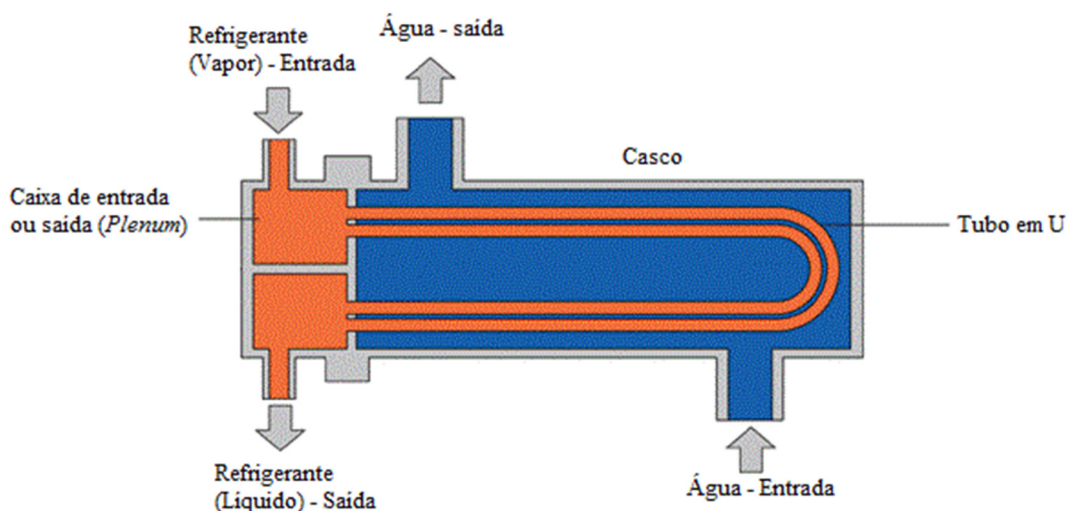


Figura 23 - Condensador a água do tipo casco-tubo. (Adaptado de: SPIRAX-SARCO,2014)

Por sua vez, os condensadores evaporativos utilizam a água e o ar para rejeitar calor. Isso ocorre circulando o refrigerante por uma serpentina condensadora que é constantemente molhada por uma rede de circulação de ar. Simultaneamente, ar é circulado através das serpentina, Figura 24, causando evaporação de uma parte da água. Essa evaporação remove o calor da serpentina. Para a seleção deste tipo de condensador, o fator limitante é a temperatura de bulbo úmido que deve ser normalmente de 8K a 14K menor que a temperatura de bulbo úmido do ambiente. As vantagens dos condensadores evaporativos são a redução da quantidade de água bombeada em relação aos condensadores a água e menor necessidade de tratamentos químicos para evitar a incrustação (ASHRAE, 2004).

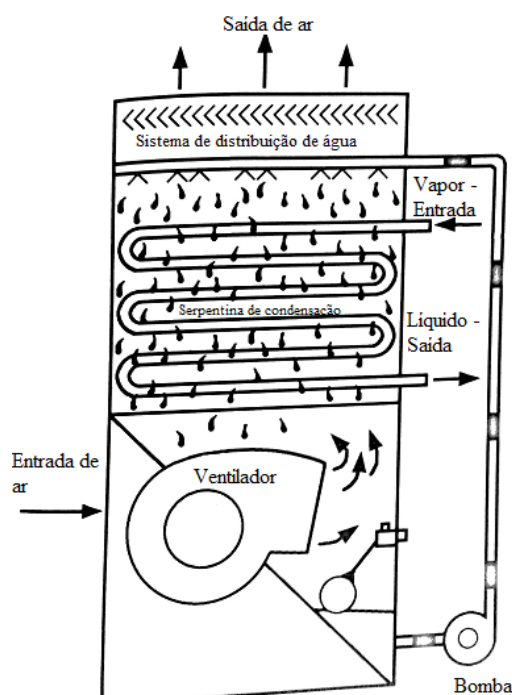


Figura 24 - Condensador evaporativo. (Adaptado de: ASHRAE, 2004)

A incrustação em condensadores que utilizam água, seja evaporativos ou não, deve ser levada em consideração antes mesmo da operação do sistema, ou seja, deve-se admitir um fator de incrustação no processo de seleção. Portanto, condensadores novos operam com temperaturas de condensação menores do ponto projetado, pois ainda não ocorreu a incrustação no equipamento. Para evitar fatores elevados é necessário em alguns casos tratar a água de condensação e fazer limpezas nos equipamentos periodicamente.

8.2.2. Chiller

No projeto da BMA serão utilizados *chillers*. Eles tem como objetivo produzir água gelada para os fan-coils e “fancoletes” do prédio. Este tipo de equipamento é amplamente utilizado em grandes projetos de climatização ou processos industriais específicos. A capacidade pode variar entre 200 e 1600 TR (MILLER, 2012).

O *chiller*, Figura 25, é composto por um ciclo de refrigeração que retira o calor da água que irá circular pelas unidades de tratamento de ar espalhadas pela edificação. Este calor é rejeitado na condensadora pelos diferentes métodos apresentados na seção 8.2.1.

Os componentes básicos de um *chiller* com compressão-vapor são: compressor, resfriador de líquido (evaporador), condensador, expansão do líquido refrigerante ou sistema de controle de fluxo e controle central. Pode ter também, economizador, turbina de expansão, entre outros componentes (ASHRAE, 2004).



Figura 25 - Chiller com condensação a água da York. (JOHNSON CONTROLS, 2014)

A funcionamento ocorre com a entrada do líquido (usualmente água gelada) no chiller, onde será resfriado na troca de calor com o refrigerante no evaporador. O refrigerante vaporiza e é drenado pelo compressor que aumenta a pressão e temperatura do gás que será condensado a uma alta temperatura no condensador (seção 8.2.1.). Assim, o refrigerante condensado volta para o evaporador pelo sistema de expansão. Diversos métodos para melhorar o COP do *chiller* são utilizados, entre eles o subresfriamento, economizadores, turbinas de expansão, sistema de gás de *flash* e injeção de líquido (ASHRAE, 2004). A descrição de cada método não será abordada neste trabalho, mas chama a atenção para a importância de subsistemas na melhoria do COP nos sistemas de refrigeração.

O ciclo de um sistema básico de um *chiller* possui água gelada entrando a 12° C e saindo a 7° C. O refrigerador do líquido pode ser de dois tipos principais: expansão direta ou inundado.

Os refrigeradores de expansão direta, Figura 26, possuem o refrigerante sendo evaporado dentro dos tubos e a água gelada circula no casco, usualmente do tipo casco-tubo ou tubo-tubo.

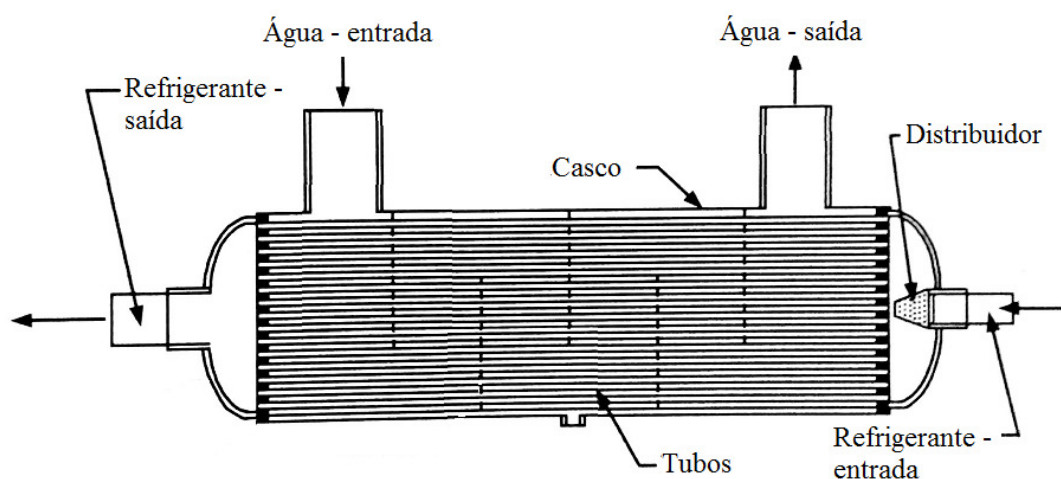


Figura 26 - Resfriador de expansão direta do tipo casco-tubo. (Adaptado de: ASHRAE, 2004)

Por outro lado, nos resfriadores inundados (Figura 27), o refrigerante vaporiza fora dos tubos, que estão submersos no líquido refrigerante dentro de um casco, e a água gelada circula no interior dos tubos (ASHRAE, 2004).

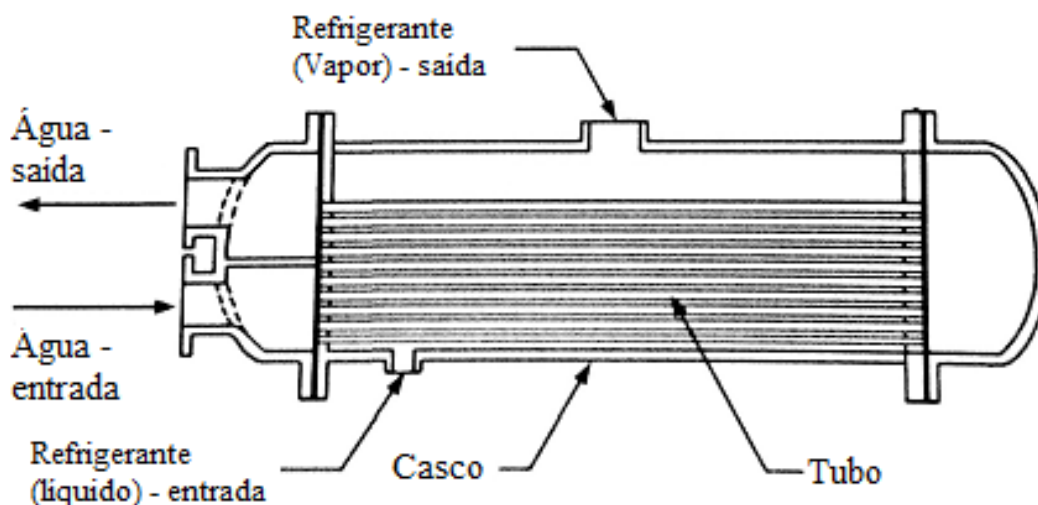


Figura 27 - Resfriador do tipo inundado de casco-tubo. (Adaptado de: ASHRAE, 2004)

8.2.3. Torres de resfriamento

As torres de resfriamento, Figura 28, são utilizadas para rejeitar calor para o meio em sistemas que possuem condensação a água. No passado, este processo era realizado com água sem circulação, levando a grandes prejuízos financeiros e ecológicos. Entretanto, segundo a ASHRAE, a torre de resfriamento têm apenas 5% do consumo de água dos processos antigos, além de ser regularizada pelas normas atuais. A vantagem em relação a condensadores a ar está principalmente relacionado ao menor custo de operação.

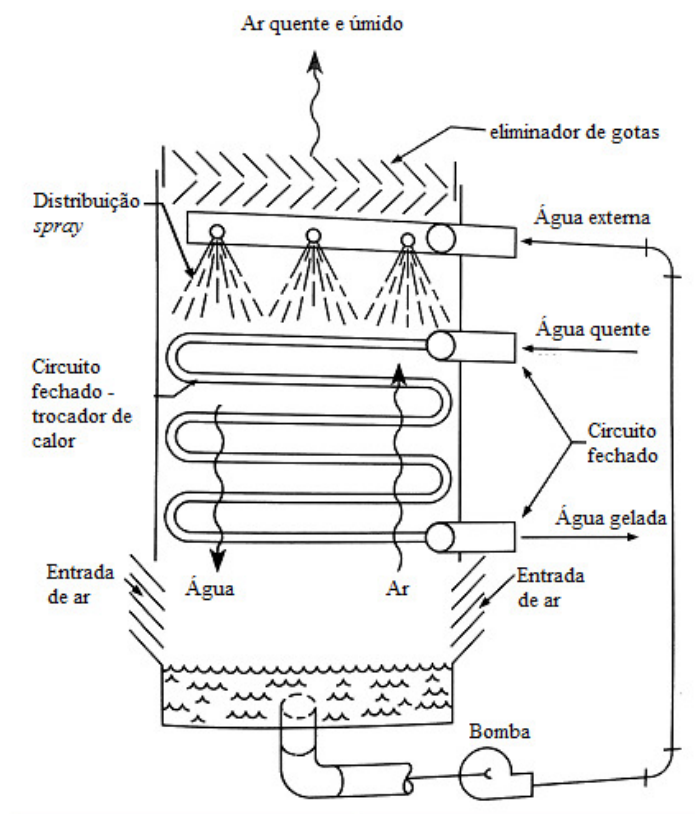


Figura 28 - Torre de resfriamento – circuito fechado. (Adaptado de: ASHRAE, 2004)

A água é resfriada a partir da combinação da transferência de calor e massa no processo. A água de condensação a ser resfriada é distribuída para a torre em difusores e bocais que aumentam a área de contato entre o líquido e o ar atmosférico. O ar é circulado por ventiladores ou naturalmente, assim uma parte da água absorve calor para mudar de fase a pressão constante. Este calor de vaporização a pressão constante é transferido da outra porção de água na fase líquida para a corrente de ar, ou seja, ocorre um aquecimento do ar e um resfriamento da água (ASHRAE,2004).

A razão entre o calor latente e sensível é importante para analisar o consumo de água nas torres de resfriamento. A transferência de massa ocorre apenas na porção latente da transferência de calor e é proporcional a mudança na umidade absoluta. A temperatura de bulbo seco de entrada e umidade relativa afeta a razão entre o calor sensível e latente, por conseguinte a evaporação da água no processo (ASHRAE,2004).

A taxa de evaporação típica é de 1% da vazão de água na torre para cada 7K de diferença de temperatura da água de condensação de entrada e saída. Além disso, ocorre perda de água por carregamento pelas correntes de ar induzidas pelo ventilador e troca de água para manter a qualidade da água no sistema (ASHRAE,2004).

Os principais parâmetros de projeto para a seleção de uma torre de resfriamento são: temperaturas de entrada e saída da água, temperatura de bulbo úmido e seco do ar de entrada e vazão de água total. A capacidade de uma torre de resfriamento usado para sistemas de climatização devem ser expressas em capacidade nominal, baseadas no calor dissipado de 1,25 kW por kW de resfriamento no evaporador. A capacidade nominal é definida como a capacidade de resfriar 54mL/s de água de 35° C até 29,4° C a uma temperatura de bulbo seco de entrada de 25,6° C. Nesta condição, portanto, a torre rejeita 1,25kW por kW da capacidade do evaporador, ou seja, para cada kW de calor do evaporador, a torre de resfriamento precisa dissipar 0,25kW a mais devido ao calor do compressor (ASHRAE,2004).

8.2.4. Seleção dos *chillers* e torre de resfriamento

Os sistemas da área circulante e do acervo serão separados e independentes. Deste modo, cada sistema terá um *chiller* para resfriar a água que irá circular pelos equipamentos. Para o sistema do acervo será utilizado um *chiller* com condensação a ar com temperatura de entrada no evaporador igual a 10° C e de saída igual a 5° C. Todavia, para o sistema da área circulante o *chiller* será de condensação a água com temperatura de entrada no evaporador igual a 12° C e de saída igual a 6° C.

A escolha do *chiller* a ar para o acervo deve-se pelo menor custo inicial, espaço de instalação reduzido e o menor chance de problemas operacionais, ou seja, por não necessitar de uma torre de resfriamento e um ponto de água, o risco do sistema falhar é menor comparado a um sistema com condensação a água.

Na área circulante a capacidade do sistema é aproximadamente 50% maior que a do acervo, portanto a escolha do *chiller* com condensação a água deve-se ao menor

custo operacional e menor ruído quando comparado ao mesmo sistema com condensação a ar, portanto deverá ser selecionada também uma torre de resfriamento.

A seleção do *chiller* para os acervos não é trivial e difícil de ser realizada por meio de catálogos, pois trabalha com temperaturas mais baixas que o usual para garantir a desumidificação na serpentina dos climatizadores. Com isso, os parâmetros de projetos e a carga térmica dos *fan-coils* foram enviadas para a *York – Johnson Controls Company* e seu selecionamento foi feito pelos profissionais da empresa.

A vazão de água gelada do sistema é de 28,8 m³/h, utilizando um coeficiente de segurança de 10% têm-se o valor de 31,7 m³/h (8,8 L/s) de água gelada. Para máxima carga a temperatura de bulbo seco no condensador foi definida em 35° C. O modelo da York selecionado foi o YCAL0056EE40 com compressor *scroll* e uma capacidade de 186,9 kW com ruído a plena carga de 68 dBA (*chiller* equipado com ventiladores silenciosos). No anexo I está disponível o arquivo enviado pela York com a seleção detalhada do *chiller* (Figura 56 e Figura 57).

Para o sistema da área circulante o *chiller* será selecionado por meio de catálogos da *Johnson Controls Company*. Com uma vazão de água gelada dos *fan-coils* e “fancoletes” totalizando 45,0 m³/h (12,5 L/s) é possível calcular a capacidade do *chiller* a partir da eq.(29).

$$Capac. = \dot{V} \cdot \rho_{\text{água}} \cdot cp_{\text{água}} \cdot \Delta T \quad (29)$$

Onde:

Capac. = capacidade do *chiller* em kW;

\dot{V} = vazão de água gelada em m³/s;

$cp_{\text{água}}$ = calor específico da água, aproximadamente 4,18 kJ/kg.°C;

$\rho_{\text{água}}$ = densidade da água, aproximadamente 1000kg/m³;

ΔT = diferença de temperatura de entrada e saída do evaporador do *chiller*.

Deste modo, a capacidade do *chiller* é de 313,5 kW. A temperatura da água de saída do condensador é definida em 35° C e a de saída do evaporador em 6° C. Assim, utilizando o catálogo técnico seleciona-se o modelo YCWL0104SE, com capacidade de 317,3 kW e um COP de 4,6. No anexo I pode-se consultar a Figura 58 do catálogo e outros detalhes da seleção.

Finalmente, a torre de resfriamento utilizada será da marca Caravela. A temperatura de entrada da água na torre será de 35° C, temperatura de saída de 29° C e temperatura de bulbo úmido do ar igual a 24° C. A vazão de água necessária na torre é calculada de forma análoga pela eq.(29). O valor encontrado é multiplicado por 1,25 (ASHRAE,2004), obtendo uma vazão de 57 m³/h.

Para seleção é necessário calcular o salto térmico (diferença entre a temperatura da água na entrada e na saída da torre de resfriamento) e o *approach* (diferença entre a temperatura de saída da água com a temperatura de bulbo úmido do ar). Realizando os cálculos têm-se um salto térmico de 6° C e um *approach* de 5° C. Utilizando a Tabela 153, no anexo I encontra-se o fator de capacidade igual a 12,6. Com este valor juntamente com a vazão encontrada é possível selecionar a torre de resfriamento modelo WT 51/12 com vazão de 59,3 m³/h e nível de ruído silencioso de 78dBA a 2 metros, Tabela 154. A torre ficará no subsolo do edifício, portanto deve dotar de um prolongamento dutado para a saída do ar, na Figura 59 do anexo I encontra-se o esquema com as dimensões da torre de resfriamento.

8.2.5. Bombas de água gelada

Segundo Stoecker, um bom sistema de distribuição de água gelada deve distribuir o volume necessário para cada trocador de calor com baixo custo inicial e de operação.

As bombas utilizadas no projeto serão do tipo centrífuga. Nas bombas centrífugas, um motor elétrico rotaciona o impulsor. Essa rotação adiciona energia ao

fluido após entrar pelo olho de sucção do impulsor e o fluido é submetido a uma força centrífuga e rotacional. Essas forças aumentam a velocidade do fluido, de modo que as bombas centrífugas devem ser selecionadas para máxima conversão de energia cinética do fluido em energia de pressão (ASHRAE,2004).

8.2.6. Configuração e seleção das bombas de água gelada

Segundo a NBR 16401, é aconselhável projetar sistemas com vazão de água gelada variável. Para isso, será utilizado no projeto uma configuração com uma bomba de água gelada primária (BAGP) que irá circular a água no chiller a vazão constante e uma bomba de água gelada secundária (BAGS) que irá circular a água pelo edifício. A BAGS é dotada de variadores de frequência os quais irão controlar a velocidade de rotação da bomba que é determinada pela diferença de pressão entre a linha de alimentação e retorno das zonas térmicas (ASHRAE,2004). No sistema para a área circulante será adicionada uma bomba de circulação para a torre de resfriamento chamada de bomba de condensado (BAC). No esquema da Figura 29 está a configuração básica do sistema de água gelada para o acervo (*chiller* a ar) e para a área circulante (*chiller* a água). Em ambos os sistemas será acrescentada uma bomba reserva para cada circuito para evitar a interrupção em caso de manutenção.

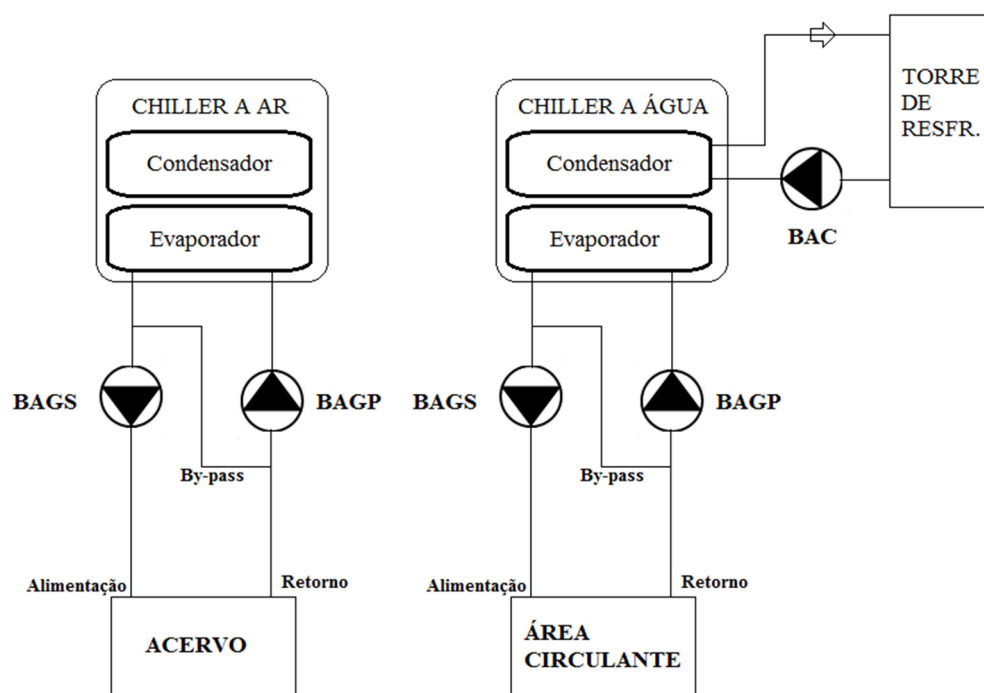


Figura 29 - Sistema de água gelada da BMA.

A seleção das bombas será realizada pelo catálogo digital da empresa *Armstrong Fluid Technology*. A perda de carga na tubulação de água gelada e de condensação será superestimada. Os valores para seleção estão indicadas na Tabela 52 com o respectivo modelo da *Armstrong*.

Tabela 52 - Seleção das bombas de água gelada.

Sistema	Bomba	Variador de frequência	Vazão (m³/h)	Altura manométrica (kPa)	Temp (°C)	Mod.	Potência (CV)
Acervo	BAGP	Não	31,7	200	10	4360	5,0
	BAGS	Sim	31,7	400	10	4380 IVS	15,0
Área Circulante	BAGP	Não	45,0	200	12	4300	7,5
	BAGS	Sim	45,0	400	12	4300 IVS	15,0
	BAC	Não	57,0	200	35	4300	10,0

9. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE AR

O sistema de distribuição de ar do acervo e área circulante serão dimensionados pelo método da perda de carga constante. Este método possui uma boa relação de economia de material e custo operacional quando comparado a outros métodos. Por exemplo, o método da velocidade constante possui uma ótima economia de material, entretanto o custo operacional é elevado (MARIANI,2007).

Serão utilizados dutos em todos andares de acervo e na área circulante nos locais que são climatizados por *fan-coils*. A localização das casas de máquinas será definida juntamente com o sistema, porém a BMA possui restrições devido ao valor histórico do prédio. Essas restrições serão ignoradas para a realização do estudo preliminar e criação do esquema de dutos unifilar, escopo desta seção do trabalho.

Após o dimensionamento dos dutos, os elementos terminais (difusores, grelhas, etc) serão selecionados por catálogos levando em consideração o alcance e velocidade do ar adequados para uma boa circulação de ar nos ambientes. Com esta etapa finalizada, o balanceamento do sistema e a seleção dos elementos balanceadores serão calculados e selecionados.

9.1.Distribuição de ar – Acervo

O principal objetivo do sistema de distribuição de ar do acervo é garantir a boa circulação de ar por todo ambiente, evitando locais de estagnação do ar que possa prejudicar a conservação dos livros. Os andares do acervo foram projetados para uma ventilação natural que se tornou ineficaz com o crescimento da urbanização, portanto o desafio do projeto está na locação dos *fan-coils* e dutos num espaço reduzido e não projetado para a instalação de um sistema de ar condicionado.

9.1.1. Configuração

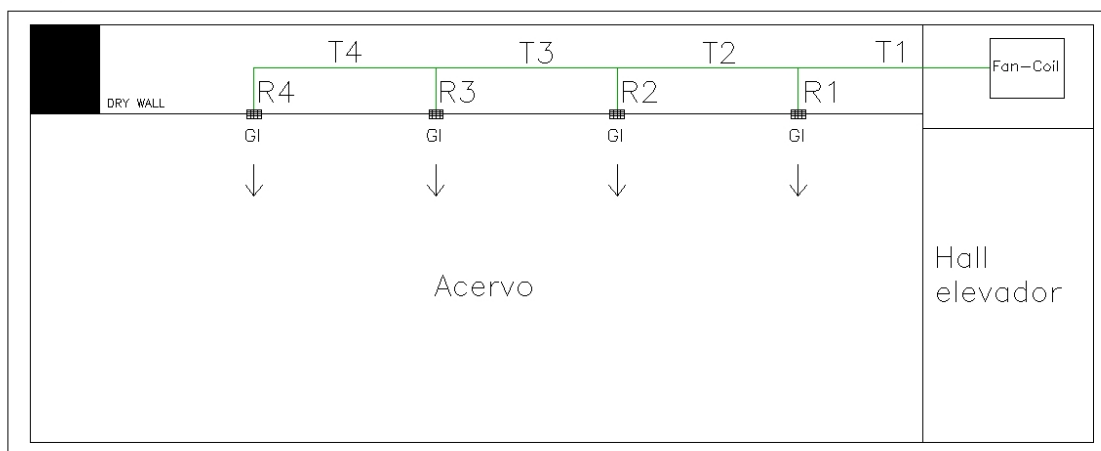
Os *fan-coils* do 4º ao 23º andar do acervo serão instalados no hall do elevador com a construção de uma sala técnica. O *fan-coil* que atende os três primeiros andares será instalado no 3º andar e os dutos seguem para os andares abaixo por meio de furos na laje.

A distribuição de ar para os acervos será feita por um furo na parede que divide o hall do elevador e a sala do acervo. Devido ao pé direito baixo e altura das estantes dos livros, não será utilizado difusores de teto. Deste modo, a solução será a construção de uma parede de *drywall* no interior do acervo alinhada com a casa de máquinas para a instalação das grelhas de insuflamento e retorno.

O *layout* das estantes está apresentado na Figura 40 do anexo A. Cada andar possui 8 estantes com uma altura igual ao pé direito do andar. Para a boa circulação de ar entre as estantes seria necessário instalar uma grelha em cada corredor, totalizando 9 grelhas de insuflamento e 9 de retorno. Porém com o aumento do número de grelhas e diminuição da vazão por elemento, o alcance da grelha seria prejudicado. Assim a solução foi reduzir o número de grelhas e intercalar grelhas de retorno (próxima ao piso) e de insuflamento (próxima ao teto) entre as estantes. O resultado foi um menor número de grelhas, um maior alcance e a localização do retorno que garante a circulação do ar através das estantes, evitando curto-circuitos no sistema. A Figura 30 apresenta a configuração com o nome adotado para cada trecho de tronco (T) e ramal (R). A tomada de ar externo será realizada pela parede com a instalação de um registro.

Importante destacar que a localização das grelhas não é a mais adequada, segundo a ASHRAE o ar não deve ser insuflado sobre as coleções, pois a temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar insuflado não é adequado para a conservação. Devido as limitações de projeto a grelha será colocada o mais próximo do teto e de preferência deve-se evitar colocar livros próximos a grelha de insuflamento.

Esquema Unifilar – Insuflamento



Esquema Unifilar – Retorno e ar externo

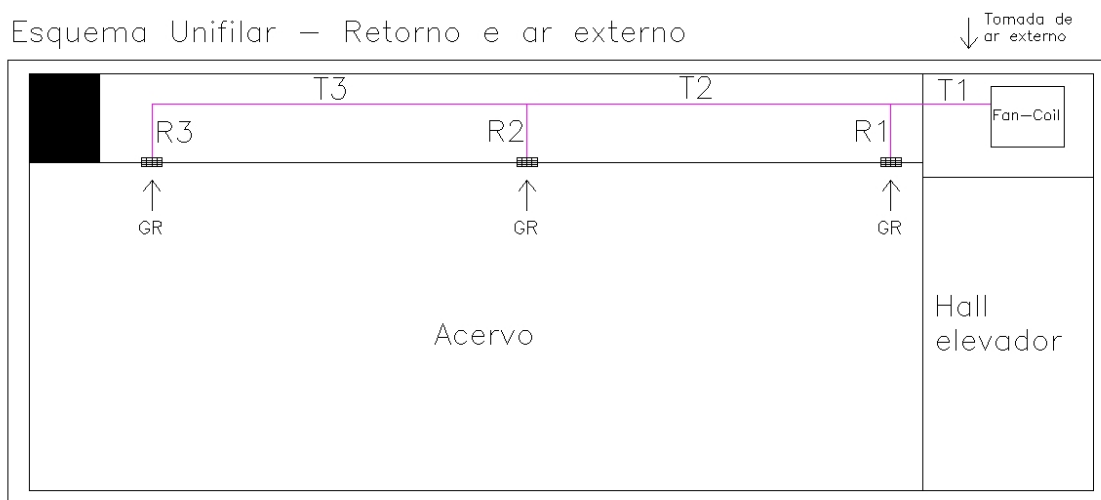


Figura 30 - Esquema unifilar do 4º ao 23º andar do acervo (GI: grelha de insuflamento; GR: grelha de retorno).

Os trechos de tronco e ramal referentes ao 1º, 2º e 3º andar são análogos aos apresentados na Figura 30, porém possuem um índice em relação ao andar e três trechos de troncos sem índice que atravessam as lajes do 3º para o 2º (T2) e do 2º para o 1º (T1), além do duto principal na saída do *fan-coil* (T1).

9.1.2. Dimensionamento

Os dutos foram dimensionados utilizando o método da perda de carga constante. Para simplificar os cálculos a massa específica de cada trecho será aproximada para a massa específica padrão. Com isso, será utilizado os ábacos e tabelas da SMACNA (*Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association*). O procedimento consiste nas seguintes etapas: adota-se uma velocidade inicial; obtém-se a perda de carga unitária no primeiro trecho de duto a partir da vazão (Figura 60, anexo J); conserva-se a mesma perda de carga unitária para todos os trechos seguintes; obtém-se os correspondentes valores de diâmetro circular para a vazão de cada trecho; utiliza-se tabelas da SMACNA com as dimensões equivalentes para dutos retangulares (Figura 61, anexo J) (MARIANI, 2007).

A velocidade inicial adotada nos acervos foi de 8m/s e 7,5m/s para insuflamento e retorno, respectivamente. (MARIANI, 2007)

As Tabela 53 e Tabela 54 apresentam os cálculos do dimensionamento do 8º ao 22º andar. Os demais estão apresentados nas Tabela 155, Tabela 156, Tabela 157, Tabela 158, Tabela 159 e Tabela 160 no anexo J.

Tabela 53 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 4º ao 22º andar do acervo.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm
T1	3,3	1200	333	3,5	225
T2	3,2	900	250	3,5	205
T3	3,2	600	167	3,5	170
T4	3,2	300	83	3,5	135
R1	1,0	300	83	3,5	135
R2	1,0	300	83	3,5	135
R3	1,0	300	83	3,5	135
R4	1,0	300	83	3,5	135
Trecho	a	b	Área	Veloc.	delta_p
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	175	250	0,044	7,6	12

T2	150	250	0,038	6,7	11
T3	100	250	0,025	6,7	11
T4	100	150	0,015	5,6	11
R1	100	150	0,015	5,6	4
R2	100	150	0,015	5,6	4
R3	100	150	0,015	5,6	4
R4	100	150	0,015	5,6	4

Tabela 54 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 4º ao 22º andar do acervo.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm
T1	1,8	1200	333	2,9	240
T2	6,5	800	222	2,9	205
T3	6,5	400	111	2,9	150
R1	1,0	400	111	2,9	225
R2	1,0	400	111	2,9	225
R3	1,0	400	111	2,9	225
Trecho	a	b	área	Veloc.	Δp_{trecho}
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	200	225	0,0450	7,4	5
T2	150	225	0,0338	6,6	19
T3	100	225	0,0225	4,9	19
R1	100	225	0,0225	4,9	3
R2	100	225	0,0225	4,9	3
R3	100	225	0,0225	4,9	3

9.1.3. Elementos terminais

As grelhas foram selecionadas utilizando o software Easy Product Finder da TROX. Os critérios para conforto não foram considerados na seleção das grelhas. Na Tabela 55 está relacionado o modelo das grelhas de insuflamento e retorno, além de outras informações. Os valores de ruído nas grelhas do acervo não são limitantes na seleção, entretanto os valores máximos recomendados pela ASHRAE é de 30 a 45 NC (*Noise criteria*).

A grelha de tomada de ar externo será instalada na parede da casa de máquinas para o exterior. Devida a baixa vazão de renovação a grelha deverá ser encomendada junto ao fabricante.

Tabela 55 - Seleção das grelhas de insuflamento (GI) e retorno (GR) dos andares do acervo.

Andar	Ins./Ret.	Modelo	Dimensão	Qtd.	Vazão	Δp	Ruído
			mm	por andar	m ³ /h	Pa	NC
1º	GI	AT-AG	225x125	4	85	4	<9
	GR	AT-AG	225x125	3	97	2	<9
2º	GI	AT-AG	225x125	4	180	10	12
	GR	AT-AG	225x125	3	235	11	22
3º	GI	AT-AG	225x125	4	180	10	12
	GR	AT-AG	225x125	3	235	11	22
4º ao 7º	GI	AT-AG	225x125	4	260	19	21
	GR	AT-AG	225x125	3	307	19	28
8º ao 22º	GI	AT-AG	225x125	4	300	25	24
	GR	AT-AG	225x125	3	400	14	30
23º	GI	AT-AG	325x225	4	575	11	19
	GR	AT-AG	325x225	3	783	14	30

9.1.4. Balanceamento

O balanceamento da rede de dutos é fundamental para o funcionamento do sistema de climatização. As vazões em cada grelha ou difusor devem estar de acordo com o projeto para garantir as condições internas do ambiente. Entretanto, os métodos de dimensionamento não garantem as vazões corretas em cada trecho e cabe ao instalador regular e ajustar as vazões nos elementos terminais. Este trabalho pode ser complicado se o projetista ignorar esta etapa, portanto a avaliação prévia quantitativa será abordada nesta seção com intuito de direcionar o instalador após a conclusão da obra. (MARIANI, 2007)

O método utilizado irá avaliar cada nó da rede de dutos partindo dos elementos mais afastados do ventilador, avaliando os possíveis caminhos do ar e as perdas de pressão correspondentes em cada trecho. Primeiramente deve-se considerar as

conexões da rede, como curvas, cotovelos, reduções, expansões, etc. Cada tipo de conexão possui uma perda de pressão localizada que deve ser somada a perda de pressão distribuída em cada trecho. Os valores das perdas de pressão foram estimados pelo manual da SMACNA. As conexões utilizadas do 8º ao 22º andar e os valores encontrados de perda de pressão estão disponíveis na Tabela 56. As tabelas da SMACNA para cada conexão estão relacionadas no anexo J (Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67 e Figura 68)

Com os valores do coeficiente de perda (C) definido é possível calcular a perda de pressão a partir da eq.(30).

$$\Delta p = C \cdot \frac{V^2 \cdot \rho}{2} \quad (30)$$

Onde:

C= coeficiente de perda;

V= velocidade no trecho correspondente (m/s);

ρ = densidade do ar no trecho correspondente (kg/m³).

Tabela 56 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 8º ao 22º andar.

INSUFLAMENTO				
Conexões	Trechos	C	ρ	Δp
			kg/m ³	Pa
em "T"	T1-R1	1,10	1,13	36
	T1-T2	0,02	1,13	1
em "T"	T2-R2	1,17	1,13	29
	T2-T3	0,02	1,13	1
em "T"	T3-R3	1,20	1,13	30
	T3-T4	0,02	1,13	1
Cotovelo	T4-R4	1,20	1,13	21
Redução	T1-T2	0,05	1,13	1

Redução	T2-T3	0,05	1,13	1
Redução	T3-T4	0,05	1,13	1
RETORNO				
Conexões	Trechos	C	ρ	Δp_{trecho}
			kg/m ³	Pa
em "T"	R1-T1	0,23	1,08	7
	T2-T1	0,10	1,08	2
em "T"	R2-T2	1,17	1,08	27
	T3-T2	0,15	1,08	2
Cotovelo	R3-T3	1,30	1,08	17
Expansão	T3-T2	0,25	1,08	3
Expansão	T2-T1	0,25	1,08	6

A etapa seguinte é a determinação do Δp_{bal} para cada nó, ou seja, cada nó possui dois possíveis caminhos do ar, assim é avaliado o caminho com maior perda de pressão somando as perdas localizadas e distribuídas e o Δp_{bal} é calculado pela diferença entre o trecho de maior e menor perda de pressão. A Tabela 57 apresenta os valores encontrados para cada nó do 8º ao 22º andar. Os cálculos para os demais andares estão no anexo J (Tabela 164, Tabela 165 e Tabela 166)

Tabela 57 - Balanceamento do 8º ao 22º andar do acervo.

INSUFLAMENTO		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa
T3-T4-R4	61	0
T3-R3	59	2
T2-T3	72	0
T2-R2	58	15
T1-T2	84	0
T1-R1	65	20
RETORNO		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa
R3-T3-T2	58	0
R2-T2	44	14
T2-T1	85	0
R1-T1	44	41

Com os valores do Δp_{bal} conhecidos é necessário calcular o coeficiente de perda para cada trecho, entretanto para os trechos de ramal terminais que possuem um Δp_{bal} pequeno a correção será feita na própria grelha com o fechamento das aletas (todas grelhas foram selecionadas inicialmente 100% abertas). Nos trechos restantes será instalado um *damper* de regulação do tipo borboleta (Figura 69, anexo J) com a abertura determinada em função do coeficiente de perda encontrado pela eq.(31):

$$C = \Delta p_{bal} \cdot \frac{2 \cdot \rho}{G^2} \quad (31)$$

Onde:

$$G = \frac{\dot{m}}{\text{segão}} (\text{kg/m}^2\text{s}).$$

A Tabela 58 apresenta os trechos que devem ser instalados os *dampers* borboleta e os respectivos valores de fechamento.

Tabela 58 – Ângulo de fechamento dos *dampers* tipo borboleta - acervo.

1o ao 3o	INSUFLAMENTO						
	Trecho	Δp_{bal}	Seção	Vazão	G	C	Fechamento
		Pa	m²	kg/s	kg/m²s		Graus
	R1_1	38	0,010	0,027	2,7	12,1	40,5
	T3	50	0,023	0,107	4,7	5,0	33,0
	T1_3	10	0,026	0,226	8,6	0,3	10,0
	RETORNO						
	Trecho	Δp_{bal}	Seção	Vazão	G	C	Fechamento
		Pa	m²	kg/s	kg/m²s		Graus
	R1_1	25	0,010	0,029	2,9	6,4	35,5
	R3_2	38	0,015	0,071	4,7	3,7	30,5
	R1_2	74	0,015	0,071	4,7	7,2	37,0
	R3_3	38	0,015	0,071	4,7	3,7	30,5
	R1_3	74	0,015	0,071	4,7	7,2	37,0
	T3	64	0,020	0,087	4,4	7,3	37,0
T1_3	17	0,038	0,212	5,7	1,2	20,0	
4 ao 7	RETORNO						

	Trecho	Δp_{bal}	Seção	Vazão	G	C	Fechamento
		Pa	m ²	kg/s	kg/m ² s		Graus
	R1	71	0,015	0,092	6,2	4,1	31,5
8o ao 22o	RETORNO						
	Trecho	Δp_{bal}	Seção	Vazão	G	C	Fechamento
		Pa	m ²	kg/s	kg/m ² s		Graus
	R1	41	0,023	0,120	5,4	3,1	29,0
23o	RETORNO						
	Trecho	Δp_{bal}	Seção	Vazão	G	C	Fechamento
		Pa	m ²	kg/s	kg/m ² s		Graus
	R1	44	0,045	0,236	5,2	3,5	30,5

A rede de dutos do 1º ao 3º andar devem possuir *dampers* corta-fogo nos trechos T2 e T3, pois ocorre quebra de compartimentação vertical entre os andares.

9.2.Distribuição de ar – Circulante

9.2.1. Configuração

O circulante é o maior ambiente a ser climatizado da BMA com uma carga térmica elevada devida a quantidade de pessoas e sua parede com uma grande área envidraçada. Além disso possui um pé direito duplo de 6 metros e um mezanino que abranje uma parte da sala. Diferente do acervo, o objetivo do sistema de climatização é o conforto térmico dos ocupantes. Observando a carga térmica do ambiente percebe-se que os ocupantes sentados próximo a parede envidraçada são os mais afetados pela ensolação. Deste modo, difusores lineares devem “combater” parte desta carga térmica. Por outro lado, difusores de teto serão distribuídos ao longo do ambiente para garantir conforto térmico por toda sua extensão. A seleção dos difusores será vista em detalhes na seção 9.2.3.

A casa de máquinas será instalada no terraço, acima da recepção pela Rua São Luís. A localização do *fan-coil* foi definida apenas para estudo preliminar, pois a BMA possui restrições devido ao seu valor histórico e modificações em sua

arquitetura necessitam de autorização prévia. As vantagens do local escolhido é o fácil acesso para manutenção e a proximidade com o circulante, evitando longos trechos de duto. A Figura 31 apresenta a configuração dos dutos e difusores. Os trechos foram nomeados para facilitar o processo de dimensionamento e balanceamento, seguindo a mesma lógica do acervo.

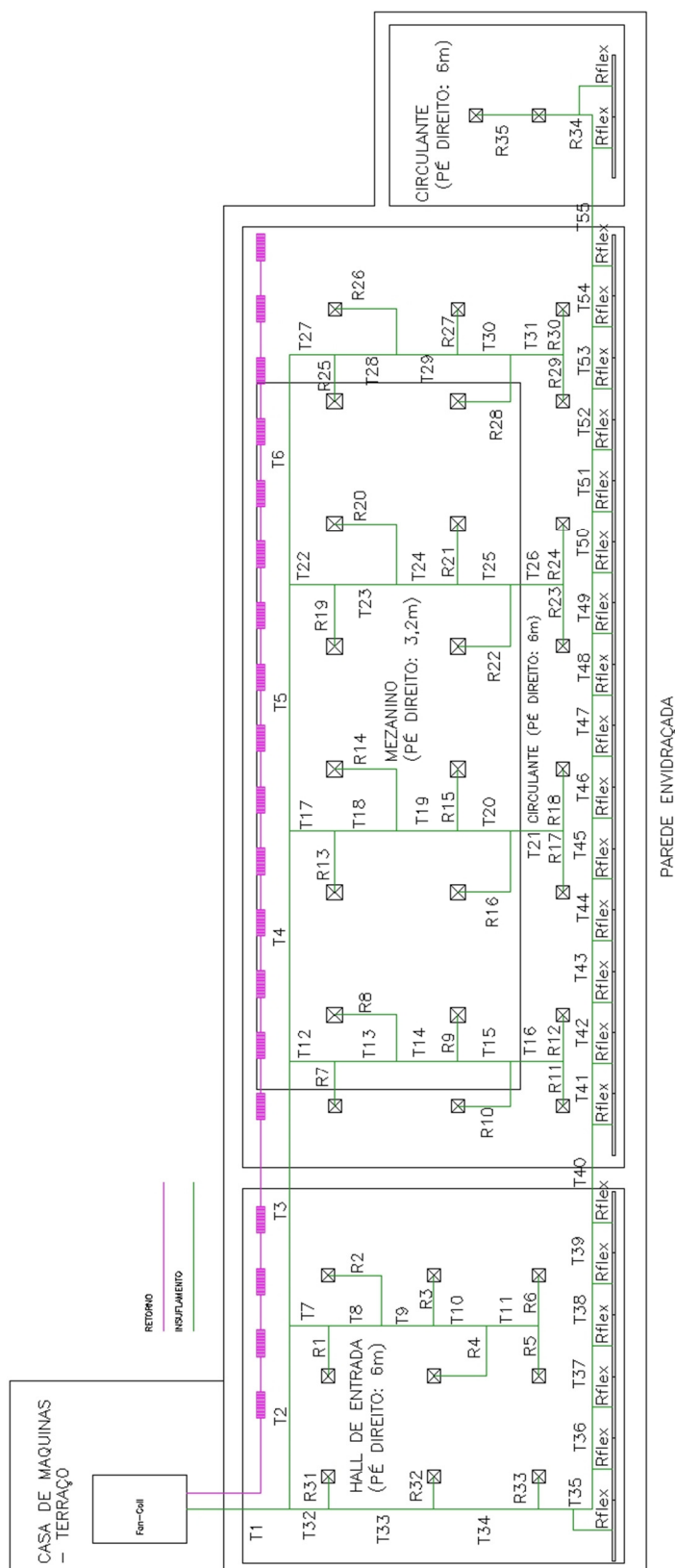


Figura 31 - Esquema unifilar do circulante.

9.2.2. Dimensionamento

A rede de dutos apresentada na seção anterior será dimensionada utilizando o método da perda de carga constante. O procedimento será análogo ao da seção 9.1.2. Nas Tabela 59 e Tabela 60 estão listados os trechos de duto de insuflamento/retorno e seus respectivos tamanhos. Os dutos correspondentes às ligações dos troncos aos difusores serão flexíveis com seção transversal circular, os trechos nomeados de “Rflex” foram padronizados para facilitar os cálculos. Os demais dutos são retangulares.

A velocidade inicial adotada foi de 10m/s e 7,5m/s para insuflamento e retorno, respectivamente (MARIANI, 2007). Os trechos de duto do tronco dos difusores lineares e de retorno possuem redução de tamanho após uma sequência de ramais ou grelhas, diminuindo o número de reduções e facilitando a instalação.

Tabela 59 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do circulante.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular	a	b	Veloc.	Δp_{trecho}
	m	m ³ /h	l/s	Pa/m	mm	mm	mm	m/s	Pa
T1	3,3	31180	8661	0,8	1050	900	1000	9,6	3
T2	6,0	24000	6667	0,8	950	750	1000	8,9	5
T3	8,6	19200	5333	0,8	870	650	1000	8,2	7
T4	7,4	14400	4000	0,8	770	500	1000	8,0	6
T5	8,0	9600	2667	0,8	670	450	900	6,6	7
T6	9,0	4800	1333	0,8	510	250	900	5,9	1
T7	1,3	4800	1333	0,8	510	250	900	5,9	1
T8	1,7	4000	1111	0,8	480	400	500	5,6	1
T9	1,7	3200	889	0,8	450	350	500	5,1	1
T10	1,7	2400	667	0,8	400	300	500	4,4	1
T11	1,7	1600	444	0,8	340	300	350	4,2	1
T12	1,5	4800	1333	0,8	510	250	900	5,9	2
T13	2,0	4000	1111	0,8	480	400	500	5,6	2
T14	2,0	3200	889	0,8	450	350	500	5,1	1
T15	1,7	2400	667	0,8	400	300	500	4,4	1
T16	1,7	1600	444	0,8	340	300	350	4,2	1
T17	1,5	4800	1333	0,8	510	250	900	5,9	2
T18	2,0	4000	1111	0,8	480	400	500	5,6	2

T19	2,0	3200	889	0,8	450	350	500	5,1	1
T20	1,7	2400	667	0,8	400	300	500	4,4	1
T21	1,7	1600	444	0,8	340	300	350	4,2	1
T22	1,5	4800	1333	0,8	510	250	900	5,9	2
T23	2,0	4000	1111	0,8	480	400	500	5,6	2
T24	2,0	3200	889	0,8	450	350	500	5,1	1
T25	1,7	2400	667	0,8	400	300	500	4,4	1
T26	1,7	1600	444	0,8	340	300	350	4,2	1
T27	1,5	4800	1333	0,8	510	250	900	5,9	2
T28	2,0	4000	1111	0,8	480	400	500	5,6	2
T29	2,0	3200	889	0,8	450	350	500	5,1	1
T30	1,7	2400	667	0,8	400	300	500	4,4	1
T31	1,7	1600	444	0,8	340	300	350	4,2	1
T32	1,7	7180	1994	0,8	600	350	900	6,3	3
T33	3,4	6380	1772	0,8	570	350	900	5,6	3
T34	3,4	5580	1550	0,8	510	350	900	4,9	2
T35	2,5	4780	1328	0,8	485	250	900	5,9	2
T36	2,0	4484	1246	0,8	485	250	900	5,5	2
T37	2,0	4336	1204	0,8	485	250	900	5,4	2
T38	2,0	4188	1163	0,8	485	250	900	5,2	2
T39	2,0	4040	1122	0,8	485	250	900	5,0	2
T40	3,0	3892	1081	0,8	475	350	550	5,6	2
T41	2,0	3744	1040	0,8	475	350	550	5,4	2
T42	2,0	3596	999	0,8	475	350	550	5,2	2
T43	2,0	3448	958	0,8	475	350	550	5,0	2
T44	2,0	3300	917	0,8	475	350	550	4,8	2
T45	2,0	3152	876	0,8	430	275	550	5,8	2
T46	2,0	3004	834	0,8	430	275	550	5,5	2
T47	2,0	2856	793	0,8	430	275	550	5,2	2
T48	2,0	2708	752	0,8	430	275	550	5,0	2
T49	2,0	2560	711	0,8	430	275	550	4,7	2
T50	2,0	2412	670	0,8	385	250	500	5,4	2
T51	2,0	2264	629	0,8	385	250	500	5,0	2
T52	2,0	2116	588	0,8	385	250	500	4,7	2
T53	2,0	1968	547	0,8	385	250	500	4,4	2
T54	2,0	1820	506	0,8	385	250	500	4,0	2
T55	3,8	1672	464	0,8	385	250	500	3,7	3
R1	1,6	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R2	3,3	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R3	1,6	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R4	3,3	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R5	1,6	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R6	1,6	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1

R7	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R8	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R9	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R10	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R11	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R12	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R13	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R14	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R15	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R16	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R17	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R18	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R19	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R20	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R21	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R22	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R23	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R24	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R25	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R26	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R27	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R28	3,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	3
R29	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R30	1,5	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R31	1,1	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R32	1,1	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R33	1,1	800	222	0,8	260	-	-	4,2	1
R34	2,8	1376	382	0,8	300	250	500	3,1	2
R35	2,0	688	191	0,8	220	250	350	2,2	2
Rflex	0,7	148	41	0,8	160	-	-	2,0	1

Tabela 60 - Dimensionamento dos dutos de retorno do circulante.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular	a	b	Veloc.	Δp_{trecho}
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm	mm	mm	m/s	Pa
T1	9,5	29000	8056	0,7	1100	900	1300	6,9	7
T2	5,6	24000	6667	0,7	1050	800	1300	6,4	4
T3	5,0	19500	5417	0,7	1000	700	1300	6,0	4
T4	5,0	15000	4167	0,7	950	600	1300	5,3	4
T5	5,0	10500	2917	0,7	800	550	1100	4,8	4
T6	7,0	7500	2083	0,7	700	400	1100	4,7	5

9.2.3. Elementos terminais

Os difusores e grelhas de retorno foram selecionados utilizando o software Easy Product Finder da TROX. Os difusores do circulante dividem-se em dois grupos: difusores lineares que serão instalados junto a parede envidraçada e difusores de alta indução instalados no forro do ambiente.

Difusores lineares são instalados formando um trilho junto a parede. A seleção é baseada na vazão volumétrica por metro de difusor, altura do pé direito e distância da parede. Os difusores serão dotados de caixa plenum com entrada de duto de seção circular e *damper* do tipo borboleta para balanceamento. A direção do fluxo de ar será regulada para obter-se uma cortina de ar junto a parede.

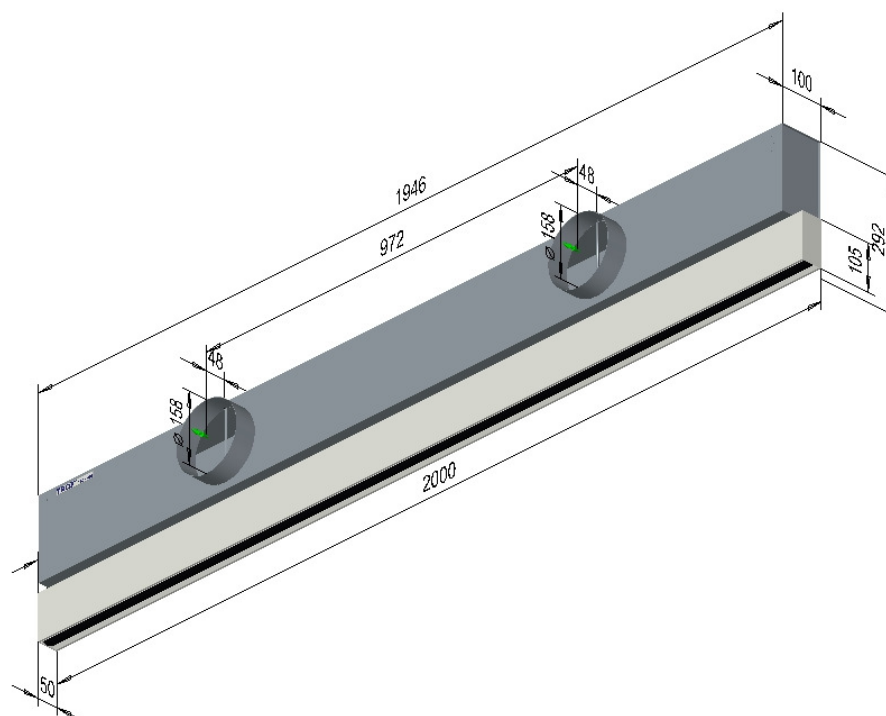


Figura 32 – Difusor linear da TROX modelo VSD50, medidas em mm. (Retirado do software Easy Product Finder da TROX)

Difusores de alta indução são ideais para grandes áreas climatizadas com pé direitos elevados, pois possuem alta indução do ar, rápida equalização da temperatura

e diminuição da velocidade do jato na zona de ocupação (TROX, 2013). Dois modelos foram escolhidos para atender os diferentes ambiente do circulante, ou seja, os difusores acima do mezanino são indicados para pé direitos entre 2,60 e 4,0 metros, enquanto que os demais difusores de alta indução são indicados para pé direitos acima de 3,80 metros. Assim como os difusores lineares, serão dotados de caixa plenum com entrada de duto de seção circular e *damper* do tipo borboleta para balanceamento.

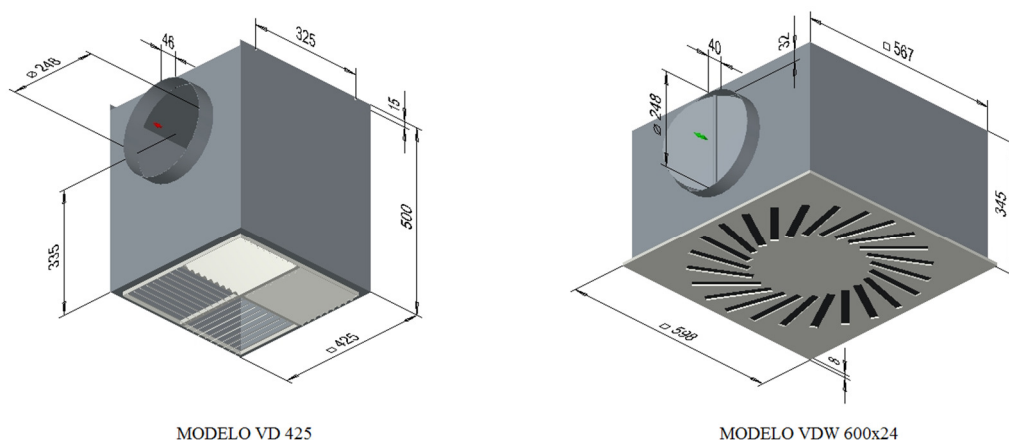


Figura 33 - Difusor de alta indução da TROX modelo VD 425 e VDW 600x24, medidas em mm. (Retirado do software Easy Product Finder da TROX)

Os valores de ruído nos difusores e grelhas do circulante são limitantes na seleção, por conseguinte os valores máximos utilizados são os recomendados pela ASHRAE de 30 a 45 NC (*Noise criteria*). Na Tabela 61 é a apresentado os modelos definidos para o circulante.

As grelhas de retorno foram dimensionadas para atender uma vazão adequada para os níveis sonoros exigidos pela ASHRAE.

Tabela 61 - Seleção dos difusores de insuflamento e grelhas de retorno do circulante.

Tipo	Modelo	Dimensão	Qtd.	Vazão	Δp	ruído
		mm		m ³ /h	Pa	NC
Alta indução	VD	425x425	23	800	33	38

Alta indução	VDW	600x24	12	800	48	39
Linear	VSD50	2000x158x50	23	148	6	10
Grelha	AT-AG	825x225	17	1500	8	27
Grelha	AT-AG	825x225	2	1750	10	30

9.2.4. Balanceamento

O balanceamento do circulante é análogo ao apresentado na seção 9.1.4., as tabelas das conexões utilizadas estão disponíveis no anexo J (Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 70 e Figura 71). A Tabela 62 possui os cálculos das perdas de pressão nas conexões utilizadas no circulante. Algumas conexões repetem-se na rede, deste modo algumas delas não estão listadas na tabela.

O duto de retorno não necessita de balanceamento, pois não possui trechos em paralelo.

Tabela 62 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do circulante.

Conexões	Trechos	C	ρ	Δp	Conexões	Trechos	C	ρ	Δp
			kg/m ³	Pa				kg/m ³	Pa
em "T"	T1-T32	1,31	1,12	68	Curva	R2	0,71	1,12	7
	T1-T2	0	1,12	0	Curva	R4	0,71	1,12	7
em "T"	T2-T7	1,31	1,12	68	Curva	R8	0,71	1,12	7
	T2-T3	0	1,12	0	Curva	R10	0,71	1,12	7
em "T"	T7-R1	1,10	1,12	22	Curva	R14	0,71	1,12	7
	T7-T8	0	1,12	0	Curva	R16	0,71	1,12	7
em "T"	T8-R2	1,10	1,12	19	Curva	R20	0,71	1,12	7
	T8-T9	0	1,12	0	Curva	R22	0,71	1,12	7
em "T"	T9-R3	1,12	1,12	16	Curva	R26	0,71	1,12	7
	T9-T10	0,02	1,12	0	Curva	R28	0,71	1,12	7
em "T"	T10-R4	1,12	1,12	12	Curva	T35	0,71	1,12	7
	T10-T11	0	1,12	0	Curva	R34	0,71	1,12	7
Separação	T11-R5/R6	0,31	1,12	3	Redução	T1-T2	0,05	1,12	3
em "T"	T3-T12	1,12	1,12	42	Redução	T2-T3	0,05	1,12	3
	T3-T4	0	1,12	0	Redução	T3-T4	0,05	1,12	2
em "T"	T4-T17	1,12	1,12	40	Redução	T4-T5	0,05	1,12	2

	T4-T5	0	1,12	0	Redução	T5-T6	0,05	1,12	1
em "T"	T5-T22	1,26	1,12	30	Redução	T7-T8	0,05	1,12	1
	T5-T6	0	1,12	0	Redução	T8-T9	0,05	1,12	1
em "T"	T32-R31	1,14	1,12	26	Redução	T9-T10	0,05	1,12	1
	T32-T33	0	1,12	0	Redução	T10-T11	0,05	1,12	1
em "T"	T33-R32	1,14	1,12	20	Redução	T34-T35	0,05	1,12	1
	T33-T34	0	1,12	0	Redução	T39-T40	0,05	1,12	1
em "T"	T34-R33	1,18	1,12	16	Redução	T44-T45	0,05	1,12	1
	T34-T35	0	1,12	0	Redução	T49-T50	0,05	1,12	1
em "T"	T35-Rflex	1,00	1,12	19	Redução	R34-R35	0,05	1,12	1
	T35-T36	0	1,12	0					
em "T"	T40-Rflex	1,00	1,12	18					
	T40-T41	0	1,12	0					
em "T"	T45-Rflex	1,00	1,12	19					
	T45-T46	0	1,12	0					
em "T"	T50-Rflex	1,01	1,12	16					
	T50-T51	0	1,12	0					

Com as perdas de pressão determinadas em todos os trechos e conexões é possível realizar o balanceamento do sistema. Os cálculos foram construídos partindo dos trechos mais afastados do ventilador e divididos em troncos secundários para no fim realizar o balanceamento do tronco principal. A Tabela 63 determina o balanceamento da rede de dutos do circulante.

Tabela 63 - Balanceamento do circulante.

Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}	Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}	Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa		Pa	Pa		Pa	Pa
T10-T11	73	0	T30-T31	73	0	T42-Rflex	24	90
T10-R4	55	18	T30-R28	70	3	T41-T42	116	0
T9-T10	76	0	T29-T30	76	0	T41-Rflex	24	92
T9-R3	50	25	T29-R27	50	25	T40-T41	118	0
T8-T9	78	0	T28-T29	78	0	T40-Rflex	24	94
T8-R2	62	16	T28-R26	62	16	T39-T40	120	0
T7-T8	80	0	T27-T28	80	0	T39-Rflex	25	95
T7-R1	56	24	T27-R25	71	9	T38-T39	122	0
						T38-Rflex	25	97
T15-T16	73	0	T55-R34	90	0	T37-T38	124	0

T15-R10	55	18	T55-Rflex	23	68	T37-Rflex	25	99
T14-T15	76	0	T54-T55	93	0	T36-T37	126	0
T14-R9	65	10	T54-Rflex	23	71	T36-Rflex	25	101
T13-T14	78	0	T53-T54	95	0	T35-T36	128	0
T13-R8	77	1	T53-Rflex	23	72	T35-Rflex	25	103
T12-T13	80	0	T52-T53	96	0	T34-T35	152	0
T12-R7	56	24	T52-Rflex	23	74	T34-R33	50	102
			T51-T52	98	0	T33-T34	154	0
T20-T21	74	0	T51-Rflex	23	76	T33-R32	54	100
T20-R16	70	4	T50-T51	100	0	T32-T33	157	0
T19-T20	76	0	T50-Rflex	23	78	T32-R31	60	97
T19-R15	65	10	T49-T50	100	0			
T18-T19	78	0	T49-Rflex	25	75	T5-T6	88	77
T18-R14	77	1	T48-T49	102	0	T5-T22	165	0
T17-T18	80	0	T48-Rflex	25	77	T4-T5	174	0
T17-R13	71	9	T47-T48	104	0	T4-T17	122	0
			T47-Rflex	25	79	T3-T4	185	0
T25-T26	74	58	T46-T47	106	0	T3-T12	124	61
T25-R22	132	0	T46-Rflex	25	81	T2-T3	194	0
T24-T25	76	52	T45-T46	108	0	T2-T7	149	45
T24-R21	127	0	T45-Rflex	25	83	T1-T2	202	25
T23-T24	78	61	T44-T45	110	0	T1-T32	227	0
T23-R20	139	0	T44-Rflex	24	86			
T22-T23	80	53	T43-T44	112	0			
T22-R19	133	0	T43-Rflex	24	88			
			T42-T43	114	0			

Com os valores do Δp_{bal} conhecidos é necessário calcular o coeficiente de perda para cada trecho. Os difusores de alta indução e linear selecionados possuem na caixa plenum um regulador de vazão do tipo *damper* borboleta em uma seção circular (Figura 72, anexo J). Deste modo, grande parte das perdas a serem adicionadas serão realizadas no próprio difusor. Alguns *dampers* borboleta serão instalados em troncos principais para garantir a correta distribuição de ar pelo sistema. Utilizando o método apresentado na seção 9.2.4. têm-se na Tabela 64 o ângulo de fechamento de cada *damper* e sua localização.

Tabela 64 - Ângulo de fechamento dos *dampers* tipo borboleta - circulante.

Trecho	Δp_{bal}	Seção	Vazão	G	C	Fechamento
	Pa	m ²	kg/s	kg/m ² s		Graus
R1	24	0,053	0,248	4,7	2,5	23,5
R2	16	0,053	0,248	4,7	1,7	21,0
R3	25	0,053	0,248	4,7	2,6	24,0
R4	18	0,053	0,248	4,7	1,9	21,0
R7	24	0,053	0,248	4,7	2,5	23,5
R8	1	0,053	0,248	4,7	0,1	0,0
R9	10	0,053	0,248	4,7	1,0	15,0
R10	18	0,053	0,248	4,7	1,9	21,0
R13	9	0,053	0,248	4,7	1,0	15,0
R14	1	0,053	0,248	4,7	0,1	0,0
R15	10	0,053	0,248	4,7	1,1	16,0
R16	4	0,053	0,248	4,7	0,4	6,0
R19	9	0,053	0,248	4,7	1,0	15,0
R20	1	0,053	0,248	4,7	0,1	0,0
R21	10	0,053	0,248	4,7	1,1	16,0
R22	4	0,053	0,248	4,7	0,4	6,0
R25	9	0,053	0,248	4,7	1,0	15,0
R26	16	0,053	0,248	4,7	1,7	21,0
R27	25	0,053	0,248	4,7	2,6	24,0
R28	3	0,053	0,248	4,7	0,4	6,0
R31	97	0,053	0,248	4,7	9,9	38,0
R32	100	0,053	0,248	4,7	10,2	39,0
R33	102	0,053	0,248	4,7	10,4	39,0
Rflex_mín	68	0,020	0,046	2,3	28,9	50,0
Rflex_máx	103	0,020	0,046	2,3	44,3	52,0
T6	24	0,225	1,488	6,6	1,2	20,0
T7	45	0,225	1,488	6,6	2,3	25,0
T2	25	0,750	7,440	9,9	0,6	13,0

Devido a grande quantidade de difusores lineares com valores de balanceamento distintos, calculou-se o valor máximo e mínimo de fechamento (Rflex_mín e Rflex_máx). Com isso, observa-se que os valores de fechamento da válvula borboleta dos difusores deve ser de aproximadamente 50°.

9.3.Distribuição de ar – Consulta de obras raras e Mapoteca

9.3.1. Configuração

A consulta de obras raras e a mapoteca serão atendidos por dois *fan-coils* localizados em um mezanino técnico acima do corredor entre as duas salas. O *fan-coil* que atende a consulta de obras raras irá atender também dois pequenos escritórios com acesso ao corredor. O corredor não será climatizado.

A distribuição de ar foi baseada em critérios para conforto térmico alocando os difusores igualmente distribuídos pelas salas e escritórios. As Figura 34 e Figura 35 apresentam a configuração dos dutos, difusores e grelhas. Os trechos foram nomeados para facilitar o processo de dimensionamento e balanceamento, seguindo a mesma lógica do acervo.

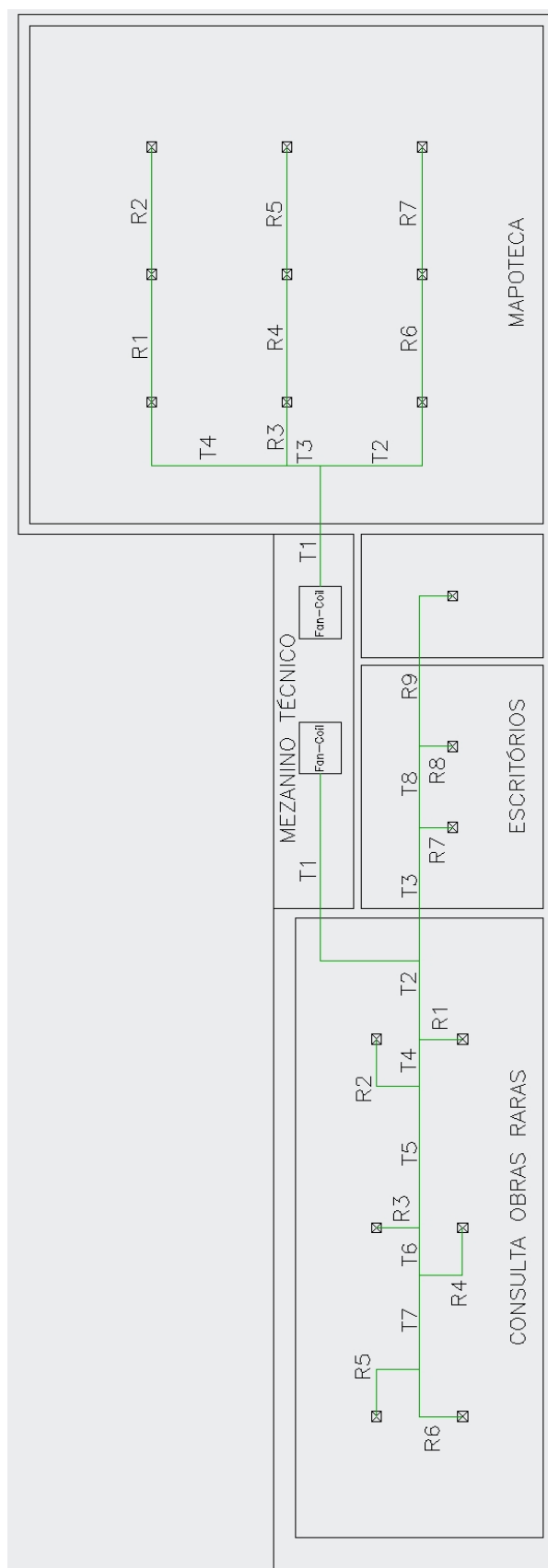


Figura 34 - Esquema unifilar da consulta de obras raras e mapoteca – insuflamento.

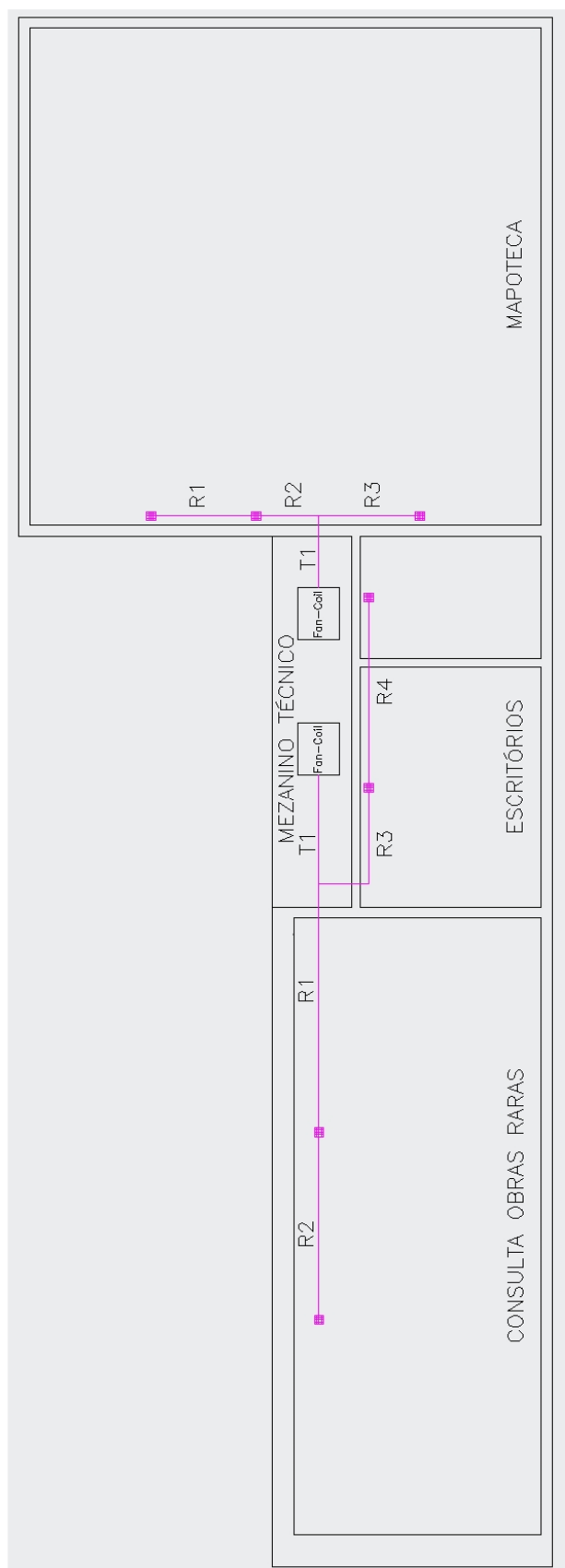


Figura 35 - Esquema unifilar da consulta de obras raras e mapoteca – retorno.

9.3.2. Dimensionamento

A rede de dutos apresentada na seção anterior será dimensionada utilizando o método da perda de carga constante. O procedimento será análogo ao da seção 9.1.2. Nas Tabela 65 e Tabela 66 estão listados os trechos de duto de insuflamento/retorno e seus respectivos tamanhos.

A velocidade inicial adotada foi de 10m/s e 7,5m/s para insuflamento e retorno, respectivamente (MARIANI, 2007).

Tabela 65 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento da consulta de obras raras e mapoteca.

CONSULTA DE OBRAS RARAS									
Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular	a	b	Veloc.	Δp_{trecho}
	m	m ³ /h	l/s	Pa/m	mm	mm	mm	m/s	Pa
T1	7,1	2800	778	3,5	315	275	300	9,4	25
T2	2,0	1800	500	3,5	260	200	300	8,3	7
T3	3,3	1000	278	3,5	210	125	300	7,4	12
T4	1,2	1500	417	3,5	245	200	250	8,3	4
T5	3,5	1200	333	3,5	225	175	250	7,6	12
T6	1,2	900	250	3,5	210	150	250	6,7	4
T7	2,3	600	167	3,5	170	100	250	6,7	8
T8	2,0	700	194	3,5	190	125	250	6,2	7
R1	1,1	300	83	3,5	135	100	150	5,6	4
R2	2,2	300	83	3,5	135	100	150	5,6	8
R3	1,1	300	83	3,5	135	100	150	5,6	4
R4	2,2	300	83	3,5	135	100	150	5,6	8
R5	2,2	300	83	3,5	135	100	150	5,6	8
R6	2,2	300	83	3,5	135	100	150	5,6	8
R7	0,8	300	83	3,5	135	100	150	5,6	3
R8	0,8	300	83	3,5	135	100	150	5,6	3
R9	4,5	400	111	3,5	150	125	150	5,9	16
MAPOTECA									
Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular	a	b	Veloc.	Δp_{trecho}
	m	m ³ /h	l/s	Pa/m	mm	mm	mm	m/s	Pa
T1	3,0	2340	650	3,9	290	250	275	9,5	12
T2	4,1	780	217	3,9	190	100	275	7,9	16
T3	0,8	1560	433	3,9	240	175	275	9,0	3
T4	4,9	780	217	3,9	190	100	275	7,9	19

R1	3,2	520	144	3,9	170	100	250	5,8	12
R2	3,2	260	72	3,9	125	125	125	4,6	12
R3	1,6	780	217	3,9	190	100	275	7,9	6
R4	3,2	520	144	3,9	170	100	250	5,8	12
R5	3,2	260	72	3,9	125	125	125	4,6	12
R6	3,2	520	144	3,9	170	100	250	5,8	12
R7	3,2	260	72	3,9	125	125	125	4,6	12

Tabela 66 - Dimensionamento dos dutos de retorno da consulta de obras raras e mapoteca.

CONSULTA DE OBRAS RARAS									
Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular	a	b	Veloc.	Δp_{trecho}
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm	mm	mm	m/s	Pa
T1	2,7	2200	611	1,9	320	300	300	6,8	5
R1	6,2	1400	389	1,9	265	200	300	6,5	12
R2	4,7	700	194	1,9	210	125	300	5,2	9
R3	3,6	800	222	1,9	225	150	300	4,9	7
R4	4,7	320	89	1,9	160	100	225	4,0	9
MAPOTECA									
Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular	a	b	Veloc.	Δp_{trecho}
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm	mm	mm	m/s	Pa
T1	1,8	1740	483	2,3	280	250	250	7,7	4
R1	2,6	580	161	2,3	190	125	250	5,2	6
R2	1,5	1160	322	2,3	235	175	250	7,4	3
R3	2,5	580	161	2,3	190	125	250	5,2	6

9.3.3. Elementos terminais

Os difusores e grelhas de retorno foram selecionados utilizando o software Easy Product Finder da TROX. O difusor quadrado de teto selecionado será instalado diretamente nos dutos retangulares e será dotado de damper de regulação duplo próximo do saída, Figura 36.

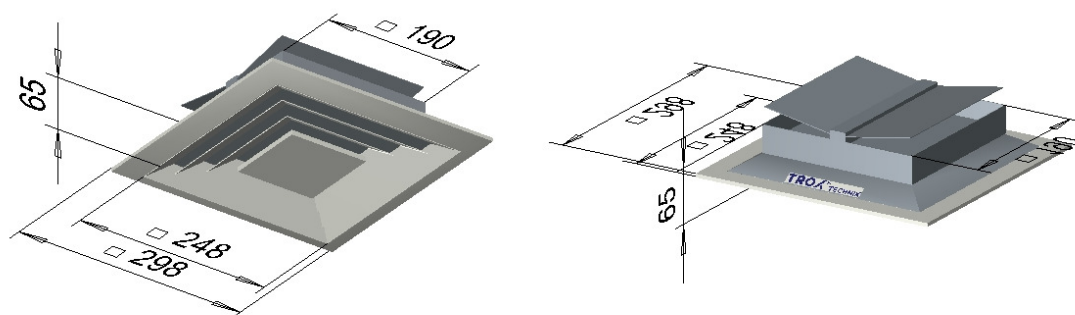


Figura 36 – Difusor de teto da TROX modelo DLQ 300, medidas em mm. (Retirado do software Easy Product Finder da TROX)

Os valores de ruído nos difusores e grelhas da consulta de obras raras e mapoteca são limitantes na seleção, por conseguinte os valores máximos utilizados são os recomendados pela ASHRAE de 30 a 45 NC (*Noise criteria*). Na Tabela 67 está apresentado os modelos definidos para ambos ambientes.

Tabela 67 - Seleção dos difusores de insuflamento e grelhas de retorno da consulta de obras raras e mapoteca.

Local	Modelo	Dimensão mm	Qtd.	Vazão m³/h	Δp Pa	ruído NC
INSUFLAMENTO						
Consulta Obras raras	DLQ	300x300	6	300	16	24
Escritório maior	DLQ	300x300	2	300	16	24
Escritório menor	DLQ	300x300	1	400	29	34
Mapoteca	DLQ	300x300	9	260	12	19
RETORNO						
Consulta Obras raras	AT-AG	225x225	2	700	24	34
Escritório maior	AT-AG	225x225	1	480	12	26
Escritório menor	AT-AG	225x225	1	320	5	17
Mapoteca	AT-AG	225x225	3	580	15	29

9.3.4. Balanceamento

O balanceamento da consulta de obras raras e mapoteca é análogo ao apresentado na seção 9.1.4., as tabelas das conexões utilizadas estão disponíveis no anexo J (Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67 e Figura 68). Nas Tabela 68 e Tabela 69 estão listados os cálculos das perdas de pressão nas conexões utilizadas na consulta de obras raras e mapoteca.

Tabela 68 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos da consulta de obras raras e mapoteca - insuflamento.

CONSULTA OBRAS RARAS					MAPOTECA				
Conexões	Trechos	C	ρ	Δp	Conexões	Trechos	C	ρ	Δp
			kg/m ³	Pa				kg/m ³	Pa
em "T"	T2-R1	1,16	1,12	36	em "T"	T3-R3	1,27	1,12	57
	T2-T4	0,00	1,12	0		T3-T4	0,02	1,12	1
em "T"	T4-R2	1,21	1,12	39	Separação	T1-T2/T3	0,20	1,12	10
	T4-T5	0,02	1,12	1	Cotovelo	T2	1,30	1,12	45
em "T"	T5-R3	1,30	1,12	32	Cotovelo	T4	1,30	1,12	45
	T5-T6	0,02	1,12	0	Redução	T1-T2	0,05	1,12	2
em "T"	T6-R4	1,17	1,12	20	Redução	T1-T3	0,05	1,12	2
	T6-T7	0,00	1,12	0	Redução	T3-T4	0,05	1,12	2
em "T"	T7-R5	1,27	1,12	22	Redução	T4-R1	0,05	1,12	2
	T7-R6	0,02	1,12	0	Redução	R1-R2	0,05	1,12	1
em "T"	T3-R7	1,17	1,12	20	Redução	R3-R4	0,05	1,12	2
	T3-T8	0,02	1,12	0	Redução	R4-R5	0,05	1,12	1
em "T"	T8-R8	1,36	1,12	23	Redução	T2-R6	0,05	1,12	1
	T8-R9	0,00	1,12	0	Redução	R6-R7	0,05	1,12	1
Separação	T1-T2/T3	0,30	1,12	15					
Cotovelo	T1	1,20	1,12	47					
Cotovelo	R2	1,20	1,12	47					
Cotovelo	R4	1,20	1,12	39					
Cotovelo	R5	1,20	1,12	30					
Cotovelo	R6	1,20	1,12	30					
Cotovelo	R9	1,20	1,12	26					
Redução	T1-T2	0,05	1,12	2					
Redução	T1-T3	0,05	1,12	2					
Redução	T2-T4	0,05	1,12	2					

Redução	T4-T5	0,05	1,12	2					
Redução	T5-T6	0,05	1,12	1					
Redução	T6-T7	0,05	1,12	1					
Redução	T7-R6	0,05	1,12	1					
Redução	T3-T8	0,05	1,12	1					
Redução	T8-R9	0,05	1,12	1					

Tabela 69 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos da consulta de obras raras e mapoteca - retorno.

CONSULTA OBRAS RARAS					MAPOTECA				
Conexões	Trechos	C	ρ	Δp	Conexões	Trechos	C	ρ	Δp
			kg/m ³	Pa				kg/m ³	Pa
Separação	R3/R2-T1	0,10	1,08	2	Separação	R3/R2-T1	0,23	1,08	7
Cotovelo	R3	1,20	1,08	0	Expansão	R1-R2	0,25	1,08	4
Expansão	R2-R1	0,20	1,08	5	Expansão	R2-T1	0,25	1,08	8
Expansão	R4-R3	0,42	1,08	10	Expansão	R3-T1	0,25	1,08	8

Com as perdas de pressão determinadas em todos os trechos e conexões é possível realizar o balanceamento do sistema. Os cálculos foram construídos partindo dos trechos mais afastados do ventilador, tanto para o insuflamento quanto para o retorno. As Tabela 70 e Tabela 71 apresentam o balanceamento da rede de dutos de ambos ambientes.

Tabela 70 – Balanceamento da consulta de obras raras e mapoteca – insuflamento.

CONSULTA OBRAS RARAS			MAPOTECA		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}	Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa		Pa	Pa
T7-R6	55	0	T3-T4	126	0
T7-R5	46	9	T3-R3	124	2
T6-T7	65	18	T1-T3	139	0
T6-R4	83	0	T1-T2	122	17
T5-T6	89	0			
T5-R3	52	37			
T4-T5	104	6			

T4-R2	109	0			
T2-T4	116	0			
T2-R1	55	60			
T8-R9	72	0			
T8-R8	42	29			
T3-T8	80	0			
T3-R7	39	41			
T1-T2	140	0			
T1-T3	109	31			

Tabela 71 - Balanceamento da consulta de obras raras e mapoteca – retorno.

CONSULTA OBRAS RARAS			MAPOTECA		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}	Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa			Pa	
R1-T1	76	0	R2-T1	62	0
R3-T1	43	32	R3-T1	38	24

Com os valores do Δp_{bal} conhecidos é necessário calcular o coeficiente de perda para cada trecho. Os difusores DLQ possuem damper duplo de regulagem e as grelhas podem ter suas aletas fechadas para aumentar a perda de pressão. Deste modo, grande parte das perdas a serem adicionadas serão realizadas no próprio difusor ou grelha.

Na mapoteca o balanceamento do sistema de insuflamento e retorno será feito diretamente nos difusores e grelhas. Por outro lado, na consulta de obras raras três *dampers* borboleta serão instalados nos trechos T3, T5 e T7, além do balanceamento realizado pelas grelhas (retorno) e difusores. Utilizando o método apresentado na seção 9.2.4. têm-se na Tabela 72 o ângulo de fechamento de cada *damper* e sua localização.

Tabela 72 - Ângulo de fechamento dos *dampers* tipo borboleta – consulta obras raras

Trecho	Δp_{bal}	Seção	Vazão	G	C	Fechamento
	Pa	m ²	kg/s	kg/m ² s		Graus
T3	31	0,038	0,310	8,3	1,0	25,5
T5	6	0,044	0,372	8,5	0,2	5,5
T7	18	0,025	0,186	7,4	0,7	18,5

10. ORÇAMENTO

O orçamento realizado no presente trabalho é uma estimativa dos gastos com equipamento e mão-de-obra de instalação. O orçamento foi dividido em seis grupos: central de água gelada (CAG), unidades climatizadoras de água, equipamentos auxiliares, rede hidráulica de água gelada, distribuição de ar e grelhas e difusores.

O preço dos equipamentos da central de água gelada e unidades climatizadoras foram cotados diretamente com as respectivas empresas. Não foi possível realizar contato com o fabricante da torre de resfriamento e o preço foi estimado com base nos valores de mercado em R\$150,00/TR.

Os equipamentos auxiliares (resistência elétrica e umidificadores) não estavam inclusos no orçamento das unidades climatizadoras. Deste modo, foi estimado um valor em relação aos *fan-coils* correspondentes de 2% para a resistência elétrica e 5% para o umidificador.

O custo da rede hidráulica e de dutos foi estimado a partir da composição dos elementos a cada metro de tubo ou quilograma de duto: material (aço galvanizado para os dutos, por exemplo), isolamentos, cola, fita, parafusos, suportes, etc. Além disso, foi adicionado um valor de mão-de-obra para cada metro ou quilograma. Os valores da tabela foram estimados com base em valores usualmente utilizados no mercado.

Nos dutos a quantidade de aço necessária foi calculada multiplicando-se a área de chapa pelo peso por metro quadrado (kg/m^2) em relação a espessura (bitola) da chapa correspondente. A espessura é determinada pela ABNT 16401-01 e SMACNA para diferentes dimensões e comprimentos. As bitolas de chapa utilizadas foram de 26 MSG (*Manufacturers Standard Gauge*) (0,45mm, ABNT) e 24 MSG (0,60mm, ABNT). No total, 20,6% possui bitola 24 MSG e o restante constituído por chapa de bitola 26 MSG. O peso considerado para bitola 26 MSG é de $4,43 \text{ kg/m}^2$ e para 24 MSG de $5,65 \text{ kg/m}^2$.

Finalmente, as grelhas e difusores foram cotadas com base na tabela de preços da TROX de Portugal (CONTIMETRA, 2014). Os preços em euro foram convertidos

para o real com a cotação média do euro num intervalo de 100 dias (16 de agosto de 2014 a 13 de novembro de 2014), o valor encontrado foi de 1EUR = 3,0585BRL. Além disso, acrescentou-se um fator de 20% a mais nos valores encontrados devido a impostos e tributos.

O valor total estimado com um fator de folga de 20% foi obtido multiplicando os valores unitários pela quantidade de equipamento e material. A Tabela 73 apresenta o orçamento estimado total detalhado do projeto de climatização da BMA.

Tabela 73 - Orçamento estimado total.

Equipamento	Qtd.	Custo unitário	Mão-de-obra	Custo total
CAG	un.			
Chiller a ar YORK - mod. YCAL0056EE40	1	R\$ 116.000,00	-	R\$ 116.000,00
Chiller a água YORK - mod. YCWL0104SE	1	R\$ 191.000,00	-	R\$ 191.000,00
Torre de resfriamento CARAVELA - mod. WT 51/12	1	R\$ 16.650,00	-	R\$ 16.650,00
BAGP ARMSRONG - mod. 4360 5,0cv	1	R\$ 2.608,91	-	R\$ 2.608,91
BAGS ARMSTRONG - mod. 4380 IVS 15,0cv	1	R\$ 2.982,97	-	R\$ 2.982,97
BAGP ARMSRONG - mod. 4300 7,5cv	1	R\$ 3.703,50	-	R\$ 3.703,50
BAGS ARMSTRONG - mod. 4300 IVS 15,0cv	1	R\$ 4.234,50	-	R\$ 4.234,50
BAC ARMSTRONG - mod. 4300 10,0cv	1	R\$ 4.691,10	-	R\$ 4.691,10
Unidades climatizadoras de ar	un.			
Fan-coil YORK - mod. YM02	19	R\$ 7.023,92	-	R\$ 133.454,48
Fan-coil YORK - mod. YM03	1	R\$ 8.345,22	-	R\$ 8.345,22
Fan-coil YORK - mod. YM04 (23o andar do acervo)	1	R\$ 10.156,16	-	R\$ 10.156,16
Fan-coil YORK - mod. YM04 (Mapoteca)	1	R\$ 8.680,14	-	R\$ 8.680,14
Fan-coil YORK - mod. YM05	1	R\$ 8.593,46	-	R\$ 8.593,46
Fan-coil YORK - mod. YM050	1	R\$ 36.905,11	-	R\$ 36.905,11
Fancolete CARRIER -mod. 40HK10	8	R\$ 2.000,00	-	R\$ 16.000,00

Fancolete CARRIER -mod. 40HK16	3	R\$ 2.000,00	-	R\$ 6.000,00
Fancolete CARRIER -mod. 40HP09	16	R\$ 800,00	-	R\$ 12.800,00
Equipamentos auxiliares	un.			
Resistência de aquecimento YORK - mod. 02 1,5kW	22	R\$ 140,48		R\$ 3.090,52
Resistência de aquecimento YORK - mod. 02 2,25kW	1	R\$ 203,12		R\$ 203,12
Umidificador TRANE - mod. 06	22	R\$ 351,20		R\$ 7.726,31
Umidificador TRANE - mod. 08	1	R\$ 507,81		R\$ 507,81
Rede hidráulica de água gelada	m			
Tubulação de água gelada - isolada com suporte	650	R\$ 150,00	R\$ 100,00	R\$ 162.500,00
Conexões (aprox. 20% do valor total da rede hidráulica)	-	-	-	R\$ 32.500,00
Distribuição de ar	kg ou metro			
Duto de distribuição de ar com isolamento (preço por kg)	6.012	R\$ 15,00	R\$ 10,00	R\$ 150.300,00
Duto flexível (preço por metro)	90	R\$ 25,00	R\$ 10,00	R\$ 3.150,00
Grelhas e difusores	un.			
Grelha TROX - mod. AT-AG 225x125	161	R\$ 93,96	-	R\$ 15.127,10
Grelha TROX - mod. AT-AG 325x225	7	R\$ 145,34	-	R\$ 1.017,38
Grelha TROX - mod. AT-AG 825x225	19	R\$ 304,26	-	R\$ 5.780,93
Difusor TROX - mod. VD 425x425	23	R\$ 2.359,57	-	R\$ 54.270,15
Difusor TROX - mod. VDW 600x24	12	R\$ 642,29	-	R\$ 7.707,42
Difusor TROX - mod. VSD50 2000x158x50	23	R\$ 727,80	-	R\$ 16.739,42
Difusor TROX - mod. DLQ 300x300	18	R\$ 235,99	-	R\$ 4.247,89
Damper Corta-fogo TROX -genérico	2	R\$ 1.500,00	-	R\$ 3.000,00
Damper de regulação borboleta TROX - genérico	36	R\$ 128,46	-	R\$ 4.624,45
TOTAL (Fator de folga: 20%)				R\$ 1.266.357,66

11. REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários**. Rio de Janeiro, 2008. 60 p.
- ACAYABA, M.. **Fotografia e Arquitetura**: Biblioteca Mário de Andrade. São Paulo. Disponível em: < http://www.archdaily.com.br/br/01-42224/fotografia-e-arquitetura-maira-acayaba/42224_42230>. Acesso em: 05 abril 2014.
- ALÉ, JORGE V. **Sistemas de Ventilação Industrial: Ventiladores**. Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica PUC-RS. Rio Grande do Sul, 2001. 24 p.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **ASHRAE Handbook: HVAC Applications**. 6o edição. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE Research, 2011. cap 6, p. 6.01-6.07; cap 21, p. 21.01-26.23; cap 23.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **ASHRAE Handbook: 2005 Fundamentals**. 6o edição. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE Research, 2005. cap 28.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **ASHRAE Handbook of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment**. 6o edição. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE Research, 2004.
- ASCIONE, F.; BELLIA, L.; CAPOZZOLI, A.; MINICHIELLO, F. **Energy saving strategies in air-conditioning for museums**. Nápoles, Itália, 2007. 11 p.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **ASHRAE Handbook: 1985 Fundamentals**. 6ª edição. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE Research, 1985. Caps. 26-27.

- BALTIMORE AIRCOIL COMPANY. Products. Evaporative Condensers. **Engineering Considerations**. Baltimore, EUA, 2014. Disponível em: <<http://www.baltimoreaircoil.com/english/products/evaporative-condensers/cxvb/engineering-considerations>>. Acesso em: 18 set. 2014.
- BELLIA, L.; CAPOZZOLI, A.; MAZZEI, P.; MINICHIELLO, F. **A comparison of HVAC systems for artwork conservation**. Nápoles, Itália, 2007. 13 p.
- BOVILL, C. **Qualitative engineering**. ASHRAE Journal: Abril, 1988, 29-34 p.
- BRANDEMUEHL, MICHAEL J. . **HVAC systems: Overview**. Boulder, 2014. Disponível em: <<http://ceae.colorado.edu/~brandem/aren3050/docs/HVACDesignOverview.pdf>>. Acesso em: 08 abril 2014.
- CAREL. Design Manual for UltimateSteam Direct Steam Humidifiers. Carel USA, 2005. Disponível em: <http://www.carelusa.com/lit/+03U235005R2_1.pdf>. Acesso em: 02 junho 2014.
- CONTIMETRA. Catálogos. **Grelhas e difusores**. Lisboa, Portugal, 2014. Disponível em: <<http://www.contimetra.com/paginas/comuns/catalogos/arcondicionado/produto/s/136/48#posicionar/>>. Acesso em: 15 nov. 2014.
- HERNANDEZ NETO, A. Notas de aula PME2515 – Ar Condicionado e Ventilação. Universidade de São Paulo, 2013.
- JOHNSON CONTROLS. Building Efficiency. **Products and Systems: HVAC Equipment: YORK Chiller products**. EUA, 2014. Disponível em: <http://www.johnsoncontrols.com/content/us/en/products/building_efficiency/products-and-systems/integrated_hvac_systems/Industrial___Commercial_HVAC_Equipment/chiller_systems/hvac_chillers/water_cooled_centrifugal/yk-ep-centrifugal-water-chillers.html>. Acesso em: 16 set. 2014.

- LORAN. **Vent-Heat-Energy-Blog Spot:** Loran Air Handling Units Reviewed. Disponível em: < <https://richardwestgarth.wordpress.com/tag/air-handling-units-2/>>. Acesso em: 05 junho 2014.
- MARIANI, ANTONIO L. C.; JR., RAUL BOLLIGER. **Sistemas de Tratamento de ar.** Curso de Ar condicionado e Ventilação da Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2007.
- MAZZEI, P.; CAPOZZOLI, A.; MINICHELLO, F.; PALMA, D. **HVAC systems to control microclimate in the museums.** Nápoles, Itália, 2006. 14 p.
- MILLER, REX; MILLER, MARK R. **Air conditioning and refrigeration.** Nova Iorque, EUA: Editora McGraw-Hill Ltda, 2010. 604 p.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Cultura. **Biblioteca Mário de Andrade:** Acervo. São Paulo, 2013a. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/cultura/bma/acervos/index.php?p=10333>>. Acesso em: 5 out. 2013.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Cultura. **Biblioteca Mário de Andrade:** Dados de público. São Paulo, 2013b. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/cultura/bma/estrutura/index.php?p=12205>>. Acesso em: 22 nov. 2013.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Cultura. **Biblioteca Mário de Andrade:** Horários. São Paulo, 2013c. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/cultura/bma/patrono/index.php?p=11449>>. Acesso em: 5 out. 2013.
- SPIRAX-SARCO. Resources. **Steam Consumption of Heat Exchangers.** Reino Unido, 2014. Disponível em: < <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/steam-consumption-of-heat-exchangers.asp>>. Acesso em: 18 set. 2014.
- STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e Ar Condicionado.** São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1985. 481 p.
- SUBRAMANYAM, N.; MAIYA, M.P.; MURTHY, S. S. **Application of desiccant wheel to control humidity in air-conditioning systems.** Chennai, India, 2004. 12 p.

- THE ENGINEERING TOOLBOX. Block Diagram. **HVAC diagram:** Online Drawing. Disponível em: < http://www.engineeringtoolbox.com/hvac-diagram-drawing-d_1638.html>. Acesso em: 08 abril 2014.
- TRANE. Boletim de engenharia: Umidificador. AHU-BE001-PT. Trane do Brasil, fevereiro 2009.
- TRANE. WAVE Doble Climatizador Modular. Trane do Brasil, 2012.
- TROX. Catálogo digital. Difusor de alta indução. TROX do Brasil LTDA., 2013.
- ZHANG, X.J.; YU, C.Y.; LI, S.; ZHENG, Y.M.; XIAO, F. **A museum storeroom air-conditioning system employing the temperature and humidity independente control device in the cooling coil.** Hong Kong, China, 2010. 5 p.

ANEXO A – DESENHOS DO ACERVO E ÁREA CIRCULANTE

Nesta seção serão apresentados os desenhos de cada bloco do acervo e os ambientes da área circulante considerados no estudo. Os desenhos foram obtidos por arquivos em CAD disponibilizadas pela equipe de arquitetura da BMA (desenhos fora de escala).

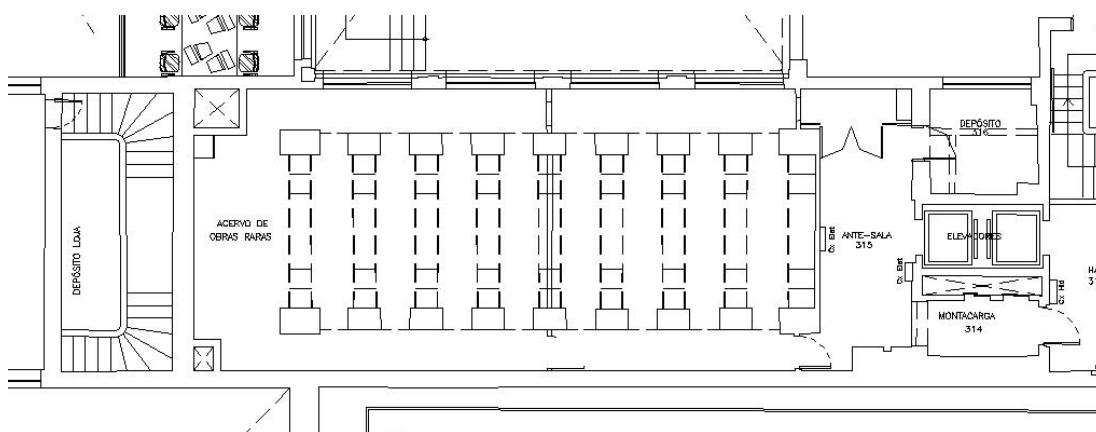


Figura 37 - Planta do 1o andar do acervo.

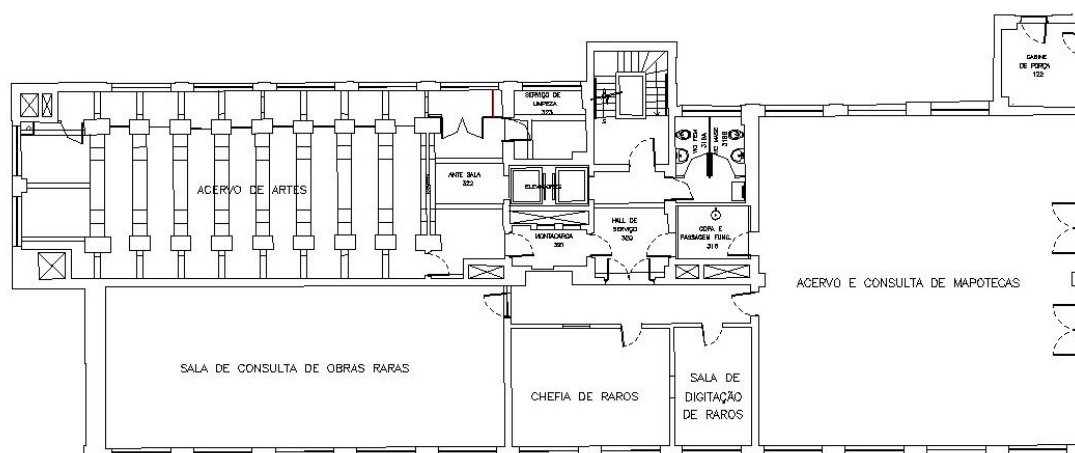


Figura 38 - 2o pavimento da BMA. No desenho: acervo de artes, sala de consulta de obras raras, chefia, digitação e consulta mapoteca.

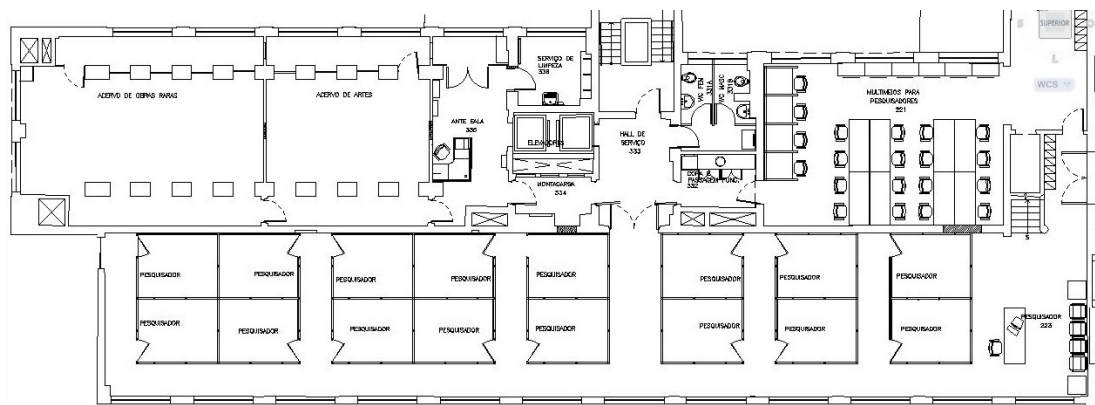


Figura 39 - 30o pavimento da BMA. No desenho: 6º andar do acervo e salas de reuniões.

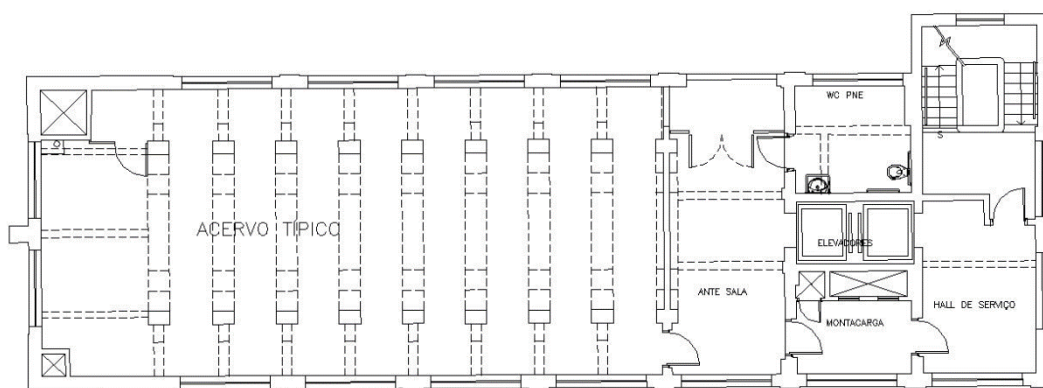


Figura 40 - Acervos do 8o ao 23o andar.

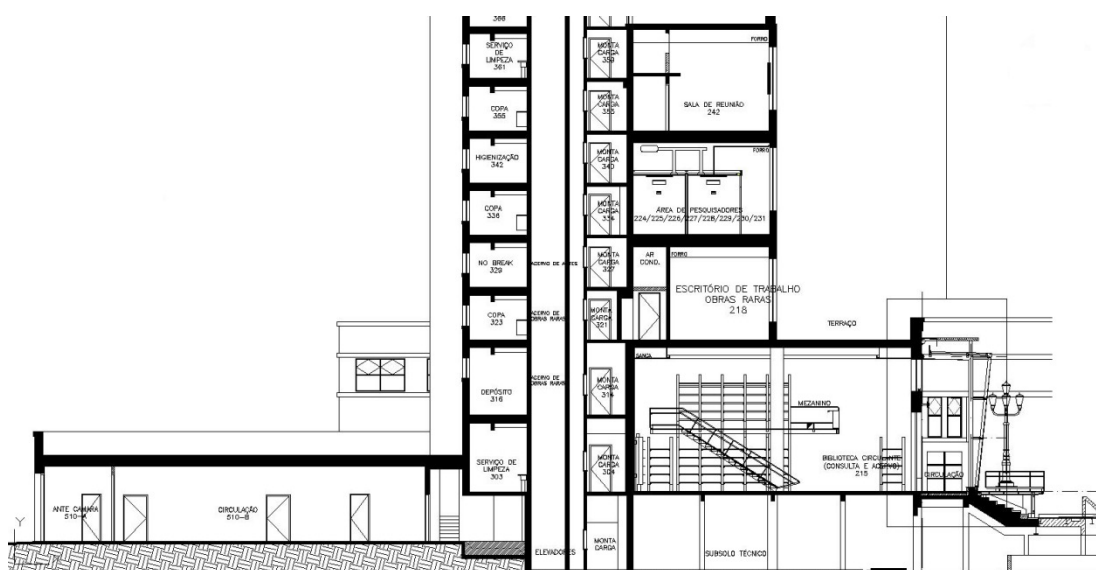


Figura 41 - Corte da BMA. No desenho: térreo, 1o, 2o e 3o pavimentos; 1o ao 7o andar de acervo.

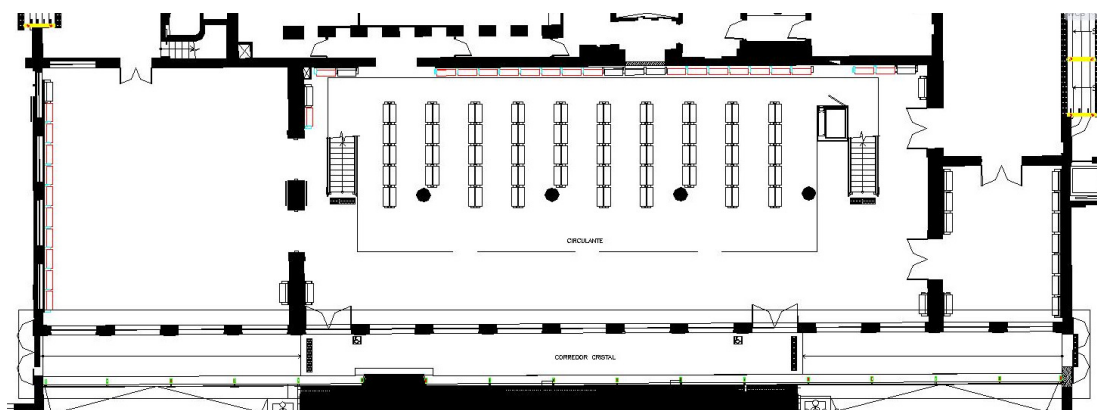


Figura 42 - Circulante, térreo.

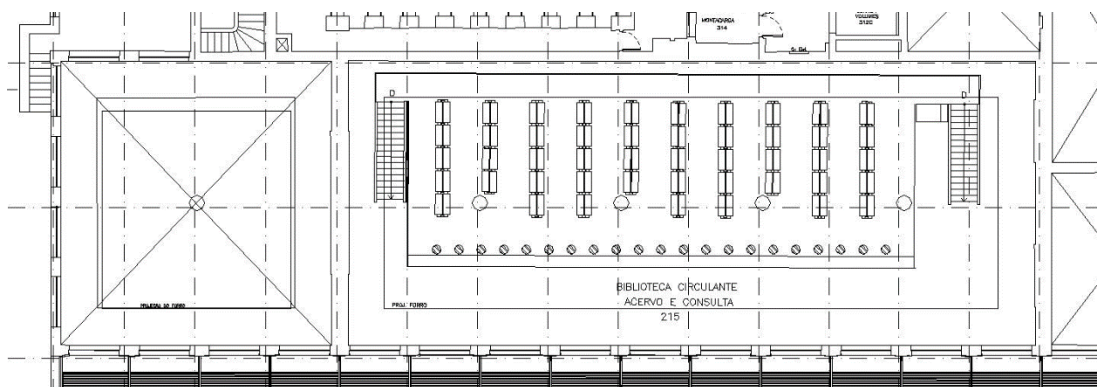


Figura 43 - Circulante, mezanino.

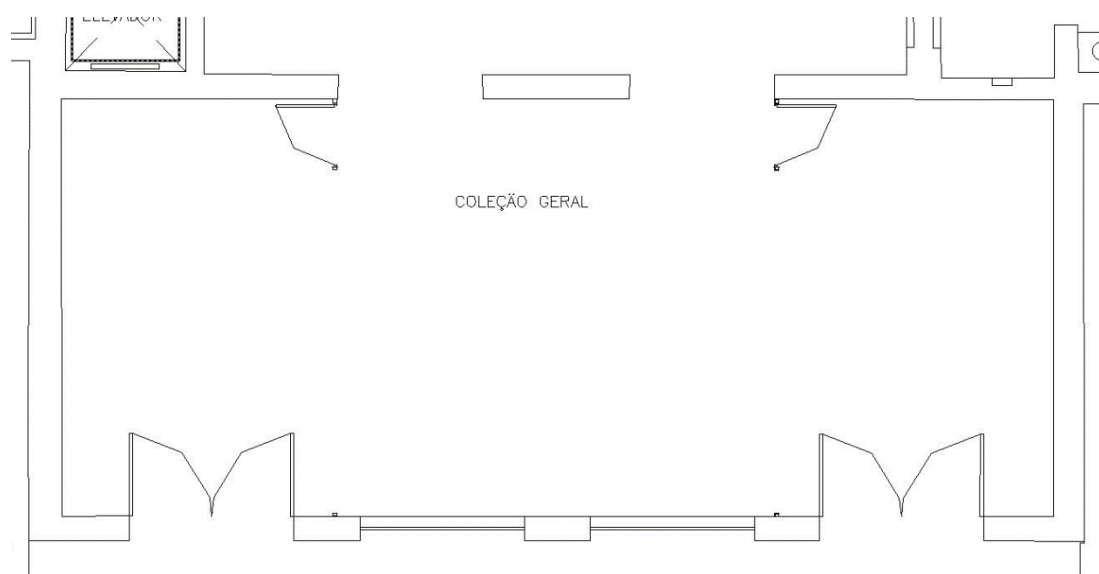


Figura 44 - Coleção Geral.

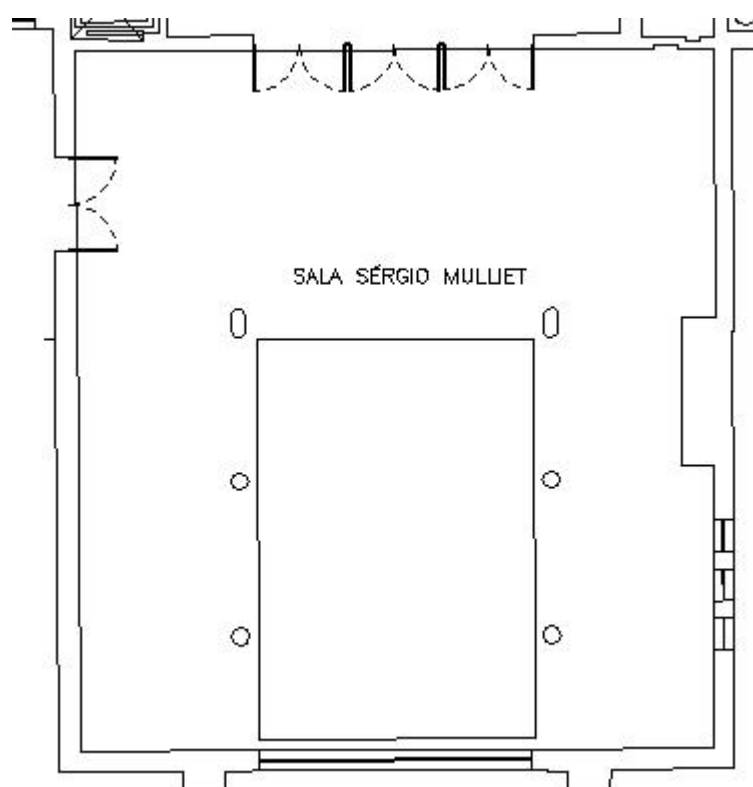


Figura 45 - Sala de artes.

ANEXO B – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DO ACERVO

Serão apresentadas nesta seção as tabelas e gráficos detalhados da carga térmica do acervo hora a hora.

Tabela 74 - CLTD para parede tipo B e laje númeo 3 (ASHRAE, 1985).

Hora	Norte	Sul	Oeste	Hor.	Hora	Norte	Sul	Oeste	Hor.	Hora	Norte	Sul	Oeste	Hor.
1	12	8	16	5	9	7	5	10	5	17	10	6	9	40
2	11	8	16	3	10	6	5	9	11	18	11	7	11	37
3	11	8	15	1	11	6	5	9	18	19	11	7	12	32
4	10	7	14	0	12	6	5	8	25	20	12	8	14	25
5	9	7	14	-1	13	6	5	8	31	21	12	8	15	19
6	9	6	13	-2	14	7	5	8	36	22	12	8	16	14
7	8	6	12	-2	15	8	5	8	39	23	12	8	16	10
8	7	6	11	1	16	9	6	8	40	24	12	8	17	7

Tabela 75 - Fator LM (ASHRAE, 1985).

Fator LM (24° S)		
Face	Mês	LM
Norte	Janeiro	-3,3
	Julho	7,2
Sul	Janeiro	0,5
	Julho	-2,2
Oeste/Leste	Janeiro	0,0
	Julho	-3,3
Horizontal	Janeiro	0,5
	Julho	-6,1

Tabela 76 - Perfil de CLTD corrigido para cada face no verão e no inverno - Acervo.

	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face N	9,0	7,5	7,2	5,9	4,8	5,0	4,4	4,2	5,4	5,7	7,2	8,7
Inverno		1,3	0,3	0,3	-0,7	-1,7	-1,7	-2,7	-3,7	-3,7	-4,7	-4,7	-4,7
Verão	Face S	8,8	8,3	8,0	6,7	6,6	5,8	6,2	7,0	7,2	8,5	10,0	11,5
Inverno		-12,1	-12,1	-12,1	-13,1	-13,1	-14,1	-14,1	-14,1	-15,1	-15,1	-15,1	-15,1
Verão	Face W	16,3	15,8	14,5	13,2	13,1	12,3	11,7	11,5	11,7	12,0	13,5	14,0
Inverno		-5,2	-5,2	-6,2	-7,2	-7,2	-8,2	-9,2	-10,2	-11,2	-12,2	-12,2	-13,2
Verão	HOR	5,8	3,3	1,0	-0,3	-1,4	-2,2	-1,8	2,0	7,2	14,5	23,0	31,5
Inverno		-19,0	-21,0	-23,0	-24,0	-25,0	-26,0	-26,0	-23,0	-19,0	-13,0	-6,0	1,0
	Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face N	9,7	11,4	12,7	13,4	13,8	13,8	12,7	12,5	11,5	10,6	9,9	9,4
Inverno		-4,7	-3,7	-2,7	-1,7	-0,7	0,3	0,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Verão	Face S	12,5	13,2	13,5	14,2	13,6	13,6	12,5	12,3	11,3	10,4	9,7	9,2
Inverno		-15,1	-15,1	-15,1	-14,1	-14,1	-13,1	-13,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1
Verão	Face W	15,0	15,7	16,0	15,7	16,1	17,1	17,0	17,8	17,8	17,9	17,2	17,7
Inverno		-13,2	-13,2	-13,2	-13,2	-12,2	-10,2	-9,2	-7,2	-6,2	-5,2	-5,2	-4,2
Verão	HOR	38,5	44,2	47,5	48,2	47,6	43,6	37,5	29,3	22,3	16,4	11,7	8,2
Inverno		7,0	12,0	15,0	16,0	16,0	13,0	8,0	1,0	-5,0	-10,0	-14,0	-17,0

Tabela 77 - Carga Térmica de condução das paredes - 1º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1082	1018	1002	947	899	907	882	873	924	939	1006	1068
Inverno	-752	-796	-796	-840	-884	-884	-928	-972	-972	-1016	-1016	-1016
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1115	1191	1247	1279	1295	1296	1245	1238	1195	1156	1125	1101
Inverno	-1016	-972	-928	-884	-840	-796	-796	-752	-752	-752	-752	-752

Tabela 78 - Carga Térmica de condução das paredes - 2º e 3º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1070	996	950	865	815	805	768	754	809	831	932	1004
Inverno	-421	-466	-488	-555	-599	-622	-688	-755	-778	-845	-845	-867
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1076	1167	1229	1255	1280	1305	1250	1262	1220	1183	1136	1123
Inverno	-867	-823	-779	-735	-669	-579	-556	-467	-444	-421	-421	-399

Tabela 79 - Carga Térmica de condução das paredes - 4º ao 7º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1841	1767	1721	1636	1586	1575	1538	1525	1579	1602	1703	1775
Inverno	-1328	-1372	-1395	-1462	-1506	-1528	-1595	-1662	-1685	-1751	-1751	-1774
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1846	1938	2000	2026	2051	2075	2021	2033	1990	1954	1906	1893
Inverno	-1774	-1730	-1686	-1642	-1575	-1486	-1463	-1374	-1351	-1328	-1328	-1305

Tabela 80 - Carga Térmica de condução das paredes - 8º ao 22º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1304	1210	1148	1008	954	907	890	912	973	1054	1222	1357
Inverno	-800	-844	-866	-977	-1021	-1088	-1155	-1221	-1288	-1355	-1355	-1378
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1475	1598	1671	1730	1728	1753	1647	1653	1567	1491	1412	1376
Inverno	-1378	-1334	-1290	-1202	-1135	-1001	-979	-845	-822	-800	-800	-777

Tabela 81 - Carga Térmica de condução das paredes - 23º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1867	1534	1242	977	817	690	716	1110	1675	2474	3475	4434
Inverno	-2658	-2898	-3116	-3325	-3467	-3631	-3698	-3471	-3147	-2627	-1942	-1280
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	5243	5925	6318	6448	6385	6021	5313	4521	3752	3100	2560	2178
Inverno	-693	-160	178	364	430	270	-196	-747	-1311	-1778	-2169	-2440

Tabela 82 – CLTD_{tab} para condução através de vidros (REF).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLTD	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1

Tabela 83 - CLTD_{corr} para condução nos vidros do acervo.

	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	2,8	1,3	0,0	-0,3	-0,4	-0,2	0,2	2,0	4,2	6,5	10,0	12,5
	Face W	2,3	0,8	-0,5	-0,8	-0,9	-0,7	-0,3	1,5	3,7	6,0	9,5	12,0
	Face N	-1,0	-2,5	-3,8	-4,1	-4,2	-4,0	-3,6	-1,8	0,4	2,7	6,2	8,7

Inverno	Face S	-18,1	-19,1	-20,1	-20,1	-20,1	-20,1	-20,1	-19,1	-18,1	-17,1	-15,1	-14,1
	Face W	-19,2	-20,2	-21,2	-21,2	-21,2	-21,2	-21,2	-20,2	-19,2	-18,2	-16,2	-15,2
	Face N	-19,2	-20,2	-21,2	-21,2	-21,2	-21,2	-21,2	-20,2	-19,2	-18,2	-16,2	-15,2
	Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face S	15,5	16,2	17,5	17,2	15,6	14,6	12,5	9,3	7,3	5,4	4,7	3,2
	Face W	15,0	15,7	17,0	16,7	15,1	14,1	12,0	8,8	6,8	4,9	4,2	2,7
	Face N	11,7	12,4	13,7	13,4	11,8	10,8	8,7	5,5	3,5	1,6	0,9	-0,6
Inverno	Face S	-12,1	-12,1	-11,1	-11,1	-12,1	-12,1	-13,1	-15,1	-16,1	-17,1	-17,1	-18,1
	Face W	-13,2	-13,2	-12,2	-12,2	-13,2	-13,2	-14,2	-16,2	-17,2	-18,2	-18,2	-19,2
	Face N	-13,2	-13,2	-12,2	-12,2	-13,2	-13,2	-14,2	-16,2	-17,2	-18,2	-18,2	-19,2

Tabela 84 – Carga térmica de condução para os vidros do acervo – 2º e 3º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	-75	-176	-271	-290	-296	-284	-253	-126	25	189	436	606
Inverno	-1419	-1489	-1559	-1559	-1559	-1559	-1559	-1489	-1419	-1348	-1208	-1138
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	822	872	961	942	828	759	608	386	247	114	64	-43
Inverno	-997	-997	-927	-927	-997	-997	-1068	-1208	-1278	-1348	-1348	-1419

Tabela 85 - Carga térmica de condução para os vidros do acervo – 4º e 7º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	-75	-176	-271	-290	-296	-284	-253	-126	25	189	436	606
Inverno	-1419	-1489	-1559	-1559	-1559	-1559	-1559	-1489	-1419	-1348	-1208	-1138
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	822	872	961	942	828	759	608	386	247	114	64	-43
Inverno	-997	-997	-927	-927	-997	-997	-1068	-1208	-1278	-1348	-1348	-1419

Tabela 86 - Carga térmica de condução para os vidros do acervo – 8º e 23º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	132	-41	-203	-235	-246	-225	-171	44	302	581	1002	1292
Inverno	-2242	-2362	-2482	-2482	-2482	-2482	-2482	-2362	-2242	-2123	-1883	-1764
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1658	1744	1895	1863	1669	1552	1294	916	680	454	368	185
Inverno	-1525	-1525	-1405	-1405	-1525	-1525	-1644	-1883	-2003	-2123	-2123	-2242

Tabela 87 - CLF para construção H referente ao acervo (REF)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Face S	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,38	0,45	0,49	0,55	0,60	0,65	0,69
Face W	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16
Face N	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,11	0,14	0,17	0,24	0,33	0,43	0,51
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Face S	0,72	0,72	0,72	0,70	0,70	0,75	0,57	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28
Face W	0,21	0,30	0,40	0,49	0,54	0,52	0,38	0,30	0,24	0,21	0,18	0,16
Face N	0,56	0,55	0,50	0,43	0,37	0,32	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15

Tabela 88 - Carga térmica de radiação para o acervo – 2º e 3º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	206	191	181	166	151	166	191	216	262	308	369	420
Inverno	452	418	409	375	341	375	459	543	729	955	1216	1426
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	495	580	654	708	727	682	512	411	341	301	261	236
Inverno	1596	1651	1614	1518	1411	1268	992	820	717	640	563	520

Tabela 89 - Carga térmica de radiação para o acervo – 4º ao 7º andar

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	206	191	181	166	151	166	191	216	262	308	369	420
Inverno	452	418	409	375	341	375	459	543	729	955	1216	1426
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	495	580	654	708	727	682	512	411	341	301	261	236
Inverno	1596	1651	1614	1518	1411	1268	992	820	717	640	563	520

Tabela 90 - Carga térmica de radiação para o acervo – 8º ao 23º andar.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	331	306	286	266	246	355	416	461	537	607	693	764
Inverno	526	486	471	434	397	488	594	690	893	1134	1410	1632
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	854	939	1013	1057	1077	1056	796	641	536	471	416	376
Inverno	1811	1866	1829	1727	1621	1492	1163	958	833	741	655	603

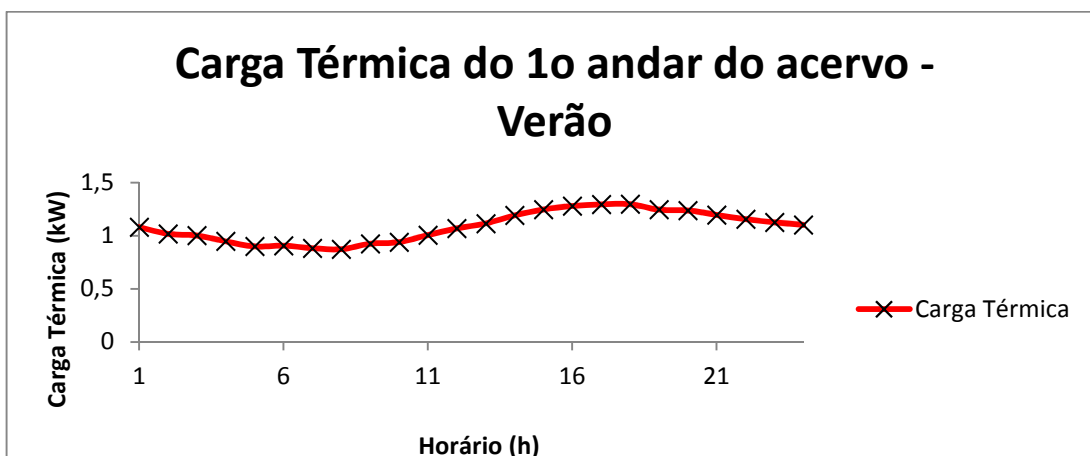


Gráfico 19 - Carga térmica do 1º andar do acervo - Verão

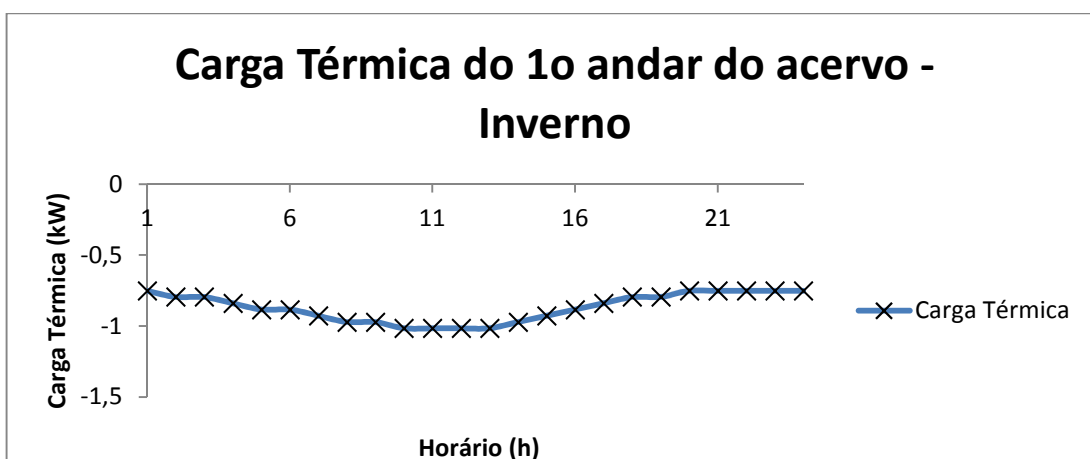


Gráfico 20 - Carga térmica do 1º andar do acervo - Inverno

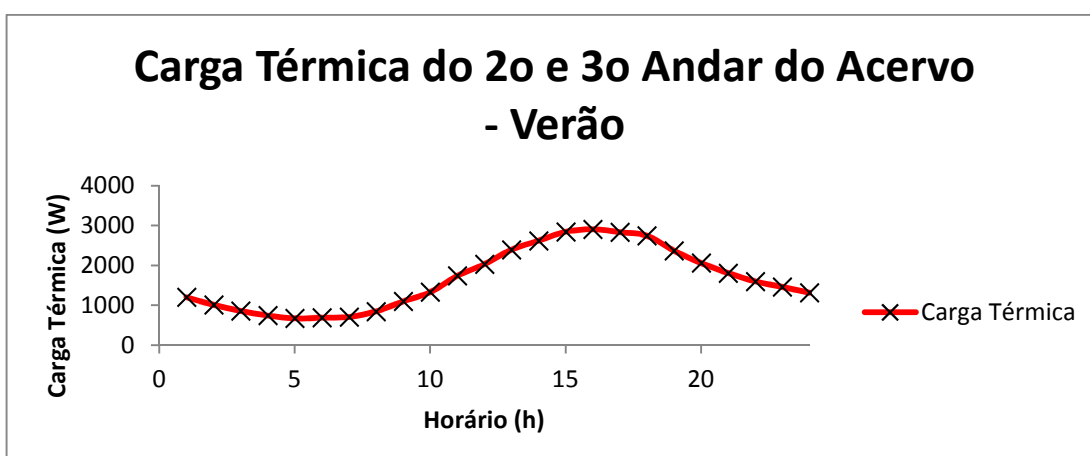


Gráfico 21 - Carga térmica do 2º e 3º andar do acervo - Verão

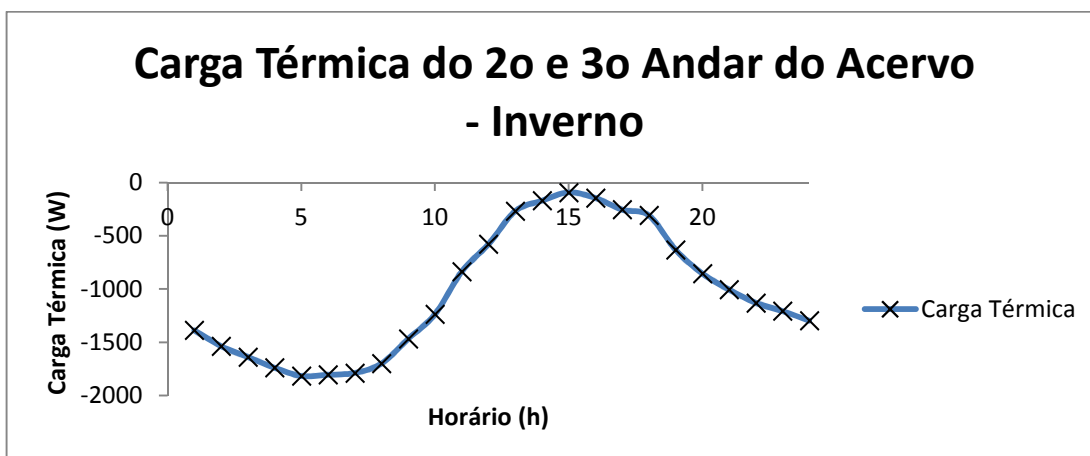


Gráfico 22 - Carga térmica do 2º e 3º andar do acervo - Inverno

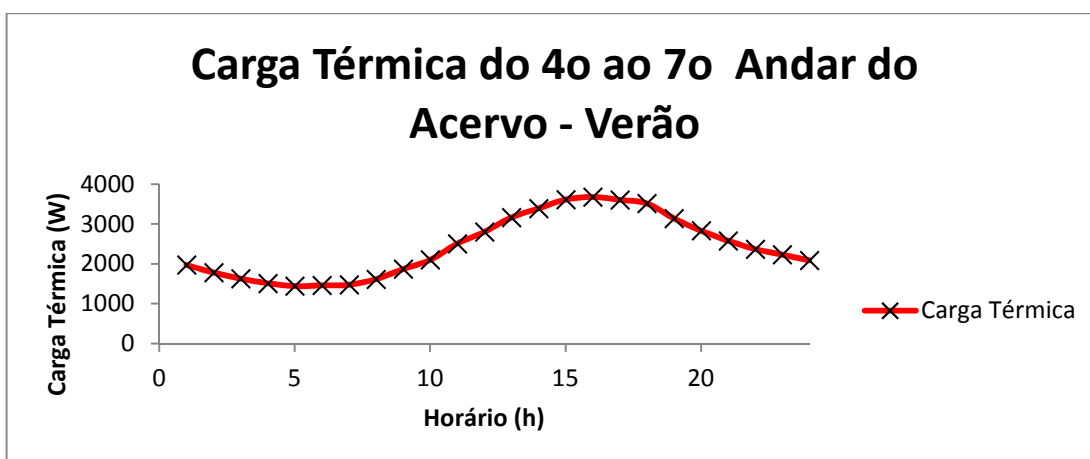


Gráfico 23 - Carga térmica do 4º ao 7º andar do acervo - Verão

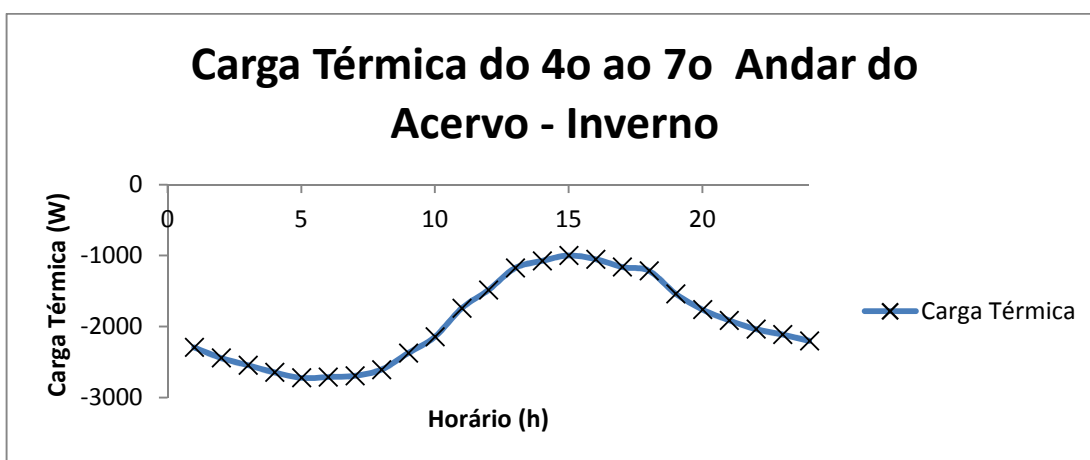


Gráfico 24 - Carga térmica do 4º ao 7º andar do acervo - Inverno

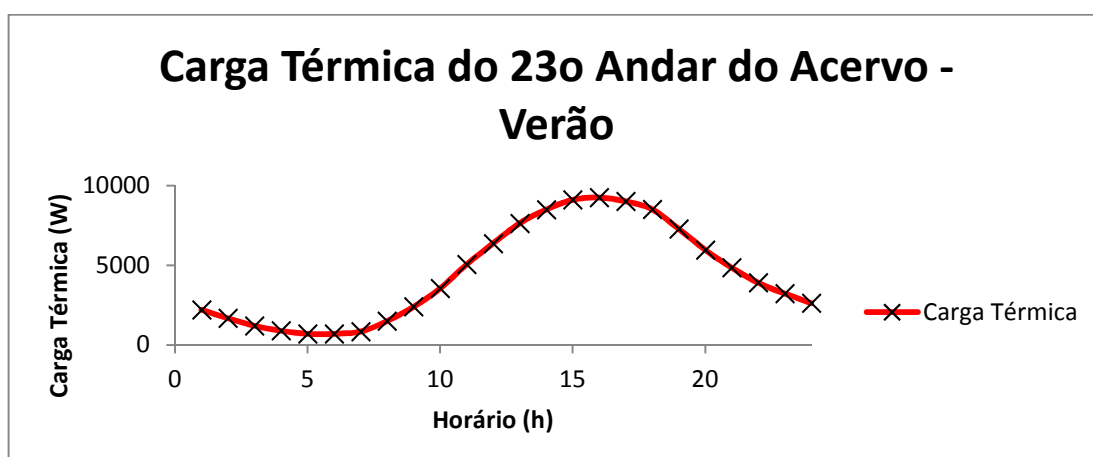


Gráfico 25 - Carga térmica do 23º andar do acervo - Verão

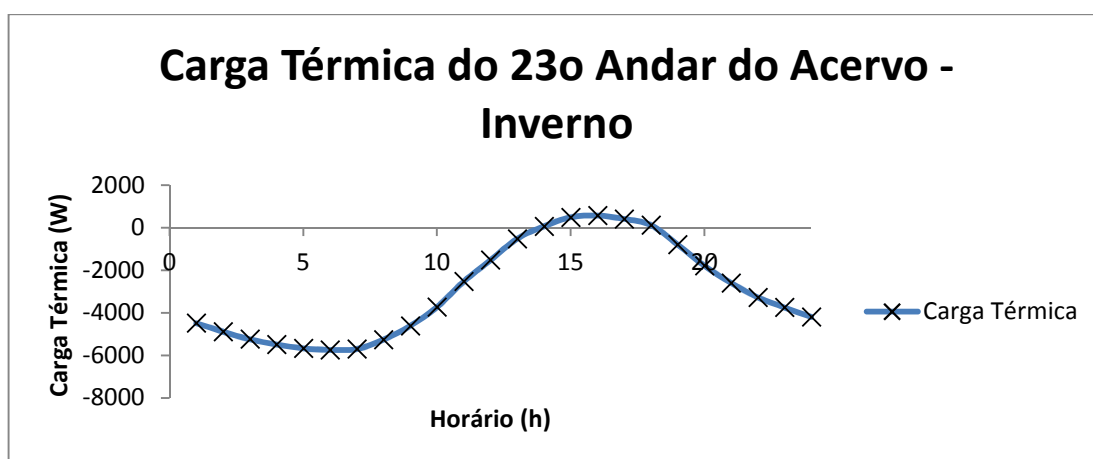


Gráfico 26 - Carga térmica do 23º andar do acervo - Inverno

ANEXO C – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA SALA DE ARTES

Serão apresentadas nesta seção as tabelas e gráficos detalhados da carga térmica da Sala de Artes hora a hora.

Tabela 91 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da sala de artes no verão e no inverno

	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	6,7	6,2	5,9	4,6	4,5	3,7	4,1	4,9	5,1	6,4	7,9	9,4
Inverno		-13,1	-13,1	-13,1	-14,1	-14,1	-15,1	-15,1	-15,1	-16,1	-16,1	-16,1	-16,1
Verão	Face E	11,2	10,7	9,4	8,1	7,0	6,2	5,6	6,4	8,6	9,9	12,4	15,9
Inverno		-9,2	-9,2	-10,2	-11,2	-12,2	-13,2	-14,2	-14,2	-13,2	-13,2	-12,2	-10,2
Verão	Face W	14,2	13,7	12,4	11,1	11,0	10,2	9,6	9,4	9,6	9,9	11,4	11,9
Inverno		-6,2	-6,2	-7,2	-8,2	-8,2	-9,2	-10,2	-11,2	-12,2	-13,2	-13,2	-14,2
	Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face S	10,4	11,1	11,4	12,1	11,5	11,5	10,4	10,2	9,2	8,3	7,6	7,1
Inverno		-16,1	-16,1	-16,1	-15,1	-15,1	-14,1	-14,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
Verão	Face E	17,9	18,6	19,9	19,6	20,0	19,0	17,9	16,7	15,7	14,8	13,1	12,6
Inverno		-9,2	-9,2	-8,2	-8,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-8,2	-8,2
Verão	Face W	12,9	13,6	13,9	13,6	14,0	15,0	14,9	15,7	15,7	15,8	15,1	15,6
Inverno		-14,2	-14,2	-14,2	-14,2	-13,2	-11,2	-10,2	-8,2	-7,2	-6,2	-6,2	-5,2

Tabela 92 - Carga térmica de condução para as paredes da sala de artes.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	2383	2301	2100	1865	1784	1632	1579	1656	1816	1992	2337	2660
Inverno	-2241	-2241	-2376	-2561	-2626	-2811	-2947	-3017	-3072	-3142	-3077	-3017
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	2923	3055	3169	3169	3189	3198	3055	3031	2920	2826	2629	2601
Inverno	-2952	-2952	-2887	-2837	-2702	-2512	-2441	-2251	-2181	-2110	-2176	-2105

Tabela 93 - CLTD_{corr} para condução nos vidros da sala de artes.

	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	-0,3	-1,8	-3,1	-3,4	-3,5	-3,3	-2,9	-1,1	1,1	3,4	6,9	9,4
Inverno		-18,2	-19,2	-20,2	-20,2	-20,2	-20,2	-20,2	-19,2	-18,2	-17,2	-15,2	-14,2
Verão	Face E	-0,8	-2,3	-3,6	-3,9	-4,0	-3,8	-3,4	-1,6	0,6	2,9	6,4	8,9
Inverno		-19,3	-21,4	-20,2	-18,0	-18,0	-18,0	-18,0	-17,0	-16,0	-15,0	-13,0	-12,0
Verão	Face W	-0,8	-2,3	-3,6	-3,9	-4,0	-3,8	-3,4	-1,6	0,6	2,9	6,4	8,9

Inverno		-19,3	-21,4	-20,2	-18,0	-18,0	-18,0	-18,0	-17,0	-16,0	-15,0	-13,0	-12,0
	Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face S	12,4	13,1	14,4	14,1	12,5	11,5	9,4	6,2	4,2	2,3	1,6	0,1
Inverno		-12,2	-12,2	-11,2	-11,2	-12,2	-12,2	-13,2	-15,2	-16,2	-17,2	-17,2	-18,2
Verão	Face E	11,9	12,6	13,9	13,6	12,0	11,0	8,9	5,7	3,7	1,8	1,1	-0,4
Inverno		-10,0	-10,0	-9,0	-9,0	-10,0	-10,0	-11,0	-13,0	-14,0	-15,0	-15,0	-16,0
Verão	Face W	11,9	12,6	13,9	13,6	12,0	11,0	8,9	5,7	3,7	1,8	1,1	-0,4
Inverno		-10,0	-10,0	-9,0	-9,0	-10,0	-10,0	-11,0	-13,0	-14,0	-15,0	-15,0	-16,0

Tabela 94 - Carga térmica de condução para os vidros da sala de artes

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	437	231	37	-1	-14	12	75	332	641	974	1476	1822
Inverno	-3515	-3714	-3746	-3635	-3635	-3635	-3635	-3492	-3349	-3206	-2920	-2778
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	2260	2362	2543	2505	2273	2133	1825	1374	1091	822	720	501
Inverno	-2492	-2492	-2349	-2349	-2492	-2492	-2635	-2920	-3063	-3206	-3206	-3349

Tabela 95 - CLF para construção H referente a sala de artes (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Face S	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,38	0,45	0,49	0,55	0,60	0,65	0,69
Face W	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16
Face E	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,20	0,34	0,45	0,49	0,49	0,43	0,36
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Face S	0,72	0,72	0,72	0,70	0,70	0,75	0,57	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28
Face W	0,21	0,30	0,40	0,49	0,54	0,52	0,38	0,30	0,24	0,21	0,18	0,16
Face E	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10

Tabela 96 - Carga térmica de radiação para a sala de artes

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	664	629	575	540	486	781	1097	1353	1468	1468	1382	1276
Inverno	592	561	512	481	433	697	978	1206	1309	1309	1232	1137
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1367	1617	1902	2172	2304	2175	1652	1336	1089	965	842	753
Inverno	1219	1442	1695	1936	2054	1938	1472	1191	971	860	750	671

Tabela 97 - CLTD_{tab} para condução através de uma laje de aproximadamente 203mm de concreto (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLTD _{tab}	22	20	18	16	15	13	11	10	9	8	8	8
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD _{tab}	9	11	14	16	19	21	23	25	25	25	24	23

Tabela 98 - CLTD_{corr} para o terraço da sala de artes.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	20,7	18,2	15,9	13,6	12,5	10,7	9,1	8,9	9,1	9,4	10,9	12,4
Inverno	-3,0	-5,0	-7,0	-9,0	-10,0	-12,0	-14,0	-15,0	-16,0	-17,0	-17,0	-17,0
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	14,4	17,1	20,4	22,1	24,5	25,5	26,4	27,2	26,2	25,3	23,6	22,1
Inverno	-16,0	-14,0	-11,0	-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	-2,0

Tabela 99 - Carga térmica total através do terraço para a sala de artes.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	2316	2042	1778	1524	1402	1197	1023	1001	1018	1056	1225	1385
Inverno	-336	-561	-785	-1009	-1121	-1345	-1570	-1682	-1794	-1906	-1906	-1906
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1617	1921	2287	2482	2748	2863	2957	3052	2942	2842	2650	2478
Inverno	-1794	-1570	-1233	-1009	-673	-448	-224	0	0	0	-112	-224

Tabela 100 - Perfil de CLFele para sala de artes (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLFele	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,67	0,74	0,79	0,83
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLFele	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,33	0,26	0,21	0,17

Tabela 101 - Carga térmica total de iluminação da sala de artes

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	534	420	343	267	229	191	153	114	2557	2824	3015	3167
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CT	3282	3396	3473	3549	3587	3625	3663	3702	1259	992	801	649

Tabela 102 - Perfil CLFp para a sala de artes (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLF	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,53	0,62	0,69	0,74
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,42	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17

Tabela 103 - Calor sensível e latente das pessoas na sala de artes.

CT Sensível												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTs	166	144	122	111	99	88	77	66	586	685	762	818
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	851	884	917	939	961	983	464	376	309	254	221	188
CT Latente												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTl	0	0	0	0	0	0	0	0	935	935	935	935
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTl	935	935	935	935	935	935	935	935	0	0	0	0

ANEXO D – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA COLEÇÃO GERAL

Serão apresentadas nesta seção as tabelas e gráficos detalhadas da carga térmica da Coleção Geral hora a hora.

Tabela 104 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da CG no verão e no inverno.

	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	6,7	6,2	5,9	4,6	4,5	3,7	4,1	4,9	5,1	6,4	7,9	9,4
Inverno		-13,1	-13,1	-13,1	-14,1	-14,1	-15,1	-15,1	-15,1	-16,1	-16,1	-16,1	-16,1
Verão	Face E	11,2	10,7	9,4	8,1	7,0	6,2	5,6	6,4	8,6	9,9	12,4	15,9
Inverno		-9,2	-9,2	-10,2	-11,2	-12,2	-13,2	-14,2	-14,2	-13,2	-13,2	-12,2	-10,2
Verão	Face W	14,2	13,7	12,4	11,1	11,0	10,2	9,6	9,4	9,6	9,9	11,4	11,9
Inverno		-6,2	-6,2	-7,2	-8,2	-8,2	-9,2	-10,2	-11,2	-12,2	-13,2	-13,2	-14,2
	Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face S	10,4	11,1	11,4	12,1	11,5	11,5	10,4	10,2	9,2	8,3	7,6	7,1
Inverno		-16,1	-16,1	-16,1	-15,1	-15,1	-14,1	-14,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
Verão	Face E	17,9	18,6	19,9	19,6	20,0	19,0	17,9	16,7	15,7	14,8	13,1	12,6
Inverno		-9,2	-9,2	-8,2	-8,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-8,2	-8,2
Verão	Face W	12,9	13,6	13,9	13,6	14,0	15,0	14,9	15,7	15,7	15,8	15,1	15,6
Inverno		-14,2	-14,2	-14,2	-14,2	-13,2	-11,2	-10,2	-8,2	-7,2	-6,2	-6,2	-5,2

Tabela 105 - Carga térmica de condução para as paredes da CG.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1530	1477	1360	1209	1161	1063	1041	1099	1193	1314	1532	1739
Inverno	-1641	-1641	-1716	-1835	-1873	-1992	-2067	-2104	-2148	-2186	-2148	-2111
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1904	1989	2058	2070	2071	2073	1973	1954	1875	1806	1684	1658
Inverno	-2074	-2074	-2036	-1992	-1917	-1798	-1760	-1641	-1604	-1567	-1604	-1567

Tabela 106 - Carga térmica de condução para os vidros da CG.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	279	1423	1207	1165	1150	1179	1250	1536	1880	2252	2812	3198
Inverno	-3461	-3621	-3780	-3780	-3780	-3780	-3780	-3621	-3461	-3302	-2983	-2824
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	3687	3800	4002	3959	3701	3545	3201	2698	2383	2082	1969	1724
Inverno	-2505	-2505	-2346	-2346	-2505	-2505	-2665	-2983	-3143	-3302	-3302	-3461

Tabela 107 - CLF para construção H referente a CG (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Face S	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,38	0,45	0,49	0,55	0,60	0,65	0,69
Face W	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16
Face E	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,20	0,34	0,45	0,49	0,49	0,43	0,36
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Face S	0,72	0,72	0,72	0,70	0,70	0,75	0,57	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28
Face W	0,21	0,30	0,40	0,49	0,54	0,52	0,38	0,30	0,24	0,21	0,18	0,16
Face E	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10

Tabela 108 - Carga térmica de radiação para a CG.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1190	2261	1972	1893	1842	2563	2889	3321	3883	4437	5179	5711
Inverno	-2916	-3119	-3322	-3344	-3366	-2951	-2799	-2552	-2262	-1994	-1566	-1320
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	6309	6422	6624	6509	6250	6277	5277	4374	3803	3320	3098	2744
Inverno	-936	-936	-776	-820	-979	-870	-1422	-1980	-2292	-2561	-2626	-2851

Tabela 109 - Perfil de CLF_{ele} para CG (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLF _{ele}	0,08	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,66	0,73	0,78	0,83
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF _{ele}	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,31	0,25	0,2	0,16	0,13	0,11

Tabela 110 - Carga térmica total de iluminação da CG.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	108	94	67	54	54	40	27	27	887	981	1048	1116
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CT	1156	1196	1223	1250	1263	1277	417	336	269	215	175	148

Tabela 111 - Perfil CLF_p para a CG (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLF	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,51	0,61	0,67	0,72
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF	0,76	0,80	0,82	0,84	0,38	0,30	0,25	0,21	0,18	0,15	0,13	0,12

Tabela 112 - Calor sensível e latente das pessoas na CG.

CT Sensível												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTs	46	41	36	32	27	23	23	18	232	278	305	328
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	346	364	373	382	173	137	114	96	82	68	59	55
CT Latente												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTl	0	0	0	0	0	0	0	0	385	385	385	385
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTl	385	385	385	385	385	385	385	385	0	0	0	0

ANEXO E – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA MAPOTECA

Serão apresentadas nesta seção as tabelas e gráficos detalhados da carga térmica da Mapoteca hora a hora.

Tabela 113 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da Mapoteca no verão e no inverno

	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	6,7	6,2	5,9	4,6	4,5	3,7	4,1	4,9	5,1	6,4	7,9	9,4
Inverno		-13,1	-13,1	-13,1	-14,1	-14,1	-15,1	-15,1	-15,1	-16,1	-16,1	-16,1	-16,1
Verão	Face N	6,9	5,4	5,1	3,8	2,7	2,9	2,3	2,1	3,3	3,6	5,1	6,6
Inverno		0,3	-0,7	-0,7	-1,7	-2,7	-2,7	-3,7	-4,7	-4,7	-5,7	-5,7	-5,7
Verão	Face W	14,2	14,8	12,9	11,1	11,0	10,2	9,6	9,4	9,6	9,9	11,4	11,9
Inverno		-6,2	-7,3	-6,1	-4,9	-4,9	-5,9	-6,9	-7,9	-8,9	-9,9	-9,9	-10,9
	Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face S	10,4	11,1	11,4	12,1	11,5	11,5	10,4	10,2	9,2	8,3	7,6	7,1
Inverno		-16,1	-16,1	-16,1	-15,1	-15,1	-14,1	-14,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
Verão	Face N	7,6	9,3	10,6	11,3	11,7	11,7	10,6	10,4	9,4	8,5	7,8	7,3
Inverno		-5,7	-4,7	-3,7	-2,7	-1,7	-0,7	-0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Verão	Face W	12,9	13,6	13,9	13,6	14,0	15,0	14,9	15,7	15,7	15,8	15,1	15,6
Inverno		-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-9,9	-7,9	-6,9	-4,9	-3,9	-2,9	-2,9	-1,9

Tabela 114 - Carga térmica de condução para as paredes da Mapoteca

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1489	1378	1341	1211	1137	1118	1098	1115	1196	1268	1424	1570
Inverno	-1803	-1868	-1868	-1971	-2036	-2074	-2139	-2204	-2242	-2307	-2307	-2307
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1680	1818	1911	1986	1988	1990	1871	1855	1754	1663	1590	1535
Inverno	-2307	-2242	-2176	-2074	-2008	-1905	-1905	-1803	-1803	-1803	-1803	-1803

Tabela 115 - Carga térmica de condução para os vidros da Mapoteca

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	-320	-696	-1049	-1118	-1142	-1095	-979	-511	50	658	1572	2203
Inverno	-4434	-4694	-4954	-4954	-4954	-4954	-4954	-4694	-4434	-4174	-3653	-3393
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	3001	3186	3516	3446	3024	2769	2208	1387	872	380	195	-204
Inverno	-2873	-2873	-2612	-2612	-2873	-2873	-3133	-3653	-3913	-4174	-4174	-4434

Tabela 116 - CLF para construção H referente a Mapoteca (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Face S	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
Face W	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Face E	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Face N	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Face S	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
Face W	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Face E	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Face N	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela 117 - Carga térmica de radiação para a Mapoteca.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	769	307	-97	-227	-310	255	654	1329	2286	3333	4722	5732
Inverno	-1824	-2286	-2577	-2763	-2950	-2489	-1868	-1032	519	2399	4709	6402
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	6781	6931	7087	6724	6093	5792	4564	3323	2560	1872	1541	1030
Inverno	7825	7654	7057	5827	4538	3757	2194	820	110	-569	-958	-1435

Tabela 118 - Perfil de CLF_{ele} para Mapoteca (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLFele	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,67	0,74	0,79	0,83
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLFele	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,33	0,26	0,21	0,17

Tabela 119 - Carga térmica total de iluminação da Mapoteca.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	269	211	173	134	115	96	77	58	1286	1421	1517	1594
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CT	1651	1709	1747	1786	1805	1824	1843	1862	634	499	403	326

Tabela 120 - Perfil CLF_p para a Mapoteca (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLF	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,53	0,62	0,69	0,74

Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,42	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17

Tabela 121 - Calor sensível e latente das pessoas na Mapoteca

CT Sensível												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTs	10	8	7	7	6	5	5	4	34	40	45	48
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	50	52	54	55	57	58	27	22	18	15	13	11
CT Latente												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTl	0	0	0	0	0	0	0	0	55	55	55	55
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	55	55	55	55	55	55	55	55	0	0	0	0

ANEXO F – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DA CONSULTA DE OBRAS RARAS

Serão apresentadas nesta seção as tabelas e gráficos detalhados da carga térmica da consulta de obras raras.

Tabela 122 - Perfil de CLTD corrigido para cada face da área de consulta de obras raras no verão e no inverno

	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	6,7	6,2	5,9	4,6	4,5	3,7	4,1	4,9	5,1	6,4	7,9	9,4
Inverno		-13,1	-13,1	-13,1	-14,1	-14,1	-15,1	-15,1	-15,1	-16,1	-16,1	-16,1	-16,1
Verão	Face N	6,9	5,4	5,1	3,8	2,7	2,9	2,3	2,1	3,3	3,6	5,1	6,6
Inverno		0,3	-0,7	-0,7	-1,7	-2,7	-2,7	-3,7	-4,7	-4,7	-5,7	-5,7	-5,7
Verão	Face W	14,2	14,8	12,9	11,1	11,0	10,2	9,6	9,4	9,6	9,9	11,4	11,9
Inverno		-6,2	-7,3	-6,1	-4,9	-4,9	-5,9	-6,9	-7,9	-8,9	-9,9	-9,9	-10,9
	Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face S	10,4	11,1	11,4	12,1	11,5	11,5	10,4	10,2	9,2	8,3	7,6	7,1
Inverno		-16,1	-16,1	-16,1	-15,1	-15,1	-14,1	-14,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
Verão	Face N	7,6	9,3	10,6	11,3	11,7	11,7	10,6	10,4	9,4	8,5	7,8	7,3
Inverno		-5,7	-4,7	-3,7	-2,7	-1,7	-0,7	-0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Verão	Face W	12,9	13,6	13,9	13,6	14,0	15,0	14,9	15,7	15,7	15,8	15,1	15,6
Inverno		-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-9,9	-7,9	-6,9	-4,9	-3,9	-2,9	-2,9	-1,9

Tabela 123 - Carga térmica de condução para as paredes da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	892	897	801	669	661	589	587	617	631	708	841	926
Inverno	-874	-919	-870	-868	-868	-956	-997	-1038	-1126	-1167	-1167	-1207
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1020	1083	1106	1130	1116	1159	1097	1124	1079	1041	978	972
Inverno	-1207	-1207	-1207	-1160	-1119	-990	-950	-821	-780	-739	-739	-699

Tabela 124 - Carga térmica de condução para as paredes da consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	368	355	345	309	306	283	296	318	323	361	404	445
Inverno	-673	-673	-673	-702	-702	-731	-731	-731	-759	-759	-759	-759
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Verão	476	496	504	525	507	507	474	470	442	416	396	381
Inverno	-759	-759	-759	-731	-731	-702	-702	-673	-673	-673	-673	-673

Tabela 125 - Carga térmica de condução para os vidros consulta de obras raras – Sala Paulo Prado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	-66	-343	-603	-654	-671	-637	-552	-206	207	655	1329	1793
Inverno	-3490	-3682	-3873	-3873	-3873	-3873	-3873	-3682	-3490	-3298	-2915	-2723
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	2382	2518	2761	2710	2399	2211	1797	1192	813	450	314	20
Inverno	-2339	-2339	-2148	-2148	-2339	-2339	-2531	-2915	-3106	-3298	-3298	-3490

Tabela 126 - Carga térmica de condução para os vidros consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	-39	-206	-362	-392	-403	-382	-331	-124	124	393	797	1076
Inverno	-2094	-2209	-2324	-2324	-2324	-2324	-2324	-2209	-2094	-1979	-1749	-1634
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1429	1511	1657	1626	1439	1327	1078	715	488	270	188	12
Inverno	-1404	-1404	-1289	-1289	-1404	-1404	-1519	-1749	-1864	-1979	-1979	-2094

Tabela 127 - CLF para construção H referente a área de consulta de obras raras (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Face S	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
Face W	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Face E	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Face N	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Face S	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
Face W	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Face E	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Face N	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela 128 - Carga térmica de radiação para a consulta de obras raras – Sala Paulo Prado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	1096	1008	921	877	833	1666	1973	2148	2411	2631	2850	3025
Inverno	656	604	551	525	499	997	1181	1286	1443	1575	1706	1811
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	3157	3157	3157	3069	3069	3288	2499	2017	1710	1491	1359	1228
Inverno	1890	1890	1890	1837	1837	1968	1496	1207	1024	892	814	735

Tabela 129 - Carga térmica de radiação para a consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	658	605	552	526	500	1000	1184	1289	1447	1578	1710	1815
Inverno	394	362	331	315	299	598	709	772	866	945	1024	1086
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	1894	1894	1894	1841	1841	1973	1499	1210	1026	894	815	737
Inverno	1134	1134	1134	1102	1102	1181	898	724	614	535	488	441

Tabela 130 - Perfil de CLF_{ele} para consulta de obras raras (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLFele	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,67	0,74	0,79	0,83
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLFele	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,33	0,26	0,21	0,17

Tabela 131 - Carga térmica total de iluminação da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	202	158	130	101	86	72	58	43	965	1066	1138	1195
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CT	1238	1282	1310	1339	1354	1368	1382	1397	475	374	302	245

Tabela 132 - Carga térmica total de iluminação da consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	108	84	69	54	46	38	31	23	515	568	607	637
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CT	660	684	699	714	722	730	737	745	253	200	161	131

Tabela 133 - Perfil CLFp para a consulta de obras raras (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLF	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,53	0,62	0,69	0,74
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,42	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17

Tabela 134 - Calor sensível e latente das pessoas da consulta de obras raras – Sala Paulo Prado

CT Sensível												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTs	20	17	14	13	12	10	9	8	69	81	90	96
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	100	104	108	111	113	116	55	44	36	30	26	22
CT Latente												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTl	0	0	0	0	0	0	0	0	110	110	110	110
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	110	110	110	110	110	110	110	110	0	0	0	0

Tabela 135 - Calor sensível e latente das pessoas da consulta de obras raras – Chefia e sala de digitação.

CT Sensível												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTs	49	42	36	33	29	26	23	20	172	202	224	241
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	250	260	270	276	283	289	137	111	91	75	65	55
CT Latente												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTl	0	0	0	0	0	0	0	0	275	275	275	275
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	275	275	275	275	275	275	275	275	0	0	0	0

ANEXO G – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DO CIRCULANTE

Serão apresentadas nesta seção as tabelas e gráficos detalhadas da carga térmica do circulante hora a hora.

Tabela 136 - Perfil de CLTD corrigido para cada face do circulante no verão e no inverno.

Hora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	6,7	6,2	5,9	4,6	4,5	3,7	4,1	4,9	5,1	6,4	7,9	9,4
Inverno		-13,1	-13,1	-13,1	-14,1	-14,1	-15,1	-15,1	-15,1	-16,1	-16,1	-16,1	-16,1
Verão	Face E	11,2	10,7	9,4	8,1	7,0	6,2	5,6	6,4	8,6	9,9	12,4	15,9
Inverno		-9,2	-9,2	-10,2	-11,2	-12,2	-13,2	-14,2	-14,2	-13,2	-13,2	-12,2	-10,2
Verão	Face W	14,2	13,7	12,4	11,1	11,0	10,2	9,6	9,4	9,6	9,9	11,4	11,9
Inverno		-6,2	-6,2	-7,2	-8,2	-8,2	-9,2	-10,2	-11,2	-12,2	-13,2	-13,2	-14,2
Hora		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	Face S	10,4	11,1	11,4	12,1	11,5	11,5	10,4	10,2	9,2	8,3	7,6	7,1
Inverno		-16,1	-16,1	-16,1	-15,1	-15,1	-14,1	-14,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
Verão	Face E	17,9	18,6	19,9	19,6	20,0	19,0	17,9	16,7	15,7	14,8	13,1	12,6
Inverno		-9,2	-9,2	-8,2	-8,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-8,2	-8,2
Verão	Face W	12,9	13,6	13,9	13,6	14,0	15,0	14,9	15,7	15,7	15,8	15,1	15,6
Inverno		-14,2	-14,2	-14,2	-14,2	-13,2	-11,2	-10,2	-8,2	-7,2	-6,2	-6,2	-5,2

Tabela 137 - Carga térmica de condução para as paredes do circulante.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	5312	5296	5246	5200	5197	5167	5147	5140	5146	5158	5213	5228
Inverno	-8296	-8296	-8332	-8369	-8369	-8405	-8441	-8478	-8514	-8550	-8550	-8587
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	5267	5293	5303	5293	5307	5344	5338	5369	5369	5373	5347	5364
Inverno	-8587	-8587	-8587	-8587	-8550	-8478	-8441	-8369	-8332	-8296	-8296	-8260

Tabela 138 - CLTD_{corr} para condução nos vidros do circulante (ASHRAE, 1985).

Hora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	Face S	-0,3	-1,8	-3,1	-3,4	-3,5	-3,3	-2,9	-1,1	1,1	3,4	6,9	9,4
Inverno		-18,2	-19,2	-20,2	-20,2	-20,2	-20,2	-20,2	-19,2	-18,2	-17,2	-15,2	-14,2
Verão	Face E	-0,8	-2,3	-3,6	-3,9	-4,0	-3,8	-3,4	-1,6	0,6	2,9	6,4	8,9
Inverno		-19,3	-21,4	-20,2	-18,0	-18,0	-18,0	-18,0	-17,0	-16,0	-15,0	-13,0	-12,0
Verão	Face W	-0,8	-2,3	-3,6	-3,9	-4,0	-3,8	-3,4	-1,6	0,6	2,9	6,4	8,9
Inverno		-19,3	-21,4	-20,2	-18,0	-18,0	-18,0	-18,0	-17,0	-16,0	-15,0	-13,0	-12,0
Hora		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Verão	Face S	12,4	13,1	14,4	14,1	12,5	11,5	9,4	6,2	4,2	2,3	1,6	0,1
Inverno		-12,2	-12,2	-11,2	-11,2	-12,2	-12,2	-13,2	-15,2	-16,2	-17,2	-17,2	-18,2
Verão	Face E	11,9	12,6	13,9	13,6	12,0	11,0	8,9	5,7	3,7	1,8	1,1	-0,4
Inverno		-10,0	-10,0	-9,0	-9,0	-10,0	-10,0	-11,0	-13,0	-14,0	-15,0	-15,0	-16,0
Verão	Face W	11,9	12,6	13,9	13,6	12,0	11,0	8,9	5,7	3,7	1,8	1,1	-0,4
Inverno		-10,0	-10,0	-9,0	-9,0	-10,0	-10,0	-11,0	-13,0	-14,0	-15,0	-15,0	-16,0

Tabela 139 - Carga térmica de condução para os vidros do circulante.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	422	-1202	-2726	-3026	-3126	-2926	-2426	-401	2023	4648	8597	11321
Inverno	-21964	-23170	-24129	-23963	-23963	-23963	-23963	-22839	-21715	-20591	-18343	-17219
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	14770	15570	16995	16695	14870	13770	11345	7796	5572	3447	2647	923
Inverno	-14971	-14971	-13847	-13847	-14971	-14971	-16095	-18343	-19467	-20591	-20591	-21715

Tabela 140 - CLF para construção H referente ao circulante (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Face S	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,38	0,45	0,49	0,55	0,60	0,65	0,69
Face W	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16
Face E	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,20	0,34	0,45	0,49	0,49	0,43	0,36
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Face S	0,72	0,72	0,72	0,70	0,70	0,75	0,57	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28
Face W	0,21	0,30	0,40	0,49	0,54	0,52	0,38	0,30	0,24	0,21	0,18	0,16
Face E	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10

Tabela 141 - Carga térmica de radiação para o circulante

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	7135	6574	6013	5692	5371	10008	11768	12809	14329	15528	16809	17849
Inverno	4605	4245	3886	3670	3453	6253	7331	7977	8911	9629	10419	11066
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	18976	19709	20524	20777	21185	22221	16764	13475	11307	9864	8900	8018
Inverno	11860	12513	13239	13606	13969	14541	10941	8781	7341	6405	5757	5181

Tabela 142 - Carga térmica total através do terraço para o circulante

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	7279	6417	5587	4788	4405	3763	3215	3145	3200	3318	3851	4353
Inverno	-1057	-1762	-2467	-3171	-3524	-4228	-4933	-5286	-5638	-5990	-5990	-5990

Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	5082	6037	7188	7799	8637	8996	9293	9590	9245	8932	8329	7788
Inverno	-5638	-4933	-3876	-3171	-2114	-1409	-705	0	0	0	-352	-705

Tabela 143 - Perfil de CLF_{ele} para o circulante (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLFele	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,67	0,74	0,79	0,83
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLFele	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,33	0,26	0,21	0,17

Tabela 144 - Carga térmica total de iluminação do circulante.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	3120	2451	2006	1560	1337	1114	891	669	14930	16490	17604	18496
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CT	19164	19833	20278	20724	20947	21170	21393	21615	7354	5794	4680	3788

Tabela 145 - Perfil CLF_p para o circulante (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLF	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,55	0,64	0,70	0,75	0,79
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,45	0,36	0,30	0,25	0,21

Tabela 146 - Calor sensível e latente das pessoas no circulante.

CT Sensível												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTs	1502	1265	1107	949	870	711	632	4348	5059	5534	5929	6245
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	6403	6640	6798	6956	7035	7194	7273	3557	2846	2372	1976	1660
CT Latente												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTI	0	0	0	0	0	0	0	0	7905	7905	7905	7905
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	7905	7905	7905	7905	7905	7905	7905	7905	0	0	0	0

ANEXO H – TABELAS DA CARGA TÉRMICA DAS SALAS DOS PESQUISADORES

Serão apresentadas nesta seção as tabelas e gráficos detalhados da carga térmica das salas dos pesquisadores.

Tabela 147 - Carga térmica de condução para as salas dos pesquisadores (paredes e teto).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verão	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509
Inverno	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Verão	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509
Inverno	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458	-458

Tabela 148 - Perfil de CLF_{ele} para as salas de reunião (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLFele	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,67	0,74	0,79	0,83
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLFele	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,33	0,26	0,21	0,17

Tabela 149 - Carga térmica total de iluminação das salas de reunião.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CT	27	21	17	13	12	10	8	6	129	142	152	159
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CT	165	171	175	179	180	182	184	186	63	50	40	33

Tabela 150 - Perfil CLF_p das salas de reunião (ASHRAE, 1985).

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLF	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,53	0,62	0,69	0,74
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLF	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,42	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17

Tabela 151 - Calor sensível e latente das salas de reunião.

CT Sensível												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTs	10	8	7	7	6	5	5	4	34	40	45	48
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	50	52	54	55	57	58	27	22	18	15	13	11
CT Latente												
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CTl	0	0	0	0	0	0	0	0	55	55	55	55
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CTs	55	55	55	55	55	55	55	55	0	0	0	0

Gráfico 27 - Carga térmica total de verão das 16 salas de reunião.

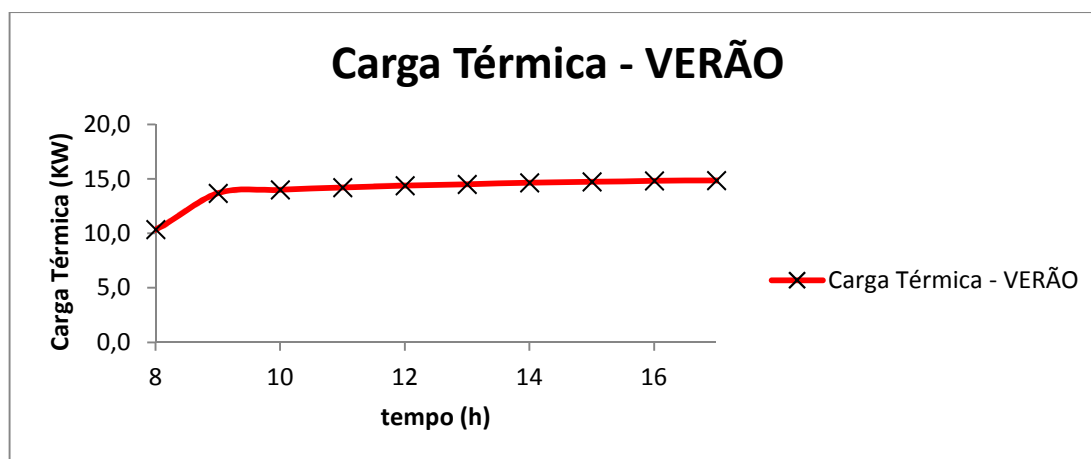
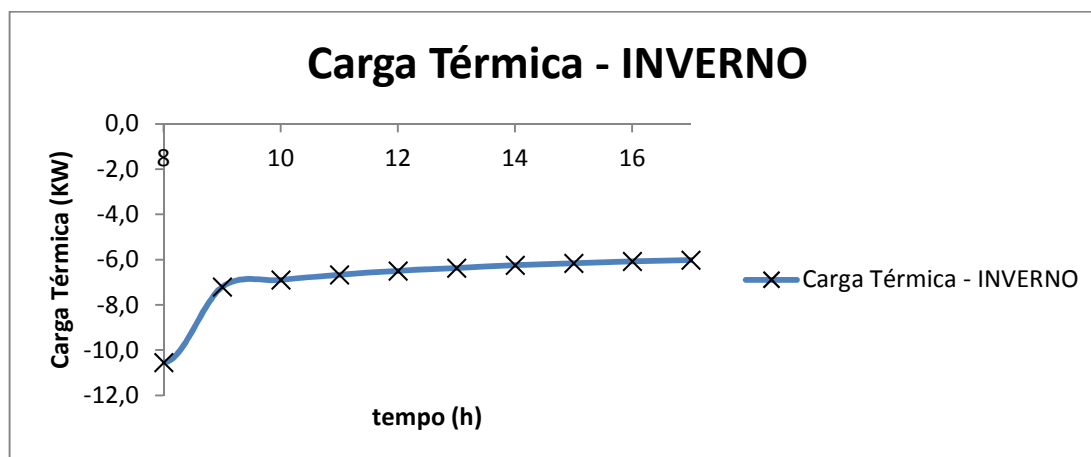


Gráfico 28 - Carga térmica total de inverno das 16 salas de reunião.



ANEXO I – SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E CATÁLOGOS

Nesta seção serão apresentadas os catálogos de seleção dos equipamentos dos sistemas de climatização do acervo e da área circulante.

- Zona Térmica atendida: 1º, 2º e 3º andar.

Geral

Série : Eclipse YM
 Modelo : YM 3
 Pressão = 92,6 kPa
 Altitude = 715,00 m
 Posição : Vertical H1
 Lado Hidráulica : Direita
 Peso Total: = 468 kg
 Embalagem : Nacional

Códigos dos Módulos

Caixa Mistura : YM03MCA1B3CRB
 Trocador : YM03TCZDD0A3ZB
 Ventilador : YM03VBADABAYBR
 Pós Filtro : YM03ADCB

Filtros - Conforme NBR 16401

Filtro Grosso - G4 descartável 2"
 NBR 6401 (antiga) : G4
 EUROVENT: EU4
 CEN EN779: G4
 ASHRAE 52.2: MERV 6
 Filtro Finos: F8 Filtro bolsa
 NBR 6401 (antiga) : F3
 EUROVENT: EU7
 CEN EN779: F8
 ASHRAE 52.2: MERV 13-16

Resfriamento

Dados Entrada Ar
 Vazão Volumétrica = 1775,0 m³/h
 Tbs = 21,5 °C
 Tbu = 14,7 °C
 Ur = 49,3 %
 Dados Entrada Fluido
 Fluido : Água
 Teor = 0,0 %
 Vazão Volumétrica = 2,1 m³/h
 Temperatura = 5,0 °C
 Dados Saída Ar
 Tbs = 14,4 °C
 Tbu = 9,8 °C
 Ur = 56,9 %
 Velocidade Face = 2,31 m/s
 Dados Saída Fluido

Temperatura = 7,9 °C
 Velocidade Fluido = 2,34 m/s
 Perda Carga Fluido = 13,948 mca

Serpentina Resfriamento

Tubo : 1/2" Cobre
 Aleta : Alumínio
 D int = 12,45 mm
 D exp = 13,15 mm
 Esp Tubo = 0,35 mm
 Esp Aleta = 0,14 mm
 FPI = 8/pol
 Área de Face = 0,21 m²
 Comprimento Aletado = 0,56 m
 Velocidade Face = 2,31 m/s
 Carga Térmica = 2,0 TR
 Calor Latente = 0,9 TR
 Calor Sensível = 1,1 TR
 F Incrustação = 0,0440 m².K/kW
 Número Fileiras = 3
 Número Circuito = 2
 Número Tubos = 12
 Conexão = 1 "

Perdas de Carga Ar

Caixa de Mistura = 3,0 mmH2O
 Trocador = 5,3 mmH2O
 Resistência = 0,0 mmH2O
 Filtro Grosso = 10,0 mmH2O
 Pós Filtro = 27,0 mmH2O
 Externa = 40,0 mmH2O
 Total = 85,3 mmH2O

Ventilador : Limit Load

Modelo : LMD-250Q
 Rotação = 3505 rpm
 Vel Descarga = 9,41 m/s
 Motor = 1,5 CV
 Número Polos : 2
 Polia : AY
 Tipo Motor : Alto Rendimento IEC
 Frequência : 60 Hz
 Tensão : 380 V
 Partida : Direta
 Tensão Motor : 220/380V

- Zona Térmica atendida: 4º ao 7º andar (uma máquina por andar).

Geral

Série	: Eclipse YM
Modelo	: YM 2
Pressão	= 92,6 kPa
Altitude	= 715,00 m
Posição	: Vertical H1
Lado Hidráulica	: Direita
Peso Total:	= 461 kg
Embalagem	: Nacional

Códigos dos Módulos

Caixa Mistura	: YM02MCA2B4CRB
Trocador	: YM02TCZHD0A3ZB
Ventilador	: YM02VBACABAMBL
Pós Filtro	: YM02ADCB

Filtros - Conforme NBR 16401

Filtro Grosso - G4 descartável 2"
NBR 6401 (antiga) : G4
EUROVENT: EU4
CEN EN779: G4
ASHRAE 52.2: MERV 6
Filtro Finos: F8 Filtro bolsa
NBR 6401 (antiga) : F3
EUROVENT: EU7
CEN EN779: F8
ASHRAE 52.2: MERV 13-16

Resfriamento

Dados Entrada Ar
Vazão Volumétrica = 1030,0 m³/h
Tbs = 21,1 °C
Tbu = 13,8 °C
Ur = 45,2 %
Dados Entrada Fluido
Fluido : Água
Teor = 0,0 %
Vazão Volumétrica = 1,3 m³/h
Temperatura = 5,0 °C
Dados Saída Ar
Tbs = 8,6 °C
Tbu = 7,1 °C
Ur = 81,9 %
Velocidade Face = 1,80 m/s

Dados Saída Fluido

Temperatura	= 8,5 °C
Velocidade Fluido	= 0,96 m/s
Perda Carga Fluido	= 2,267 mca

Serpentina Resfriamento

Tubo	: 1/2" Cobre
Aleta	: Alumínio
D int	= 12,45 mm
D exp	= 13,15 mm
Esp Tubo	= 0,35 mm
Esp Aleta	= 0,14 mm
FPI	= 8/pol
Área de Face	= 0,16 m²
Comprimento Aletado	= 0,50 m
Velocidade Face	= 1,80 m/s
Carga Térmica	= 1,5 TR
Calor Latente	= 0,3 TR
Calor Sensível	= 1,1 TR
F Incrustação	= 0,0440 m².K/kW
Número Fileiras	= 6
Número Circuito	= 3
Número Tubos	= 10
Conexão	= 1 "

Perdas de Carga Ar

Caixa de Mistura	= 2,1 mmH ₂ O
Trocador	= 6,9 mmH ₂ O
Resistência	= 0,0 mmH ₂ O
Filtro Grosso	= 10,0 mmH ₂ O
Pós Filtro	= 27,0 mmH ₂ O
Externa	= 50,0 mmH ₂ O
Total	= 95,9 mmH ₂ O

Ventilador : Limit Load

Modelo	: LMD-224Q
Rotação	= 3493 rpm
Vel Descarga	= 6,80 m/s
Motor	= 1,00 CV
Número Polos	: 2
Polia	: AM
Tipo Motor	: Alto Rendimento IEC
Frequência	: 60 Hz
Tensão	: 380 V
Partida	: Direta
Tensão Motor	: 220/380V

- Zona Térmica atendida: 8° ao 22° andar (uma máquina por andar).

Geral

Série : Eclipse YM
 Modelo : YM 2
 Pressão = 694,7 mmHg
 Altitude = 715,00 m
 Posição : Vertical H1
 Lado Hidráulica : Direita
 Peso Total: = 461 kg
 Embalagem : Nacional

Códigos dos Módulos

Caixa Mistura : YM02MCA2B3CRB
 Trocador : YM02TCZHD0A3ZB
 Ventilador : YM02VBACABAMBL
 Pós Filtro : YM02ADCB

Filtros - Conforme NBR 16401

Filtro Grosso - G4 descartável 2"
 NBR 6401 (antiga) : G4
 EUROVENT: EU4
 CEN EN779: G4
 ASHRAE 52.2: MERV 6
 Filtro Finos: F8 Filtro bolsa
 NBR 6401 (antiga) : F3
 EUROVENT: EU7
 CEN EN779: F8
 ASHRAE 52.2: MERV 13-16

Resfriamento

Dados Entrada Ar
 Vazão Volumétrica = 1174,0 m³/h
 Tbs = 21,6 °C
 Tbu = 14,3 °C
 Ur = 46,3 %
 Dados Entrada Fluido
 Fluido : Água
 Teor = 0,0 %
 Vazão Volumétrica = 1,3 m³/h
 Temperatura = 5,0 °C
 Dados Saída Ar
 Tbs = 9,3 °C
 Tbu = 7,7 °C
 Ur = 80,6 %
 Velocidade Face = 2,05 m/s
 Dados Saída Fluido

Temperatura = 9,0 °C
 Velocidade Fluido = 0,96 m/s
 Perda Carga Fluido = 2,267 mca

Serpentina Resfriamento

Tubo : 1/2" Cobre
 Aleta : Alumínio
 D int = 12,45 mm
 D exp = 13,15 mm
 Esp Tubo = 0,35 mm
 Esp Aleta = 0,14 mm
 FPI = 8/pol
 Área de Face = 0,16 m²
 Comprimento Aletado = 0,50 m
 Velocidade Face = 2,05 m/s
 Carga Térmica = 1,7 TR
 Calor Latente = 0,4 TR
 Calor Sensível = 1,3 TR
 F Incrustação = 0,0440 m². K/kW
 Número Fileiras = 6
 Número Circuito = 3
 Número Tubos = 10
 Conexão = 1 "

Perdas de Carga Ar

Caixa de Mistura = 2,5 mmH₂O
 Trocador = 8,4 mmH₂O
 Resistência = 0,0 mmH₂O
 Filtro Grosso = 10,0 mmH₂O
 Pós Filtro = 27,0 mmH₂O
 Externa = 40,0 mmH₂O
 Total = 87,9 mmH₂O

Ventilador : Limit Load

Modelo : LMD-224Q
 Rotação = 3473 rpm
 Vel Descarga = 7,76 m/s
 Motor = 1,00 CV
 Número Polos : 2
 Polia : AM
 Tipo Motor : Alto Rendimento IEC
 Frequência : 60 Hz
 Tensão : 380 V
 Partida : Direta
 Tensão Motor : 220/380V

- Zona Térmica atendida: 23º andar.

Geral

Série	: Eclipse YM
Modelo	: YM 4
Pressão	= 92,6 kPa
Altitude	= 715,00 m
Posição	: Vertical H1
Lado Hidráulica	: Direita
Peso Total:	= 506 kg
Embalagem	: Nacional

Códigos dos Módulos

Caixa Mistura	: YM04MCA2B3CRB
Trocador	: YM04TCZAD0A3ZB
Ventilador	: YM04VBADABBCBL
Pós Filtro	: YM04ADCB

Filtros - Conforme NBR 16401

Filtro Grosso - G4 descartável 2"

NBR 6401 (antiga) : G4

EUROVENT: EU4

CEN EN779: G4

ASHRAE 52.2: MERV 6

Filtro Finos: F8 Filtro bolsa

NBR 6401 (antiga) : F3

EUROVENT: EU7

CEN EN779: F8

ASHRAE 52.2: MERV 13-16

Resfriamento

Dados Entrada Ar

Vazão Volumétrica = 2299,0 m³/h

Tbs = 21,2 oC

Tbu = 13,9 oC

Ur = 45,5 %

Dados Entrada Fluido

Fluido : Água

Teor = 0,0 %

Vazão Volumétrica = 2,4 m³/h

Temperatura = 5,0 oC

Dados Saída Ar

Tbs = 14,0 oC

Tbu = 9,8 oC

Ur = 60,6 %

Velocidade Face = 2,12 m/s

Dados Saída Fluido

Temperatura = 7,6 oC

Velocidade Fluido = 0,78 m/s

Perda Carga Fluido = 0,568 mca

Serpentina Resfriamento

Tubo : 1/2" Cobre

Aleta : Alumínio

D int = 12,45 mm

D exp = 13,15 mm

Esp Tubo = 0,35 mm

Esp Aleta = 0,14 mm

FPI = 8/pol

Área de Face = 0,30 m²

Comprimento Aletado = 0,68 m

Velocidade Face = 2,12 m/s

Carga Térmica = 2,1 TR

Calor Latente = 0,6 TR

Calor Sensível = 1,5 TR

F Incrustação = 0,0440 m². K/kW

Número Fileiras = 3

Número Circuito = 7

Número Tubos = 14

Conexão = 1-1/2"

Perdas de Carga Ar

Caixa de Mistura = 3,2 mmH₂O

Trocador = 4,6 mmH₂O

Resistência = 0,0 mmH₂O

Filtro Grosso = 10,0 mmH₂O

Pós Filtro = 27,0 mmH₂O

Externa = 50,0 mmH₂O

Total = 94,9 mmH₂O

Ventilador : Limit Load

Modelo : LMD-315Q

Rotação = 2542 rpm

Vel Descarga = 7,68 m/s

Motor = 1,5 CV

Número Polos : 2

Polia : BC

Tipo Motor : Alto Rendimento IEC

Frequência : 60 Hz

Tensão : 380 V

Partida : Direta

Tensão Motor : 220/380V

- Zona Térmica atendida: Mapoteca.

Geral

Série : Eclipse YM
 Modelo : YM 4
 Pressão = 92,6 kPa
 Altitude = 715,00 m
 Posição : Vertical H1
 Lado Hidráulica : Direita
 Peso Total: = 516 kg
 Embalagem : Nacional

Códigos dos Módulos

Caixa Mistura : YM04MCA2B3BRB
 Trocador : YM04TCZED0ZZZB
 Ventilador : YM04VBAEABECBL
 Pós Filtro : YM04ADAB

Filtros - Conforme NBR 16401

Filtro Grosso - G4 descartável 1"
 NBR 6401 (antiga) : G4
 EUROVENT: EU4
 CEN EN779: G4
 ASHRAE 52.2: MERV 6
 Filtro Finos: F5 Filtro bolsa
 NBR 6401 (antiga) : F1
 EUROVENT: EU5
 CEN EN779: F5
 ASHRAE 52.2: MERV 7-11

Resfriamento

Dados Entrada Ar
 Vazão Volumétrica = 2226,0 m³/h
 Tbs = 24,0 °C
 Tbu = 18,5 °C
 Ur = 59,7 %
 Dados Entrada Fluido
 Fluido : Água
 Teor = 0,0 %
 Vazão Volumétrica = 2,7 m³/h
 Temperatura = 6,0 °C
 Dados Saída Ar
 Tbs = 11,5 °C
 Tbu = 9,8 °C
 Ur = 82,5 %
 Velocidade Face = 2,05 m/s

Dados Saída Fluido

Temperatura = 11,2 °C
 Velocidade Fluido = 0,88 m/s
 Perda Carga Fluido = 1,464 mca

Serpentina Resfriamento

Tubo : 1/2" Cobre
 Aleta : Alumínio
 D int = 12,45 mm
 D exp = 13,15 mm
 Esp Tubo = 0,35 mm
 Esp Aleta = 0,14 mm
 FPI = 8/pol
 Área de Face = 0,30 m²
 Comprimento Aletado = 0,68 m
 Velocidade Face = 2,05 m/s
 Carga Térmica = 4,6 TR
 Calor Latente = 2,2 TR
 Calor Sensível = 2,4 TR
 F Incrustação = 0,0440 m².K/kW
 Número Fileiras = 6
 Número Circuito = 7
 Número Tubos = 14
 Conexão = 1-1/2"

Perdas de Carga Ar

Caixa de Mistura = 2,0 mmH₂O
 Trocador = 8,4 mmH₂O
 Filtro Grosso = 10,0 mmH₂O
 Pós Filtro = 22,0 mmH₂O
 Externa = 60,0 mmH₂O
 Total = 102,4 mmH₂O

Ventilador : Limit Load

Modelo : LMD-315Q
 Rotação = 2623 rpm
 Vel Descarga = 7,44 m/s
 Motor = 2,0 CV
 Número Polos : 2
 Polia : EC
 Tipo Motor : Alto Rendimento IEC
 Frequência : 60 Hz
 Tensão : 380 V
 Partida : Direta
 Tensão Motor : 220/380V

- Zona Térmica atendida: Consulta de obras raras

Geral

Série : Eclipse YM
 Modelo : YM 5
 Pressão = 694.7 mmHg
 Altitude = 715.00 m
 Posição : Vertical V2
 Lado Hidráulica : Direita
 Peso Total: = 524 kg
 Embalagem : Nacional

Códigos dos Módulos

Caixa Mistura : YM05MDA2B3ZRB
 Filtro Finos : YM05FCBFRB
 Trocador : YM05TDZLD0ZZB
 Ventilador : YM05VBEEABDRBR

Filtros - Conforme NBR 16401

Filtro Grosso - G4 descartável 1"
 NBR 6401 (antiga) : G4
 EUROVENT: EU4
 CEN EN779: G4
 ASHRAE 52.2: MERV 6
 Filtro Finos: F5 Filtro bolsa
 NBR 6401 (antiga) : F1
 EUROVENT: EU5
 CEN EN779: F5
 ASHRAE 52.2: MERV 7-11

Resfriamento

Dados Entrada Ar
 Vazão Volumétrica = 2812.0 m³/h
 Tbs = 24.0 oC
 Tbu = 18.5 oC
 Ur = 59.7 %
 Dados Entrada Fluido
 Fluido : Água
 Teor = 0.0 %
 Vazão Volumétrica = 2.7 m³/h
 Temperatura = 6.0 oC
 Dados Saída Ar
 Tbs = 11.6 oC
 Tbu = 10.0 oC
 Ur = 83.0 %
 Velocidade Face = 2.07 m/s

Dados Saída Fluido

Temperatura = 12.4 oC
 Velocidade Fluido = 1.03 m/s
 Perda Carga Fluido = 2.875 mca

Serpentina Resfriamento

Tubo : 1/2" Cobre
 Aleta : Alumínio
 D int = 12.45 mm
 D exp = 13.15 mm
 Esp Tubo = 0.35 mm
 Esp Aleta = 0.14 mm
 FPI = 8/pol
 Área de Face = 0.38 m²
 Comprimento Aletado = 0.74 m
 Velocidade Face = 2.07 m/s
 Carga Térmica = 5.8 TR
 Calor Latente = 2.7 TR
 Calor Sensível = 3.0 TR
 F Incrustação = 0.0440 m².K/kW
 Número Fileiras = 6
 Número Circuito = 6
 Número Tubos = 16
 Conexão = 1-1/4"

Perdas de Carga Ar

Caixa de Mistura = 2.1 mmH₂O
 Trocador = 8.5 mmH₂O
 Filtro Grosso = 10.0 mmH₂O
 Pré Filtro = 22.0 mmH₂O
 Externa = 60.0 mmH₂O
 Total = 102.6 mmH₂O

Ventilador : Limit Load

Modelo : LMD-355Q
 Rotação = 2336 rpm
 Vel Descarga = 9.74 m/s
 Motor = 2.0 CV
 Número Polos : 2
 Polia : DR
 Tipo Motor : Alto Rendimento IEC
 Frequência : 60 Hz
 Tensão : 380 V
 Partida : Direta
 Tensão Motor : 220/380V

- Zona Térmica atendida: Circulante.

Geral

Série	: Eclipse YM
Modelo	: YM 50
Pressão	= 694.7 mmHg
Altitude	= 715.00 m
Posição	: Vertical H1
Lado Hidráulica	: Direita
Peso Total:	= 2558 kg
Embalagem	: Nacional

Códigos dos Módulos

Caixa Mistura	: YM50MCA2B3BRB
Trocador	: YM50TCZDD0ZZZB
Ventilador	: YM50VBAQABDVBL
Pós Filtro	: YM50ADAB

Filtros - Conforme NBR 16401

Filtro Grosso - G4 descartável 1"
NBR 6401 (antiga) : G4
EUROVENT: EU4
CEN EN779: G4
ASHRAE 52.2: MERV 6
Filtro Finos: F5 Filtro bolsa
NBR 6401 (antiga) : F1
EUROVENT: EU5
CEN EN779: F5
ASHRAE 52.2: MERV 7-11

Resfriamento

Dados Entrada Ar
Vazão Volumétrica = 31198.0 m ³ /h
Tbs = 22.7 oC
Tbu = 17.4 oC
Ur = 60.0 %
Dados Entrada Fluido
Fluido : Água
Teor = 0.0 %
Vazão Volumétrica = 26.6 m ³ /h
Temperatura = 6.0 oC
Dados Saída Ar
Tbs = 12.1 oC
Tbu = 10.3 oC
Ur = 81.3 %
Velocidade Face = 2.55 m/s

Dados Saída Fluido

Temperatura	= 12.0 oC
Velocidade Fluido	= 1.06 m/s
Perda Carga Fluido	= 2.565 mca

Serpentina Resfriamento

Tubo	: 1/2" Cobre
Aleta	: Alumínio
D int	= 12.45 mm
D exp	= 13.15 mm
Esp Tubo	= 0.35 mm
Esp Aleta	= 0.14 mm
FPI	= 8/pol
Área de Face	= 3.40 m ²
Comprimento Aletado	= 2.82 m
Velocidade Face	= 2.55 m/s
Carga Térmica	= 52.6 TR
Calor Latente	= 23.7 TR
Calor Sensível	= 28.9 TR
F Incrustação	= 0.0440 m ² .K/kW
Número Fileiras	= 6
Número Circuito	= 57
Número Tubos	= 38
Conexão	= 2-1/2"

Perdas de Carga Ar

Caixa de Mistura	= 4.3 mmH ₂ O
Trocador	= 11.9 mmH ₂ O
Filtro Grosso	= 10.0 mmH ₂ O
Pós Filtro	= 22.0 mmH ₂ O
Externa	= 100.0 mmH ₂ O
Total	= 148.2 mmH ₂ O

Ventilador : Limit Load

Modelo	: 2XRLD-500Q
Rotação	= 1998 rpm
Vel Descarga	= 11.55 m/s
Motor	= 30.0 CV
Número Polos	: 2
Polia	: DV
Tipo Motor	: Alto Rendimento IEC
Frequência	: 60 Hz
Tensão	: 380 V
Partida	: Direta
Tensão Motor	: 220/380V

As dimensões de cada equipamento estão apresentadas a seguir.

- Zona Térmica atendida: 1º, 2º e 3º andar.

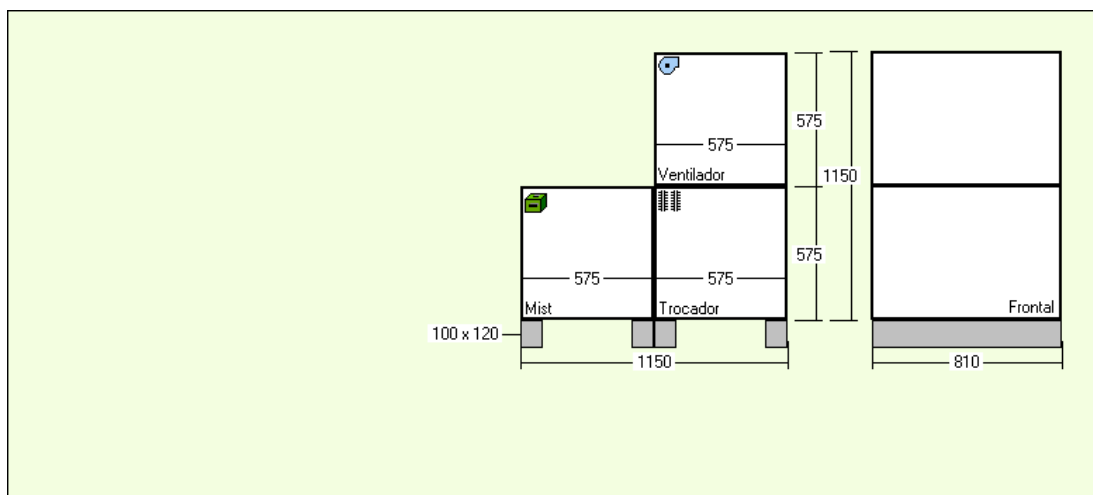


Figura 46 - Dimensões - modelo YM3

- Zona Térmica atendida: 4º ao 7º andar (uma máquina por andar).

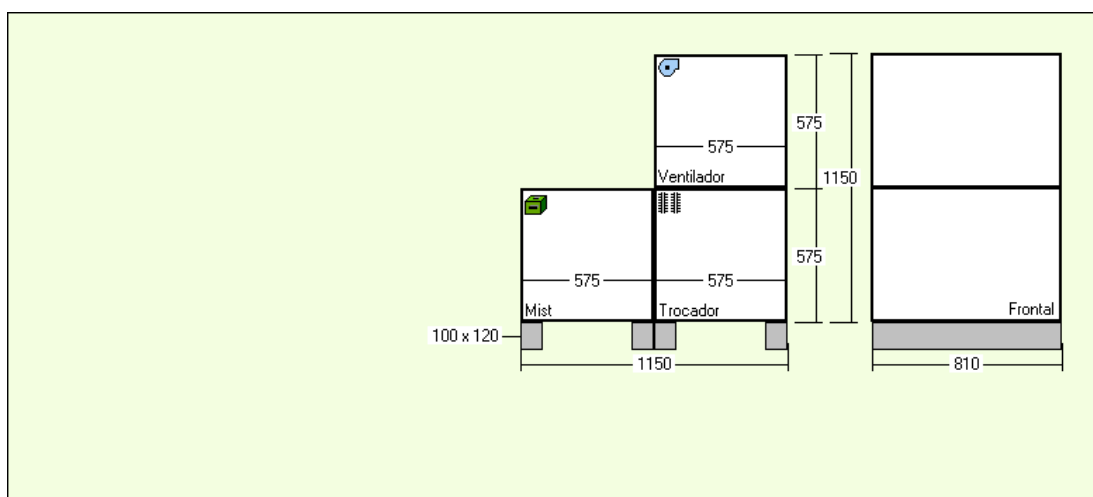


Figura 47 - Dimensões - modelo YM2

- Zona Térmica atendida: 8° ao 22° andar (uma máquina por andar).

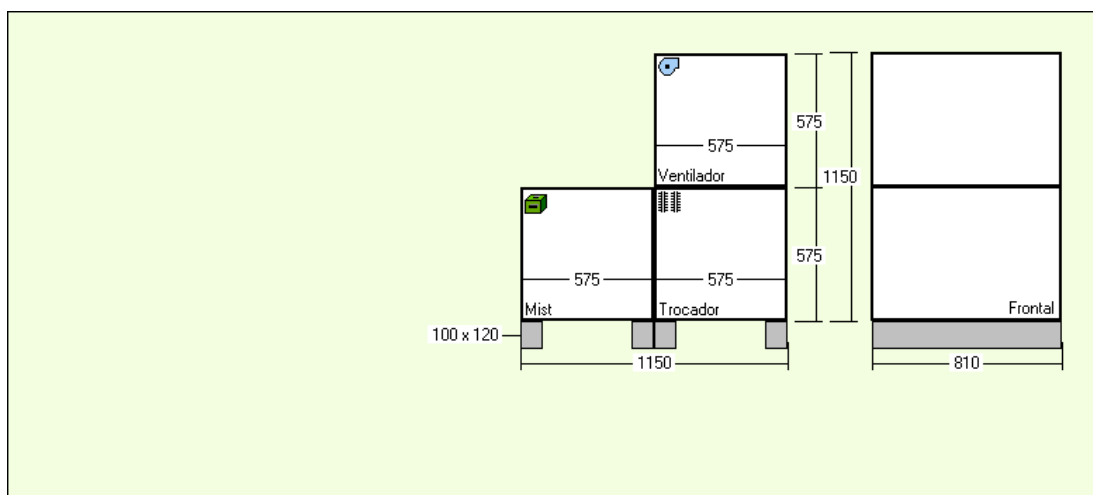


Figura 48 - Dimensões - modelo YM2.

- Zona Térmica atendida: 23° andar.

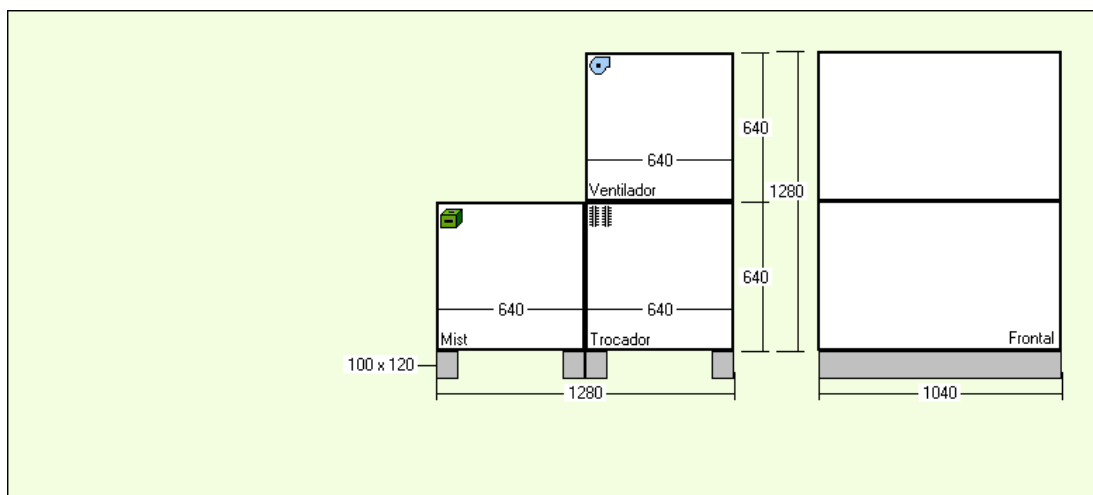


Figura 49 - Dimensões - modelo YM4.

- Zona Térmica atendida: Mapoteca.

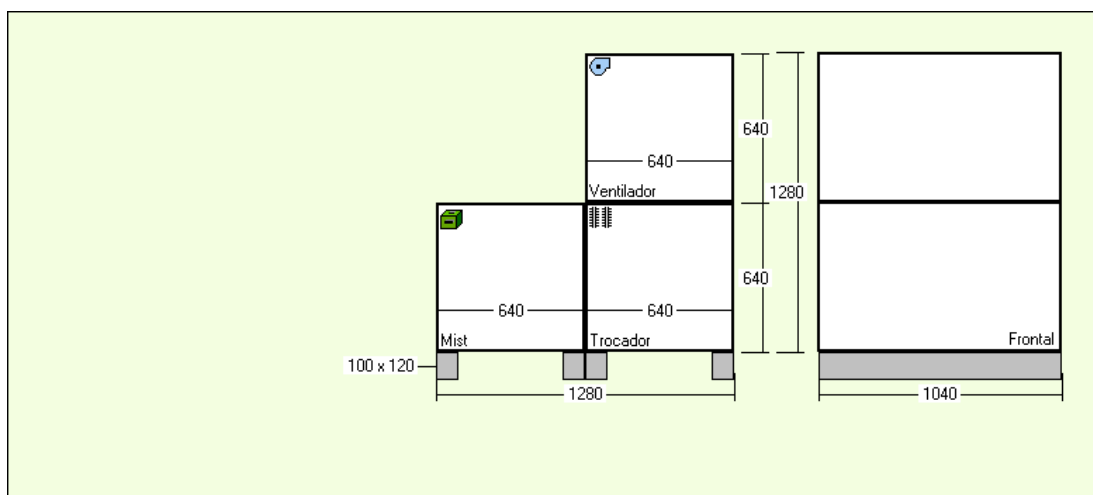


Figura 50 - Dimensões - modelo YM4.

- Zona Térmica atendida: Consulta de obras raras.

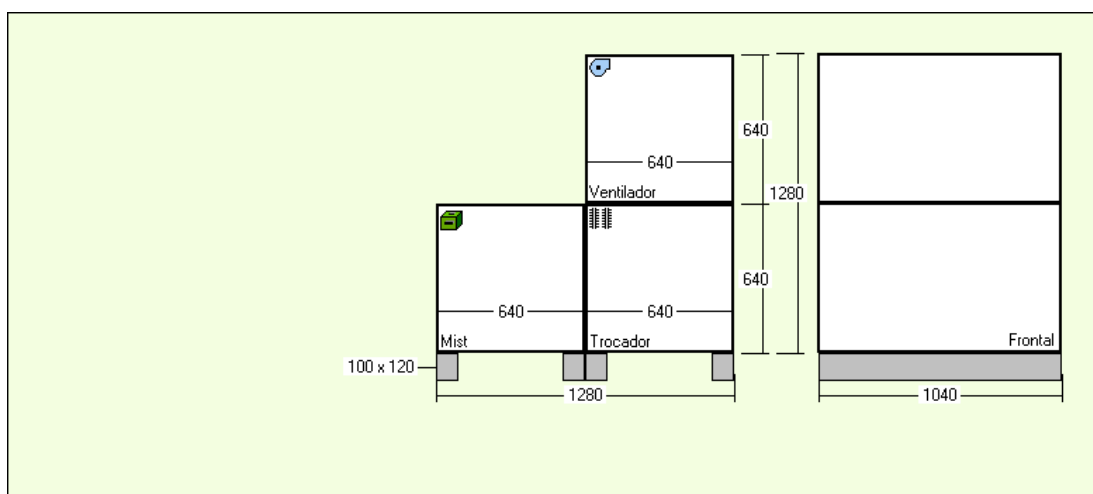


Figura 51 - Dimensões - modelo YM5.

- Zona Térmica atendida: Circulante.

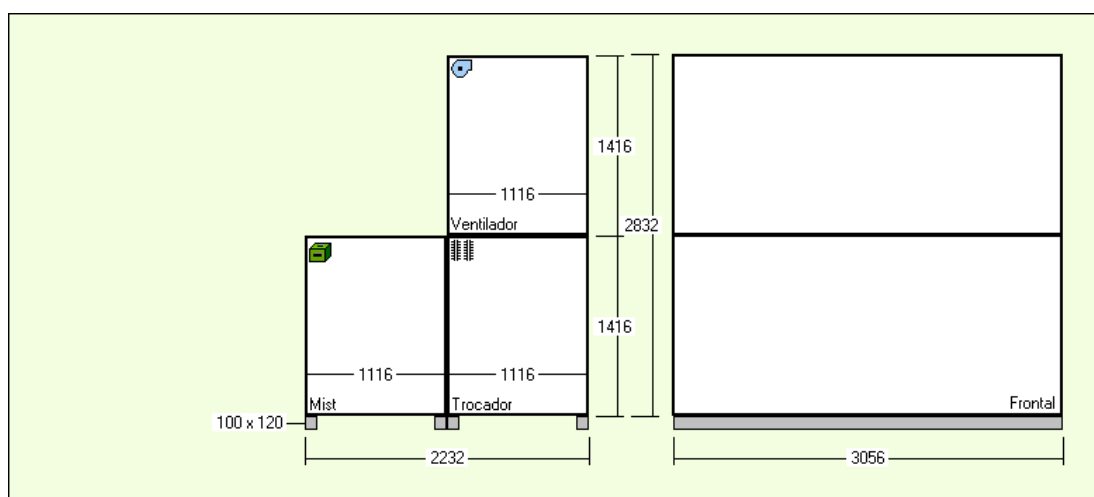


Figura 52 - Dimensões - modelo YM50.

As Figura 53, Figura 54 e Figura 55 foram obtidas do catálogo da Carrier para “fancoletes” hidrônicos do tipo cassete e *hi-wall*.

40HK10										
EWT	Δt	Condição de entrada de ar no evaporador								
		DB: 26,7 WB: 19,4				DB: 27,0 WB: 18,0				TC
		TC	SC	WF	WPD	TC	SC	WF	WPD	
5	3	3.82	2.30	1.10	63.1	3.51	2.53	1.01	53.1	3.74
	4	3.68	2.23	0.79	32.8	3.38	2.45	0.73	27.7	3.61
	5	3.52	2.16	0.60	19.2	3.22	2.40	0.55	16.1	3.45
	6	3.36	2.10	0.48	12.2	3.06	2.32	0.44	10.1	3.29
	7	3.19	2.00	0.39	8.1	2.89	2.26	0.36	6.6	3.12
6	3	3.61	2.21	1.03	56.2	3.29	2.44	0.94	46.7	3.52
	4	3.46	2.13	0.74	29.2	3.14	2.36	0.67	23.9	3.38
	5	3.29	2.06	0.57	16.9	3.00	2.29	0.52	14.0	3.23
	6	3.14	2.00	0.45	10.6	2.84	2.22	0.41	8.7	3.06
	7	2.97	1.90	0.37	7.0	2.66	2.16	0.33	5.6	2.90

Correção da capacidade pela velocidade de insuflamento - REFRIGERAÇÃO

Velocidade de insuflamento	40HK10		40HK12		40HK16	
	TC	SC	TC	SC	TC	SC
Alta	1	1	1	1	1	1
Média	0.86	0.82	0.86	0.81	0.8	0.76
Baixa	0.72	0.7	0.72	0.69	0.68	0.64

LEGENDA:
 EWT: Temperatura de Entrada de Água (°C)
 Δt : Diferença de Temperatura (°C)
 TC: Capacidade Total de Refrigeração (kW)
 SC: Capacidade de Refrigeração Sensível (kW)
 WF: Vazão de Água (m³/h)
 WPD: Queda de Pressão Lado Água (kPa)
 DB: Temperatura de Bulbo Seco (°C)
 WB: Temperatura de Bulbo Úmido (°C)

Figura 53 - Recorte do catálogo do modelo cassete hidrônico da Carrier - Modelo 40HK10 para Sala de Artes.

40HK16										
EWT	Δt	Condição de entrada de ar no evaporador								
		DB: 26,7 WB: 19,4				DB: 27,0 WB: 18,0				TC
		TC	SC	WF	WPD	TC	SC	WF	WPD	
5	3	5.73	3.45	1.64	72.2	5.26	3.80	1.51	60.7	5.62
	4	5.51	3.35	1.19	37.5	5.06	3.68	1.09	31.7	5.42
	5	5.27	3.23	0.91	22.0	4.82	3.60	0.83	18.4	5.17
	6	5.04	3.14	0.72	13.9	4.59	3.47	0.66	11.6	4.94
	7	4.79	2.99	0.59	9.3	4.34	3.39	0.53	7.6	4.68
6	3	5.41	3.32	1.55	64.2	4.93	3.66	1.41	53.3	5.29
	4	5.19	3.20	1.12	33.3	4.71	3.54	1.01	27.4	5.07
	5	4.94	3.08	0.85	19.3	4.49	3.44	0.77	16.0	4.84
	6	4.71	2.99	0.67	12.2	4.26	3.32	0.61	10.0	4.60
	7	4.46	2.86	0.55	8.0	3.99	3.24	0.49	6.4	4.35

Correção da capacidade pela velocidade de insuflamento - REFRIGERAÇÃO

Velocidade de insuflamento	40HK10		40HK12		40HK16	
	TC	SC	TC	SC	TC	SC
Alta	1	1	1	1	1	1
Média	0.86	0.82	0.86	0.81	0.8	0.76
Baixa	0.72	0.7	0.72	0.69	0.68	0.64

LEGENDA:
 EWT: Temperatura de Entrada de Água (°C)
 Δt : Diferença de Temperatura (°C)
 TC: Capacidade Total de Refrigeração (kW)
 SC: Capacidade de Refrigeração Sensível (kW)
 WF: Vazão de Água (m³/h)
 WPD: Queda de Pressão Lado Água (kPa)
 DB: Temperatura de Bulbo Seco (°C)
 WB: Temperatura de Bulbo Úmido (°C)

Figura 54 - Recorte do catálogo do modelo cassete hidrônico da Carrier – Modelo 40HK16 para Coleção Geral.

40HP09										
EWT	Δt	Condição de entrada de ar no evaporador								
		DB: 26,7 WB: 19,4				DB: 27,0 WB: 18,0				TC
		TC	SC	WF	WPD	TC	SC	WF	WPD	
5	3	3,44	2,08	0,98	83,07	3,16	2,28	0,90	69,87	3,38
	4	3,30	2,02	0,72	43,17	3,04	2,21	0,65	36,42	3,25
	5	3,16	1,94	0,54	25,27	2,90	2,16	0,50	21,18	3,10
	6	3,03	1,88	0,43	16,06	2,75	2,09	0,40	13,30	2,97
	7	2,87	1,80	0,36	10,64	2,60	2,04	0,32	8,70	2,81
6	3	3,24	1,99	0,93	73,86	2,96	2,19	0,85	61,38	3,17
	4	3,12	1,92	0,68	38,36	2,82	2,13	0,60	31,51	3,05
	5	2,97	1,85	0,51	22,20	2,70	2,07	0,46	18,41	2,91
	6	2,82	1,80	0,41	14,02	2,56	1,99	0,37	11,45	2,76
	7	2,68	1,72	0,33	9,21	2,39	1,94	0,30	7,37	2,61

Correção da capacidade pela velocidade de Insuflamento - REFRIGERAÇÃO **LEGENDA:**

Velocidade de Insuflamento	40HP09	
	TC	SC
Alta	1	1
Média	0,88	0,87
Baixa	0,76	0,75

EWT: Temperatura de Entrada de Água (°C)
 Δt : Diferença de Temperatura (°C)
 TC: Capacidade Total de Refrigeração (kW)
 SC: Capacidade de Refrigeração Sensível (kW)
 WF: Vazão de Água (m³/h)
 WPD: Queda de Pressão Lado Água (kPa)
 DB: Temperatura de Bulbo Seco (°C)
 WB: Temperatura de Bulbo Úmido (°C)

Figura 55 - Recorte do catálogo do modelo *hi-wall* hidrônico da Carrier – Modelo 40HP09 para área dos pesquisadores.

Tabela 152 – Recorte do catálogo da Trane do umidificador. (TRANE, 2009)

MODELO	UMIDIFICADOR (kg/h)	COM SERPENTINA DE RESFRIAMENTO E RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO							
		SERPENTINA 1/2"				SERPENTINA 3/8"			
		3 Rows	4 Rows	6 Rows	8 Rows	3 Rows	4 Rows	6 Rows	8 Rows
02	1,5 a 3,0 (monofásico 230Vca)	X	ND	ND	ND	X	X	ND	ND
03	1,5 a 3,0	X	X	ND	ND	X	X	ND	ND
04	1,5 a 3,0	X	X	ND	ND	X	X	ND	ND
06	1,5 a 3,0	X	X	X	X	X	X	X	X
	5	X	X	X	X	X	X	X	X
08	1,5 a 3,0	X	X	X	X	X	X	X	X
	5,0 a 8,0	X	X	X	X	X	X	X	X
10	1,5 a 3,0	X	X	X	X	X	X	X	X
	5,0 a 8,0	X	X	X	X	X	X	X	X
	10 a 15	X	X	X	X	X	X	X	X
12	3	X	X	X	X	X	X	X	X
	5,0 a 8,0	X	X	X	X	X	X	X	X
	10 a 15	X	X	X	X	X	X	X	X
14 / 17	3	X	X	X	X	X	X	X	X
	5,0 a 8,0	X	X	X	X	X	X	X	X
	10 a 15	X	X	X	X	X	X	X	X
21 / 25	5,0 a 8,0	X	X	X	X	X	X	X	X
	10 a 15	X	X	X	X	X	X	X	X
	25	X	X	X	X	X	X	X	X
31 a 40	8	X	X	X	X	X	X	X	X
	10 a 15	X	X	X	X	X	X	X	X
	25	X	X	X	X	X	X	X	X

ND: Não Disponível



Air Cooled Scroll Chiller Performance Specification

Unit Tag	Qty	Model No.	Net Capacity (kW)	Volts/Ph/Hz	Refrigerant
CH-1	1	YCAL0056EE40	186.9	380/3/60	R410A
Pin:					
BASE MODEL: YCAL0056EE40XEB POWER: SDXX CONTROLS: HXXRLXXXX COMP PIPING: 41XXXXXXXX EVAPORATOR: XXVXXXX COND: BXX CABINET: 1XXXXXX WARR: XXEXXX					
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60					

Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°C)	10.0	Ambient Temp. (°C)	35.0	COP	2.82
LWT (°C)	5.0	Altitude (m)	0	NPLV	4.15
Design Flow Rate (l/s)	8.9	Min. Ambient Temp. (°C)	-3.9	Physical Data	
Pressure Drop (kPa)	32.6	Max. Ambient Temp. (°C)	51.7	Rigging Wt. (kg.)	1454
Fluid	Water			Operating Wt. (kg.)	1472
Fouling Factor	0.018				
Water Volume. (l)	15.5				

Electrical Data				
Circuit	1	2	3	4
Compressor RLA	36.0/36.0	36.0/36.0		
Compressor Start Current (LRA)	239.0/239.0	239.0/239.0		
Fan QTY/FLA (each)	2/4.5	2/4.5		

Single Point				
Min. Circuit Ampacity	171.0			
Min. Non-Fused Disconnect (Amps)	200			
Min. Dual Element Fuse Size (Amps)	200			
Max. Dual Element Fuse Size (Amps)	200			
Min. Circuit Breaker (Amps)	200			
Max. Circuit Breaker (Amps)	200			
Wire Lugs Per Phase*	1			
Wire Range (Lug Size)	(1)25 - 150			
Total Amps	162.0		Operating Condition Electrical Data	
Inrush (PW) Amps	239.0		Compressor kW	59.5
Starter Type	Across the Line		Total Fan kW	6.7
			Total kW	66.2

Notes:	<p>* Use Copper Conductors only</p> <p>Installing contractor must include vent and drain accommodations in the chilled water piping near the evaporator.</p> <p>A strainer, preferably 40 mesh, must be installed in the cooler inlet just ahead of the cooler. This is important to protect the cooler from the entrance of large particles which could cause damage to the evaporator.</p>
--------	--

Part Load Rating Data				
Load %	Ambient (°C)	Capacity (kW)	Compressor kW	Unit Efficiency
100.0	35.0	186.9	59.5	2.82
75.0	28.7	151.3	38.2	3.37
50.0	20.8	107.3	22.2	4.20
25.0	12.8	60.0	10.0	5.14

Figura 56 - Selecionamento do chiller com condesação a ar enviado pelos profissionais da York.



Air Cooled Scroll Chiller Performance Specification

SOUND POWER LEVELS (In Accordance with AHRI 370) – Octave Band Center Frequency, Hz										
YCAL0056EE40 (Equipped with Low Sound Fans)										
Load %	Ambient (°C)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	LWA
100.0	35.0	98.0	95.0	96.0	95.0	89.0	86.0	81.0	78.0	95.0
75.0	28.7	97.0	94.0	95.0	94.0	89.0	85.0	81.0	77.0	95.0
50.0	20.8	95.0	92.0	93.0	92.0	86.0	83.0	78.0	75.0	92.0
25.0	12.8	92.0	89.0	90.0	89.0	83.0	80.0	75.0	72.0	89.0

SOUND PRESSURE LEVELS in dB at 9.1 (m) **										
YCAL0056EE40 (Equipped with Low Sound Fans)										
Load %	Ambient (°C)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	dBA
100.0	35.0	71.0	68.0	69.0	68.0	62.0	59.0	54.0	51.0	68.0
75.0	28.7	70.0	67.0	68.0	67.0	62.0	58.0	54.0	50.0	68.0
50.0	20.8	68.0	65.0	66.0	65.0	59.0	56.0	51.0	48.0	65.0
25.0	12.8	65.0	62.0	63.0	62.0	56.0	53.0	48.0	45.0	62.0

** Chiller is assumed to be a point source on a reflecting surface (hemispherical radiation)

Figura 57 - Níveis de ruído do *chiller* com condensação a ar selecionado pelos profissionais da York.

JOHNSON CONTROLS

MODEL: YCWL0104SE

LCWT (°C)	LEAVING CONDENSER WATER TEMPERATURE (°C)											
	30.0				35.0				40.0			
	KWo	KWi	KW	COP	KWo	KWi	KW	COP	KWo	KWi	KW	COP
5.0	321.9	63.0	384.0	5.1	307.3	69.2	376.0	4.4	292.9	75.7	368.0	3.9
6.0	332.3	63.1	395.0	5.3	317.3	69.4	386.0	4.6	302.5	75.9	378.0	4.0
7.0	343.0	63.1	406.0	5.4	327.6	69.5	397.0	4.7	312.3	76.1	388.0	4.1
8.0	353.9	63.2	417.0	5.6	338.1	69.6	407.0	4.9	322.4	76.3	398.0	4.2
9.0	365.2	63.1	428.0	5.8	348.8	69.7	418.0	5.0	332.7	76.5	409.0	4.4
10.0	376.7	63.1	439.0	6.0	359.9	69.8	429.0	5.2	343.2	76.6	419.0	4.5

NOTES:

1. KWo = Unit kW Cooling Capacity Output
2. KWi = Compressor kW Input
3. KW = Condenser Heat Rejection
4. COP = Coefficient of Performance
5. LCWT = Leaving Chilled Water Temperature
6. Ratings based on 0.047 l/s cooler water per kW.

Figura 58 - Recorte do catálogo da Johnson Controls para seleção do *chiller* com condensação a água.

Tabela 153 - Tabela para determinação do fator de capacidade.

Caravela**Fatores de capacidade (Fc), função da temp. de bulbo húmido (tf);**

Fatores de Capacidade - fc												
<i>Tabela 1 - para temperatura de bulbo úmido de 24 °C</i>												
<i>a</i>	<i>Salto térmico : z = tw1-tw2 (°C)</i>											
<i>°C</i>	3	4	5	5,5	6	7	8	9	10	15	20	25
3	13,5	11,5	9,8	9	8,3	7,65	7	6,6	6,2	4,35	3,6	3,2
4	17,3	14	11,7	10,8	9,8	9	8,2	7,45	6,7	5,3	4,4	3,9
5	22	18,2	15	13,8	12,6	11,6	10,6	9,6	8,6	6,75	5,6	4,9
6	27	21,9	17,6	16,2	14,7	13,3	11,8	10,9	10	7,7	6,6	5,7

Tabela 154 - Tabela para seleção das torres série WT.

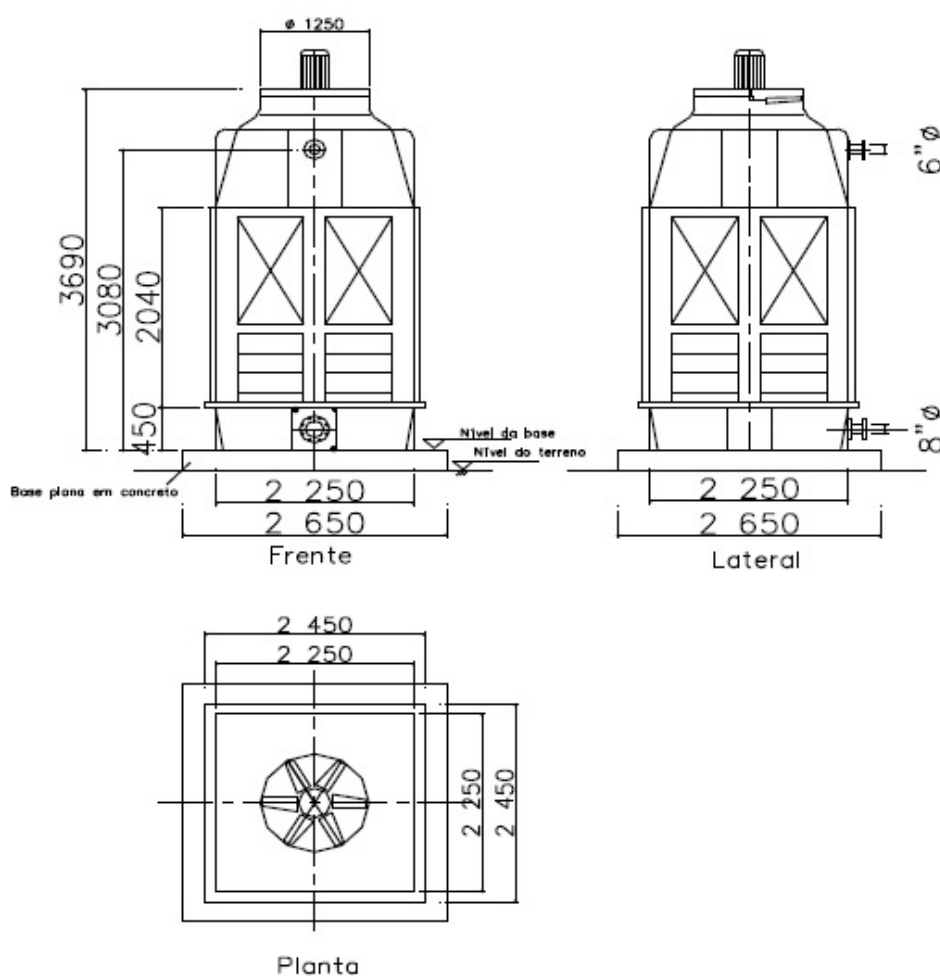
Caravela**2 Torres série WT -nível de ruído silencioso (78 db(A) a 2 m)**

<i>Tabela 8 - para o fator de capacidade selecionado:</i>												
<i>Modelo WT</i>	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	<i>Vazões de água em (m³/h)</i>											
31 / 9	14,0	17,2	20,3	23,9	26,5	29,6	31,7	34,3	36,4	37,4	41,6	43,2
31 / 12	17,7	20,8	24,4	29,6	32,2	36,4	38,0	39,5	41,1	47,8	52,0	57,2
41 / 9	17,6	21,5	25,4	29,9	33,2	37,1	39,7	42,9	45,5	46,8	52,0	54,0
41 / 12	22,1	26,0	30,6	37,1	40,3	45,5	47,5	49,4	51,4	59,8	65,0	71,5
51 / 9	21,9	26,8	31,7	37,4	41,4	46,3	49,6	53,6	56,9	58,5	65,0	67,4
51 / 12	27,6	32,5	38,2	46,3	50,4	56,9	59,3	61,8	64,2	74,8	81,3	89,4
61 / 9	26,8	32,2	38,0	44,9	49,7	55,6	59,5	64,4	68,3	70,2	78,0	80,9
61 / 12	33,2	39,0	45,8	55,6	60,5	68,3	71,2	74,1	77,0	89,7	97,5	107,3

Torre modelo WT 51 / 9 ou / 12

Use estas informações, somente para lay outs preliminares. Obtenha desenhos certificados em nosso departamento de engenharia.

Peça a confirmação de sua seleção em nossa engenharia, através nosso programa eletrônico de seleção



Modelo	Motor (CV-polos)		Peso (kg)	
WT	standard	silenciosa	Operação	Seco
51 / 9	5 / 6	3 / 8	4.625	1.125
51 / 12	5 / 6	3 / 8	5.000	1.238

Figura 59 - Dimensões da torre de resfriamento da marca Caravela modelo WT 51/12.

ANEXO J – DISTRIBUIÇÃO DE AR

Nesta seção serão apresentadas figuras, tabelas e gráficos com os cálculos e resultados para o projeto de distribuição de ar da BMA.

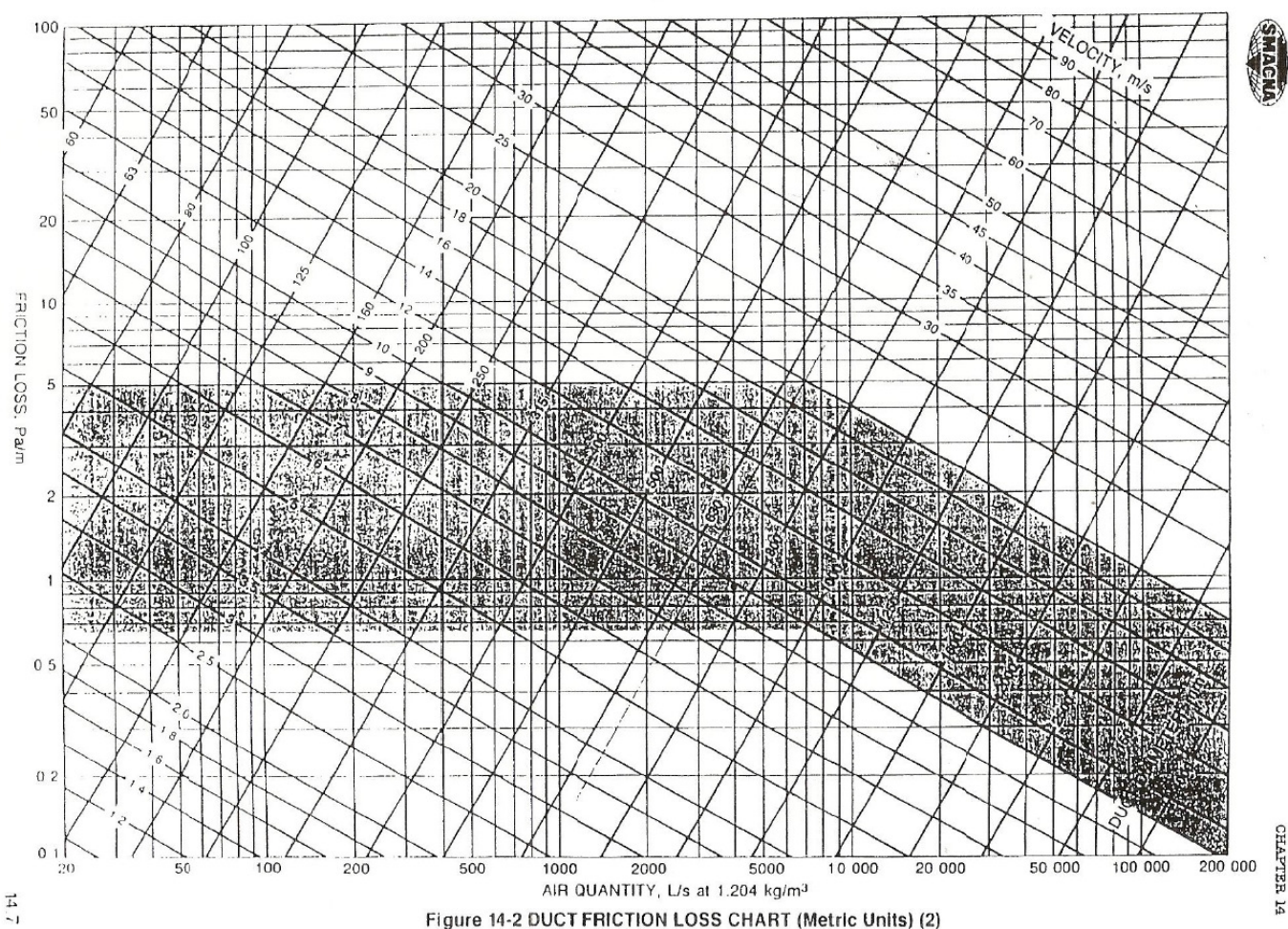


Figura 60 - Ábaco da SMACNA para dimensionamento de dutos pelo método da perda de carga constante. (MARIANI, 2007)



**Table 14-3 CIRCULAR EQUIVALENTS OF RECTANGULAR DUCTS FOR
EQUAL FRICTION AND CAPACITY (Metric Units) (2)**

Dimensions in mm

Side Rectangular Duct	Dimensions in mm																				Side Rectangular Duct
	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	
100	109																				100
125	122	137																			125
150	133	150	164																		150
175	143	161	177	191																	175
200	152	172	189	204	219																200
225	161	181	200	216	232	246															225
250	169	190	210	228	244	259	273														250
275	176	199	220	238	256	272	287	301													275
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328												300
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383											350
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437										400
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492									450
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547								500
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601							550
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656						600
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711					650
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765				700
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820			750
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875		800
900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984	900
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037	1000
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086	1100
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133	1200
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177	1300
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220	1400
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260	1500
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298	1600
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335	1700
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371	1800
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405	1900
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438	2000
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470	2100
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501	2200
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532	2300
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561	2400
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589	2500
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617	2600
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644	2700
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670	2800
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696	2900
Side Rectangular Duct	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	Side Rectangular Duct

Figura 61 - Equivalência entre diâmetro circular e dimensões para dutos retangulares da SMACNA (MARIANI, 2007).

Tabela 155 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 23o andar do acervo.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m ³ /h	l/s	Pa/m	mm
T1	3,3	2300	639	3,9	280
T2	3,2	1725	479	3,9	260
T3	3,2	1150	319	3,9	225
T4	3,2	575	160	3,9	170

R1	1,0	575	160	3,9	170
R2	1,0	575	160	3,9	170
R3	1,0	575	160	3,9	170
R4	1,0	575	160	3,9	170
Trecho	a	b	área	Veloc.	Δp_{trecho}
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	250	250	0,063	10,2	13
T2	225	250	0,056	8,5	12
T3	175	250	0,044	7,3	12
T4	100	250	0,025	6,4	12
R1	100	250	0,025	6,4	4
R2	100	250	0,025	6,4	4
R3	100	250	0,025	6,4	4
R4	100	250	0,025	6,4	4

Tabela 156 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 23o andar do acervo.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm
T1	1,8	2350	653	1,9	330
T2	6,5	1567	435	1,9	285
T3	6,5	783	218	1,9	225
R1	1,0	783	218	1,9	225
R2	1,0	783	218	1,9	225
R3	1,0	783	218	1,9	225
Trecho	a	b	área	Veloc.	Δp_{trecho}
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	300	300	0,090	7,3	3
T2	225	300	0,068	6,4	12
T3	150	300	0,045	4,8	12
R1	150	300	0,045	4,8	2
R2	150	300	0,045	4,8	2
R3	150	300	0,045	4,8	2

Tabela 157 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 4º ao 7º andar do acervo.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm
T1	3,3	1040	289	3,6	220
T2	3,2	780	217	3,6	200

T3	3,2	520	144	3,6	170
T4	3,2	260	72	3,6	125
R1	1,0	260	72	3,6	125
R2	1,0	260	72	3,6	125
R3	1,0	260	72	3,6	125
R4	1,0	260	72	3,6	125
Trecho	a	b	área	Veloc.	Δp_{trecho}
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	175	225	0,039	7,3	12
T2	150	225	0,034	6,4	11
T3	100	225	0,023	6,4	11
T4	100	125	0,013	5,8	11
R1	100	125	0,013	5,8	4
R2	100	125	0,013	5,8	4
R3	100	125	0,013	5,8	4
R4	100	125	0,013	5,8	4

Tabela 158 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 4º são 7º andar do acervo.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm
T1	1,8	920	256	3,4	200
T2	6,5	613	170	3,4	180
T3	6,5	307	85	3,4	135
R1	1	307	85	3,4	135
R2	1	307	85	3,4	135
R3	1	307	85	3,4	135
Trecho	a	b	área	Veloc.	Δp_{trecho}
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	175	200	0,035	7,3	6
T2	125	200	0,025	6,8	22
T3	100	150	0,015	5,7	22
R1	100	150	0,015	5,7	3
R2	100	150	0,015	5,7	3
R3	100	150	0,015	5,7	3

Tabela 159 - Dimensionamento dos dutos de insuflamento do 1º ao 3º andar do acervo.

Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm
T1	1,5	1780	494	4,7	250
T2	2,7	1060	294	4,7	215
T3	2,7	340	94	4,7	140
T1_3	3,3	720	200	4,7	180
T2_3	3,2	540	150	4,7	160
T3_3	3,2	360	100	4,7	140
T4_3	3,2	180	50	4,7	110
R1_3	1,0	180	50	4,7	110
R2_3	1,0	180	50	4,7	110
R3_3	1,0	180	50	4,7	100
R4_3	1,0	180	50	4,7	100
T1_2	3,3	720	200	4,7	180
T2_2	3,2	540	150	4,7	160
T3_2	3,2	360	100	4,7	140
T4_2	3,2	180	50	4,7	110
R1_2	1,0	180	50	4,7	110
R2_2	1,0	180	50	4,7	110
R3_2	1,0	180	50	4,7	100
R4_2	1,0	180	50	4,7	100
T1_1	3,3	340	94	4,7	140
T2_1	3,2	255	71	4,7	120
T3_1	3,2	170	47	4,7	110
T4_1	3,2	85	24	4,7	90
R1_1	1,0	85	24	4,7	90
R2_1	1,0	85	24	4,7	90
R3_1	1,0	85	24	4,7	90
R4_1	1,0	85	24	4,7	90
Trecho	a	b	área	Veloc.	Δp_{trecho}
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	200	250	0,050	9,9	7
T2	150	250	0,038	7,9	13
T3	150	150	0,023	4,2	13
T1_3	150	175	0,026	7,6	16
T2_3	125	175	0,022	6,9	15
T3_3	100	175	0,018	5,7	15
T4_3	100	100	0,010	5,0	15
R1_3	100	100	0,010	5,0	5

R2_3	100	100	0,010	5,0	5
R3_3	100	100	0,010	5,0	5
R4_3	100	100	0,010	5,0	5
T1_2	150	175	0,026	7,6	16
T2_2	125	175	0,022	6,9	15
T3_2	100	175	0,018	5,7	15
T4_2	100	100	0,010	5,0	15
R1_2	100	100	0,010	5,0	5
R2_2	100	100	0,010	5,0	5
R3_2	100	100	0,010	5,0	5
R4_2	100	100	0,010	5,0	5
T1_1	150	150	0,023	4,2	16
T2_1	125	150	0,019	3,8	15
T3_1	100	150	0,015	3,1	15
T4_1	100	100	0,010	2,4	15
R1_1	100	100	0,010	2,4	5
R2_1	100	100	0,010	2,4	5
R3_1	100	100	0,010	2,4	5
R4_1	100	100	0,010	2,4	5

Tabela 160 - Dimensionamento dos dutos de retorno do 1º ao 3º andar do acervo.

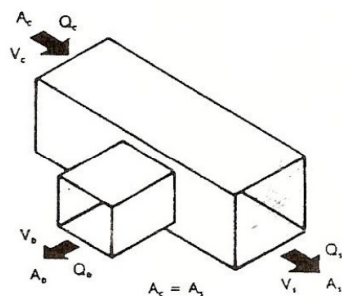
Trecho	Comp.	Vazão	Vazão	Δp	D_circular
	m	m³/h	l/s	Pa/m	mm
T1	1,5	1700	472	2,2	290
T2	2,7	995	276	2,2	240
T3	2,7	290	81	2,2	150
T1_3	1,8	705	196	2,2	210
T2_3	6,5	470	131	2,2	170
T3_3	6,5	235	65	2,2	130
R1_3	1,0	235	65	2,2	130
R2_3	1,0	235	65	2,2	130
R3_3	1,0	235	65	2,2	130
T1_2	1,8	705	196	2,2	210
T2_2	6,5	470	131	2,2	170
T3_2	6,5	235	65	2,2	130
R1_2	1,0	235	65	2,2	130
R2_2	1,0	235	65	2,2	130
R3_2	1,0	235	65	2,2	130
T1_1	1,8	290	81	2,2	150
T2_1	6,5	193	54	2,2	120

T3_1	6,5	97	27	2,2	100
R1_1	1,0	97	27	2,2	100
R2_1	1,0	97	27	2,2	100
R3_1	1,0	97	27	2,2	100
Trecho	a	b	área	Veloc.	Δp_{trecho}
	mm	mm	m²	m/s	Pa
T1	250	275	0,069	6,9	3
T2	175	275	0,048	5,7	6
T3	100	200	0,020	4,0	6
T1_3	150	250	0,038	5,2	4
T2_3	100	250	0,025	5,2	14
T3_3	100	150	0,015	4,4	14
R1_3	100	150	0,015	4,4	2
R2_3	100	150	0,015	4,4	2
R3_3	100	150	0,015	4,4	2
T1_2	150	250	0,038	5,2	4
T2_2	100	250	0,025	5,2	14
T3_2	100	150	0,015	4,4	14
R1_2	100	150	0,015	4,4	2
R2_2	100	150	0,015	4,4	2
R3_2	100	150	0,015	4,4	2
T1_1	100	200	0,020	4,0	4
T2_1	100	125	0,013	4,3	14
T3_1	100	100	0,010	2,7	14
R1_1	100	100	0,010	2,7	2
R2_1	100	100	0,010	2,7	2
R3_1	100	100	0,010	2,7	2

Table 14-14 LOSS COEFFICIENTS, DIVERGING JUNCTIONS (Cont.)

Use the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$

Q. Tee, Rectangular Main and Branch



Branch, Coefficient C (See Note 8)

V_b/V_c	Q_b/Q_c								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	1.03								
0.4	1.04	1.01							
0.6	1.11	1.03	1.05						
0.8	1.16	1.21	1.17	1.12					
1.0	1.38	1.40	1.30	1.36	1.27				
1.2	1.52	1.61	1.68	1.91	1.47	1.66			
1.4	1.79	2.01	1.90	2.31	2.28	2.20	1.95		
1.6	2.07	2.28	2.13	2.71	2.99	2.81	2.09	2.20	
1.8	2.32	2.54	2.64	3.09	3.72	3.48	2.21	2.29	2.57

For Main Loss Coefficient (C) see Fitting 14-14A (Page 14.33)

Main, Coefficient C (See Note 8)

V_b/V_c	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
C	0.35	0.28	0.22	0.17	0.13	0.09	0.06	0.02	0

Figura 62 - Conexão em "T" - insuflamento. (MARIANI, 2007)

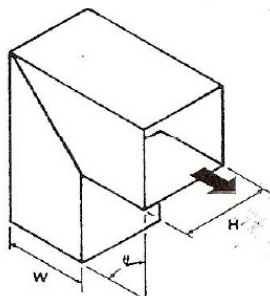


DUCT DESIGN TABLES AND CHARTS

Table 14-10 LOSS COEFFICIENTS, ELBOWS (Cont.)

Use the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$

D. Elbow, Rectangular, Mitered (15)



Coefficient C (See Note 2—Page 14.17)

θ	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
20°	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
30°	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
45°	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24
60°	0.60	0.59	0.57	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38
75°	0.89	0.87	0.84	0.81	0.77	0.73	0.67	0.63	0.61	0.58	0.57
90°	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	0.98	0.92	0.89	0.85	0.83

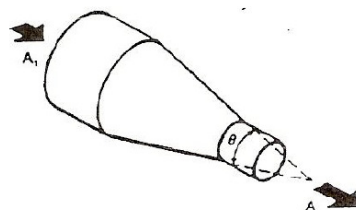
Figura 63 - Conexão do tipo cotovelo. (MARIANI, 2007)



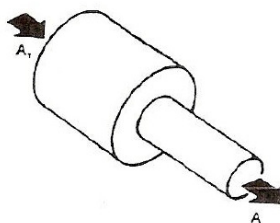
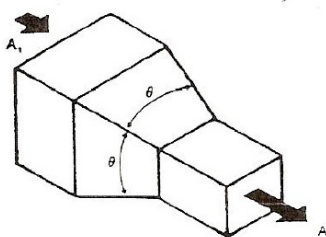
Table 14-12 LOSS COEFFICIENTS, TRANSITIONS (Converging Flow)

Use the velocity pressure (V_p) of the downstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$.

A. Contraction, Round and Rectangular, Gradual to Abrupt (15)



A ₁ /A	Coefficient C (See Note 7)						
	θ						
	10°	15°-40°	50°-60°	90°	120°	150°	180°
2	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
4	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
6	0.05	0.04	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43



When $\theta = 180^\circ$

Figura 64 - Redução em dois trechos de dutos. (MARIANI, 2007)

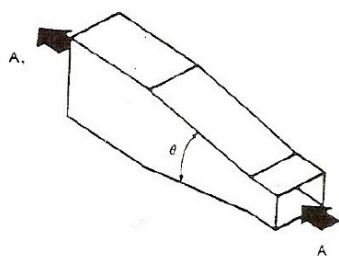


DUCT DESIGN TABLES AND CHARTS

Table 14-11 LOSS COEFFICIENTS, TRANSITIONS (Diverging Flow)

Use the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$.

E. Transition, Rectangular, Sides Straight (15)



A ₁ /A	Coefficient C (See Note 6)					
	θ					
	14°	20°	30°	45°	60°	90°
2	0.09	0.12	0.20	0.34	0.37	0.38
4	0.16	0.25	0.42	0.60	0.68	0.70
6	0.19	0.30	0.48	0.65	0.76	0.83

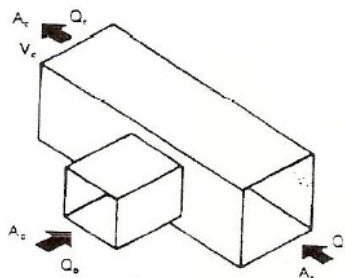
Figura 65 - Expansão em dois trechos de dutos. (MARIANI, 2007)



Table 14-13 LOSS COEFFICIENTS, CONVERGING JUNCTIONS (Cont.)

Use the velocity pressure (V_p) of the downstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$.

D. Converging Tee, Rectangular Main and Branch



Branch, Coefficient (See Note 8)

V_p fpm (m/s)	Q_b/Q_c									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
< 1200 (6)	-0.75	-0.53	-0.03	0.33	1.03	1.10	2.15	2.93	4.18	4.78
> 1200 (6)	-0.69	-0.21	0.23	0.67	1.17	1.66	2.67	3.36	3.93	5.13

For Main Loss Coefficients (C) see Fitting 14-13B

When:

A_b/A_1	A_2/A_c	A_b/A_c
0.5	1.0	0.5

Main, Coefficient C (See Note 8)

Q_b/Q_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C	0.16	0.27	0.38	0.46	0.53	0.57	0.59	0.60	0.59	0.55

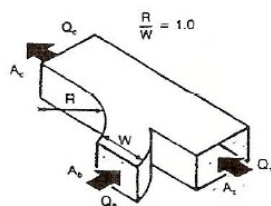
Figura 66 - Conexão em "T" - retorno. (MARIANI, 2007)



Table 14-13 LOSS COEFFICIENTS, CONVERGING JUNCTIONS (Cont.)

Use the velocity pressure (V_p) of the downstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$.

H. Converging Wye, Rectangular (15)



Branch, Coefficient (See Note 8)

A_b/A_1	A_2/A_c	Q_b/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.25	0.25	-0.50	0	0.50	1.2	2.2	3.7	5.6	8.4	11
0.33	0.25	-1.2	-0.40	0.40	1.6	3.0	4.8	6.8	8.9	11
0.5	0.5	-0.50	-0.20	0	0.25	0.45	0.70	1.0	1.5	2.0
0.67	0.5	-1.0	-0.60	-0.20	0.10	0.30	0.60	1.0	1.5	2.0
1.0	0.5	-2.2	-1.5	-0.95	-0.50	0	0.40	0.80	1.3	1.9
1.0	1.0	-0.60	-0.30	-0.10	-0.04	0.13	0.21	0.29	0.36	0.42
1.33	1.0	-1.2	-0.80	-0.40	-0.20	0	0.16	0.24	0.32	0.38
2.0	1.0	-2.1	-1.4	-0.90	-0.50	-0.20	0	0.20	0.25	0.30

Main, Coefficient C (See Note 8)

A_b/A_1	A_2/A_c	Q_b/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.75	0.25	0.30	0.30	0.20	-0.10	-0.45	-0.92	-1.5	-2.0	-2.6
1.0	0.5	0.17	0.16	0.10	0	-0.08	-0.18	-0.27	-0.37	-0.46
0.75	0.5	0.27	0.35	0.32	0.25	0.12	-0.03	-0.23	-0.42	-0.58
0.5	0.5	1.2	1.1	0.90	0.65	0.35	0	-0.40	-0.80	-1.3
1.0	1.0	0.18	0.24	0.27	0.26	0.23	0.18	0.10	0	-0.12
0.75	1.0	0.75	0.36	0.38	0.35	0.27	0.18	0.05	-0.08	-0.22
0.5	1.0	0.80	0.87	0.80	0.68	0.55	0.40	0.25	0.08	-0.10

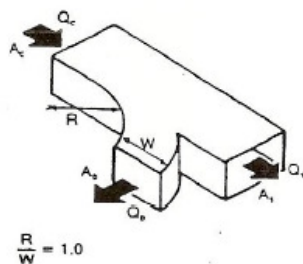
Figura 67 - Junção convergente entre dois trechos - retorno. (MARIANI, 2007)



Table 14-14 LOSS COEFFICIENTS, DIVERGING JUNCTIONS (Cont.)

Use the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$.

W. Wye, Rectangular (15)



90° Branch

Branch, Coefficient C (See Note 8)

A_2/A_1	A_2/A_c	Q_2/Q_c									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	0.25	0.55	0.50	0.60	0.85	1.2	1.8	3.1	4.4	6.0	8.0
0.33	0.25	0.35	0.35	0.50	0.80	1.3	2.0	2.8	3.8	5.0	7.0
0.5	0.5	0.62	0.48	0.40	0.40	0.48	0.60	0.78	1.1	1.5	2.0
0.67	0.5	0.52	0.40	0.32	0.30	0.34	0.44	0.62	0.92	1.4	2.0
1.0	0.5	0.44	0.38	0.38	0.41	0.52	0.68	0.92	1.2	1.6	2.0
1.0	1.0	0.67	0.55	0.46	0.37	0.32	0.29	0.29	0.30	0.3	0.3
1.33	1.0	0.70	0.60	0.51	0.42	0.34	0.28	0.26	0.26	0.3	0.3
2.0	1.0	0.60	0.52	0.43	0.33	0.24	0.17	0.15	0.17	0.3	0.3

Main, Coefficient C (See Note 8)

A_2/A_1	A_2/A_c	Q_2/Q_c									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	0.25	-0.01	-0.03	-0.01	0.05	0.13	0.21	0.29	0.38	0.4	0.4
0.33	0.25	0.08	0	-0.02	-0.01	0.02	0.08	0.16	0.24	0.3	0.3
0.5	0.5	-0.03	-0.06	-0.05	0	0.06	0.12	0.19	0.27	0.3	0.3
0.67	0.5	0.04	-0.02	-0.04	-0.03	-0.01	0.04	0.12	0.23	0.3	0.3
1.0	0.5	0.72	0.48	0.28	0.13	0.05	0.04	0.09	0.18	0.3	0.3
1.0	1.0	-0.02	-0.04	-0.04	-0.01	0.06	0.13	0.22	0.30	0.3	0.3
1.33	1.0	0.10	0	0.01	-0.03	-0.01	0.03	0.10	0.20	0.3	0.3
2.0	1.0	0.62	0.38	0.23	0.13	0.08	0.05	0.06	0.10	0.3	0.3

Figura 68 - Junção divergente entre dois trechos - retorno. (MARIANI, 2007)

Tabela 161 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 23º andar.

INSUFLAMENTO				
Conexão	Trechos	C	ρ	Δp_{trecho}
			kg/m ³	Pa
em "T"	T1-R1	1,10	1,13	61
	T1-T2	0,02	1,13	1
em "T"	T2-R2	1,17	1,13	48
	T2-T3	0,02	1,13	1
em "T"	T3-R3	1,20	1,13	38
	T3-T4	0,02	1,13	1
Cotovelo	T4-R4	1,20	1,13	30
Redução	T1-T2	0,05	1,13	2
Redução	T2-T3	0,05	1,13	2
Redução	T3-T4	0,05	1,13	1
RETORNO				

Conexão	Trechos	C	ρ	Δp_{trecho}
			kg/m³	Pa
em "T"	R1-T1	0,23	1,084	7
	T2-T1	0,10	1,084	3
em "T"	R2-T2	1,17	1,084	26
	T3-T2	0,15	1,084	3
Cotovelo	R3-T3	1,30	1,084	16
Expansão	T3-T2	0,25	1,084	3
Expansão	T2-T1	0,25	1,084	6

Tabela 162 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 4º ao 7º andar.

INSUFLAMENTO				
Conexão	Trechos	C	ρ	Δp_{trecho}
			kg/m³	Pa
em "T"	R1-T1	1,10	1,13	36
	T2-T1	0,02	1,13	1
em "T"	R2-T2	1,17	1,13	30
	T2-T3	0,02	1,13	0
em "T"	T3-R3	1,20	1,13	30
	T3-T4	0,02	1,13	0
Cotovelo	T4-R4	1,20	1,13	23
Redução	T1-T2	0,05	1,13	1
Redução	T2-T3	0,05	1,13	1
Redução	T3-T4	0,05	1,13	1
RETORNO				
Conexão	Trechos	C	ρ	Δp_{trecho}
			kg/m³	Pa
em "T"	T2-R1	0,23	1,084	7
	T2-T1	0,10	1,084	3
em "T"	T3-R2	1,17	1,084	29
	T3-T2	0,15	1,084	2
Cotovelo	R3-T3	1,30	1,084	23
Expansão	T3-T2	0,25	1,084	4
Expansão	T2-T1	0,25	1,084	6

Tabela 163 - Perda de pressão localizada nas conexões da rede de dutos do acervo – 1º ao 3º andar.

INSUFLAMENTO				
Conexão	Trecho	C	ρ	Δp_{trecho}
			kg/m ³	Pa
em "T"	T1-T1_3	1,12	1,13	62
	T1-T2	0,02	1,13	1
em "T"	T2-T1_2	1,66	1,13	58
	T2-T3	0,09	1,13	3
Cotovelo	T3-T1_1	1,20	1,13	12
Redução	T1-T2	0,05	1,13	2
Redução	T2-T3	0,05	1,13	0
em "T"	T1_3-R1_3	1,21	1,13	40
	T1_3-T2_3	0,02	1,13	1
em "T"	T2_3-R2_3	1,15	1,13	31
	T2_3-T3_3	0,02	1,13	0
em "T"	T3_3-R3_3	1,27	1,13	23
	T3_3-T4_3	0,02	1,13	0
Cotovelo	T4_3-R4_3	1,20	1,13	17
Redução	T1_3-T2_3	0,05	1,13	1
Redução	T2_3-T3_3	0,05	1,13	1
Redução	T3_3-T4_3	0,05	1,13	1
em "T"	T1_1-R1_1	1,04	1,13	10
	T1_1-T2_1	0,02	1,13	0
em "T"	T2_1-R2_1	1,05	1,13	8
	T2_1-T3_1	0,02	1,13	0
em "T"	T3_1-R3_1	1,12	1,13	6
	T3_1-T4_1	0,02	1,13	0
Cotovelo	T4_1-R4_1	1,20	1,13	4
Redução	T1_1-T2_1	0,05	1,13	0
Redução	T2_1-T3_1	0,05	1,13	0
Redução	T3_1-T4_1	0,05	1,13	0
RETORNO				
Conexões	Trechos	C	ρ	Δp_{trecho}
			kg/m ³	Pa
em "T"	T1_3-T1	0,67	1,084	17
	T2-T1	0,14	1,084	4
em "T"	T1_2-T2	1,03	1,084	18
	T3-T2	0,04	1,084	1
Cotovelo	T1_1-T3	1,30	1,084	11
Expansão	T2-T1	0,25	1,084	6

Expansão	T3-T2	0,25	1,084	4
em "T"	R1_3-T1_3	1,03	1,084	15
	T2_3-T1_3	0,03	1,084	0
em "T"	R2_3-T2_2	4,78	1,084	71
	T3_3-T2_3	0,13	1,084	2
Cotovelo	R3_3-T3_3	1,20	1,084	12
Expansão	T3_3-T2_3	0,25	1,084	4
Expansão	T2_3-T1_3	0,25	1,084	4
em "T"	R1_1-T1_1	1,03	1,084	10
	T2_1-T1_1	0,02	1,084	0
em "T"	R2_1-T2_1	4,78	1,084	19
	T3_1-T2_1	0,05	1,084	1
Cotovelo	R3_1-T3_1	1,20	1,084	5
Expansão	T3_1-T2_1	0,25	1,084	3
Expansão	T2_1-T1_1	0,25	1,084	2

Tabela 164 - Balanceamento do 23º andar do acervo.

INSUFLAMENTO		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa
T3-T4-R4	58	0
T3-R3	53	5
T2-T3	71	0
T2-R2	63	8
T1-T2	84	0
T1-R1	76	8
RETORNO		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa
R3-T3-T2	36	10
R2-T2	45	0
T2-T1	66	0
R1-T1	22	44

Tabela 165 - Balanceamento do 4º ao 7º andar do acervo.

INSUFLAMENTO		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa

T3-T4-R4	57	0
T3-R3	52	5
T2-T3	69	0
T2-R2	53	16
T1-T2	81	0
T1-R1	58	23
RETORNO		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa
R3-T3-T2	69	0
R2-T2	56	13
T2-T1	100	0
R1-T1	29	71

Tabela 166 - Balanceamento do 1º ao 3º andar do acervo.

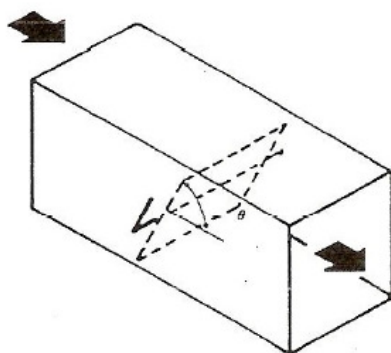
INSUFLAMENTO			RETORNO		
Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}	Nó	Δp_{trecho}	Δp_{bal}
	Pa	Pa		Pa	Pa
1o andar					
T4_1-R4_1	27	0	R3_1-T3_1-T2_1	12	11
T3_1-R3-1	15	12	R2_1-T2_1	23	0
T2_1-T3_1	42	0	T2_1-T1_1	40	0
T2_1-R2_1	17	25	R1_1-T1_1	15	25
T1_1-T2_1	57	0	-	-	-
T1_1-R1_1	19	38	-	-	-
2o andar					
T4_2-R4_2	47	0	R3_2-T3_2-T2_2	45	38
T3_2-R3-2	38	9	R2_2-T2_2	84	0
T2_2-T3_2	62	0	T2_2-T1_2	102	0
T2_2-R2_2	45	17	R1_2-T1_2	28	74
T1_2-T2_2	77	0	-	-	-
T1_2-R1_2	54	23	-	-	-
3o andar					
T4_2-R4_2	47	0	R3_3-T3_3-T2_3	45	38
T3_2-R3-2	38	9	R2_3-T2_3	84	0
T2_2-T3_2	62	0	T2_3-T1_3	102	0
T2_2-R2_2	45	17	R1_3-T1_3	28	74
T1_2-T2_2	77	0	-	-	-
T1_2-R1_2	54	23	-	-	-
Tronco principal					

T2-T1_2	151	0	T3-T2	60	64
T2-T3	101	50	T1_2-T2	125	0
T1-T1_3	155	10	T1_3-T1	123	20
T1-T2	165	0	T2-T2	144	0



Table 14-18 LOSS COEFFICIENTS, OBSTRUCTIONS (Constant Velocities)
Use the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$

B. Damper, Butterfly, Thin Plate, Rectangular (15)



Coefficient C							
θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
C	0.04	0.33	1.2	3.3	9.0	26	70

0° is full open

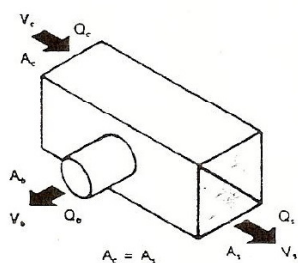
Figura 69- Damper do tipo borboleta – seção retangular. (MARIANI, 2007)



CHAPTER 14

Table 14-14 LOSS COEFFICIENTS, DIVERGING JUNCTIONS (Cont.)
Use the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$

T. Tee, Rectangular Main to Round Branch

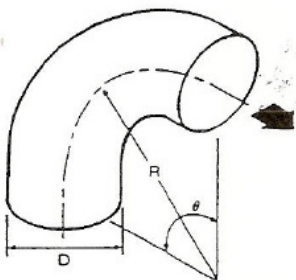


Branch, Coefficient C (See note 8)									
V_2/V_1	Q_2/Q_1								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	1.00								
0.4	1.01	1.07							
0.6	1.14	1.10	1.08						
0.8	1.18	1.31	1.12	1.13					
1.0	1.30	1.38	1.20	1.23	1.26				
1.2	1.46	1.58	1.45	1.31	1.39	1.48			
1.4	1.70	1.82	1.65	1.51	1.56	1.64	1.71		
1.6	1.93	2.06	2.00	1.85	1.70	1.76	1.80	1.88	
1.8	2.06	2.17	2.20	2.13	2.06	1.98	1.99	2.00	2.07

For Main Loss Coefficient (C) see Fitting 14-14A (Page 14.33)

Main, Coefficient C (See Note 8)									
V_2/V_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
C	0.35	0.28	0.22	0.17	0.13	0.09	0.06	0.02	0

Figura 70 - Conexão em "T" com ramal circular. (MARIANI, 2007)

Table 14-10 LOSS COEFFICIENTS, ELBOWSUse the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$ **A. Elbow, Smooth Radius (Die Stamped), Round (2)**

Coefficients for 90° Elbows: (See Note 1)

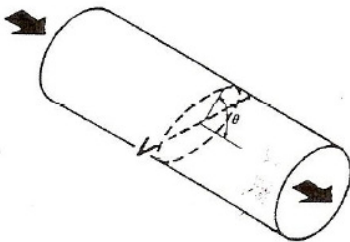
R/D	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
C	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12

Note 1: For angles other than 90° multiply by the following factors:

θ	0°	20°	30°	45°	60°	75°	90°	110°	130°	150°	180°
K	0	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

B. Elbow, Round, 3 to 5 pc — 90° (2)**Figura 71 – Curva em dutos circulares. (MARIANI, 2007)**

CHAPTER 14

Table 14-18 LOSS COEFFICIENTS, OBSTRUCTIONS (Constant Velocities)Use the velocity pressure (V_p) of the upstream section. Fitting loss (TP) = $C \times V_p$ **A. Damper, Butterfly, Thin Plate, Round (15)**

Coefficient C

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
C	0.20	0.52	1.5	4.5	11	29	108

0° is full open

Figura 72 - Damper do tipo borboleta – seção circular. (MARIANI, 2007)