



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**GOTARDO MENDES VIEIRA**

**ESTUDO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR:  
O CASO DA BIBLIOTECA DE OBRAS RARAS DA ESCOLA DE  
MINAS**

**OURO PRETO – MG**

**2018**

**GOTARDO MENDES VIEIRA**  
**gotardomendesvieira@gmail.com**

**ESTUDO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR:  
O CASO DA BIBLIOTECA DE OBRAS RARAS DA ESCOLA DE  
MINAS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

**Professor Orientador:** DSc. Luís Antônio Bortolaia

**Professor Co Orientador:** DSc. Luiz Fernando Rispoli Carneiro

**OURO PRETO – MG**

**2018**

V658e Vieira , Gotardo .  
Estudo de sistemas de condicionamento de ar: O caso da Biblioteca de  
Obras Raras da Escola de Minas [manuscrito] / Gotardo Vieira . - 2018.

53f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Bortolaia .  
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Carneiro.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Ar condicionado. 2. Museus e bibliotecas. 3. Carga térmica . 4. Plano de  
Manutenção, Operação e Controle (PMOC). I. Bortolaia , Luís Antônio . II.  
Carneiro, Luiz Fernando . III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 621

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

### ATA DA DEFESA

Aos seis dias do mês de Dezembro de 2018, às 18h 00min, na sala 20, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno Gotardo Mendes Vieira, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia, Prof DSc. Luiz Fernando Rispoli Alves, Prof. DSc. Henor Artur de Souza e Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva. O candidato apresentou o trabalho intitulado: **“Estudo de sistemas de condicionamento de ar: o caso da biblioteca de obras raras da Escola de Minas”**, sob orientação do Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o(a) aluno(a) aprovado.

Ouro Preto, 06 de Dezembro de 2018.

Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia  
**Professor Orientador**

Prof. DSc. Luiz Fernando Rispoli Alves  
**Professor Co-Orientador**

Prof. DSc. Henor Artur de Souza  
**Professor Avaliador**

Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva  
**Professor Avaliador**

Gotardo Mendes Vieira  
**Aluno(a)**

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, pelas bênçãos, proteção, saúde e forças para continuar. À minha família pelo apoio incondicional, pelos princípios, e educação. Aos amigos que estiveram ao meu lado, nas alegrias e para superar momentos difíceis. Ao coordenador do Curso de Engenharia Mecânica, Professor Washington pelo apoio e acompanhamento ao longo de todo o curso, a meu Orientador, Professor Luís Antônio Bortolaia, pelos ensinamentos e dedicação na reta final do curso. Ao Co-Orientador, Professor Rispoli, pelas oportunidades e conhecimentos compartilhados, ao professor Sávio pelos ensinamentos interpessoais e aos demais professores do curso de engenharia mecânica, em especial Professor Gustavo, Professor Igor, Professora Elisângela, Professora Margarida, Professor Paulo, Professor Felipe e Professor Gil cujos ensinamentos e dificuldade propostos serviram para me tornar mais capaz e confiante diante de novos desafios.

## RESUMO

VIEIRA, Gotardo Mendes: **Estudo de sistemas de condicionamento de ar: O caso da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas**, 2018. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Este estudo é realizado na área de Refrigeração e Ar condicionado e aplicado para o caso do sistema de condicionamento da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas. São feitos estudos com objetivo de criar uma base teórica necessária para lidar com esses sistemas de ar condicionado, em especial sobre condições ambientais para maximizar a preservação de exemplares armazenados e permitir a visitação. São levantadas as características utilizadas para cálculo da carga térmica, e a partir do valor da carga térmica encontrada, é feita a comparação com a capacidade do sistema de refrigeração instalado. O estudo permite calcular a carga térmica do local e elaborar necessidades para retomar o funcionamento do sistema de ar condicionado da biblioteca. Em conjunto com essas atividades é desenvolvido um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) contendo atividades periódicas a serem realizadas para garantir a boa qualidade do ar interior em ambientes refrigerados artificialmente.

**Palavras chave:** Ar condicionado, museus e bibliotecas, Biblioteca de Obras Raras, carga térmica de ar condicionado, Plano de Manutenção, Operação e Controle, necessidades da Biblioteca.

## **Abstract**

*VIEIRA, Gotardo Mendes: **Study of Air Conditioning Systems: The case of Rare Collection Library of Mines Scholl**, 2018. ( Mechanical Engineering Graduation). Federal University Of Ouro Preto.*

*This study is performed in the area of Refrigeration and Air Conditioning and applied to the case of air conditioning systems of Rare Collection Library of Mines School. Studies are realized to create a theoretical basis to deal with these air conditioning systems, especially on environmental conditions, in order to maximize the preservation of specimens stored and to permit visitation. The characteristics of the place are collected and used to calculate the thermal load. Then a comparison with the installed cooling system capacity and the calculated thermal load is done . The study allows to calculate the thermal load and elaborate needs for restart the operation of the air conditioning system of the library. In conjunction with these activities, a Maintenance, Operation and Control Plan (PMOC) containing periodic activities to be performed to ensure good indoor air quality in artificially refrigerated environments is developed.*

**Keywords:** *Air conditioning, museums and libraries, Rare Collection Library, Thermal load of air conditioning, Maintenance, Operation and Control Plan, Library needs.*

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Formulação do problema.....	1
1.2 Objetivo geral .....	3
1.2.1 Objetivos específicos.....	3
1.3 Justificativa.....	3
1.4 Estrutura do trabalho .....	4
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 Refrigeração e seus ciclos.....	5
2.2 Sistemas de expansão direta por compressão de vapor .....	6
2.3 Sistemas de expansão indireta .....	9
2.4 Condicionamento de ar para museus e bibliotecas.....	9
2.5 Biblioteca de Obras Raras .....	10
2.6 Psicrometria.....	11
2.6.1 Umidade relativa e umidade absoluta.....	12
2.6.2 Ponto de Orvalho.....	12
2.6.3 Temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido.....	12
2.6.4 Entalpia.....	12
2.6.5 Carta Psicrométrica.....	12
2.7 Cálculo da carga térmica .....	13
2.7.1 Carga térmica de insolação sobre janelas, paredes e telhados.....	14
2.7.2 Carga térmica devido à transferência de calor entre os ambientes internos e o meio externo .....	15
2.7.3 Carga térmica devido ao calor dos ocupantes, iluminação, e equipamentos no recinto.....	17
2.7.4 Carga térmica de ventilação ou ar exterior de renovação e infiltração de ar.....	19
2.8 Elaboração de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC).....	22



2.9 O PMOC da Biblioteca de Obras Raras .....	22
2.9.1 Identificação do local.....	23
2.9.2 Identificação do proprietário .....	23
2.9.3 Identificação do responsável técnico.....	23
2.9.4 Relação dos equipamentos e ambientes climatizados .....	24
2.9.5 Plano de Manutenção, Operação e Controle .....	25
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA.....	26
3.1 Tipo de pesquisa .....	26
3.2 Materiais e métodos.....	26
3.2.1 Características do Local .....	27
3.4 Variáveis e indicadores.....	31
3.4 Instrumento de coleta de dados .....	32
3.5 Tabulação de dados .....	32
3.6 Considerações finais do capítulo .....	32
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1 Resultados do cálculo da carga térmica.....	33
4.1.1 Resultados da carga térmica de insolação sobre janelas, paredes e telhados .....	33
4.1.2 Resultados da carga térmica devido a transferência de calor entre os ambientes internos e externos.....	34
4.1.3 Resultados devido da carga térmica devido aos ocupantes, iluminação e equipamentos no recinto .....	35
4.1.4 Resultados da Carga Térmica devido ao ar de renovação e infiltração de ar externo..	37
4.1.5 Carga térmica total.....	38
4.2 Comparação dos resultados .....	39
4.3 Plano de Manutenção, Operação e Controle .....	40

4.4 Considerações finais e recomendações: Problemas do local.....	43
4.4.1 Propostas para a solução do problema.....	46
CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
ANEXO : PROJETO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO (CONSET, 1999).....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Balanço térmico do recinto .....	5
Figura 2: Ciclo de refrigeração por compressão de vapor.....	6
Figura 3: Sistema de ar condicionado de expansão direta (condensação a ar).....	7
Figura 4: Deterioração de um exemplar armazenado na Biblioteca de Obras Raras .....	10
Figura 5: Carta Psicrométrica.....	13
Figura 6: Orientação geográfica .....	27
Figura 7: Dimensões da biblioteca em mm, escala 1: 50 .....	28
Figura 8: Fluxograma do Trabalho.....	30
Figura 9: Situação dos dutos do sistema de insuflamento.....	44
Figura 10: Placa de especificação técnica indicando o uso do refrigerante R22.....	45
Figura 11: Exemplar armazenado na Biblioteca de Obras Raras. ....	45
Figura 12: Desumidificador de ar Arsec 240 .....	46

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Calores sensível e latente liberados por pessoa .....	17
Tabela 2: Valores padrão para vazão de ar externo .....	19
Tabela 3: Estimativa da infiltração de ar através das frestas .....	21
Tabela 4: Identificação do ambiente .....	23
Tabela 5: Identificação do proprietário .....	23
Tabela 6 :Identificação do responsável técnico .....	23
Tabela 8: Conversão dos valores das dimensões da Biblioteca.....	29
Tabela 9: Variáveis e indicadores.....	31
Tabela 10: Carga térmica devido a insolação .....	34
Tabela 11: Ganho de calor pela diferença de temperatura .....	35
Tabela 12 : Carga térmica de ocupantes, iluminação e motores elétricos .....	36
Tabela 13: Carga térmica devido ao ar de renovação e infiltração de ar.....	37
Tabela 14: Carga térmica total.....	38
Tabela 15: Capacidade instalada .....	39
Tabela 16: Comparação dos Resultados.....	39
Tabela 17: Plano de Manutenção, Operação e Controle .....	41

## **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

No capítulo 1 trata-se da formulação do problema abordado no trabalho em que elabora-se uma pergunta problema. Na sequência são definidos objetivos gerais e específicos do trabalho, seguidos por uma justificativa para o problema apresentado. Por fim é definida a estrutura do trabalho, em que é apresentado o conteúdo dos próximos capítulos.

### **1.1 Formulação do problema**

O condicionamento de ar é tão antigo como o ser humano; pessoas primitivas usavam peles de animais com a finalidade de evitar a perda do calor corporal para o meio externo, e além disso habitavam em cavernas com a finalidade de se abrigar do calor ou do frio. O uso do fogo para se aquecer e preparar alimentos é um grande avanço da época. Tem-se relatos históricos da civilização romana que usava gelo vindo das montanhas ao norte do império para resfriar vinho e água para o banho (AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE, 1979).

No século XIX, com a invenção e uso de caldeiras, radiadores e ventiladores mecânicos começaram os maiores progressos na área de ventilação e aquecimento central de residências e lugares de trabalho. No início do século XX, Willis Carrier, considerando o “Pai do Ar Condicionado”, registrou a patente do que ele chamou de Mecanismo de Tratamento de Ar (US Patent No. 808897). Em seguida Carrier apresentou à Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME) um estudo pioneiro das propriedades do ar por experimentos, modelos matemáticos e hipóteses que se tornaram referência para as primeiras cartas psicométricas e cálculos na indústria de Ar Condicionado (AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE, 1979).

Ar condicionado é definido como o processo de condicionamento de ar com o objetivo de controlar sua temperatura, umidade, pureza e distribuição (STOECKER; JONES, 1985). Esses parâmetros variam, têm níveis de importância distintos e alguns devem ser estritamente seguidos de acordo com o local no qual o ar condicionado irá ser instalado.

O uso mais comum do ar condicionado é para o conforto dos ocupantes de um determinado recinto. Os recintos nos quais geralmente o sistema de condicionamento de ar é instalado são residências e locais de trabalho. De acordo com cada local tem-se um sistema de ar condicionado com características diferentes.

Em residências, tem-se o ar condicionado que geralmente serve apenas um recinto (sistema unitário). Nesse caso o controle de temperatura, umidade, distribuição do ar não são controlados com um rígido padrão, podendo ser chamado apenas de ar refrigerado. A pureza do ar é controlada pelo uso de filtros, enquanto os outros padrões usam sistemas de controle não muito precisos ou o dispositivo de ar condicionado não fica ligado o tempo necessário para atingir os valores indicados no controle. A sua finalidade é deixar o ambiente mais fresco ou aquecido a fim de satisfazer os ocupantes.

Os locais de trabalho comuns onde são utilizados o ar condicionado são indústrias, escritórios prediais e laboratórios. O que esses recintos têm em comum são a utilização do ar condicionado para que o conforto proporcionado ao trabalhador aumente seu rendimento (MARAM, 2005). Outras aplicações são o funcionamento correto dos equipamentos e maquinários presentes no local. No caso de alguns processos industriais o controle dos parâmetros de temperatura, umidade, pureza e distribuição do ar é essencial para a salubridade dos trabalhadores, qualidade final e conservação do produto.

Casos em que parâmetros do ar devem ser rigorosamente controlados são processos de alta precisão onde os componentes fabricados têm uma tolerância muito estreita. Quando se trata de materiais metálicos, manter a temperatura uniforme e um nível adequado de umidade tem a finalidade de evitar a contração e expansão do material e a formação de ferrugem respectivamente (STOECKER; JONES, 1985).

Em fábricas de papel e em imprensas o controle da temperatura e umidade é a principal razão para o uso de ar condicionado. Manter uma temperatura e umidade estáveis evitam a instabilidade dimensional do papel, representada pela suscetibilidade do papel às mudanças de suas dimensões quando houver alteração em seu conteúdo de umidade (STOECKER; JONES, 1985). Outros motivos para o controle desses parâmetros são evitar a eletricidade estática e tempos excessivos para a secagem do papel.

Percebe-se o quanto o papel, principalmente o tipo mais comum proveniente da celulose, é sensível às condições do ambiente (SCHNEID, 2013). Quando se tem a intenção de conservar obras impressas em papel, principalmente exemplares antigos de séculos passados, tem-se um cuidado ainda mais especial. Nesse trabalho é abordado o sistema que controla a temperatura e

umidade do ar com a finalidade de conservar exemplares de livros raros armazenados na Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas da UFOP.

Assim, diante do contexto tem-se a seguinte problemática:

**Como propor soluções para o condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas localizada no centro histórico de Ouro Preto a fim de conservar o acervo armazenado?**

## **1.2 Objetivo geral**

Propor melhorias para o sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas e aprofundar estudos na área de ar condicionado.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- Realizar um estudo bibliográfico detalhado sobre:
  - Sistemas de ar condicionado;
  - Condicionamento de ar para museus e bibliotecas;
  - Cálculo da carga térmica;
  - Psicrometria e
  - Elaboração do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC).
- Estudar o sistema de ar condicionado instalado na Biblioteca de Obras Raras
- Propor o que deve ser feito para consertar o sistema de ar condicionado da Biblioteca de Obras Raras;
- Realizar o cálculo da carga térmica do sistema atual.

## **1.3 Justificativa**

O sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas está inoperante no momento e não é capaz de manter as características necessárias para a conservação do acervo armazenado no local.

Outra questão em relação a esse sistema de ar condicionado é que devido a sua capacidade de refrigeração, necessita de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) que define a periodicidade das ações de manutenção preventiva, objetivando o correto funcionamento do sistema e a qualidade do ar que circula no interior da biblioteca.

Vale ressaltar a importância de conservar o acervo bibliográfico no local que inclui obras do século XVIII, as quais se encontram em processo de envelhecimento por conta da sua antiguidade. Para garantir a conservação e o acesso desses exemplares ao público é necessário tomar medidas de proteção, a principal delas é o controle dos parâmetros climáticos nesse ambiente, por exemplo, temperatura e umidade que evitam a ação de agentes nocivos a esse acervo.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

No primeiro capítulo é feita uma introdução a respeito do tema a ser estudado, formulando o problema a ser resolvido, relacionado com o sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas, que está inoperante. No capítulo seguinte é feita uma fundamentação teórica sobre os conceitos de ar condicionado. Em conjunto tem-se o estudo das propriedades psicrométricas, procedimentos para o cálculo de cargas térmicas e elaboração do Plano de Manutenção, Operação e Controle. Ainda nesse capítulo são apresentados os diversos tipos de sistemas de condicionamento de ar e seus componentes principais. No terceiro capítulo é feita uma análise da natureza da pesquisa realizada, definição das variáveis e indicadores, levantamento das características do local e construção de um fluxograma do trabalho. No quarto capítulo as características do local são utilizadas para o cálculo da carga térmica e a partir do valor da carga térmica encontrada é realizada uma comparação com a capacidade do sistema de refrigeração instalado. Em conjunto com essas atividades são elaboradas necessidades para a operacionalização do sistema de ar condicionado. No último capítulo é feita a conclusão do trabalho que inclui as considerações finais.



## CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são descritos os ciclos de refrigeração, tipos de sistema de ar condicionado, equipamentos usados, e as características psicrométricas do ar. É realizado um estudo sobre condicionamento de ar para museus e bibliotecas, também são descritas as equações, variáveis e componentes da carga térmica de ar condicionado. Por fim elabora-se o Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC).

### 2.1 Refrigeração e seus ciclos

Segundo Creder (2004), refrigeração é o termo usado quando o ambiente é mantido a uma temperatura mais baixa que a vizinhança. Para que a refrigeração ocorra, o equipamento de refrigeração deverá retirar o calor total  $Q$  do ambiente (recinto), de acordo com a figura 1.

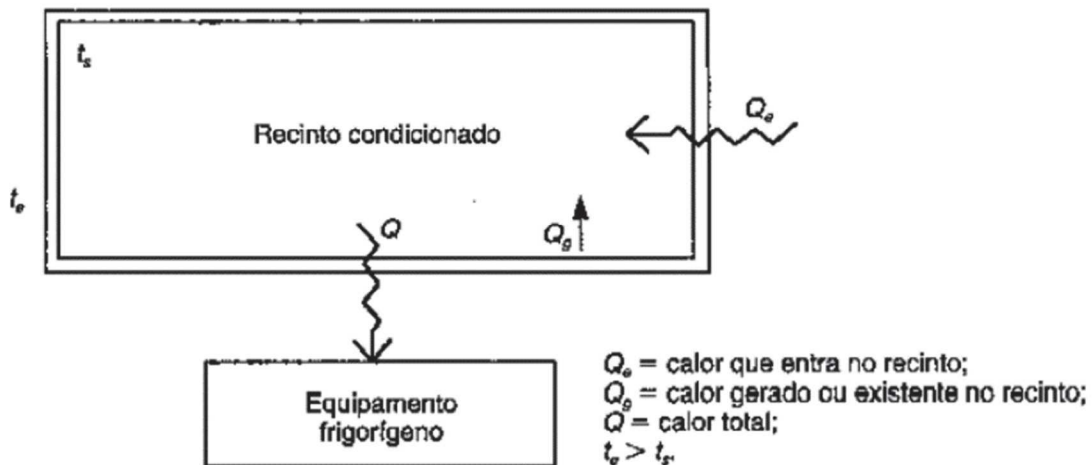


Figura 1: Balanço térmico do recinto  
Fonte: CREDER (2004)

A tendência do calor é penetrar no recinto por conta da diferença de temperatura, consequentemente uma quantidade correspondente de calor deve ser retirada do sistema para manter a sua temperatura interna desejada (CREDER, 2004). Essa retirada de calor é feita de acordo com o ciclo de refrigeração da figura 2.

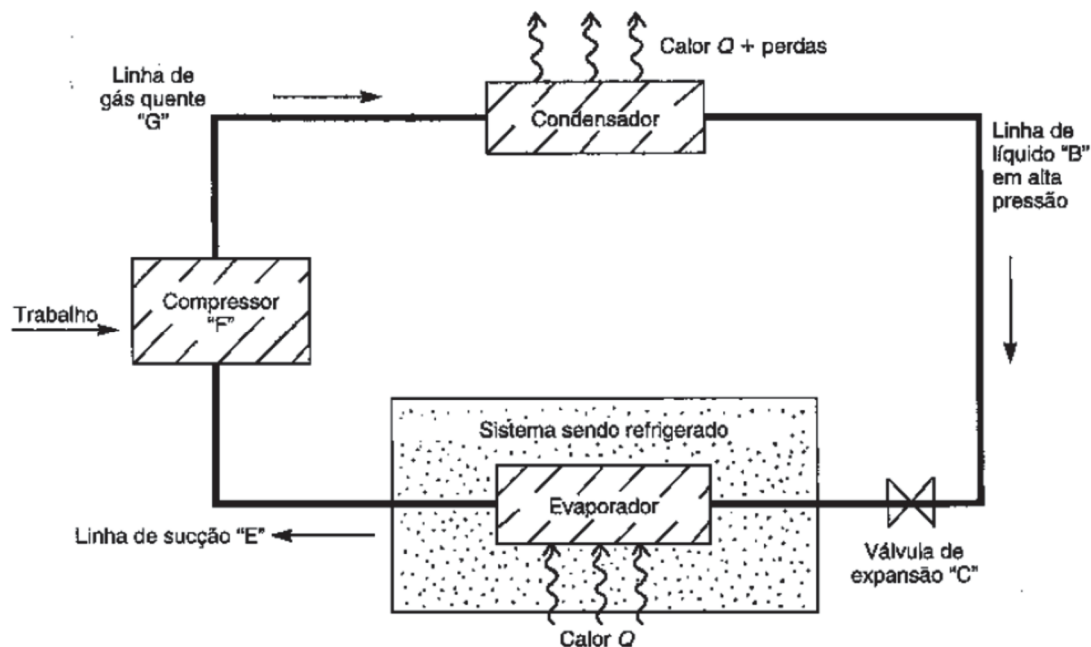


Figura 2: Ciclo de refrigeração por compressão de vapor  
 Fonte: CREDER (2004)

Na figura 2 tem-se o fluxo dos equipamentos que faz a retirada do calor do ambiente.

Basicamente existem dois sistemas de ar condicionado (CREDER, 2004):

- Expansão ou evaporação direta, quando o fluido refrigerante recebe diretamente do recinto ou através de dutos a carga de ar frio ou quente.
- Expansão indireta, quando o fluido refrigerante utiliza um meio intermediário (água ou salmoura) para retirar a carga térmica que é transmitida pelo ar frio ou quente.

## 2.2 Sistemas de expansão direta por compressão de vapor

O sistema de condicionamento de ar por expansão direta é o principal sistema a ser estudado nesse trabalho porque é o mecanismo de refrigeração do estudo de caso do sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras. O Sistema de expansão direta por compressão de vapor precisa de um trabalho externo que é realizado pelo primeiro equipamento característico do sistema, o compressor.

O compressor aspira o fluido do espaço refrigerado na forma de vapor superaquecido e aumenta sua pressão. Em seguida o fluido em alta pressão passa pelo segundo equipamento

característico do sistema, o condensador. A unidade condensadora transfere calor para a atmosfera que absorve o calor emitido pelo sistema (CREDER, 2004).

Após a passagem pelo condensador o fluido sob forma de líquido saturado passa pela válvula de expansão termostática sem troca de calor, no entanto ocorre a perda de pressão. Essa perda de pressão faz com que o fluido refrigerante passe para a forma de vapor úmido.

O vapor úmido passa pelo equipamento responsável por processar o efeito de refrigeração, à pressão constante: o evaporador.

Essa retirada de calor do ambiente corresponde ao calor latente de vaporização do fluido onde o refrigerante passa do estado de vapor úmido para vapor saturado ao absorver o calor. Para aumentar a troca de calor com o ambiente, a convecção é forçada por um ventilador, equipamento que também será responsável por distribuir o ar refrigerado para as respectivas grelhas de insuflamento. Observa-se este princípio de funcionamento e os equipamentos do sistema na figura 3, com o insuflamento do ar frio no interior do ambiente a ser climatizado, a exaustão desse ar (ar de retorno) e a sua mistura com o ar exterior, que passa pelo evaporador e é resfriada, sendo continuamente insuflada no ambiente.

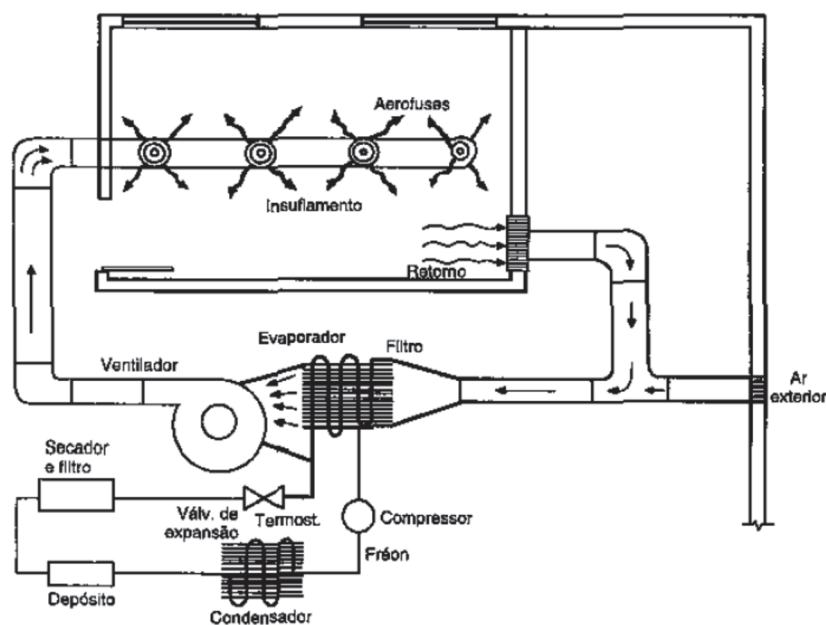


Figura 3: Sistema de ar condicionado de expansão direta (condensação a ar)

Fonte: CREDER (2004)

Na figura 3 mostra-se o fluxo do ar pelos equipamentos que se encontram no recinto a ser condicionado.

Existem diversos tipos de sistemas de condicionamento de ar por expansão direta, entre eles pode-se destacar o ar condicionando de janela, tipo *Split*, *Self Contained*.

- Ar condicionado de janela

É indicado para ambientes de pequenas proporções. São mais compactos, a unidade condensadora e a evaporadora estão no mesmo gabinete. Ele é colocado na abertura da parede ou janela. Sistema indicado para uso residencial.

- Ar condicionado do tipo *Split*

O ar condicionado tipo *Split* é composto por duas unidades: a que fica no ambiente interno (evaporadora) e a outra que fica no ambiente externo (condensadora). É um sistema indicado para uso residencial.

Tem-se algumas variações como o sistema *Multi-Split* que é similar ao sistema de *Split*, porém podem haver duas ou mais evaporadoras com apenas uma condensadora. É utilizado para refrigerar mais de um ambiente simultaneamente. Quando se deseja atender mais ambientes, como edifícios comerciais de médio e grande porte, usa-se o sistema *Multi-Split* com fluxo de refrigerante variável ou VRF (*Variable Refrigerant Flow*). Esse sistema possui uma unidade condensadora externa ligada a múltiplas unidades evaporadoras internas que operam independentemente (RENABRAVA, 2018).

Outra variação é o *Split Cassette* que possui até quatro vias para a saída do ar, sendo geralmente instalado embutido no teto ou no forro onde as grelhas distribuem o ar para o ambiente. São utilizados em espaços maiores, como bibliotecas e auditórios.

- Ar condicionado *Self-Contained*

O sistema de ar condicionado compacto ou *Self-Contained* é uma unidade de tratamento de ar com serpentinas de resfriamento de expansão direta conjugada a uma unidade condensadora, resfriada a ar ou a água. O condicionador é previsto para insuflação do ar por dutos. Esse sistema é indicado para uso residencial e comercial (RENABRAVA, 2018).

### 2.3 Sistemas de expansão indireta

Nos sistemas de expansão indireta, o fluido refrigerante troca calor com o outro fluido (geralmente água) e esse fluido trocará calor com o ambiente. O principal sistema de condicionamento de ar por expansão direta é o tipo FanCoil ou água gelada.

- Sistema tipo *FanCoil* ou água gelada

Condicionadores de ar tipo *FanCoil* são equipamentos que utilizam água gelada em seu sistema de resfriamento. Os modelos de *FanCoils* podem ser: gabinete, cassette, *hi-wall* e *built-in*. Operam sempre com uma unidade externa, chamada de CAG (Central de Água Gelada), contando com um resfriador de líquido (*Chiller*). As dimensões variam conforme a capacidade. É um sistema indicado para uso comercial (RENABRAVA, 2018).

### 2.4 Condicionamento de ar para museus e bibliotecas

Existem principalmente duas classes de agentes nocivos aos livros: os agentes internos ou intrínsecos e os agentes externos ou extrínsecos.

Os agentes intrínsecos estão ligados diretamente à composição do papel, ou seja, são os materiais componentes do papel, como o tipo de fibra, colagem e os resíduos químicos (OLIVEIRA, 2013, *apud* BECK, 1985).

Segundo Oliveira (2013), os agentes externos estão relacionados aos agentes físicos (a iluminação, temperatura, umidade) e agentes químicos (poluição ambiental, poeira, produtos utilizados na limpeza e desinfestação dos ambientes). Ligados aos agentes químicos e físicos tem-se os agentes biológicos, associados à falta de higiene, altas temperaturas e umidade. Como exemplo de agentes biológicos tem-se micro-organismos (bactérias e fungos) e insetos. Ambos usam o material do livro como um meio de cultura e se alimentam da celulose e dos componentes utilizados na fabricação do papel.

Os micro-organismos são responsáveis por diminuir em grande parte a vida útil do material bibliográfico, para isso basta encontrar condições ambientais propícias. De acordo com Oliveira (2013) *apud* BECK (1985), os micro-organismos “preferem [...] temperatura acima de 25°C e umidade relativa acima de 60%. A presença destes pode ser identificada por manchas amarelas de várias tonalidades, além da deterioração da estrutura da obra. Altas temperaturas e umidade

também aceleram as ações provenientes de agentes químicos (OLIVEIRA, 2013). Na figura 4 ilustra-se essa deterioração causada pelos agentes nocivos aos livros.

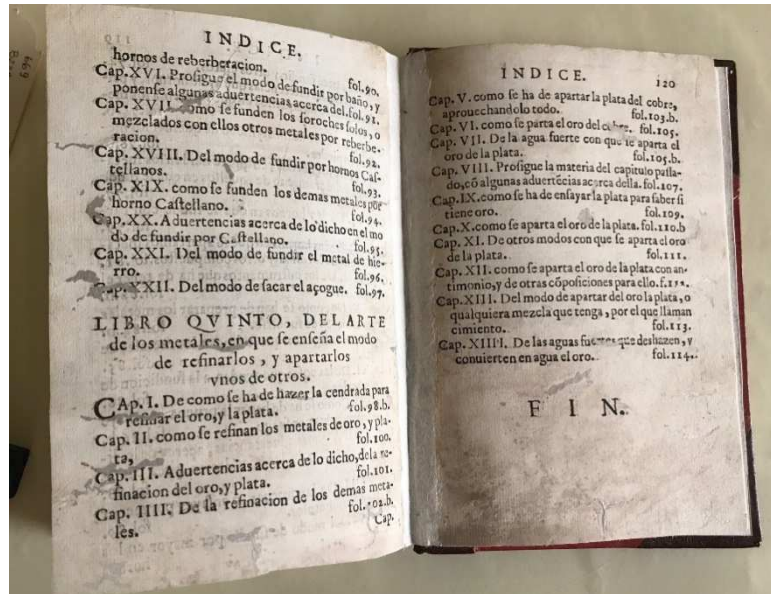


Figura 4: Deterioração de um exemplar armazenado na Biblioteca de Obras Raras  
Fonte: Pesquisa direta (2018)

Na figura 4 ilustra-se danos causados pelos agentes nocivos ao livro. Tais danos podem ser percebidos pela cor amarelada e rastros de materiais removidos por insetos que se alimentam do material do livro.

Nos acervos raros, a temperatura considerada adequada deve ficar entre 16°C e 21°C. Outro aspecto que demanda preocupação é a umidade do ar que deve ficar em torno de 45% a 60% (OLIVEIRA, 2013).

## 2.5 Biblioteca de Obras Raras

A Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas (BIBORAR) é a segunda especializada em engenharia criada no Brasil, sendo a mais antiga ainda em atividade em Ouro Preto e a primeira Biblioteca da Escola de Minas.

A BIBORAR guarda o acervo inicial da antiga Biblioteca da Escola de Minas de Ouro Preto (EMOP), estabelecida em 1878, a partir da coleção particular do professor Claude Henri Gorceix (1842-1919), fundador da instituição, doações da *École des Mines de Paris* e convênio com a editora Gauthier-Villars. Instalada desde 1897, no salão do Palácio dos Governadores, a Biblioteca

da EMOP reuniu ao longo dos anos o que havia de melhor em obras científicas, de viagens, leis e obras de referência de metalurgia de metais nobres.

Após a incorporação da Escola de Minas à UFOP, em 1969, o acervo foi gradativamente dividido para formar a Biblioteca do Departamento de Engenharia Geológica e Engenharia de Minas (1972) e a atual Biblioteca da Escola de Minas (1995).

A BIBORAR foi reinaugurada em 2000, após a execução de projetos de revitalização física, organização e restauração dos livros raros, viabilizados pela Lei Rouanet e a Petrobras, com o apoio da Fundação Gorceix, da Fundação Educativa de Ouro Preto e da comunidade. A Biblioteca recebeu nova denominação e assumiu nova missão. Assim, passou a ser denominada “Biblioteca de Obras Raras Professor José Pedro Xavier da Veiga”, em homenagem ao ex-aluno, docente e bibliotecário ou simplesmente, “Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas”. Sua missão é salvaguardar, organizar e preservar o acervo original da primeira Biblioteca da Escola de Minas.

Atualmente, a BIBORAR reúne cerca de 22.000 volumes de publicações técnico-científicas nas áreas de ciências puras, naturais e aplicadas, que incluem livros, periódicos raros, enciclopédias, guias, manuais e legislação, editados entre os séculos XVII ao XX, com predominância de obras do século XIX, em língua francesa. A Biblioteca guarda ainda duas coleções especiais: a Coleção Carlos Walter e a Coleção Ex-alunos da Escola de Minas, acervos particulares de renomados profissionais que passaram pela instituição. O Laboratório de Conservação Preventiva de Materiais Gráficos “Eng. Cássio Elycio F. Damásio” é o setor responsável pela conservação de todas as coleções da BIBORAR (HISTÓRIA, 2018).

## **2.6 Psicrometria**

A psicrometria é o estudo das misturas de ar e de vapor de água. Nos sistemas de ar condicionado o ar não pode ser considerado seco, mas sim uma mistura de ar e de vapor d'água, resultando daí a importância da psicrometria. Em alguns processos a água é removida do ar (PIRANI, SD).

O ar atmosférico é composto de oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, vapor d'água, argônio e outros gases raros, na proporção de 21% de oxigênio e 79% dos outros elementos (CREDER, 2004).

### **2.6.1 Umidade relativa e umidade absoluta**

Umidade absoluta é a quantidade de vapor d'água presente na mistura ar-vapor. A umidade absoluta é expressa em kg de vapor d'água por m<sup>3</sup> de ar. A umidade relativa é a relação entre a umidade absoluta existente e a máxima umidade absoluta a uma dada temperatura, ou seja, quando o ar estiver saturado de vapor (CREDER, 2004).

A relação entre a massa de vapor d'água e a massa do ar seco é denominada umidade específica  $w$  (CREDER, 2004).

### **2.6.2 Ponto de Orvalho**

Chama-se ponto de orvalho a temperatura abaixo da qual se inicia a condensação, à pressão constante do vapor d'água contido no ar (CREDER, 2004).

### **2.6.3 Temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido**

A temperatura de bulbo seco é a temperatura medida por um termômetro comum, enquanto que a temperatura de bulbo úmido é a temperatura obtida cobrindo-se o termômetro com uma gaze molhada; a temperatura de equilíbrio é a do bulbo úmido. A temperatura do bulbo úmido, assim como a temperatura do ponto de orvalho, é temperatura de saturação, embora a de bulbo úmido seja ligeiramente mais alta (CREDER, 2004).

### **2.6.4 Entalpia**

A entalpia de uma mistura de ar seco-vapor d'água é a energia contida no ar úmido por unidade de massa de ar seco. Para saber a quantidade de calor que deve ser retirada ou acrescentada no ambiente, basta fazer a diferença das entalpias nos dois pontos considerados. Esses pontos são definidos na carta psicrométrica por duas propriedades do ar interno e externo, por exemplo, sua temperatura de bulbo seco e umidade relativa (CREDER, 2004).

### **2.6.5 Carta Psicrométrica**

A carta Psicrométrica (figura 5) é baseada nas propriedades termodinâmicas da mistura ar-vapor, ela é composta pela linha de temperatura de bulbo seco (eixo das abcissas), linha de umidade específica em kg de vapor/kg ar seco (eixo das ordenadas), linha da temperatura de bulbo úmido, linha do volume específico em m<sup>3</sup> de mistura por kg de ar seco, linha de escalas de entalpia (h) em



kJ/kg de ar seco na saturação, curva da Umidade Relativa (UR) em %, e linha da razão de calor sensível. Essa última propriedade é a razão do calor sensível e calor latente do ambiente interno que será utilizada para calcular a energia a ser utilizada para atingir as condições internas desejadas (CREDER, 2004).

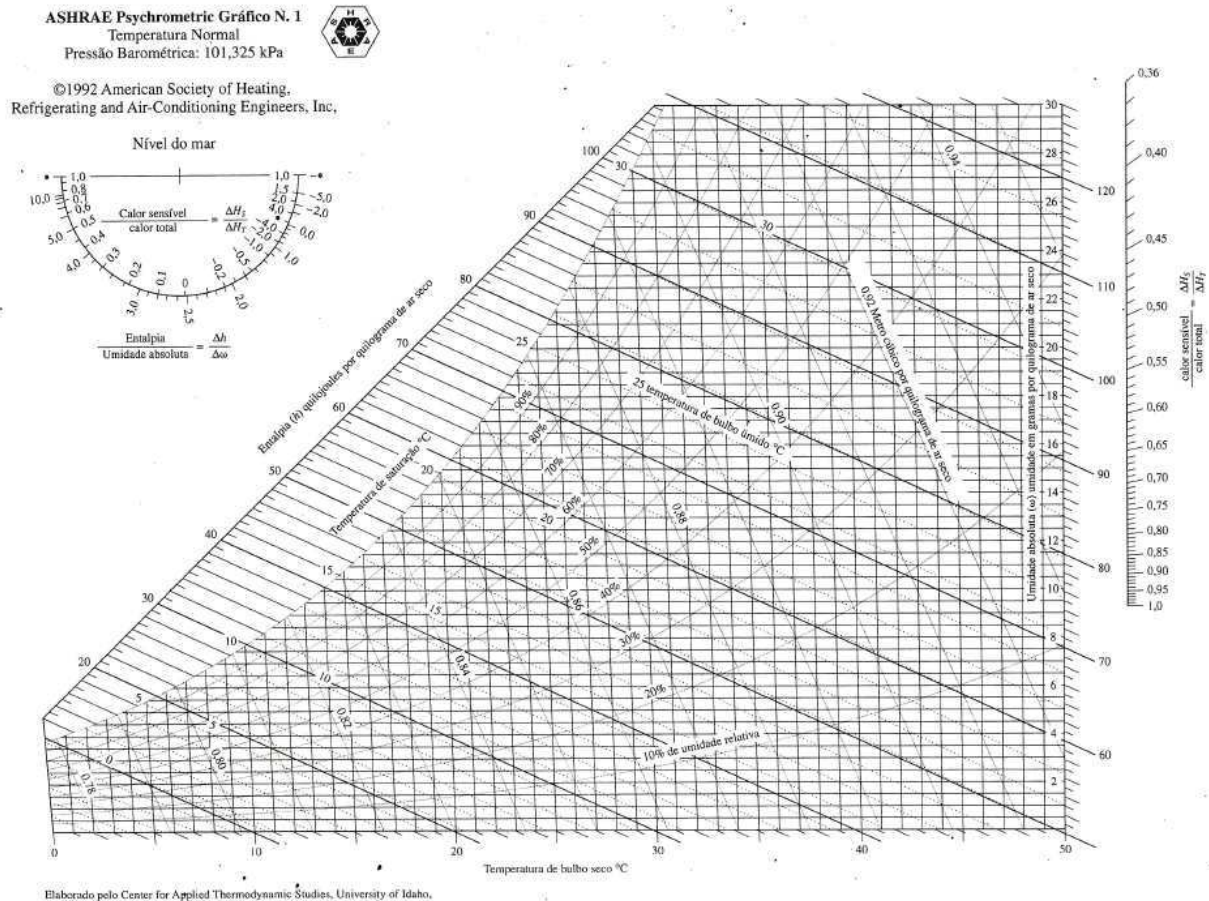


Figura 5: Carta Psicrométrica  
Fonte: ASHRAE (1992)

Na figura 5, as propriedades como temperatura de bulbo seco, umidade relativa e entalpia estão interligadas. Essas propriedades são usadas para determinar as demais características da mistura ar e vapor d'água de acordo com a carta psicrométrica.

## 2.7 Cálculo da carga térmica

Carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, geralmente expressa em Btu/h, kcal/h ou W, que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar as condições desejadas (CREDER, 2004). Geralmente esse calor é introduzido ou gerado no interior do recinto

pela insolação, transmissão de calor pela diferença de temperatura, equipamentos, ocupantes, iluminação, ar de renovação e infiltração de ar externo.

Para o cálculo da carga térmica devem ser consideradas algumas características físicas do ambiente a ser condicionado. Entre essas características pode-se citar as dimensões e uso do recinto, além da sua orientação geográfica para a definição dos horários em que a radiação solar atinge o local com mais intensidade. Também devem ser considerados os materiais usados para a construção e as condições internas e externas do ambiente.

### 2.7.1 Carga térmica de insolação sobre janelas, paredes e telhados

A carga térmica de insolação sobre janelas, paredes e telhados é determinada pela ação do sol no momento do dia em que há o maior valor da irradiação solar no local.

Para o cálculo da carga térmica devido a insolação nos vidros  $Q_v$  (kcal/h), é levado em consideração o período crítico do ano em que há o maior valor de irradiação solar para o determinado horário do dia.

A equação utilizada para os cálculos é (PIRANI, SD):

$$Q_v = IT.A_v.\phi.a \quad (1)$$

Onde:

IT: Irradiação solar para o determinado horário do dia em kcal/k.m<sup>2</sup>;

$A_v$ : Área envidraçada em m<sup>2</sup>;

$\Phi$ : Fator de redução do vidro simples com cortinas interiores de cor clara (adimensional) e

a: Fator de armazenamento do vidro para o ganho de calor ao longo do dia para 24 h de funcionamento por dia e temperatura constante (adimensional).

Para o cálculo da carga da insolação sobre as paredes ( $Q_p$ ) e insolação nos telhados ( $Q_t$ ) são utilizadas as seguintes equações:

A equação para o cálculo da carga térmica da insolação sobre as paredes ( $Q_p$ ) é (PIRANI, SD):

$$Q_p = U_p \cdot A_{pe} \cdot \Delta t_{ep} \quad (2)$$

Onde:

$U_p$ : Coeficiente Global de transferência de calor da parede em kcal/h.m<sup>2</sup>.°C;

$A_{pe}$ : Área da parede externa em m<sup>2</sup>;

$\Delta t_{ep}$ : Diferença de temperatura equivalente da parede em °C.

O valor da diferença de temperatura equivalente ( $\Delta t_e$ ) inclui a diferença de temperatura devido a insolação e a transmissão de calor, simultaneamente. A  $\Delta t_e$  é função da exposição da fachada, hora solar e peso da parede (kg/m<sup>2</sup>) (PIRANI, SD).

A equação para o cálculo da carga térmica da insolação sobre o telhado é:

$$Q_t = U_t \cdot A_t \cdot \Delta t_{et} \quad (3)$$

Onde:

$U_t$ : Coeficiente Global de transferência de calor do telhado em kcal/h.m<sup>2</sup>.°C;

$A_t$ : Área do telhado em m<sup>2</sup>;

$\Delta t_{et}$ : Diferença de temperatura equivalente do telhado em °C.

### **2.7.2 Carga térmica devido à transferência de calor entre os ambientes internos e o meio externo**

O calor é a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para o outro desde que haja diferença de temperatura (CENGEL; GHAJAR, 2015). Os sistemas em questão são o ambiente interno correspondente à biblioteca e aos ambientes que fazem fronteira com a biblioteca. Esses que fazem fronteira podem ser outros recintos ou a própria atmosfera.

A transferência de calor acontece nas paredes internas (fazem fronteira com outros recintos não refrigerados) e paredes externas (fazem fronteira com a atmosfera) e através das janelas que fazem fronteira com o ambiente interno, meio externo e através do teto.

O cálculo do ganho de calor através das paredes internas ( $Q_{pi}$ ) é feito de acordo com a seguinte equação. A subtração de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  se dá quando o ganho de calor é entre paredes internas onde o ambiente que faz fronteira não é refrigerado (PIRANI, SD) :

$$Q_{pi} = U_p A_{pi} (T_{ext} - T_{int} - 3\text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

Onde:

$A_{pi}$ : Área da parede em  $\text{m}^2$ ;

$T_{ext}$ : Temperatura do ar exterior em  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{int}$ : Temperatura do recinto em  $^{\circ}\text{C}$ .

O cálculo da transferência de calor nas janelas internas ( $Q_{ji}$ ) é feito de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{ji} = U_v A_{vi} (T_{ext} - T_{int} - 3) \quad (5)$$

Onde:

$U_v$ : Coeficiente global de transferência de calor do vidro, tabelado tanto para verão como inverno em  $\text{kcal/h.m}^2.\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$A_{vi}$ : Área envidraçada interna em  $\text{m}^2$ .

O cálculo da transferência de calor nas janelas externas ( $Q_{je}$ ) é feito de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{je} = U_v A_{ve} (T_{ext} - T_{int}) \quad (6)$$

Onde:

$A_{ve}$ : Área envidraçada externa em  $\text{m}^2$ .

O cálculo do ganho de calor através de tetos e pisos ( $Q_t$ ) é calculado pela seguinte equação:

$$Q_t = U_t A_t (T_{ext} - T_{int} - 3\text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (7)$$

### 2.7.3 Carga térmica devido ao calor dos ocupantes, iluminação, e equipamentos no recinto

A carga térmica devido ao calor dos ocupantes é definida de acordo com seu grau de atividade e da temperatura de bulbo seco do ambiente descrito. Para o caso da biblioteca tem-se um ambiente de atividade moderada, equivalente a escritórios, hotéis e universidades. Na tabela 1, baseada na norma NBR 16401 (ABNT, 1980), descreve-se os calores sensível e latente liberados por pessoa. A carga térmica de iluminação e dos equipamentos no recinto são calculados de acordo com a potência de iluminação e a potência e eficiência dos equipamentos instalados.

Tabela 1: Calores sensível e latente liberados por pessoa

Calor liberado por pessoas (kcal/h)												
Local	Met. Homem Adulto	Met. médio (A)	TBS									
			28		27		26		24		21	
			S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
Teatro, Escola Primária.	98	88	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Escola Secundária	113	100	45	55	48	52	54	46	60	40	68	32
Escrit., Hot., Aptos., Universidades	120	113	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
Supermercados, varejistas, lojas.	139											
Farmácias, drogarias.	139	126	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
Bancos	139											
Restaurante (B)	126	139	48	91	55	84	61	78	71	68	81	58
Fábrica, trabalho livre	202	189	48	141	55	134	62	127	74	115	92	97
Salão de baile	227	214	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Fábrica, trabalho moderadamente pesado	252	252	68	184	76	176	83	169	86	156	116	136
Boliches, fábricas, ginásios (C)	378	365	113	252	117	248	122	243	132	233	152	213

S – Sensível

L - Latente

Fonte: ABNT (1980)

Na tabela 1 mostra-se os calores sensíveis e latentes liberados pelos ocupantes de locais como fábricas e escritórios para uma determinada temperatura de bulbo seco interna.

Para chegar ao valor total do calor liberado pelos ocupantes, basta multiplicar o valor dos calores sensíveis e latentes pelo número estimado de pessoas no local. São usados como referência

os valores para escritórios, hotéis, apartamentos e universidades da tabela 1 para uma temperatura de bulbo seco de 21 °C. O cálculo é feito pelas seguintes equações:

$$\text{Calor latente liberado pelos ocupantes } (Q_l) = n.(q_l) \quad (8)$$

Onde:

n: Número dos ocupantes;

$q_l$ : Calor latente liberado por ocupante em kcal/h.

$$\text{Calor sensível liberado pelos ocupantes } (Q_s) = n.(q_s) \quad (9)$$

Onde:

$q_s$ : Calor sensível liberado por ocupante em kcal/h.

A carga térmica devido à iluminação ( $Q_{il}$ ) é calculada pela seguinte equação:

$$Q_{il} = PL \cdot 0,86 \text{ em kcal/h} \quad (10)$$

Onde;

PL: Potência nominal de iluminação em W;

0,86: Fator de conversão de W para kcal/h.

A potência de iluminação é fornecida pela CONSET (1999), no projeto da planta baixa do local.

Os motores elétricos que se encontram no recinto são dos desumidificadores de ar Arsec modelo 160 com potência de 240 W e eficiência ( $\eta$ ) de aproximadamente 70%. A carga térmica ( $Q_{me}$ ) devido a esses motores é calculada de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{me} = \frac{HP \cdot 641}{\eta} \cdot n \quad (11)$$

Onde:

HP: Potência do motor em Hp ;

$\eta$  : Eficiência do motor;

n: Número de motores.

#### 2.7.4 Carga térmica de ventilação ou ar exterior de renovação e infiltração de ar

Para garantir uma boa qualidade do ar para os ocupantes do local, uma quantidade de ar de renovação deve ser adicionada ao recinto. O valor médio para cada pessoa é determinado de acordo com a tabela 2.

Tabela 2: Valores padrão para vazão de ar externo

Local	m <sup>3</sup> /h	Pessoa	Concentração de fumantes
	recomendável	mínimo	
Bancos	17	13	ocasional
Barbearias	25	17	considerável
Salões de beleza	17	13	ocasional
Bares	68	42	-
Casinos–Grill-room	45	35	-
Escritórios			
Públicos	25	17	alguns
Privados	42	25	nenhum
Privados	51	42	considerável
Estúdios	35	25	nenhum
Lojas	17	13	ocasional
Salas de hotéis	51	42	grande
Residências	35	17	alguns
Restaurantes	25	20	considerável
Salas de diretores	85	50	muito grande
Teatros – Cinemas - Auditórios	13	8	nenhum
Teatros – Cinemas - Auditórios	25	17	alguns
Salas de aulas	50	40	nenhum
Salas de reuniões	85	80	muito grande
Aplicações gerais			
Por pessoa (não fumando)	13	8	-
Por pessoa (fumando)	68	42	-

Fonte: PIRANI, SD

Na tabela 2, observam-se valores recomendados para o ar de renovação de recintos como salas de aula e escritórios, podendo haver presença de fumantes. Quando há fumantes, o valor do ar a ser renovado aumenta consideravelmente. No presente estudo não se considera fumantes no local.

Para o cálculo da carga térmica resultante do ar exterior de renovação, é necessário estabelecer a vazão de ar a ser adicionada para cada pessoa no recinto. Definida a vazão de ar a ser insuflada por pessoa utiliza-se a seguinte equação para encontrar a vazão de ar total ( $\dot{Q}_r$ ):

$$\dot{Q}_r = n \cdot \dot{Q} \quad (12)$$

Onde:

$\dot{Q}$ : Vazão a ser insuflada por pessoa em  $m^3/h$ .

Com o valor de  $\dot{Q}_r$  primeiramente é encontrada a carga térmica sensível devido ao ar de renovação ( $Q_{svent}$ ) pela seguinte equação (CREDER, 2004):

$$Q_{svent} = 0.29 \cdot \dot{Q}_r \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (13)$$

A carga térmica latente ( $Q_{lvent}$ ) é calculada de acordo com a seguinte equação (CREDER, 2004):

$$Q_{lvent} = h_{lv} \cdot (w_{ext} - w_{int}) \cdot \rho_{ar} \cdot \dot{Q}_r \quad (14)$$

Onde:

$h_{lv}$ : Entalpia de vaporização da água kcal/kg;

$w_{ext}$ : umidade absoluta externa em kg de vapor/ kg de ar seco;

$w_{int}$ : umidade absoluta interna em kg de vapor/ kg de ar seco;

$\rho_{ar}$ : Peso específico do ar em  $kg/m^3$ .

O movimento do ar exterior ao recinto possibilita a sua penetração através das frestas nas portas, janelas ou outras aberturas. Tal penetração adiciona carga térmica sensível ou latente.



Embora essa carga não possa ser calculada com precisão, há métodos que possibilitam sua estimativa (CREDER, 2004).

Primeiro estima-se o volume de ar que irá penetrar no recinto através das frestas. Este valor baseia-se na tabela 3 que estima o volume de ar que penetra no ambiente de acordo com o comprimento linear das portas e janelas.

Tabela 3: Estimativa da infiltração de ar através das frestas

a) Pelas frestas		
Tipo de abertura	Observação	m <sup>3</sup> /h por metro de fresta (A)
<b>Janelas</b>		
Comum		3,0
Basculante	Mal ajustada	3,0
Guilhotina com caixilho de madeira	Bem ajustada	6,5
	Sem vedação	2,0
Guilhotina com caixilho metálico	Com vedação	4,5
		1,8
<b>Portas</b>		
	Mal ajustada	13,0
	Bem ajustada	6,5

Fonte: PIRANI, SD

Na tabela 3, descreve-se a infiltração de ar por comprimento linear de janelas e portas bem ou mal ajustadas.

Para obter o volume de ar infiltrado ( $Q_{arinf}$ ) procede-se da seguinte forma: primeiro calcula-se o perímetro das janelas ( $P_j$ ) e perímetro das portas ( $P_p$ ), esse valor  $P_j$  será multiplicado pelo número de janelas ( $n_j$ ) e o valor  $P_p$  pelo número das portas ( $n_p$ ). O resultado dessa multiplicação irá originar o comprimento das frestas das portas ( $CF_p$ ) e o comprimento de frestas das janelas ( $CF_j$ ). Multiplicando  $CF_p$  e  $CF_j$  pelos valores de referência da Tabela 3, encontra-se  $Q_{arinf}$ .

Obtém-se o calor sensível decorrente do ar de infiltração ( $q_{si}$ ) pela seguinte expressão (STOECKER; JONES, 1985):

$$q_{si} = 1,23 \cdot Q_{arinf} \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (15)$$

O calor latente devido ao ar de infiltração  $q_{li}$  é obtido pela seguinte expressão (STOECKER; JONES, 1985)

$$q_{li}=3000.Q_{arinf}.(W_{ext}-W_{int}) \quad (16)$$

## **2.8 Elaboração de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC)**

De acordo com a lei N° 13.589, de 4 de janeiro de 2018, sancionada pelo Presidente da República, todo edifício de uso público e coletivo que possui ambientes de ar interior climatizado artificialmente deve dispor de um Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC dos respectivos sistemas de climatização.

A relevância do PMOC resume-se em três amplas colaborações dentre as quais se destacam a de ser a base para o bem-estar e saúde dos ocupantes de ambientes climatizados artificialmente, pois garante o conforto por meio do correto funcionamento do sistema de climatização sem defeitos e a saúde pela ausência de impurezas de natureza química ou biológica. Além disso, aumenta-se a vida útil da máquina e a eficiência do sistema de ar condicionado, com consequente redução do gasto energético (GARCIA, 2018).

Os padrões, valores, parâmetros, normas e procedimentos necessários a garantia da boa qualidade de ar interior, inclusive de temperatura, umidade, velocidade, taxa de renovação e grau de pureza são regulamentados pela resolução n° 9, de 16 de janeiro de 2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária- ANVISA, com posteriores alterações como as normas técnicas da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Segundo o artigo 6° da portaria N° 3523, de agosto de 1988, proprietários e responsáveis por sistemas de climatização com capacidade acima de 60000 Btu/h devem manter um responsável técnico habilitado para implementar e manter um Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC. Além disso, a aplicação do PMOC deve ser garantida por meio da execução contínua dos procedimentos estabelecidos e registro da execução que devem ser disponibilizados e divulgados aos ocupantes.

## **2.9 O PMOC da Biblioteca de Obras Raras**

Atualmente a Biblioteca de Obras Raras não possui o PMOC, fato que motivou sua elaboração. O modelo do Plano de Manutenção, Operação e Controle está disponível em um anexo

da portaria n° 3.523, de 28 de Agosto de 1998, do Ministério da Saúde. O PMOC contém descrição dos dados completos da empresa e do mantenedor do ar condicionado. A primeira parte do PMOC contém identificação do local, proprietário, responsável técnico e descrição do ambiente ou conjunto de ambientes climatizados com seus respectivos equipamentos. Por fim os dados do responsável técnico que deve ser um Engenheiro Mecânico.

### 2.9.1 Identificação do local

A identificação do local onde se encontra o sistema de ar condicionado consta na tabela 4:

Tabela 4: Identificação do ambiente

Nome (Edifício/Entidade): Biblioteca de Obras Raras da Escolas de Minas			
Endereço completo: Praça Tiradentes			N° 20
Complemento:	Bairro: Centro	Cidade: Ouro Preto	UF: MG
Telefone: (31) 3559-1898		Fax	

Fonte: Fonte: Adaptação da portaria GM/MS n° 3.523 (1998)

Na tabela 4 se encontram o nome do edifício, endereço e telefone para contato.

### 2.9.2 Identificação do proprietário

A identificação do proprietário se encontra na tabela 5:

Tabela 5: Identificação do proprietário

Nome/Razão Social: Universidade Federal de Ouro Preto
Endereço completo: Rua Professor Paulo Magalhães Gomes, 122 Ouro Preto - MG, 35400-000
Telefone: (31) 3559-1240

Fonte: Adaptação da portaria GM/MS n° 3.523 (1998)

Na tabela 5, encontram-se os dados do proprietário da Biblioteca.

### 2.9.3 Identificação do responsável técnico

A identificação do Engenheiro Mecânico responsável se encontra na Tabela 6.

Tabela 6 :Identificação do responsável técnico

Nome: Gotardo Mendes Vieira	
Graduando em Engenharia Mecânica	Matricula 12.1.1518

Fonte: Adaptação da portaria GM/MS n° 3.523 (1998)

Na tabela 6, encontram-se os dados do Responsável técnico pelo PMOC. Ao responsável técnico cabem atribuições como:

- i. implantar e manter disponível no imóvel um Plano de Manutenção, Operação e Controle - PMOC, adotado para o sistema de climatização.
- ii. Garantir a aplicação do PMOC por intermédio da execução contínua direta ou indireta deste serviço.
- iii. Manter disponível o registro da execução dos procedimentos estabelecidos no PMOC.
- iv. divulgar os procedimentos e resultados das atividades de manutenção, operação e controle aos ocupantes (GARCIA, 2018).

#### 2.9.4 Relação dos equipamentos e ambientes climatizados

A tabela 7 é elaborada com base no projeto do sistema de ar condicionado, CONSET (1999), que se encontra no anexo do trabalho. Por determinação da portaria GM/MS nº 3.523, esse projeto deve ser anexado ao Plano de Manutenção, Operação e Controle. A coluna “Identificação do Ambiente” refere-se aos setores da Biblioteca, a coluna “Equipamentos” refere-se aos equipamentos instalados no local, a coluna “Área Climatizada” refere-se a área climatizada dos setores da Biblioteca e a coluna “Carga Térmica” refere-se a capacidade dos equipamentos instalados. Também se encontra uma coluna com o número de ocupantes, no caso será considerado o número máximo de ocupantes. O tipo de atividade para esse trabalho é de museus/bibliotecas.

Tipo de Atividade	Identificação do ambiente	Equipamentos <sup>1</sup>	Área Climatizada (m2)	Carga Térmica Total (BTUs)	Nº de Ocupantes
Museu/ Biblioteca	Obras Raras	1			
Museu/ Biblioteca	exposições				
Museu/ Biblioteca	Biblioteca Comum				
		3	Total : 280	102000	Total:18

Fonte: Adaptação da portaria GM/MS nº 3.523 (1998)

<sup>1</sup> Equipamentos dispostos na biblioteca de acordo com sua numeração (EMPRESA CONSET):

- ① 2 UNIDADES CONDICIONADORAS TIPO "SPLIT" LINHA BUILT-IN, EVAPORADOR MODELO 42PEA 08226 DXES, CONDENSADOR MODELO 38NXA 24226 Ref. SPRINGER CARRIER. (1 RESERVA)

CAPACIDADE	24.000Btu/h
VAZÃO DE AR INSUFLADO	1360 m <sup>3</sup> /h
POTÊNCIA CONSUMIDA	2870 W
PRESSÃO ESTÁTICA	10mmca
PESO EM OPERAÇÃO	{EVAPORADOR 44 kg {CONDENSADOR 61 kg

- ② UNIDADE CONDICIONADORA TIPO "SPLIT" LINHA BUILT-IN, EVAPORADOR MODELO 42PEA 06226 DXES, CONDENSADOR MODELO 38NWA 18226 (CICLO REVERSO) Ref. SPRINGER CARRIER.

CAPACIDADE	18.000Btu/h
VAZÃO DE AR INSUFLADO	1020 m <sup>3</sup> /h
POTÊNCIA CONSUMIDA	2680 W
PRESSÃO ESTÁTICA	10mmca
PESO EM OPERAÇÃO	{EVAPORADOR 35 kg {CONDENSADOR 56 kg

- ③ UNIDADE CONDICIONADORA TIPO "SPLIT" MÓDULO DE VENTILAÇÃO MODELO 40 MS A 060 23 6 VH + FILTRO FFV , MÓDULO TROCADOR DE CALOR MODELO 40MS A 060 T FR E UNIDADE CONDENSADORA MODELO 38 MS A 060 22 6 S FR Ref. SPRINGER CARRIER.

CAPACIDADE	5 TR
VAZÃO DE AR INSUFLADO	3800 m <sup>3</sup> /h
POTÊNCIA CONSUMIDA	6280 W
PRESSÃO ESTÁTICA	12mmca
PESO EM OPERAÇÃO	{EVAPORADOR 90 kg {CONDENSADOR 155 kg

### 2.9.5 Plano de Manutenção, Operação e Controle

O PMOC determina atividades de manutenção preventiva, realizadas em intervalos pré-determinados de tempo que tem o propósito de reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho e manter o correto funcionamento dos equipamentos (Santos, 2017 *apud Kardeck; Siqueira, 2009*).

Caso necessário, a periodicidade poderá ser reduzida, tais como as de limpeza dos filtros, evaporadores, etc, de modo a manter o equipamento em perfeito estado de conservação e funcionamento. Serviços não constantes neste PMOC, mas previstos no manual do fabricante do equipamento, também deverão ser realizados e registrados. Considerar, a partir da data desse trabalho, as posteriores alterações e atualizações da portaria n° 3.523, da resolução n°9 e das normas da ABNT (GARCIA, 2018).

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGIA**

No capítulo 3 é definido o tipo de pesquisa, assim como os materiais e métodos utilizados no trabalho. A partir dos materiais e métodos utilizados foi traçado um fluxograma com as etapas do trabalho e em seguida definem-se as variáveis e indicadores. Por fim, os instrumentos de coleta e tabulação de dados do trabalho.

### **3.1 Tipo de pesquisa**

Segundo Enzi & Lincoln (2006), a pesquisa qualitativa envolve o estudo do uso e a coleta de uma variedade de materiais empíricos – estudo de casos; experiência pessoal, introspecção entre outros. Pesquisadores nessa área utilizam uma ampla variedade de práticas interpretativas interligadas na esperança de sempre conseguirem compreender melhor o assunto que está ao seu alcance.

De acordo com Minayo (2008), os métodos quantitativos têm o objetivo de mostrar dados, indicadores e tendências observáveis, ou produzir modelos teóricos com aplicabilidade prática. Suas investigações evidenciam a regularidade dos fenômenos.

Segundo Silva e Menezes (2004), o estudo de caso trata do detalhamento para avaliação dos objetivos, enquanto Gil (2002), aborda que o estudo de caso é caracterizado quando a pesquisa envolve o estudo aprofundado e exaustivo de alguns poucos objetivos de forma que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

De acordo com a proposição do problema e objetivos específicos, define-se a natureza dessa pesquisa como qualitativa, quantitativa e estudo de caso. Esse trabalho tem o objetivo classificado como exploratório em que será analisado o problema e para o mesmo serão propostas soluções e melhorias com estudo caso da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas.

### **3.2 Materiais e métodos**

A partir do interesse pelos processos de refrigeração e ar condicionado foi iniciado um aprofundamento de estudos nessa área. Partiu-se então para uma área mais específica relacionada aos sistemas de condicionamento de ar. Em seguida, estudou-se uma situação particular que são sistemas de ar condicionado para museus e bibliotecas. Para finalizar foram feitos estudos para elaborar planos de manutenção, operação e controle para esses sistemas . O material principal de

estudo, do qual partiram os estudos gerais e específicos foi o sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas.

### 3.2.1 Características do Local

A Biblioteca encontra-se no segundo andar ao lado direito do edifício mostrado na figura 6, tendo suas janelas e paredes externas orientadas para leste. Com essa imagem é possível definir a orientação geográfica da biblioteca para fins de cálculo da carga térmica devido a insolação.



Figura 6: Orientação geográfica

Fonte: Google Maps

Na figura 6 mostra-se a orientação das paredes e janelas externas da biblioteca. Tal informação é de grande utilidade para o cálculo da carga térmica por insolação.

A área do local é calculada a partir da planta baixa do edifício (figura 7) disponível no projeto feito por CONSET (1999), responsável pela instalação do sistema de ar condicionado.

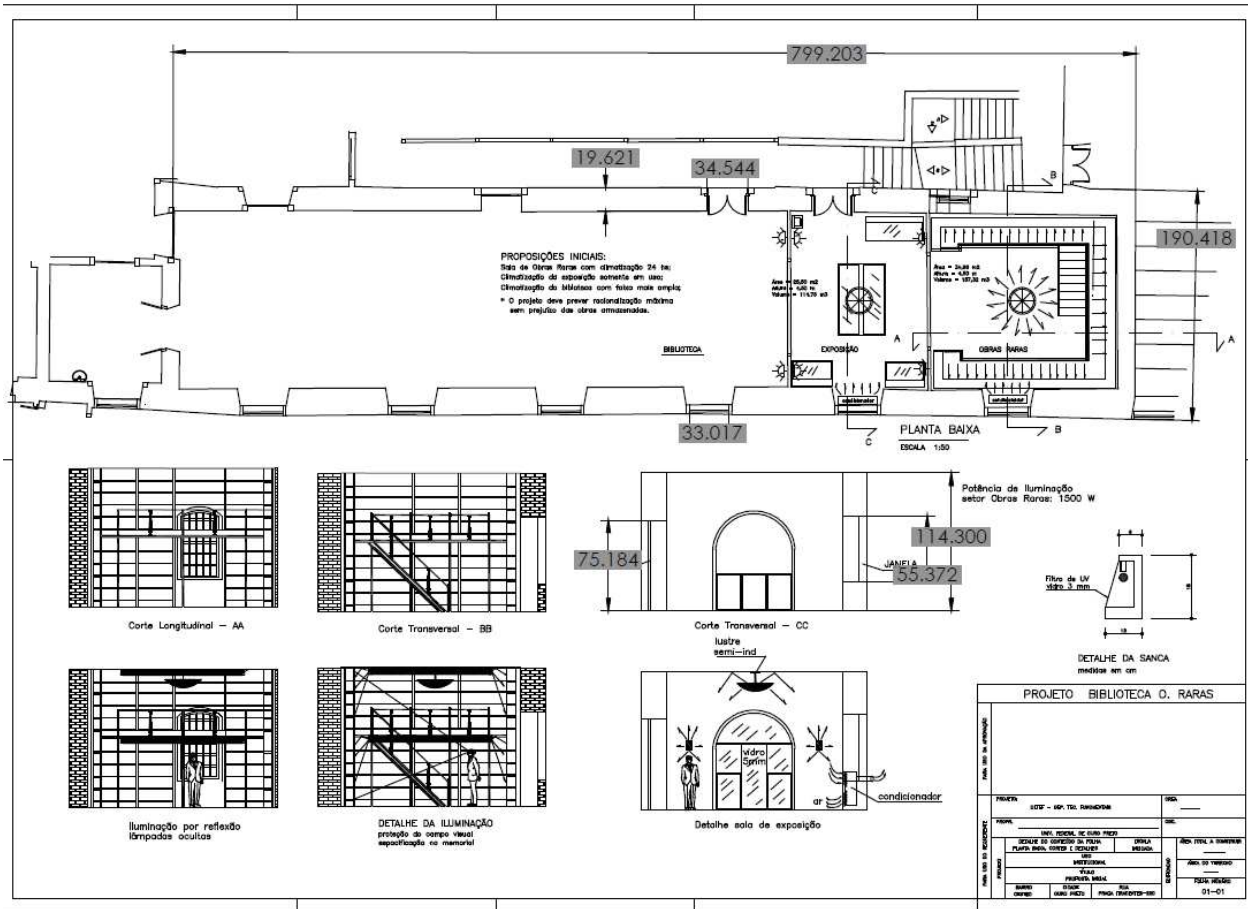


Figura 7: Dimensões da biblioteca em mm, escala 1: 50

Fonte: CONSET (1999)

Utilizando os dados da figura 7 é possível calcular a área do telhado, área das janelas (6 no total) e espessura da parede. O número de ocupantes especificados pelo projeto é de quatro pessoas para o setor de obras raras, quatro pessoas para o setor de exposições, dez pessoas para a área da biblioteca, totalizando 18 pessoas.

Esses dados são utilizados para o cálculo da carga térmica devido à insolação nos vidros, paredes, telhado, diferença de temperatura dos ambientes (paredes internas e externas), ocupantes, iluminação, motores, ao ar de ventilação e infiltração.

As dimensões cotadas, na Figura 7, estão em milímetros e em uma escala de 1: 50. Na Tabela 8 converte-se essas dimensões para metros atendendo o padrão de unidades do trabalho.



Tabela 8: Conversão dos valores das dimensões da Biblioteca

Valores uteis	Escala 1:50 milímetros	Dimensão em milímetros	Dimensão em metros
Comprimento da biblioteca	799.2	39960	39.96
Largura da Biblioteca	190.41	9520.5	9.5205
Altura da Biblioteca	114.3	5715	5.715
Número de janelas	8	400	0.4
Altura das Janelas	55.372	2768.6	2.7686
Largura das janelas	33.02	1651	1.651
Perímetro das janelas	176.784	8839.2	8.8392
Número de portas	2	100	0.1
Altura das portas	75.18	3759	3.759
Largura das portas	34.54	1727	1.727
Perímetros das portas	219.44	10972	10.972
Espessura das paredes	19.62	981	0.981

Fonte: Pesquisa direta 2018

Na tabela 8, os valores das dimensões encontrados na figura 11 são convertidos para a escala real, e em seguida são convertidos de milímetros para metros.

Na figura 8, observa-se a sequência do trabalho iniciando com sistemas de ar condicionado, carga térmica e psicrometria com a finalidade de controlar as características do ambiente. Entre as características que esses sistemas buscam controlar se destacam a temperatura, umidade e pureza do ar. Em seguida o trabalho é direcionado para uma ocasião mais específica, sobre museus e bibliotecas para chegar ao estudo de caso do trabalho que seria o sistema de ar condicionado da Biblioteca de Obras Raras. Com o estudo de caso, foi possível elaborar as necessidades da Biblioteca de Obras Raras, elaborar um plano de manutenção operação e controle (PMOC) e fazer o cálculo da carga térmica do local.

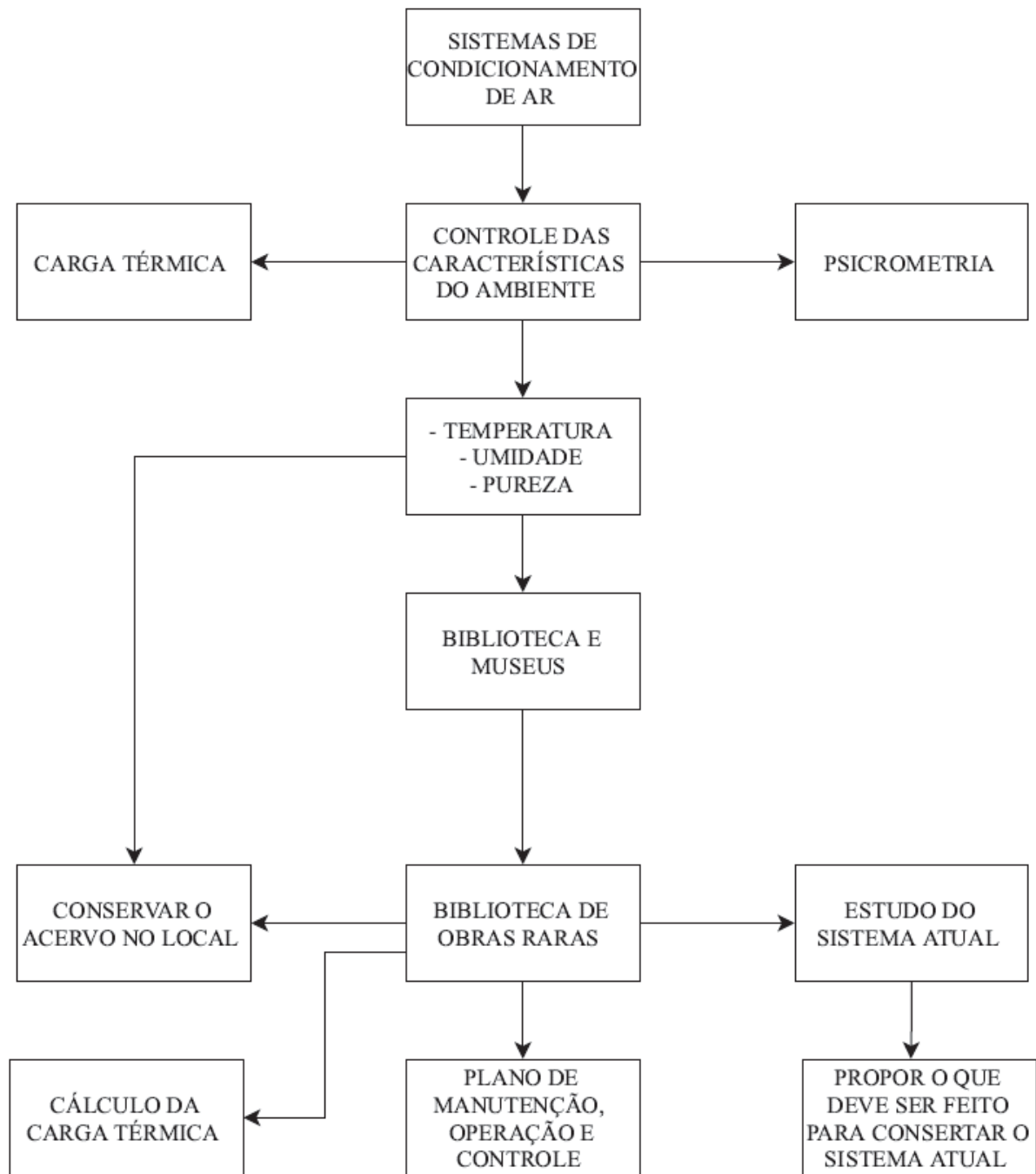


Figura 8: Fluxograma do Trabalho  
 Fonte: Pesquisa direta (2018)

O Fluxograma da figura 8 demonstra as etapas do trabalho.

### 3.4 Variáveis e indicadores

Lakatos & Marconi (2003, p. 137) consideram uma variável como “uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores, aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração”.

Tadachi & Flores (1997), abordam os indicadores como formas mensuráveis que permitem representar características de processos e produtos, podendo ser utilizados no controle e melhora da qualidade dos mesmos ao longo de determinado tempo.

Até o momento as variáveis e indicadores estudados dizem respeito a situações gerais e específicas correspondentes aos sistemas de ar condicionado. Para cada tipo de recinto e ocasião temos um tipo de equipamento a ser utilizado. Para certas situações têm-se que controlar a temperatura, umidade e pureza do ar mais restritamente.

Em relação ao PMOC, as variáveis envolvidas no processo estão relacionadas com a periodicidade que cada medida de manutenção e limpeza dos equipamentos devem ser feitas para manter o correto funcionamento do sistema e salubridade do ambiente. Na Tabela 9 estão as variáveis e indicadores dessa pesquisa.

Tabela 9: Variáveis e indicadores

<b>Variáveis</b>	<b>Indicadores</b>
Sistema de ar condicionado	Temperatura
	Umidade
	Pureza do ar
Carga térmica	Preservação do Acervo
PMOC	Periodicidade
	Equipamento
	Medidas tomadas

Fonte: Pesquisa Direta (2018)

### **3.4 Instrumento de coleta de dados**

A coleta de dados é feita pela consulta de livros, artigos e dissertações que abordem o assunto, além da pesquisa própria do local a ser estudado.

### **3.5 Tabulação de dados**

As informações obtidas serão tabuladas por meio do software *Microsoft Excel*, permitindo melhor agrupamento dos cálculos e informações coletadas. E para a documentação dos resultados será utilizado o *Microsoft Word*.

### **3.6 Considerações finais do capítulo**

Este capítulo abordou as etapas em que a pesquisa é feita, da mesma forma os métodos que serão utilizados para a análise de sistemas de condicionamento de ar. O objetivo do capítulo seguinte é apresentar resultados obtidos, fazer o estudo de caso do sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras e propor soluções para a questão problema.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo as características do local são utilizadas para o cálculo da carga térmica. Após o cálculo será feita uma comparação com a carga térmica dos equipamentos instalados no local. Por fim será feito um estudo de caso, seguido da elaboração das recomendações sobre o que deve ser feito para reativar o sistema de ar condicionado instalado.

### 4.1 Resultados do cálculo da carga térmica

Para o cálculo da carga térmica foram consideradas as características físicas do ambiente a ser condicionado. Entre essas características pode-se citar as dimensões e uso do recinto, além da sua orientação geográfica. Também devem ser considerados os materiais usados para a construção e as condições internas e externas do ambiente.

São levados em consideração as condições críticas como o período do ano e horário onde há a maior insolação, temperatura e umidade externas para condições de verão, número máximo de pessoas no recinto e todos os equipamentos e iluminação ligados.

#### 4.1.1 Resultados da carga térmica de insolação sobre janelas, paredes e telhados

Para o cálculo da carga térmica devido a insolação nos vidros ( $Q_v$ ), paredes ( $Q_p$ ) e telhados ( $Q_t$ ) são usadas as seguintes equações respectivamente;

$$Q_v = IT \cdot A_v \cdot \phi \cdot a \quad (1)$$

$$Q_p = U_p \cdot A_{pe} \cdot \Delta t_{ep} \quad (2)$$

$$Q_t = U_t \cdot A_t \cdot \Delta t_{et} \quad (3)$$

Na Tabela 10 apresentam-se os valores das variáveis e suas respectivas unidades e a carga térmica devido à insolação nos vidros, paredes e telhados.

Tabela 10: Carga térmica devido a insolação	
<b>Carga Térmica pela insolação nos vidros (kcal/h)</b>	
Irradiação no Vidro IT (Fachada Leste-8H-Fevereiro/Outubro) (kcal/h.m <sup>2</sup> )	447
Área A (m <sup>2</sup> )	31.58
Fator de redução do vidro $\phi$ (vidro simples/ cortina de cor clara)	0.56
Fator de armazenamento do Vidro a	0.65
Valor de acordo com a equação (1)	5138.319
<b>Carga térmica pela insolação nas paredes (kcal/h)</b>	
Coeficiente global de transferência de calor $U_p$ (kcal/(h.m <sup>2</sup> .°C))	0.71
Área da parede externa A (m <sup>2</sup> )	248.67
Diferença de temperatura equivalente $\Delta t_{ep}$ (°C)	5.5
Valor de acordo com a equação (2)	975.92
<b>Carga térmica pela insolação no telhado (kcal/h)</b>	
Coeficiente global de transferência de calor $U_t$ (Kcal/(h.m <sup>2</sup> .°C))	2.2
Área do teto $A_t$ (m <sup>2</sup> )	380.44
Diferença de temperatura equivalente $\Delta t_{et}$ (°C)	6.1
Valor de acordo com a equação (3)	5105.6
Somatório da carga térmica	11219.7
Fator de conversão kcal/h $\rightarrow$ Btu/h	3.9656
Valor do somatório da carga térmica em Btu/h	44492.98

Fonte: Pesquisa Direta 2018

O resultado da carga térmica de insolação nos vidros, paredes e telhados (Tabela 10) é equivalente 44492.98 Btu/h

#### 4.1.2 Resultados da carga térmica devido a transferência de calor entre os ambientes internos e externos

Para o cálculo do ganho de calor devido a diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo através das paredes internas ( $Q_{pi}$ ), janelas internas ( $Q_{ji}$ ), janelas externas ( $Q_{je}$ ) e telhado ( $Q_t$ ) são utilizadas as seguintes equações respectivamente;

$$Q_{pi} = U_p A_{pi} (T_{ext} - T_{int} - 3 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (4)$$

$$Q_{ji} = U_v A_{vi} (T_{ext} - T_{int} - 3) \quad (5)$$

$$Q_{je} = U_v A_{ve} (T_{ext} - T_{int}) \quad (6)$$

$$Q_t = U_t A_t (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}} - 3) \quad (7)$$

A Tabela 11 apresenta-se os nomes e os valores das variáveis utilizadas e o somatório da carga térmica proveniente da diferença de temperatura interna e externa.

Tabela 11: Ganho de calor pela diferença de temperatura	
<b>Ganho de calor pelas paredes internas (kcal/h)</b>	
Coeficiente global de transferência de calor $U_p$	0.71
Área da parede interna $A_{pi}$ (m <sup>2</sup> )	337.19
Diferença de temperatura (Text-Tint) -3	5
Valor de acordo com a equação (4)	1203.02
<b>Ganho de calor pelas janelas internas (kcal/h)</b>	
Coeficiente global de transferência de calor $U_v$ ( kcal/(h.m <sup>2</sup> .°C))	5
Área das janelas internas (m <sup>2</sup> )	9.141917
Diferença de temperatura(Text-Tint) -3 °C	5
Valor de acordo com a equação (5)	228.55
<b>Ganho de calor pelas janelas externas (Kcal/h)</b>	
Coeficiente global de transferência de calor $U_v$ ( kcal/(h.m <sup>2</sup> .°C))	5
Área das janelas externas (m <sup>2</sup> )	27.43
Diferença de temperatura(Text-Tint) -3 °C	5
Valor de acordo com a equação (6)	685.64
<b>Ganho de calor pelo telhado (kcal/h)</b>	
Coeficiente global de transferência de calor $U_t$ (Kcal/(h.m <sup>2</sup> .°C))	2.2
Área do telhado (m <sup>2</sup> )	380.4392
Diferença de temperatura(Text-Tint) -3	5
Valor de acordo com a equação (7)	4184.83
Somatório da carga térmica	6302.05
Fator de conversão Kcal/h → Btu/h	3.9656
Valor do somatório da carga térmica em Btu/h	24991.4

Fonte: Pesquisa Direta (2018)

O resultado da carga térmica devido diferença de temperatura interna e externa (tabela 11) é equivalente a 24991.4 Btu/h.

#### 4.1.3 Resultados da carga térmica devido aos ocupantes, iluminação e equipamentos no recinto

Para o cálculo do calor latente ( $Q_l$ ) e sensível ( $Q_s$ ) liberados pelos ocupantes, iluminação ( $Q_{il}$ ) e equipamentos do recinto ( $Q_{me}$ ) são utilizadas as seguintes equações respectivamente:

$$\text{Calor latente liberado pelos ocupantes } (Q_l) = n.(q_l) \quad (8)$$

$$\text{Calor sensível liberado pelos ocupantes } (Q_s) = n.(q_s) \quad (9)$$

$$Q_{il} = PL \, 0,86 \text{ em kcal/h} \quad (10)$$

$$Q_{me} = \frac{HP.641}{\eta} .n \quad (11)$$

Na Tabela 12 se encontram os valores e os nome de cada variável, assim como o somatório da carga térmica devido aos ocupantes, iluminação e motores elétricos.

Tabela 12 : Carga térmica de ocupantes, iluminação e motores elétricos			
Carga térmica devido aos ocupantes (kcal/h)		Latente	Sensível
Número de ocupantes	18		
Calor sensível liberado por pessoa (kcal/h)			71
Calor latente liberado por pessoa (kcal/h)		42	
Valores de acordo com as equações (8) e (9)		756	1278
Carga térmica devido a iluminação (kcal/h)			
Potência de iluminação setor de obras raras (W)			1500
Potência de iluminação do nível inferior da biblioteca (W)			2280
Potência de iluminação do nível superior da biblioteca (W)			2580
Potência total (W)			6360
Valor de acordo com a equação (10)			5469.6
Carga térmica devido aos motores elétricos (kcal/h)			
Número de motores: Correspondente aos desumidificadores			4
Potência de cada equipamento (w)			240
Potência de cada equipamento (HP)			0.32
Rendimento			0.7
Valor de acordo com a equação (11)			294.56
Somatório da carga térmica			7798.2
Fator de conversão Kcal/h → Btu/h		3.9656	
Valor do somatório da carga térmica em Btu/h			30924.54

Fonte: Pesquisa direta (2018)

O resultado da carga térmica gerada internamente no recinto pelos ocupantes, iluminação e equipamentos elétricos na Tabela 12 equivale a 30924.54 Btu/h.



#### 4.1.4 Resultados da Carga Térmica devido ao ar de renovação e infiltração de ar externo

Para o cálculo da carga térmica sensível ( $Q_{svent}$ ) e latente ( $Q_{lvent}$ ) resultante do ar exterior de renovação e carga térmica sensível ( $q_{si}$ ) e latente ( $q_{li}$ ) devido ao ar infiltração são utilizadas as seguintes equações.

$$Q_{svent} = 0.29. \dot{Q}_r.(T_{ext} - T_{int}) \quad (13)$$

$$Q_{lvent} = h_{lv}.(w_{ext} - w_{int}). \rho_{ar}. \dot{Q}_r \quad (14)$$

$$q_{si} = 1,23.Q_{arinf}.(T_{ext} - T_{int}) \quad (15)$$

$$q_{li}=3000.Q_{arinf}.(w_{ext} - w_{int}) \quad (16)$$

Na Tabela 13, encontram-se os resultados da carga térmica e os respectivos nomes e valores de cada variável utilizadas no cálculo e a carga térmica total devido ao ar de renovação e infiltração de ar externo.

Tabela 13: Carga térmica devido ao ar de renovação e infiltração de ar	
Carga térmica devido ao ar exterior ou de renovação (kcal/h)	
Carga térmica sensível devido ao ar exterior ou de renovação Kcal/h	
Vazão de ar por pessoa (m <sup>3</sup> /h)	25
Vazão de ar total $\dot{Q}_r$ (m <sup>3</sup> /h)	450
Text – Tint (°C)	8
Valor de acordo com a equação (13)	1044
Carga térmica latente devido ao ar exterior de renovação (kcal/h)	
Umidade absoluta externa (wext) Kg vapor/Kg ar seco	0.019
Umidade absoluta interna (wint) Kg vapor/Kg ar seco	0.0083
Entalpia de vaporização da água hlv ( kJ/kg)	584.9
peso específico do ar ( $\rho_{ar}$ ) ( kg/m <sup>3</sup> )	1.18
Valor de acordo com a equação (14)	3323.23
Carga térmica devido ao ar de infiltração	
Perímetro das janelas PJ (m)	8.84

Perímetro das portas Pp (m)	10.97
Número de janelas	9
Número de portas	2
Comprimento de frestas das portas CFp (m)	21.94
Comprimento de frestas das janelas CFj (m)	79.55
Infiltração por metro de fresta nas portas m <sup>3</sup> /h	6.5
Infiltração por metro de fresta nas janelas m <sup>3</sup> /h	3
Infiltração de ar nas portas m <sup>3</sup> /h	142.64
Infiltração de ar nas janelas m <sup>3</sup> /h	238.66
Infiltração total de ar m <sup>3</sup> /h	381.29
Carga térmica sensível de infiltração (kcal/h) Eq. (15)	1042.21
Carga térmica latente devido ao ar de infiltração (kcal/h) Eq. (16)	3399.88
Somatório da carga térmica	8809.31
Fator de conversão Kcal/h → Btu	3.9656
Valor do somatório da carga térmica em Btu/h	34934.18

Fonte: Pesquisa Direta (2018)

O resultado da carga térmica total devido ao ar de renovação e infiltração de ar externo equivale a 34934.18 Btu/h.

#### 4.1.5 Carga térmica total

O valor da carga térmica total consta na tabela 14.

Tabela 14: Carga térmica total	
Carga térmica total (Btu/h)	
Carga térmica de insolação: vidros, paredes e telhados	44492.98
Carga térmica devido a diferença de temperatura entre os ambientes internos e externo	24991.4
Carga térmica devido aos ocupantes, iluminação e equipamentos elétrico	30924.54
Carga térmica devido ao ar de renovação e ao ar infiltrado	34934.18
Total (Btu/h):	135343.1

Fonte: Pesquisa direta (2018)

De acordo com a Tabela 14, a carga térmica total calculada para a Biblioteca de Obras Raras foi de 135343.1 Btu/h.

#### 4.1.6 Capacidade instalada no local:

De acordo com a empresa Conset (1999) a carga térmica que está instalada na biblioteca se divide em três ambientes, a Biblioteca de Obras Raras, sala de exposições e biblioteca comum. A tabela 15 indica a capacidade dos equipamentos instalados em cada ambiente.

Tabela 15: Capacidade instalada	Btu/h
Equipamento instalado na Biblioteca de Obras Raras	24000
Equipamento instalado na sala de exposição	18000
Equipamento instalado na biblioteca comum (tonelada de refrigeração) TR	5
Fator de conversão TR --Btu/h	12000
Equipamento instalado na biblioteca comum	60000
Capacidade total instalada na biblioteca	102000

Referência: Pesquisa Direta (2018)

De acordo com a Tabela 15, a carga térmica instalada é de 24000 Btu/h para a Biblioteca de Obras Raras, 18000 Btu/h para a sala de exposição e 60000 Btu/h para a Biblioteca comum.

#### 4.2 Comparação dos resultados

A comparação dos resultados tem a finalidade de testar se os equipamentos instalados atendem a carga térmica calculada para o local. A comparação encontra-se na tabela 16.

Tabela 16: Comparação dos Resultados	Btu/h
Carga térmica total calculada	135343.1
Equipamento instalado na BOR	24000
Equipamento instalado na sala de exposição	18000
Equipamento instalando na biblioteca comum (Tonelada de refrigeração) TR	5
Fator de conversão TR → Btu/h	12000
Equipamento instalando na Biblioteca comum	60000
Capacidade total instalada na biblioteca	102000
Porcentagem da capacidade dos equipamentos na Biblioteca de Obras Raras	24%
Porcentagem da carga térmica dos equipamentos na biblioteca comum e sala de exposições	76%
Aumento percentual da carga térmica por equalizar as condições da BOR com a Biblioteca e exposições	33%

Fonte: Pesquisa direta

O somatório da capacidade dos equipamentos do sistema de ar condicionado da Biblioteca de Obras Raras (Tabela 15) é igual a 102000 Btu/h. O valor calculado no trabalho (tabela 14) é equivalente a 135343.1 Btu/h. Essa variação ocorre porque para fins de cálculo são utilizadas as mesmas condições climáticas da Biblioteca de Obras Raras onde a temperatura interna é de 22 °C sendo que para o restante da biblioteca e área de exposição a temperatura interna equivale a 24 °C. A biblioteca comum e a sala de exposições correspondem aproximadamente a 76% da capacidade instalada total, atendendo a uma carga térmica de 78000 Btu/h. Igualar as mesmas condições da Biblioteca de Obras Raras (22°C) para o restante de 78% da biblioteca e exposições resultou no aumento de aproximadamente 33 % na carga térmica total, calculado na tabela 16.

Outra interpretação desse resultado seria que utilizar um ambiente menor para armazenar o acervo raro resultou na economia de 33% do gasto energético. Isso é explicado pelo fato do espaço utilizado para armazenar o acervo raro necessitar de uma temperatura menor do que o restante da biblioteca, o que implica na necessidade de uma capacidade maior do equipamento instalado no local.

### **4.3 Plano de Manutenção, Operação e Controle**

De acordo com a tabela 15, o sistema de condicionamento de ar instalado na biblioteca possui uma capacidade de 102 0000 Btu/h. Por ter uma capacidade acima de 60000 Btu/h necessita da elaboração de um plano de manutenção operação e controle (PMOC).

O PMOC se encontra descrito e elaborado no capítulo 2 e nele estão contidos a descrição dos dados completos da empresa e do mantenedor do ar condicionado, número de ocupantes fixos e flutuantes descritos, relação de ambientes definidos com as respectivas áreas e cargas térmicas, anotação de responsabilidade técnica recolhida e dentro da validade do contrato de manutenção eletromecânica, assinada por engenheiro mecânico e de segurança do trabalho (CONFEA em sua Resolução 218/73 e complementada pela Lei 7.410/85 e Decreto 92.530/86) e descrição dos equipamentos e dos procedimentos a serem adotados para os vários componentes junto com a periodicidade que cada medida deve ser realizada.

Para preencher o PMOC é realizada uma extensa pesquisa externa, para definir os períodos e os itens a passarem pela manutenção. Entre os materiais consultados, estão as normas NBR 13971 (ANBT, 2014) e NBR 16401 (ABNT,1980) e catálogos de fabricantes de ar condicionado. Os prazos para as atividades periódicas também levaram em consideração a disponibilidade dos recursos que a Universidade pode proporcionar.

O PMOC deve ser implementado para que as condições de funcionamento sejam mantidas de acordo com os padrões referenciais de qualidade do ar no interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, definidos pela resolução nº9 da Anvisa.

Os procedimentos a seguir devem ser aplicados para os seguintes equipamentos do sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras:

- a) Filtros de Ar;

- b) Evaporadores;
- c) Condensadores;
- d) Ventiladores;
- e) Compressores;

Na tabela 17 para cada atividade tem-se determinada periodicidade (P), que pode ser classificada como mensal (M), trimestral (T), semestral (S) ou anual (A). No PMOC também se encontra um campo para descrever o profissional que executou a determinada atividade e o campo de aprovação da atividade pelo profissional responsável.

Tabela 17: Plano de Manutenção, Operação e Controle

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	P	DATA DA EXECUÇÃO	EXECUTADO POR	APROVADO POR
<b>a) Filtros de Ar</b>				
Limpar os elementos filtrantes ou substituir em casos de danos.	M			
Substituir o filtro.	T			
Verificar e eliminar corrosões, defeitos do suporte e existência de fendas. Substituir se necessário.	M			
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	P	DATA DA EXECUÇÃO	EXECUTADO POR	APROVADO POR
<b>b) Evaporadores</b>				
Checar a drenagem do líquido condensado da bandeja corrigindo possíveis obstruções e vazamentos.	M			
Lavar e remover biofilme com produto biodegradável.	T			
Limpeza exterior do gabinete.	M			
Limpeza da serpentina.	T			
Desencrustação da serpentina.	S			
Verificar circuito elétrico de controle (certificar-se de que não esteja exposto a luz do sol ou calor, assim como o receptor do sinal).	S			

Conferir elementos de fixação e repor, se necessário.	M			
Conferir a corrente elétrica dos motores.	S			
Verificar e corrigir danos e corrosão na carcaça, chassi e suporte.	T			
Verificar nivelamento do suporte e corrigir se necessário.	T			
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	P	DATA DA EXECUÇÃO	EXECUTADO POR	APROVADO POR
C) Condensadores				
Limpeza exterior do gabinete.	M			
Limpeza da serpentina.	T			
Desencrustação da serpentina.	S			
Verificar a existência de danos e corrosão no aletado e moldura.	T			
Verificar a vedação dos painéis de fechamento, fixação e danos, corrigindo ou substituindo, se necessário.	M			
Verificar e eliminar ruídos anormais e/ou vibrações.	M			
Verificar atuação do termostato e chave seletora.	M			
Verificar e corrigir danos e corrosão na carcaça, chassi e suporte.	T			
Verificar nivelamento do suporte e corrigir se necessário.	T			
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	P	DATA DA EXECUÇÃO	EXECUTADO POR	APROVADO POR
d) Ventiladores				
Verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão.	M			
Verificar e corrigir fixação e amortecedores de vibração e moldura.	S			

Verificar ruído dos mancais e lubrificar ou substituir, se necessário.	M			
Verificar o sentido de rotação.	M			
Medir e registrar tensão e corrente elétrica.	T			
Verificar aterramento.	T			
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	P	DATA DA EXECUÇÃO	EXECUTADO POR	APROVADO POR
e) Compressores				
Verificar e eliminar sujeiras, danos e corrosão.	T			
Verificar fixação e vibrações ou ruídos anormais.	M			
Medir e registrar a pressão de sucção junto ao compressor.	M			
Medir e registrar a temperatura de sucção junto ao compressor.	T			
Medir e registrar pressão de descarga junto ao compressor.	T			
Medir e registrar a temperatura de descarga junto ao compressor.	T			
Medir e registrar a temperatura da linha de líquido após o condensador.	T			
Medir e registrar a temperatura da linha de líquido antes do dispositivo de expansão.	T			

Fonte: Fonte: Garcia (2018) Adaptação da portaria GM/MS nº 3.523

#### 4.4 Considerações finais e recomendações: Problemas do local

O sistema de ar condicionado da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas está inoperante e não é capaz de manter condições de temperatura, umidade e pureza do ar adequadas para a conservação do acervo armazenado. Através de uma visita técnica no local identificou-se avarias responsáveis pelo não funcionamento do sistema. O primeiro problema encontrado são danos no sistema de dutos de ar condicionado e retorno de ar (Figura 9), causados por uma reforma feita no telhado da biblioteca.



Figura 9: Situação dos dutos do sistema de insuflamento  
Fonte: Pesquisa Direta (2018)

Analisando a Figura 9 acima percebe-se que a circulação de ar está completamente comprometida pelo estado atual do sistema de dutos.

Outra verificação está relacionada com o fluido refrigerante do sistema. O refrigerante utilizado no sistema atual é R22, como mostra a placa de especificação técnica do equipamento (Figura 10), que é a base de CFCs (Cloro, Flúor, Carbono), altamente nocivo a camada de ozônio e deve ser substituído (DANFOSS REFRIGERATION & AIR CONDITIONING DIVISION,2018).



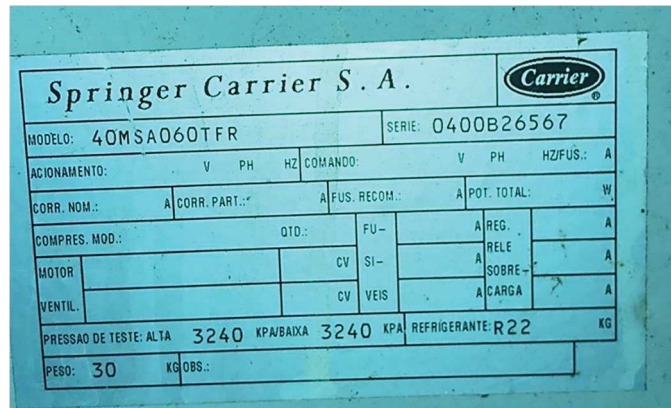


Figura 10: Placa de especificação técnica indicando o uso do refrigerante R22  
Fonte: Pesquisa direta (2018)

A figura 10 mostra o fluido refrigerante utilizado no sistema de ar condicionado da biblioteca.

O estado de conservação dos livros pode ser observado e a preservação do acervo depende das condições ambientais. Os exemplares mais antigos são delicados e necessitam de condições ambientais adequadas e permanentes para elevar ao máximo seu índice de preservação. Na figura 11 mostra-se um dos exemplares mais antigos armazenados na Biblioteca de Obras Raras.

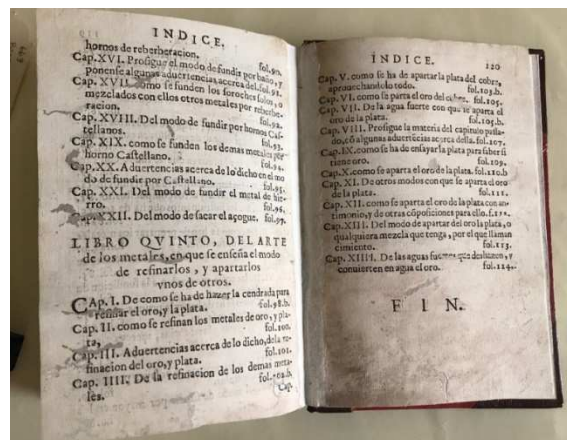


Figura 11: Exemplar armazenado na Biblioteca de Obras Raras.  
Fonte: Pesquisa Direta (2018)

Há danos no exemplar da figura 11 como manchas amarelas causadas por ação de fungos e bactérias. Percebe-se que parte do material do livro foram removidas por insetos que se alimentam do seu material.

Por fim há um problema com os desumidificadores de ar utilizados na biblioteca (Figura 12). Os desumidificadores utilizados são equipamentos individuais, separados do sistema de ar condicionado. Esses equipamentos necessitam de um sistema de drenagem e reaproveitamento para a água retirada do ambiente por estes. Atualmente a remoção dessa água é feita manualmente pela bibliotecária responsável.



Figura 12: Desumidificador de ar Arsec 240  
Fonte: Pesquisa direta (2018)

A figura 12 mostra o modelo do desumidificador utilizado na Biblioteca sem um sistema de drenagem.

#### 4.4.1 Propostas para a solução do problema

Para solucionar o problema do sistema de condicionamento de ar da Biblioteca de Obras Raras a manutenção corretiva do sistema é necessária. A manutenção pode ser iniciada com mão de obra interna da Universidade, o que seria uma alternativa econômica para o processo. Esse início do processo de reparo consiste na instalação de passarelas de madeira para limpeza e iluminação do forro onde os dutos e unidades evaporadoras do sistema de ar condicionado se encontram.

Após esses cuidados, uma empresa deve ser selecionada para realizar a reativação do sistema de ar condicionado. Essa reativação consistirá em:

- Restauração e limpeza do sistema de dutos, retorno e filtros de ar;
- Troca do fluido refrigerante;
- Operacionalização dos equipamentos para atender as condições do ambiente interno.

Para o caso dos desumidificadores devem ser feitos estudos arquitetônicos e museológicos para a instalação de uma tubulação de drenagem para a água captada.

Deve-se adaptar o sistema de refrigeração a um novo refrigerante, processo chamado de *Retrofit*. O novo refrigerante tem que ser compatível com o sistema de refrigeração e com a capacidade de refrigeração e performance similar ou superior ao R22.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO**

O trabalho desenvolvido entre aluno, professores orientadores e a bibliotecária responsável do local foi de grande valia para aprofundar o conhecimento do estudante na área de refrigeração e ar condicionado, principalmente no caso de museus e bibliotecas.

As habilidades necessárias para realizar um pré-projeto de um sistema de ar condicionado foram adquiridas. Entre essas habilidades se destacam os cálculos necessários para definir a capacidade do sistema a ser instalado e a comunicação com o cliente para saber quais as suas expectativas e necessidades. A partir dessas informações busca-se atendê-lo de forma mais econômica possível para que ele fique satisfeito.

Conhecer condições ambientais para museus e bibliotecas é significativo para o estudante, pois nesses casos os parâmetros como temperatura, umidade e pureza do ar são controlados. Isso dá segurança para lidar com sistemas de condicionamento de ar mais complexos e precisos.

Confeccionar o PMOC foi de grande importância, pois esse plano de manutenção é por lei um documento necessário para sistemas de condicionamento de ar de médio e grande porte, sendo o engenheiro mecânico o responsável técnico por esse plano de manutenção. Saber como elaborá-lo oferece atividades para o engenheiro recém-formado. Esse por sua vez desenvolve uma atividade de suma importância para o correto funcionamento do sistema de ar condicionado e boas condições para o ar interior de recintos condicionados.

Vale ressaltar a relevância do trabalho para a conservação do patrimônio histórico que o acervo armazenado no local representa. Esse trabalho é o início das atividades de retomada do funcionamento do sistema de ar condicionado da Biblioteca de Obras Raras que promoverá uma longa conservação do acervo armazenado no local para que as próximas gerações de visitantes tenham acesso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA- **Resolução N° 9**, Diário Oficial da União, 2003

AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. **Refrigeration and air-conditioning**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1979.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401: Instalações centrais de ar-condicionado para conforto – Parâmetros Básicos de Projeto**, Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13971: Sistemas de Refrigeração, condicionamento de ar e aquecimento-Manutenção Programada**, Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BRASIL, Lei N° 13.589, de 4 de janeiro de 2018. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2018/lei-13589-4-janeiro-2018-786057-publicacaooriginal-154702-pl.html>> Acesso em: 25 de julho de 2018

ÇENGEL, YUNUS; A., GHAJAR, AFSHIN. **Heat and Mass Transfer** : McGraw-Hill New York, 2015.

CONSET. **ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR PARA A BIBLIOTECA DE OBRAS RARAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**. BELO HORIZONTE 1999.

CREDER, H.. **Instalações de ar condicionado**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

DANFOSS REFRIGERATION & AIR CONDITIONING DIVISION. **Worldwide R22 countdown**, Technical Paper. Disponível em:

[http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/RA/DKRAPE100A202\\_R22\\_Technical\\_paper.pdf](http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/RA/DKRAPE100A202_R22_Technical_paper.pdf)>

Acesso em 26 de abril de 2018

ENZI, Norman. K; LINCOLN, Yvonna. S.; e Colaboradores. **O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

GARCIA, L. C. **Plano de Manutenção, Operação e Controle - PMOC - Aplicado à Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN**. 2018. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HISTÓRIA – Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas. Disponível em: <[https://www.obrasraras.em.ufop.br/novoportal/?page\\_id=2](https://www.obrasraras.em.ufop.br/novoportal/?page_id=2)>. Acesso em 26 de setembro de 2018.

LAKATOS, E. M. & MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MAPS, Google, 2018 disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Escola+de+Minas/@-20.3839686,-43.5048545,236a,52.3y,2.37t/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1smuseu+da+escola+de+minas!3m4!1s0xa40b1fe35951c1:0xdc226327bd46a8f5!8m2!3d-20.3844564!4d-43.5036447>> Acesso em: 7 de dezembro de 2018.

MARAM, Marcos. **Modernização de sistema de ar condicionado**. Monografia (MBA em Gerenciamento de Facilidades) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento**. 11 ed. São Paulo: Hucitec, 2008.

OLIVEIRA, Miriam Alvez. **Preservação e conservação de obras Raras**. Universidade Federal do Pará. Disponível em: <[https://issuu.com/ufpadoispontozero/docs/preserva\\_o\\_e\\_conserva\\_o\\_de\\_ob/1?ff=true](https://issuu.com/ufpadoispontozero/docs/preserva_o_e_conserva_o_de_ob/1?ff=true)>. Acesso em 23 de junho de 2018.

PIRANI, M.J. **Refrigeração e Ar Condicionado Parte II Ar condicionado**, Universidade Federal da Bahia; Departamento de Engenharia Mecânica, SD.

RENABRAVA. **GUIA PARA INSPEÇÃO DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO**, BRASIL, 2018

SANTOS, Diego José Sacramento: **Estudo da aplicação de *softwares* na Engenharia de Confiabilidade**, 2017. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

SCHNEID, Ginter Neutzling. **Utilização de rede neural artificial para controle de variáveis que causam encanoamento diagonal de papéis, em máquina industrial de papel cartão.**(Pós-Graduação em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Novembro de 2013.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000, 118p.

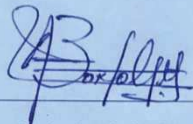
STOECKER, W. F., JONES, J. W. **Refrigeração e Ar Condicionado.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

TADACHI, N.T., e FLORES, M.C.X. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho.** 1ª.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.





Certifico que o aluno **Gotardo Mendes Vieira**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado “Estudo de sistemas de condicionamento de ar: o caso da Biblioteca de Obras Raras da Escola de Minas ”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



---

Luís Antônio Bortolaia

Orientador

Ouro Preto, 18 de janeiro de 2019.