

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

IGOR CAMPOS REIS  
LUAN DA FRAGA FIGUEIREDO  
RAFAELA DAMATO DOS REIS

SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EVAPORATIVA COMO ALTERNATIVA AO  
SISTEMA DE AR CONDICIONADO CONVENCIONAL VISANDO AMENIZAR OS  
IMPACTOS AMBIENTAIS E REDUZIR OS CUSTOS

Volta Redonda  
2018

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EVAPORATIVA COMO ALTERNATIVA AO  
SISTEMA DE AR CONDICIONADO CONVENCIONAL VISANDO AMENIZAR OS  
IMPACTOS AMBIENTAIS E REDUZIR OS CUSTOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica do UniFOA como requisito à obtenção de título de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.

Por:

Igor Campos Reis

Luan da Fraga Figueiredo

Rafaela Damato dos Reis

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Volta Redonda

2018

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Alunos:

Igor Campos Reis

Luan da Fraga Figueiredo

Rafaela Damato dos Reis

Monografia:

SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EVAPORATIVA COMO ALTERNATIVA AO  
SISTEMA DE AR CONDICIONADO CONVENCIONAL VISANDO AMENIZAR OS  
IMPACTOS AMBIENTAIS E REDUZIR OS CUSTOS.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

---

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

---

Prof. Esp. Antônio de Pádua Sobreira Leal

## DEDICATÓRIA

Dedicamos a Deus e a nossas famílias  
que dão verdadeiro sentido à vida e a tudo  
o que fazemos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos a Deus pela saúde e coragem que nos possibilitaram trilhar este caminho até aqui.

Agradecemos aos nossos familiares que sempre nos apoiaram e nos aconselharam em nossas decisões, partilhando as dúvidas, os medos, as tristezas e alegrias.

Agradecemos aos ensinamentos que os professores que exercem essa nobre profissão com o coração conseguiram transmitir, que possam ter a certeza que de alguma forma puderam contribuir e saibam que suas lições estarão sendo aplicadas com toda responsabilidade que se deve ter neste ramo.

Agradecemos aos colegas de trabalho que sempre incentivaram para que nós pudéssemos chegar onde eles estavam e nos aconselharam profissionalmente sobre as melhores atitudes para cada momento para que pudéssemos complementar nossa formação teórica.

*“Tudo sempre deve ser feito da maneira mais simples possível,  
porém não mais simples do que isso”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

Um dos vilões no consumo elevado de energia elétrica é o aparelho de ar condicionado. A fim de minimizar os danos causados por este aparelho, ou seja, reduzir os impactos ao meio ambiente e os custos de operação, deve-se buscar novas tecnologias e fontes renováveis de energia. Entre essas tecnologias está o sistema de climatização evaporativa como alternativa para solucionar os problemas. Neste trabalho foi feito um estudo comparativo entre o sistema de condicionamento convencional e o sistema de climatização evaporativo aplicado no ginásio esportivo do Unifoa Campus Três Poços. Nele, foi realizado um levantamento de campo, onde foi possível observar todas as condições de contorno do ambiente, levando em consideração todas as cargas térmicas internas e externas. Com esses dados calculados, foi feita a seleção do aparelho ideal e em seguida, foi calculado o custo de operação do mesmo. Desse modo, foi possível observar o enorme ganho econômico e ambiental com a utilização do climatizador evaporativo comparado ao sistema de ar condicionado convencional.

Palavras-chave: energia elétrica, ar condicionado, impactos, meio ambiente, climatizador.

## **ABSTRACT**

One of the villains in high electric power consumption is the air conditioner. In order to minimize the damage caused by this apparatus, ie reduce the environmental impact and operating costs, it is necessary to seek new technologies and renewable energy sources. Among these technologies is the evaporative air conditioning system as an alternative to solve problems. In this work a comparative study was made between the conventional conditioning system and the evaporative air conditioning system applied in the Unifoa Campus Três Poços sports gymnasium. In it, a field survey was carried out, where it was possible to observe all the environmental boundary conditions, taking into account all internal and external thermal loads. With this calculated data, the ideal equipment was selected and then the operating cost of the device was calculated. In this way, it was possible to observe the enormous economic and environmental gain with the use of the evaporative air conditioning system compared to the conventional air conditioning system.

Keywords: electric power, air conditioning, impacts, environment, air conditioning.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Questões Econômicas .....	16
2.2. Questões Ambientais .....	19
2.2.1. Gases de refrigeração.....	20
2.2.2. Consumo de energia .....	21
2.3. Condicionador de Ar Externo .....	24
2.3.1. Princípio de funcionamento do ar condicionado.....	26
2.3.2. Tipos de ar condicionado .....	28
2.3.3. Vantagens do ar condicionado .....	30
2.3.4. Desvantagens do ar condicionado.....	31
2.4. Climatizador Evaporativo .....	31
2.4.1. Componentes do sistema de climatização evaporativa e suas funções	32
2.4.2. Vantagens do climatizador evaporativo .....	36
2.4.3. Desvantagens do climatizador evaporativo.....	36
2.5. Climatizador Evaporativo X Ar Condicionado.....	36
3. METODOLOGIA.....	39
3.1. Dimensionamento de um Climatizador.....	39
3.1.1. Condição do ambiente externo.....	40
3.1.2. Condição do ambiente interno.....	40
3.1.3. Cálculo da carga térmica.....	41
3.1.4. Cálculo da carga térmica total .....	41
3.1.5. Sistema de climatização evaporativo .....	42
3.1.6. Sistema de climatização convencional.....	42
4. ESTUDO DE CASO.....	43
4.1. Cálculo da Carga na Parede Externa (W).....	45

4.2.	Cálculo da Carga na Parede Interna (N).....	49
4.3.	Cálculo da Carga na Parede Interna (E).....	52
4.4.	Cálculo da Carga na Parede Interna (S).....	54
4.5.	Cálculo da Carga na Parede Externa (S).....	56
4.6.	Cálculo da Carga na Cobertura.....	57
4.7.	Cálculo da Carga dos Dutos.....	60
4.8.	Carga Devido às Pessoas.....	60
4.9.	Carga Devido a Iluminação.....	61
4.10.	Carga Devido aos Equipamentos.....	61
4.11.	Cálculo da Carga Térmica Total.....	61
4.12.	Vazão de Insuflamento.....	62
4.13.	Seleção do Equipamento.....	64
4.14.	Cálculo da Quantidade de Climatizadores Necessária.....	65
4.15.	Custo Financeiro para Implementação dos Climatizadores Evaporativos.....	66
4.16.	Cálculo para um Condicionador de Ar Externo.....	66
4.17.	Cálculo da Vazão de Insuflamento para o Condicionador de Ar Externo.....	70
4.18.	Capacidade do Condicionador de Ar Externo.....	71
4.19.	Seleção do Condicionador de Ar Externo.....	72
4.20.	Custo Financeiro Para Implementação dos Condicionadores de Ar Externos no Ginásio.....	73
4.21.	Custo Energético de Operação.....	74
4.22.	Sumário Executivo.....	75
5.	CONCLUSÃO.....	77
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Valor Final da Energia Elétrica. ....	17
Figura 2: Categorias do Sistema de Bandeiras Tarifárias. ....	17
Figura 3: Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional.....	18
Figura 4: Faixas de Horário. ....	19
Figura 5: Ilustração da grande quantidade de ar condicionado nas residências. ....	20
Figura 6: Consumo de energia elétrica no Brasil.....	24
Figura 7: Representação do ciclo frio. ....	25
Figura 8: Representação do ciclo quente. ....	26
Figura 9: Representação do Ciclo Básico de Refrigeração. ....	27
Figura 10: Tipos de Compressores Utilizados nos Sistemas de Ar Condicionado. ...	27
Figura 11: Interior de um Ar Condicionado de Janela. ....	28
Figura 12: Unidade externa(condensadora). ....	29
Figura 13: Unidade interna (evaporadora).....	29
Figura 14: Modelos de Ar Condicionado Split. ....	30
Figura 15: Principais Componentes do Ar Condicionado split. ....	30
Figura 16: Representação gráfica de um climatizador evaporativo. ....	32
Figura 17: Representação gráfica de uma fonte de água.....	32
Figura 18: Representação gráfica de um distribuidor de água. ....	33
Figura 19: Representação gráfica de um painel evaporativo. ....	33
Figura 20: Representação gráfica de um coletor.....	34
Figura 21: Representação gráfica de um sistema de bombeamento. ....	34
Figura 22: Detalhamento do funcionamento do sistema de climatização evaporativa.....	35
Figura 23: Fluxograma representativo das etapas de dimensionamento de um climatizador. ....	39
Figura 24: Imagem ilustrativa das coordenadas da Terra. ....	40
Figura 25: Imagem ilustrativa de um ginásio esportivo.....	41
Figura 26: Planta baixa do ginásio UniFOA.....	44
Figura 27: Telha selecionada para o projeto. ....	57
Figura 28: Carta psicrométrica. ....	65
Figura 29: Roto 80 Confort. ....	65
Figura 30: Carta psicrométrica. ....	69

Figura 31: Ilustração da evaporadora.....	72
Figura 32: Ilustração da condensadora. ....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos tipos de usinas.....	22
Tabela 2: Comparativo entre climatizador evaporativo e ar condicionado. ....	37
Tabela 3: Coeficiente de Transmissão de Calor dos Materiais de Construção. ....	45
Tabela 4: Valores da condutância superficial de acordo com a velocidade do vento. .....	46
Tabela 5: Acréscimo ao Diferencial de Temperatura - $\Delta t$ em °F e em °C.....	48
Tabela 6: Características da telha de aço galvanizado simples .....	57
Tabela 7: Calor Liberado pelas pessoas .....	60
Tabela 8: Carga térmica total .....	61
Tabela 9: Dados técnicos do climatizador .....	64
Tabela 10: Dados técnicos do condicionador de ar externo.....	73
Tabela 11: Comparativo do custo energético de operação entre os sistemas. ....	75
Tabela 12: Valor presente líquido do sistema de climatização convencional. ....	75
Tabela 13: Valor presente líquido do sistema de climatização evaporativo.....	76

**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
Cofins	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CFC	Clorofluorcarboneto
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviço
HCFC	Hidroclorofluorcarboneto
HFC	Hidrofluorcarboneto
MBP	Metalúrgica Barra do Pirai
NBR	Norma Brasileira
Pis	Programa de Integração Social

## 1. INTRODUÇÃO

Dos primórdios até os dias atuais, a humanidade descobriu a possibilidade de se trabalhar com a energia elétrica. Energia essa que pode ser gerada através de múltiplos processos de transformação de energia que na maioria dos casos, são de conversão de energia cinética em elétrica. Uma vantagem é, que a energia elétrica pode ser transportada por grandes distâncias entre o ponto gerador e o consumidor.

A energia elétrica trouxe para a população algumas comodidades como iluminação elétrica, aparelho telefônico, sistemas de conforto térmico e vários outros aparelhos que se tornaram praticamente indispensáveis. Por conta disso a população mundial a cada dia mais se tornou dependente deste tipo de energia, criando assim uma grande demanda, que trouxe junto a necessidade de processos de geração cada vez mais produtivos, e a partir dessa produção em grande escala, passou-se a observar que esses processos de geração de energia elétrica geram diversos impactos ao meio ambiente.

Em alguns casos, esses impactos eram provenientes da geração de gases poluentes da atmosfera, gerando um fenômeno conhecido como aquecimento global. Em meio a esse cenário, entendeu-se a necessidade em zelar pelo meio ambiente, reduzindo ao máximo os impactos ambientais.

Nos dias de hoje, o uso excessivo de energia elétrica tornou-se inconveniente, perigoso e alarmante. Vale ressaltar que este aumento se dá em razão do consumismo acelerado. Além de afetar o planeta, o alto consumo de energia elétrica gera um custo para as pessoas. As mesmas passam a pagar tarifas cada vez maiores que cobrem custos operacionais e investimentos aos prestadores de serviços.

Apesar da grande concentração do consumo de energia elétrica ser alta no setor industrial, a população também contribui de forma significativa nesse consumo. Sendo boa parte devido ao número de aquisições de aparelhos de ar condicionado do tipo convencional, que cresce a cada dia e o mesmo vem sendo considerado o principal vilão desse aumento no consumo de energia.

O aparelho de ar condicionado convencional tem uma grande participação na elevação do efeito estufa devido ao seu processo de refrigeração que utiliza gases refrigerantes prejudiciais a camada de ozônio.

Nas fases mais quentes do ano, quando se eleva a utilização destes aparelhos muitos países atingem o seu pico de consumo de energia, tendo que buscar medidas paliativas para suprimir essa alta demanda de energia. Em muitos países se utilizam termoelétricas, que utilizam combustíveis fósseis como combustíveis para geração de energia, e conseqüentemente lançam ainda mais CO<sub>2</sub> na atmosfera devido à queima desses combustíveis.

Infelizmente a prática da instalação de equipamentos de refrigeração sem o seu correto dimensionamento por um profissional leva ao superdimensionamento e ociosidade dos mesmos na maior parte do tempo, resultando em um gasto de energia desnecessária.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Questões Econômicas**

O aumento no consumo de energia elétrica tem se tornado cada vez mais expressivo. Este aumento está atrelado tanto aos ciclos de desenvolvimento industrial e econômico quanto ao consumo das pessoas em seus lares. Devido ao grande crescimento da raça humana, a demanda por energia elétrica se tornou uma necessidade comum à vida de todos.

Atualmente esta necessidade tem gerado um alto custo para os consumidores. O valor tarifado é uma segurança para as companhias de energia elétrica, tendo em vista que esses valores tendem a ser suficiente para cobrir os custos de operação, aplicar melhorias nas redes elétricas garantindo a qualidade e a satisfação do cliente. Os valores aplicados as tarifas são calculadas e repassadas pelo órgão regulador Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) que é responsável pelo setor energético no Brasil, podendo ser maiores ou menores que os valores cobrados pelas empresas.

A Aneel tem a função de cobrir os custos de operação das empresas que são prestadores de serviço na área do setor energético, assim como remunerar os investimentos necessários para aumentar a capacidade do sistema. A Aneel leva em conta no valor calculado os custos para as empresas na geração de energia, a transmissão e a distribuição, às unidades consumidoras e os encargos setoriais, e nesse valor ainda ocorre a incidência dos impostos federal, estadual e municipal, como Pis/Cofins, o ICMS e a contribuição para a iluminação pública. Podemos conferir na figura 1, os custos com a energia é o mais elevado (53,5%), em seguida temos os tributos (29,5%). A parcela referente aos custos com distribuição, que são os custos para manter o sistema operando com qualidade e manter os ativos é de (17%) no custo das tarifas.

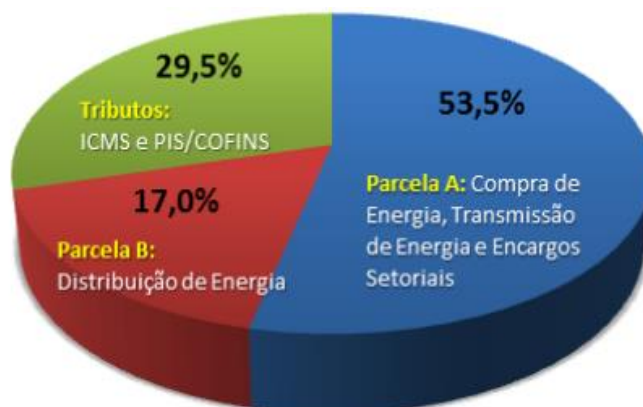


Figura 1: Valor Final da Energia Elétrica.

Fonte: Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica).

A partir de 2015, a cobrança de energia funciona pelo sistema de bandeiras tarifárias. Ele se divide em quatro categorias (uma delas sem acréscimo de valor, em que existe condições favoráveis para a produção da energia, e as três últimas acrescentam valor quanto a complexidade de geração de energia). As categorias são divididas segundo a figura 2.



Figura 2: Categorias do Sistema de Bandeiras Tarifárias.

Fonte: Light.

O Brasil hoje tem como principal fonte geradora de energia elétrica as usinas hidroelétricas que têm o baixo impacto ambiental, sendo também uma pequena parcela proveniente de usinas nucleares. Em situações atípicas de alta demanda de energia torna-se indispensável a utilização de usinas termoeletricas, sendo que essas

usinas contribuem para o aquecimento global e o efeito estufa devido á liberação de uma grande quantidade de poluentes na atmosfera.

Nos dias de hoje, também se utiliza a tarifa branca que é uma alternativa tarifária elaborada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que indica a varia o sobre o valor da tarifa cobrada conforme dia e horário do consumo. Com a tarifa branca, o valor cobrado pela energia é de acordo com o horário e o dia em que o consumo ocorreu. Antes, as unidades consumidoras atendidas na baixa tensão contavam apenas com a tarifa convencional, que tem valor único (em reais/kWh) cobrado pela energia consumida, independente do dia e horário deste consumo, conforme figura 3.

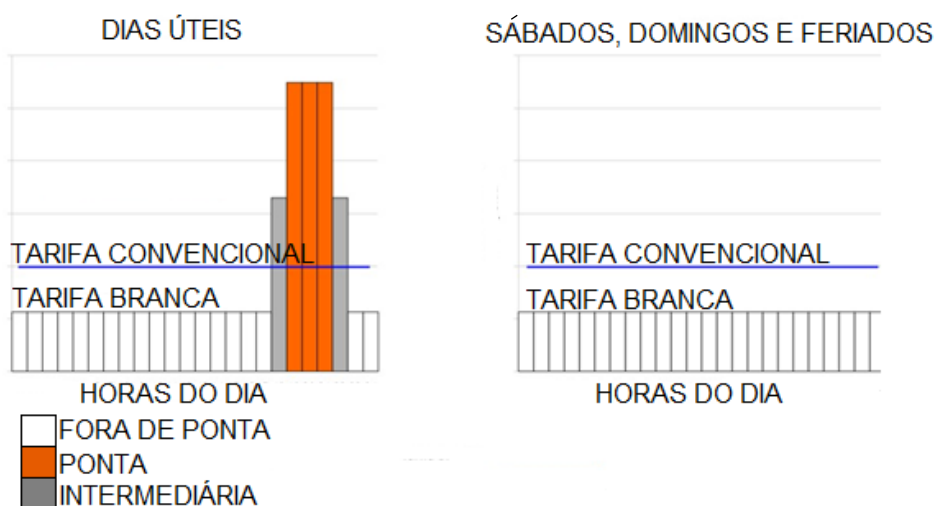


Figura 3: Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional.

Fonte: G1 Economia.

Na tarifa branca, o preço cobrado pela energia é dividido em três maneiras distintas, sendo elas: horário de PONTA (quando o valor da energia é o mais caro), horário INTERMEDIÁRIO (quando o valor da energia é mais alto que o convencional) e horário FORA DE PONTA (quando o valor da energia é mais barato que o convencional). Em ocasiões atípicas como feriados nacionais, sábados e domingos a cobrança tarifária é considerada fora de ponta durante todas as horas do dia. A distin o das tarifas   demonstrada na figura 4.

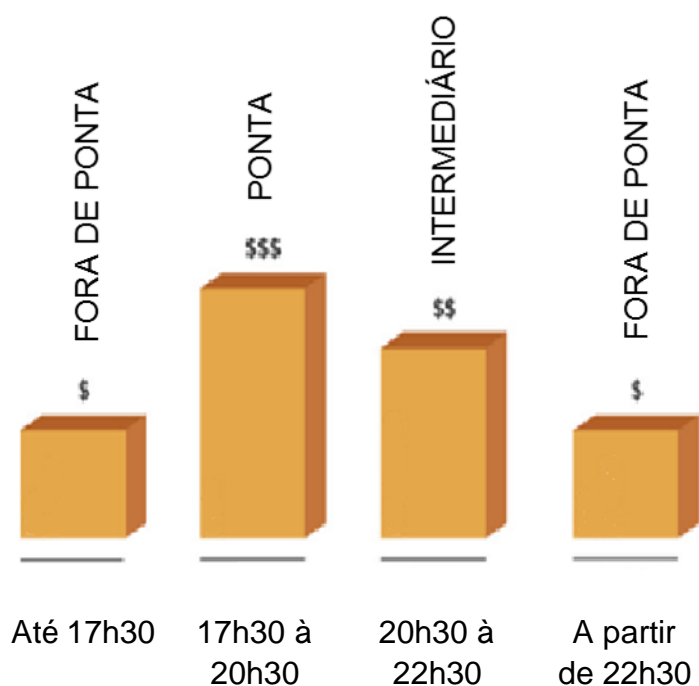


Figura 4: Faixas de Horário.

Fonte: Light.

## 2.2. Questões Ambientais

Atualmente um dos eletrodomésticos mais desejados para se ter em casa é o ar condicionado (sistema de climatização convencional) principalmente na estação mais quente do ano, como mostra a figura 5. Isto se dá devido a sua grande capacidade de oferecer conforto térmico para os lares. No entanto, por trás dos benefícios que o ar condicionado proporciona, existem desvantagens em relação a sua utilização, tais como: alto consumo de energia elétrica; processo de geração de energia elétrica nocivo ao meio ambiente; utilização de gases refrigerantes prejudiciais a camada de ozônio.



Figura 5: Ilustração da grande quantidade de ar condicionado nas residências.

Fonte: Ecycle.

### 2.2.1. Gases de refrigeração

Quando se fala em gás prejudicial à camada de ozônio logo pensa-se que dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal vilão da história. No entanto existem outros gases também poluentes à camada de ozônio que são pouco falados devido a emissão em quantidades menores, mas que tem maior potencial degradador. Um desses gases é o clorofluorcarboneto (CFC) que foi muito utilizado em sistemas de arrefecimento como ar condicionado, *freezer*, geladeiras, entre outros.

Devido à grande capacidade de degradação do ozônio causada pelo CFC, em 16 de setembro de 1987 foi criado o Protocolo de Montreal, assinado por diversos países onde ficou tratado a eliminação gradativa do CFC e a utilização de outros gases que não sejam prejudiciais a camada de ozônio.

De acordo com o novo cenário proposto, iniciaram-se as buscas por novas alternativas. Uma delas foi a substituição pelo gás hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) que mesmo mostrando ser bem menos nocivo à camada de ozônio, infelizmente ainda causava danos. Deste modo, este gás foi substituído pelos hidrofluorcarbonetos (HFCs) que teoricamente não prejudicariam o meio ambiente.

Porém, o que parecia ser a solução, mostrou-se ineficiente com o passar do tempo. Notou-se que os HFCs interagem com outros gases e continuavam a contribuir para o aquecimento global.

Estudos alertam que o uso contínuo do HFC poderá piorar ainda mais os efeitos provenientes do aquecimento global aumentando ainda mais a possibilidade de eventos catastróficos como: elevação dos oceanos, furacões, tufões e ciclones.

Na tentativa de erradicar estes problemas antes de seu agravamento foi firmado um novo acordo em outubro de 2016, em Quigali, capital da Ruanda, onde cerca de quase 200 países se comprometeram com a eliminação progressiva dos HFCs.

No intuito de ser mais rigoroso que o primeiro tratado conhecido como protocolo de Montreal ficou estabelecido um calendário que visa estabelecer metas a serem cumpridas por determinados países.

O calendário proposto define que os países desenvolvidos devem reduzir o consumo e a produção de HFCs em no mínimo 10% até o fim do ano de 2019 quando comparado aos anos de 2011 à 2013 e bater a meta de 85% de redução até o ano de 2036. Já os países em desenvolvimento grupo este que o Brasil pertence afirmaram começar a redução no ano de 2024 com meta mínima de 10% até o ano de 2029 quando comparado aos anos anteriores de 2020 a 2022 e 85% de redução para o ano de 2045.

### **2.2.2. Consumo de energia**



Com o aquecimento global nos últimos tempos, tornou-se como item de desejo a aquisição de um sistema de refrigeração de ar principalmente nos países tropicais que registram maiores temperaturas. Com o aumento da renda familiar, muitos tornaram desejo em realidade.

Ao estudar um pouco mais a fundo essa situação, nota-se que o funcionamento dos aparelhos de ar condicionado demanda uma boa quantidade de energia sendo esta identificada no aumento do valor da conta mensal com o uso frequente do aparelho. Mas essa energia precisou ser gerada em algum momento. Por sorte no Brasil utilizamos como principal fonte geradora as hidroelétricas que, quando comparadas com outros meios de geração conhecidos, tem baixo nível de poluição do meio ambiente. No entanto, no caso da maioria dos países do mundo a energia precisa ser gerada através de processos altamente poluentes, como termoelétricas. A tabela 1 explica os pontos positivos e negativos de cada tipo de usina.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos tipos de usinas.

Fonte: G1.

TIPO DE USINA	VANTAGEM	DESVANTAGEM
<p>Hidroelétrica</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de gases causadores do efeito estufa muito baixa</li> <li>- Baixo custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto ambiental e social do represamento do rio</li> <li>- Dependência (limitada) das condições climáticas</li> </ul>
<p>Termoelétrica a carvão</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo de construção e combustível</li> <li>- Alta produtividade</li> <li>- Independência das condições climáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de gases de efeito estufa muito alta (é a que mais emite)</li> <li>- Poluição local do ar com elementos que causam chuva ácida e afetam a respiração</li> </ul>
<p>Termoelétrica a gás natural</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo de construção</li> <li>- Independência das condições climáticas</li> <li>- Baixa poluição local (comparada à termoelétrica a carvão)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de gases de efeito estufa alta (menor que a do carvão, porém significativa)</li> <li>- Custo de combustível muito oscilante (atrelado ao petróleo)</li> </ul>
<p>Termoelétrica a biomassa</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo de construção e combustível</li> <li>- Emissão de gases de efeito estufa praticamente se anula (o ciclo do carbono fica perto de ser fechado)</li> <li>- Independência das condições climáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disputa do espaço do solo com a produção de alimentos</li> <li>- Caso haja desmatamentos para o cultivo, cria um novo problema ambiental</li> </ul>
<p>Nuclear</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de gases de efeito estufa praticamente inexistente</li> <li>- Alta produtividade</li> <li>- Independência das condições climáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto custo (exige investimentos em segurança)</li> <li>- Produção de rejeitos radioativos</li> <li>- Risco de acidentes (a probabilidade é baixa, mas os efeitos são gravíssimos)</li> </ul>

<p style="text-align: center;">Eólica</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de gases de efeito estufa praticamente inexistente</li> <li>- Impacto ambiental mínimo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa produtividade</li> <li>- Dependência das condições climáticas</li> <li>- Poluição visual</li> </ul>
<p style="text-align: center;">Fotovoltaica</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo impacto ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto custo</li> <li>- Baixa produtividade</li> </ul>

A partir destas informações entende-se que, mesmo indiretamente, o aparelho de ar condicionado é um grande poluidor do meio ambiente pertinente ao elevado consumo de energia elétrica. Desse modo, é aceitável dizer que o mesmo aparelho que é responsável por conceder conforto térmico ao ambiente, tem uma grande parcela de culpa no aquecimento do planeta.

Um estudo comparativo realizado pelo Clima Tempo Consultoria, conforme figura 6, mostra de forma analítica o que foi dito anteriormente, ou seja, que um pequeno aumento na temperatura levou a população a ligar seus potentes equipamentos de ar condicionado, aumentando o consumo diário em cerca de 15% comparando os dias 03/10/2016 com 19/10/2016.

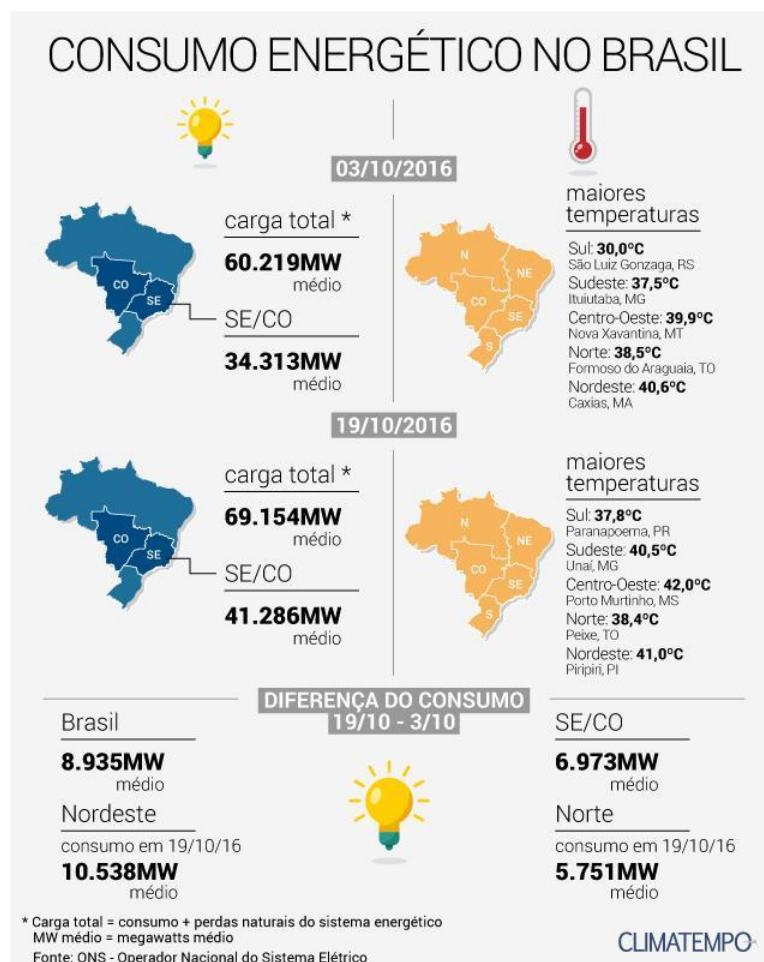


Figura 6: Consumo de energia elétrica no Brasil.

Fonte: Clima Tempo Consultoria.

Considerando todas as análises feitas acima, pode-se afirmar que apenas com o aumento do uso do ar condicionado em um dia, foi preciso gerar mais energia elétrica que também gerou mais emissões de poluentes.

Com base nisso, este trabalho consiste em apresentar um estudo sobre a tecnologia de climatização evaporativa e seu funcionamento, bem como seus benefícios para o meio ambiente.

### 2.3. Condicionador de Ar Externo

O ar condicionado consiste em tratar o ar interno de ambientes fechados melhorando a qualidade do mesmo, tendo como objetivo fundamental reduzir a temperatura de ambientes fechados, concedendo assim conforto térmico aos ocupantes do ambiente.

Lembrando que nem todos os aparelhos de ar condicionado possuem as mesmas funções, como mostram as figuras 7 e 8, tendo em vista que cada um tem uma finalidade desejada, com características diferentes.

Os aparelhos de ar condicionado asseguram diversas funções, dentre elas temos:

- Aquecimento: função que existe apenas em alguns aparelhos que permite adicionar calor ao ambiente.
- Purificador de ar: remover poeiras e fungos através da utilização de filtros nos equipamentos de ar condicionado ajudando a manter o ar limpo e com boa qualidade no ambiente a ser refrigerado.
- Desumidificação: os aparelhos de ar condicionado têm a função de desumidificar através da metodologia de arrefecimento, sendo assim, restringem o crescimento de ácaros e bolores ajudando pessoas com alergias e problemas respiratórios.
- Ventilação: esta função retira o ar quente do interior onde se deseja climatizar possibilitando a renovação do ar devido ao ar fresco trazido do meio externo.

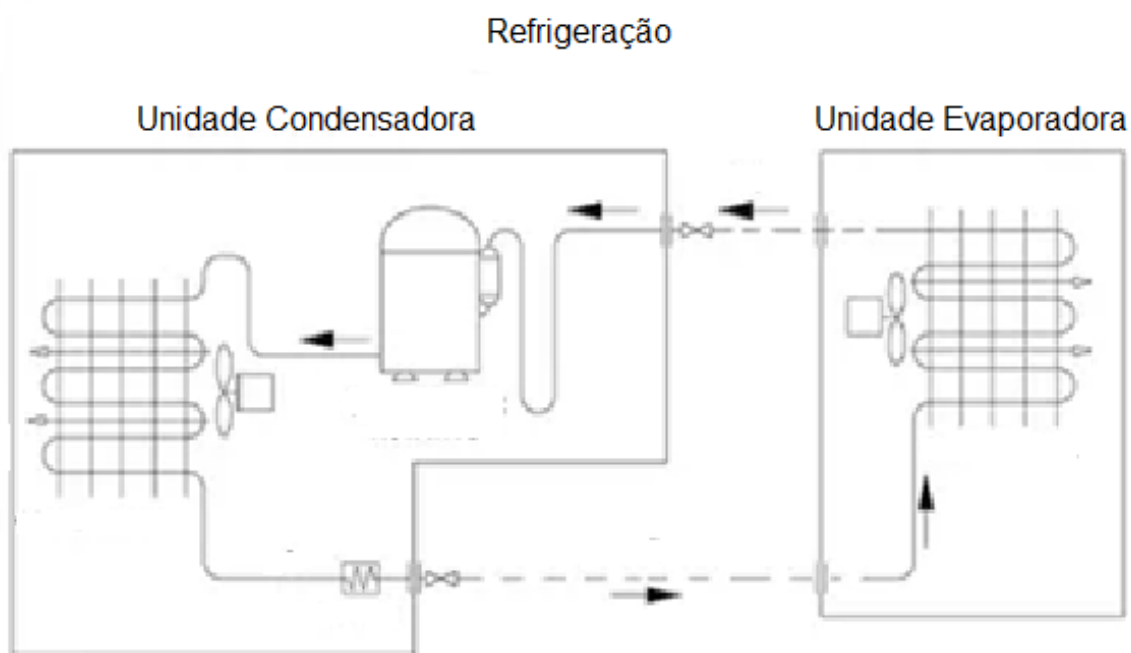


Figura 7: Representação do ciclo frio.

Fonte: A. DIAS ar condicionado.

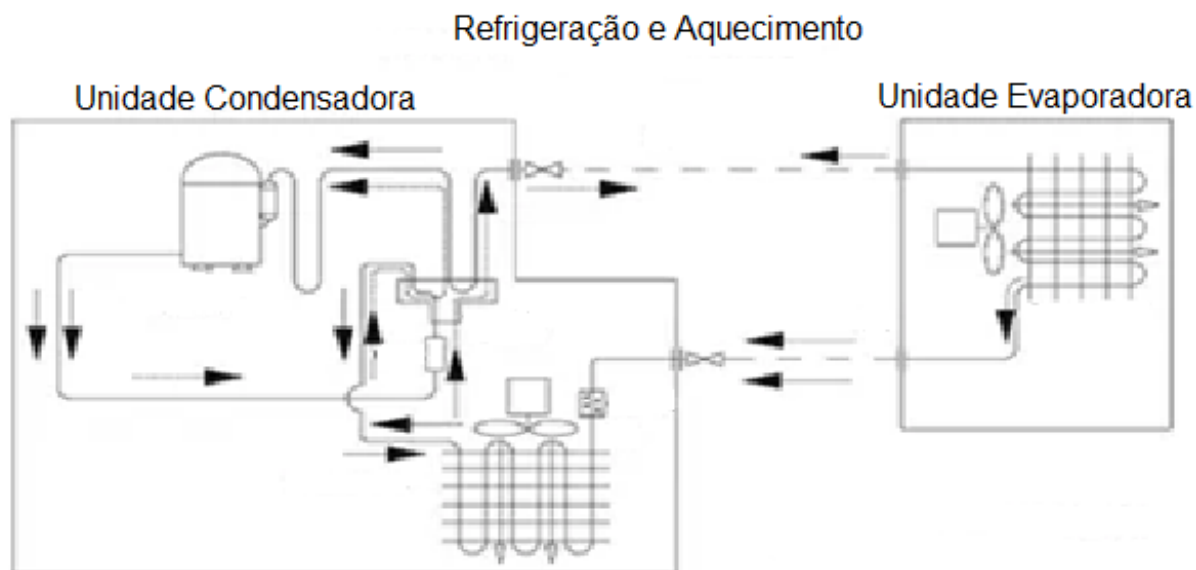


Figura 8: Representação do ciclo quente.

Fonte: A. DIAS ar condicionado.

### 2.3.1. Princípio de funcionamento do ar condicionado

Os aparelhos de ar condicionado trocam a temperatura ambiente, através do ar que passa pela serpentina que fica localizada no evaporador, o contato do ar com as paredes da serpentina permite a queda ou o aumento da temperatura.

Ao alcançar a temperatura desejada, existe um sensor de leitura no evaporador que desliga o compressor, permitindo o bom funcionamento do equipamento com temperatura estável, ou seja, qualquer variação na temperatura estipulada pelo usuário, o compressor será novamente acionado possibilitando assim a circulação do gás pelas serpentinas. A figura 9 ilustra o ciclo básico de refrigeração do ar condicionado como citado anteriormente e a figura 10, os tipos de compressores utilizados.

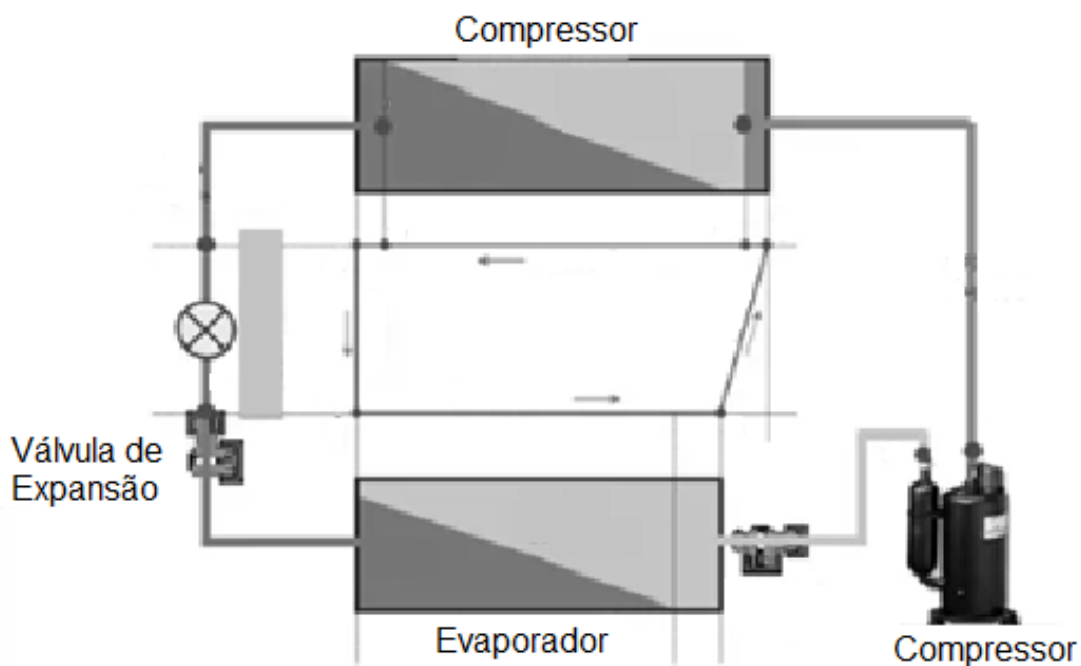


Figura 9: Representação do Ciclo Básico de Refrigeração.

Fonte: A. DIAS ar condicionados.

Tipo	Reciprocativo	Rotativo	Scroll
Vista			
Mecanismo			
Aplicação	Refrigerador, A/C, Chiller (0.1 - 200hp)	A/C (0.5 - 3.0 hp)	A/C (2.5 hp)

Figura 10: Tipos de Compressores Utilizados nos Sistemas de Ar Condicionado.

Fonte: A. Dias refrigeração.

### 2.3.2. Tipos de ar condicionado

#### a) Ar condicionado de parede ou janela

Consiste em aparelhos compactos, onde evaporador e condensador se encontram dentro da mesma carcaça. É um equipamento considerado fácil de instalar, podendo ser instalado em janelas ou paredes, conforme figura 11.

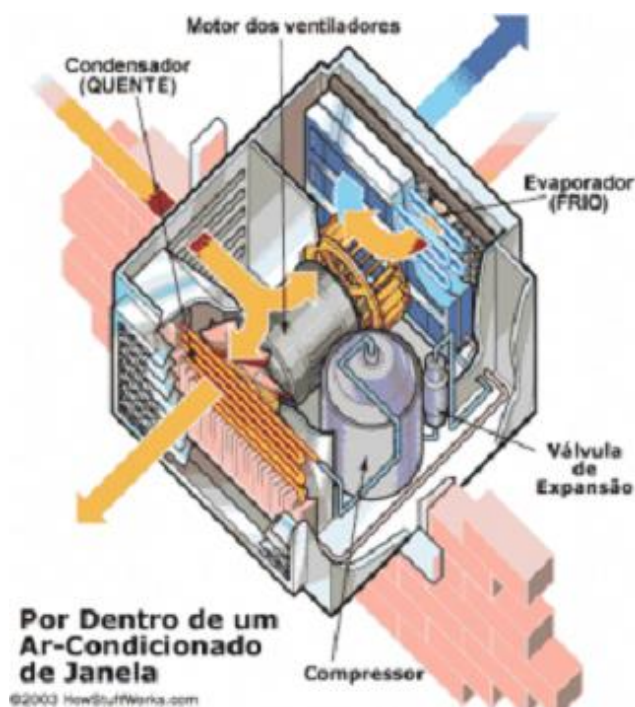


Figura 11: Interior de um Ar Condicionado de Janela.

Fonte: Web Ar Condicionado.

#### b) Ar condicionado tipo *split*

O sistema “split” se divide em duas unidades ou mais. A unidade externa que é a condensadora e a unidade interna que é conhecida como evaporadora. A principal idéia desse projeto de ar condicionado quando foi desenvolvido, era a de diminuir o ruído interno ao ambiente que seria condicionado, pois o compressor que é o item que gera maior ruído fica instalado junto a unidade externa que é a condensadora. A interligação entre as unidades condensadoras e evaporadora é feita através de tubos de alumínio ou cobre.

A unidade externa(condensadora), conforme mostra a figura 12, é responsável pela mudança do estado do gás refrigerante para o estado líquido.

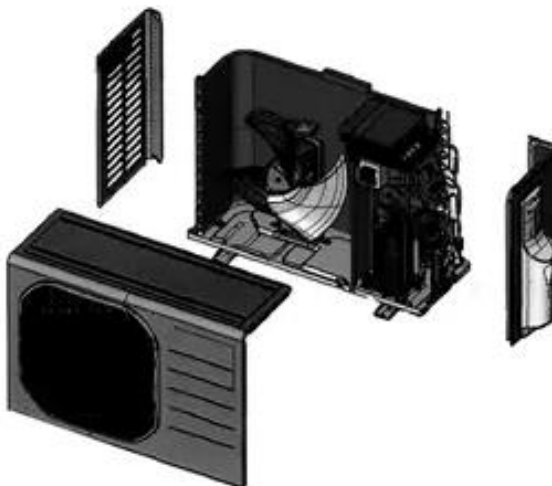


Figura 12: Unidade externa(condensadora).

Fonte: A. DIAS ar condicionado

A unidade interna (evaporadora), conforme ilustrada na figura 13, tem como objetivo resfriar o ar no local a ser condicionado.



Figura 13: Unidade interna (evaporadora).

Fonte: A. DIAS ar condicionado.

O ar condicionado *split* pode ser de diferentes modelos conforme figura 14.



Figura 14: Modelos de Ar Condicionado Split.

Fonte: A.DIAS ar condicionado.

Os principais componentes desse tipo de ar condicionado podem ser demonstrados na figura 15 abaixo.

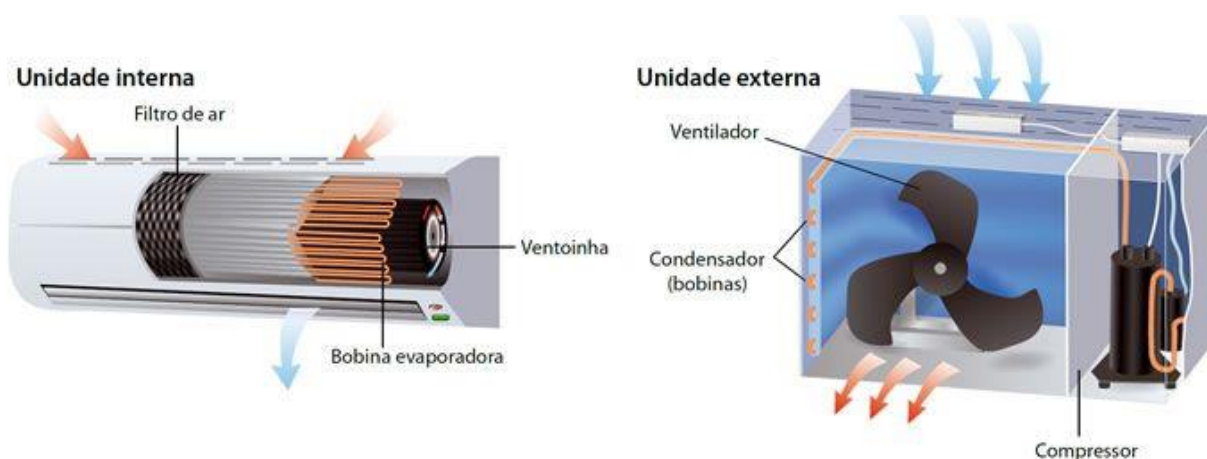


Figura 15: Principais Componentes do Ar Condicionado *split*.

Fonte: Home Decore.

### 2.3.3. Vantagens do ar condicionado

- Pode-se controlar a temperatura ambiente, tendo em vista que aparelhos de última geração possuem termostatos para controlarem a temperatura do ambiente com boas precisões.
- O ar condicionado poder ser utilizado em qualquer ambiente, sendo que esse ambiente pode ser seco ou úmido.
- Os aparelhos com custo maior, oferecem a função de aquecimento.

### **2.3.4. Desvantagens do ar condicionado**

- Alto consumo de energia principalmente na época do verão.
- Necessita de mão de obra especializada para instalação (ar condicionado *Split*).
- Custo elevado.
- Os aparelhos de ar condicionado deixam o ar com baixa umidade, sendo assim prejudicando a respiração dos ocupantes no recinto, principalmente pessoas com problemas respiratórios.
- Por não fazer a renovação do ar no ambiente, pode facilmente facilitar a transmissão de doenças.
- Grande emissor de gases que são danosos ao ecossistema e acabam prejudicando a camada de ozônio.

### **2.4. Climatizador Evaporativo**

Climatizador evaporativo é um equipamento de ventilação que resfria o ar por um processo de evaporação da água. Um dos acessórios que permitem essa troca de calor entra água e ar é a colmeia de papel celulose que fica molhada, tendo em vista que o ar passa por essa colmeia antes de ser insuflado para o ambiente, como mostra a figura 16.

Através desse processo conseguimos resfriar o ar do ambiente e dependendo das condições climáticas, podemos renovar o ar e umidificá-lo, sendo assim, através desses fatores conseguimos elevar o conforto térmico para os ocupantes desse ambiente a ser climatizado.

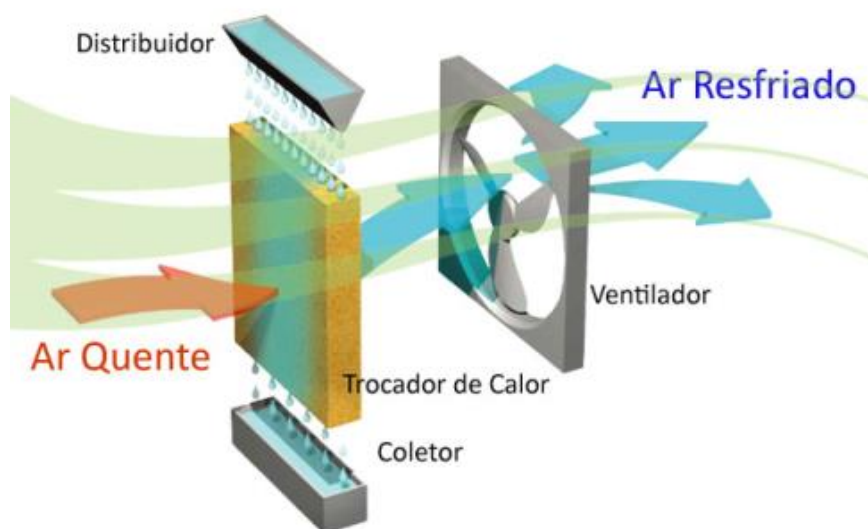


Figura 16: Representação gráfica de um climatizador evaporativo.

Fonte: Refrescare.

#### 2.4.1. Componentes do sistema de climatização evaporativa e suas funções

##### a) Fonte de água:

A água pode ser considerada o principal componente de um climatizador evaporativo, pois, tem função de resfriar e umidificar o ar. A figura 17 representa graficamente uma fonte de água.



Figura 17: Representação gráfica de uma fonte de água.

Fonte: Refrescare.

b) Distribuidor de água:

Tem como principal função realizar a umidificação uniforme do painel evaporativo e manter o fornecimento de água constante durante o processo, conforme figura 18. Normalmente instalado na parte superior ao painel evaporativo.

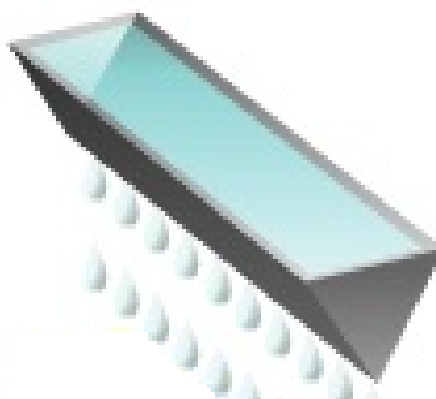


Figura 18: Representação gráfica de um distribuidor de água.

Fonte: Refrescare.

c) Painel evaporativo:

Seu princípio de funcionamento é o mesmo que de um trocador de calor. Normalmente é fabricado em celulose o que permite reter certa quantidade de água e realizar o contato entre a massa de ar quente e seca com a água mais fria que o ar e úmida, conforme figura 19.



Figura 19: Representação gráfica de um painel evaporativo.

Fonte: Refrescare.

d) Coletor:

Responsável por coletar a água residual que escorre pelo ponto mais baixo do painel evaporativo, podendo esta água voltar a ser utilizada no processo novamente, conforme figura 20. Normalmente é instalado na parte inferior ao painel evaporativo.

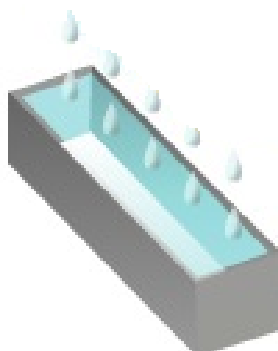


Figura 20: Representação gráfica de um coletor.

Fonte: Refrescare.

e) Sistema de bombeamento:

Esse sistema torna-se necessário para realizar a transição da água do coletor até o distribuidor, permitindo assim a continuidade do funcionamento do equipamento e com menor consumo de água. A figura 21 representa um sistema de bombeamento.



Figura 21: Representação gráfica de um sistema de bombeamento.

Fonte: Refrescare.

f) Detalhamento do processo de funcionamento:

O sistema de climatização evaporativa funciona conforme figura 22.

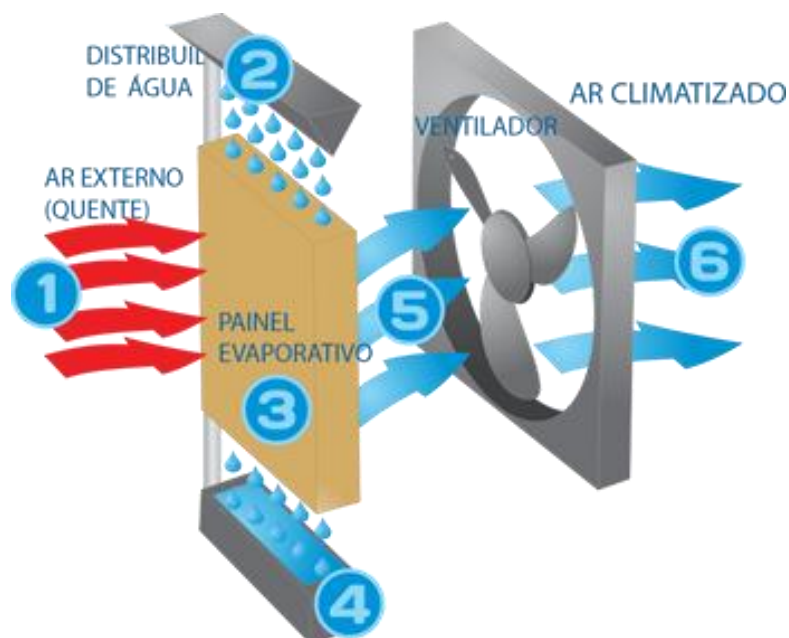


Figura 22: Detalhamento do funcionamento do sistema de climatização evaporativa.

Fonte: Site Climabrisa.

Conforme figura 22, temos:

1. O aparelho captura o ar externo.
2. O painel evaporativo é umidificado através do umidificador de água.
3. Esse painel evaporativo tem sua construção feita de um material celulósico que fica todo úmido, mantendo uma temperatura de 10°C, sendo essa temperatura abaixo da temperatura ambiente, pois a água passa através dele.
4. Parte da água que não sofreu o efeito de evaporação é encaminhado para um reservatório, tendo em vista que uma bomba d'água retira essa água do reservatório e leva novamente para o distribuidor de água, sendo novamente reaproveitada no sistema.
5. O ventilador é responsável por succionar o ar resfriado e umidificado.
6. Esse ar resfriado e umidificado é insuflado pelo ventilador climatizando o ambiente.

### **2.4.2. Vantagens do climatizador evaporativo**

- Esse produto consome menos energia do que um condicionador de ar externo, cerca de 90 % de economia com energia elétrica.
- Comparado com um condicionador de ar externo, seu valor é acessível.
- Ótimo funcionamento em regiões secas, pois além de resfriar o ar ele também umidifica o mesmo.
- Esse equipamento permite fazer a renovação do ar ambiente, sendo assim melhorando as condições de conforto para os ocupantes do ambiente.
- Pode ser utilizado junto com o condicionador de ar externo, podendo umidificar o ar e reduzir os custos com energia.
- Pode utilizar a água da chuva, sendo assim, diminui o valor mensal gasto com água para a troca de calor com o ar, sendo sustentável.
- Esse equipamento não molha o ambiente quando o ar é insuflado no ambiente.

### **2.4.3. Desvantagens do climatizador evaporativo**

- Em regiões com elevada umidade possui baixa eficiência.
- Não possui um bom funcionamento em temperaturas de trabalho baixa.
- Para esse equipamento funcionar com boa eficiência, em alguns ambientes pode ser solicitado alguns equipamentos extras, como equipamentos de exaustão de ar.

## **2.5. Climatizador Evaporativo X Ar Condicionado**

O climatizador de ar externo é um aparelho com maior complexidade se comparado com o climatizador evaporativo. O seu funcionamento possui similaridade com um de uma geladeira ou de um bebedouro de água industrial, possuindo ao menos dois motores elétricos, sendo que um é encarregado pela compressão do gás refrigerante e outro que se responsabiliza por fazer a movimentação do ar movimentando um ventilador.

Para escolhermos o aparelho mais indicado para nossa necessidade, possuem diversos fatores a ser analisados. Primeiramente o climatizador possuem vantagens e desvantagens diferentes um do outro.

Depois de analisar os dados técnicos de cada aparelho, é hora de analisar qual aparelho atende melhor as necessidades desejadas, considerando o local que ele será instalado, para qual finalidade esse aparelho será utilizado, qual o clima do local a ser implementado o equipamento, custo de implantação e custo com manutenção, sendo assim podemos fazer a escolha mais eficiente. A tabela 2 apresenta um comparativo dos dois sistemas mencionados.

Tabela 2: Comparativo entre climatizador evaporativo e ar condicionado.

Fonte: Portal da refrigeração.

	<b>CLIMATIZADOR EVAPORATIVO</b>	<b>AR CONDICIONADO CONVENCIONAL E SPLIT</b>
<b>CUSTO</b>	Muito alto.	Alto.
<b>CONSUMO DE ENERGIA</b>	Baixo.	Muito alto.
<b>REQUISITOS DO AMBIENTE</b>	Ambiente aberto porque trabalha com grande renovação de ar (próximo a 100%).	Deve ser fechado o máximo possível porque trabalha com pouca renovação de ar.
<b>EFEITO NA TEMPERATURA</b>	Resfria o ar de acordo com a temperatura de bulbo úmido local.	Esfria o ar de acordo com a temperatura selecionada no termostato.
<b>EFEITO NA UMIDADE</b>	Aumenta a umidade relativa do ar sem atingir a saturação.	Seca o ar.

<b>EFEITO NA SAÚDE</b>	Bom devido à grande renovação de ar. A umidificação do ar é um benefício adicional em climas muito secos.	Ar muito seco e a baixa taxa de renovação do ar são prejudiciais à saúde.
<b>IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE</b>	Nenhum impacto negativo.	O alto consumo de energia pode acarretar um pesado ônus para o meio ambiente. Quando usam gás CFC ou HCFC são prejudiciais à camada de ozônio.
<b>MANUTENÇÃO</b>	Baixa e simples.	Alta e especializada.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Dimensionamento de um Climatizador

Para se projetar um sistema de ar condicionado deve-se levar em consideração todas as condições de contorno que possam adicionar ou remover calor ao ambiente. Outro ponto importante é a respeito da ordem dos cálculos, conforme estipulado na figura 23.

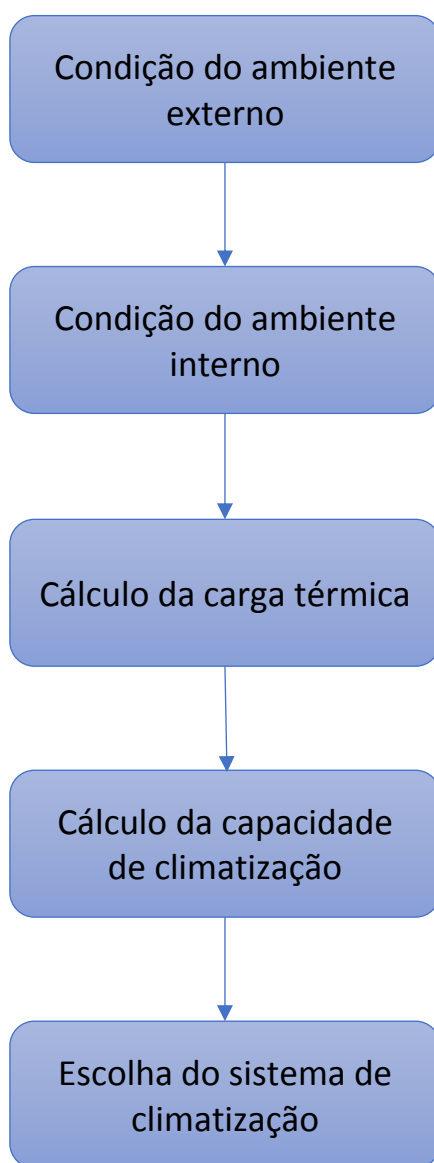


Figura 23: Fluxograma representativo das etapas de dimensionamento de um climatizador.

Fonte: Os próprios autores.

### 3.1.1. Condição do ambiente externo

Esta etapa refere-se a um levantamento de informações no campo. Podendo ressaltar pontos fundamentais que devem ser verificados: histórico climático da região levando em consideração as estações do ano, orientação cartográfica do ambiente avaliando principalmente o contato direto do ambiente com o sol durante todo o dia e sentido do vento, conforme figura 24.



Figura 24: Imagem ilustrativa das coordenadas da Terra.

Fonte: Site Construir.

### 3.1.2. Condição do ambiente interno

Esta etapa ainda continua no levantamento de campo. Deve-se analisar: dimensões gerais do ambiente, possíveis pontos de entrada e saída de ar, quantidade de portas e janelas, observar as possíveis fontes de calor existentes no local e filtrar informação referente ao possível número de pessoas que circulam no ambiente e tipo de atividade que realizam, conforme figura 25.



Figura 25: Imagem ilustrativa de um ginásio esportivo.

Fonte: Google.

### 3.1.3. Cálculo da carga térmica

Para o cálculo da carga térmica total de um ambiente deve se verificar todas as possíveis fontes geradoras de calor, podendo elas serem internas ou externas.

Para as fontes externas de calor é importante observar a condutividade térmica de cada tipo de material que recebe calor, as cores externas, se são claras ou escuras, e principalmente as características construtivas, visto que podem ser propícias a condução de calor ou não.

Para as fontes internas é importante verificar todas as fontes de calor existentes ou que possam existir no futuro. É necessário considerar que algumas fontes de calor podem gerar calor latente ou sensível, tendo como base que os principais itens geradores de calor de um ambiente são: dutos de ventilação, pessoas, iluminação e equipamentos.

### 3.1.4. Cálculo da carga térmica total

Após a análise sistemática de cada caso que possa inserir calor ao meio a ser refrigerado, deve-se executar o somatório de todas elas.

Ao final do cálculo da carga térmica total, cada tipo de climatizador utilizará um tipo de cálculo para seu dimensionamento.

### **3.1.5. Sistema de climatização evaporativo**

Deve-se calcular qual é a vazão de insuflamento total necessária para refrigerar o ambiente. A partir da vazão de ar obtida, utiliza-se catálogos dos fornecedores para a seleção do equipamento. Pode-se utilizar um único condicionador de ar para realizar a climatização total do ambiente ou mais de um (cujo somatório da vazão de ar seja igual a vazão de ar total), que pode ser disposto no ambiente a fim de realizar a refrigeração de forma mais homogênea.

### **3.1.6. Sistema de climatização convencional**

Para o dimensionamento do sistema de climatização convencional, deve-se adotar a mesma metodologia do item anterior, porém utiliza-se a potência de refrigeração para a seleção do equipamento.

#### 4. ESTUDO DE CASO

Para aplicação prática do trabalho em questão, foi considerado um ginásio esportivo de dimensão 24 m x 31m x 9,5 m conforme figura 26.

Observação: para esse cálculo não foi levado em conta a área do vestiário. O mesmo foi representado apenas na planta (vestiário 6m x 24 m).

##### Dados do Projeto:

- Temperatura ambiente: 30°C.
- Temperatura externa: 32° C.
- Umidade relativa externa: 75 %.
- Umidade relativa interna: 60%.
- N° de pessoas: 50 pessoas.
- Equipamentos: 15 lâmpadas de 500 W.
- Parede (N): 0,20 x 0,20 cm com emboço dos dois lados.
- Parede (S): parte inferior: parede de tijolos com 0,20 x 0,20 cm com dimensões de (24 x 6,2 m) de altura, com emboço dos dois lados.  
Parte superior: parede de (tijolo cobogó 0,30 x 0,30 cm) com dimensões de (24 x 3,30 m). 2 portas de madeira 1,2m x 2,10 (cada uma) e um portão de aço de 1,70 x 2,70 m.
- Paredes na cor branca e azul
- Parede (L) e (O): parede emboçada dos dois lados com tijolos de 0,20 x 0,20 cm, 2 portões de aço com 2,70 x 3,10 m (cada um).
- Cobertura: telha de aço galvanizado simples sem revestimento.

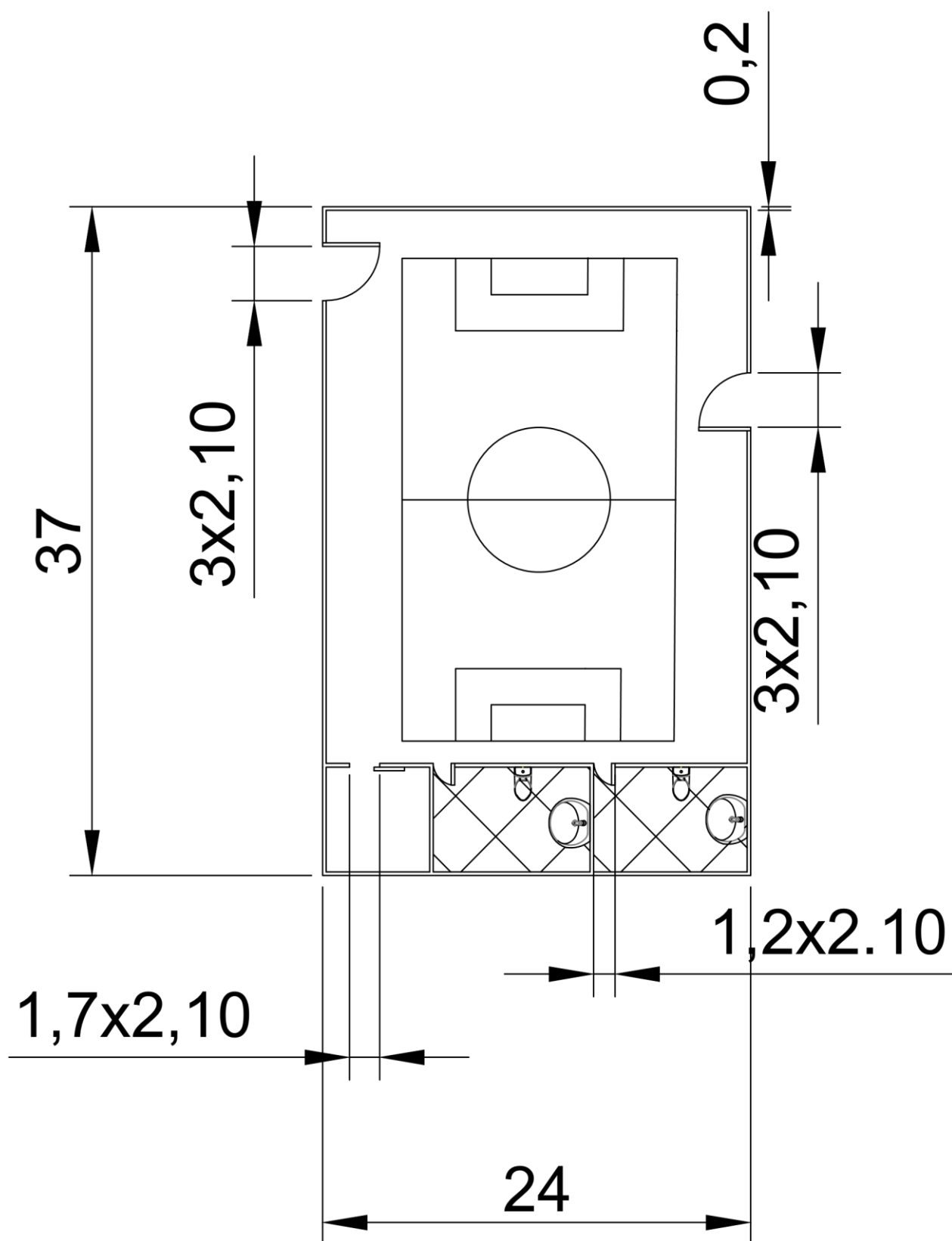


Figura 26: Planta baixa do ginásio UniFOA.

Fonte: Os próprios autores.

#### 4.1. Cálculo da Carga na Parede Externa (W)

Todos os cálculos deste trabalho foram baseados nos dados fornecidos pelo livro “Instalações de Ar Condicionado - Autor: Hélio Creder.”

Levando em conta que todas as paredes são feitas de tijolo de concreto furado 20 cm, e emboçada com 2 cm de emboço, obtemos a condutividade K do tijolo de concreto furado, e a condutância C na tabela 3:

Tabela 3: Coeficiente de Transmissão de Calor dos Materiais de Construção.

Fonte: Livro Instalações de Ar Condicionado.

Material	Condutividade K		Condutância C	
	BTU . in/h . ft <sup>2</sup> . °F	kcal/h . m . °C	BTU/h . ft <sup>2</sup> . °F	kcal/h . m <sup>2</sup> . °C
<i>1. Acabamentos:</i>				
- cimento asbestos	4,0	0,496		
- gesso 1/2"			2,25	10,99
- lambris	0,80	0,09		
- lambris de 3/4"			1,07	5,22
- fibra de madeira	1,40	0,173		
- emboço ou reboco (2cm)			0,49	2,39
<i>2. Alvenaria:</i>				
- lã mineral (vidro ou rocha)	0,27	0,03		
- vermiculite	0,46	0,05		
- concreto simples	5,0	0,62		
- massa de cimento com agregados	1,7	0,21		
- concreto com areia e pedra	12,0	1,48		
- estuque	5,0	0,62		
- tijolo comum (meia-vez)	5,0	0,62		
- tijolo comum (uma vez)	9,0	1,11		
- tijolo de concreto furado de 10 cm	1,4	0,17		
- tijolo de concreto furado de 20cm	0,9	0,11		
- ladrilho ou cerâmica	0,9	0,11		
- alvenaria de pedra	12,50	1,55		
<i>3. Isolamentos:</i>				
- fibras de lãs minerais (vidro ou rocha)	0,27	0,03		
- fibra de madeira	0,25	0,03		
- vidro celular	0,39	0,04		
- cortiça	0,27	0,03		

- fibra de vidro	0,25	0,03
- isoflex (Santa Marina)		0,039
<b>4. Argamassas:</b>		
- nata de cimento com areia	5,0	0,62
- nata de gesso com areia	5,6	0,69
- agregado com vermiculite	1,7	0,21
<b>5. Cobertura:</b>		
- placa de agregado de asfalto	6,50	0,80
- teto com 10 cm	3,00	0,37
<b>6. Madeiras:</b>		
- de lei (cedro, canela etc.)	1,10	0,13
- pinho	0,80	0,09

---

O valor da velocidade do ar foi tirado da tabela 4.

Tabela 4: Valores da condutância superficial de acordo com a velocidade do vento.

Fonte: Livro Instalações de Ar Condicionado, Hélio Creder.

Velocidade Do Vento	Condutância superficial kcal/h.m <sup>2</sup> .°C
Ar parado	7,13 a 7,96
12km/h	19,5
24km/h	29,3

$$k_{\text{Tijolo}} = 0,11 \frac{\text{kcal}}{\text{h x m x } ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{emboço}} = 2,39 \frac{\text{kcal}}{\text{h x m}^2\text{x } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Velocidade do ar: } h = 7,13 \frac{\text{kcal}}{\text{h x m}^2\text{x } ^\circ\text{C}}$$

### - Cálculo da resistência da parede (W)

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$R = \frac{2}{h_{ar}} + 2 \times \frac{1}{C_{emboço}} + \frac{e}{K_{Tijolo}}$$

Onde:

$$R = \text{resistência da parede} - \left( \frac{h \times m \times ^\circ C}{kcal} \right)$$

$$h = \text{velocidade do ar} - \left( \frac{kcal}{h \times m^2 \times ^\circ C} \right)$$

$$C = \text{condutância do emboço} - \left( \frac{kcal}{h \times m^2 \times ^\circ C} \right)$$

$$K = \text{condutividade do tijolo} - \left( \frac{kcal}{h \times m \times ^\circ C} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$R = 2 \times \frac{1}{7,13} + \frac{2}{2,39} + \frac{0,20}{0,11}$$

$$R = 2,93 \frac{h \times m \times ^\circ C}{kcal}$$

### - Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor U

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R}$$

Onde:

$$U = \text{coeficiente global de transmissão de calor} - \left( \frac{kcal}{h \times m \times ^\circ C} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$U = \frac{1}{2,93}$$

$$U = 0,341 \frac{\text{kcal}}{\text{h x m x } ^\circ\text{C}}$$

### - Cálculo do diferencial de temperatura

Analisando a tabela 5, devido a insolação na parede W, levamos em conta que as paredes do ginásio são pintadas de duas cores, sendo elas, (azul e branco).

Tabela 5: Acréscimo ao Diferencial de Temperatura -  $\Delta t$  em  $^\circ\text{F}$  e em  $^\circ\text{C}$ .

Fonte: Livro Instalações de Ar Condicionado.

<i>Superfície</i>	<i>Cor Escura</i>		<i>Cor Média</i>		<i>Cor Clara</i>	
	$^\circ\text{F}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{F}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{F}$	$^\circ\text{C}$
Telhado	45	25,0	30	16,6	15	8,3
Parede E ou O	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0

Ao analisarmos a tabela 5 para efeito de cálculo utilizamos:

- Cor clara parede W ou E = 5,5  $^\circ\text{C}$ .
- Cor Média Parede W ou E = 11,1  $^\circ\text{C}$ .

Fazendo uma média dessas duas temperaturas podemos obter  $\Delta T'$ , de acordo com a fórmula a seguir:

$$\Delta T' = \frac{11,5 + 5,5}{2}$$

$$\Delta T' = 8,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### - Cálculo da área da parede externa (W)

$$A = 31 \times 9,5$$

$$A = 294,5 \text{ m}^2$$

### - Cálculo da carga de condução devido à insolação - calor sensível

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$q_1 = A \times U \times (t_i - t_e + \Delta T')$$

Onde:

A= Área – ( $m^2$ )

U= Coeficiente global de transmissão de Calor - ( $\frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}$ )

$t_i$  = Temperatura interna - ( $^\circ\text{C}$ )

$t_e$  = Temperatura externa - ( $^\circ\text{C}$ )

$\Delta T'$  = Acréscimo ao diferencial de temperatura - ( $^\circ\text{C}$ )

Calculando a carga de condução temos:

$$q_1 = 294,5 \times 0,341 \times (32 - 30 + 8,3)$$

$$q_1 = 1034,37 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

### 4.2. Cálculo da Carga na Parede Interna (N)

Para esta parede levamos em conta para questões de cálculo apenas metade da parede de alvenaria, já que a outra metade é de tijolo cobogó e está oposta a outra parede dentro do ginásio, sendo assim, possuindo a mesma temperatura ambiente e não trocando calor.

$$k_{\text{Tijolo}} = 0,11 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{emboço}} = 2,39 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Velocidade do ar: } h = 7,13 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### - Cálculo da resistência da parede (N)

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$R = \frac{2}{h_{\text{ar}}} + 2 \times \frac{1}{C_{\text{emboço}}} + \frac{e}{K_{\text{Tijolo}}}$$

Onde:

$$R = \text{resistência da parede} - \left( \frac{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \right)$$

$$h = \text{velocidade do ar} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}} \right)$$

$$C = \text{condutância do emboço} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}} \right)$$

$$K = \text{condutividade do tijolo} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$R = 2 \times \frac{1}{7,13} + \frac{2}{2,39} + \frac{0,20}{0,11}$$

$$R = 2,93 \frac{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

### - Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor U

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R}$$

Onde:

U = coeficiente global de transmissão de calor -  $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}}\right)$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$U = \frac{1}{2,93}$$

$$U = 0,341 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}}$$

#### - Cálculo da área da parede interna (N)

$$A = 6,2 \times 24$$

$$A = 149 \text{ m}^2$$

#### - Cálculo da carga de condução nas paredes internas- calor sensível

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$q_2 = A \times U \times (t_i - t_e)$$

Onde:

A= Área - ( $\text{m}^2$ )

U= Coeficiente global de transmissão de Calor -  $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}}\right)$

$t_i$  = Temperatura interna - ( $\text{°C}$ )

$t_e$  = Temperatura externa - ( $\text{°C}$ )

Calculando a carga de condução temos:

$$q_2 = 149 \times 0,341 \times (32 - 30)$$

$$q_2 = 101,62 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

### 4.3. Cálculo da Carga na Parede Interna (E)

Utilizam-se os mesmos valores dos itens anteriores:

$$k_{\text{Tijolo}} = 0,11 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{emboço}} = 2,39 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Velocidade do ar: } h = 7,13 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

#### - Cálculo da resistência da parede (E)

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$R = \frac{2}{h_{\text{ar}}} + 2 \times \frac{1}{C_{\text{emboço}}} + \frac{e}{K_{\text{Tijolo}}}$$

Onde:

$$R = \text{resistência da parede} - \left( \frac{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \right)$$

$$h = \text{velocidade do ar} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}} \right)$$

$$C = \text{condutância do emboço} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}} \right)$$

$$K = \text{condutividade do tijolo} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$R = 2 \times \frac{1}{7,13} + \frac{2}{2,39} + \frac{0,20}{0,11}$$

$$R = 2,93 \frac{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

### - Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor U

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R}$$

Onde:

$$U = \text{coeficiente global de transmissão de calor} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$U = \frac{1}{2,93}$$

$$U = 0,341 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}}$$

### - Cálculo da área da parede interna (E)

$$A = 31 \times 9,5$$

$$A = 294,5 \text{ m}^2$$

### - Cálculo da carga de condução nas paredes internas- calor sensível

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$q_3 = A \times U \times (t_i - t_e)$$

Onde:

$$A = \text{Área} - (\text{m}^2)$$

$$U = \text{Coeficiente global de transmissão de Calor} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}} \right)$$

$$t_i = \text{Temperatura interna} - (\text{°C})$$

$$t_e = \text{Temperatura externa} - (\text{°C})$$

Calculando a carga de condução temos:

$$q_3 = 294,5 \times 0,341 \times (32 - 30)$$

$$q_3 = 200,85 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

#### 4.4. Cálculo da Carga na Parede Interna (S)

Para fins de cálculo consideramos que a parte inferior da parede é interna (pois é conjugada com o vestiário) com dimensões de (24m x 6,4 m) feita de alvenaria, e tijolo de concreto 20 cm.

$$k_{\text{Tijolo}} = 0,11 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{emboço}} = 2,39 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Velocidade do ar: } h = 7,13 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

#### - Cálculo da resistência da parede (S)

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$R = \frac{2}{h_{\text{ar}}} + 2 \times \frac{1}{C_{\text{emboço}}} + \frac{e}{K_{\text{Tijolo}}}$$

Onde:

$$R = \text{resistência da parede} - \left( \frac{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}{\text{kcal}} \right)$$

$$h = \text{velocidade do ar} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}} \right)$$

$$C = \text{condutância do embolso} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}} \right)$$

$$K = \text{condutividade do tijolo} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$R = 2 \times \frac{1}{7,13} + \frac{2}{2,39} + \frac{0,20}{0,11}$$

$$R = 2,93 \frac{\text{h x m x } ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

### - Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor U

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R}$$

Onde:

$$U = \text{coeficiente global de transmissão de calor} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h x m x } ^\circ\text{C}} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$U = \frac{1}{2,93}$$

$$U = 0,341 \frac{\text{kcal}}{\text{h x m x } ^\circ\text{C}}$$

### - Cálculo da área da parede interna (S)

$$A = 6,2 \times 2$$

$$A = 149 \text{ m}^2$$

### - Cálculo da carga de condução nas paredes internas- calor sensível

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$q_3 = A \times U \times (t_i - t_e)$$

Onde:

A= Área – ( $m^2$ )

U= Coeficiente global de transmissão de Calor -  $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}\right)$

$t_i$  = Temperatura interna - ( $^\circ\text{C}$ )

$t_e$  = Temperatura externa - ( $^\circ\text{C}$ )

Calculando a carga de condução temos:

$$q_4 = 149 \times 0,341 \times (32 - 30)$$

$$q_4 = 101,62 \text{ kcal/h}$$

#### 4.5. Cálculo da Carga na Parede Externa (S)

A parte superior da parede sul é feita de tijolo cobogó e foi considerado para efeito de cálculo essa parede como um vão livre para o ambiente exterior ao ginásio.

##### - Cálculo da área da parede externa (S)

$$A = 3,3 \times 24$$

$$A = 79,2 \text{ m}^2$$

##### - Cálculo da carga de condução

$$q_5 = A \times h \times (t_e - t_i)$$

Onde:

$$h = \text{velocidade do ar} = 7,13 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

A= Área

$t_i$  = Temperatura interna

$t_e$  = Temperatura externa

$$q_5 = 79,2 \times 7,13 \times (32 - 30)$$

$$q_5 = 1129,39 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

#### 4.6. Cálculo da Carga na Cobertura

Analisando o catálogo da MBP (Metalúrgica Barra do Pirai), utilizamos para os cálculos a telha de aço galvanizado simples, modelo MBP 120/900 com espessura de 1,25 mm, conforme mostrado na tabela 6 e figura 27.

Tabela 6: Características da telha de aço galvanizado simples.

Fonte: Metalúrgica Barra do Pirai.

MBP 120 / 900							
Vãos Livres e Balanços máximos em mm - Pesos							
Espessura mm. Bitola	Vão Livre	Balanço	Peso		Características Técnicas		
			Kg/m	Kg/m <sup>2</sup>	Inércia	Módulo de Resistência	
						Inferior	Superior
1,25 #18	9.500	3.300	13,19	15,27	257,1	68,13	31,19
0,95 #20	8.500	2.800	9,12	10,02	195,69	51,99	23,78
0,80 #22	7.500	2.500	7,68	8,43	165,09	46,89	19,99
0,65 #24	6.000	2.100	6,12	6,72	134,09	35,68	16,68

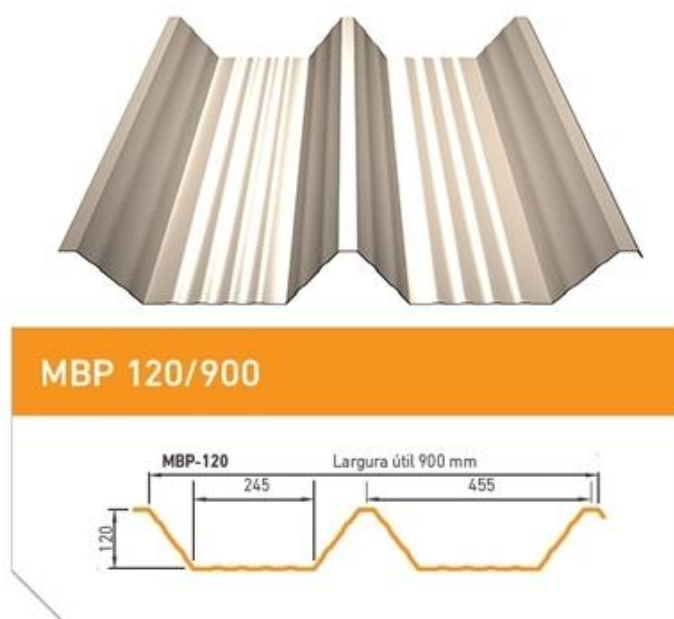


Figura 27: Telha selecionada para o projeto.

Fonte: Metalúrgica Barra do Pirai.

De acordo com a telha selecionada, temos os seguintes dados:

$$\text{condutância}_{\text{aço}} = 50,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{k}} = 43,19 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}}$$

$$\Delta T' \text{ Cor Média} = 16,6 \text{ °C (Retirado da tabela 5)}$$

### - Cálculo da resistência da parede

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$R = \frac{1}{h_{\text{ar}}} + \frac{1}{h_{\text{ar}}} + \frac{e}{K_{\text{Telhado}}}$$

Onde:

$$R = \text{resistência da parede} - \left( \frac{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}}{\text{kcal}} \right)$$

$$h = \text{velocidade do ar} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{°C}} \right)$$

$$K = \text{condutividade do telhado} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$R = 2 \times \frac{1}{7,13} + \frac{1,25 \times 10^{-3}}{43,19}$$

$$R = 0,280 \frac{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}}{\text{kcal}}$$

### - Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor U

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R}$$

Onde:

$$U = \text{coeficiente global de transmissão de calor} - \left( \frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{°C}} \right)$$

Substituindo valores na equação, obtemos:

$$U = \frac{1}{0,280}$$

$$U = 3,57 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

#### - Cálculo da área da cobertura

$$A = 31 \times 24$$

$$A = 744 \text{ m}^2$$

#### - Cálculo da carga de condução devido à insolação - calor sensível

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$q_6 = A \times U \times (t_i - t_e + \Delta T')$$

Onde:

A= Área – ( $\text{m}^2$ )

U= Coeficiente global de transmissão de Calor - ( $\frac{\text{kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C}}$ )

$t_i$  = Temperatura interna - ( $^\circ\text{C}$ )

$t_e$  = Temperatura externa - ( $^\circ\text{C}$ )

$\Delta T'$  = Acréscimo ao diferencial de temperatura - ( $^\circ\text{C}$ )

Calculando a carga de condução temos:

$$q_6 = 744 \times 3,57 \times (32 - 30 + 16,6)$$

$$q_6 = 49403,08 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

#### 4.7. Cálculo da Carga dos Dutos

Não há dutos.

$$q_7 = 0$$

#### 4.8. Carga Devido às Pessoas

Considerando os dados obtidos na tabela 7: “Calor liberado pelas pessoas” e o número de pessoas no ambiente igual a 50, temos:

Tabela 7: Calor Liberado pelas Pessoas.

Fonte: Livro Instalações de Ar Condicionado, Hélio Creder.

Temperatura Ambiente		Pessoa Sentada ou em Movimento Lento						Pessoa em Exercício Físico Moderado					
		Calor Sensível		Calor Latente		Calor Total		Calor Sensível		Calor Latente		Calor Total	
°C	°F	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h
29	84,2	45,1	179	54,9	218	100	397	38,1	151	128	508	166,1	659
28	82,4	50,2	199	50,2	199	100	397	45,1	179	121	480	166,1	659
27	80,6	54,9	218	45,1	179	100	397	51,9	206	144,1	572	166,1	659
26	78,8	58	230	42,1	167	100	397	58	230	108,1	429	166,1	659
25	77,0	62	246	38,1	151	100	397	64	254	101,8	404	166,1	659
24	75,2	66	262	34	135	100	397	72,1	286	94	373	166,1	659
23	73,4	69,1	274	31	123	100	397	77,1	306	89	353	166,1	659
22	71,6	72,1	286	28	111	100	397	82,2	326	83,9	333	166,1	659
21	69,8	75,1	298	24,9	99	100	397	88	349	78,1	310	166,1	659

T = 29°C (pessoas exercício físico moderado)

$$q_s = 38,1 \text{ kcal/h}$$

$$q_l = 128 \text{ kcal/h}$$

Multiplicando os valores obtidos na tabela 7, pelo número de pessoas no ambiente, conseguimos obter o valor de calor sensível e latente liberado para o ambiente.

$$q_s = 50 \times 38,1 = 1905 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$q_l = 50 \times 128 = 6400 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

#### 4.9. Carga Devido a Iluminação

Considerando que dentro do ginásio tem 15 lâmpadas de 500 W de potência.

Então podemos calcular a potência de iluminação a seguir:

$$q_9 = 15 \times 500 = 7500 \text{ W} \times 0,860$$

$$q_9 = 6450 \text{ kcal/h}$$

#### 4.10. Carga Devido aos Equipamentos

Não existem aparelhos elétricos ou eletrônicos no interior do ginásio.

#### 4.11. Cálculo da Carga Térmica Total

A carga térmica total pode ser obtida de acordo com a tabela 8.

Tabela 8: Carga térmica total.

Fonte: Os próprios autores.

CARGA TÉRMICA TOTAL			
<b>q</b>	<i>qs – (kcal/h)</i>		<i>ql – (kcal/h)</i>
<b>1</b>	1034,37		-
<b>2</b>	101,62		-
<b>3</b>	200,85		-
<b>4</b>	101,62		-
<b>5</b>	1129,39		-
<b>6</b>	49403,08		-
<b>7</b>	0		0
<b>8</b>	1905		6400
<b>9</b>	6405		-
Calor Sensível Total	60280,93	Calor Latente Total	6400
<b>Calor Total:</b>	66680,93	-	-

#### 4.12. Vazão de Insuflamento

Podemos obter a vazão de ar de insuflamento para o climatizador evaporativo através da fórmula:

$$Q = \frac{q_s}{0,29 \times (T_{amb} - T_{Ins})}$$

Onde:

$$Q = \text{vazão} - \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$q_s = \text{calor sensível} - \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$T_{amb} = \text{temperatura ambiente} - (C^\circ)$$

$$T_{Ins} = \text{temperatura de insuflamento} - (C^\circ)$$

Através da carta psicrométrica representada na figura 28, podemos traçar uma linha inclinada do ponto de encontro da  $T_{amb} = 32^\circ C$  e  $UR_{amb} = 75\%$  até a  $UR = 100\%$ , deste ponto descemos a linha até a escala de temperatura de bulbo seco. Sendo assim, nós conseguimos obter a temperatura de insuflamento, que é de  $28,2^\circ C$ .

$$Q = \frac{60280,93}{0,29 \times (32 - 28,2)}$$

$$Q = 115480,71 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



### 4.13. Seleção do Equipamento

Para selecionarmos o equipamento, usamos como referência a tabela 9 retirada do catálogo da empresa *Rotoplast*.

Tabela 9: Dados técnicos do climatizador.

Fonte: *Rotoplast*.

Item	Modelo	80 Confort	95 Turbo Confort	100 Confort	140 Confort	160 Confort
1	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	20.000	40.000	31.000	40.000	57.000
2	Flecha de ar (m)	25	27	25	30	40
3	Ruído (dB)	75	75	75	75	75
4	Pressão Estática (Pa)	70	70	70	56	60
6	Abertura de Parede (m)	1,02 x 1,02	1,01 x 2,01	1,21 x 1,21	1,39 x 1,39	1,57 x 1,57
7	Peso seco (Kg)	120	241	160	200	251
8	Capacidade de Água (l)	62	160	100	120	140
9	Potência Instalada (Kw)	1,25	1,87	1,47	1,47	1,87
10	Tensão (V~)	220	220	220	220	220
11	Corrente (A)	9,5	12,8	10,5	12	13,2

Escolhemos a linha *Confort* e o modelo do climatizador escolhido foi o *Roto 80 Confort* representado na figura 29, com vazão de insuflamento de 20000 (m<sup>3</sup>/h). Para obtermos uma climatização distribuída dentro do ginásio, optamos por um

climatizador com menor vazão, que será instalado nas paredes do ginásio, conseguindo manter todo o ambiente climatizado.

Caso fossemos utilizar apenas um climatizador com vazão próxima ao valor calculado de  $Q=115480,71 \text{ m}^3/\text{h}$ , não teríamos o ambiente totalmente climatizado, gerando em alguns pontos falta de climatização, por esse motivo, selecionamos o climatizador *Roto 80 Confort* com vazão de  $20000 \text{ m}^3/\text{h}$ , tendo em vista que a soma de mais de um equipamento desses, irá atender a vazão de insuflamento, mantendo todo o ginásio climatizado.



Figura 29: Roto 80 Confort.

Fonte: *Rotoplast*.

#### 4.14. Cálculo da Quantidade de Climatizadores Necessária

Vazão de ar necessária para climatizar o ginásio:

$$Q = 115480,71 \text{ m}^3/\text{h}$$

A fórmula utilizada foi:

$$\text{N}^\circ \text{ de equipamentos} = \frac{\text{vazão de ar necessária}}{\text{vazão de cada equipamento}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de equipamentos} = \frac{115480,71}{20000}$$

$$\text{N}^\circ \text{ equipamentos} = 5,77 \cong 6$$

Através dos cálculos chegamos à conclusão que será necessário 6 climatizadores evaporativos do modelo *Roto 80 Confort* para climatizar o ginásio.

#### **4.15. Custo Financeiro para Implementação dos Climatizadores Evaporativos**

Segundo informações cedidas no dia 17/09/2018 às 12:00h pela empresa *Rotoplast Climatizadores Evaporativos*, uma unidade do modelo *Roto 80 Confort* custa R\$ 7200,00.

Analisando nossa necessidade de projeto, tendo em vista que precisamos de 6 climatizadores evaporativos, modelo *Roto Confort 80*, podemos calcular:

$$6 \text{ climatizadores} \times \text{R\$}7200,00 = \text{R\$} 43200,00$$

Chegamos à conclusão, através do cálculo obtido anteriormente, que para implementar esse projeto no ginásio, terá de ser desembolsado um valor de R\$ 43200,00 pelos 6 climatizadores evaporativos.

#### **4.16. Cálculo para um Condicionador de Ar Externo**

Para o mesmo ambiente, utilizando as mesmas cargas de calor sensível e calor latente, calculadas anteriormente. Iremos agora fazer um cálculo para os condicionadores de ar externo, sem renovação de ar ambiente.

Levando em conta os valores obtidos nos cálculos anteriores, teremos:

$$q_{s\,total} = 60280,93 \frac{kcal}{h}$$

$$q_{l\,total} = 6400 \frac{kcal}{h}$$

$$q_{total} = 66680,93 \frac{kcal}{h}$$

Para esse cálculo nós adotaremos:

$$T_{amb} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{UR (Umidade Relativa)} = 60\%$$

### - Cálculo da Razão de Calor Sensível no ambiente (RCS)

Para este cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$RCS = \frac{\Sigma q_s}{\Sigma q_t}$$

Onde:

$\Sigma q_s$  = somatório de calor sensível

$\Sigma q_l$  = somatório de calor latente

$$RCS = \frac{60280,93}{66680,93}$$

$$RCS = 0,90$$

Marcamos o ponto de referência na carta psicrométrica que é de 24°C e UR= 50%, em seguida traçamos uma linha saindo do RCS de 0,90 passando pelo ponto de referência.

Após traçarmos a linha pelo ponto de referência, tiramos uma paralela desta mesma linha e elevamos até o ponto de encontro da  $T_{amb}$  e a  $UR_{amb}$ , sendo assim podemos achar a  $T_{Ins}$  = Temperatura de insuflamento.

Através da carta psicrométrica da figura 30, nós podemos obter a temperatura de insuflamento.

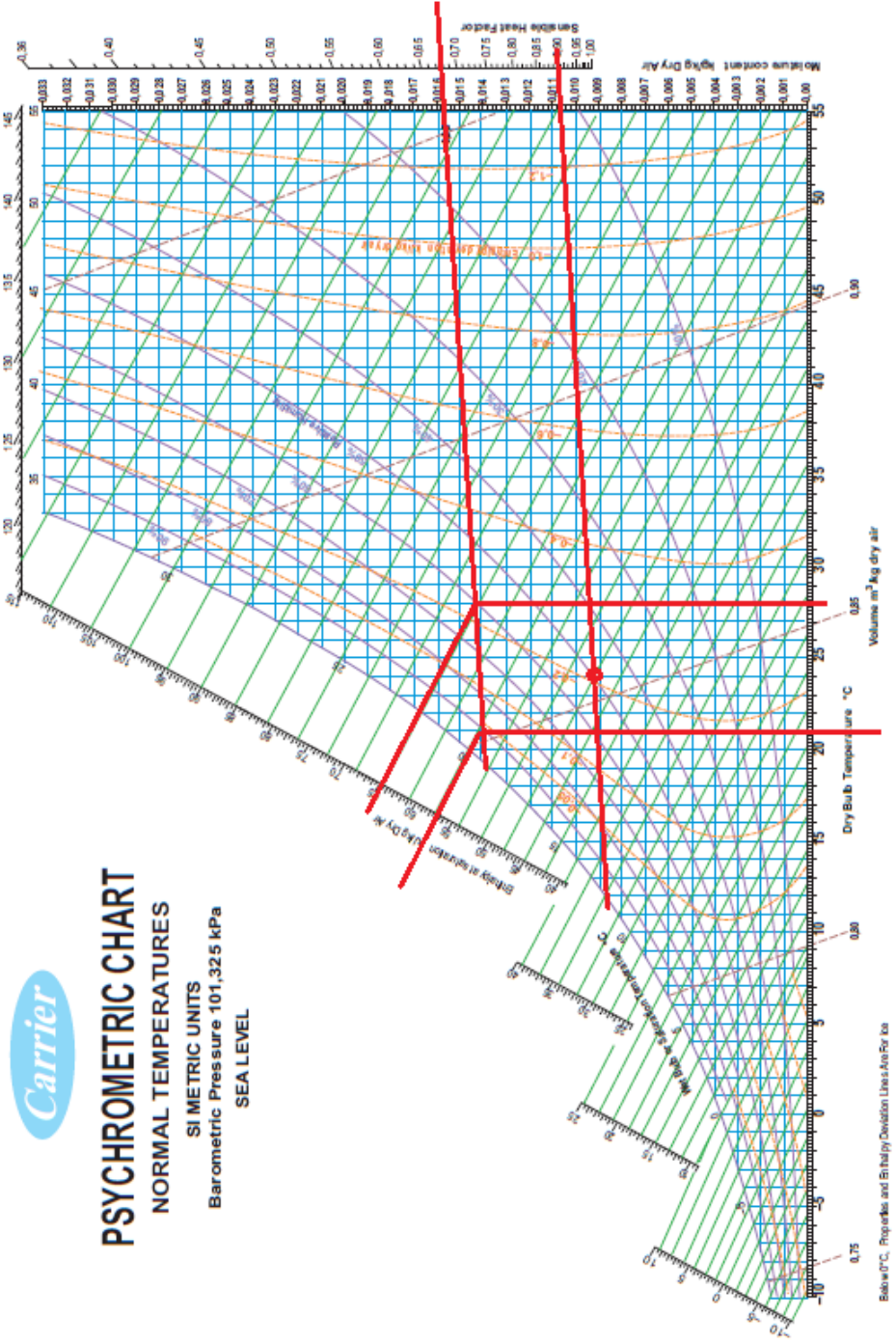


Figura 30: Carta psicrométrica.

Fonte: Carrier.

$$T_{Ins} = 19,6 \text{ } ^\circ\text{C} \times h_{ins} = 53 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$T_{amb} = 28 \text{ } ^\circ\text{C} \times h_{amb} = 65 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

#### 4.17. Cálculo da Vazão de Insuflamento para o Condicionador de Ar Externo

Para calcularmos a vazão de insuflamento do condicionador de ar externo nós utilizamos a fórmula abaixo:

$$Q = \frac{q_s}{0,29 \times (T_{amb} - T_{Ins})}$$

Onde:

$$Q = \text{Vazão} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$q_s = \text{Calor Sensível} \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$T_{amb} = \text{Temperatura Ambiente (} ^\circ\text{C)}$$

$$T_{Ins} = \text{Temperatura de Insuflamento (} ^\circ\text{C)}$$

Dados:

$$q_s = 60280,93$$

$$T_{amb} = 28^\circ\text{C}$$

$$T_{Ins} = 19,6^\circ\text{C}$$

Substituindo os valores na fórmula, temos:

$$Q = \frac{60280,93}{0,29 \times (28 - 19,6)}$$

$$Q = 24745,86 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

#### 4.18. Capacidade do Condicionador de Ar Externo

Para calcularmos a capacidade do equipamento nos utilizamos a fórmula abaixo:

$$C = \gamma \times Q \times (h_{amb} - h_{ins})$$

Onde:

$C$  = capacidade do equipamento -  $\left(\frac{KJ}{h}\right)$

$\gamma$  = peso específico do ar -  $\left(\frac{Kgf}{m^3}\right)$

$Q$  = vazão de insuflamento -  $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

$h_{amb}$  = entalpia da temperatura ambiente -  $\left(\frac{Kj}{Kg}\right)$

$h_{ins}$  = entalpia da temperatura de insuflamento -  $\left(\frac{Kj}{Kg}\right)$

Dados:

$$Q = 24745,86 \frac{m^3}{h}$$

$$\gamma = 1,2 \frac{Kgf}{m^3}$$

$$h_{amb} = 65 \frac{Kj}{Kg}$$

$$h_{ins} = 53 \frac{Kj}{Kg}$$

Substituindo os valores, temos:

$$C = 1,2 \times 24745,86 \times (65 - 53)$$

$$C = 356340,38 \text{ KJ/h}$$

$$C = 85110,43 \text{ Kcal/h}$$

$$C = 28,14 \text{ TR}$$

$$C = 337680 \text{ BTU/h}$$

#### 4.19. Seleção do Condicionador de Ar Externo

Ao fazermos uma pesquisa no site da Carrier, chegamos à conclusão que o condicionador de ar externo que pode ser empregado em nosso projeto é o: Piso-Teto Space Frio 58000 BTU/h Trifásico R-410 A (380 V), como mostra a figura 31 e 32 e a tabela 10 com seus dados técnicos.



Figura 31: Ilustração da evaporadora.

Fonte: Carrier do Brasil.



Figura 32: Ilustração da condensadora.

Fonte: Carrier do Brasil.

Tabela 10: Dados técnicos do condicionador de ar externo.

Fonte: Carrier.

CAPACIDADE (BTU/h)	58.000
CICLO	Frio
EVAPORADORA	42XQL60C5
CONDENSADORA	38CCL060235MC
CONSUMO (W)	5,608
CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA	B
COMPRESSOR	Scroll
UNIDADE INTERNA (LxAxP)(mm)	1645x233x628
UNIDADE EXTERNA (LxAxP)(mm)	623x962x623
PESO LÍQUIDO- Int/Ext(Kg)	40,1/60,4
TENSÃO (V)/ FASE	380/3F
GÁS REFRIGERANTE	R-410A
TECNOLOGIA	Convencional
VAZÃO (m³/h)	2295
EER (W/W)	3,03

#### 4.20. Custo Financeiro Para Implementação dos Condicionadores de Ar Externos no Ginásio

Segundo dados obtidos com a revendedora MultiAr no dia 20/09/2018 uma unidade do Ar Condicionado *Split* Piso Teto *Carrier Space* 58.000 BTUs Só Frio 380V Trifásico custa R\$ 6218,00 reais.

Ao analisarmos a capacidade do equipamento em BTUs que é de 58.000 BTU/h e a capacidade que o ambiente necessita que é de 337680 BTU/h, chegamos a seguinte conclusão:

$$\text{N}^\circ \text{ de equipamentos} = \frac{\text{potência de refrigeração necessária}}{\text{potência de refrigeração de cada equipamento}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de equipamentos} = \frac{337680}{58000}$$

$$\text{N}^\circ \text{ equipamentos} = 5,82 \cong 6$$

Seis equipamentos irão atender a capacidade exigida pelo ambiente.

### - Custo para implementação desses equipamentos

$$6 \text{ condicionadores de ar externo} \times 6218,00 = \text{R\$ } 37308,00$$

## 4.21. Custo Energético de Operação

### - Climatizador evaporativo

Considerando 5h de uso diário para os dois equipamentos e através dos valores do KW/h obtido no site da *Light AS*, podemos calcular o gasto com energia de cada equipamento.

- Valor do KW/h : R\$0,91674

$$5\text{h} \times 1,25 \text{ KWh} \times 6 \text{ equipamentos} = 37,5 \text{ KW/dia}$$

$$37,5 \times 30 \text{ dias} = 1125 \text{ KW/mês}$$

- Gasto mensal:  $1125 \times 0,91674 = \text{R\$ } 1.031,33$
- Gasto anual:  $1.031,33 \times 12 \text{ meses} = \text{R\$ } 12375,96 \cong \text{R\$ } 12.376,00$

### - Condicionador de ar externo

- Considerando consumo de 5,608 KWh.

$$5\text{h} \times 5,608 \text{ KWh} \times 6 \text{ equipamentos} = 170,4 \text{ KW/dia}$$

$$170,4 \times 30 \text{ dias} = 5112 \text{ KW/mês}$$

- Gasto mensal:  $5112 \times 0,91674 = \text{R\$ } 4.686,37$
- Gasto anual:  $4.686,37 \times 12 \text{ meses} = \text{R\$ } 56.236,44 \cong \text{R\$ } 56.236,00$
- Razão econômica:  $5,608 \text{ KWh} / 1,25 \text{ KWh} \times 100 = 449\%$

Os valores encontrados acima estão representados na tabela 11.

Tabela 11: Comparativo do custo energético de operação entre os sistemas.

Fonte: Próprios autores.

	<b>CLIMATIZADOR EVAPORATIVO (30°)</b>	<b>CONDICIONADOR DE AR EXTERNO (24°)</b>
<i>Potência (W)</i>	1250	5608
<i>Consumo (KW/h)</i>	1,25	5,608
<i>Consumo diário (5h) total (KW)</i>	37,5	170,4
<i>Consumo 30 dias úteis (KW)</i>	1125	5112
<i>Valor do KW/h (R\$)</i>	0,92	0,92
<i>Valor mensal (R\$)</i>	1.031,33	4.686,37
<i>Valor anual (R\$)</i>	12.376,00	56.236,00

#### 4.22. Sumário Executivo

Analisando o VPL do sistema de climatização convencional e evaporativo, obtém-se os seguintes valores conforme tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Valor presente líquido do sistema de climatização convencional.

Fonte: Próprios autores.

<b>CLIMATIZADOR CONVENCIONAL</b>			
<b>PERÍODO</b>	<b>FLUXO DE CAIXA</b>	<b>VPL</b>	<b>VIABILIDADE</b>
0	-R\$ 37.308,00	-R\$ 37.308,00	VIÁVEL
1	-R\$ 4.686,37	-R\$ 41.994,37	VIÁVEL
2	-R\$ 4.686,37	-R\$ 46.680,74	INVIÁVEL
3	-R\$ 4.686,37	-R\$ 51.367,11	INVIÁVEL
4	-R\$ 4.686,37	-R\$ 56.053,48	INVIÁVEL
5	-R\$ 4.686,37	-R\$ 60.739,85	INVIÁVEL
6	-R\$ 4.686,37	-R\$ 65.426,22	INVIÁVEL
7	-R\$ 4.686,37	-R\$ 70.112,59	INVIÁVEL
8	-R\$ 4.686,37	-R\$ 74.798,96	INVIÁVEL
9	-R\$ 4.686,37	-R\$ 79.485,33	INVIÁVEL
10	-R\$ 4.686,37	-R\$ 84.171,70	INVIÁVEL
11	-R\$ 4.686,37	-R\$ 88.858,07	INVIÁVEL
12	-R\$ 4.686,37	-R\$ 93.544,44	INVIÁVEL
<b>VPL FINAL 1° ANO</b>		<b>-R\$ 93.544,44</b>	

Tabela 13: Valor presente líquido do sistema de climatização evaporativo.

Fonte: Próprios autores.

<b>CLIMATIZADOR EVAPORATIVO</b>			
<b>PERÍODO</b>	<b>FLUXO DE CAIXA</b>	<b>VPL</b>	<b>VIABILIDADE</b>
1	-R\$ 43.200,00	-R\$ 43.200,00	INVIÁVEL
2	-R\$ 1.031,33	-R\$ 44.231,33	INVIÁVEL
3	-R\$ 1.031,33	-R\$ 45.262,66	VIÁVEL
4	-R\$ 1.031,33	-R\$ 46.293,99	VIÁVEL
5	-R\$ 1.031,33	-R\$ 47.325,32	VIÁVEL
6	-R\$ 1.031,33	-R\$ 48.356,65	VIÁVEL
7	-R\$ 1.031,33	-R\$ 49.387,98	VIÁVEL
8	-R\$ 1.031,33	-R\$ 50.419,31	VIÁVEL
9	-R\$ 1.031,33	-R\$ 51.450,64	VIÁVEL
10	-R\$ 1.031,33	-R\$ 52.481,97	VIÁVEL
11	-R\$ 1.031,33	-R\$ 53.513,30	VIÁVEL
12	-R\$ 1.031,33	-R\$ 54.544,63	VIÁVEL
<b>VPL FINAL 1° ANO</b>		<b>-R\$ 54.544,63</b>	

Com base nas tabelas, a economia final do primeiro ano é de R\$38.999,81.

## 5. CONCLUSÃO

Ao final de todos os estudos realizados foi notório a percepção que ao decidir refrigerar algum ambiente, é muito importante levar em consideração todas as condições de contorno que possam acrescentar carga térmica ao ambiente.

É importante observar que cada ambiente tem suas particularidades que devem ser levadas em consideração no momento da escolha do tipo de refrigerador para o ambiente.

Outra informação que se mostrou evidente ao final do estudo realizado, foi a importância da análise de custos de compra e de operação, pois mesmo alguns equipamentos tendo valores de compra superiores, estes podem trazer consigo grandes economias durante a operação. Desse modo, é possível viabilizar o investimento inicial para ganhos futuros.

Após análise dos resultados, foi comprovado que, é mais vantajoso investir em um equipamento de climatização evaporativa visto que seu consumo de energia é menor quando comparado ao equipamento de ar condicionado convencional. Além disso, o mesmo terá um retorno do investimento em menos de um ano.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.Dias, Ar condicionado. Disponível em: <<https://www.adias.com.br/o-que-e-o-ar-condicionado-inverter>>. Acesso em 03/07/18 às 19:50.

G1, Ciência e Saúde. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/03/entenda-como-geracao-de-energia-eletrica-afeta-o-meio-ambiente.html>>. Acesso em 15/08/2018 às 20:53.

Light, Bandeiras Tarifárias. Disponível em: <[http://www.light.com.br/para-residencias/Informacoes/bandeiras\\_tarifarias.aspx](http://www.light.com.br/para-residencias/Informacoes/bandeiras_tarifarias.aspx)>. Acesso em 03/07/18 às 20:30.

Rotoplast, Produtos. Disponível em: <<http://www.rotoplast.com.br/>>. Acesso em 17/09/2018 às 12:00.

Leveros, MultiAr. Disponível em: <<https://www.leveros.com.br/>>. Acesso em 20/09/18 às 17:00.

CREDER, H. Livro Instalações de Ar Condicionado: 6 ed: LTC, 2004.