



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

ANDRÉ LUIS DE SOUZA CARVALHO

**Redução da temperatura ambiente de uma planta
industrial com uso de telhas termoacústicas e
exaustores eólicos**

SÃO LUIS/MA
2018

ANDRÉ LUIS DE SOUZA CARVALHO

Redução da temperatura ambiente de uma planta industrial com uso de telhas termoacústicas e exaustores eólicos

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Mc. José de Ribamar Ferreira Barros Junior

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO(A) ALUNO(A) ANDRÉ LUIS DE SOUZA CARVALHO E ORIENTADA PELO(A) PROF(A). MC(A) JOSÉ DE RIBAMAR FERREIRA BARROS JUNIOR.

.....
ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

SÃO LUIS/MA
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL – UEMA

Carvalho, André Luis de Souza.

Redução da temperatura ambiente de uma planta industrial com uso de telhas termoacústicas e exaustores eólicos / André Luis de Souza Carvalho. – São Luís, 2018.

? 81

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Júnior.

1. Conforto térmico. 2. Telhas termoacústicas. 3. Exaustores eólicos.
I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Redução da temperatura ambiente de uma planta industrial com uso de telhas termoacústicas e exaustores eólicos

Autor: André Luis de Souza Carvalho

Orientador: Prof. Mc. José de Ribamar Ferreira Barros Junior

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Mc. José de Ribamar Ferreira Barros Junior, Presidente
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Mc. Paulino Cutrim Martins
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Lourival Matos de Souza Filho
Universidade Estadual do Maranhão

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luis, 26 de junho de 2018

DEDICATORIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por sempre guiar meus passos e permitir que possa sempre atingir meus objetivos na minha vida.

Dedico também a minha família, por estar sempre me apoiando e ajudando nas horas mais difíceis e por ser simplesmente a base de tudo que sou.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Maranhão, professores de graduação em Engenharia Mecânica, pelo crescimento pessoal e profissional.

Ao professor orientador Me. José de Ribamar Ferreira Barros Junior, pela dedicação e companheirismo durante a realização da monografia.

A empresa Pole Ferro, por ter autorizado a realização deste trabalho na sua fábrica.

Aos funcionários da empresa Pole Ferro, pela ajuda nas atividades realizadas na fábrica para coleta dos dados.

Aos amigos de graduação da turma 2013.2, pela amizade e dúvidas tiradas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

A minha namorada Stela Freitas, pelo carinho, paciência durante o desenvolvimento da monografia.

A minha amiga Stéphaney Freitas, pela ajuda ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A minha prima Laynne Leal, pela ajuda na tradução do resumo deste trabalho.

A todos que, direta e indiretamente, colaboraram na realização do meu trabalho.

“Motivação é o que te faz começar. Hábito é o que te faz continuar.”

(Jim Rohn)

RESUMO

Esta pesquisa foi desenvolvida em uma edificação do tipo galpão industrial, sendo um estudo de caso feito na empresa Pole Ferro situado na cidade de Timon – Ma, pois apresenta condições ineficaz em relação a ventilação natural, com falta de aberturas e janelas. A necessidade de melhorar o conforto térmico do galpão influenciará no desempenho e a produtividade do funcionário dependem das condições térmicas no ambiente de trabalho. O trabalho tem como objetivo geral definir qual sistema é mais eficiente e qual melhor custo benefício entre a telha termoacústica e exausto eólico e os objetivos específicos são comparar a eficiência dos dois sistemas quanto ao índice de redução da temperatura ambiente, levantar a disponibilidade dos materiais no mercado e determinar o custo de implantação de cada um e a escolha do mais adequado. O método adotado, primeiramente foi a coletado os dados de temperatura externa e interna no galpão e a velocidade do vento com o uso de um anemômetro. Em seguida foi usado o método do cálculo da carga térmica para obter o calor sensível total na edificação, por meio do software IESVE. Os resultados obtidos, foi a carga térmica total do sistema e logo em seguida calculado o número de exaustores eólicos e feito o dimensionamento de uma janela para melhorar a ventilação na edificação. Também foi obtido pelo software a comparação da carga de condução térmica da telha de aço galvanizado, sendo a mesma a utilizada no galpão, com a telha termoacústica de poliuretano. Após isso foi usado a formula da vazão necessária de ar para calcular a eficiência na redução da temperatura ambiente da edificação, ambas para os dois sistemas, estes apresentam boa eficiência, mas ficando comprovado que o exaustor eólico foi o definido para implantação, pois apresentou melhor redução da temperatura ambiente e também custo benefício. Com os objetivos alcançados, a edificação fica de acordo com as leis trabalhistas e norma NR 15 e NR 17.

Palavra-chave: Conforto térmico, telhas termoacústicas, exaustores eólicos.

ABSTRACT

This research was developed in an industrial shed type building, being a case study done at the company “Pole Ferro”, located in the city of Timon - Ma, due to its ineffective conditions in relation to natural ventilation, with lack of openings and windows. The need to improve the thermal comfort of the shed will influence the employee's performance and productivity depending on the thermal conditions in the work environment. The general objective of the work is to define which system is most efficient and which is the most cost-effective between the thermoacoustic tile and the eolic exhaust fan. The specific objectives are to compare the efficiency of the two systems with regard to the index of reduction of the ambient temperature, to raise the availability of the materials in the market and to determine the cost of implantation of each one and the choice of the most suitable one. The method adopted was first to collect the external and internal temperature in the shed and the wind speed with the use of an anemometer. Then the thermal load calculation method was used to obtain the total sensible heat in the building, through the software IESVE. The results obtained was the total thermal load of the system and soon afterwards the number of eolic exhaust fans was calculated and a window sizing was done to improve the ventilation in the building. It was also obtained by the software the comparison of the thermal conduction load of the galvanized steel tile, being the same one used in the shed, with the thermoacoustic polyurethane tile. After that, the formula of the necessary air flow was used to calculate the efficiency in the reduction of the ambient temperature of the building, both for the two systems, these present good efficiency, but it was proved that the eolic exhaust fan was defined for implantation, since it presented better reduction of ambient temperature and also cost benefit. With the objectives achieved, the building is in accordance with the labor laws and NR 15 and NR 17 norms.

Keyword: Thermal comfort, thermoacoustic tiles, eolic exhaust fans.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 : Galpão industrial com indicação do nome usual de seus principais componentes	5
Figura 4.2 : Colunas simples e tesouras	6
Figura 4.3 : Colunas simples e treliças	7
Figura 4.4 : Edifício industrial com duas águas, com vigas de ponte rolante, apoiada em coluna com console	7
Figura 4.5 : Edifício industrial com coluna treliçada para receber a coluna da cobertura e o apoio da viga de rolamento de ponte rolante	8
Figura 4.6 : Geminado com quatro águas	8
Figura 4.7 : Geminado com duas águas e coluna intermediária	9
Figura 4.8 : Galpão do tipo Shed com vigas mestras treliçadas	9
Figura 4.9 : Isopletas da velocidade básica V_0 em m/s	10
Figura 4.10 : Telha aço galvanizado usado na cobertura do galpão estudado	11
Figura 4.11 : Modelos de telhas fibrocimento	12
Figura 4.12 : Modelos de telhas metálicas	12
Figura 4.13 : Telha sanduiche	13
Figura 4.14 : Condutibilidade térmica – U	14
Figura 4.15 : Perfil genérico da telha termoacústica com EPS	15
Figura 4.16 : Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em poliestireno	16
Figura 4.17 : Telha trapezoidal com poliuretano	17
Figura 4.18 : Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento de poliuretano	17
Figura 4.19 : Telha trapezoidal com lã mineral e telha ondulada com lã mineral	18
Figura 4.20 : Insuflação mecânica e exaustão natural	23
Figura 4.21 : Insuflação natural e exaustão mecânica	23

Figura 4.22 : Insuflação e exaustão mecânicas.....	24
Figura 4.23 : Casos típicos de ventilação natural em galpões	26
Figura 4.24 : O edifício da rainha, universidade de Monfort, Leicester Inglaterra	27
Figura 4.25 : Ventilação cruzada em um só pavimento	28
Figura 4.26 : Ventilação unilateral em um só pavimento.....	28
Figura 4.27 : Ilustração do funcionamento do exaustor eólico.....	29
Figura 4.28 : Exaustores eólicos instalados.....	30
Figura 5.1 : Anemômetro	32
Figura 5.2 : Gráfico da temperatura interna e velocidade do vento em relação ao tempo no 1 dia	33
Figura 5.3 : Gráfico da temperatura interna e velocidade do vento em relação ao tempo no 2 dia	33
Figura 5.4 : Projeto arquitetônico do galpão	34
Figura 5.5 : Parte interna do galpão.....	35
Figura 5.6 : Cobertura do galpão	35
Figura 5.7 : Interface de definição das propriedades térmicas	44
Figura 5.8 : Interface de inserção de dados de ganhos internos	45
Figura 6.1 : Abertura da janela no galpão	48
Figura 6.2 : Relação do ganho por condução no telhado.....	49
Figura 6.3 : Gráfico comparando carga térmica com a cobertura original e cobertura poliuretano	49
Figura 6.4 : Gráfico de ganho por condução no telhado	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 : Características térmicas	16
Tabela 5.1 : Dados coletados no 1º dia.....	32
Tabela 5.2 : Dados coletados no 2º dia	32
Tabela 5.3 : Condições ambientais de conforto.....	36
Tabela 5.4 : Acréscimo ao diferencial de temperatura	38
Tabela 5.5 : Potência dissipada.....	39
Tabela 5.6 : Aquecimento devido a lâmpada acesa	39
Tabela 5.7 : Condições externas adotadas	41
Tabela 5.8 : Condições internas no recinto.....	42
Tabela 5.9 : Propriedades físicas das paredes.....	43
Tabela 5.10 : Propriedades físicas do piso	43
Tabela 5.11 : Propriedades da telha usada no galpão	43
Tabela 5.12 : Propriedades da telha termoacústica de poliuretano.....	43
Tabela 5.13 : Calor dissipado por pessoas.....	44
Tabela 5.14 : Calor dissipado por equipamentos.....	44
Tabela 6.1 : Carga térmica total.....	46
Tabela 6.2 : Modelos de exaustores eólicos da empresa FortVent.....	47
Tabela 6.3 : Conversão das unidades	48
Tabela 6.4 : Análise de preços dos exaustores eólicos	51
Tabela 6.5 : Análise de preços das telhas poliuretano	51
Tabela 6.6 : Estudo de custo para implantação do sistema	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NR – Norma Regulamentadora

NBR – Norma Brasileira

EPS – Poliestireno

PU - Poliuretano

TBS – Temperatura de Bulbo Seco

UR – Umidade Relativa

IVESTE – Integrated Environmental Solutions

CLT – Consolidação das Leis Trabalhistas

V_o – Velocidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo geral	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. JUSTIFICATIVA.....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
4.1. Estruturas metálicas	4
4.1.1. Galpões industriais em aço	5
4.2. Tipos de galpões industriais.....	6
4.2.1. Edifícios com vão simples	6
4.3. Ação do vento em edificações	9
4.3.1. Velocidade básica do vento V_0	10
4.4. Cobertura	11
4.4.1. Telhas termoacústicas.....	13
4.5. Tipos de telhas termoacústica	15
4.5.1. Poliestireno (EPS)	15
4.5.2. Poliuretano (PU).....	16
4.5.3. Lã mineral.....	17
4.6. Inclinação do telhado	18
4.7. Conforto Térmico	18
4.7.1. Satisfação.....	19
4.7.2. Desempenho humano	20
4.7.3. Conservação de energia	20
4.8. Ventilação industrial	20
4.8.1. Sistemas de ventilação industrial.....	21
4.9. Ventilação geral	21
4.9.1. Insuflação mecânica e exaustão natural.....	22
4.9.2. Insuflação natural e exaustão mecânica.....	22
4.9.3. Insuflação e exaustão mecânicas	24
4.10. Ventilação natural	24
4.10.1. Ventilação do ar devido ao vento	25

4.10.2.	Ventilação pelo efeito chaminé	26
4.10.3.	Ventilação cruzada	27
4.10.4.	Ventilação unilateral.....	28
4.11.	Ventilação local exaustora	29
4.11.1.	Exaustores eólicos	29
5.	METODOLOGIA	32
5.1.	Características construtivas.....	34
5.2.	Carga Térmica.....	36
5.2.1.	Calor liberado devido à presença humana.....	37
5.2.2.	Calor sensível devido a condução pelas paredes, vidros, pisos e tetos	37
5.2.3.	Calor sensível devido a irradiação solar sobre vidros e paredes externas e coberturas	37
5.2.4.	O calor sensível correspondente a carga de energia elétrica dissipada no recinto nos aparelhos de iluminação	38
5.2.5.	Os calores sensível e latente decorrentes da ventilação ou infiltração de ar exterior para o ambiente.....	39
5.2.6.	Calor sensível decorrentes dos equipamentos	40
5.3.	Vazão necessária de ar	40
5.4.	Condições externas	41
5.5.	Condições internas	42
6.	RESULTADOS E DISCURSSÕES.....	46
6.1.	Calor sensível total.....	46
6.2.	Comparativo da eficiência do sistema de exaustão e de telhas termoacústicas para redução da temperatura ambiente	46
6.2.1.	Uso dos exaustores eólicos	46
6.2.2.	Uso da telha termoacústica com poliuretano.....	48
6.3.	Disponibilidade dos materiais no mercado	51
6.4.	Estudo de custo para implantação dos sistemas e a escolha do mais adequado	52
7.	CONCLUSÃO	54
	REFERENCIAS	55
	ANEXO A- Calor dissipado por pessoas (adaptado da NBR 16401-1, 2008).....	58
	ANEXO B – Coeficiente de condutividade térmica dos materiais (adaptado da NBR 15220, 2005).....	59
	ANEXO C – Vazão eficaz mínima de ar externo para ventilação (adaptado da NBR 16401-3, 2008).....	61

ANEXO D – Carta solar Teresina – PI (adaptado PDR Edifica)	63
ANEXO E – Calor liberado por fontes diversas (adaptado NBR 6401,1980)	64
ANEXO F – Condições internas para verão (adaptado da NBR 6401, 1980)	65

1. INTRODUÇÃO

Diante do atual desenvolvimento na construção civil, o ramo das estruturas metálicas vem conseguindo seu espaço no mercado ao longo dos anos, principalmente por ter melhor custo benefício em relação ao concreto. Sendo bastante útil para obras de infraestrutura, tanto na área comercial e industrial. Além disso, as estruturas de aço possuem vantagens significativas em relação ao concreto, sendo elas: menor tempo de execução, maior limpeza de obra, facilidade na montagem, reaproveitamento, etc. Tendo como maior dificuldade ao projetista a escolha do perfil adequado para cada necessidade.

A empresa Pole Ferro, localizada em Timon/MA, onde foi feito o estudo de caso, atua na fabricação de colunas, treliças para pequenas empresas de construção civil. A mesma possui galpões de vãos múltiplos, porém sabe-se que a ventilação dentro destes galpões é ineficaz, não possuindo sistemas de exaustão, ventiladores e nenhum outro meio que ocorra ventilação no ambiente.

Segundo Borré (2013), no ambiente para que exista ventilação natural é necessário ter entradas e saídas de ar devidamente projetadas e construídas, com isso ocorre movimentação deste ar e conseqüentemente a renovação dentro do ambiente. A não existência destas condições impede que haja uma taxa de ventilação natural ou troca de calor por efeito chaminé, ocasionando sensação de desconforto devido à geração e acúmulo de calor e de pequenas partículas de poeira.

Os galpões para fabricação de colunas e treliças na empresa Pole Ferro, não foi observado as condições necessárias para existência de algum tipo de ventilação. Ocorrendo entres os funcionários reclamações devido o ambiente está insalubre para o trabalho, com isso gerou a ideia para o estudo, seguindo um projeto de implantação entre sistemas de ventilação exaustora ou telhas termoacústicas, visando um melhor custo benefício e conforto térmico neste referido ambiente.

No ambiente com níveis indicados de conforto térmico e também implantação de sistemas de ventilação deixando o ambiente menos insalubre, propiciará no aumento da satisfação dos trabalhadores e conseqüentemente o rendimento na produção, estando de acordo com a NR 15: norma regulamentadora de atividades e operações insalubres.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Definir qual sistema é mais eficiente e apresentar a melhor relação custo benefício.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar a eficiência dos dois sistemas quanto aos índices de redução da temperatura ambiente;
- Levantar a disponibilidade dos materiais no mercado;
- Determinar o custo de implantação de cada um deste e a escolha do mais adequado;

3. JUSTIFICATIVA

O estudo trata de uma empresa que possui galpões para fabricação de colunas e treliças às empresas no ramo da construção civil. Analisando as condições de trabalho dos funcionários, vi que os mesmos reclamam que o ambiente está quente, estando insalubre devido à falta de ventilação.

Por meio dessas reclamações foi decidido contribuir para achar soluções a este problema, que será diminuir a intensidade de calor dentro do ambiente, seguindo um projeto de implantação entre sistemas de ventilação exaustora ou telhas termoacústicas, visando um melhor custo benefício e conforto térmico neste ambiente, com isso terá aumento na produtividade.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Estruturas metálicas

Dias (2011), em seu trabalho cita Santos (1977), as construções em aço vêm apresentando grande crescimento nos últimos anos, devido, principalmente, as algumas características estruturais que confere ao edifício uma maior economia em todas as fases de seu processo construtivo (projeto, fabricação, transporte e montagem).

O aço estrutural está presente na maioria das construções metálicas, que são elementos de grande responsabilidade que exigem a confiança na qualidade do material a ser utilizado (LUCCHINI, 2009, p. 25).

Na disputa com o concreto armado, o aço já desponta como primeira opção na construção civil, pelo menos nas grandes obras. Nessa concorrência, o aço chegando ao canteiro de obra em forma de estruturas metálicas pré-moldadas, ou seja, pronta pro uso (CBCA, 2015).

Segundo Bellei (2000, p. 1-2), as principais vantagens das estruturas de aço:

- Alta resistência do material nos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão), o que permite aos elementos estruturais suportarem grandes esforços apesar da área relativamente pequena das suas seções. Por isso, as estruturas de aço, apesar da sua densidade (7.850 kg/m^3), são mais leves do que os elementos constituídos em concreto armado.
- Os elementos de aço oferecem uma grande margem de segurança no trabalho, o que se deve ao fato de o material ser único e homogêneo, com limite de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos.
- Os elementos de aço são fabricados em oficinas, de preferência seriados, e sua montagem é bem mecanizada, permitindo com isso diminuir o prazo final da construção.
- Os elementos de aço podem ser desmontados e substituídos com facilidade, o que permite reforçar ou substituir facilmente diversos elementos da estrutura.
- Possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário a construção.

As propriedades mecânicas do aço variam bastante devido aos diferentes materiais incorporados a sua liga. Por exemplo, para níveis mais altos, tanto a resistência do aço quanto sua fragilidade aumentam e sua resistência a tração diminui (GUANABARA, 2010, p.23). Para

compreender o comportamento das estruturas de aço é essencial que o calculista esteja familiarizado com as propriedades do aço (BELLEI, 2000, p. 8).

4.1.1. Galpões industriais em aço

Os galpões ou edifícios industriais são construções em aço geralmente de um único pavimento, constituídos de sistemas estruturais compostos por pórticos regularmente espaçados, com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças, com grandes áreas cobertas e destinadas para uso comercial e uso industrial (PRAVIA, DREHMER, JUNIOR, 2010, p. 9).

De acordo com Bellei (2006), um edifício industrial pode ser construído com uma série de materiais, como: aço, madeira, concreto, alumínio, cada um isoladamente ou em conjunto com outros. Certamente, o mais versátil e o mais empregado é o feito de aço. Na fabricação desses galpões são usados perfis laminados, soldados e conformados a frio, o mesmo formado por estes materiais pode ser construído e montado no local da obra ou construído em partes na oficina de uma empresa especializada e, posteriormente, levado para local onde será montado.

De acordo com o Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas (MIC/STI, 1986), os galpões industriais são, geralmente, construções de um pavimento com finalidade de fechar e cobrir grandes áreas, protegendo as instalações, os produtos armazenados ou, simplesmente, fornecendo abrigo em relação às condições climáticas externas. Destinam-se a diversos fins, como fábricas, almoxarifado, feiras, estádios, hangares, como mostra figura 4.1.

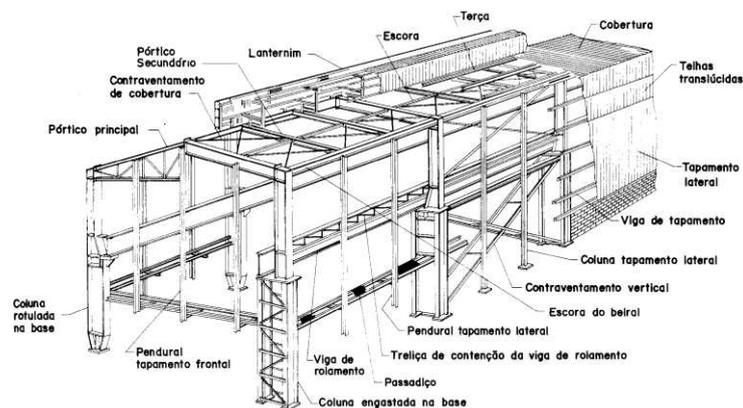


Figura 4.1: Galpão industrial com indicação do nome usual de seus principais componentes (adaptado de BELLEI, 2000).

4.2. Tipos de galpões industriais

Os edifícios industriais podem ser estruturas de vãos simples (isolados) ou múltiplos, quando grandes áreas cobertas são necessárias. Dependendo do layout, será escolhido que tipo de estrutura fica viável para cada projeto. Como vários sistemas de estruturas são utilizadas em galpões, será apresentado os principais tipos (BELLEI, 2000, p. 111).

4.2.1. Edifícios com vão simples

Apesar de ser um tipo de estrutura mais antigas, mas ainda é o sistema mais barato de construção para galpões. O fechamento lateral pode ser feito com chapas de aço galvanizadas ou pintadas, inserindo-se folhas translúcidas para permitir iluminação natural e calhas simples, tubos de descida darão drenagem adequada ao telhado (BELLEI, 2000, p. 111-112).

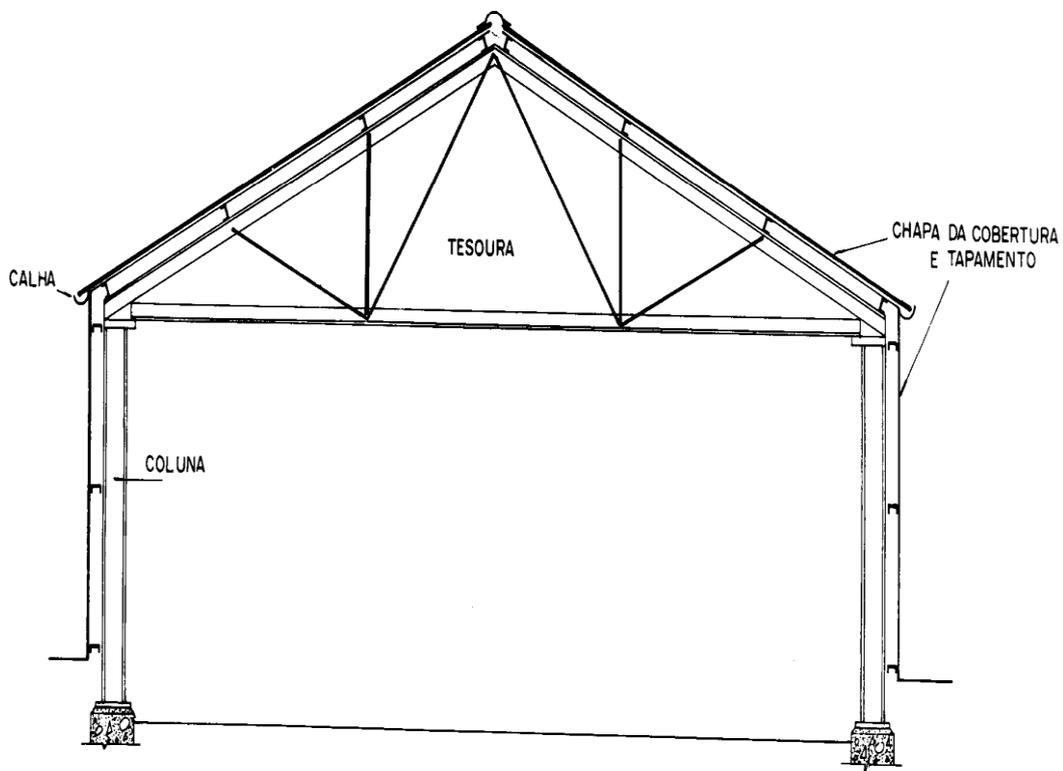


Figura 4.2: Colunas simples e tesouras (adaptado de BELLEI, 2000).

Quando o vão dos edifícios é muito grande, existem vantagens no uso de menores inclinações associadas a vigas treliçadas, em vez de tesouras como mostra na figura 4.3 (BELLEI, 2000, p. 113).

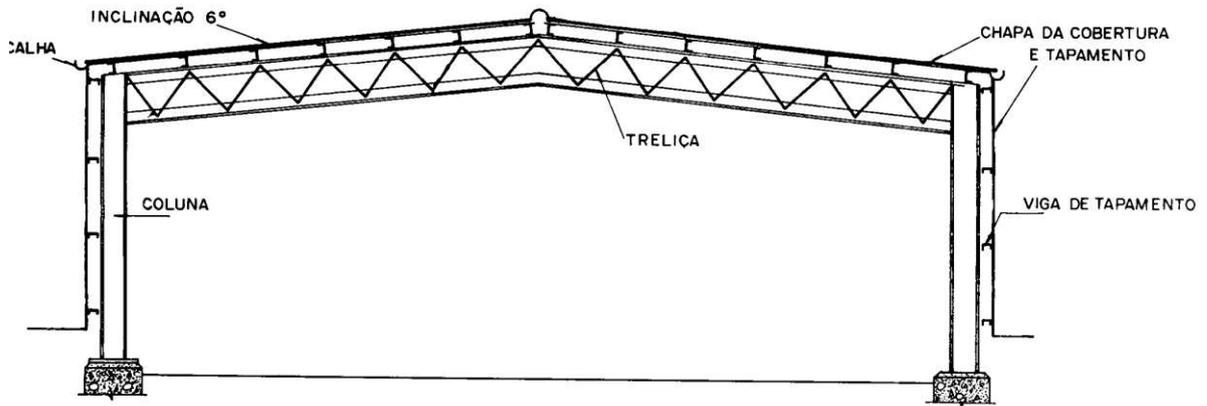


Figura 4.3: Colunas simples e treliças (adaptado de BELLEI, 2000).

Quando há necessidade de movimentação de pesos dentro da edificação, nos prédios industriais, aparece a necessidade de pontes rolantes, que são apoiadas em vigas de rolamento utilizando um console ou coluna treliçada inferior, mostrado na figura 4.4 e 4.5 (PRAVIA, DREHMER, JÚNIOR, 2010, p. 13).



Figura 4.4: Edifício industrial com duas águas, com vigas de ponte rolante, apoiada em coluna com console (adaptado de PRAVIA ET AL, 2010).

Outros tipos de edifícios industriais são: galpão geminado com quatro águas, apresentada na figura 4.6, geminado com coluna intermediária na figura 4.7 e as coberturas tipo Shed com vigas mestras treliçadas transversais, que além de cobrir, podem ser usadas com objetivos funcionais de iluminação e ventilação, de acordo com a figura 4.8 (PRAVIA, DREHMER, JÚNIOR, 2010, p.13-14).



Figura 4.5: Edifício industrial com coluna treliçada para receber a coluna da cobertura e o apoio da viga de rolamento de ponte rolante (adaptado de PRAVIA ET AL, 2010).



Figura 4.6: Geminado com quatro águas (adaptado de PRAVIA ET AL, 2010),

Os tipos aqui apresentados são classificados em vão simples, múltiplos ou geminados e os do tipo Shed, compostos por perfis laminados e soldados (PRAVIA, DREHMER, JÚNIOR, 2010, p.14).



Figura 4.7: Geminado com duas águas e coluna intermediária (adaptado de PRAVIA ET AL, 2010).

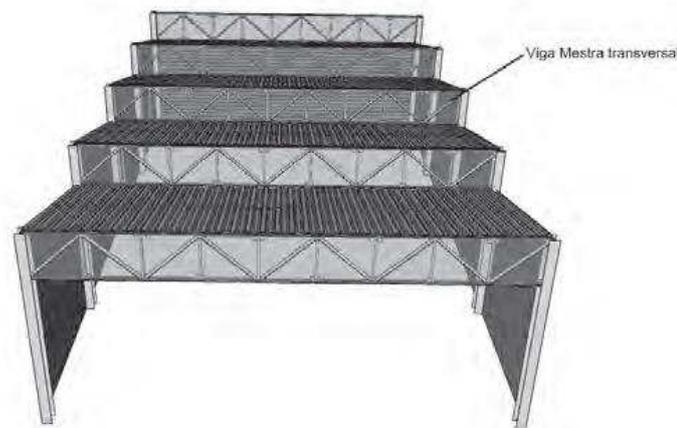


Figura 4.8: Galpão do tipo Shed com vigas mestras treliçadas (adaptado de PRAVIA ET AL, 2010).

4.3. Ação do vento em edificações

A ação do vento nas estruturas metálicas é uma das mais importantes a se considerar, principalmente se não houver ações de ponte rolante, não podendo ser negligenciada, sob o risco de colocar a estrutura em colapso (BELLEI, 2000, p.86).

Segundo Madeira (2009, p.27) em seu trabalho que cita Blessmann (2001, p.11), devido à ação é comum a ruína total ou parcial da edificação. O vento não era problema em construções

baixas e pesadas, de paredes grossas, mas passou a ser, quando as construções foram tornando-se mais esbeltas, e as estruturas usadas constituídas com menor quantidade de material. A maioria dos acidentes ocorrem em construções leves, principalmente de grandes vãos livres, tais como hangares, pavilhões de feira, cobertura de estádios, etc.

4.3.1. Velocidade básica do vento V_0

De acordo com a norma brasileira NBR 6123/88 “forças devidas ao vento em edificações”, a velocidade do vento V_0 é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, exercida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano.

Segundo Bellei (2000, p.88), as velocidades básicas V_0 foram determinadas por processo estatístico, com base nos valores de velocidades máximas anuais medidas em cerca de 49 cidades brasileira, compreendendo o período de 1954 a 1974, além de diversas considerações de caráter estatístico, usando um período de recorrência de 50 anos, que representa a vida útil média de uma edificação. A NBR 6123 desprezou as velocidades V_0 inferiores a 30 m/s, considerando que o vento básico possa atuar em qualquer direção com igual probabilidade e sempre no sentido horizontal, como mostra a 4.9.

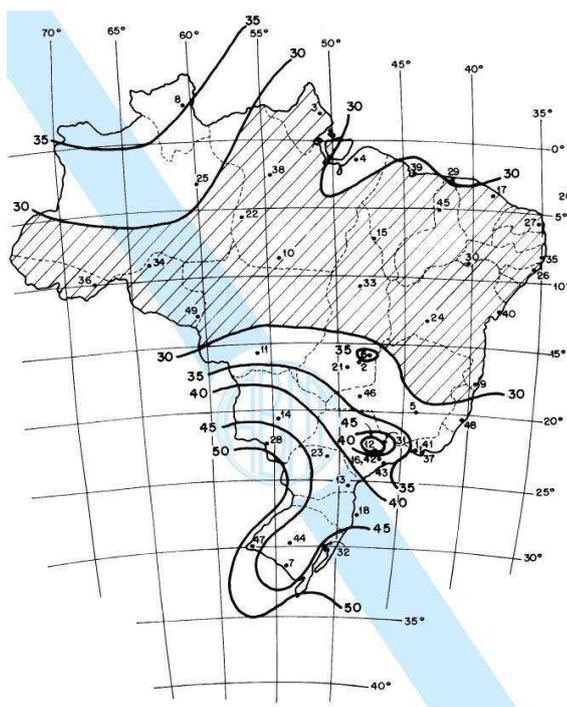


Figura 4.9: isopletas da velocidade básica V_0 em m/s (adaptado de NBR 6123, 1988).

4.4. Cobertura

A cobertura com estruturas metálicas surgiu como uma alternativa as estruturas convencionais de vigas, pontalões e caibros de madeira, devido à escassez e conseqüentemente o alto preço da matéria prima e a necessidade de preservação ao meio ambiente. Os projetos de coberturas com estruturas metálicas são realizados visando leveza e resistência além da relação entre custo e benefício (PREMONTA, 2015).

A cobertura reduz a carga térmica de radiação proveniente do sol e do céu e substitui uma área de solo aquecido por uma área sombreada, mas adiciona uma nova fonte de energia, ou seja, o material da cobertura (MAZON, 2005, p.68).

Para o fechamento da cobertura de galpões de usos gerais podem ser utilizados diversos tipos de telhas (BATTISTI, 2013, p.25):

- Galvanizado ou Galvalume (Figura 4.10)
- Fibrocimento (Figura 4.11)
- Metálica (Figura 4.12)
- Sanduiche (Figura 4.13)



Figura 4.10: Telha aço galvanizado usado na cobertura do galpão estudado.

O processo de galvanização é eficiente e econômico, empregados para proteger o aço contra corrosão. A proteção do aço pelo revestimento de zinco se desenvolve por meio de dois mecanismos e proteção galvânica ou na exposição simultânea do aço-zinco. Entre todos os

métodos aplicados no combate a corrosão um dos mais difundidos é a pintura, por ser um revestimento de fácil aplicação (ANANDA, 2010).

Já nas telhas galvalume para melhorar o desempenho do aço galvanizado, foi feita a combinação do alumínio com o zinco para formar uma liga para revestimento, excelente contra a corrosão, assim tendo uma vida útil 4 vezes maior que o aço galvanizado (ANANDA, 2010).



Figura 4.11: Modelos de telhas fibrocimento (adaptado do site disponível em: <<http://construindodecor.com.br/tudo-sobre-telhas-de-fibrocimento/>>. Acesso em 18/03/2018)



Figura 4.12: Modelos de telhas metálicas (adaptado do site disponível em: <<http://construdeia.com/tipos-de-telhas/>>. Acesso em 18/03/2018).

As telhas já citadas, sendo de fibrocimento (cimento amianto), aço galvanizado ou galvalume, metálicas, entres outras, as telhas cerâmicas e fibrocimento são as mais utilizadas. Neste trabalho dentre as comentadas, a telha termoacústica é uma das soluções para resolver o problema de conforto térmico do edifício estudado.

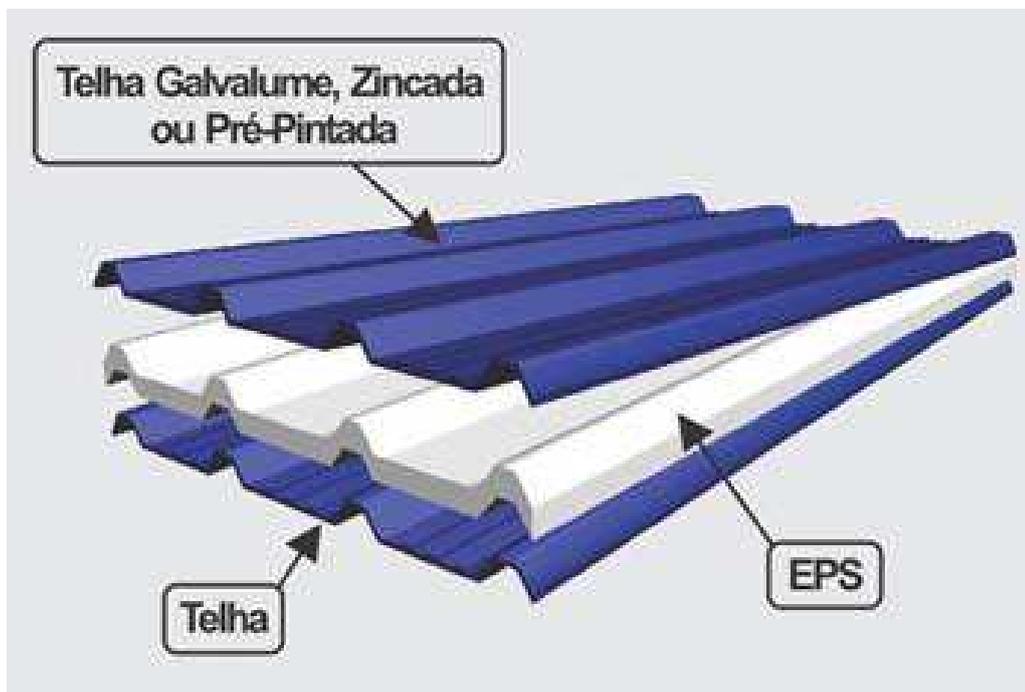


Figura 4.13: Telha sanduíche (adaptado do site disponível em: <<http://www.isomil.com.br/fabrica-telhas-sanduiche-rj>>. Acesso em 18/03/2018).

4.4.1. Telhas termoacústicas

Segundo a NBR 16373 (2015) – Telhas e painéis termo acústico – Requisitos de desempenho, a telha termoacústica é o conjunto por uma ou mais telhas metálicas, com camadas de materiais termoisolantes e/ou acústicas, sendo produzida em unidade fabril ou montadas na obra. Os materiais com características de resistência térmica, de barreira acústica, de absorção acústica e reação ao fogo.

As telhas metálicas já podem ser fornecidas com isolamento termoacústico, que propôs redução do ruído externo e alto isolamento térmico para as coberturas e fechamentos, assim

melhorando o conforto térmico do ambiente. O isolamento térmico varia de acordo com o material que está sendo utilizado no edifício (ABCCEM, 2009, p. 26).

Podemos ter a comparação dos diversos materiais quanto ao desempenho no isolamento térmico pelo o coeficiente global de transmissão de calor, para seu cálculo são utilizados fatores como: condutividade térmica (k), que é função do material e de sua espessura. Com isso, quanto menor o valor do coeficiente global de transmissão, melhor o seu isolamento térmico.

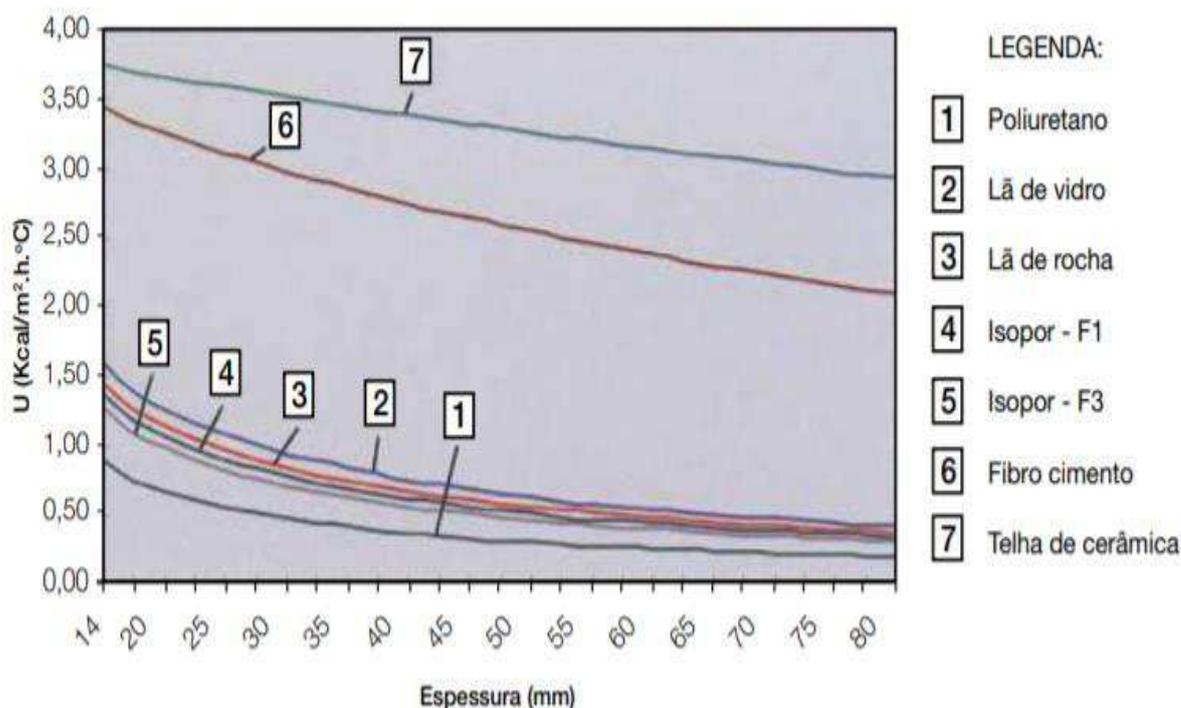


Figura 4.14: Condutibilidade térmica – U (adaptado de ABCM, 2009).

De acordo com a figura 4.14, que faz relação entre a condutibilidade térmica – U e espessura de cada isolamento térmico utilizado nas telhas metálicas. Neste trabalho será usado a espessura padrão de 30 mm.

O processo de fabricação das telhas, os perfis trapezoidais ou ondulados são fabricados por bobinas de aço previamente zincadas, através de um processo contínuo em equipamento de rolos de perfilação e depois por um sistema de acabamento (pintura) (ABCCEM, 2009, p.13).

No caso das telhas termoacústica, após estes processos citados a mesma pode passar por um melhoramento no desempenho térmico e acústico, estabelecendo essas camadas possam ser de poliestireno (EPS), poliuretano (PU) ou lã mineral (lã de rocha ou de vidro), sendo assim os fabricantes designam nome comercializado conhecido como, a telha termoacústica (ANDRADE, 2016, p. 52).

4.5. Tipos de telhas termoacústica

Essas telhas se caracterizam-se por receberem camadas de material que são isolantes térmicos de menor capacidade térmica ou maior densidade, podendo ser de poliestireno, poliuretano ou lã mineral (ANDRADE, 2009, p.55).

4.5.1. Poliestireno (EPS)

É constituído de duas telhas trapezoidais com núcleo de EPS expandido, formando uma espécie de sanduíche, sendo usada quando se quer uma telha com bom desempenho termoacústico e menor custo. O mesmo é colocado entre duas telhas, formando um conjunto com grande rigidez (ABCM, 2009, p. 26).

De acordo com a Abcm (2009, p. 26), para conseguir uma telha com boa resistência térmica e boa redução do ruído externo, utiliza-se poliestireno com densidade de 13 ou 20 kg/m³ e seu coeficiente de condutividade térmica $k = 0,039$ kcal/mh^{°c} (densidade 13kg/m³) ou $k = 0,032$ kcal/mh^{°c} (densidade 20 kg/m³). Esse tipo de telha sanduiche com isolante térmico poliestireno, são leves e não sobrecarregam as estruturas.

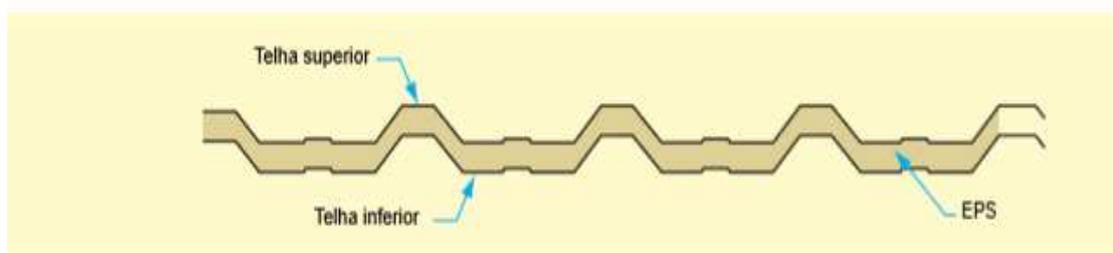


Figura 4.15: Perfil genérico da telha termoacústica com EPS (adaptado de ABCM, 2009).

Tem com vantagens para cobertura de edifícios, como:

- Excelente desempenho térmico, com diminuição da temperatura interna do ambiente;
- Retardante a chama de fogo;
- Baixo peso por m²;

- Opção de menor custo;



Figura 4.16: Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em poliestireno (adaptado de PIZZINATTO, 2015).

4.5.2. Poliuretano (PU)

São de duas telhas trapezoidais com núcleo poliuretano expandido injetado, formando um conjunto rígido que é obtido pela aderência entre as telhas e o poliuretano aplicando em edifícios que exige excelente desempenho termo acústico, sendo obtido através do poliuretano, material com melhor capacidade isolante entre os diversos materiais existentes (ABCM, 2009, p. 28).

Segundo Abcm mesmo com densidade de 35 a 40 kg/m³ com coeficiente de condutividade térmica $k = 0,016 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$, assim conseguindo uma telha com alta resistência térmica e redução de ruído externo. Esse tipo de telha possui vários tamanhos em relação a sua espessura, podendo aumentar a espessura do poliuretano caso precise atender projetos que precisa de isolamento mais rigorosos, pois quando maior a espessura do poliuretano menor será condutibilidade térmica, como mostra a tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características térmicas (adaptado de ABCM, 2009).

Espessura do Poliuretano (mm)	U (Kcal/m ² h°C)
30(*)	0,47
40	0,36
50	0,30
60	0,25

(*) Espessura padrão
U = Condutividade térmica global das telhas

A sua grande rigidez e resistência mecânica permite que utilizem vãos de até 4000mm entre os apoios, sendo uma telha leve e não sobrecarrega as estruturas de sustentação (ABCM, 2009, p.28).

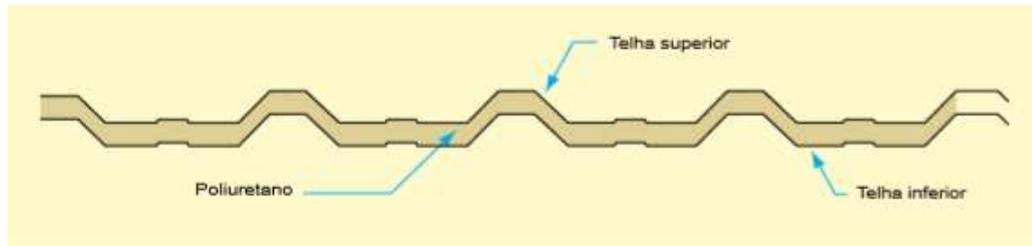


Figura 4.17: Telha trapezoidal com poliuretano (adaptado de ABCM, 2009).



Figura 4.18: Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento de poliuretano (adaptado de PIZZINATO, 2015).

4.5.3. Lã mineral

É um sistema com bom desempenho termoacústico e econômico, pois as telhas termoacústicas com isolamento utilizando lã de vidro ou lã de rocha a montagem do mesmo se executa na obra. Sendo montadas as telhas inferiores, depois coloca os espaçadores metálicos em seguida o material isolante e para finalizar a telha superior (ABCM, 2009, p.30).

De acordo com a Abcm (2009, p. 30), a lã de vidro normalmente é utilizada com um núcleo de isolante com densidade 12 kg/m^3 com espessura de 50 mm e coeficiente de condutividade térmica $k = 0,040/0,050 \text{ kcal/mh}^\circ\text{c}$. A lã de vidro é incombustível e

biologicamente inerte, já a lã de rocha pode ser fornecida com densidade 48 kg/m^3 e 50 mm de espessura e $k = 0,035/0,060 \text{ kcal/mh}^\circ\text{c}$ e podem fornecer com comprimento de até 12 metros, para perfil trapezoidais ou ondulados.

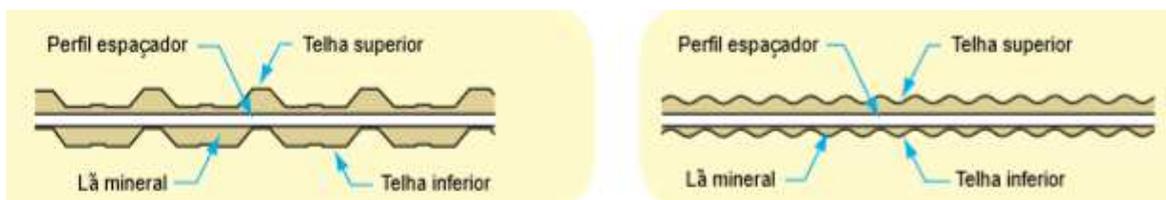


Figura 4.19: Telha trapezoidal com lã mineral e telha ondulada com lã mineral (adaptado de ABCM, 2009).

4.6. Inclinação do telhado

De acordo com Tinôco (2001), a inclinação do telhado afeta o condicionamento térmico ambiental no interior do galpão em dois pontos básicos: mudando o coeficiente de forma correspondentes às trocas de calor por radiação entre o homem e o telhado e modificando a altura entre as coberturas de entrada e saída de ar (lanternim), que quanto maior a inclinação, maior será a ventilação natural devido ao termossifão. Inclinações entre 20 e 30° têm sido consideradas adequadas, atendendo as condições estruturais e térmicos ambientais.

A distribuição de pressões decorrentes da ação do vento em um telhado depende da inclinação do mesmo. Telhados com inclinação menor que 30° tem as duas águas sobre sucção fazendo com que a ventilação pelo efeito do vento seja aumentada e com maior inclinação têm pressão positiva na água de barlavento (de onde sopra o vento) e sucção na de sotavento (por onde escoo o vento) (MAZON, 2005, p.68).

4.7. Conforto Térmico

O conceito de conforto térmico se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou

seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (DUARTE, 2016, p.6).

A produtividade do ser humano, muito embora os resultados de inúmeras investigações não sejam conclusivos a esse respeito, e a despeito dessa inconclusividade, os estudos mostram uma clara tendência de que o desconforto causado por calor ou frio reduz a produtividade. As atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico (DUARTE, 2016, p.6-7).

Considerando as inter-relações não subjetivas com meio físico, os principais mecanismos que interferem na sensação de conforto térmico são decorrentes das trocas térmicas, entre o corpo e o ambiente, que se realizam através dos processos básicos de troca de calor: radiação, condução, convecção e evaporação (MAZON, 2005, p.9).

Os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico, está baseada principalmente em 3 fatores (LAMBERTS, XAVIER, GOULART, 2008, p.4):

- A satisfação do homem ou seu bem-estar;
- O desempenho humano;
- A conservação de energia;

O conforto térmico envolve variáveis físicas ou ambientais e também variáveis subjetivas ou pessoais, não é possível que um grupo de pessoas sujeitas ao mesmo ambiente, ao mesmo tempo, esteja totalmente satisfeito com as condições térmicas do mesmo, devido as características individuais de cada indivíduo (BORRÉ, 2013, p.27).

4.7.1. Satisfação

Uma das coisas mais importantes que as pessoas consideram em uma edificação é a temperatura correta e o sentimento do ar fresco. A satisfação dos usuários nas edificações faz com que as pessoas gostem ou não de frequentar e permanecer em determinado ambiente, sendo comum a insatisfação com o ambiente térmico real mesmo em edifícios com sofisticados controle de climatização, o mesmo é normal encontrar situações de superaquecimento interno no inverno e super-resfriamento interno no verão (MAZON,2005, p.18).

4.7.2. Desempenho humano

A razão de se criar condições de conforto térmico, reside no desejo do homem de se sentir confortável termicamente. Além disso, o conforto térmico pode ser justificado no ponto de vista da performance humana, embora a redução de desempenho humano com o calor ou frio seja ainda pouco clara ou conclusiva, suspeita-se que as performances perceptiva, manual e intelectual são geralmente maiores na presença de conforto térmico (MAZON, 2005, p.17).

4.7.3. Conservação de energia

Devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes com climas artificiais, ambientes condicionados, e assim sendo, uma vez conhecendo-se as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários (LAMBERTS, XAVIER, GOULART, 2008, p.4).

Com relação à conservação de energia, tem que os estabelecimentos da temperatura interna em estações frias e quentes é o principal fator na decisão do uso da energia a edificação. A diferença entre as temperaturas externa e interna é proporcional à perda ou ganho de calor pelo edifício, sendo que sua diminuição implicará na diminuição também da carga de resfriamento ou aquecimento (MAZON, 2005, p.18).

4.8. Ventilação industrial

Borré (2013), em seu trabalho cita Macintyre (1990), que a ventilação se dá como significado: “deslocar o ar”. Esse deslocamento, que pode ser natural ou mecânico, sua função é retirar ou fornecer ar para o ambiente obtendo assim uma renovação no mesmo. A ventilação industrial como característica é realizar o controle da temperatura, distribuição de ar, a umidade e também eliminar agentes poluentes do ambiente, por exemplos: gases, vapores, fumos, névoas, microrganismos e odores, sendo contaminantes e poluentes.

Apesar desses elementos contaminantes ser removidos de um determinado local, temos que ter um controle da poluição por meio da ventilação requer que os elementos poluentes, depois de captados, sejam coletados e despejados adequadamente, de modo a não contaminar o ar exterior (MACINTYRE, 1990).

4.8.1. Sistemas de ventilação industrial

Segundo Macintyre (1990), podemos classificar os sistemas de ventilação como:

- a) Ventilação para manutenção do conforto térmico: restabelece as condições desejáveis para ar, sendo alteradas pela presença do homem. Resfriando o ambiente no verão e aquecendo no inverno.
- b) Ventilação para a manutenção da saúde e segurança do homem: reduz a concentração ambiental dos gases, vapores e partículas prejudicial ao homem, diminuindo os contaminantes gerados no ambiente quando não é possível capturar antes que o mesmo se espalhe.
- c) Ventilação para conservação de matérias e equipamentos: reduz o aquecimento de motores elétricos, máquinas, ou seja, conserva em bom estado meus matérias e equipamentos.

Os tipos de ventilação industrial que visam atender as finalidades acima são:

- Ventilação geral
- Ventilação natural
- Ventilação local exaustora

4.9. Ventilação geral

O sistema de ventilação geral proporciona a ventilação de um determinado ambiente, de modo geral e global. Pode ser natural, quando não são utilizados recursos mecânicos para proporcionar deslocamento do ar. O deslocamento do ar é realizado através de janelas, portas e entre outros (MOREIRA, 2006).

A ventilação geral consiste na movimentação de grandes quantidades relativamente de ar de espaços combinados, com finalidade de melhorar as condições do ambiente graças ao

controle de temperatura da distribuição e da pureza do ar e, em certos casos, também da umidade (MACINTYRE, 1990).

Um ventilador no ambiente pode tanto insuflar o ar, tomando ar externo, como exaurir ar desse mesmo ambiente para o exterior. Quando o mesmo funciona na função de exaurir ar no ambiente é chamado de exaustor. No ambiente, a pressão atmosférica comum, a insuflação e a exaustão provocam pequena variação de pressão. Desta forma, a insuflação é chamada de pressão positiva e exaustão pressão negativa (BORRÉ, 2013).

Quando a ventilação natural não possui condições de confiabilidade e eficiência para atender a vazão, temperatura e umidade desejadas, usa a ventilação geral que é fornecida pelos seguintes métodos (MACINTYRE, 1990):

- a) Insuflação mecânica e exaustão natural;
- b) Insuflação natural e exaustão mecânica;
- c) Insuflação e exaustão mecânica;

4.9.1. Insuflação mecânica e exaustão natural

Esta modalidade de ventilação geral diluidora, quando um ou mais ventiladores enviam ar exterior para o recinto. Como a pressão no recinto se torna maior que a pressão exterior, o ar insuflado sai por outras aberturas existentes, produzindo efeitos esperados de diluição dos contaminantes, a diminuição da temperatura e de arejamento (MACINTYRE, 1990).

Segundo Macintyre (1990), a insuflação mecânica permite um bom controle da incidência do ar e um melhor controle da pureza do ar insuflado do que a ventilação natural. Também é importante para impedir o ar contaminado de um outro recinto entre naquele que está pretendendo ventilar.

4.9.2. Insuflação natural e exaustão mecânica

De acordo com Macintyre (1990), um ou mais exaustores, como por exemplos ventiladores axiais removem o ar do recinto para o exterior, conseqüentemente, a pressão no

interior baixa devido à exaustão estabelecendo um fluxo de ar do exterior para o recinto, e deste para o exterior através de aberturas, ocasionando, uma pressão externa maior que a interna. Embora seja de menor custo que insuflação mecânica, esse tipo de sistema não permite um controle adequado de qualidade de ar que entra no recinto, exceto utilizado filtros nas entradas de ar.

No caso de o ventilador exaustor ser do tipo axial, deverá ser localizado na parede oposta à de admissão de ar e em nível o mais alto possível em relação ao piso, de acordo com a figura 2. Quando não for possível a utilização da parede oposta a da admissão de ar, deve-se considerar uma utilização de redes de dutos (BORRÉ, 2013).

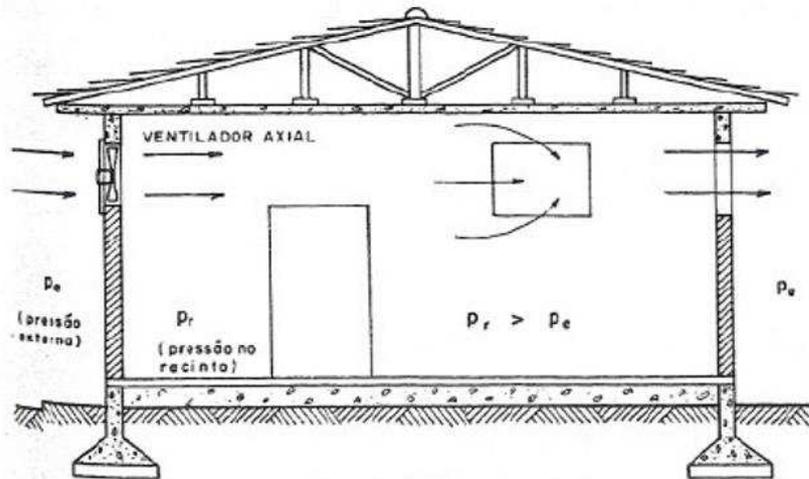


Figura 4.20: Insuflação mecânica e exaustão natural (adaptado de MACINTYRE, 1990).

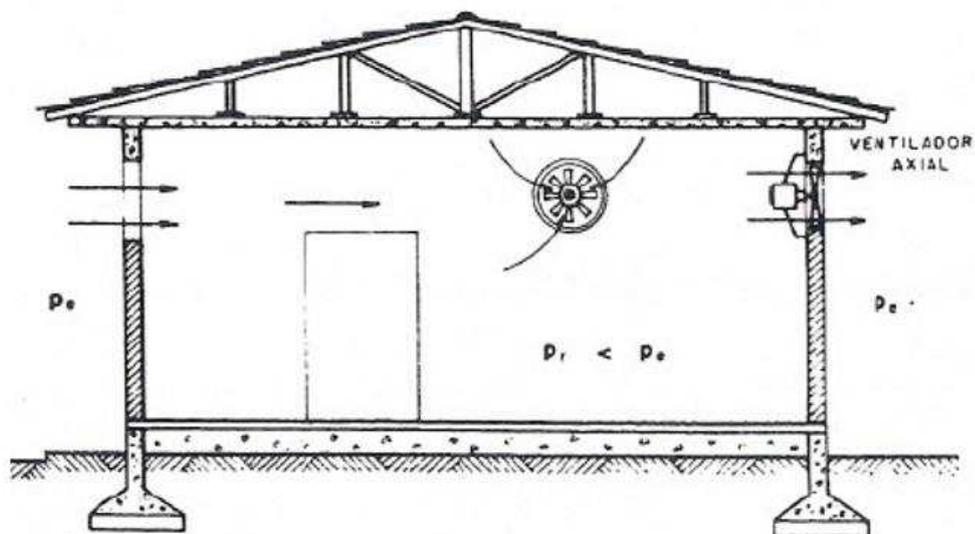


Figura 4.21: Insuflação natural e exaustão mecânica (adaptado de MACINTYRE, 1990).

4.9.3. Insuflação e exaustão mecânicas

Trata-se de um sistema misto de ventilação, onde possuem ventiladores que insuflam o ar e ventiladores que removem o ar do recinto. O mesmo é um sistema que utiliza a combinação de ventiladores por insuflamento e por exaustão (MACINTYRE, 1990).

O sistema misto consegue, quando bem projetado, evitar a estagnação do ar quando ocorre passagem direta do ar em uma abertura de admissão para saída. O mesmo só poderá ser adotado quando a ventilação não puder ser resolvida de maneira satisfatória por um deles isoladamente. A instalação de insuflação e exaustão mecânicas em formas mais completa permite a capacitação do ar em local não-poluído, realizar a filtragem do mesmo e realizar insuflamento em bocas ao longo de um ou mais dutos (MACINTYRE, 1990).

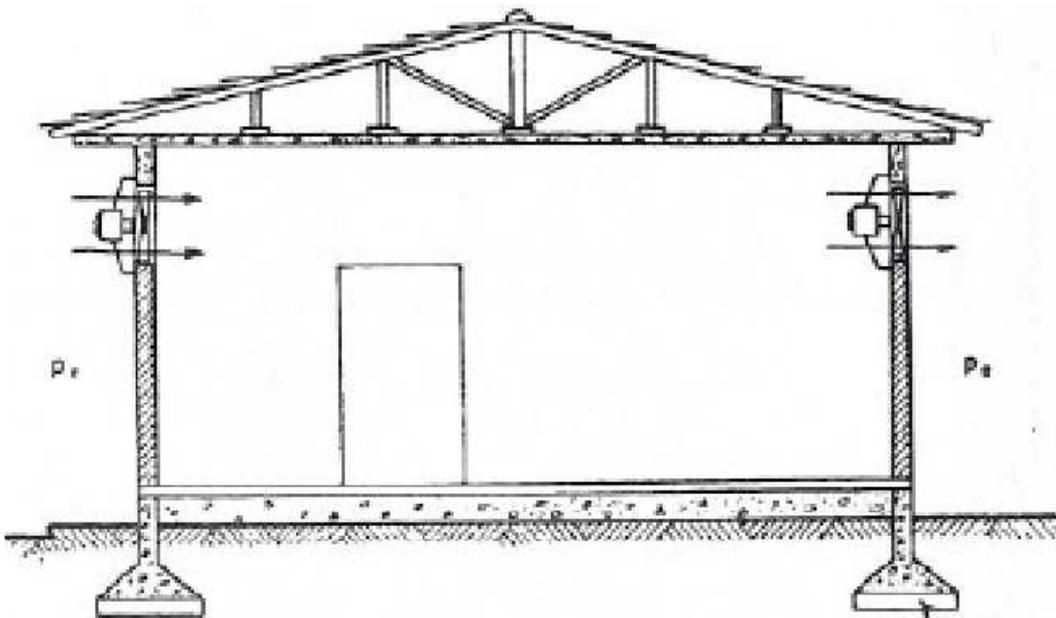


Figura 4.22: insuflação e exaustão mecânicas (adaptado de MACINTYRE, 1990).

4.10. Ventilação natural

No edifício as trocas de ar são controladas pelas aberturas, sendo usada a ventilação natural para regular o clima interno do mesmo. Essa ventilação é criada pela diferença de

temperatura entre o ar interno e externo como também pelo vento ao redor do edifício e o ar fresco dentro do mesmo é mantido pelas aberturas das fachadas e coberturas (MAZON, 2005).

A ventilação natural permite que as edificações tenham um ótimo custo benefício, permitindo projetos espaçosos e iluminados, reduzindo o custo energético ocasionando um clima agradável e bom rendimento de trabalhos executados pelos funcionários. A mesma é uma estratégia para obtenção de um ambiente agradável melhorando o conforto térmico do edifício (MAZON, SILVA, SOUZA, 2006).

Segundo Macintyre (1990) a ventilação natural ou podemos denomina-se de *ventilação por gravidade* no qual o deslocamento do ar se dá devido aberturas situadas na parte superior do ambiente ou da edificação e pela diferença de densidade do ar, aplicando em edifícios industriais, ginásios desportivos, garagens. Quando o mesmo não é possível adotar, pelo fato do edifício ter sido construído e sendo um ambiente fechado, presença de poluentes, devemos adotar a ventilação mecânica.

Na ventilação natural temos vários tipos, como:

- Ventilação do ar devido ao vento
- Ventilação pelo efeito chaminé
- Ventilação cruzada
- Ventilação unilateral

4.10.1. Ventilação do ar devido ao vento

Em projetos de edificação para que possa usar a ação do vento no mesmo, devem -se colocar aberturas de entrada do vento voltadas para o lado dos ventos predominantes (zona de pressão positiva) e as saídas de ar devem ser colocadas na região de baixa pressão, como: nas paredes laterais a fachada, que recebe a ação dos ventos e na parede oposta àquela que recebe ação dos ventos predominantes (MACINTYRE, 1990).

Rodrigues (2008) em seu trabalho que cita Olgyay (1998), nos edifícios tem como objetivo maior capacitação dos ventos dominantes para que possa ter uma maior utilização dos ventos na obtenção de conforto térmico, tendo como finalidade a criação das zonas de alta e baixa pressão.

Nas saídas podem ter lanternins e claraboias ventiladas, localizado nos telhados e coberturas com baixa pressão, devido a velocidade do vento ser maior. As chaminés são a solução para saída de gases ou do ar em temperatura, onde sua densidade menor permite a elevação para atmosfera exterior (MACINTYRE, 1990).

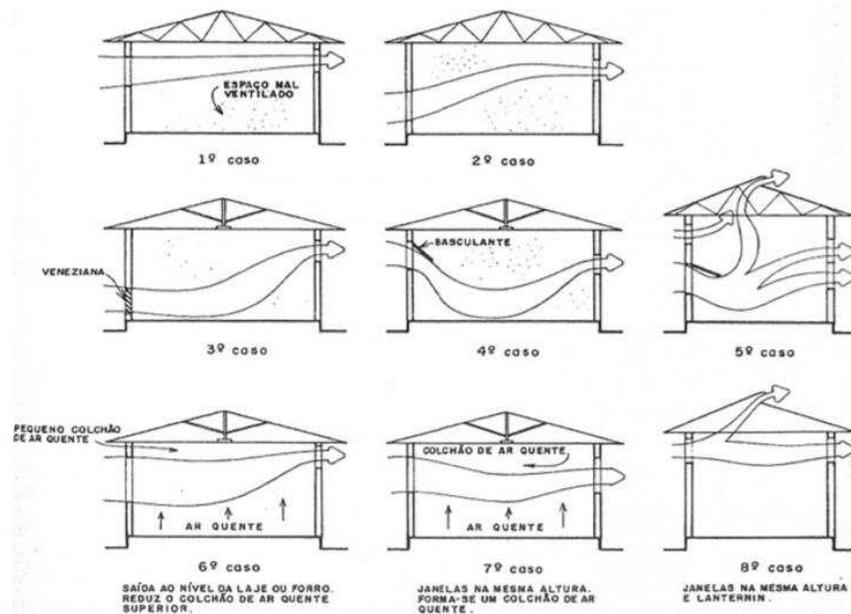


Figura 4.23: Casos típicos de ventilação natural em galpões (adaptado de MACINTYRE, 1990).

4.10.2. Ventilação pelo efeito chaminé

De acordo com Mazon (2005, p.31), a ventilação pelo efeito chaminé é a movimentação do ar em virtude da diferença de temperatura do ar interno e externo do ambiente. O ar quente com menor densidade tende a subir e escapar pelas aberturas nas partes elevadas do edifício. Na abertura superior dirige a saída de ar para o exterior, pois a pressão interna é mais elevada e na abertura inferior é a entrada de ar pelo fato da pressão interna ser mais baixa, com isso temos a substituição do ar quente que saiu havendo uma melhora no conforto térmico no ambiente.

A ventilação controlada permite resfriamento passivo no verão com alguns benefícios em relação à ventilação mecânica, incluindo baixos custos de manutenção e operação, custos de energia mínimos ou inexistentes e custos de construção geralmente menores em edifícios novos (SANTACRUZARCHITECT, 2015)

Embora a ventilação em efeito chaminé tenha benefícios de resfriamento no verão, ela pode ser um problema nos invernos frios, já que a alta diferença de temperatura entre o interior e exterior do edifício pode resultar em superventilação e perda de calor indesejável (SANTACRUZARCHITECT, 2015).

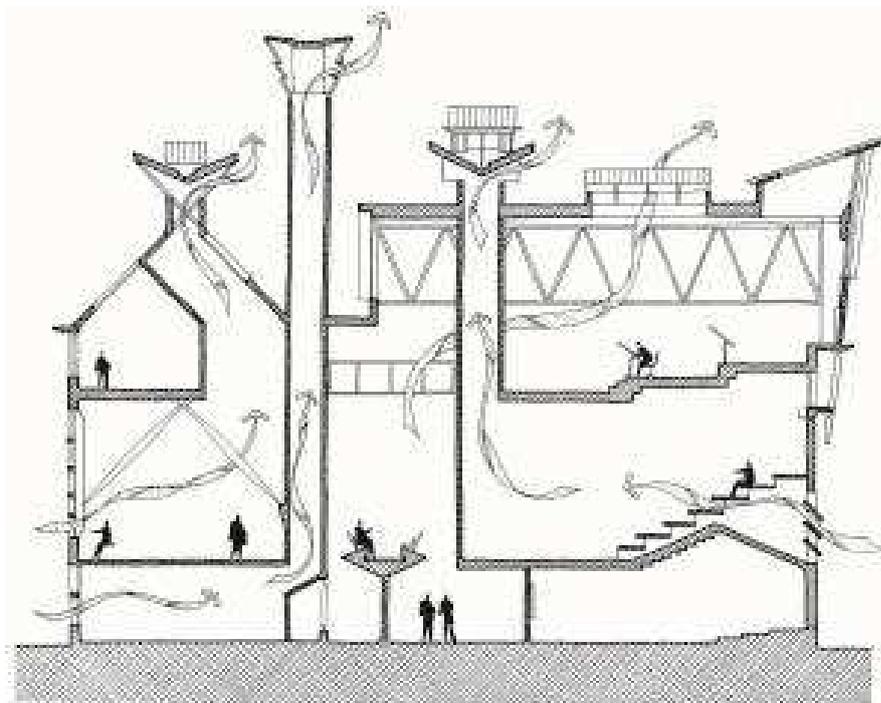


Figura 4.24: O edifício da rainha, universidade de Monfort, Leicester Inglaterra

(adaptado do site disponível em:

<https://santacruzarchitect.wordpress.com/2015/05/16/stack-effect-ventilation/> >. Acesso em 27/04/2018).

4.10.3. Ventilação cruzada

A ventilação cruzada também funciona com a diferença de temperatura, sem que haja a indução de sistemas mecânicos. Mais o que caracteriza essa ventilação é pela localização das entradas e saídas do ar que situa nas paredes opostas ou adjacentes para facilitar a circulação do ar, com as aberturas situadas em zonas de altas pressões e de saída com baixas pressões (MAZON, 2005, p. 31).

Na edificação o fluxo de ar depende dos gradientes térmicos, com a ausência de vento esses gradientes térmicos são as únicas forças que proporciona movimentação do ar no mesmo. Entre várias soluções, a ventilação cruzada é eficiente pois está localizada por aberturas em

paredes opostas (ou diferente) sob ação do vento e proporciona renovação de ar mais elevada do que na ventilação unilateral (SOUZA, AMPARO, GOMES, 2011).

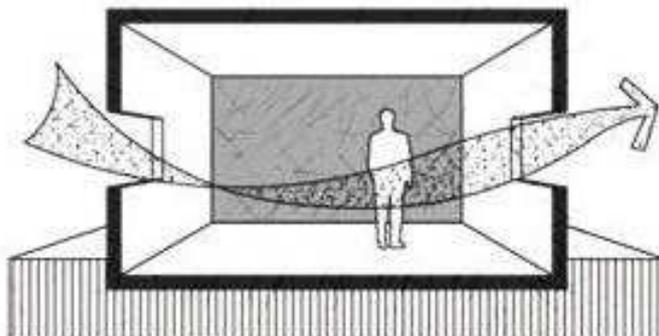


Figura 4.25: Ventilação cruzada em um só pavimento (adaptado do site disponível em: <<http://quemtemterrenoquercasa.com.br/diminua-o-consumo-de-energia-da-sua-casa-aproveitando-a-ventilacao-e-iluminacao-natural/>>. Acesso em: 27/04/2018).

4.10.4. Ventilação unilateral

Segundo Mazon (2005, p. 36), a corrente de ar desta ventilação, funciona através do empuxo térmico no cômodo com baixa diferença de pressões do vento, com isso as forças motrizes para este tipo de ventilação passam a ser relativamente pequena e variável. Sua eficiência se dá melhor em ambiente de cômodo simples, caracterizado por uma única abertura ou mais situado no mesmo plano da parede do edifício, nas zonas de igual ou pequena diferença de pressão, dificultando a circulação do ar.

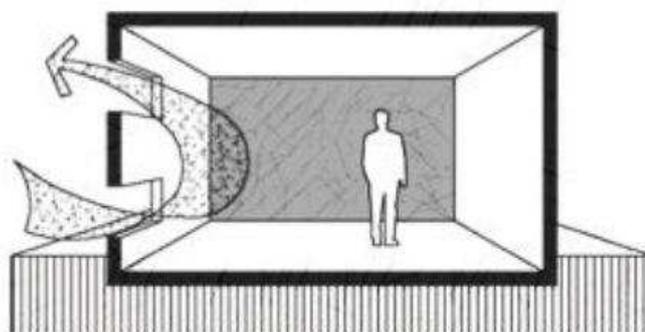


Figura 4.26: Ventilação unilateral em um só pavimento (adaptado do site disponível em: <<http://quemtemterrenoquercasa.com.br/diminua-o-consumo-de-energia-da-sua-casa-aproveitando-a-ventilacao-e-iluminacao-natural/>>. Acesso em: 27/04/2018).

4.11. Ventilação local exaustora

Em ambientes industriais além de alguns casos não ter um conforto térmico adequado, existem também contaminantes por ser de alta toxicidade ou pela elevada quantidade produzida, não conseguem ser dispersados na atmosfera por sistema de ventilação natural (MACINTYRE, 1990, p. 198).

De forma indireta, a mesma também contribui no bem-estar, na eficiência e na segurança do funcionário, retirando do ambiente o calor liberado pelas fontes quentes e controlando a poluição do ar. Um dos aparelhos que serve para resolver esses problemas são os exaustores eólicos (BORRÉ, 2013, p.25).

4.11.1. Exaustores eólicos

Segundo Filho (2012, p.24) os exaustores eólicos têm como princípio de funcionamento, promover a renovação do ar em ambientes. O vento que incide sobre o exaustor provocando a rotação das aletas, tornando um vácuo no interior do mesmo fazendo com que as massas de ar do ambiente interno dissipam através do vácuo.

Quando há ausência do vento, seu funcionamento se dá pela diferença térmica entre as temperaturas interna e externa, pois o ar quente é mais leve e se desloca em direção ao exaustor exercendo uma pressão no rotor, capaz de movimenta-lo (BORRÉ, 2013, p. 54).

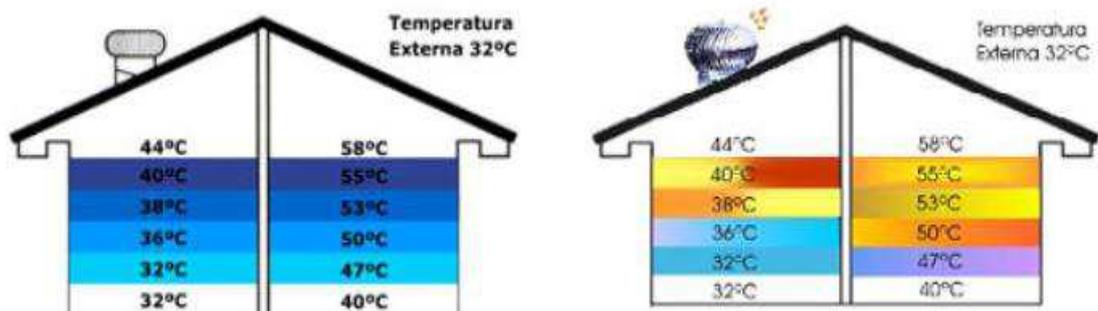


Figura 4.27: Ilustração do funcionamento do exaustor eólico (adaptado do site disponível em: <<http://www.ventcenter.com.br/exaustor-eolico.php>>. Acesso em:

05/05/2018).

De acordo com Borré (2013, p.54), este tipo de equipamento pode ser utilizado por diversas instalações, porém para que o tenha boa eficiência o ambiente tem que ser favorecido com o exaustor. Sendo de importância possuir entradas de ar através de janelas, portões, em quantidades proporcionais as dimensões da instalação. Essas entradas devem ser posicionadas próximas ao piso e longe dos exaustores. Com isso, tem maior vazão de ar e melhor eficiência do sistema, pois o ar exterior em condições mais agradáveis, sendo forçado de encontro aos ocupantes do ambiente, melhorando a qualidade do ar e assim garantindo maior produção dos funcionários e menor desgaste dos equipamentos.



Figura 4.28: Exaustores eólicos instalados (adaptado do site disponível em: <<http://www.ciadosexhaustores.com.br/informacoes/exaustor-eolico-preco.php>>. Acesso em: 05/05/2018).

Os exaustores eólicos atendem grandes edificações, como galpões, pois apresentam elevados volumes de ar e reduz gastos significativos com energia elétrica em relação a outros equipamentos para ventilação mecânica. Além desses benefícios já citados, destacamos abaixo outros deles, como (BORRÉ, 2013, p.55):

- Não produz ruído
- Não necessita de manutenção

- Eleva o índice de conforto térmico
- Elimina a condensação no inverno
- Reduz riscos de incêndio
- Não necessita de instalações especiais
- Promove a ventilação reduzindo a umidade

Para se calcular a quantidade de exaustores será necessário em um edificio, pela expressão:

$$N = \frac{\textit{comprimento} \times \textit{largura} \times \textit{altura} \times \textit{trocas de ar}}{\textit{Vazão do exaustor eolico}} \quad (4.1)$$

O volume do galpão multiplicado pela quantidade de trocas de ar do recinto de acordo com a NBR 6401 é dividido pela vazão do exaustor de acordo com o tipo de exaustor eólico será escolhido para o projeto, assim sabe o número de exaustores para o projeto.

5. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido durante o mês de maio na área de um galpão da empresa Pole Ferro que fica localizada na cidade de Timon/MA, que atua na fabricação de colunas e treliças e depois vende-las para empresas no ramo da construção civil.

A metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa iniciou-se com base de um equipamento chamado anemômetro da marca instrutherm e modelo tad-500 como mostra na figura 5.1, pois o mesmo dava a temperatura e velocidade do vento, obteve durante dois dias nos horários de 8:15 da manhã à 17:15 da tarde, coletando 6 temperaturas da entrada até o fundo do galpão e 6 velocidades do vento e depois foi calculado a média para ter a temperatura e a velocidade do vento em cada horário, como mostra a tabela 5.1 e 5.2.

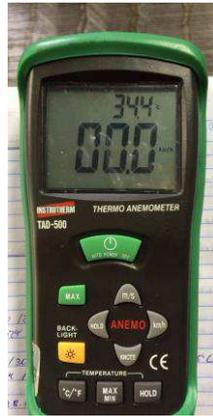


Figura 5.1: Anemômetro

Tabela 5.1: Dados coletados no 1º dia

Horario (hrs)	Temperatura interna (°C)						Temp. Média (°C)	Velocidade do vento (km/h)	Temperatura externa (°C)
08:15	26,0	26,6	26,8	27	27,7	27,8	27,0	5,3	26
10:15	30,5	30,8	31,2	31,2	31,3	31,5	31,1	5,1	30,5
11:15	30,7	31,2	31,5	31,6	31,8	31,9	31,5	2,6	30,7
14:15	34	34,2	34,2	34,3	34,4	34,5	34,3	16,6	34
16:15	32,8	33	33,2	33,2	33,3	33,3	33,1	3,1	32,8
17:15	32,8	32,8	33,2	33	33,2	33,2	33,0	2,8	32,8
							31,65833333	5,916666667	31,13333333

Tabela 5.2: Dados coletados no 2º dia

Horario (hrs)	Temperatura interna (°C)						Temp. Média (°C)	Velocidade do vento (km/h)	Temperatura externa (°C)
08:15	29,2	29,6	29,8	29,9	30	30	29,75	6	29,2
10:15	30,5	30,8	31,2	31,3	31,5	31,8	31,18333333	4,5	30,5
11:15	31,8	32,2	32,3	32,5	32,5	32,6	32,31666667	6,9	31,8
14:15	33,6	34	34,2	34,5	34,6	34,8	34,28333333	4,8	33,6
16:15	34,4	35,2	35,2	35,2	35,2	35,1	35,05	5,9	34,4
17:15	32,8	32,9	33	33,2	33,2	33,3	33,06666667	2,8	32,8
							32,60833333	5,15	32,05

De acordo com as figuras 5.2 e 5.3 e fazendo mais uma média dos resultados finais, a temperatura interna no galpão é de 32,15°C e a temperatura externa é 31,57° C, já a velocidade do vento na estrutura é de 5,53 km/h. Logo, também foi feito dois gráficos referente ao primeiro e segundo dia que relaciona a temperatura interna no galpão e a velocidade do vento ao longo dos horários descritos nas tabelas.

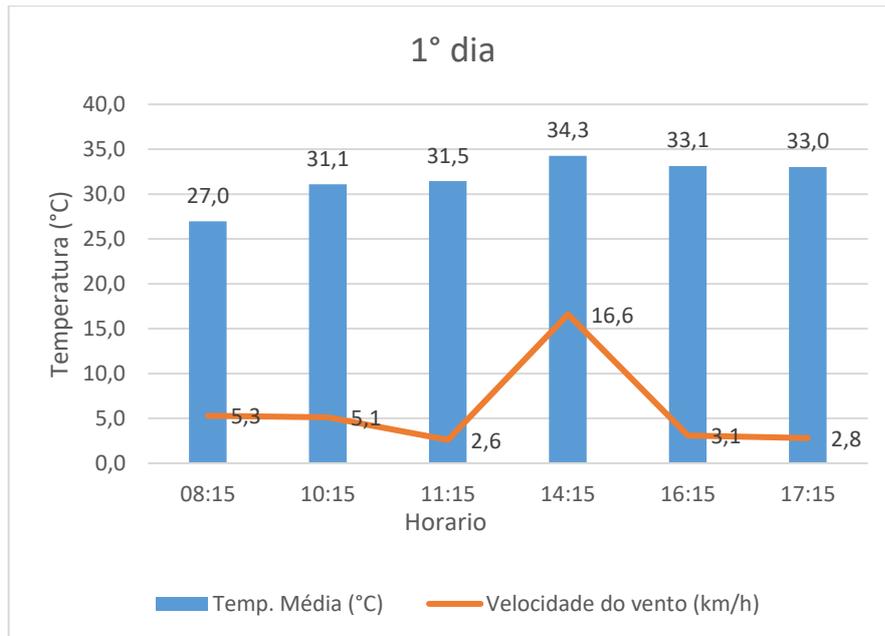


Figura 5.2: Gráfico da temperatura interna e velocidade do vento em relação ao tempo no 1 dia

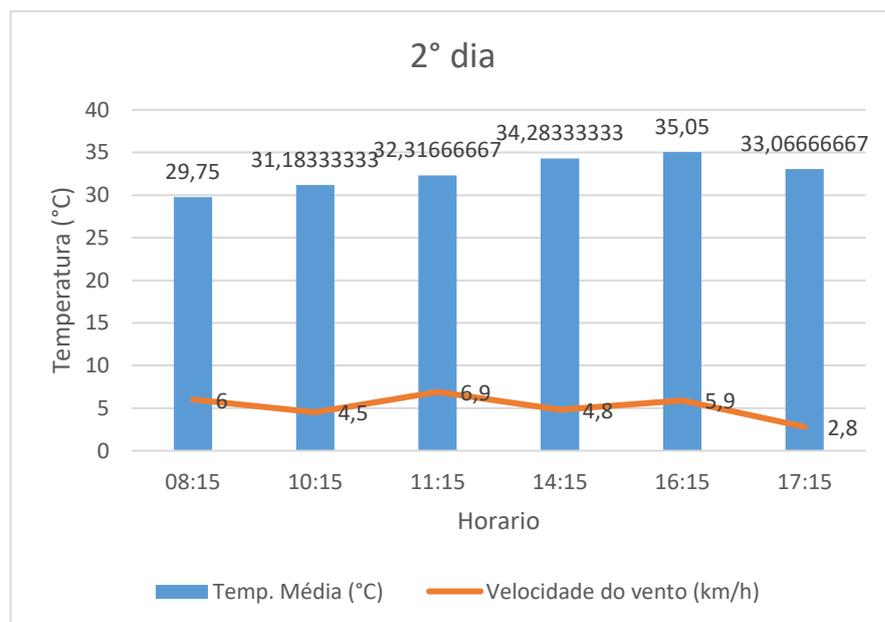


Figura 5.3: Gráfico da temperatura interna e velocidade do vento em relação ao tempo no 2 dia

5.1. Características construtivas

O galpão utilizado para fabricação de treliças e colunas foi construído em 2012, o terreno é localizado em um ponto alto da cidade de Timon, com apenas uma casa ao fundo do terreno e sem obstáculos dos lados e na frente do galpão. A ideia inicial era apenas um galpão, mas a produção foi aumentando e com isso foi feito mais dois, ficando um do lado direito e outro ao lado esquerdo do que já estava construindo, totalizando uma área construída de 1782 m².

Para a pesquisa foi usado apenas o primeiro galpão construído, sendo o que está em uso no momento. O mesmo possui 3 máquinas operando 8 horas por dia de segunda a sábado, com uma área de 792 m² (22 m x 36 m) e com inclinação do telhado de 28,18%. A figura 5.4 mostra o projeto arquitetônico.

Com um pé direito de 5,13 metros, o detalhe construtivo observado neste galpão é a falta de aberturas no ambiente para que possa ter uma boa ventilação natural. O mesmo dispõe de apenas um portão de acesso voltada para o norte com 4m x 6m, totalizando uma área de 24 m², sem mais aberturas inferiores, superiores e nas laterais possui 4 aberturas que servem de acesso aos outros galpões, sendo eles fechado e sem aberturas superiores e laterais, conforme a imagem da figura 5.5.

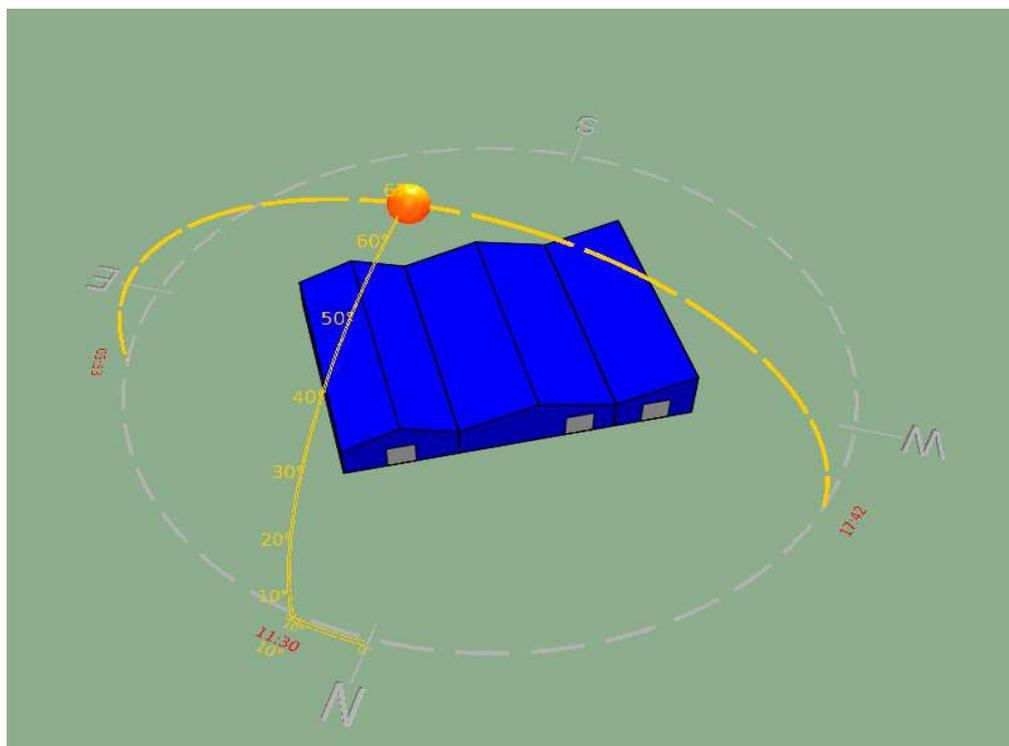


Figura 5.4: Projeto arquitetônico do galpão

De acordo com a figura 5.5, verifica-se os fechamentos laterais construídos de alvenaria e o telhado foi coberto por telhas de aço galvanizado e 4 telhas translúcidas para aproveitar a iluminação natural no ambiente. E na figura 5.6, mostra como é na parte de cima da cobertura.



Figura 5.5: Parte interna do galpão



Figura 5.6: Cobertura do galpão

5.2. Carga Térmica

Na ventilação natural para que possa ter um cálculo mais rigoroso visando melhorar conforto térmico, deve-se conhecer a carga térmica do ambiente trabalhado. Sendo denominado calor (sensível ou latente) a ser fornecido ou extraído do ar, por unidade de tempo, assim mantendo as condições desejadas (BORRÉ, 2013).

Na ventilação geral diluidora, além de proporcionar um grau admissível para o nível de poluição ambiental, reduz também a temperatura do local, embora não consiga realizar uma perfeita climatização, uma vez que não faz parte de seus objetivos reduzir a umidade do ar, com o rigor com o que faz uma instalação de ar condicionado. O ganho de calor que é transmitido para o ambiente é devido aos seguintes fatores (MACINTYRE, 1990, p. 92):

- Calor sensível devido a irradiação solar sobre vidros e paredes externas e coberturas;
- Calor sensível devido a condução pelas paredes, pisos, tetos, vidros, etc;
- Os calores sensível e latente decorrentes da infiltração de ar exterior pelas portas e janelas;
- O calor sensível correspondente a carga de energia elétrica dissipada no recinto nos aparelhos de iluminação;
- Calor sensível devido a outros equipamentos eventualmente existentes no recinto.
- Calor sensível devido as pessoas;

Nem sempre é possível conseguir apenas com ventilação natural os níveis ideais de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa (MACINTYRE, 1990, p. 92). A tabela 5.3 indica a referência da temperatura para condições ambientais de conforto.

Tabela 5.3: Condições ambientais de conforto (adaptado de MACINTYRE, 1990).

Local	Recomendável	Máxima
	Temp. bulbo seco (°C)	Temp. bulbo seco (°C)
Escritórios	23 a 25	26,5
Auditórios	24 a 26	27
Restaurantes	24 a 26	27

5.2.1. Calor liberado devido à presença humana

A quantidade de calor dissipado pelo organismo humano para ambiente depende principalmente de sua atividade. De acordo com a tabela C.1 da NBR 16401-1(anexo A) fornece os dados relativos ao calor dissipado pelo organismo humano sob as formas de calor sensível e de calor latente, para várias temperaturas de bulbo seco (FROTA, SCHIFFER, 2001, p.121).

5.2.2. Calor sensível devido a condução pelas paredes, vidros, pisos e tetos

De acordo com Creder (2004, p.88), a expressão geral de transmissão de calor por condução e por hora pode ser expressa, para matérias homogêneas, paredes planas e paralelas:

$$Q = \frac{A \times K \times D}{x} \quad (5.1)$$

Sendo:

Q = taxa de fluxo de calor transmitida em kcal/h;

A = área da superfície normal ao fluxo em m²;

x = espessura do material em m;

K = coeficiente de transmissão de calor através de parede, piso ou teto, em kcal/h x m² x °C;

O valor de k é encontrado na tabela B-3 na NBR 15220 (anexo B).

5.2.3. Calor sensível devido a irradiação solar sobre vidros e paredes externas e coberturas

Segundo Creder (2004), a energia solar sendo mais poderosa e aproveitada pelo homem como fonte térmica, essa energia é quase sempre a responsável pela maior parcela de carga térmica. Por absorção, a energia de radiação solar pode ser introduzida nos recintos tanto em maior quantidade quanto menos brilhante for a superfície refletora.

Esta carga térmica é devida a radiação solar sobre superfície exposta aos raios solares, nisso deve verificar a direção para a qual se acha voltada a parede ou as janelas (MACINTYRE, 1990, p.94).

As paredes, lajes e telhados transmitem a energia solar para o interior dos recintos por condução e convecção, segundo a formula (CREDER, 2004, p.96):

$$Q = A \times U[(te - ti) + \Delta t] \quad (5.2)$$

Q = calor transmitem a energia solar em W;

A = área em m²;

U = coeficiente global de transmissão de calor em kcal/h x m² x °C;

te = temperatura externa em °C;

ti = temperatura interna em °C;

Δt = acréscimo de diferencial de temperatura dado pela tabela 5.4;

Tabela 5.4: Acréscimo ao diferencial de temperatura (adaptado de CREDER, 2004).

Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	°F	°C	°F	°C	°F	°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

Esta fonte de calor por radiação, a simulação computacional já identifica a área com incidência solar direta, para cada uma das fachas do edifício, implantando o ficheiro climático da cidade no programa. No anexo D temos a carta solar de Teresina, no qual foi usada devido ser uma cidade vizinha de Timon, onde se encontra o edifício.

5.2.4. O calor sensível correspondente a carga de energia elétrica dissipada no recinto nos aparelhos de iluminação

Em função da conversão de energia elétrica em luz gera calor sensível. O mesmo é dissipado, por radiação e as superfícies circundantes, por condução, através dos materiais adjacentes e por convecção para o ar (FROTA, SCHIFFER, 2001, p. 121).

A tabela 5.5 indica a potência dissipada, para cada caso de alguns recintos. O projeto de instalações elétricas de iluminação, são baseados nas exigências de iluminamento, que fornecerá com precisão os aparelhos com respectivas potências (MACINTYRE, 1990, p. 95).

Tabela 5.5: Potência dissipada (adaptado de MACINTYRE, 1990).

Local	Tipos de iluminação	Nível de iluminação (lux)	Potência dissipada (W/m ²)
Escritórios	Fluorescente	1.000	40
	Fluorescente	150	15
	Incandescente	150	25
Auditórios:			
	a) Tribuna	1.000	50
	b) Platéia	500	30
Salas de espera:			
	c) Sala de espera	150	20
	a) Platéia	150	20
b) Tablado	Incandescente	500	30

De acordo com Macintyre (1990), para obter o calor sensível devido a energia dissipada pelas lâmpadas e reatores, podemos adotar os valores da tabela 5.6:

Tabela 5.6: Aquecimento devido a lâmpada acesa (adaptado de MACINTYRE,1990).

Tipo	Calor emitido (kcal/h)
Incandescente	Potência total em watts x 0,875
Fluorescente	Potência total em watts x 0,875 x 1,26

Já que o galpão que está sendo estudado, não faz uso de lâmpadas para iluminação do mesmo, este fator de dissipação de calor não será contado no cálculo do calor sensível total.

5.2.5. Os calores sensível e latente decorrentes da ventilação ou infiltração de ar exterior para o ambiente

O ar externo na maioria dos casos, é conduzido para o recinto a ser ventilado. Este ar externo vai substituindo o ar que por infiltração sai por meio de frestas, portas giratórias e exaustores (MACINTYRE, 1990).

De acordo com Creder (2004, p.105), o ar externo que penetra através de frestas nas portas e outras aberturas, adiciona carga térmica sensível ou latente. Embora seja uma carga que não possa ser calculada com precisão, mas podemos ter uma estimativa.

Também pela NBR 16401-3 do (anexo C) diz que, a vazão eficaz de ar exterior V_{ef} é constituída pela soma de duas partes: a vazão relacionada a pessoas ao recinto e a vazão com relação a área ocupada, sendo calculada pela equação:

$$V_{ef} = P_z \times F_p + A_z \times F_a \quad (5.3)$$

Sendo:

V_{ef} = é a vazão eficaz de ar exterior, expressa litros por segundo (L/s);

F_p = é a vazão por pessoa, expressa em litros por segundo (L/s x pessoa);

F_a = é a vazão por área útil ocupada (L/s x m²);

P_z = é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;

A_z = é a área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m²);

Os valores a adotar para F_p e F_a estão estipulados na tabela do anexo C.

5.2.6. Calor sensível decorrentes dos equipamentos

Os motores elétricos, dentro de um recinto, em qualquer fluxo de ar, adicionam carga térmica ao sistema devida as perdas nos enrolamentos e essa carga precisa ser retirada pelo equipamento que irá resfriar o recinto (CREDER, 2004, p.100). Na tabela no anexo E, informa o calor dissipado por essas fontes.

Para obter essa carga térmica, temos a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{P}{n} \times 733 \quad (5.4)$$

Sendo:

Q = calor sensível em W;

P = potência do motor em cv;

n = rendimento do motor;

5.3. Vazão necessária de ar

Qualquer ambiente para manter as condições desejadas, necessita de uma determinada vazão constante de ar. Essa vazão de ar frio ou quente, em mistura com o ar do ambiente, faz a

temperatura e a umidade permanecerem dentro das condições desejadas, combatendo o fluxo de calor que entra no recinto ou sai dele, sendo expresso pela equação (CREDER, 2004, p.43):

$$Q = \frac{Q_s}{0,29 \times (t_2 - t_1)} \quad (5.5)$$

Sendo:

Q = vazão de ar em m³/h;

Qs = calor sensível em kcal/h;

t2 e t1 = temperatura do ar na entrada e saída em °C;

Para dimensionamento da janela, foi utilizado a seguinte formula:

$$Q = V \times A \times \varphi \quad (5.6)$$

Sendo:

Q = vazão de ar em m³/s;

V = velocidade do vento na estrutura em m/s;

A = área da janela m²;

Tendo um fator de segurança de 0,5.

5.4. Condições externas

Para a região de Timon, será relatado temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, altitude, latitude e longitude e pressão atmosférica que devem ter conhecimento para obter o cálculo da carga térmica.

Tabela 5.7: Condições externas adotadas

Temperatura de Bulbo Seco	31,57 °C
Temperatura de Bulbo Úmido	26,9 °C
Altitude	80 m
Pressão Atmosférica	100,5 KPa
Latitude	5,05S
Longitude	42° 50'

Logo a temperatura de bulbo seco será a que foi obtida de acordo com as tabelas 5.1 e 5.2 e outros dados de acordo com a NBR 16401-1.

5.5. Condições internas

As condições internas durante o verão, será usado os parâmetros recomendáveis de acordo com a NBR 6401 no anexo F para ambientes com grandes cargas de calor sensível e/ou latente. Assim as condições internas adotadas neste projeto estão na tabela 5.8.

Tabela 5.8: Condições internas no recinto

TBS (°C)	UR (%)
26	40 a 65

Para o galpão em estudo, outras considerações tomadas para o cálculo da carga térmica são:

- A maior carga térmica se dará no horário de maior incidência de radiação sobre a estrutura;
- As lâmpadas não são acessas em dias com incidência de sol, devido as telhas translúcidas;
- Considera-se dezesseis pessoas em trabalho pesado no ambiente;
- São considerados sete motores elétricos e quatro compressores em torno das cinco máquinas presente no galpão;

Para maior precisão no cálculo da carga térmica foi empregado o programa simulador utilizado para a simulação termo energética da construção chamado de IESVE. O mesmo é um programa dinâmico de simulação térmica baseado no uso de modelagem matemática dos processos de transmissão de calor que ocorrem dentro e ao redor do edifício.

De acordo com NBR 15220 no anexo B, que se trata desempenho térmico das edificações, foram retiradas as seguintes propriedades térmicas das paredes, base concretada, portas e esquadrias, telhas de aço. Já as propriedades da telha termoacústica de poliuretano que será analisada para uma das soluções do conforto térmico do ambiente será retirado de catálogo

técnico, em seguida será implantada no software para o correto cálculo da carga térmica do recinto.

Tabela 5.9: Propriedades físicas das paredes

Material	C(kj/kg°K)	Densidade (kj/m³)	Condutividade térmica (W/(m.k))	Espessura (mm)
Tijolo	0,92	1600	0,90	150

O piso foi informado pelo proprietário da empresa, sendo com base concretada de 170 mm.

Tabela 5.10: Propriedades físicas do piso

Material	C(kj/kg°K)	Densidade (kj/m³)	Condutividade térmica (W/ (m.k))	Espessura (mm)
Concreto	1,0	1900	1,40	170

A cobertura é feita por telhas de aço galvanizado, cujas propriedades são:

Tabela 5.11: Propriedades da telha usada no galpão

Material	C(kj/kg°K)	Densidade (kj/m³)	Condutividade térmica (W/ (m.k))	Espessura (mm)
Aço galvanizado	0,46	7800	55	0,5

Para o objetivo de melhorar o conforto térmico e reduzir a temperatura do ambiente serão analisadas as telhas termoacústicas de poliuretano, cujas as propriedades são:

Tabela 5.12: Propriedades da telha termoacústica de poliuretano

Material	C(kj/kg°K)	Densidade (kj/m³)	Condutividade térmica (W/ (m.k))	Espessura (mm)
Poliuretano	1,67	35	0,030	30

Depois de obter estas propriedades, a figura 5.7 mostra a interface para a definição das características térmicas dos materiais.

Figura 5.7: Interface de definição das propriedades térmicas

Em seguida foi inserido os dados dos equipamentos e pessoas de acordo com a tabela do anexo A e anexo E, pois, estão os parâmetros de calor dissipado dos mesmos como mostra a tabela 5.13.

Tabela 5.13: Calor dissipado por pessoas

Atividade	Local	Calor sensível (W/pessoa)
Trabalho pesado em maquina operatriz: carregamento de carga.	Fábrica	185

Nos motores elétricos foi analisado de acordo com a potência de cada um, como mostra tabela 5.14.

Tabela 5.14: Calor dissipado por equipamentos

Equipamento	Potência (cv)	Calor dissipado (kcal/h)
4 motores das máquinas de treliça	5 cada	800
4 compressores das máquinas de treliça	20 cada	750
2 motores da máquina de coluna	1,5 cada	800
1 motor do dobrador de coluna	3	800

Com os dados das tabelas 5.13 e 5.14, foram inseridos os parâmetros no software como mostra a figura 5.8.

+ Add Internal Gain		- Remove Internal Gain		Select All	Deselect All
Type	People	Reference	People		
Occupancy units	People	Variation Profile	semana de trabalho		
Maximum Sensible Gain (W/P)	96.500	% of convective gain to RA plenum	0.00	%	
Maximum Latent Gain (W/P)	196.550	<input checked="" type="checkbox"/> Allow profile to saturate for loads analysis?			
Number of people	16.000				
Diversity factor	1				

Figura 5.8: Interface de inserção de dados de ganhos internos

6. RESULTADOS E DISCURSSÕES

6.1. Calor sensível total

Após ter colocado todos os parâmetros, considerando as cargas térmicas típicas para fabricas e locais com grandes cargas de calor, tais como ocupação, equipamentos e renovação de ar. A tabela 6.1 mostrará o calor sensível total obtido pelo programa.

Tabela 6.1: Carga térmica total

Ambiente	Carga térmica total (kW)	Carga térmica total (kcal/h)
Galpão	85,1	73172,82

De acordo com a carga térmica total em kcal/h da tabela 6.1 e usando a equação 5.5 e as temperaturas medias externas e internas das tabelas 5.8 e 5.9, a vazão de ar externo necessária para o recinto é de 45299,83 m³/h. Com estes breves resultados, foi feito uma comparação da eficiência dos dois sistemas quanto a redução da temperatura do ambiente.

6.2. Comparativo da eficiência do sistema de exaustão e de telhas termoacústicas para redução da temperatura ambiente

6.2.1. Uso dos exaustores eólicos

No mercado temos vários modelos de exaustores eólicos, mas devemos escolher o tipo mais adequado pra a nossa estrutura, na tabela 6.2 temos alguns modelos e suas especificações da empresa FortVent.

Os exaustores eólicos têm como princípio de funcionamento a diferencia de temperatura e velocidade do vento, de acordo com a figura 4.9 do mapa de isopleta a velocidade básica na

região de Teresina-Pi, como também Timon- Ma é de 45m/s. Com isso foi usado um exaustor modelo 24 polegadas com 4000 m³/h de vazão.

Tabela 6.2: Modelos de exaustores eólicos da empresa FortVent (adaptado do site disponível em: < http://www.afortvent.com.br/?cont=exaustores_eolicos>)

Especificações	Modelos		
	20"	24"	30"
Diâmetro (mm)	508	609	762
Diâmetro eixo maior (mm)	12	12	12
Nº de aletas	39	45	55
Peso (kg)	10	12	16
Vazão (m ³ /h)	3500	4000	6000

Usando a equação 4.1, foi calculado o número de exaustores eólicos necessários para ser colocados no galpão, usando 15 trocas de ar.

$$N = \frac{36 \times 22 \times 5,13 \times 15}{4000} = 15$$

Para um exaustor de 4000 m³/h, serão necessários 15 exaustores eólico na estrutura. Assim tento uma vazão de saída de 60000 m³/h e uma temperatura externa de 31,57 graus. Para saber a temperatura interna colocando os 15 exaustores eólicos, foi usado a equação 5.5.

$$60000 = \frac{73172,82}{0,29 \times (31,57 - t_1)}$$

$$17400 \times t_1 = 476145,18$$

$$t_1 = 27,3^\circ \text{ C}$$

No tópico 5 teste trabalho, foi mencionado que a temperatura interna do galpão é 32,1° C. Com o uso dos 15 exaustores eólicos a temperatura interna caiu para 27,3°C, mostrando que o exaustor eólico teve uma eficiência de 4,8 °C na redução da temperatura.

Para melhorar a ventilação natural dentro do galpão, foi dimensionado a área da janela que varar com que o ar frio entre pela janela e os exaustores eólicos irá retirar o ar quente do ambiente.

Usando a fórmula 5.6 e considerando a velocidade na estrutura já encontrada no tópico 5, teve-se que transformar as unidades, como mostra a tabela 6.3:

Tabela 6.3: Conversão das unidades

Vazão (m ³ /h)	Vazão (m ³ /s)	Velocidade (km/h)	Velocidade (m/s)
45299,83	12,58	5,53	1.53

$$12,58 = 0,5 \times A \times 1,53$$

$$12,58 = 0,705 \times A$$

$$A = 16,4 \text{ m}^2$$

A janela na qual foi calculada tendo uma área de 16,4 metros quadrados, será colocada no fundo do galpão com um tamanho de 1,03 x 16 m, como mostra a figura 6.1. A mesma vai ajudar na entrada de ar frio para o recinto e os exaustores eólicos irá retirar o ar quente, assim melhorando o conforto térmico no ambiente.

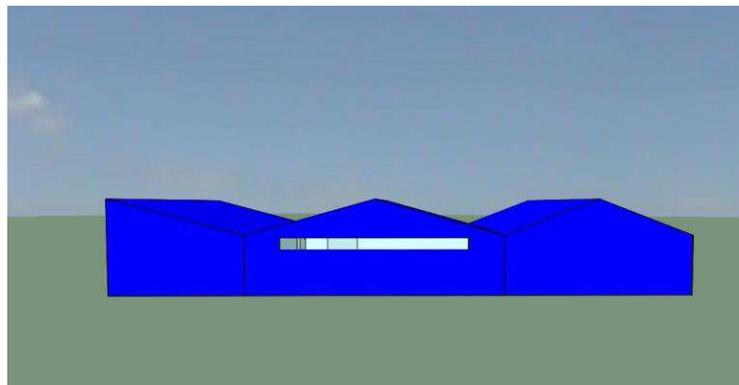


Figura 6.1: Abertura da janela no galpão

6.2.2. Uso da telha termoacústica com poliuretano

O poliuretano é um isolante térmico que oferece maior resistência nas trocas de calor externo e interno, possibilitando a redução da temperatura ambiente no recinto. No programa

utilizado para calcula a carga térmica, foi feito uma relação do ganho por condução comparando a cobertura original e a de poliuretano, como mostra a figura 6.2.

Data/Horario: 10/maio 11:29.19

Variable Name	Line Colour	File Name	Location	Type	Value	Lock
Ganho de condução - telhado (kW)	Red	Galpao_IES_poliuretano.ap	galpao princi	Ganho (kW)	7.5890	
Ganho de condução - telhado (kW)	Blue	Galpao_IES_original.aps	galpao princi	Ganho (kW)	45.4740	

Figura 6.2: Relação do ganho por condução no telhado

Com o uso da telha de poliuretano teve uma redução de 55,1% no calor sensível total, pois a mesma possui vantagem em suas propriedades em relação a cobertura original, como mostra na figura 6.3.

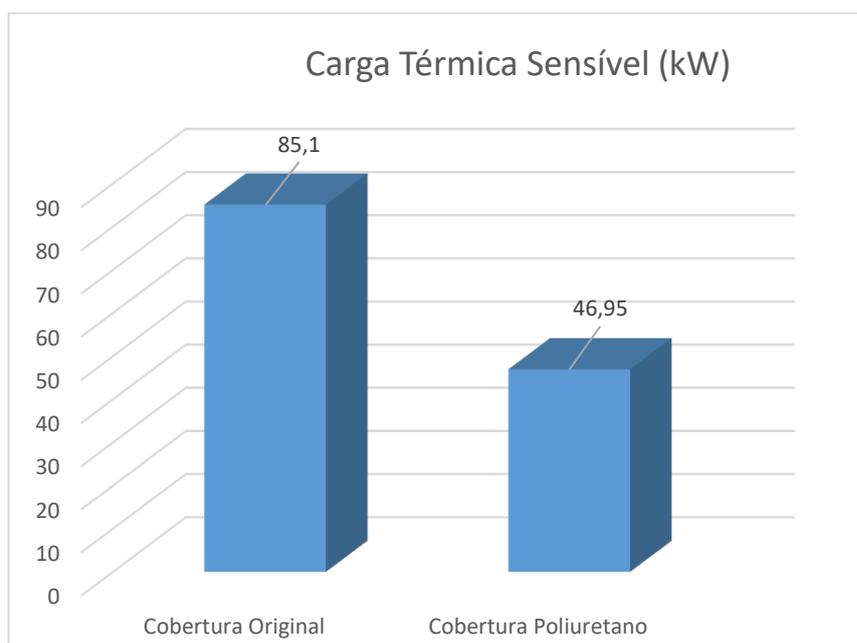


Figura 6.3: Gráfico comparando carga térmica com a cobertura original e cobertura poliuretano

A inércia térmica é basicamente a capacidade de uma edificação armazenar e liberar calor. De acordo com a figura 6.4, o gráfico mostra que durante a madrugada a cobertura original está liberando calor, tendo um ganho negativo e quando o sol está nascendo, o mesmo começa a armazenar calor até chegar seu pico máximo de ganho as 11:30 da manhã.

Já a cobertura de poliuretano, tem uma boa eficiência no armazenamento e liberação de calor, tendo uma diminuição nos picos de calor externos.

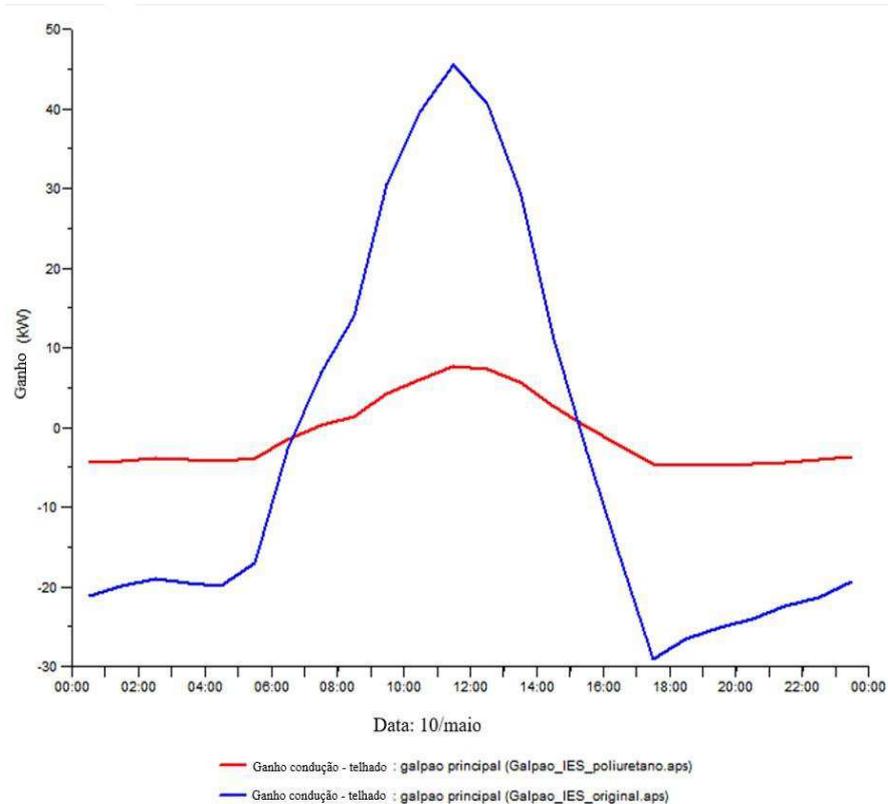


Figura 6.4: Gráfico de ganho por condução no telhado

De acordo com a figura 6.3, a nova carga térmica com uso da telha de poliuretano é de 46,95 kW. Na equação 5.5 o Q_s passa a ser a nova carga térmica obtida com a telha termoacústica de poliuretano que é 40369,73 kcal/h.

Ainda usando a equação 5.5, foi calculado a nova temperatura interna com o uso da telha de poliuretano, sendo:

$$45299,83 = \frac{40369,73}{0,29 \times (31,57 - t_1)}$$

$$13136,95 \times t_1 = 374363,8$$

$$t_1 = 28,4^\circ \text{ C}$$

Como já foi mencionado no tópico 5, a temperatura interna no galpão é de 32,15° C. Com a implantação da telha termoacústica de poliuretano a nova temperatura interna é de 28,4° C, portanto mostra que a telha teve uma eficiência de 3,7°C na redução de temperatura.

Assim fica comprovado que os dois sistemas têm uma eficiência significativa quando se trata na redução da temperatura ambiente no recinto, com isso obtendo uma melhora no conforto térmico e possibilitando melhores condições de trabalho aos funcionários da empresa.

6.3. Disponibilidade dos materiais no mercado

Para obter um estudo do custo de implantação dos sistemas atribuídos, primeiro foi feita uma análise da disponibilidade dos materiais no mercado. Fazendo um levantamento de preço em várias empresas, as tabelas 6.4 e 6.5 nos mostram essa análise feita tanto no sistema de exaustão, como para as telhas de poliuretano.

Tabela 6.4: Análise de preços dos exaustores eólicos

Empresa	Preço
Nardini elétrica	R\$ 200,00
Marivent exaustores	R\$ 275,57
Nova exaustores	R\$ 250,00

De acordo com as tabelas 6.4 e 6.5, as empresas que possuem um menor valor de mercado são Nardini elétrica para os exaustores eólicos e Isoeste para as telhas de poliuretano, sendo que o frete não está incluso.

Tabela 6.5: Análise de preços das telhas poliuretano

Empresa	Preços (m²)
Isoeste	R\$ 88,75
Galvanofer	R\$ 91,50
Telhas Forte	R\$ 89,70

6.4. Estudo de custo para implantação dos sistemas e a escolha do mais adequado

Após ter sido feito uma pesquisa de mercado destes materiais, analisando o custo em várias empresas, foi feito então um estudo de custo para que possa ser implantado no edifício, afim de que o custo benefício seja alcançado.

Os exaustores ficam instalados na cumeeira do telhado, ou seja, no complemento do telhado onde faz a junção de duas águas que serve para evitar a entrada da água da chuva. A telha que já está no galpão sendo aço galvanizado com perfil trapezoidal serve para implantação dos exaustores, assim o custo fica apenas com a compra dos exaustores.

De acordo com a tabela 6.4, o preço mais acessível de um exaustor eólico se encontra na Nardini elétrica, com um custo de 200 reais. Para a eficiência dos mesmos no galpão é preciso 15 unidades, assim soma-se um custo total de R\$ 3000,00 para aquisição dos equipamentos. O custo de manutenção e instalação não serão mensurados ou aproximados.

Para implantação das telhas é bem simples, sendo feita apenas a substituição da que já se encontra no galpão para a telha de poliuretano. Assim o custo será apenas com a compra do metro quadrado da telha.

De acordo com a tabela 6.5, foi analisado os preços da telha sendo vendida pelo metro quadrado, as empresas citadas são consideradas boas no mercado, pela qualidade e ótimos preços. Assim a empresa com o menor preço foi a Isoeste, com um custo de R\$ 88,75. Para a eficiência do galpão no qual está sendo trabalhado tem uma área de 792 m², soma-se um custo total de R\$ 70290,00, o custo para montagem não será mensurado ou aproximado.

A tabela 6.6, mostra mais detalhes do estudo de custo feito para implantação dos dois sistemas estudados ao longo da pesquisa.

Tabela 6.6: Estudo de custo para implantação do sistema

	Preço (unidade)	Unidade	Valor total
Exaustor eólico	R\$ 200,00	15	R\$ 3000,00
	Preço (m²)	Tamanho do galpão (m²)	Valor total
Telha poliuretano	R\$ 88,75	792 m ²	R\$ 70290,00

De acordo com a tabela 6.6, o melhor custo benefício apresentado seria escolher o sistema de exaustores eólicos. Apesar da telha de poliuretano ter tido uma eficiência superior a que de aço galvanizado, mas por ser um edifício grande o custo ficou alto se comparado ao sistema de exaustão.

Podemos comprovar que os dois sistemas mostraram eficiência em relação a diminuição da temperatura interna do galpão e estudo de custo mostrou que o uso dos exaustores eólicos gastará bem menos do que o uso da telha de poliuretano, apesar do que já foi comprovado deixaremos também a preferência de escolha do proprietário da empresa.

De acordo com a consolidação das leis trabalhistas – CLT, especialmente no seu artigo 176 que regula a questão dos ambientes de trabalho diz que, os locais de trabalho deverão ter ventilação natural, compatível com o serviço realizado, assim a ventilação artificial será obrigatória sempre que a natural não preencha as condições de conforto térmico. E no artigo 178 diz que, as condições de conforto térmico dos locais de trabalho devem ser mantidas dentro dos limites fixados pelo Ministério do Trabalho.

Os galpões onde foi realizado o estudo de caso, foram construídos sem nenhum tipo de aberturas, janelas para que pudesse melhorar ventilação natural no ambiente, desta forma a estrutura não estava de acordo com o CLT e das condições mantidas pelo Ministério do Trabalho, podendo ocasionar prejuízos a empresa com uma possível fiscalização.

Este trabalho foi feito com objetivo de definir um sistema que pudesse diminuir a temperatura ambiente, levando em consideração o custo benefício. Assim pudemos comprovar a eficiência de dois sistemas, sendo os exaustores eólicos e telhas termoacústicas. Ambas mostraram em média 4° C na redução da temperatura interna e melhora no conforto térmico pudemos está de acordo com as leis trabalhistas e normas como NR 15 e NR 17.

Após as análise dos resultados foi definido que o sistema mais eficiente foi o exaustor eólico, pois apresentou um pouco mais de eficiência em relação a telha de poliuretano e também mostrou um melhor custo na sua implantação.

7. CONCLUSÃO

Analisando de forma geral, podemos observar que os objetivos estabelecidos foram alcançados, pois ao longo do trabalho foi possível ter um melhor entendimento sobre desempenho térmico e a importância do conforto térmico para um bom ambiente de trabalho, sendo avaliado especificamente na empresa Pole Ferro que fabrica colunas e treliças e também proporcionando soluções que pudessem melhorar o conforto térmico no interior do ambiente.

Na revisão bibliográfica, foi realizado um melhor entendimento de alguns tipos de galpões e coberturas, uma análise bem detalhada das condições de ventilação industrial e a importância do conforto térmico no desempenho das atividades humanas e realização de suas tarefas para uma melhor capacidade produtiva na empresa.

Nos resultados obtidos podemos observar as condições térmicas atuais do galpão e o quanto será possível reduzir a temperatura interna do edifício analisando o custo benefício para a implantação. Desta forma, observa-se que a construção do edifício estudado não foi realizada para proporcionar ventilação natural ao ambiente, pois falta aberturas e janelas para entrada e saída de ar, sendo uma situação que atualmente está afetando de alguma forma o bem-estar dos trabalhadores e na produtividade na empresa Pole Ferro.

Perante as informações obtidas nos resultados, a solução foi definir qual sistema entre o exaustor eólico e telhas termoacústicas de poliuretano pudesse ser implantado no galpão para reduzir a temperatura ambiente em torno de 4° C do mesmo, analisando-se também o melhor custo benefício. O preço analisado pela empresa Nardini elétrica é de R\$ 200 a unidade do exaustor eólico, sendo preciso de 15 unidades e para telhas termoacústica foi analisado um melhor preço na empresa Isoeste tendo um custo de R\$ 88,75, sendo que o galpão tem uma área de 792 m². Após o cálculo da carga térmica, o uso da fórmula da vazão de ar e o estudo de custo, conclui-se que os dois sistemas obtiveram eficiência no desempenho térmico, mas para implantação do sistema o exaustor eólico foi preferido por ter uma melhor eficiência e um baixo custo de implantação.

Portanto, é possível que este sistema de exaustão melhore a sensação de conforto térmico ao ambiente em virtude da entrada de ar frio pela janela dimensionada e a saída de ar quente pelos exaustores eólicos, assim o edifício terá sempre uma forma para renovação do ar.

REFERENCIAS

- ANDRADE, Bruna Fuzzer. **Padrões normativos, ensaios experimentais e análise da performance acústica de telhas sanduíche**. 2016. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- ANANDA. Catálogo: Ananda - **Qualidade em aço transformado**. Piracicaba, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações: NBR 6123**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações centrais de ar-condicionado para conforto – parâmetros básicos de projeto: NBR 6401**. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projeto das instalações: NBR 16401-1**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior: NBR 16401-3**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Manual técnico telhas de aço**. 1.ed. 2001. 34p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Telhas e painéis termoacústico – requisitos de desempenho: NBR 16373**.
- BATTISTI, Filipe Pereira. **Análise comparativa dos diferentes sistemas estruturais de coberturas em estrutura metálica**. 2013. 117p. Monografia (Graduação) – Universidade Católica de Brasília, Brasília.
- BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo**. 3.ed. rev. São Paulo: Pini, 2000. 489p.
- BORRÉ, Régis Leandro. **Sistema de Ventilação em Ambiente Industrial**. 2013. 73p. Monografia (Pós-Graduação) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi.
- BRASIL. **Consolidação das Leis do Trabalho**. Decreto – Lei nº 5.442, de 1.mai.1943. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del5452.htm>. Acesso em: 03/06/2018.
- BRASIL – Lei nº 6515, portaria nº 3214 – NR 15 – Atividades Insalubres.
- BRASIL. **Norma regulamentadora 17: Ergonomia**. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr17.htm>>. Acesso em: 03/06/2018.
- CBCA. Aço Brasil. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7072>>. Acesso em: 19/03/2018.

- CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004. 318p.
- DIAS, Alexandra Silva. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. 2011. 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto.
- DUARTE, Vanessa C. P. **Desempenho térmico de edificações**. 7. ed. Florianópolis: Universidade Federal Santa Catarina, 2016, 238p.
- FILHO, José Nilton Rodrigues. **Estudo de caso: Integração ventilação natural e conforto acústico**. 2012. 66p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244p.
- GUANABARA, Matheus Kerkhoff. **Dimensionamento de estruturas metálicas: rotina computacional para seleção de perfis metálicos**. 2010. 84p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre.
- ISOESTE, construtivos isotérmicos. **Sistemas de coberturas**. São Paulo, 2010.
- LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antônio Augusto de Paula; GOULART, Solange. **Conforto e stress térmico**. 2008. 104p. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LUCCHINI, Jonathan Roberto. **Processos de fabricação e montagem de estruturas metálicas na construção civil**. 2009. 145p. Monografia (Graduação). – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industriais e Controle da Poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990. 403p.
- MADEIRA, Alisson Ramos. **Estrutura em aço para pavilhão industrial: comparação entre soluções com elementos treliçados e de alma cheia**. 2009. 73p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre.
- MAZON, Ana Amélia Oliveira. **Ventilação natural em galpões utilizando lanternins**. 2005. 215p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto.
- MAZON, Ana Amélia Oliveira; SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira; SOUZA, Henor Artur de Souza. Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.59, n 2, 2006.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas**. Vols. I, II e III. Brasília, 1986.
- MOREIRA, Adson Bezerra. **Análise da operação de sistemas de ventilação industrial visando à eficiência energética**. 2006. 141p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza.
- PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain; DREHMER, Gilnei Artur; JÚNIOR, Enio Mesacasa. **Galpões para uso gerais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2010. 75p.

PREMONTA. Disponível em: <<http://premonta.com.br/cobertura-com-estrutura-metálica/>>. Acesso em: 23/03/2018.

PIZZINATTO, Disponível em: <<http://www.grupopizzinatto.com.br/>>. Acesso em: 19/03/2018.

RODRIGUES, Luciano Souza. **Ventilação natural induzida pela ação combinada do vento e da temperatura em edificações**. 2008. 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto.

SANTACRUZARCHITECT, Disponível em: < <https://santacruzarchitect.wordpress.com>>. Acesso em: 19/05/2018.

SOUZA, Henor Artur; AMPARO, Lucas Roquete; GOMES, Adriano Pinto. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em *light steel framing*. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.11, n 4, 2011.

TINÔCO, Ilda de Fátima Ferreira. Avicultura industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira ciência avícolas**, Campinas, v.3, n 1, 2001.

ANEXO A- Calor dissipado por pessoas (adaptado da NBR 16401-1, 2008)

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche ^c	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

ANEXO B – Coeficiente de condutividade térmica dos materiais (adaptado da NBR 15220, 2005).

Material	^a (kg/m ³)	^b (W/(m.K))	^c (kJ/(kg.K))	
Argamassas				
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00	
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84	
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00	
Cerâmica				
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92	
	1300-1600	0,90	0,92	
	1600-1800	1,00	0,92	
	1800-2000	1,05	0,92	
Fibro-cimento				
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84	
	1400-1800	0,65	0,84	
Concreto (com agregados de pedra)				
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00	
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00	
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (^f dos inertes ~750 kg/m³)				
com finos	1400-1600	0,52	1,00	
	1200-1400	0,44	1,00	
sem finos	1000-1200	0,35	1,00	
Concreto com argila expandida				
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , * dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00	
	1400-1600	0,85	1,00	
	1200-1400	0,70	1,00	
	1000-1200	0,46	1,00	
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , * dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00	
	600-800	0,25	1,00	
	< 600	0,20	1,00	
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00	
	400-600	0,24	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00	
	500-600	0,20	1,00	
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00	
Gesso				
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84	
placa de gesso; gesso cartonado com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)	750-1000	0,35	0,84	
	dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
		dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25
Granulados				
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80	
argila expandida	< 400	0,16		
areia seca	1500	0,30	2,09	
areia (10% de umidade)	1500	0,93		
areia (20% de umidade)	1500	1,33		
areia saturada	2500	1,88		
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84	

(continuação)

Material	[*] (kg/m ³)	[‡] (W/(m.K))	^c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcáreos/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

ANEXO C – Vazão eficaz mínima de ar externo para ventilação (adaptado da NBR 16401-3, 2008)

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ^{2 a}
		F _p L/s* pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s* pess	F _a L/s*m ²	F _p L/s* pess	F _a L/s*m ²	
Comércio varejista								
Supermercado de alto padrão	8	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado de padrão médio	10	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado popular	12	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Mall de centros comerciais	40	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Lojas (exceto abaixo)	15	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--
Salão de beleza e/ou barbearia ^b	25	10	0,6	12,5	0,8	15,0	0,9	--
Animais de estimação ^b	10	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	4,5
Lavanderia "self-service"	20	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Edifícios de escritórios								
Hall do edifício, recepção	10	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritórios de diretoria	6	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com baixa densidade	11	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com média densidade	14	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com alta densidade	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala de reunião	50	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
CPD (exceto impressoras)	4	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala impressoras, copiadoras	--	--	--	--	--	--	--	2,5
Sala digitação	60	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
"Call center"	60	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--
Bancos								
Bancos (área do público)	41	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Caixa forte	5	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--

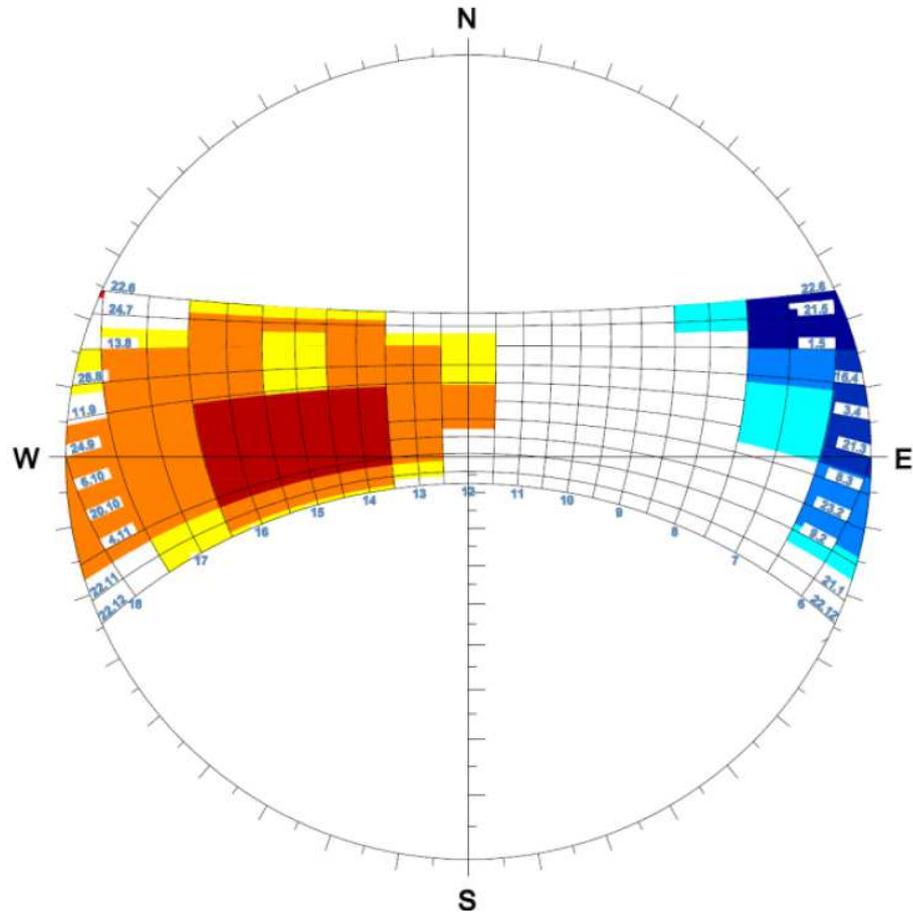
(continuação)

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ^{2,n}
		F _p L/s* pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s*m ²	
Edifícios públicos								
Aeroporto – saguão ^c	15	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Aeroporto – sala de embarque ^c	100	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Biblioteca	10	2,5	0,6	3,5	0,8	3,8	0,9	--
Museu, galeria de arte ^d	40	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Local de culto	120	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Legislativo – plenário	50	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – lobby	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório e platéia	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – palco	70	5	0,3	6,3	0,4	7,5	0,5	--
Tribunal – sala de audiências	70	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Esportes								
Boliche – área do público	40	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Ginásio coberto (área do público)	150	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Ginásio coberto (quadra)	--	--	0,3	--	0,4	--	0,5	--
Piscina coberta ^e	--	--	2,4	--	3,0	--	3,6	2,5
"Fitness center" – aeróbica	40	10	0,3	12,5	0,4	15,0	0,5	--
"Fitness center" – aparelhos	10	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Estabelecimentos de ensino								
Sala de aula	35	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de informática	25	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de ciências	25	5	0,9	6,3	1,1	7,5	1,4	5,0
Hotéis								
Apartamento de hóspedes	.	5,5	--	6,9	--	10,3	--	--
Banheiro privativo	--	--	--	--	--	--	--	2,5/unid.
Lobby, sala de estar	30	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Sala de convenções	120	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Dormitório coletivo	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Restaurantes, bares, diversão								
Restaurante – salão de refeições	70	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Bar, salão de coquetel	100	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Cafeteria, lanchonete, refeitório	100	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Salão de jogos	120	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Discoteca, danceteria	100	10,0	0,3	12,5	0,4	15,0	0,5	--
Jogos eletrônicos	20	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--

(continuação)

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ^{2,n}
		F _p L/s* pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s*m ²	
Locais diversos								
Câmara escura	--	--	--	--	--	--	--	5,0
Copa	--	--	--	--	--	--	--	1,5
Sala exclusiva para fumar ^f	--	--	--	--	--	--	--	9,0
Sanitários públicos	--	--	--	--	--	--	--	35 / bacia
Vestiários coletivos	--	--	--	--	--	--	--	2,5

ANEXO D – Carta solar Teresina – PI (adaptado PDR Edifica)



ANEXO E – Calor liberado por fontes diversas (adaptado NBR 6401,1980)

Tabela 11 - Calor liberado por fontes diversas

Equipamentos diversos			kcal/h		
			Sensível	Latente	Total
<i>Equipamento elétrico</i>					
Aparelhos elétricos - por kW			860	0	860
Forno elétrico - Serviço de cozinha por kW			690	170	860
Torradeiras e aparelhos de grelhar por kW			770	90	860
Mesa quente - por kW			690	170	860
Cafeteiras - por litro			100	50	150
<i>Equipamento a gás</i>					
GLP 50% butano + 50% propano por m ³ /h			5540	700	6240
GLP (50/50%) por kg			9800	1200	11000
Bico de Bunsen - tamanho grande			835	215	1050
Fogão a gás - Serviço de restaurante por m ² superfície da mesa			10500	10500	21000
<i>Banho-maria</i>					
Por m ² de superfície superior			2130	1120	3250
Cafeteira - por litro			150	50	200
<i>Equipamentos a vapor</i>					
Banho-maria por m ² de boca			1125	2625	3750
<i>Alimentos</i>					
Por pessoa (restaurante)			7	7	14
<i>Motores elétricos</i>					
<i>Potência (Placa)</i>		<i>Eficiência aproximada (%)</i>			
Até ¼ CV	Por CV	60	1050	0	1050
½ a 1 CV	Por CV	70	900	0	900
1 ½ a 5 CV	Por CV	80	800	0	800
7 ½ a 20 CV	Por CV	85	750	0	750
acima de 20 CV	Por CV	88	725	0	725

ANEXO F – Condições internas para verão (adaptado da NBR 6401, 1980)

Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		(A) TBS (°C)	(B) UR (%)	(A) TBS (°C)	(B) UR (%)
Conforto	Residências Hotéis Escritórios Escolas	23 a 25	40 a 60	26,5	65
Lojas de curto tempo de ocupação	Bancos Barbearias Cabeleireiros Lojas Magazines Supermercados	24 a 26	40 a 60	27	65
Ambientes com grandes cargas de calor latente e/ou sensível	Teatros Auditórios Templos Cinemas Bares Lanchonetes Restaurantes Bibliotecas Estúdios de TV	24 a 26	40 a 65	27	65
Locais de reuniões com movimento	Boates Salões de baile	24 a 26	40 a 65	27	65
Ambientes de Arte	Depósitos de livros, manuscritos, obras raras	21 a 23 ^(C)	40 a 50 ^(C)	-	-
	Museus e galerias de arte	21 a 23 ^(C)	50 a 55 ^(C)	-	-
Acesso	Halls de elevadores	-	-	28	70

^(A) TBS = temperatura de bulbo seco (°C).

^(B) UR = umidade relativa (%).

^(C) * = condições constantes para o ano inteiro.