

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

CLAUDIO DUARTE SILVA FILHO

**OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO
RESIDENCIAIS PELA UTILIZAÇÃO DE TINTAS TERMO-REFLEXIVAS**

MANAUS

2017

CLAUDIO DUARTE
SILVA FILHO

OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO
RESIDENCIAIS PELA UTILIZAÇÃO DE TINTAS TERMO REFLEXIVAS

UEA
2017

CLAUDIO DUARTE SILVA FILHO

**OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO
RESIDENCIAIS PELA UTILIZAÇÃO DE TINTAS TERMO-REFLEXIVAS**

Trabalho de Curso apresentado como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Mecânica da Universidade do
Estado do Amazonas (UEA)

Orientador: Prof. Dr. João Evangelista Neto

MANAUS

2017

CLAUDIO DUARTE SILVA FILHO

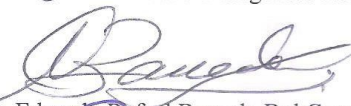
**OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO
RESIDENCIAIS PELA UTILIZAÇÃO DE TINTAS TERMO-REFLEXIVAS**

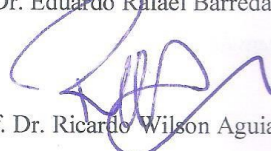
Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 07 de DEZEMBRO de 2017.

Banca examinadora:


Orientador Prof. Dr. João Evangelista Neto.


Prof. Dr. Eduardo Rafael Barreda Del Campo.


Prof. Dr. Ricardo Wilson Aguiar da Cruz.

*Dedico este trabalho de curso ao meu pai
Claudio Duarte Silva e minha mãe
Gioconda Berenice de Almeida Corrêa pelo carinho e amor
dedicado,
pois a cada degrau por mim
alcançado e em todas as minhas conquistas
estiveram sempre ao meu lado*

AGRADECIMENTOS

Para elaboração e apresentação deste trabalho várias pessoas me ajudaram e me apoiaram de forma incondicional, e agradecer é o mínimo que eu posso fazer para demonstrar minha gratidão.

Agradeço a todas as pessoas e entidades que contribuíram para que eu pudesse desenvolver e concluir este trabalho. E foram muitos os que, de alguma forma, direta ou indireta, deram essa contribuição.

Não posso furtar-me a registrar o meu agradecimento ao meu pai e também professor Claudio Duarte Silva, e aos professores Antônio Kieling e João Evangelista de engenharia mecânica, a Coordenação e aos meus colegas de curso, com os quais pude estabelecer uma convivência pessoal e intelectual ao longo de todo esse tempo.

Agradeço ainda a todas as pessoas que, na UEA, tornaram possível que eu pudesse fazer esse curso e realizar o meu trabalho de pesquisa.

Um agradecimento muito especial ao meu colega Keven Soares, que me cedeu todos os equipamentos de medição usados nesse trabalho.

Agradeço ainda aos meus familiares, obrigados a conviver com as tensões, incertezas, angústias, momentos de frustração e de desânimo, sucedendo-se ao longo de meses e meses de estudo, e, por certo, afetando-os de algum modo. A eles dedico a minha alegria por chegar ao fim deste percurso.

A todos estes (e a todos aqueles que, por falha minha, não foram mencionados) o meu muito obrigado.

“É melhor lançar-se à luta em busca do triunfo mesmo expondo-se ao insucesso, que formar fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito; E vivem nessa penumbra cinzenta sem conhecer nem vitória nem derrota”

(Franklin Roosevelt)

RESUMO

O elevado crescimento das cidades junto e a ausência de um projeto sério de ocupação urbana afeta diretamente o aquecimento global. Pode-se dizer que uma consequência desse fenômeno é o acréscimo da temperatura das cidades grandes, causada pela má seleção dos materiais usados na construção civil. Esse fenômeno pode ser chamado de ilha de calor e é corriqueiro nas grandes metrópoles.

Em áreas onde ocorre a ilha de calor, o uso de aparelhos condicionadores de ar é comum para garantir o conforto térmico de ambientes fechados devido a alta temperatura. Entretanto o consumo de energia elétrica somado a projetos de climatização inadequados prejudicam o usuário do aparelho.

Este trabalho tem por objetivo propor uma forma de otimizar projetos de sistemas de climatização usando materiais isolantes. No caso desta pesquisa, um tipo especial de tinta será utilizada para gerar essa otimização desejada, reduzindo a taxa de transferência de calor para um ambiente, e também o consumo de energia.

PALAVRAS- CHAVE: Otimizar, isolantes, tintas, transferência de calor

ABSTRACT

The high growth of cities along with the absence of a serious urban occupation project directly affects global warming. It can be said that a consequence of this phenomenon is the increase of the temperature of the big cities, caused by the poor selection of the materials used in the civil construction. This phenomenon can be called an island of heat and is commonplace in large metropolises.

In areas where the heat island occurs, the use of air conditioners is common to ensure the thermal comfort of indoor environments due to high temperature. However, the consumption of electric energy added to inadequate air conditioning projects is detrimental to the user of the appliance.

The objective of this work is to propose a way to optimize the design of air conditioning systems using insulating materials. In the case of this research, a special type of paint will be used to generate this desired optimization, reducing the heat transfer rate for an environment, as well as energy consumption.

PALAVRAS- CHAVE: Optimization, heat, transfer, air conditioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Mecanismos de Transferência de Calor.....	08
Figura 2 –	Transferência de calor por condução.....	09
Figura 3 –	Esquema de correntes de convecção.....	10
Figura 4 –	inerentes ao cálculo de carga térmica.....	14
Figura 5 –	Tipologia de algumas cargas térmicas.....	15
Figura 6 –	Interações térmicas do homem com o ambiente.....	15
Figura 7 –	Esquema do fluxo de calor por uma superfície composta.....	17
Figura 8 –	Espectro de radiação eletromagnética.....	22
Figura 9 –	Espectro da radiação solar.....	22
Figura 10 –	Comportamento da radiação solar.....	24
Figura 11 –	Esquema da distribuição da radiação solar em uma edificação.....	24
Figura 12 –	Temperaturas Máximas Médias.....	27
Figura 13 –	Temperaturas Mínimas Médias.....	27
Figura 14 –	Umidades relativas médias mensais ao longo dos últimos seis anos....	28
Figura 15 –	Radiação solar global média anual.....	29
Figura 16 –	Esquema de refletância especular e difusa.....	30
Figura 17 –	Refletância de superfícies limpas e sujas.....	32
Figura 18 –	Foto de câmera infravermelha do pigmento convencional e refletivo..	33
Figura 19 –	Perfil de temperatura ao longo de um dia (24h).....	34
Figura 20 –	Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa.....	37
Figura 21 –	Modelo de cobertura para testes. Cotas em metros.....	37
Figura 22 –	Telha de fibrocimento.....	37
Figura 23 –	Placa de madeira compensada.....	38

Figura 24 –	Parafuso de madeira.....	38
Figura 25 –	Modelos Reduzidos utilizados nos Ensaios.....	39
Figura 26 –	Sensor de temperatura LM35.....	40
Figura 27 –	Placa Arduino nano.....	40
Figura 28 –	Arduino utilizado para coleta de dados.....	42
Figura 29 –	Código usado parte 1.....	42
Figura 30 –	Código usado parte 2.....	43
Figura 31 –	PLX-DAQ em execução.....	44
Figura 32 –	Temperaturas da telha “nua”.....	48
Figura 33 –	Temperaturas da telha pintada somente do lado externo.....	48
Figura 34 –	Temperaturas da telha pintada dos dois lados.....	49
Figura 35 –	Telha de fibrocimento com 7 mm de espessura.....	49
Figura 36 –	Temperatura sob a telha não pintada.....	50
Figura 37 –	Temperatura sob a telha pintada.....	50
Figura 38 –	Telha de fibrocimento com 7 mm de espessura.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Valores típicos de coeficientes de transferência de calor.....	11
Tabela 2	–	Valores de emissividade.....	12
Tabela 3	–	Temperaturas médias máximas mensais.....	25
Tabela 4	–	Temperaturas médias mínimas mensais.....	26
Tabela 5	–	Umidades Relativas médias mensais.....	26
Tabela 6	–	Valores típicos de refletância.....	31
Tabela 7	–	Modelo de dados coletados.....	41
Tabela 8	–	Temperaturas médias da telha “nua”.....	45
Tabela 9	–	Temperaturas médias da telha pintada do lado externo.....	46
Tabela 10	–	Temperaturas médias da telha pintada dos dois lados.....	47
Tabela 11	–	Relatório de carga térmica do HAP46.....	54
Tabela 12	–	Carga térmica de cada telha.....	54
Tabela 13	–	Carga térmica total do escritório.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
HAP	Carrier - Hourly Analysis Program 4.61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESES	16
1.2 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO	17
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS	17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3.3 JUSTIFICATIVA.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 CONCEITOS PRIMÁRIOS DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO	19
2.1.1 TEMPERATURA DE BULBO SECO	19
2.1.2 TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO	19
2.1.3 UMIDADE ABSOLUTA.....	19
2.1.4 UMIDADE RELATIVA.....	19
2.2 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	19
2.2.1 CONDUÇÃO	20
2.2.2 CONVECÇÃO	21
2.2.3 RADIAÇÃO.....	22
2.2.4 EVAPORAÇÃO	24
2.2.5 CONDENSAÇÃO.....	25
2.3 CÁLCULOS DE CARGA TÉRMICA	25
2.3.1 CONFORTO TÉRMICO	26
2.3.2 PARÂMETROS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA	27
2.4 ROTEIRO DO CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA.....	27
2.4.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	28
2.4.2 CALOR SENSÍVEL DE CONDUÇÃO POR SUPERFÍCIES OPACAS EXTERNAS.....	29
2.4.3 CALOR SENSÍVEL DE INSOLAÇÃO ATRAVÉS DE VIDROS.....	29
2.4.4 CALOR SENSÍVEL DE INSOLAÇÃO SOBRE SUPERFÍCIES OPACAS.....	29
2.4.5 CALORES SENSÍVEIS E CALORES LATENTES PRODUZIDOS POR PESSOAS	30
2.4.6 CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE PRODUZIDOS POR EQUIPAMENTOS.....	30
2.4.7 CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE DE INFILTRAÇÃO DE AR.....	30
2.4.8 CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE DO AR DE HIGIENIZAÇÃO DO AMBIENTE...31	
2.4.9 TOTAIS DAS CARGAS SENSÍVEIS E LATENTES	31

2.4.10 SELEÇÃO DO SISTEMA CONDICIONADOR DE AR	32
2.5 RADIAÇÃO SOLAR.....	32
2.5.1 RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA DA REGIÃO NORTE DO BRASIL.....	36
2.5.2 OTIMIZAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO	40
2.6 REFLETÂNCIA	41
2.6.1 COMPORTAMENTO REFLETIVO DOS MATERIAIS	41
2.6.2 ASPECTOS QUE INTERFEREM NA REFLETÂNCIA DOS MATERIAIS	42
2.6.3 REFLETÂNCIA E DESEMPENHO TÉRMICO	44
2.7 TINTAS TERMO-REFLETORAS	44
2.7.1 IMPACTOS DO USO DE TINTAS TERMO-REFLETORAS	45
3. METODOLOGIA	46
3.1 MÉTODO.....	46
3.2 TÉCNICAS	47
3.3 PROCEDIMENTOS	47
4 COLETA DE DADOS	53
5 ANÁLISE DE DADOS.....	56
6 CONCLUSÃO	68
7 REFERÊNCIAS	69
8 ANEXOS.....	72

1 INTRODUÇÃO

O clima quente e úmido da região Amazônica faz com que o condicionamento térmico (climatização) seja indispensável para manter recintos fechados sob condições climáticas adequadas ao seu uso. Isso se deve à localização geográfica da Amazônia: - região equatorial, onde radiação solar, temperatura e umidade atmosférica elevada estão presentes quase o ano inteiro. Portanto, torna-se condição quase obrigatória o uso de condicionadores de ar em residências, prédios e indústrias.

A função dos sistemas de climatização é gerar condições climáticas ideais em recintos fechados, de acordo com as atividades neles desenvolvidas, a fim de garantir melhores condições para conforto humano ou para processo industrial. Para isso, os equipamentos de condicionamento de ar devem ser capazes de inserir ou retirar calor, umidificar ou desumidificar, renovar e purificar (filtrar) o ar dos ambientes. Dessa forma, os condicionadores de ar devem ser tecnicamente dimensionados e selecionados de acordo com as características internas requeridas pelos ambientes em função de peculiaridades das atividades desenvolvidas nesses locais.

O processo de seleção do condicionador de ar se inicia com o cálculo de carga térmica do ambiente a ser climatizado. Esse cálculo leva em consideração fatores climáticos externos ao ambiente, condições climáticas internas requeridas do ambiente, detalhes construtivos do recinto, características dos materiais empregados na construção e outras condições. No entanto, a carga térmica total pode se tornar muito elevada em função de uma construção predial inadequada, o que implicaria num condicionador de grande capacidade e conseqüentemente elevado consumo de energia elétrica.

Portanto, a otimização dos projetos de climatização deve ser uma preocupação prioritária do projetista / calculista.

O conhecimento do clima, aliado ao dos mecanismos de trocas de calor e do comportamento térmico dos materiais, permite uma consciente intervenção da arquitetura, incorporando os dados relativos ao meio ambiente externo de modo a aproveitar o que o clima apresenta de agradável e amenizar seus aspectos negativos (BARROS, 1987, p.16).

Sendo assim, a otimização em sistemas de refrigeração passa a ser um alvo de estudo muito relevante, tendo a utilização de isolantes térmicos como uma das formas mais simples de reduzir a carga térmica.

A partir das diversas opções de isolantes térmicos existentes, o projetista / calculista deve selecionar o que proporcione a maior redução de carga térmica. Assim, as tintas termo-refletoras ou termo-reflexivas se destacam como objeto de análise, pois proporcionam uma significativa redução da carga térmica decorrente da radiação solar em superfícies externas: telhados, paredes e pisos externos. Além de serem facilmente manipuladas.

Por fim, a utilização de tintas termo-refletoras como forma de redução de carga térmica será o alvo deste projeto. Serão realizadas simulações em condições reais de funcionamento de um ambiente sujeito a todas as cargas térmicas e por fim averiguar a viabilidade do uso desse isolante térmico para os fins de redução de carga térmica e de consumo de eletricidade.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESES

Os fatos mencionados implicam na necessidade de criteriosos projetos de climatização. Assim sendo, projetos realizados sob condições inadequadas implicarão em sistemas de climatização superdimensionados e, conseqüentemente, de elevado consumo de energia elétrica.

O aumento da temperatura e a necessidade de economia de energia nos últimos anos estimulam o desenvolvimento de novos produtos visando melhorar o conforto térmico das habitações. O desenvolvimento de produtos que se adaptem a essa nova condição, imposta pelo meio ambiente que vivemos é muito importante para diminuir o consumo de energia e os picos de demanda elétrica, devido ao uso de ar condicionado, além de melhorar o conforto térmico dos usuários das edificações (IKEMATSU, 2007, p.1).

Por isso, fala-se muito em otimização de projetos. Mediante uma correta seleção e manipulação de isolantes térmicos é possível reduzir a carga térmica de um determinado ambiente e, com isso, a capacidade da máquina instalada.

No âmbito da otimização de projetos de climatização é possível destacar a utilização de tintas termo-refletoras. Esse tipo de tinta tem a capacidade de refletir a radiação, fazendo com que a superfície pintada absorva menos calor. Pelo fato de serem tintas, são de fácil manipulação. Além disso, as marcas disponíveis no mercado prometem grandes reduções de temperatura de superfícies ensolaradas. O estudo poderá revelar se os resultados da aplicação dos revestimentos termo-reflexivos estão coerentes com as afirmações dos fabricantes.

1.2 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo proposto neste trabalho é estudar e analisar projetos de sistemas de refrigeração e ar condicionado no âmbito da otimização pelo uso de isolantes térmicos de elevada refletância. Mais especificamente, tintas termo-refletoras.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a eficácia das tintas termo-reflexivas como fator de redução de carga térmica sobre superfícies externas de edificações climatizadas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este estudo tem como objetivos específicos:

- Calcular as taxas de transferências de calor de sistemas de cobertura de telha convencional e telha-tinta com propriedades reflexivas.
- Analisar as taxas de transferência encontradas e avaliar a eficácia da tinta termo reflexiva como mecanismo reflexor de radiação (carga térmica).

1.3.3 JUSTIFICATIVA

O crescimento desordenado e exponencial das cidades reflete diretamente no agravamento do aquecimento global. Uma consequência desse fenômeno é a elevação da temperatura nas metrópoles, influenciada pelas propriedades radiantes dos materiais empregados na construção do espaço urbano. Estas propriedades estão relacionadas ao microclima da cidade, onde há a formação de áreas urbanas que apresentam alterações climáticas diferenciadas das áreas circunvizinhas. Nas áreas onde ocorre o microclima há o aumento do consumo de energia elétrica devido à necessidade do uso de condicionadores de ar. Portanto, a eficiência térmica do ambiente construído não é apenas questão de economia de energia, mas também de conforto e preservação do meio ambiente (ARMELIN; CHERRY, 2004 apud IKEMATSU, 2007. P1).

O que ocorre em grandes cidades é uma alta retenção de calor em determinadas zonas (microclima), fenômeno chamado de ilha de calor. Essa retenção anormal se dá por uma arquitetura urbana inadequada, marcada pela ausência de vegetação e uma má seleção de materiais utilizados na construção civil. Materiais como asfalto e concreto, característicos das

metrópoles, acumulam calor de forma excessiva devida suas baixas emissividades e refletâncias. Tudo isso é ainda mais agravado em Manaus devido a sua localização geográfica.

O incremento de áreas verdes dentro do perímetro urbano e a utilização de materiais de alta refletância são boas estratégias para reduzir a intensidade das ilhas de calor. Além disso, o aumento da vegetação urbana é uma medida ecologicamente correta e seria benéfica não só para a contenção dos efeitos do fenômeno citado, mas também uma redução da poluição do ar.

O aumento da temperatura nos últimos anos é um grande estímulo para a preocupação com o conforto térmico das habitações. Para a redução de carga térmica, ultimamente vem sendo muito explorado o uso de barreiras radiantes, principalmente em coberturas (pois é o componente mais exposto ao clima externo), para reduzir o fluxo de calor emitido pelo telhado durante os horários mais críticos do dia (LAMBERTS, 2003 ,p.3).

Como as coberturas dos ambientes são a principais portas de entrada de calor devido sua constante exposição à radiação solar, existe uma grande necessidade de usá-las como alvo de isolantes térmicos e materiais de alta refletância.

J.R.Simpson e E.G McPherson, em seu artigo “The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona”, fizeram um estudo sobre os efeitos da refletância aplicada às coberturas de residências em Tucson no estado do Arizona. No estudo foi analisado o comportamento de telhados submetidos a cargas de insolação. Concluiu-se que telhados pintados com tinta branca apresentavam temperatura 20°C menor que telhados sem pintura e também apresentavam temperatura 30°C menor que telhados de coloração escura. O estudo comprovou que o aumento da refletância do material provoca a redução da temperatura e do ganho de calor.

A tinta é um material de construção civil utilizado em várias situações devido as suas propriedades estéticas e protetoras. Aliar estas propriedades ao desempenho térmico de materiais de cobertura utilizados no Brasil, formando um sistema de cobertura telha-tinta seria benéfico, pois melhoraria o conforto térmico dos moradores (IKEMATSU, 2007, p.1).

Ainda segundo Ikematsu, tintas termo-reflexivas apresentam em sua composição um tipo de pigmentação que contém a propriedade de refletir mais radiação infravermelha, quando comparada com tintas convencionais. Dessa forma, esse tipo de tinta consegue refletir grande

parte dos raios infravermelhos, diminuindo a temperatura da superfície dos materiais e a transferência de calor entre o meio ambiente e a edificação.

Com o intuito de reduzir a carga térmica incidente através de telhados, este estudo irá analisar se a utilização de tintas termo-reflexivas, como forma de otimização de sistema de climatização residenciais em Manaus, é uma forma viável de reduzir a carga térmica incidente em residências.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Antes de iniciar o processo de cálculo de carga térmica e da análise de comportamento térmico de coberturas com tintas termo-reflexivas será introduzida uma base de conhecimentos em refrigeração e ar condicionado, termodinâmica e transferência de calor.

2.1 CONCEITOS PRIMÁRIOS DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO

2.1.1 TEMPERATURA DE BULBO SECO

Temperatura de bulbo seco é a temperatura medida utilizando um termômetro no qual o bulbo está exposto diretamente ao ar.

2.1.2 TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO

Temperatura de bulbo úmido é a temperatura medida utilizando um termômetro no qual o bulbo está envolto em uma gaze molhada.

2.1.3 UMIDADE ABSOLUTA

Umidade absoluta é a quantidade de vapor de água contida no ar.

2.1.4 UMIDADE RELATIVA

Umidade relativa é o percentual de vapor de água contido no ar em relação a um percentual máximo que está relacionado a uma determinada temperatura e pressão.

2.2 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Em física, transferência de calor é a transição de energia térmica de uma massa (corpo) mais quente para uma massa menos quente, obedecendo à segunda lei da termodinâmica:

O calor não pode fluir, de forma espontânea, de um corpo de temperatura menor, para outro corpo de temperatura mais alta.

Segundo Yunus A.Çengel e Afshin J. Ghajar o calor pode ser transferido de três diferentes modos: condução, convecção e radiação. Todos os modos de transferência de calor exigem a existência da diferença de temperatura e todos ocorrem da maior para a menor temperatura.

Há três mecanismos conhecidos de para transferência de calor: Condução, Convecção e Radiação.

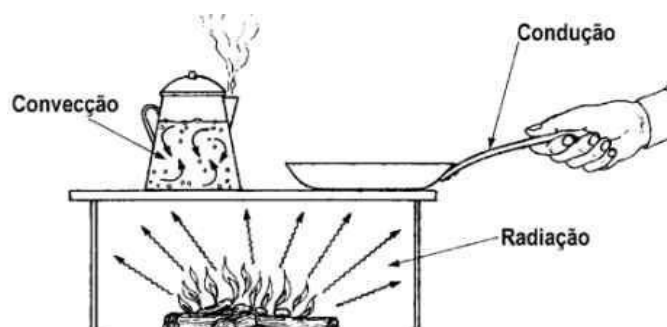


Figura 1 – Mecanismos de Transferência de Calor.

Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-9.html>

2.2.1 CONDUÇÃO

Condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas. A condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases (ÇENGEL A. Yunus & GHAJAR J. Afshin, 2012, p.17).

A taxa de condução de calor por um meio depende da geometria, da espessura, do tipo de material e da diferença de temperatura a que o meio está submetido. A taxa pode ser expressa por:

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{A \times k \times (T_1 - T_2)}{L} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde “A” é a área em m², “k” é a condutividade térmica (capacidade de o material conduzir calor) do material em W/m. K, T₁ é a maior temperatura em Kelvin, T₂ é a menor temperatura em Kelvin e L é a espessura do material em m.

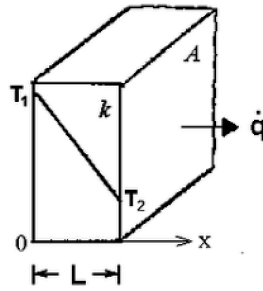


Figura 2 – Transferência de calor por condução

Fonte: <http://calidad-de-la-piezas.blogspot.com/2013/10/transferencia-de-calor-por-radiacion.html>

2.2.2 CONVECÇÃO

Convecção é o modo de transferência de energia entre a superfície sólida e a líquida ou gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e movimento de um fluido. Quanto mais rápido for o movimento de fluido, maior será a transferência de calor por convecção. Na ausência de qualquer movimento da massa de fluido, a transferência de calor entre a superfície sólida e o fluido adjacente se dá por pura condução. A presença de movimento da massa de fluido aumenta a transferência de calor entre eles, mas também dificulta a determinação das taxas de transferência de calor (ÇENGEL A. Yunus & GHAJAR J. Afshin, 2012, p.25).

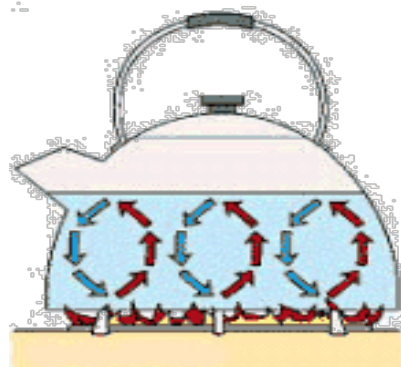


Figura 3 – Esquema de correntes de convecção

Fonte: <https://monicapanetta.wordpress.com/tag/transmissao-de-calor/>

Existem dois tipos de convecção: forçada ou natural.

A convecção forçada ocorre quando o fluido é forçado a fluir sobre a superfície por meios externos, como ventilador ou bomba. Enquanto a convecção natural ocorre quando o

movimento do fluido é causado por forças de flutuação induzidas por diferenças de densidade, decorrentes da variação da temperatura no fluido.

Segundo Çengel e Ghajar, os processos de transferência de calor que envolvem mudanças de fase de fluido são igualmente considerados convecção por conta do movimento de fluido induzido ao longo do processo.

A taxa de transferência de calor por convecção é diretamente proporcional à diferença de temperatura e é expressa pela Lei de Newton do Resfriamento:

$$\dot{Q}_{conv} = h \times A_s \times (T_s - T_\infty) \quad (\text{eq. 2})$$

Onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção em $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$, A_s é a área da superfície pela qual ocorre a transferência de calor em m^2 , T_s é a temperatura da superfície em Kelvin, T_∞ é a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície em Kelvin.

O coeficiente de transferência de calor h não é uma propriedade do fluido. Trata-se de um parâmetro determinado experimentalmente, cujo valor depende de todas as variáveis que influenciam a convecção, como a geometria da superfície natureza do movimento do fluido, propriedades do fluido e velocidade da massa de fluido (ÇENGEL A. Yunus & GHAJAR J. Afshin, 2012, p.26).

Valores típicos de “ h ” estão expostos na tabela 1.

Tabela 1 – Valores típicos de coeficientes de transferência de calor por convecção segundo Çengel e Ghajar.

Tipo de convecção	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$
Convecção livre de gases	2-25
Convecção livre de líquidos	10-1000
Convecção forçada de gases	25-250
Convecção forçada de líquidos	50-20000
Ebulição e condensação	2500-100000

Fonte: Transferência de Calor e Massa de Çengel e Ghajar (2012)

2.2.3 RADIAÇÃO

A radiação, no contexto da transmissão de calor, consiste no transporte de energia por meio de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo à velocidade da luz e, assim, a radiação, ao contrário da condução e da convecção, não necessita de um

meio material para que a transferência de energia se efetue. Como exemplo, uma pequena parte da energia emitida pelo Sol é transferida por radiação para a Terra, depois de percorrer cerca de 150 milhões de km de espaço vazio. A radiação térmica corresponde à radiação eletromagnética emitida por um corpo como resultado da sua temperatura (OLIVEIRA, P.J 2014, p.1).

Segundo Çengel e Ghajar a taxa máxima de radiação que pode ser emitida de uma superfície na temperatura termodinâmica T_s (em kelvin) é dada pela lei de Stefan-Boltzmann da radiação térmica, que é dada por:

$$\dot{Q}_{emit,máx} = \sigma \times A_s \times T_s^4 \quad (\text{eq. 3})$$

Onde “ $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$ ” é a constante de Stefan-Boltzmann. A superfície capaz de emitir essa máxima taxa de radiação é chamada de corpo negro, e sua radiação é chamada de radiação de corpo negro.

As taxas de radiação emitidas por todas as superfícies reais são menores que as emitidas por um corpo negro. Essas taxas são expressas por:

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_s^4 \quad (\text{eq. 4})$$

Onde ε é a emissividade da superfície. Emissividade de um material diz respeito à capacidade de emissão de energia por radiação da sua superfície. Possuem a capacidade de emitir energia eletromagnética, todos os corpos com temperatura superior a zero Kelvin. Essa taxa de emissão é calculada através da razão entre a energia irradiada por um determinado material e a energia irradiada por um corpo negro para um mesmo comprimento de onda ($\varepsilon=1$). Qualquer objeto que não seja um verdadeiro corpo negro tem emissividade menor que um e superior à zero.

Tabela 2 – Valores de emissividade.

Material	Emissividade
Alumínio em folhas	0,07
Cobre polido	0,03
Ouro polido	0,03
Prata polida	0,02
Pele humana	0,95
Água	0,96
Vegetação	0,92 – 0,96

Fonte: Transferência de Calor e Massa de Çengel e Ghajar (2012)

Outra propriedade relevante da radiação é a absorvidade, que é expressa por α . Essa propriedade expõe um valor entre 0 e 1 o qual descreve a capacidade que um corpo tem de absorver a radiação incidente. Um corpo negro é um absorvedor perfeito, portanto $\alpha = 1$.

A absorvidade e a emissividade de uma superfície dependem da temperatura e do comprimento de onda da radiação. Tanto α como ε de uma mesma superfície a uma mesma temperatura e comprimento de onda são iguais, segundo a lei de Kirchoff do estado da radiação.

Em uma superfície, a taxa de absorção de radiação é determinada a partir da seguinte equação:

$$\dot{Q}_{abs} = \alpha \times \dot{Q}_{inc} \quad (\text{eq. 5})$$

Onde \dot{Q}_{inc} é a taxa de radiação incidente na superfície e α é a absorvidade.

O resultado da diferença entre a taxa de transferência de calor por absorção e por emissão representa o fluxo de energia de radiação através do corpo. Se a taxa de absorção é maior que a taxa de emissão, o corpo está ganhando energia por radiação. Caso contrário, o corpo está perdendo energia por radiação.

A taxa de transferência de calor por radiação entre duas superfícies, sendo uma superfície dotada de emissividade ε e área superficial A_s a uma temperatura T_s que está delimitada por outra superfície maior a uma temperatura T_{eir} , é dada pela seguinte equação.

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{eir}^4) \quad (\text{eq. 6})$$

Anésia Barros, em seu livro Manual do Conforto Térmica, define os mecanismos de troca de calor citados anteriormente como trocas térmicas secas (sensíveis), pois elas tratam apenas da variação de temperatura. Em contrapartida, a autora também define como trocas térmicas úmidas (latentes) aquelas que envolvam mudanças no estado físico da água. Os mecanismos de trocas térmicas úmidas são a condensação e a evaporação.

2.2.4 EVAPORAÇÃO

Evaporação é troca térmica úmida proveniente da mudança do estado líquido para o estado gasoso. Para ser evaporada, passando para o estado de vapor, a água necessita de certo dispêndio de energia.

A velocidade de evaporação é função do estado higrométrico do ar e de sua velocidade. A uma determinada temperatura, o ar tem capacidade de conter

apenas certa quantidade de vapor d'água, inferior ou igual a um máximo denominado peso do vapor saturante. Portanto, o grau higrométrico é a relação entre o peso de vapor d'água contido no ar, a uma certa temperatura, e o peso de vapor saturante do ar à mesma temperatura. (BARROS, 1987, p.36).

2.2.5 CONDENSAÇÃO

Condensação: troca térmica úmida decorrente da mudança do estado gasoso do vapor d'água contido no ar para o estado líquido. Quando o grau higrométrico do ar se eleva a 100%, a temperatura em que ele se encontra é denominada ponto de orvalho e, a partir daí, o excesso de vapor d'água contido no ar se condensa — passa para o estado líquido. A condensação é acompanhada de um dispêndio de energia. A condensação de um litro d'água dissipa cerca de 700 J (BARROS, 1987, p.36).

2.3 CÁLCULOS DE CARGA TÉRMICA

Carga térmica é a denominação do conjunto de efeitos que, atuando no ar de um determinado recinto, elevam a sua temperatura e umidade – caso do verão; ou as reduzem - caso do inverno. A carga térmica então deverá ser “combatida” por meios artificiais ou naturais, de forma a garantir o conforto dos habitantes desse recinto (CRUZ, Ricardo,2005,p.1).

Construções prediais inadequadas podem provocar o sub ou o sobre-dimensionamento do sistema de refrigeração de um determinado recinto. Portanto, é necessário ter conhecimento da natureza da carga térmica.

A figura a seguir expõe fatores que influenciam diretamente no cálculo de carga térmica.

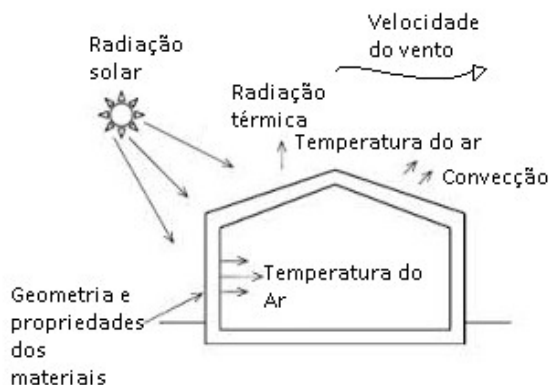


Figura 4 – Fatores inerentes ao cálculo de carga térmica.

Fonte: Notas de aula do professor Ricardo Cruz

Os agentes que compõem a carga térmica são:

- Condução por diferença de temperatura com o ar externo ao ambiente seja externo ou de algum recinto adjacente.
- Insolação através de vidraças, que aquecem o interior do ambiente de forma indireta ao aquecer as paredes.
- Infiltração de ar por portas e janelas.
- Quantidade de pessoas no recinto e que atividades elas desenvolvem.
- Fontes de calor provenientes de algum equipamento ou processo.

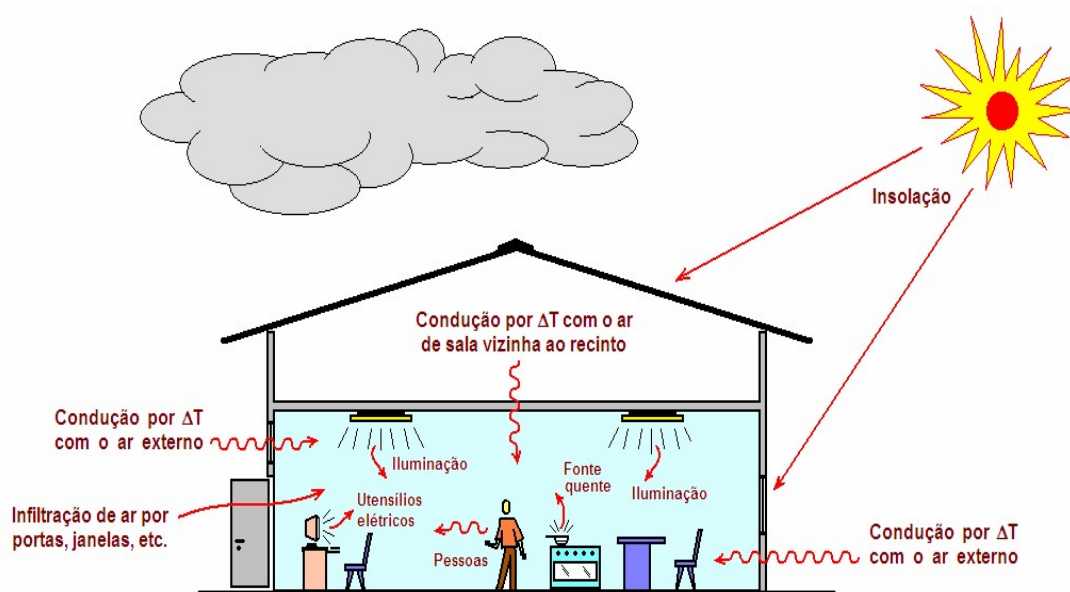


Figura 5 – Tipologia de algumas cargas térmicas.

Fonte : Notas de aula do professor Ricardo Cruz

2.3.1 CONFORTO TÉRMICO

O cálculo de carga térmica tem como objetivo prover o conforto térmico. Esse conceito é tido como uma indiferença em relação ao clima de um determinado ambiente, nem quente nem frio. Além disso, também é afetado pelas interações térmica expostas na figura abaixo.

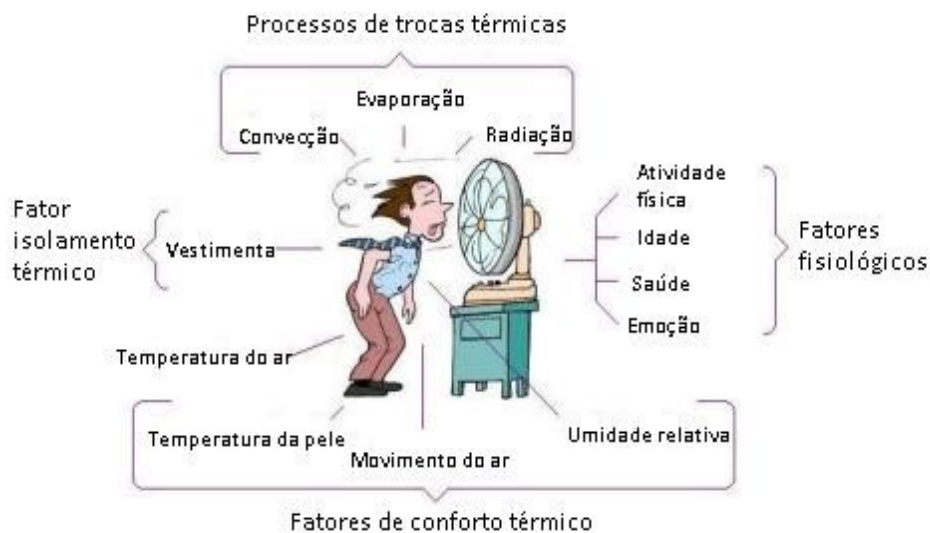


Figura 6 – Interações térmicas do homem com o ambiente

Fonte : Notas de aula do professor Ricardo Cruz

2.3.2 PARÂMETROS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Segundo o professor Ricardo Wilson (2005), para a realização do cálculo de carga térmica é necessário uma série de parâmetros de cálculo conforme a lista abaixo:

- Data de realização do cálculo (dd/mm/AA).
- Condições de cálculo: Cidade do prédio objetivado, latitude da cidade, estação do ano de cálculo, temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar externo, temperatura de bulbo seco e bulbo úmido do ambiente interno, umidades relativas e absolutas do ambiente interno e do ambiente externo.
- Orientações geográficas de todas as paredes externas do prédio.
- Apuração de dimensões e composição de paredes externas e internas, áreas de vidraças, pisos, tetos e telhados.
- Determinação dos coeficientes de condutividade térmica de todos os fechamentos.
- Levantamento do modo de uso social de cada dependência do prédio, na hora de cálculo considerada.
- Levantamento de todos os aparelhos, máquinas e equipamentos dispostos em cada dependência do prédio, bem como suas potências térmicas e/ou elétricas.
- Levantamento do sistema de iluminação de cada sala.

2.4 ROTEIRO DO CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

O processo de cálculo de carga térmica é feito calculando as taxas de transferência de calor do ambiente por cada elemento construtivo, seguindo o roteiro a abaixo.

2.4.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O coeficiente U_g é composto de três parcelas relativas à transmissão do calor: radiação e convecção pela face externa da parede (R+CV)e, condução pelo núcleo da parede (CD) e radiação e convecção face interna da parede (R+CV)i. O mecanismo R e CV são considerados fluindo em paralelo; mas a sequência (R+CV)e + CD + (R+CV)i funciona em série e transversalmente à parede, do ponto de vista da trajetória do fluxo de calor.

Geralmente os valores para esse coeficiente são retirados da norma ABNT NBR 15220-3: 2005 de Desempenho térmico de edificações. A norma expõe uma vasta quantidade de coeficientes globais para diversos materiais e arranjos, mas quando não é possível encontrar um valor para um determinado material é necessário fazer o seu cálculo.

A expressão abaixo fornece a relação entre estas três ações.

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \sum_{c=1}^z \frac{e_c}{k_c} + \frac{1}{h_{int}}} \quad (\text{eq.7})$$

$$h_{int} = 1,77 \times (T_{Sup} - T_{Int})^{0,25} + E \times \sigma \times \left(\frac{T_{Sup}^4 - T_{Int}^4}{T_{Sup} - T_{Int}} \right) \quad (\text{eq.8})$$

$$h_{ext} = 10 + 4,1 \times \overline{V_{vento}} \quad (\text{eq.9})$$

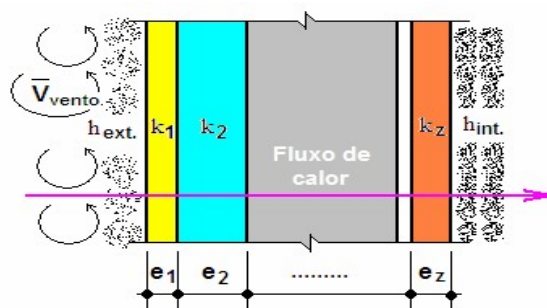


Figura 7 – Esquema do fluxo de calor por uma superfície composta

Fonte: Notas de aula do professor Ricardo Cruz (2005)

Onde U_g é o coeficiente de condutividade térmica global, h_{int} e h_{ext} são, respectivamente, os coeficientes de película do ar local, e_c é a espessura da camada, k_c é a condutância do material. E é a emitância, $\sigma = 5,7 \times 10^{-8}$ watt/m².K é a constante de Stefan-Boltzmann, T_{Sup} é a temperatura da superfície interna do fechamento, T_{Int} é a temperatura do ar no interior do ambiente, e V_{vento} é a velocidade de média do vento no exterior.

2.4.2 CALOR SENSÍVEL DE CONDUÇÃO POR SUPERFÍCIES OPACAS EXTERNAS

Superfícies opacas externas não ensolaradas contribuem para a transmissão de calor para um ambiente segundo a equação:

$$Q_{cond.sup.i} = A_{sup.i} \times U_{g.i} \times (T_{BS,ext} - T_{BS,int}) \quad (eq.10)$$

Onde: $Q_{cond.sup.i}$ é a carga sensível de cada superfície opaca em watt (parede, laje de teto ou de piso), $A_{sup.i}$ é a área externa de cada superfície em m², $U_{g.i}$ é a condutividade térmica global de cada superfície em kW/m².C e $T_{BS,ext}$ e $T_{BS,int}$ são respectivamente as temperaturas de bulbo seco externa e interna em °C segundo os padrões selecionados.

2.4.3 CALOR SENSÍVEL DE INSOLAÇÃO ATRAVÉS DE VIDROS

A presença de vidros na construção contribui da seguinte forma para o cálculo da carga térmica.

$$Q_{ins.vidr.j} = f_{v,j} \times f_{r,j} A_{vidr.j} I_j \quad (eq.11)$$

Onde, para cada vidraça: $Q_{ins.vidr.j}$ é a carga incidente em kW, $A_{vidr.j}$ é a área em m², $f_{v,j}$ é o fator de vedação, $f_{r,j}$ é o fator de retardo de aquecimento e I_j é a taxa de insolação total em kW/m² sobre o plano da vidraça, em função da latitude local e da hora solar do dia.

2.4.4 CALOR SENSÍVEL DE INSOLAÇÃO SOBRE SUPERFÍCIES OPACAS

A carga térmica devido às paredes externas ensolaradas se dá por:

$$Q_{ins.sup.i} = A_{sup.i} \times U_{g.i} \times \Delta T_{eq.i} \quad (eq. 12)$$

Onde, para cada superfície $Q_{ins.sup.i}$ é a carga de insolação em kW, $A_{sup.i}$ é a área da superfície em m^2 , $U_{g,i}$ é a condutividade térmica global de cada superfície em $kW/m^2.C$, $\Delta T_{eq,i}$ é a diferença de temperatura sol-ar equivalente.

2.4.5 CALORES SENSÍVEIS E CALORES LATENTES PRODUZIDOS POR PESSOAS

A carga térmica devido ao calor sensível e calor latente produzidos por pessoas se dá por:

$$\dot{Q}_{S,pess} = NP \times \tau_s \quad (\text{eq. 13})$$

$$\dot{Q}_{L,pess} = NP \times \tau_L \quad (\text{eq. 14})$$

Onde: $\dot{Q}_{S,pess}$ e $\dot{Q}_{L,pess}$, são, respectivamente, a carga de calor sensível emitida por pessoas, e a carga de calor latente emitida por pessoas ambas em kW, e τ_s e τ_L , são, respectivamente, a taxa de emissão de calor sensível e a taxa de emissão de calor latente das pessoas, ambas em kW/pessoa, que dependem da atividade física e da temperatura ambiente .

2.4.6 CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE PRODUZIDOS POR EQUIPAMENTOS

A carga térmica produzida por equipamentos é dada por:

$$\dot{Q}_{S,equip} = NE \times t_s \quad (\text{eq. 15})$$

$$\dot{Q}_{L,equip} = NE \times t_L \quad (\text{eq. 16})$$

Onde: $\dot{Q}_{S,equip}$ e $\dot{Q}_{L,equip}$ são, respectivamente, a carga de calor sensível emitida e a carga de calor latente emitida em kW, t_s e t_L são, respectivamente, a taxa de emissão de calor sensível e a taxa de emissão de calor latente em kW por equipamento.

2.4.7 CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE DE INFILTRAÇÃO DE AR

A carga térmica devido ao ar de infiltração é calculada por:

$$\dot{Q}_{S,inf.m} = 3175 \times 10^{-7} \times V_{inf.m} \times (T_{BS,ext} - T_{BS,int}) \quad (\text{eq.17})$$

$$Q_{L.inf.m} = 0,7594 \times V_{inf.m} \times (w_{ext} - w_{int}) \quad (\text{eq. 18})$$

Em que a vazão de infiltração $V_{inf.m}$ pode ser calculada por:

$$V_{inf.m} = L_{fresta} \times f_f \quad (\text{eq.19})$$

Onde $V_{inf.m}$ é a vazão de infiltração em m^3/h , $T_{BS,ext}$ é a temperatura de bulbo seco em graus Celsius, $T_{BS,int}$ é a temperatura de bulbo seco em graus Celsius, w_{ext} e w_{int} são respectivamente as umidades absolutas do ar exterior e interior, L_{fresta} é o comprimento de todas as frestas e f_f é o fator de infiltração por fresta.

2.4.8 CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE DO AR DE HIGIENIZAÇÃO DO AMBIENTE

A carga térmica devido ao ar de higienização do ambiente é calculada pelas equações a seguir.

$$Q_{S.hig.n} = 3175 \times 10^{-7} \times V_{hig.n} \times (T_{BS,ext} - T_{BS,int}) \quad (\text{eq.20})$$

$$Q_{L.hig.n} = 0,7594 \times V_{hig.n} \times (w_{ext} - w_{int}) \quad (\text{eq.21})$$

Em que a vazão de higienização $V_{hig.n}$ pode ser calculada por:

$$V_{hig.n} = NP \times \varepsilon_{hig.n} \quad (\text{eq. 22})$$

Onde $V_{hig.n}$ é a vazão de higienização, $Q_{S.hig.n}$ e $Q_{L.hig.n}$ são respectivamente, a carga de calor sensível e latente em W, e $\varepsilon_{hig.n}$ é o fator de higienização em m^3/h . pessoa.

2.4.9 TOTAIS DAS CARGAS SENSÍVEIS E LATENTES

Os totais das cargas sensíveis e latentes são dados pelo somatório das parcelas expostas anteriormente. Assim:

$$\dot{Q}_S = Q_{cond.sup.i} + Q_{ins.vidr.j} + Q_{ins.sup.i} + Q_{S,pess} + \dot{Q}_{S,equip} + Q_{S.inf.m} + Q_{S.hig.n} \quad (\text{eq. 23})$$

$$\dot{Q}_L = Q_{L,pess} + \dot{Q}_{L,equip} + Q_{L,inf.m} + Q_{L,hig.n} \quad (\text{eq.24})$$

A carga térmica total do ambiente é a soma das cargas sensíveis totais com as cargas latentes totais.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L \quad (\text{eq. 25})$$

Sobre a carga térmica total geralmente é feito um acréscimo de dez a quinze por cento do valor calculado. Essa correção funciona como um coeficiente de segurança para evitar que o sistema fique sub-dimensionado em condições adversas. Portanto, temos que a carga térmica total é:

$$\dot{Q}'_{total} = \dot{Q}_{total} \times 1,15 \quad (\text{eq. 26})$$

2.4.10 SELEÇÃO DO SISTEMA CONDICIONADOR DE AR

Após ter calculado a carga térmica do ambiente é possível selecionar o condicionador de ar adequado para o recinto. A seleção é feita escolhendo o condicionador de ar cuja capacidade de resfriamento é imediatamente superior à carga térmica encontrada. Uma vez que as capacidades frigoríficas desses aparelhos são “tabeladas”, ocorrerá um eventual sobre-dimensionamento do sistema de refrigeração.

2.5 RADIAÇÃO SOLAR

Analisar a radiação solar é um dos pontos mais importantes no que diz respeito ao desempenho térmico de edificações porque a transferência de calor entre o recinto e o meio ambiente varia de acordo com as características das superfícies atingidas pela radiação.

A troca de energia entre a Terra e o sol ocorre por radiação eletromagnética, portanto o planeta Terra e a atmosfera absorvem radiação solar e a emitem para o espaço. Estas taxas de absorção e emissão são quase equivalentes, de modo que o sistema está muito próximo do equilíbrio radiativo. O espectro da radiação eletromagnética engloba a luz visível, os raios gama, as ondas de rádio, as microondas, os raios x, ultravioleta e infravermelho. Estas classificações indicam áreas do espectro divididas com fins didáticos e práticos, pois o espectro é contínuo e não há diferenças abruptas entre as formas de radiação; já que todas são basicamente o mesmo fenômeno físico (LUTGENS; TARBUCK, 1989, apud IKEMATSU, 2007. P6).

Na figura a seguir será apresentado o espectro eletromagnético, onde é possível ver os diversos comprimentos de onda.

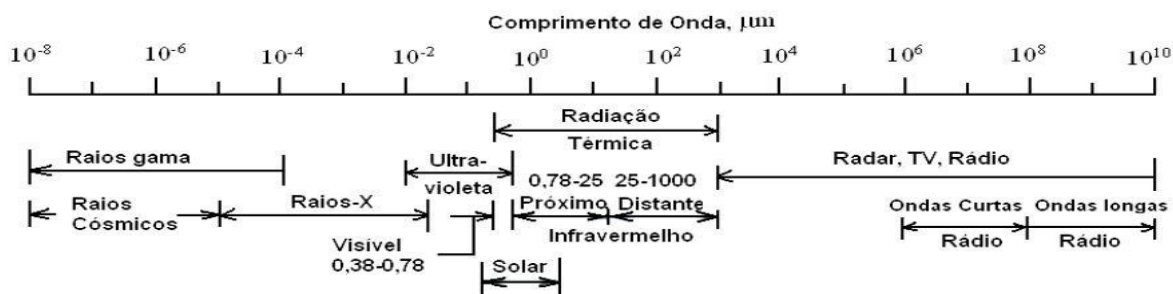


Figura 8 – Espectro de radiação eletromagnética.

Fonte: Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes (2007).

A figura a seguir apresenta o espectro da radiação solar, onde são observados os intervalos de onda para cada região do espectro. Os intervalos determinados pelos comprimentos de ondas apresentam energias distintas e afetam o material de diferentes formas.

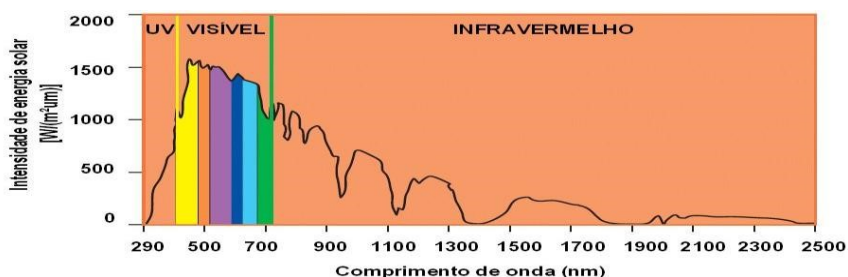


Figura 9 – Espectro da radiação solar.

Fonte: Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes (2007).

- Região Ultravioleta (UV): corresponde ao intervalo de comprimento de onda entre 290 e 380 nm. Representa cerca de 6% do espectro solar e é a principal causa da deterioração dos materiais orgânicos devido ao efeito fotoquímico que a radiação UV provoca dentro da estrutura do polímero.
- Região Visível (VI): corresponde aos intervalos de comprimentos de onda entre 381 e 780 nm. Representa cerca de 46% de todo o espectro solar, determinando as cores dos objetos. Verifica-se que os diferentes comprimentos de onda (diferentes cores) produzem diversas sensações de luminosidade.
- Região do Infravermelho (IV): corresponde cerca de 43% do espectro solar e o seu intervalo de comprimento de onda está contida entre 781 nm até

aproximadamente 2500 nm. Essa região é responsável pelas trocas de energia térmica entre os corpos. Essa radiação não é visível ao olho humano, sendo uma “fonte de calor” que interfere nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor.

Segundo Carbinatti, quando a luz (onda eletromagnética) atinge um objeto, quatro coisas podem acontecer:

- As ondas podem ser refletidas ou espalhadas para fora do objeto.
- As ondas podem ser absorvidas pelo objeto.
- As ondas podem ser refratadas através do objeto.
- As ondas podem passar através do objeto sem efeitos.

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa. Para além das duas componentes atrás referidas, se a superfície receptora estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente circundante (nuvens, solo, vegetação, obstáculos, terreno). Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Essas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica atravessada (CARBINATTI, 2009, P7)

A figura 8 mostra o comportamento da Radiação solar ao entrar na atmosfera.

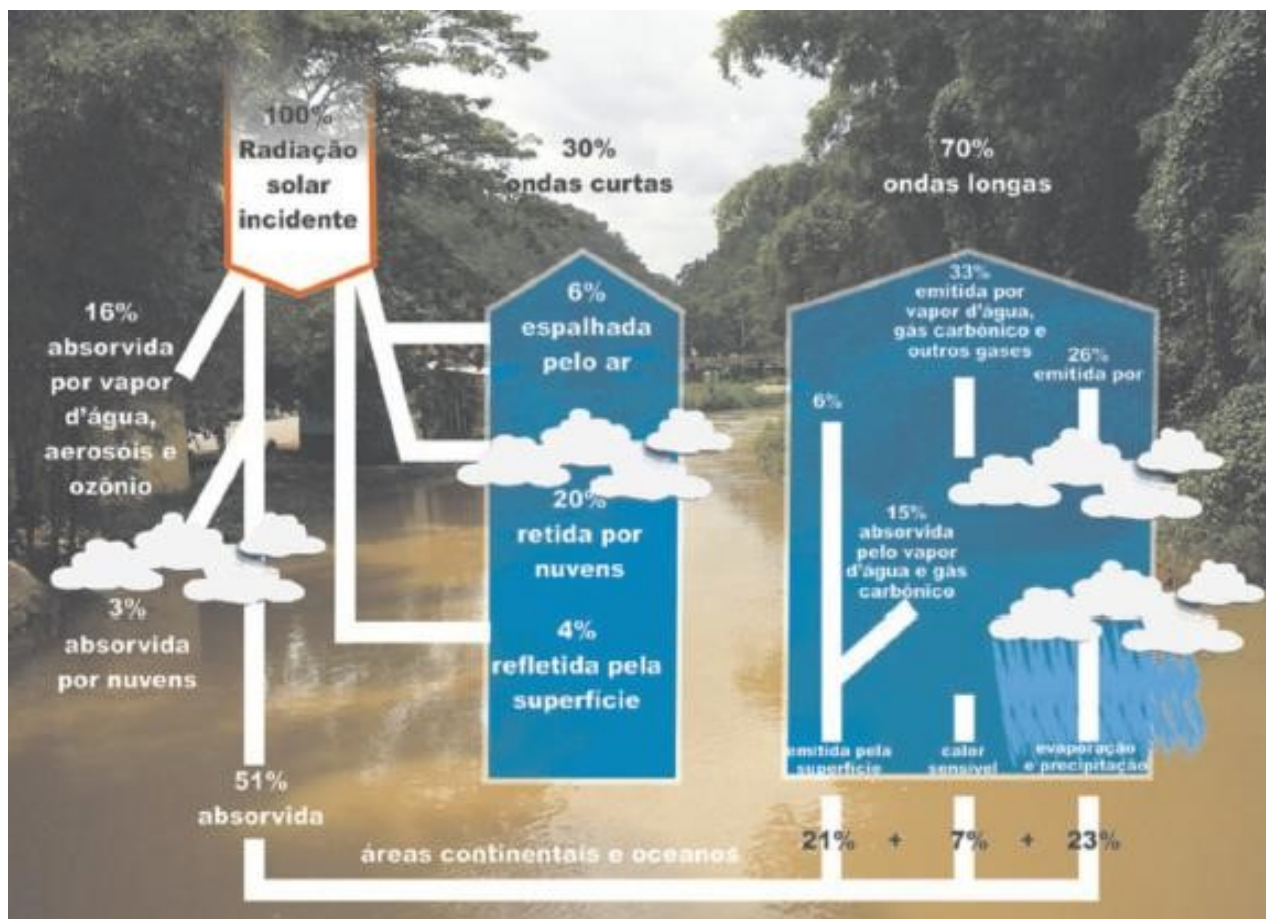


Figura 10 – Comportamento da radiação solar.

Fonte: Suplemento Técnico – Ambiente Térmica: Solução para Excesso de Calor – Revista Brasileira de Ciência Avícola (2009).

- Cerca de 19% da radiação é perdida por absorção pelas moléculas de oxigênio e ozônio da radiação ultravioleta na estratosfera.
- Cerca de 6% da radiação é perdida por difusão da luz solar de menor comprimento de onda – azuis e violetas.
- Cerca de 24 % da radiação é perdida por reflexão – 20% nas nuvens e 4% na superfície.
- Cerca de 51% é absorvida pela superfície.

A radiação direta é a recebida “diretamente” do sol pelos componentes construtivos, com exceção da radiação que é espalhada, absorvida ou refletida por componentes atmosféricos. A parcela da radiação solar que é espalhada pelos componentes atmosféricos é chamada de radiação difusa.

A figura 9 expõe a distribuição da radiação solar em uma construção e como ela influencia diretamente os componentes construtivos.



Figura 11 – Esquema da distribuição da radiação solar em uma edificação.

Fonte: Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes (2007).

2.5.1 RADIAÇÃO SOLAR E CLIMATOLOGIA DA REGIÃO NORTE DO BRASIL

O clima ao redor das construções é determinado por vários fatores climáticos como a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade dos ventos. Esses parâmetros influenciam diretamente na transferência de calor que ocorre entre a habitação e o meio ambiente através das paredes, telhados, portas e janelas. Internamente o ganho de calor reflete nos usuários, podendo causar um desconforto térmico no verão e levando ao um consumo maior de energia, devido ao uso constante de ar condicionado (SIMPSON; MCPHERSON, 1997).

Segundo H. S Armelin e N. Cherry, no artigo “Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação térmica na construção civil”, a radiação térmica é responsável por 89 % do calor que entra num recinto. Dessa forma, estudar o comportamento da radiação solar perante os diversos projetos de climatização é um ponto chave no que diz respeito ao conforto térmico.

O mapa que será apresentado na figura 13, extraído do “Atlas Brasileiro de energia solar”, mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro. Apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país.

Em Manaus, o estudo da radiação deve ser tratado de forma especial por conta da localização geográfica, que proporciona altas taxas de irradiação solar além do clima úmido que juntos tornam a região inconvenientemente quente.

As tabelas a seguir contêm os valores médios mensais para as máximas temperaturas, mínimas temperaturas e umidades relativas ao longo dos últimos seis anos. Além disso, esses dados serão expostos em forma de gráficos para uma interpretação mais clara da climatologia manauara ao longo dos anos.

Tabela 3 – Temperaturas médias máximas mensais.

Temperatura Máxima Média (°C)						
Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Janeiro	30,87	31,11	32,33	31,88	31,58	33,55
Fevereiro	30,81	30,69	31,18	31,05	32,19	25,38
Março	31,16	30,89	31,29	31,16	31,85	25,45
Abril	30,99	31,62	31,91	31,96	32,02	32,26
Mai	31,34	31,98	31,93	31,49	31,96	32,46
Junho	32,67	32,54	33,06	32,34	32,70	32,71
Julho	33,33	32,51	32,18	32,47	33,43	33,44
Agosto	34,80	34,05	33,15	34,00	35,42	34,45
Setembro	34,47	34,55	33,91	35,95	37,11	33,50
Outubro	33,60	34,39	34,29	33,11	36,05	34,50
Novembro	32,81	34,12	32,41	32,97	34,79	33,89
Dezembro	32,68	31,64	33,25	32,85	33,95	31,39

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017).

Tabela 4 – Temperaturas médias mínimas mensais.

Temperatura Mínima Média (°C)						
Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Janeiro	23,55	23,89	24,82	25,00	24,65	26,72
Fevereiro	23,31	23,91	24,13	24,23	25,08	25,00
Março	23,97	23,93	24,48	24,40	24,56	24,00
Abril	23,68	24,62	24,88	24,88	24,90	25,30
Mai	24,67	24,65	24,56	24,85	24,95	25,81
Junho	24,91	24,77	25,48	25,18	25,28	24,99
Julho	24,94	24,50	24,25	24,66	25,20	25,14
Agosto	25,27	25,11	24,97	25,33	26,22	25,66
Setembro	24,88	25,11	25,38	26,25	27,54	25,56
Outubro	24,96	25,59	25,62	24,74	27,22	26,37
Novembro	24,78	25,79	24,45	25,68	26,36	25,90
Dezembro	24,74	24,41	25,53	25,74	26,46	24,78

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017).

Tabela 5 – Umidades Relativas médias mensais.

Umidade Relativa Média Mensal (%)						
Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Janeiro	84,61	85,20	83,52	80,27	82,61	71,40
Fevereiro	84,98	86,31	85,96	85,79	79,95	77,15
Março	84,14	83,62	86,83	85,03	85,07	79,95
Abril	84,43	82,04	83,09	82,92	82,27	81,59
Maiο	82,60	79,16	83,27	83,51	83,45	79,15
Junho	75,98	75,17	75,46	78,70	77,40	75,05
Julho	68,32	76,03	76,59	76,43	74,28	68,75
Agosto	64,74	70,62	73,21	70,62	69,26	66,05
Setembro	69,91	72,23	73,10	63,41	64,01	74,08
Outubro	85,57	72,53	71,43	77,08	62,65	70,18
Novembro	78,23	74,94	82,77	77,15	68,31	71,78
Dezembro	79,34	81,48	76,79	80,27	72,89	83,76

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017).

Os dados das tabelas acima estão representados nos gráficos abaixo para uma melhor visualização e interpretação do que ocorre com o clima amazônico ao longo do ano.

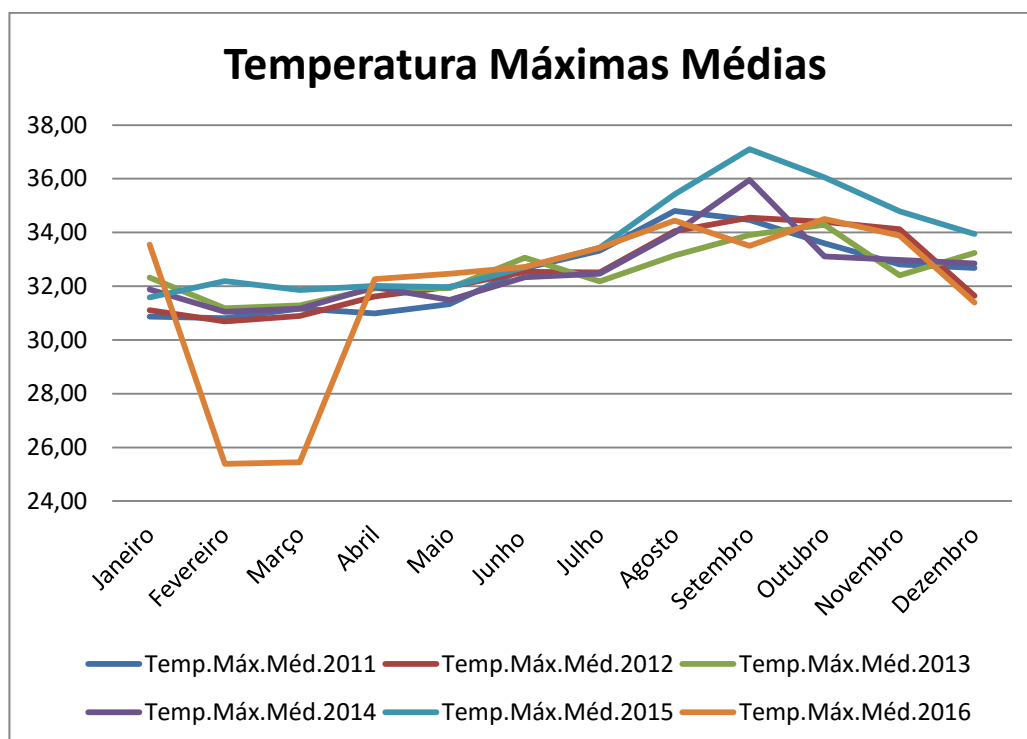


Figura 12 – Temperaturas Máximas Médias.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017).

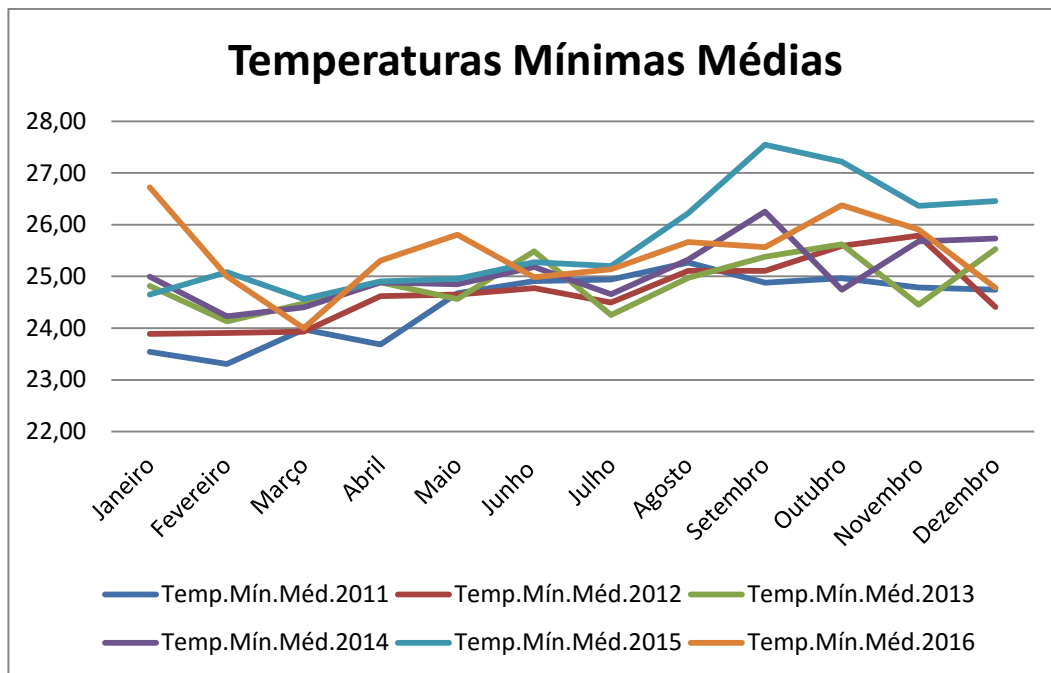


Figura 13 – Temperaturas Mínimas Médias.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017).

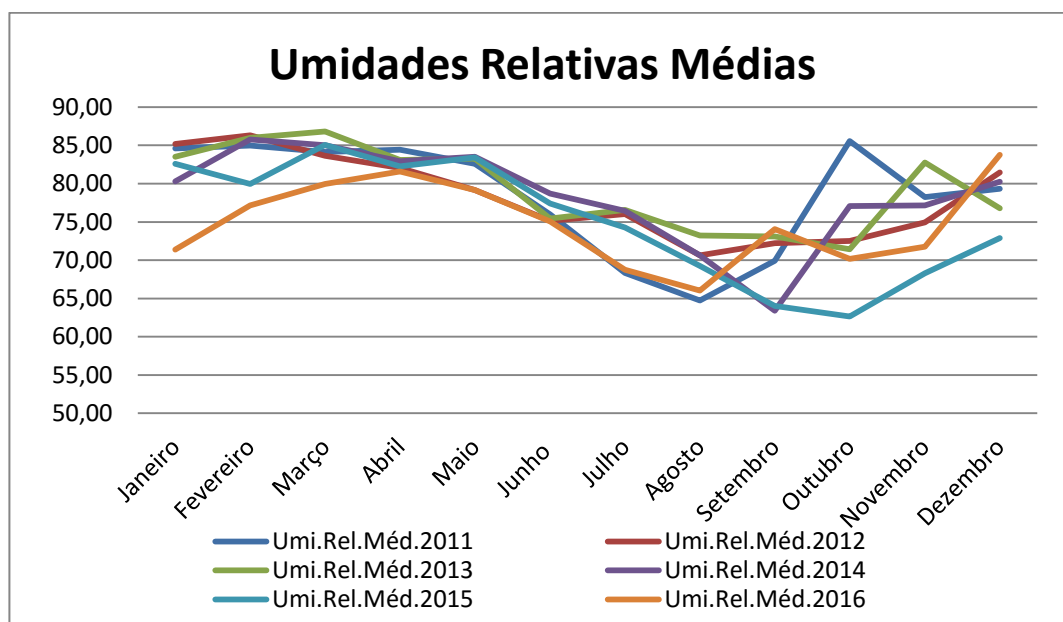


Figura 14 – Umidades relativas médias mensais ao longo dos últimos seis anos.

Os gráficos mostram o perfil de temperatura amazônica ao longo do ano. Observa-se que de julho a setembro a temperatura tende a aumentar e no mesmo período a umidade relativa tende a diminuir. Enquanto que de setembro até dezembro ocorre o contrário.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2017).

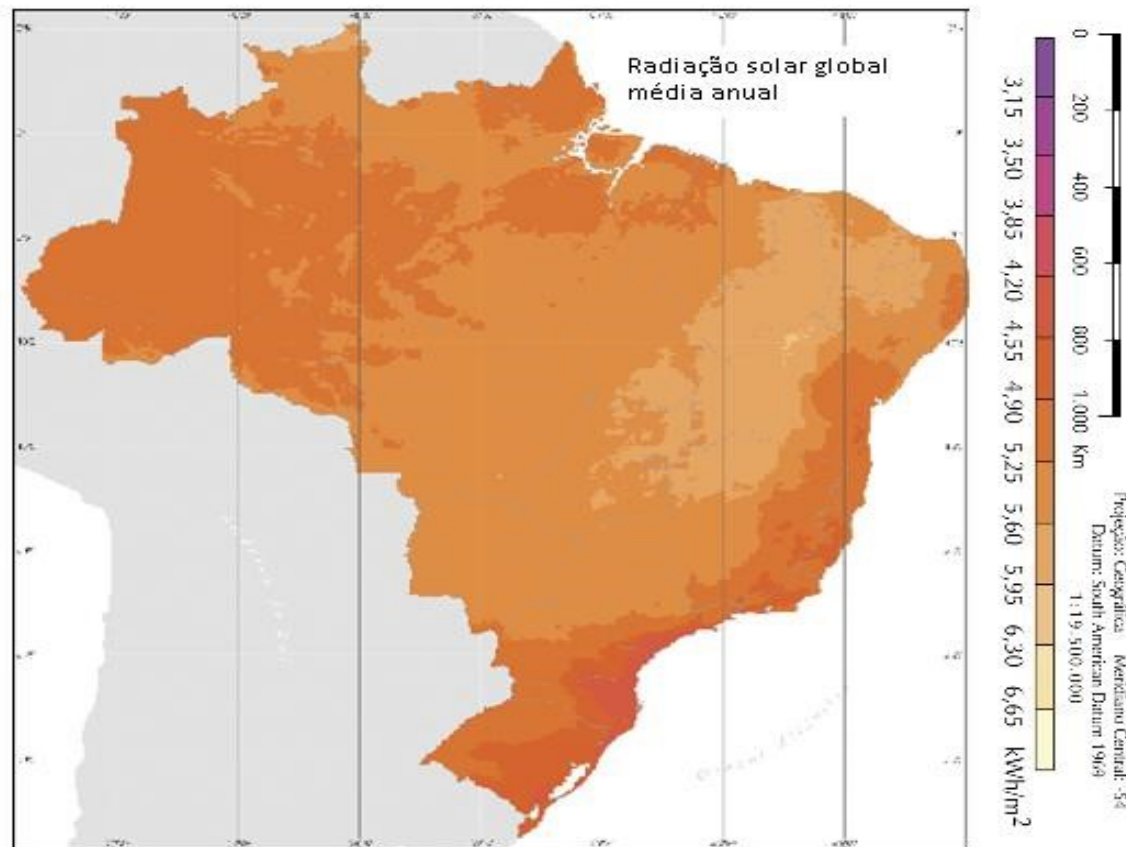


Figura 15 – Radiação solar global média anual.

Fonte: Atlas Brasileiro de energia Solar (2006).

Analisando os gráficos é possível ver que, historicamente, o clima de Manaus é marcado por máximas de temperatura elevadas (por volta de 32 °C) e altas taxas de umidade relativa (por volta de 77%).

Esses dois fatores mencionados influenciam diretamente no conforto térmico da região, pois as altas taxas de umidade relativa em dias quentes fazem com que a sensação térmica de um indivíduo aumente. Dessa forma, a pessoa tem a impressão de que está mais quente do que o normal por conta da redução da eficácia da transpiração da pele, que por sua vez prejudica o resfriamento corporal.

2.5.2 OTIMIZAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Todo o conteúdo apresentado até agora serve para demonstrar como projetar um sistema de climatização enfrentando as mazelas características do clima amazonense. Contudo, calcular a carga térmica de um ambiente e selecionar um condicionador de ar sem se importar com a natureza dessa carga ocasionalmente provoca a seleção de uma máquina térmica de alta capacidade e alto consumo de energia elétrica.

Assim, entra em pauta a questão da otimização de projetos de climatização para aumentar o conforto térmico e reduzir o consumo de energia devido ao uso de condicionadores de ar.

A carga térmica incidente em um ambiente pode ser reduzida mediante a utilização de materiais termicamente isolantes, que iram reduzir a taxa de absorção de calor pelas superfícies irradiadas, ou de alta refletância, que farão a mesma coisa ao refletir boa parcela da radiação solar.

No âmbito dos materiais de alta refletância destaca-se a tinta termo-refletora como mecanismo de otimização devido a sua eficiência e praticidade de utilização.

2.6 REFLETÂNCIA

Segundo a norma NBR15220-1 de desempenho térmico de edificações, refletância é o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

A intensidade da radiação solar emitida pelo sol varia de acordo com o intervalo de comprimento de onda onde ela está situada. A refletância é uma propriedade física fundamental para se entender o comportamento térmico dos materiais. (IKEMATSU, 2007. P15).

2.6.1 COMPORTAMENTO REFLETIVO DOS MATERIAIS

A refletância de um material está diretamente relacionada com as seguintes propriedades:

- Refletância especular: quando toda a luz incidente sobre o material é refletida com um ângulo de saída igual ao de incidência.
- Refletância difusa: quando a luz incidente é refletida dividida em vários feixes devido a existência de rugosidade na superfície do material

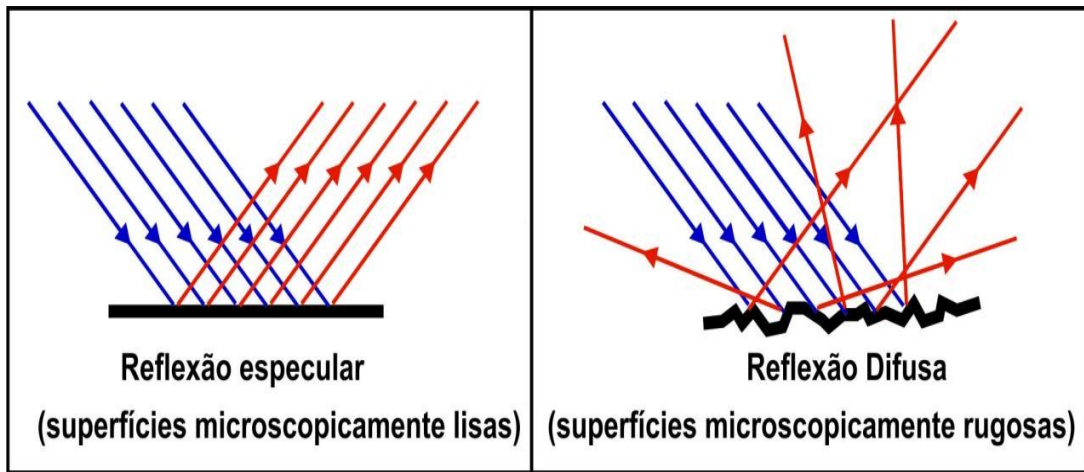


Figura 16 – Esquema de refletância especular e difusa.

Fonte:

<http://www.pontociencia.org.br/galeria/?content%2FFisica%2FOptica%2FReflexao+especular+e+difusa.jpg>

Quanto mais claro for um material, maior será sua refletância. Na tabela a seguir são expostos alguns valores de refletância para alguns materiais, segundo Studervant (2000), Thevenard e Haddad (2006).

Tabela 6 – Valores típicos de refletância.

Material	Refletância (%)
Revestimento refletivo branco	85
Tinta Branca	60
Areia do deserto	40
Concreto	22
Asfalto	9
Água	7

Fonte: Reflective roofs return multiple dividends. Building Operating Management (2000).

A refletância, aliada a outras propriedades físicas dos materiais, pode contribuir para a redução da temperatura do material exposto a radiação, além de melhorar o conforto térmico em ambientes.

2.6.2 ASPECTOS QUE INTERFEREM NA REFLETÂNCIA DOS MATERIAIS

O clima ao qual o material fica exposto, bem como as características de sua superfície, influencia na capacidade refletiva do material.

Segundo Bretz e Akbari (1997) substratos rugosos podem apresentar uma refletância superficial menor quando comparado a um substrato liso devido a efeitos geométricos e às partículas suspensas de ar que se acumulam nas irregularidades das superfícies.

A rugosidade de uma superfície é definida por suas micro-irregularidades geométricas. Os materiais de construção civil, geralmente apresentam certa irregularidade nas suas superfícies, onde há picos e vales de diferentes alturas e a diferentes distâncias (RORIZ; DORNELLES; RORIZ, 2007).

Segundo Bretz, Akbari e Rosenfeld (1997) não se deve considerar somente o valor inicial da refletância; o monitoramento do seu desempenho durante a exposição deve ser realizado. Superfícies com cores escuras (baixa refletância na região do visível) tendem a aumentar a refletância com o passar do tempo devido à concentração de sujeiras e de poluição, além da oxidação dos materiais. Em contraste, coberturas com alto valor de refletância, geralmente de cores brancas, tendem a diminuir o valor da refletância.

A refletância de uma cobertura pode ser alterada com o passar do tempo, devido a sua exposição às intempéries, por isso devem ser realizadas limpezas periódicas para amenizar este problema. Estudos realizados por Levinson et al (2005) de exposição ao ambiente natural com 10 tipos de telhados na Califórnia mostraram que a refletância destes “materiais frios” pode diminuir cerca de 15% no primeiro ano de exposição.

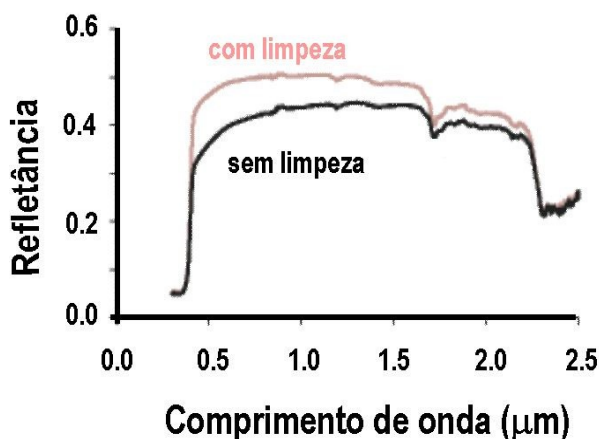


Figura 17 – Refletância de superfícies limpas e sujas.

Fonte: Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes (2007).

A perda de eficiência da superfície provocada por uma série de fatores que vão desde poluentes atmosféricos até agentes biológicos.

2.6.3 REFLETÂNCIA E DESEMPENHO TÉRMICO

Uma análise do desempenho térmico de um material no âmbito da refletância está ligada diretamente à região do espectro infravermelho, já que essa região é quem contribui para o aumento da temperatura do material.

Estudos de Bretz, Akbari e Rosenfeld mostram que há diversas mudanças que podem ser realizadas nas construções a fim de melhorar seu desempenho térmico. Como dito anteriormente, cores claras favorecem aumento da refletância. Telhados e paredes podem ser pintados com cores claras; e os materiais das coberturas dos telhados podem ser substituídos por telhas de metal, de concreto ou de cerâmica na cor branca.

Quando as superfícies externas ficam expostas à radiação solar existe um ganho de calor no recinto. O efeito da cor na temperatura do ar interno depende de vários parâmetros, além da refletância, como a resistência térmica e a capacidade térmica (CASTRO, 2005).

J.R.Simpson e E.G McPherson mostraram que telhados pintados com tinta branca apresentam temperatura reduzida quando comparados aos telhados de cor escura. Assim, fica evidente que a refletância dos materiais pode ser aproveitada para reduzir a taxa de transferência de calor para dentro de um ambiente.

2.7 TINTAS TERMO-REFLETORAS

Tintas termo-refletoras são tintas que em sua composição apresentam pigmentação branca, pois esse proporcionam altos valores de refletância à radiação visível.

Conforme apresentado na seção 2.5, apenas a radiação visível é responsável pelas cores dos objetos e é visível aos seres humanos, enquanto as radiações infravermelhas e ultravioletas são invisíveis.

Independentemente de serem visíveis ou não, essas três parcelas de radiação são responsáveis pelo aquecimento das superfícies expostas à luz solar. À medida que o material exposto absorver energia ele aquecerá ainda mais.

Dois objetos podem apresentar cores semelhantes, mas propriedades refletivas distintas, como pode ser observado na Figura 16. Ambos os pigmentos de cor marrom (convencional e refletivo) apresentam temperaturas superficiais diferentes: quanto mais rosa, mais quente (IKEMATSU, 2007, p.41).

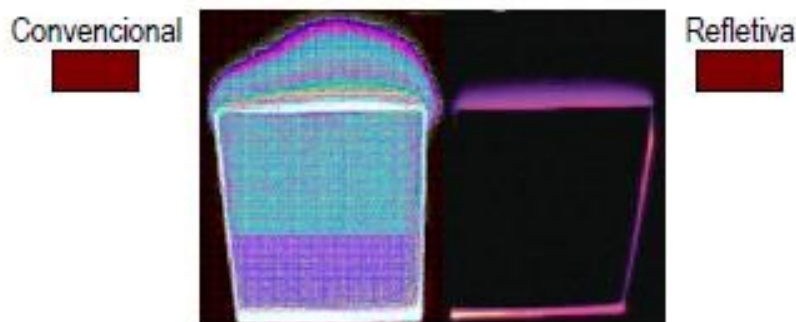


Figura 18 – Foto de câmera infravermelha do pigmento convencional e refletivo

Fonte: Estudo da Refletância e sua Influência no Comportamento Térmico de Tintas Refletivas e Convencionais de Cores Correspondentes (2007).

Pigmentos refletivos têm a propriedade de absorver ou refletir a luz da região de espectro infravermelho. Isso proporciona a refletância da luz infravermelha sem influenciar na região do espectro visível, portanto existem tintas de cores similares com propriedades refletivas diferentes.

2.7.1 IMPACTOS DO USO DE TINTAS TERMO-REFLETORAS

Usar tintas termo-refletoras na superfície externa de recintos pode contribuir de maneira significativa para a redução a temperatura superficial da cobertura exposta da edificação. Segundo estudos realizados no Instituto de Pesquisa Tecnológicas de São Paulo (IPT) expostos na figura a seguir, é possível notar a redução da temperatura na superfície do material que recebeu aplicação de uma camada de tinta termo-refletora.

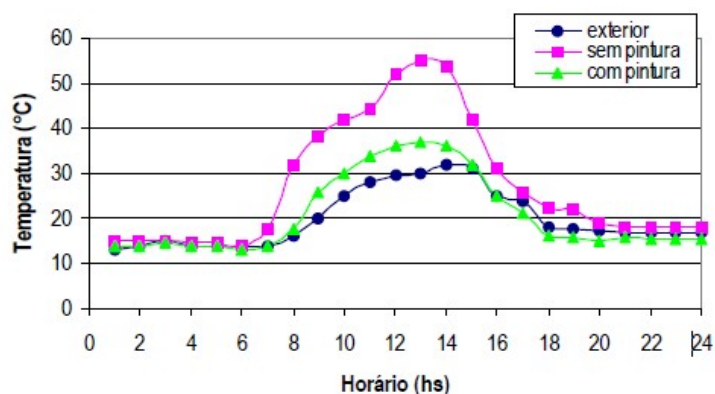


Figura 19 – Perfil de temperatura ao longo de um dia (24h).

Fonte: Gráfico retirado do Relatório Técnico do IPT nº 36.823.

Na legenda, “exterior” é a temperatura do ar externo, “sem pintura” é a temperatura da telha sem pintura “com pintura” é a temperatura da telha com pintura termo-refletora.

Segundo Castro, as tintas termo-refletoras quando aplicadas sobre diferentes substratos ajudam a melhorar o desempenho térmico desses substratos, uma vez que reduzirá a taxa de transferência de calor absorvida.

Segundo Ferreira e Prado, comparando tintas termo-refletoras brancas com tintas convencionais, é possível notar que as tintas convencionais embora reduzam a temperatura da superfície, ainda apresentam altas temperaturas no interior das edificações. Materiais de alta refletância atingem temperaturas mais baixas mediante exposição à radiação solar, reduzindo a transferência de calor ao seu redor.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa iniciou-se a partir de uma revisão bibliográfica cujo objetivo era adquirir os conhecimentos necessários para projetar e aperfeiçoar um sistema de climatização de ambientes. Foram apresentados, dados de climatologia da região amazônica, um roteiro de cálculo de carga térmica, mecanismos de transferência de calor, além de um determinado material capaz de provocar tal otimização. A revisão foi capaz de mostrar que o uso de tintas termo-refletoras é uma forma viável de reduzir a carga térmica de um recinto e dessa forma obter o conforto térmico necessário. Feito isso, será feita uma avaliação dos benefícios do método de otimização selecionado.

3.1 MÉTODO

Método é o conjunto de atividades sistemáticas que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objeto, conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista. (LAKATOS e MARCONI, 2007).

O objetivo deste trabalho é calcular a otimização gerada pelo uso de tintas termo-refletoras no âmbito do conforto térmico de edificações. Para que isso seja feito, é necessária a escolha de um método que seja capaz de guiar o desenvolvimento do projeto de forma eficiente. Neste trabalho será usado o método dedutivo e quali-quantitativo.

Método dedutivo é o caminho das conseqüências, pois uma cadeia de raciocínio em conexão descendente, isto é, do geral para o particular, leva à

conclusão. Em base a esse método, partindo-se de teorias e leis gerais, pode-se chegar à determinação ou previsão de fenômenos particulares. (ANDRADE, 2006).

O método dedutivo parte das teorias e leis consideradas gerais e universais buscando explicar a ocorrência de fenômenos particulares. O exercício metódico da dedução parte de enunciados gerais (leis universais) que supostos constituem as premissas do pensamento racional e deduzida chegam a conclusões. O exercício do pensamento pela razão cria uma operação na qual são formuladas premissas e regras de conclusão que se denominam demonstração. (DINIZ e SILVA, 2008).

A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. (ENGEL, TOLFO, 2009, P33).

Os métodos selecionados permitem uma análise física matemática do comportamento térmico de um ambiente e fazer as avaliações necessárias.

3.2 TÉCNICAS

Para realizar o estudo proposto neste trabalho foi iniciada uma pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica com o objetivo de conhecer a atual problemática ocorrente no ambiente estudado, procedimentos de cálculo utilizados no âmbito da avaliação do conforto térmico e métodos de otimização de sistemas de climatização de ambientes.

Serão utilizados dados obtidos através de experimentos e estatísticas que, aliados aos procedimentos de cálculo citados anteriormente, proporcionarão a quantificação otimização estudada.

3.3 PROCEDIMENTOS

Para analisar a viabilidade do uso de tintas termo-refletoras para fins de otimização de projetos de sistemas de ar condicionado se faz necessário estabelecer uma sequência de passos para organizar de forma sistemática o desenvolvimento da pesquisa. O fluxograma a seguir mostra como será o caminho da pesquisa.

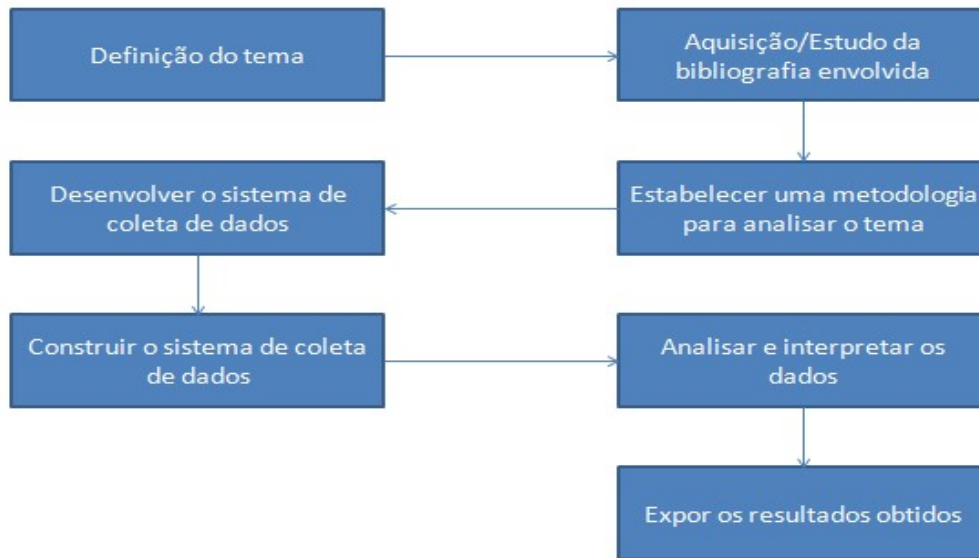


Figura 20 – Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa

Inicialmente, é definido o tema de estudo, no caso deste trabalho o tema é: Otimização de sistemas de climatização residenciais pelo uso de tintas termo-reflexivas.

Com o tema definido, é feita uma coleta de materiais de apoio para auxiliar no desenvolvimento teórico do projeto. Diversos livros, artigos e revistas com informações relacionadas ao tema são estudados para conduzir o desenvolvimento deste trabalho.

A aquisição das informações contidas nas obras de diversos autores permite criar uma metodologia para fazer o proposto neste projeto.

O cálculo de otimização será feito levando em consideração a taxa de transferência de calor inerente à cobertura de uma residência, pois é a zona exposta a uma maior radiação solar.

Os estudos serão realizados em três modelos reduzidos de ambientes, cujas dimensões foram adotadas empiricamente, conforme o figura a seguir:

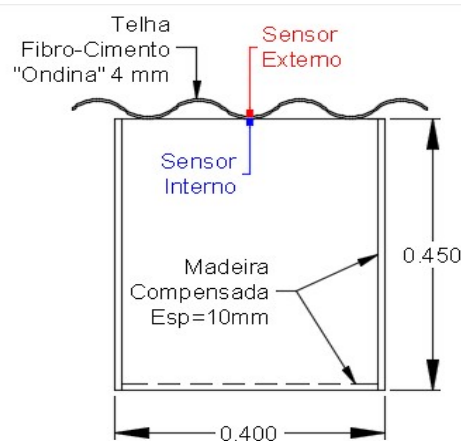


Figura 21 – Modelo de cobertura para testes. Cotas em metros.

Fonte: Pessoal

A cobertura desses modelos será feita com telhas de fibrocimento. Essa telha foi escolhida por ser um tipo de material comumente utilizado em edificações.



Figura 22 – Telha de fibrocimento

Fonte: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=8&Cod=448>

Serão construídos três modelos, conforme a figura 21 com Madeira Compensada de espessura de 10 mm e Telha fibrocimento de espessura de 4 mm.



Figura 23 – Placa de madeira compensada

Fonte: <https://parana.all.biz/compensado-g59972>

A madeira compensada é um arranjo de chapas finas de madeira que são coladas com se fossem um “sanduíche” de forma que as fibras das chapas de madeira fiquem ortogonais umas em relação às outras. Essa madeira foi escolhida para compor a estrutura do modelo por ser um material barato e de fácil aquisição.

Para a montagem serão utilizados parafusos de madeira.



Figura 24 – Parafuso de madeira.

Fonte: <http://www.ferragensebazar.com.br/parafuso-chipboard-cabeca-chata-4,5-x-50-500-pecas-p11263>

Os três modelos serão construídos com formato e dimensões idênticas.

A diferença entre os três modelos será restrita ao arranjo de pintura de cada um deles:



Figura 25 – Modelos Reduzidos utilizados nos Ensaio

Fonte: Pessoal

1. O primeiro modelo terá telha “nua” cinzenta, isenta de tinta em ambas as superfícies: externa e interna.
2. O segundo modelo terá aplicação de tinta somente sobre a superfície externa da telha e,
3. O terceiro modelo terá aplicação de tinta em ambas as superfícies: externa e interna.

Sobre as telhas devidamente limpas, sem sujeira, qualquer particulado como óleo, graxa, etc., será aplicada tinta por meio de rolo de lã. A aplicação será realizada durante um dia com clima quente e seco, pois a alta taxa de umidade pode comprometer a eficiência da pintura, conforme alerta o fabricante da tinta.

- Conforme instruções do fabricante, a tinta será aplicada, em 3 (três) demãos, com intervalo de 2 a 3 horas, de modo a obter espessura final da pintura = 250 μm após completa cura.

O propósito de se construir três modelos é analisar simultaneamente o comportamento de diferentes arranjos de cobertura conforme acima citado e comparar o desempenho dos arranjos entre si.

Os três modelos serão expostos simultaneamente à radiação solar, para que todos sejam submetidos às mesmas condições climáticas. Caso contrário, os dados coletados poderiam induzir interpretações equivocadas.

O estudo será feito baseado nas temperaturas das superfícies externas e superfícies internas da telha. Para isso serão utilizados sensores de temperatura acoplados a um “Aquisitor de Dados Microprocessado”.

A coleta de dados será realizada utilizando sensores do tipo LM35 acoplados a um Processador de Dados tipo “Arduino”.

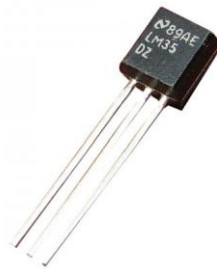


Figura 26 – Sensor de temperatura LM35.

Fonte: <http://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-temperatura-lm35.html>



Figura 27 – Placa Arduino nano.

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/placa-nano-v3-0-cabo-usb-para-arduino/>

O Arduino é um microcontrolador eletrônico capaz de capturar os dados de temperatura de sensores LM35 e inseri-los numa tabela Excel para conveniente processamento de dados.

O sensor LM35 é um sensor de precisão que apresenta uma saída de tensão linear proporcional à temperatura em que ele se encontrar no momento, tendo em sua saída um sinal de 10mV para cada Grau Célsius de temperatura. Esse sensor não necessita de qualquer calibração externa para fornecer com exatidão, valores temperatura com variações de $\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ ou até mesmo $\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$ dentro da faixa de temperatura entre -55°C e 150°C .

Os dados são coletados mediante uma programação no software compilador de algoritmos do próprio Arduino.

O código de programação desenvolvido será capaz de medir as temperaturas necessárias periodicamente ao longo do dia.

Como o objetivo deste trabalho é analisar a otimização provocada pelo uso de tintas termo refletoras, os códigos de programação utilizados serão apenas mostrados sem uma explicação muito aprofundada.

Com os dados coletados é possível montar uma tabela da seguinte forma:

Tabela 7 – Modelo de dados coletados.

Hora	Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$)
hh:mm:ss	x	x
hh:mm:ss	x	x
hh:mm:ss	x	x
hh:mm:ss	x	x

Fonte: Pessoal

Cada um dos três modelos proporcionará uma tabela diferente inerente ao seu arranjo (telha mais tinta). Após isso é feita uma comparação dos fluxos de calor ao longo do dia e será observado se existe uma redução na taxa de transferência de calor e qual arranjo proposto proporciona essa redução.

Após ter quantificado a taxa de redução será possível prever qual seria o resultado de uma aplicação de tinta termo refletora numa cobertura real e com isso averiguar se o método de otimização proposto neste trabalho é viável de ser usado.

Será feito um cálculo de carga térmica para um ambiente hipotético utilizando um software de cálculo de carga térmica. O software será o Hourly Analysis Program (HAP46), da fabricante de condicionadores de ar Carrier. Vale ressaltar que o software se baseia, na metodologia proposta em 2.4.

O software utiliza diversos parâmetros informados pelo usuário para calcular a carga térmica de um ambiente, simulando as condições de variação de temperatura e umidade impostas a um ambiente durante todos os dias do ano. Trata-se de um software amplamente usado e recomendado na indústria, tanto para fins de dimensionamento de projetos quanto para validações de projetos.

Este trabalho não tem por objetivo explicar o funcionamento do software, portanto o seu processo de utilização será preterido.

4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi feita através de um conjunto de sensores (LM 35) específicos para medição de temperatura. Esses sensores foram acoplados a um microprocessador modelo Arduino, adequado para coleta e armazenamento de dados, conforme a figura a seguir.

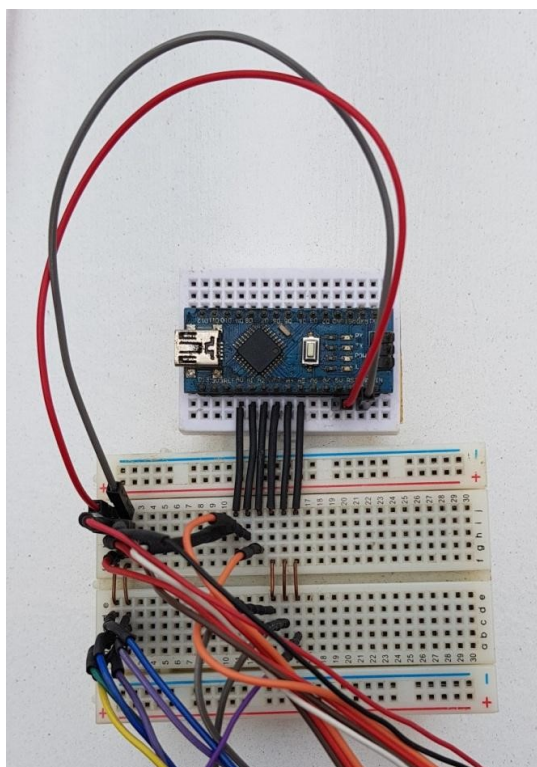


Figura 28– Arduino utilizado para coleta de dados

Fonte: Pessoal

O micro controlador em questão funciona mediante códigos de programação, responsáveis por “dizer” ao Arduino que atividade executar, conforme o seguinte exemplo de programação:

```
1 //Sensor de temperatura usando o LM35
2
3 const int LM35_1 = A0; // Define o pino que lera a saída do LM35
4 const int LM35_2 = A1;
5 const int LM35_3 = A2;
6 const int LM35_4 = A3;
7 const int LM35_5 = A4;
8 const int LM35_6 = A5;
9 float temperatur1; // Variável que armazenará a temperatura medida
10 float temperatura2;
11 float temperatura3;
12 float temperatura4;
13 float temperatura5;
14 float temperatura6;
15
16 int linha = 0;
17 int LABEL = 6;
18
19 //Função que será executada uma vez quando ligar ou resetar o Arduino
20 void setup() {
21   Serial.begin(9600); // inicializa a comunicação serial
22   Serial.println("CLEARDATA");
23   Serial.println("LABEL,Hora,temperatur1,temperatura2,temperatura3,temperatura4,temperatura5,temperatura6");
24 }
25
```

Figura 29 – Código usado parte 1

Fonte: Pessoal

```
20 void setup() {
21   Serial.begin(9600); // inicializa a comunicação serial
22   Serial.println("CLEARDATA");
23   Serial.println("LABEL,Hora,temperatur1,temperatura2,temperatura3,temperatura4,temperatura5,temperatura6");
24 }
25
26 //Função que será executada continuamente27
27 void loop() {
28   temperatur1 = (float){analogRead(LM35_1)}*5/(1023)/0.01;
29   temperatura2 = (float){analogRead(LM35_2)}*5/(1023)/0.01;
30   temperatura3 = (float){analogRead(LM35_3)}*5/(1023)/0.01;
31   temperatura4 = (float){analogRead(LM35_4)}*5/(1023)/0.01;
32   temperatura5 = (float){analogRead(LM35_5)}*5/(1023)/0.01;
33   temperatura6 = (float){analogRead(LM35_6)}*5/(1023)/0.01;
34   Serial.print("DATA,TIME,");
35   Serial.print(temperatur1);
36   Serial.print(",");
37   Serial.print(temperatura2);
38   Serial.print(",");
39   Serial.print(temperatura3);
40   Serial.print(",");
41   Serial.print(temperatura4);
42   Serial.print(",");
43   Serial.print(temperatura5);
44   Serial.print(",");
45   Serial.print(temperatura6);
46   Serial.println(",");
47
48   delay(60000);
49 }
```

Figura 30 – Código usado parte 2

Fonte: Pessoal

Como dito em 3.1, os códigos serão explicados de forma resumida:

- As linhas de 3 a 8 são responsáveis por reconhecer cada um dos seis sensores acoplados a cada porta do Arduino
- As linhas de 9 a 14 delimitam seis variáveis responsáveis por armazenar a temperatura medida por cada sensor
- As linhas de 21 a 23 fazem parte de uma sintaxe de programação, que junto a um programa periférico, fará a inserção dos dados medidos em uma tabela do Excel.
- As linhas de 28 a 33 são responsáveis por converter o sinal elétrico medido por cada sensor em um valor de temperatura
- As linhas de 34 a 46 são responsáveis por exibir na tela do programa compilador do Arduino os valores que estão sendo medidos.
- A linha 48 é uma parte da sintaxe de programação responsável por repetir esse ciclo de medidas a cada minuto (sessenta mil mili- segundos)

O programa periférico usado para fazer a conexão entre o compilador do Arduino e o Excel chama-se PLX-DAQ e pode ser encontrado facilmente na internet.

O PLX-DAQ preenche no Excel as temperaturas medidas pelo Arduino em tempo real.

COLETA DE DADOS 04 e 05 DE NOVEMBRO3 - Microsoft Excel uso não comercial

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Hora	temperatura1	temperatura2	temperatura3	temperatura4	temperatura5	temperatura6						
2	12:00:49	39,10	41,06	40,57	37,63	37,15	37,63						
3	12:01:49	39,10	38,61	40,08	37,15	37,15	36,66						
4	12:02:49	38,61	39,1	40,08	37,63	38,12	36,66						
5	12:03:49	38,12	38,12	40,08	37,15	37,63	36,66						
6	12:04:49	38,12	38,12	39,59	36,17	36,66	36,66						
7	12:05:49	37,63	38,12	39,59	36,17	37,63	36,66						
8	12:06:49	38,61	38,12	40,08	36,66	37,15	36,17						
9	12:07:49	38,61	38,61	39,1	37,15	37,15	36,66						
10	12:08:48	38,61	37,63	39,1	36,17	38,12	37,15						
11	12:09:48	39,10	38,12	39,59	36,66	38,12	36,66						
12	12:10:48	39,10	38,61	40,08	37,15	38,12	36,66						
13	12:11:48	39,59	38,12	39,1	36,66	38,12	37,15						
14	12:12:48	38,61	38,12	39,59	36,66	38,12	37,15						
15	12:13:48	38,12	38,12	39,59	37,15	38,61	36,66						
16	12:14:48	38,61	38,61	39,1	37,15	37,15	37,63						

Data Acquisition for Excel

Control

- Download Data
- Clear Stored Data
- User1
- User2

Settings

Port: 3

Baud: 9600

Connect

Reset Timer

Clear Columns

Reset on Connect

Controller Messages

PLX-DAQ Status

Figura 31 – PLX-DAQ em execução

Fonte: Pessoal

A coleta de dados foi feita entre os dias 01 e 08 de novembro, época do ano com temperaturas mais elevadas (figura 10). Além disso, a coleta de dados ocorreu entre meio dia e oito horas da noite, pois nessa faixa de horários é possível ver de forma evidente o aumento e a redução da temperatura ao longo do dia.

5 ANÁLISE DE DADOS

O sistema de coleta de dados monitorou, simultaneamente, a temperatura nas superfícies interna e externa de cada arranjo de telha durante pelo menos doze horas ao longo do dia 3, 4 e 5 de novembro de 2017.

O horário escolhido para a análise ficou entre meio dia e oito da noite, pois nos outros horários as temperaturas da telha encontram-se uniformes devido à baixa radiação solar desses horários. Como as temperaturas foram medidas a cada minuto, há uma grande quantidade de dados, então será usada uma média das temperaturas medidas a cada quinze minutos. Os valores serão expostos nas tabelas e gráficos a seguir:

Tabela 8 – Temperaturas médias da telha “nua”

Arranjo 1 : telha "nua"		
Hora	Temperatura externa	Temperatura interna
12:00	39,10	41,06
12:15	38,58	38,28
12:30	38,35	37,99
12:45	40,50	39,36
13:00	45,42	43,63
13:15	48,45	45,42
13:30	52,20	48,42
13:45	50,47	48,39
14:00	43,37	43,40
14:15	52,33	48,42
14:30	52,85	48,84
14:45	52,75	49,40
15:00	48,94	47,02
15:15	46,92	44,97
15:30	43,43	42,65
15:45	43,76	43,73
16:00	42,39	41,93

16:15	41,25	41,06
16:30	39,82	40,21
16:45	38,58	39,23
17:00	38,19	38,74
17:15	37,28	38,22
17:30	36,40	36,92
17:45	34,83	35,39
18:00	34,05	34,31
18:15	32,26	33,21
18:30	32,00	32,72
18:45	32,13	32,65
19:00	31,77	32,26
19:15	31,44	31,87
19:30	31,44	31,93
19:45	31,38	31,77
20:00	31,15	31,41

Fonte: Pessoal

Na tabela 9 é possível observar o aquecimento da telha ao longo do dia. Nota-se que o pico de máxima temperatura se dá por volta das duas e meia da tarde. Além disso, também é possível ver o resfriamento da telha após o horário de pico, por volta das oito da noite as temperaturas da telha tendem a permanecer iguais e próximas de 30 graus Celsius.

Tabela 9 – Temperaturas médias da telha pintada do lado externo

Arranjo 2 : telha pintada do lado externo		
Hora	Temperatura externa	Temperatura interna
12:00	40,57	37,63
12:15	39,59	36,82
12:30	38,74	36,24
12:45	41,35	37,18
13:00	44,71	39,59
13:15	48,06	41,15
13:30	51,45	43,37
13:45	49,23	43,99
14:00	43,17	41,35
14:15	52,59	44,12
14:30	53,08	44,25
14:45	52,01	44,84
15:00	48,52	43,17
15:15	47,12	42,10
15:30	44,80	40,54
15:45	46,46	42,88
16:00	44,64	41,48
16:15	44,22	40,99
16:30	43,17	40,31
16:45	42,75	40,50

17:00	43,99	42,03
17:15	44,12	42,10
17:30	41,58	39,82
17:45	35,22	34,11
18:00	34,44	33,37
18:15	33,17	32,26
18:30	32,46	31,61
18:45	32,16	31,21
19:00	32,06	31,15
19:15	32,00	31,28
19:30	31,93	31,25
19:45	31,35	30,95
20:00	31,41	30,82

Fonte: Pessoal

Na tabela 10 é possível observar o mesmo comportamento analisado na tabela 9. Nota-se um pico de temperatura por volta das duas e meia da tarde e é possível observar que as temperaturas da superfície interna da telha são significativamente menores quando comparadas as temperaturas do arranjo 1.

Tabela 10 – Temperaturas médias da telha pintada dos dois lados

Arranjo 3 : Telha pintada dos dois lados		
Hora	Temperatura externa	Temperatura interna
12:00	37,15	37,63
12:15	37,73	36,85
12:30	37,37	36,76
12:45	38,28	37,34
13:00	41,54	39,59
13:15	43,89	41,05
13:30	46,63	43,53
13:45	45,55	43,63
14:00	41,51	41,15
14:15	47,54	44,09
14:30	47,83	44,25
14:45	47,15	44,48
15:00	45,36	43,11
15:15	44,25	42,23
15:30	42,26	40,89
15:45	44,05	40,70
16:00	42,32	39,66
16:15	41,87	39,33
16:30	41,25	38,71
16:45	41,02	37,92

17:00	42,06	37,60
17:15	42,19	36,53
17:30	39,36	35,65
17:45	34,37	34,47
18:00	33,63	33,92
18:15	32,36	32,59
18:30	32,00	31,80
18:45	31,44	31,67
19:00	30,99	31,64
19:15	31,35	31,35
19:30	31,18	31,35
19:45	30,76	31,08
20:00	30,76	30,89

Fonte: Pessoal

É possível observar o mesmo comportamento analisado nas tabelas 9 e 10. O horário de pico de temperatura permanece o mesmo.

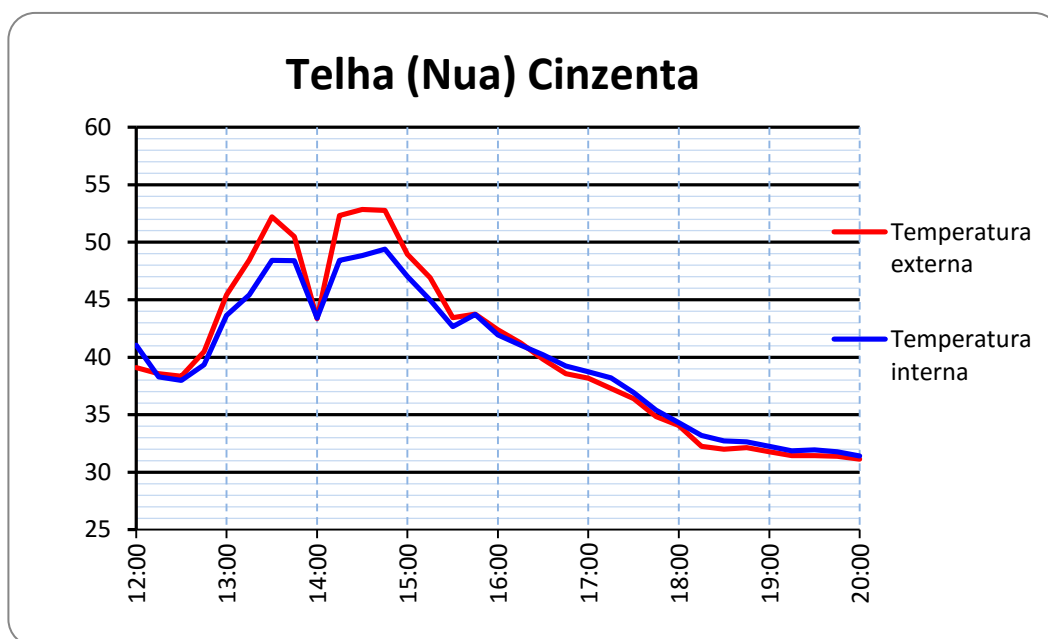


Figura 32 – Temperaturas da telha “nua”

Fonte: Pessoal

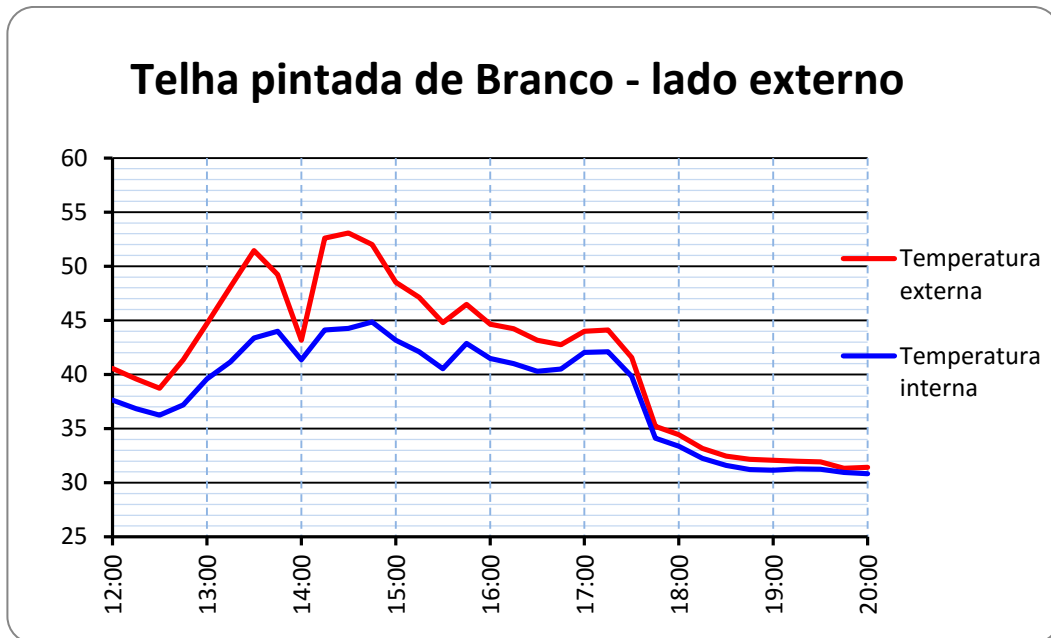


Figura 33 – Temperaturas da telha pintada somente do lado externo

Fonte: Pessoal

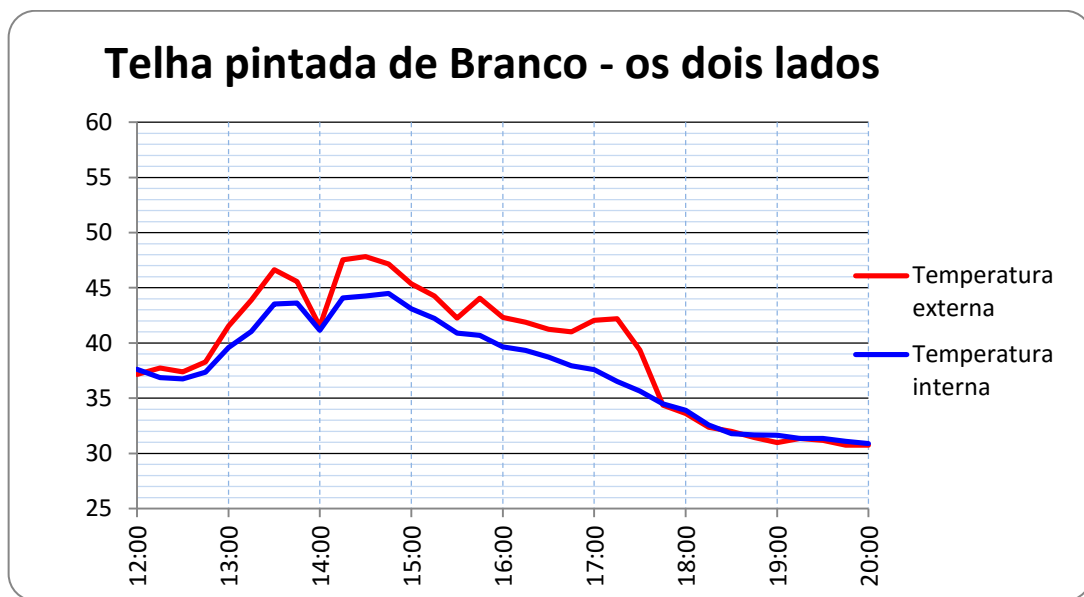


Figura 34 – Temperaturas da telha pintada dos dois lados

Fonte: Pessoal

Os Gráficos das Figuras 28, 29 e 30 referem-se às tabelas 9, 10 e 11 respectivamente.

Adicionalmente, visando enriquecer os experimentos até então desenvolvidos, foram coletados dados de temperatura de um telhado real escurecido pela ação de sol e chuva. (usou-se Termômetro Infra-Vermelho). Parte desse telhado foi pintada com Tinta Branca Termo Reflexiva e outra parte foi deixada sem pintura.

Foram feitas medições de temperatura no mês de Outubro entre 13:00 e 14:00h sob a área de Telha Escura e sob a área de Telha pintada de Branco, conforme seguinte registro fotográfico:



Figura 35 - Telha de fibrocimento com 7 mm de espessura.



Figura 36 – Temperatura sob a telha não pintada



Figura 37 – Temperatura sob a telha pintada

Alguns aspectos observados foram listados a seguir:

1. Houve algum distúrbio na coleta de dados nos Modelos Reduzidos às 14:00h, porém sem prejuízo para os ensaios, pois os demais dados se mantiveram coerentes.
2. Os picos de temperatura foram registrados entre 13:00h e 15:00h, conforme Figura 17 – Perfil de temperatura ao longo de um dia (24h).
3. Os gráficos revelam picos de temperatura **externa** do Telhado (4mm) **Cinza**: $T_{ext} \approx 53^{\circ}\text{C}$ e do Telhado **Branco** dupla-face: $T_{ext} \approx 48^{\circ}\text{C}$. Então, a **pintura Branca** propiciou redução de temperatura de $= 53 - 48 = 5^{\circ}\text{C}$ na face externa da telha.
4. Os gráficos revelam picos de temperatura **interna** do Telhado (4mm) **Cinza**: $T_{int} \approx 48^{\circ}\text{C}$ e do Telhado **Branco** dupla-face: $T_{int} \approx 44^{\circ}\text{C}$. Então, a **pintura Branca** propiciou redução de temperatura $= 48 - 44 = 4^{\circ}\text{C}$ na face interna da telha.
5. Notar que depois das 17h30h, sem a radiação solar e decorridos alguns minutos para equalização, as temperaturas T_{ext} e T_{int} das telhas tornaram-se praticamente iguais, revelando confiável padrão de resposta dos sensores de temperatura empregados nos ensaios.

6. O experimento adicional em Telhado Real (7mm) revela diferencial de temperatura sob o Telhado **Escuro** e sob o Telhado **Branco** propiciou **redução de temperatura de:**
 $60,2^{\circ}\text{C} - 41,8^{\circ}\text{C} = 18,4^{\circ}\text{C}$. (Dados colhidos em **Outubro** entre **12:00** e **13:00h**).

Para calcular a vantagem das telhas pintadas em relação às telhas “nuas” será utilizada uma relação percentual calculada a partir da fórmula de Boltzmann, equação 4.

Sendo a quantidade de calor por radiação emitida por uma superfície dada por:

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_s^4$$

Teremos que $\dot{Q}_{1\ emit}$ será a quantidade de calor emitida pela telha nua, $\dot{Q}_{2\ emit}$ será a quantidade de calor emitida pela telha pintada do lado externo e $\dot{Q}_{3\ emit}$ será a quantidade de calor emitida pela telha pintada dos dois lados.

Como foram utilizados arranjos iguais e com telhas de mesmo tamanho, a área da superfície A_s será igual para os três modelos, bem como a constante de Boltzmann σ , a emissividade ε será considerada igual como medida extrema. E parâmetro T_s será a temperatura da superfície interna de cada arranjo de telha medida no horário de pico de temperatura (14:30).

Dessa forma temos que:

$$\frac{\dot{Q}_{2\ emit}}{\dot{Q}_{1\ emit}} = \frac{\varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_{2s}^4}{\varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_{1s}^4} = \frac{T_{2s}^4}{T_{1s}^4} = \frac{(273 + 44,25)^4}{(273 + 48,84)^4} = 0,9493$$

Ou

$$\frac{\dot{Q}_{2\ emit}}{\dot{Q}_{1\ emit}} \cong 95\%$$

Como T_{2s} e T_{3s} são iguais os valores a relação entre $\dot{Q}_{3\ emit}$ e $\dot{Q}_{1\ emit}$ também será aproximadamente 95 %.

$$\frac{\dot{Q}_{3\ emit}}{\dot{Q}_{1\ emit}} = \frac{\varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_{3s}^4}{\varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_{1s}^4} = \frac{T_{3s}^4}{T_{1s}^4} = \frac{(273 + 44,25)^4}{(273 + 48,84)^4} = 0,9493$$

Ou

$$\frac{\dot{Q}_{3\ emit}}{\dot{Q}_{1\ emit}} \cong 95\%$$

Os valores obtidos por essas relações mostram que a telha pintada com tinta termo reflexiva proporciona uma redução de 5 % da carga térmica emitida, quando comparada à telha “nua”. Isso nos bancos de ensaio.

A mesma análise exposta acima pode ser realizada para o telhado real mostrado na figura 28, que mostra uma telha escurecida pela ação do tempo.

Teremos que $\dot{Q}_{1R\ emit}$ será a quantidade de calor emitida pela telha nua e escurecida pela ação do tempo e que $\dot{Q}_{2R\ emit}$ será a quantidade de calor emitida pela telha pintada do lado externo. Além disso, podemos considerar iguais as áreas de superfície A_s , bem como a emissividade ε e a constante de Boltzmann σ .

Dessa forma temos que:

$$\frac{\dot{Q}_{2R\ emit}}{\dot{Q}_{1R\ emit}} = \frac{\varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_{2RS}^4}{\varepsilon \times \sigma \times A_s \times T_{1RS}^4} = \frac{T_{2s}^4}{T_{1s}^4} = \frac{(273 + 41,8)^4}{(273 + 60,2)^4} = 0,7967$$

Ou

$$\frac{\dot{Q}_{2R\ emit}}{\dot{Q}_{1R\ emit}} \cong 80\%$$

O valor obtido mostra que a telha pintada com tinta termo reflexiva proporciona uma redução de 20% na carga térmica emitida, quando comparada à telha envelhecida.

Esses valores percentuais demonstram parte do que foi exposto em 1.3.3, que as cores da superfície da telha influenciam diretamente na temperatura que ela alcança mediante a radiação solar, sendo que as cores mais claras absorvem menos radiação quando comparadas as cores escuras.

Para uma análise da melhora que a tinta termo refletora proporciona, serão realizados cálculos de carga térmica num escritório hipotético com capacidade para 8 pessoas. Os cálculos foram feitos usando o software Carrier – Hourly Analysis Program HAP 4.61, introduzido em 3.3. Três simulações foram feitas, cada uma com um arranjo de pintura da telha: um com telha mais clara, outro com telha de cor média e outro com telha de cor escura.

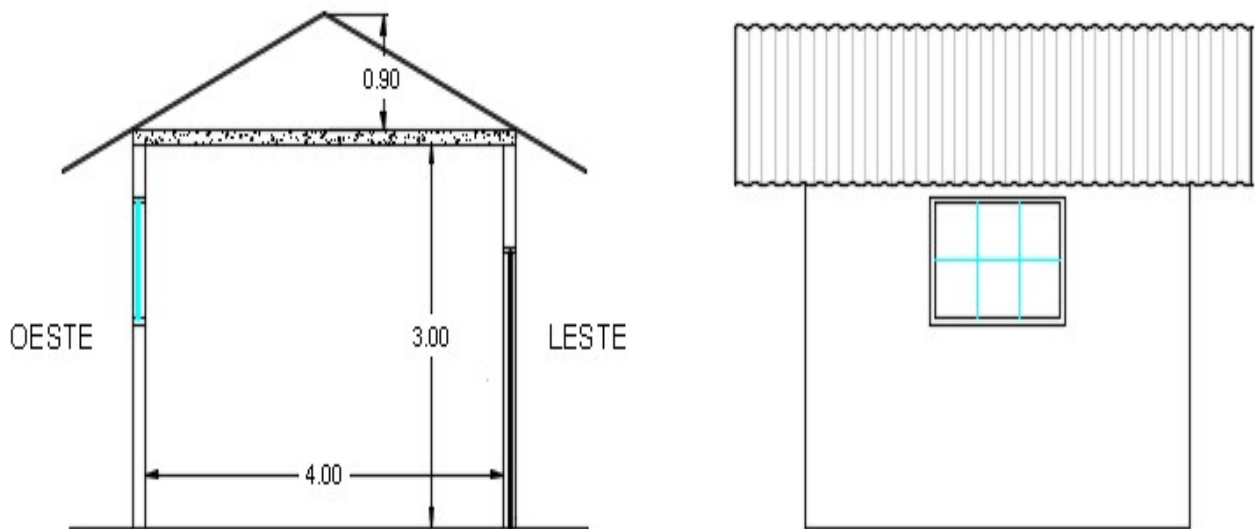


Figura 38 – Planta do escritório hipotético

Fonte: Pessoal

Os parâmetros de dimensões, características de materiais, orientação geográfica e clima do ambiente no qual o escritório foram inseridos no software HAP46.

O relatório final da carga térmica calculada pelo software será exposto a seguir.

Tabela 11 – Relatório de carga térmica do HAP46

	ESCRITÓRIO DE TELHA CLARA			ESCRITÓRIO DE TELHA MEDIA			ESCRITÓRIO DE TELHA ESCURA		
	DESIGN COOLING			DESIGN COOLING			DESIGN COOLING		
	COOLING DATA AT Nov 1600 COOLING OA DB / WB 34,7 °C / 27,6 °C			COOLING DATA AT Nov 1600 COOLING OA DB / WB 34,7 °C / 27,6 °C			COOLING DATA AT Nov 1600 COOLING OA DB / WB 34,7 °C / 27,6 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	2 m ²	268	-	2 m ²	268	-	2 m ²	268	-
Wall Transmission	63 m ²	2457	-	63 m ²	2457	-	63 m ²	2457	-
Roof Transmission	16 m ²	914	-	16 m ²	1298	-	16 m ²	1683	-
Window Transmission	2 m ²	84	-	2 m ²	84	-	2 m ²	84	-
Skylight Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Door Loads	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Floor Transmission	16 m ²	0	-	16 m ²	0	-	16 m ²	0	-
Partitions	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Ceiling	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Overhead Lighting	80 W	56	-	80 W	56	-	80 W	56	-
Task Lighting	0 W	0	-	0 W	0	-	0 W	0	-
Electric Equipment	0 W	0	-	0 W	0	-	0 W	0	-
People	8	335	282	8	335	282	8	335	282
Infiltration	-	0	0	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	10% / 10%	411	28	10% / 10%	450	28	10% / 10%	488	28

Fonte: Pessoal

Podemos analisar a transmissão de calor pelo telhado, como mostra a célula “Roof Transmission”.

Tabela 12 – Carga térmica de cada telha

CARGA TÉRMICA DO TELhado EM WATT		
TELHA CLARA	TELHA MÉDIA	TELHA ESCURA
914	1298	1683

Fonte: Pessoal

É possível ver que em relação à telha mais clara a telha média tem um acréscimo de aproximadamente 40% de carga térmica.

Também é possível ver que em relação à telha mais clara a telha escura tem um acréscimo de aproximadamente 85% de carga térmica.

A carga térmica total de cada modelo de escritório está exposta na tabela abaixo.

Tabela 13 – Carga térmica total do escritório

CARGA TÉRMICA TOTAL EM WATT		
ESCRITORIO DE TELHA CLARA	ESCRITÓRIO DE TELHA MÉDIA	ESCRITÓRIO DE TELHA ESCURA
5.700	6.200	6.600
CARGA TÉRMICA TOTAL EM BTU/H		
ESCRITORIO DE TELHA CLARA	ESCRITÓRIO DE TELHA MÉDIA	ESCRITÓRIO DE TELHA ESCURA
19.449	21.155	22.520

Fonte: Pessoal

O relatório completo da carga térmica do escritório está disponível em anexo.

6 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido se mostrou pertinente ao fim dos experimentos e análises de dados. Desde a coleta de dados foi possível observar a melhora proporcionada pelo uso de tintas termo-reflexivas por meio da redução na temperatura da superfície da telha.

Observou-se que telhados escuros absorvem mais radiação quando comparados aos de cores claras, conforme o previsto pela teoria. Assim, torna-se conveniente pintar e conservar um telhado o mais claro (branco) possível.

Para fins de conforto térmico, a tinta termo-reflexiva se mostrou como um material isolante razoavelmente eficiente e de fácil manipulação. Em experimentos futuros, seria interessante usá-las em paredes externas, a fim de garantir maiores reduções de carga térmica.

Ao final da pesquisa, mesmo com resultados plausíveis, é válido ressaltar as dificuldades encontradas ao longo de seu desenvolvimento.

Os bancos de ensaio elaborados não permitem uma comparação direta com telhados reais, pois não foram encontradas formas de prever a temperatura da superfície abaixo da superfície da telha. Além disso, não foram avaliados possíveis valores de emissividade para os modelos de telha propostos.

Por fim, é desejado reduzir o grande abismo existente entre o conhecimento superficial e conhecimento pleno sobre as trocas de calor por radiação.

7 REFERÊNCIAS

BARROS, Anésia F.; RAMOS, Sueli S. Manual do Conforto Térmico.1.ed. São Paulo: Nobel, 1988.

IKEMATSU, Paula. Estudo da Refletância e sua Influência no Comportamento Térmico de Tintas Refletivas e Convencionais de Cores Correspondentes. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

ARMELIN, Hugo S.; CHERRY, Nigel. Avaliação do uso e Desempenho de Barreiras de Radiação Térmica na Construção Civil. São Paulo: Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, 2003.

JAHNKE, K. A., et al. Reutilização de embalagem tipo longa vida como barreira radiante em painel de vedação. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. ABNT/CB-02 CONSTRUÇÃO CIVIL, 2005.

SIMPSON, J.R; McPHERSON, E.G. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. Energy and Buildings 25 (1997) 127-137.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. Transferência de Calor e Massa. 4.ed. Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, P J. Transmissão de Calor. Departamento de Engenharia Electromecânica UBI. 2014.

CRUZ, Ricardo W. Capítulo 4 – Carga Térmica- Notas de Aula. 2005.

LUTGENS, F.K.; E.J. TARBUCK, The Atmosphere: an introduction to Meteorology. Prentice Hall, 1989.

CARBINATTI, Leonel A, Conforto Térmico em Telhados. São Paulo: Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2009.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; DE ABREU, Samuel L.; RÜTHER, Ricardo. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 1.ed. São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2006.

< <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em 15 de junho de 2017.

STURDEVANT, N. Reflective roofs return multiple dividends. Building Operating Management, maio 2000.

THEVENARD, D., HADDAD, K. Ground reflectivity in the context of building energy simulation. *Energy and Buildings*, 38, p. 972-980, 2006.

LEVINSON, R., AKBARI, H., REILLY, J. Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *Building and Environment*, vol. 2, issue 7, 2007.

ROSENFELD, A. H.; et al. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings* 22 (1995) p.255-265.

CASTRO, A. P. A. S. Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica. Dissertação de mestrado pela Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, 2005.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina A. Fundamentos da Metodologia Científica. 5.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2003.

DINIZ, Célia R.; SILVA, Iolanda B. Tipos de Métodos e sua Aplicação. Rio Grande do Norte: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. Métodos de Pesquisa. 1.ed. Rio Grande do Sul: Editora da UFRGS, 2009.

<http://www.vidadesilicio.com.br/lm35-sensor-temperatura.html>, acesso em 13 de junho de 2017.

<http://3.bp.blogspot.com/-T9ctawGJoeI/ThcsxDca4pI/AAAAAAAAAtU/4CHtzvmD-7U/s1600/Calculo+carga+termica+ar+cond.PNG> Acesso em 10 de junho de 2017.

<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/Image119.jpg> acesso em 01 de junho de 2017.

<http://3.bp.blogspot.com/-T9ctawGJoeI/ThcsxDca4pI/AAAAAAAAAtU/4CHtzvmD-7U/s1600/Calculo+carga+termica+ar+cond.PNG> Acesso em 10 de junho de 2017.

http://www.forumdaconstrucao.com.br/materias/imagens/00448_02.jpg Acesso em 15 de junho de 2017.

<http://nocmoon.com/wp-content/uploads/2011/05/madeira2-2.jpg> Acesso em 15 de junho de 2017.

<http://d2fvaoyneucth8.cloudfront.net/assets/39551/produtos/10591/parafusoparafusomadeira2.jpg> Acesso em 18 de junho de 2017.

<http://blog.vidadesilicio.com.br/wp-content/uploads/2015/06/LM35.jpg> Acesso em 17 de junho de 2017

http://www.etchpk.net/wp-content/uploads/2016/02/ARDUINO_NANO_03.png Acesso em 18 de junho de 2017.

Carrier HAP <http://www.carriero brasil.com.br/software/hourly-analysis-program>

8 ANEXOS

1-TELHA COR CLARA

Roof Details

Outside Surface Color **Light**
Absorptivity **0,450**
Overall U-Value **2,931** W/(m²-°K)

Roof Layers Details (Inside to Outside)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
HW concrete	100,000	2242,6	0,84	0,05778	224,3
Air space	450,000	0,0	0,00	0,10000	0,0
FIBRO.CIMENTO	6,000	2000,0	0,84	0,00416	12,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
Totals	556,000	-		0,34121	236,3

2-TELHA COR MEDIA

Roof Details

Outside Surface Color **Medium**
Absorptivity **0,675**
Overall U-Value **2,931** W/(m²-°K)

Roof Layers Details (Inside to Outside)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
HW concrete	100,000	2242,6	0,84	0,05778	224,3
Air space	450,000	0,0	0,00	0,10000	0,0
FIBRO.CIMENTO	6,000	2000,0	0,84	0,00416	12,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
Totals	556,000	-		0,34121	236,3

3-TELHA COR ESCURA

Roof Details

Outside Surface Color **Dark**
 Absorptivity **0,900**
 Overall U-Value **2,931** W/(m²·°K)

Roof Layers Details (Inside to Outside)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² ·°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
HW concrete	100,000	2242,6	0,84	0,05778	224,3
Air space	450,000	0,0	0,00	0,10000	0,0
FIBRO.CIMENTO	6,000	2000,0	0,84	0,00416	12,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
Totals	556,000	-		0,34121	236,3

1-ESPAÇO TELHA CLARA

1. General Details:

Floor Area **16,0** m²
 Avg. Ceiling
 Height **3,0** m
 Building
 Weight **341,8** kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space **OFFICE: Reception area**
 Usage
 OA
 Requirement
 1 **2,5** L/s/person
 OA
 Requirement
 2 **0,30** L/(s·m²)
 Space
 Usage **ASHRAE Std 62.1-2007**
 Defaults

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture **Recessed (Unvented)**
 Type
 Wattage **5,00** W/m²
 Ballast
 Multiplier **1,00**
 Schedule **OCUPACIONAL**

2.4. People:

Occupancy **8,0** People

2-ESPAÇO TELHA COR MÉDIA

1. General Details:

Floor Area **16,0** m²
 Avg. Ceiling
 Height **3,0** m
 Building
 Weight **341,8** kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space **OFFICE: Reception area**
 Usage
 OA
 Requirement
 1 **2,5** L/s/person
 OA
 Requirement
 2 **0,30** L/(s·m²)
 Space
 Usage **ASHRAE Std 62.1-2007**
 Defaults

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture **Recessed (Unvented)**
 Type
 Wattage **5,00** W/m²
 Ballast
 Multiplier **1,00**
 Schedule **OCUPACIONAL**

2.4. People:

Occupancy **8,0** People

Activity Level	Seated at Rest	
Sensible	67,4	W/person
Latent	35,2	W/person
Schedule	OCUPACIONAL	

Activity Level	Seated at Rest	
Sensible	67,4	W/person
Latent	35,2	W/person
Schedule	OCUPACIONAL	

2.2. Task Lighting:

Wattage	0,00	W/m ²
Schedule	None	

2.2. Task Lighting:

Wattage	0,00	W/m ²
Schedule	None	

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible	0	W
Schedule	None	
Latent	0	W
Schedule	None	

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible	0	W
Schedule	None	
Latent	0	W
Schedule	None	

2.3. Electrical Equipment:

Wattage	0,0	Watts
Schedule	OCUPACIONAL	

2.3. Electrical Equipment:

Wattage	0,0	Watts
Schedule	OCUPACIONAL	

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
N	16	0	0	0
S	16	0	0	0
E	16	0	0	0
W	16	1	0	0

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
N	16	0	0	0
S	16	0	0	0
E	16	0	0	0
W	16	1	0	0

3.1. Construction Types for Exposure N

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.1. Construction Types for Exposure N

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.3. Construction Types for Exposure E

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.3. Construction Types for Exposure E

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.4. Construction Types for Exposure W

Wall Type **2-PAREDE 140mm**
 1st Window Type **JANELA 1,5x1,0m**
 1st Window Shade Type **BEIRAL 0,8m**

3.4. Construction Types for Exposure W

Wall Type **2-PAREDE 140mm**
 1st Window Type **JANELA 1,5x1,0m**
 1st Window Shade Type **BEIRAL 0,8m**

4. Roofs, Skylights:

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	16	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type	1-TELHA COR CLARA
-----------	--------------------------

5. Infiltration:

Design		
Cooling Design	0,00	L/s
Heating Design	0,00	L/s
Energy Analysis	0,00	L/s

Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type	Slab Floor On Grade	
Floor Area Total Floor	16,0	m ²
U-Value Exposed	0,568	W/(m ² -°K)
Perimeter Edge	0,0	m
Insulation R-Value	0,00	(m ² -°K)/W

7. Partitions:

(No partition data).

3-ESPAÇO TELHA ESCURA

1. General Details:

Floor Area	16,0	m ²
Avg. Ceiling Height	3,0	m
Building Weight	341,8	kg/m ²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage	OFFICE: Reception area	
OA Requirement 1	2,5	L/s/person
OA Requirement 2	0,30	L/(s-m ²)
Space Usage Defaults	ASHRAE Std 62.1-2007	

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type	Recessed (Unvented)	
Wattage	5,00	W/m ²
Ballast Multiplier	1,00	
Schedule	OCUPACIONAL	

2.4. People:

Occupancy	8,0	People
-----------	------------	--------

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	16	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type	2-TELHA COR MEDIA
-----------	--------------------------

5. Infiltration:

Design		
Cooling Design	0,00	L/s
Heating Design	0,00	L/s
Energy Analysis	0,00	L/s

Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type	Slab Floor On Grade	
Floor Area Total Floor	16,0	m ²
U-Value Exposed	0,568	W/(m ² -°K)
Perimeter Edge	0,0	m
Insulation R-Value	0,00	(m ² -°K)/W

7. Partitions:

(No partition data).

Activity Level	Seated at Rest	
Sensible	67,4	W/person
Latent	35,2	W/person
Schedule	OCUPACIONAL	

2.2. Task Lighting:

Wattage	0,00	W/m ²
Schedule	None	

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible	0	W
Schedule	None	
Latent	0	W
Schedule	None	

2.3. Electrical Equipment:

Wattage	0,0	Watts
Schedule	OCUPACIONAL	

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.
N	16	0	0
S	16	0	0
E	16	0	0
W	16	1	0

3.1. Construction Types for Exposure N

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.3. Construction Types for Exposure E

Wall Type **2-PAREDE 140mm**

3.4. Construction Types for Exposure W

Wall Type **2-PAREDE 140mm**
 1st Window Type **JANELA 1,5x1,0m**
 1st Window Shade
 Type **BEIRAL 0,8m**

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	16	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type **3-TELHA COR ESCURA**

5. Infiltration:

Design Cooling **0,00** L/s
 Design Heating **0,00** L/s
 Energy Analysis **0,00** L/s

Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type **Slab Floor On Grade**
 Floor Area **16,0** m²
 Total Floor U-Value **0,568** W/(m²·°K)
 Exposed Perimeter Edge Insulation R-Value **0,00** (m²·°K)/W

7. Partitions:

(No partition data).

Telha de cor clara

Air System Information

Air System Name **1-ESPAÇO TELHA COR CLARA SPLT**
 Equipment Class **AHU**
 Air System Type **SZCAV**

Number of zones **1**
 Floor Area **16,0** m²
 Location **Manaus - 0,4%, Brazil NBR-16401**

Sizing Calculation Information

Zone and Space Sizing Method:

Zone L/s **Sum of space airflow rates**
 Space L/s **Individual peak space loads**

Calculation Months **Jan to Dec**
 Sizing Data **Calculated**

Telha de cor média

Air System Information

Air System Name **2-ESPAÇO TELHA COR MÉDIA SPLT**
 Equipment Class **AHU**
 Air System Type **SZCAV**

Number of zones **1**
 Floor Area **16,0** m²
 Location **Manaus - 0,4%, Brazil NBR-16401**

Sizing Calculation Information

Zone and Space Sizing Method:

Zone L/s **Sum of space airflow rates**
 Space L/s **Individual peak space loads**

Calculation Months **Jan to Dec**
 Sizing Data **Calculated**

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load	5,7	kW
Sensible coil load	4,7	kW
Coil L/s at Nov 1600	393	L/s
Max block L/s	393	L/s
Sum of peak zone L/s	393	L/s
Sensible heat ratio	0,821	
m ² /kW	2,8	
W/m ²	358,0	
Water flow @ 5,6 °K rise	N/A	
Load occurs at	Nov 1600	
OA DB / WB	34,7 / 27,6	°C
Entering DB / WB	25,6 / 19,2	°C
Leaving DB / WB	15,7 / 15,1	°C
Coil ADP	14,6	°C
Bypass Factor	0,100	
Resulting RH	54	%
Design supply temp.	14,4	°C
Zone T-stat Check	0 of 1	OK
Max zone temperature deviation	0,0	°K

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load	6,2	kW
Sensible coil load	5,1	kW
Coil L/s at Nov 1600	430	L/s
Max block L/s	430	L/s
Sum of peak zone L/s	430	L/s
Sensible heat ratio	0,833	
m ² /kW	2,6	
W/m ²	385,2	
Water flow @ 5,6 °K rise	N/A	
Load occurs at	Nov 1600	
OA DB / WB	34,7 / 27,6	°C
Entering DB / WB	25,6 / 19,2	°C
Leaving DB / WB	15,7 / 15,1	°C
Coil ADP	14,6	°C
Bypass Factor	0,100	
Resulting RH	54	%
Design supply temp.	14,4	°C
Zone T-stat Check	0 of 1	OK
Max zone temperature deviation	0,1	°K

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s	393	L/s
Standard L/s	391	L/s
Actual max L/(s-m ²)	24,59	L/(s-m ²)
Fan motor BHP	0,18	BHP
Fan motor kW	0,15	kW
Fan static	200	Pa

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s	430	L/s
Standard L/s	427	L/s
Actual max L/(s-m ²)	26,89	L/(s-m ²)
Fan motor BHP	0,20	BHP
Fan motor kW	0,16	kW
Fan static	200	Pa

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s	25	L/s
L/(s-m ²)	1,55	L/(s-m ²)
L/s/person	3,10	L/s/person

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s	25	L/s
L/(s-m ²)	1,55	L/(s-m ²)
L/s/person	3,10	L/s/person

Telha de cor escura

Air System Information

Air System Name	3-ESPAÇO TELHA ESCURA
Equipment Class	PKG
Air System Type	VERT
	SZCAV
Number of zones	1
Floor Area	16,0 m ²
Location	Manaus - 0,4%, Brazil NBR-16401

Sizing Calculation Information

Zone and Space Sizing Method:

Zone L/s	Sum of space airflow rates
Space L/s	Individual peak space loads
Calculation Months	Jan to Dec
Sizing Data	Calculated

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load	6,6	kW
Sensible coil load	5,6	kW
Coil L/s at Nov 1600	467	L/s
Max block L/s	467	L/s
Sum of peak zone L/s	467	L/s
Sensible heat ratio	0,844	
m ² /kW	2,4	
W/m ²	413,3	
Water flow @ 5,6 °K rise	N/A	
Load occurs at	Nov 1600	
	34,7 /	
OA DB / WB	27,6	°C
	25,6 /	
Entering DB / WB	19,1	°C
	15,6 /	
Leaving DB / WB	15,0	°C
Coil ADP	14,5	°C
Bypass Factor	0,100	
Resulting RH	53	%
Design supply temp.	14,4	°C
Zone T-stat Check	0 of 1	OK
Max zone temperature deviation	0,1	°K

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s	467	L/s
Standard L/s	464	L/s
Actual max L/(s-m ²)	29,19	L/(s-m ²)
Fan motor BHP	0,22	BHP
Fan motor kW	0,17	kW
Fan static	200	Pa

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s	25	L/s
L/(s-m ²)	1,55	L/(s-m ²)
L/s/person	3,10	L/s/person