



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA



PAULO HENRIQUE DOS SANTOS FERREIRA

**O IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAL ISOLANTE NA CARGA TÉRMICA
DE UM AMBIENTE COMERCIAL EM DOURADOS.**

Dourados - MS

2018

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS FERREIRA

**O IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAL ISOLANTE NA CARGA TÉRMICA
DE UM AMBIENTE COMERCIAL EM DOURADOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado a banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa.

Dourados - MS

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F382i Ferreira, Paulo Henrique Dos Santos

O impacto da utilização de material isolante na carga térmica de um ambiente comercial em Dourados. [recurso eletrônico] / Paulo Henrique Dos Santos Ferreira. -- 2018.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Reginaldo Ribeiro de Sousa.

Coorientadores: Antônio Carlos Caetano de Souza, Ramon Eduardo Pereira Silva.

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2018.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Isolamento térmico. 2. Eficiência energética. 3. Carga térmica. 4. Conforto térmico. I. Sousa, Reginaldo Ribeiro De. II. Souza, Antônio Carlos Caetano De. III. Silva, Ramon Eduardo Pereira. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS FERREIRA

**O IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAL ISOLANTE NA CARGA TÉRMICA
DE UM AMBIENTE COMERCIAL EM DOURADOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado a banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa – UFGD
Orientador

Prof. Dr. Antônio Carlos Caetano de Souza – UFGD
Examinador

Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva – UFGD
Examinador

Dourados - MS

2018

“Se você quiser descobrir os segredos do Universo, pense em termos de energia, frequência e vibração.”

(Nikola Tesla)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que tornou possível toda a caminhada até o presente momento, através de todas as pessoas que participaram não apenas da confecção desse trabalho, mas de toda a jornada da faculdade.

Agradecimentos em especial minha tia, Ana Cláudia Lima dos Santos que foi quem me acolheu em casa nessa vinda para o município de Dourados com todo o suporte, apoio e ensinamentos de vida.

Aos professores que sempre foram prestativos dentro ou fora de sala de aula, em especial ao professor Reginaldo Sousa que foi o professor orientador do trabalho sempre demonstrando estar à disposição com paciência e cordialidade. Sem deixar de lado o orientador inicial que foi o professor Áureo Cezar de Lima ao qual tenho muita admiração, entretanto por motivo de escolha de tema, houve a necessidade de nova orientação.

Ao amigo Gabriel Paurosi que se demonstrou presente para auxiliar no levantamento das informações na empresa na qual foi feito o estudo de caso desse trabalho, sempre prestativo em qualquer momento que fosse.

Por último e não menos importante, à todos os funcionários e funcionárias que trabalham nos diversos setores da Universidade Federal da Grande Dourados, são as pessoas que tornaram possível os períodos letivos nesse local que ficará para sempre com muito carinho em minha memória.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Contribuição do trabalho.....	15
1.4 Organização do Trabalho	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Programas de eficiência	17
2.2 Isolante térmico	18
2.3 Noção de conforto térmico.....	19
2.4 Tipologia arquitetônica	20
2.5 Influência das Condições Climáticas no Uso Final de Energia Elétrica.....	21
2.6 Procedimento de cálculo da carga térmica.....	22
2.7 Software utilizado	22
2.8 Estudo de caso.....	23
3. METODOLOGIA	24
3.1 Cálculo da Carga térmica	24
3.2 Condições do ambiente	25
3.3 Cálculo Simplificado.....	25
3.3.1 Calor proveniente das pessoas.....	26
3.3.2 Calor proveniente da iluminação.....	27
3.3.3 Calor proveniente dos equipamentos	27
3.3.4 Calor proveniente de paredes, janelas, piso e cobertura.....	27
3.3.5 Calor proveniente da renovação de ar	34
3.4 Levantamento de dados.....	35
3.5 Cálculo via software.....	36

3.5.1 Descrição do programa.....	37
3.5.2 Dados utilizados	38
4 RESULTADOS	41
4.1 Resultado metodologia simplificada	41
4.2 Resultados da simulação via software.....	44
5. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS.....	49
ANEXO A.....	53
ANEXO B.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação de temperaturas.	25
Tabela 2 - Calor por pessoa em cada ambiente.	26
Tabela 3 - Condição climática ambientes internos.	28
Tabela 4 - Fator solar Rio de Janeiro - RJ / Dourados - MS	30
Tabela 5 - Adicional de temperatura através de insolação.	32
Tabela 6 - Propriedades do ar.	35
Tabela 7 - Levantamento de dados do local onde foi realizado o estudo de caso.	36
Tabela 8 - Diferencial entre resultados.	43
Tabela 9 - Resultados da simulação para o dia frio sem isolante.	44
Tabela 10 - Resultados da simulação para o dia frio com isolante.	45
Tabela 11 - Resultados da simulação para o dia quente sem isolante.	45
Tabela 12 - Resultados da simulação para o dia quente com isolante.	46
Tabela 13 - Comparativo entre métodos.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
HBM	<i>Heat Balance Method</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
L	Leste
M/F	Masculino/Feminino
MS	Mato Grosso do Sul
N	Norte
NBR	Norma Brasileira
NO	Noroeste
O	Oeste
PIR	Poliisocianurato
RJ	Rio de Janeiro
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
RTSM	<i>Radiant Time Series Method</i>
S	Sul
SO	Sudoeste
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU _c	Temperatura de Bulbo Úmido Equivalente
U _R	Umidade Relativa

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
A	Área útil do recinto
$A_{\text{cobertura}}$	Área útil da cobertura
A_{janelas}	Área útil das janelas do recinto
$A_{\text{paredes Ext.}}$	Área útil das paredes externas do ambiente
$A_{\text{paredes Int.}}$	Área útil das paredes internas entre o ambiente a ser condicionado e ambientes não condicionados
A_{piso}	Área útil do piso do ambiente
A_z	Área útil do recinto
h	Hora
K	Kelvin
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
ṁ	Vazão mássica
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
NE	Quantidade de um determinado equipamento no recinto
Np	Número de pessoas no recinto
°C	Graus Celsius
$P_{\text{d(Equipamento)}}$	Calor dissipado por um determinado equipamento
$P_{\text{d(Iluminação)}}$	Calor dissipado por unidade de área para um determinado tipo de lâmpada
$P_{\text{dl(Pessoas)}}$	Parcela de calor latente dissipada por pessoa
$P_{\text{ds(Pessoas)}}$	Parcela de calor sensível dissipada por pessoa
$Q_{\text{l(Pessoas)}}$	Calor latente total liberado por pessoas no recinto
$Q_{\text{l(Ventilação)}}$	Calor latente proveniente da ventilação de ar externo
$Q_{\text{s(Cond. cobertura)}}$	Calor sensível proveniente da condução na cobertura
$Q_{\text{s(Cond. Janelas)}}$	Calor sensível proveniente da condução em janelas
$Q_{\text{s(Cond. Paredes Ext.)}}$	Calor sensível proveniente da condução nas paredes externas
$Q_{\text{s(Cond. Paredes Int.)}}$	Calor sensível proveniente da condução nas paredes internas
$Q_{\text{s(Cond. Piso)}}$	Calor sensível proveniente da condução no piso

$Q_{s(\text{Cond. Piso}^*)}$	Calor sensível proveniente da condução no piso para a sala específica
$Q_{ts(\text{Equipamentos})}$	Calor total sensível liberado pelos equipamentos de um recinto
$Q_{ts(\text{Iluminação})}$	Calor total sensível liberado pelo sistema de iluminação
$Q_s(\text{Ins. cobertura})$	Calor sensível proveniente da insolação na cobertura
$Q_s(\text{Ins. Paredes Ext.})$	Calor sensível proveniente da insolação nas paredes externas
$Q_s(\text{Ins. Janelas})$	Calor sensível total proveniente da insolação nas janelas
$Q_t(\text{Pessoas})$	Calor total liberado por pessoas no recinto
$Q_s(\text{Ventilação})$	Calor sensível proveniente da ventilação de ar externo
s	Segundo
$U_{\text{cobertura}}$	Transmitância térmica total da cobertura
U_{Janelas}	Coefficiente de transmitância de calor para janelas de vidro
$U_{\text{máx}}(\text{Janelas})$	Quantidade de calor transferido por área de vidro para uma determinada região, chamado também de Fator Solar
U_{paredes}	Coefficiente de transmitância de calor da parede
U_{piso}	Transmitância térmica do piso (laje 15cm)
V_{ef}	Vazão eficaz de ventilação
W	Watts
Δh	Varição de entalpia
ΔT	Gradiente de temperatura entre temperatura externa e do ambiente
ente	condicionado
$\Delta T'$	Acréscimo de temperatura devido à insolação
ΔT_i	Gradiente de temperatura entre a temperatura do ambiente condicionado e ambientes não condicionado
ΔT_p	Gradiente de temperatura entre o ambiente condicionado e o solo
λ	Condutividade térmica
ρ	Massa específica do ar

RESUMO

O presente trabalho apresenta características dos escritórios e laboratórios da empresa Paurodiesel e seu respectivo estudo de carga térmica, efetuando a comparação de diferentes materiais construtivos. Com um objetivo de estudo de caso no qual são comparados resultados analíticos e resultados de simulação numérica computacional, além da análise entre resultados comparando a diferença de consumo energético para alcançar o conforto térmico. Apresentando como metodologia simplificada de cálculo, o trabalho é baseado na norma NBR 15220 da ABNT e no livro “*Instalações de Ar Condicionado*”, 6ª edição, de Hélio Creder (2004), sendo os cálculos efetuados através do software *MS Office Excel™*, sendo a segunda metodologia feita através da simulação pelo software *HVAC Load Explorer*, programa desenvolvido para este propósito. O estudo se baseia em relatórios que apresentam simulações práticas em trabalho de campo em que apresentam resultados da ordem de 43 à 81% de diferença no consumo de energia, variando de acordo com o comparativo de normas (SPINELLI, MOTTIN, *et al.*, 2018). Efetuando o cálculo para dois diferentes dias, sendo o dia mais frio e o dia mais quente do ano de 2017, respectivamente, foi possível analisar através da metodologia baseada na literatura que é um cálculo simplificado, resultados com variação percentual total de 21 e 37% de carga térmica, que posteriormente reflete no consumo de energia elétrica destinada a climatização do ambiente.

Palavras-chave: Isolamento Térmico; Eficiência Energética; Carga Térmica; Conforto Térmico.

ABSTRACT

The present work presents specifications of the offices and laboratories of the company Paurodiesel and its respective study of thermal load, comparing different construction materials. With an objective of a case study in which are compared analytical results and results of numerical computational simulation, besides the analysis between results comparing the difference of energy consumption to reach the thermal comfort. Presented as a simplified calculation methodology, the work is based on the ABNT standard NBR 15220 and on the book "Air Conditioning Installations", 6th edition, by Hélio Creder (2004), and the calculations are done through MS Office Excel TM software, being the second methodology made through the simulation by the software HVAC Load Explorer, program developed for this purpose. The study is based on reports that present practical simulations in field work in which they present results of the order of 43 to 81% difference in energy consumption, varying according to the comparative standards (SPINELLI, MOTTIN, *et al.*, 2018). Calculating for two different days, being the coldest day and the hottest day of 2017, respectively, it was possible to analyze through the methodology based on the literature that is a simplified calculation, results with total percentage variation of 21 and 37% of thermal load, which later reflects on the consumption of electric energy destined to climatize the environment.

Keywords: Thermal insulation; Energy Efficiency; Thermal load; Thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da energia marcou as diferentes formas de civilização humana desde a pré-história até os dias de hoje (PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2011). O que começou com o aproveitamento da energia provida dos alimentos para o sustento e dos ventos para locomoção de embarcações, evoluiu para a utilização ampla da energia elétrica que utilizamos em praticamente tudo e a todo o tempo no cotidiano. A utilização hoje faz parte da vida do homem do campo e da vida nas cidades. No âmbito, urbano o consumo da energia é realizado por diversos fatores como iluminação, entretenimento, conforto térmico, conservação de alimentos, trabalho e muitos outros.

Somados, os setores residencial, comercial e público tiveram um consumo 235.837 GWh, representando 51,2% do total da energia elétrica consumida no Brasil (EPE, 2017) Dentro dessa temática, as instalações de ar-condicionado em edificações residenciais são responsáveis por 2 a 16% do consumo energético (FEDRIGO, GONÇALVES e LUCAS, 2009); em edificações comerciais e públicas são responsáveis, respectivamente, pelo consumo de 47 e 48% da energia elétrica total da edificação (SPINELLI, MOTTIN, *et al.*, 2018).

O uso consolidado da alvenaria e da arquitetura em vidro, muito utilizadas em prédios comerciais, acabam criando situações semelhantes ao efeito estufa pela incidência dos raios solares que entram e acumulam calor no interior da edificação. Não há preocupação com clima de cada região, visto que há a opção da climatização artificial. O trabalho aqui apresentado tem como finalidade analisar o material construtivo de um edifício, procurando visualizar o impacto na carga térmica e conhecer o consumo correspondente dos equipamentos. Sabendo que as parcelas responsáveis são telhados, paredes e até mesmo pisos. São feitos comparativos com diferentes materiais e espessuras de telhas e painéis que são opções alternativas para a substituição da alvenaria.

1.1 Problema

Em grande parte das situações, a fase de planejamento do edifício não leva em consideração a eficiência energética, visto que os aspectos que mais são levados em consideração são a parte estrutural e a arquitetura da construção. No quesito energético o estudo que é feito

é para dimensionamento e estudo da quantidade de aparelhos climatizadores de ar que são necessários, muitas vezes sem a busca de uma construção eficiente.

O estudo dos diferentes materiais são feitos com base em análises e comparações de valores para os aspectos relacionados à transferência de calor através da radiação e condutibilidade térmica. Estudos estruturais e orçamento de obra não são comentados por não ser o foco do trabalho.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo central deste trabalho é analisar os valores correspondentes às diferentes fontes de calor proveniente de pessoas, equipamentos, diferença de temperatura entre ambientes, incidência solar e trocas de ar. Com isso, verificar o quanto pode-se reduzir a quantidade de calor que deverá ser retirada no dia mais quente ou adicionada no dia mais frio ao ambiente por meio de equipamentos climatizadores para manter o conforto térmico no edifício, analisando o material construtivo e atestando por meios analíticos o impacto percentual no consumo de energia elétrica destinada a climatização.

1.2.2 Objetivos específicos

Com finalidade de alcançar conclusões concretas, será fundamental estabelecer objetivos específicos para consolidar as posições escolhidas para ser abordadas neste trabalho. Desta forma, o trabalho contemplará os seguintes objetivos:

- Abordar uma metodologia de cálculo para analisar o estudo de caso, baseando-se na literatura através do livro “*Instalações de Ar Condicionado*”, 6ª edição, de Hélio Creder (2004), e a apostila “*Eng176 refrigeração e ar condicionado – Parte I*” de Marcelo José Pirani.
- Simulação efetuada no software *HVAC Load Explorer*;
- Realizar o comparativo a partir de um estudo de caso de um edifício comercial, diferentes hipóteses no aspecto construtivo;
- Verificar o impacto econômico que as possíveis mudanças na fase de projeto poderiam trazer no contexto atual.

1.3 Contribuição do trabalho

O avanço tecnológico traz facilidades e acaba sendo cada vez maior o número de equipamentos e consumo elétrico, mesmo que os equipamentos sejam cada vez mais eficientes, faz-se necessário o uso consciente, nesse aspecto, buscar as melhores condições pode trazer impactos relevantes no conjunto final.

Pesquisas no tema são realizadas com a finalidade de manter o ambiente aquecido e talvez por esse motivo, não há fiscalização ou restrição para novas construções, mesmo que hajam programas que incentivem a construção de casas mais eficientes através de programas do governo.

A legislação brasileira em relação ao desempenho térmico de edificações metodologia de cálculo apresenta algumas normativas, como exemplo, pode-se citar: NBR 16401 - instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários, NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações e a NBR 15575 – Edificações habitacionais: Desempenho. Essa última apresentando recomendações para os elementos da envoltória da edificação, como a transmitância térmica (U) mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática do território brasileiro, atreladas às estratégias para obtenção de conforto térmico.

O Brasil está inserido no grupo de países que classificam a eficiência energética das suas edificações através do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações – RTQ. Sendo classificado em RTQ-C para Edificações comerciais, de serviço e públicas e RTQ-R para edificações residenciais.

O presente trabalho contribui com as pesquisas no setor de redução de consumo elétrico destinado à climatização, através do comparativo entre materiais disponíveis no mercado e o impacto dos mesmos quando utilizados na construção do edifício. Por uma situação de venda as empresas apresentam resultados esperados em seu produto, mas não são disponibilizados os métodos e condições de análise nas quais o material é submetido.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado em cinco capítulos.

No primeiro a introdução, é apresentado o cenário de consumo de energia elétrica correspondente à refrigeração, objetivos do trabalho, a contribuição ao realizar o estudo comparativo entre diferentes materiais construtivos e seu impacto na carga térmica da edificação.

No segundo capítulo é apresentada uma breve fundamentação teórica, apresentando os conceitos fundamentais para melhor compreensão do trabalho, bem como os diferentes métodos utilizados e o local no qual foi levantado o estudo de caso.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia utilizada para realizar o cálculo de carga térmica pelo método simplificado e uma explicação sobre o software utilizado.

O capítulo no qual são apresentados os resultados obtidos através da metodologia é o quarto e a diferença percentual entre os diferentes materiais construtivos. Neste capítulo encontra-se também um comparativo da diferença entre os diferentes métodos utilizados.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões finais deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Programas de eficiência

As edificações têm como aspecto essencial o conforto e a comodidade para os usuários, para que possam realizar tarefas com mais eficiência e agilidade, sem deixar de lado a preferência pelo baixo consumo de energia.

Os sistemas condicionadores de ar são necessários para superar as cargas de calor nas edificações, a fim de manter condições de conforto aceitáveis dentro do ambiente. Os sistemas devem fornecer aquecimento para superar as perdas de calor e resfriamento para superar os ganhos de calor, sendo que esses ganhos e perdas estão relacionados tanto com a carga interna, quanto com a carga externa (CARLO, 2008).

A carga interna é a resultante entre a somatória da energia térmica das pessoas, da iluminação e dos equipamentos que liberam calor no interior do ambiente, e os ganhos ou perdas externas devido a trocas de calor por condução e radiação. Considerando que os ganhos internos são desejáveis para o tempo frio e os ganhos externos são incômodos nos dias quentes, a envol-tória possui grande influência no resultado final.

Posteriormente à crise do petróleo e o conhecimento de que é um recurso fóssil, na década de 1970, houve um aumento na preocupação com a eficiência energética no mundo todo. Isso se deve a sua importância no aspecto energético em geral. Com isso, surgiram ações voltadas à conservação do petróleo juntamente com o uso eficiente de seus derivados (MME, 2011).

Assim, foram criados diversos programas de eficiência energética, incentivando o uso eficiente da energia elétrica. Tendo isso em vista, houve a criação de normas regulamentadoras em todo o mundo, como a mais conhecida mundialmente, a Standard 90 de 1975 – *Energy Conservation in New Building Design* (CARLO, 2008). O impulso à redução do consumo e a maior eficiência da energia elétrica no Brasil parte de programas governamentais, sendo que estes programas são destinados desde a geração até o usuário final (SANTOS e SOUZA, 2012).

2.2 Isolante térmico

Existe uma dificuldade em saber exatamente as origens do isolamento térmico, sendo que as primeiras experiências provavelmente denotam da necessidade quanto às variações climáticas. Inicialmente, os materiais orgânicos como peles de animais e penas de aves eram usados como capas que auxiliavam no conforto térmico individual. Segundo Bynum (2000), em construções houve a utilização de materiais específicos, como por exemplo, utilização de terra como material de construção, o amianto e a utilização da cortiça nos telhados como isolante.

A produção em grande escala de equipamento isolantes, como o amianto e a fibra de vidro, iniciou-se após a Primeira Guerra Mundial pela companhia americana *Owens-Corning*. O desenvolvimento de superfícies reflexivas como o alumínio data do século XIX, porém com comercialização em massa a partir da década de 1930. Mais tarde, após a década de 1970, com a crise energética e com a disparada do preço do petróleo, incitou-se uma grande sensibilidade por parte da população em geral com relação às questões de eficiência energética e, dessa maneira, da necessidade de isolamento térmico das edificações como meio conservador de energia, sendo uma medida adotada para fins econômicos. (THOMAZ e ISHIOKA, 2010)

Os materiais de isolamento térmico podem ser classificados segundo diferentes tipos de critérios, por exemplo, quanto à sua natureza, os isolantes térmicos podem ser classificados como materiais de natureza mineral, sintética, vegetal e animal.

A Condutibilidade é uma propriedade térmica de um material homogêneo que corresponde à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. A condutibilidade térmica dos materiais isolantes térmicos mais comumente utilizados variam de aproximadamente 0,03 à 0,055 W/m².K (SILVA, 2013).

Existem muitos outros fatores que são determinantes para as diversas classificações de um isolante térmico, por exemplo: reação ao fogo, tempo de vida útil, resistência à difusão de vapor d'água, análise do ciclo de vida (parâmetro que permite quantificar o impacto ambiental de um material, desde a extração da matéria prima até a colocação do material final), custo, reciclabilidade, etc.

O material a ser utilizado em questão será o Poliisocianurato (PIR), que apresenta, segundo o fabricante, uma condutibilidade térmica de $0,020 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Apresentando valor abaixo do melhor isolante catalogado pela NBR 15220, sendo a espuma rígida de poliuretano o isolante com menor valor de condutibilidade correspondente a $0,030 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Os painéis não são adicionais para as paredes, mas sim uma substituição completa. Da mesma maneira, as telhas térmicas não necessitam de uma cobertura pré-existente. Estudos mais detalhados podem indicar a viabilidade de substituição do conjunto paredes e cobertura ou apenas a cobertura da edificação.

2.3 Noção de conforto térmico

O conforto térmico é definido pela sensação térmica expressa por pessoas sujeitas a essa avaliação, ou seja, define-se como

"a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico" (ASHRAE 55, 2010). Com uma análise crítica da referência ao carácter psicológico dessa definição, "...condição da mente...", percebe-se que um possível estado de conforto térmico por parte de um indivíduo é não só influenciado por um conjunto de fatores físicos que determinam as trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente, mas também por fatores de carácter psicológico.

Este aspeto explica, de certo modo, o fato de não existirem métodos de avaliação de conforto térmico perfeitos. Considera-se por isso normal, que num grupo de indivíduos quando sujeitos a uma avaliação de conforto térmico num mesmo ambiente, ao mesmo tempo, alguns deles possam estar insatisfeitos com as condições térmicas do mesmo (NICOL, HUMPHREYS, *et al.*, 1995).

Fanger (1970) através dos estudos realizados em câmaras climatizadas conclui que um determinado indivíduo está em conforto térmico:

- Se estiver em neutralidade térmica, que segundo Fanger, é "a situação onde uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente em que está";

- Se possuir uma temperatura da pele e uma taxa de secreção de suor dentro dos limites compatíveis com a atividade exercida;

- Se não sentir qualquer desconforto térmico localizado, como sensação do piso quente ou frio, diferenças de temperatura na vertical, correntes de ar ou assimetria da temperatura radiante.

2.4 Tipologia arquitetônica

A tipologia arquitetônica auxilia com soluções simples, mas com resultados positivos para a sustentabilidade do planeta evitando mudanças climáticas e escassez de água, pois o consumo de energia elétrica está diretamente relacionada à eficiência energética de uma edificação, sem deixar de se preocupar com o conforto térmico, a iluminação e racionalização do uso da água.

Pequenos cuidados no projeto do edifício podem combater o desperdício de energia elétrica. Uma edificação é mais eficiente energeticamente que outra, quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto com menor consumo de energia (PAPST, GHISI, *et al.*, 2005).

A iluminação artificial com auxílio da luz natural pode melhorar a eficiência energética, principalmente se as projeções das janelas e suas dimensões forem ideais. Em um edifício, as janelas podem ser responsáveis por grande parte da troca de calor entre o meio externo e interno. “Janelas amplas podem proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e melhor vista para o exterior, mas também podem permitir maiores ganhos ou perdas de calor, o que refletirá no consumo de energia de edificações condicionadas artificialmente” (GHISI, TINKER e IBRAHIM, 2005).

A perda de eficiência e alto consumo de energia em alguns edifícios de escritórios no município de Brasília-DF, por exemplo, é causada por projetos elaborados preocupados apenas com as questões urbanísticas e arquitetônicas, visando à beleza da edificação, deixando de lado fatores importantes como o clima da cidade. É comum em muitas cidades a utilização de amplas superfícies de vidro, provocando o efeito estufa no interior das edificações. Este comportamento

umenta a necessidade do uso de condicionadores de ar, gerando alto gasto de energia elétrica e insalubridade dos ambientes (MACIEL, 2002).

A cobertura é o principal meio para reduzir a transmitância térmica da radiação solar transmitida para o interior da edificação. O desempenho térmico da cobertura depende do material utilizado e do aspecto construtivo. A condutividade térmica e a espessura do material definem o fluxo de calor que passa através da cobertura determinando a quantidade de calor armazenado nela e posteriormente liberado para o ambiente. Além disso, a quantidade de radiação solar incidente em uma edificação pode ser diminuída com a presença de prédios vizinhos ou vegetação que ocasionam sombra na edificação (LAMBERTS, 1989).

Telhados sem forros irradiam todo o seu calor para o ambiente interno. Os forros agem como blindagem térmica, isolando o ambiente tanto do frio como do calor externo (VITTORINO, SATO e AKUTSU, 2003).

Neste item foi possível verificar de que maneira a arquitetura influencia indiretamente o consumo de energia elétrica. A escolha do material construtivo e a presença de forro, janelas bem dimensionadas, a vizinhança com árvores e outros edifícios são exemplos de como construir visando uma maior eficiência energética.

2.5 Influência das Condições Climáticas no Uso Final de Energia Elétrica

As condições climáticas influenciam diretamente no consumo de energia elétrica. Edificações projetadas para receber boa ventilação e proteção da radiação térmica, além de proporcionar maior conforto reduzem o consumo de energia elétrica (CARDOSO, 2006).

O consumo de energia elétrica de chuveiro e ar condicionado é sensível às condições climáticas. Esta pesquisa, referente ao período de 1997 a 1999, revelou que o consumo de energia elétrica, no verão, de ar condicionado representa 16% do consumo total de uma residência, enquanto no inverno correspondeu a 2%. Já o chuveiro foi responsável por 18% do consumo total no verão e 22% no inverno. Ao correlacionar a latitude com o uso final de chuveiro elétrico notou-se que quanto menor a latitude (temperaturas mais baixas) maior o consumo de energia elétrica deste equipamento. O ar condicionado atuou inversamente, quanto maior a latitude maior o consumo (GHISI, 2007).

2.6 Procedimento de cálculo da carga térmica

A determinação da carga térmica, independente da metodologia utilizada necessita de parâmetros e procedimento para efetuar os cálculos. Nesse trabalho duas metodologias serão abordadas, sendo a primeira uma metodologia simplificada abordada no material de Hélio Creder, através do livro “Instalações de Ar-Condicionado”, 6ª edição e com considerações encontradas no material “*Eng176 refrigeração e ar condicionado – Parte I*” de Marcelo José Pirani. Haverá adiante a metodologia descrita de maneira mais aprofundada sobre cada etapa do cálculo, com as devidas considerações feitas e será esse o parâmetro utilizado para efetuar as comparações percentuais destacadas para a diferença entre os materiais construtivos utilizados na construção e os propostos como isolantes.

Carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente ou taxa de fluxo de calor que deve ser acrescentada ou retirada do recinto a fim de proporcionar condições de conforto desejadas, as unidades geralmente são expressas em BTU/h, kcal/h ou W que será a utilizada no presente trabalho. (CREDER, 2004)

O calor sensível é a parcela que promove a variação de temperatura, enquanto o calor latente represente a quantidade de calor necessária para mudança de estado físico da matéria e, dessa maneira, afetando a umidade do ambiente (PIRANI, 2004). Os meios para introduzir carga térmica no recinto são, por exemplo, condução, insolação, equipamentos, pessoas, iluminação, ventilação de ar e entre outros.

De maneira análoga à eletricidade e aos circuitos elétricos, a carga térmica ou fluxo de calor seria a corrente elétrica, a diferença de temperatura seria a tensão ou diferença de potencial e as resistências são qualquer elemento que venha a dificultar a passagem do fluxo de calor ou corrente.

2.7 Software utilizado

Como citado anteriormente, o software utilizado será o *HVAC Load Explorer* na versão 1.1.3. Esse programa foi desenvolvido pelo Prof. J.D. Spitler, da *Oklahoma State University*, e é uma ferramenta desenvolvida com o propósito o cálculo de carga térmica em edificações. O software usa o método de cálculo *RTSM (Radiant Time Series Method)*, que é considerado uma

simplificação do método *HBM* (*Heat Balance Method*), suas diferenças e especificações serão citadas ainda nesse trabalho.

A simplificação de método permite efetuar os cálculos sequencialmente, sem realizar métodos iterativos. De maneira resumida o que ocorre é o cálculo dos ganhos de calor e depois o cálculo da carga térmica.

2.8 Estudo de caso

Os dados referentes do trabalho são correspondentes aos escritórios e estrutura interna da empresa *Paurodiesel Bombas Injetoras*, situada na rua Hayel Bon Faker, nº 800, bairro Jardim Água Boa, no município de Dourados – MS. O edifício (Figura 1) foi inaugurado no ano de 1989. Os dados climáticos e de local foram utilizados os mesmos referentes ao município de Dourados, sendo latitude 22° 13' 16" S, longitude 54° 48' 20" W e altitude 430m.

Figura 1 - Foto da fachada da empresa em questão.



Fonte: Autor.

3. METODOLOGIA

3.1 Cálculo da Carga térmica

O conforto térmico dos seres humanos, como citado anteriormente é fundamental para a saúde e bem estar, resultando em melhor desempenho nas atividades realizadas. Para isso, uma certa quantidade de calor deve ser retirada ou colocada no ambiente. Esta quantidade é chamada de carga térmica (CREDER, 2004).

A carga térmica total de um ambiente é composta tanto pelo calor sensível, quanto pelo calor latente. Sendo o calor sensível é aquele que promove a variação de temperatura, enquanto o calor latente refere-se a mudança de fase do vapor d'água presente no ambiente, afetando, dessa forma, a umidade do ambiente. Entretanto, a maioria das fontes de calor que contribuem com a carga térmica liberam apenas calor sensível. Sendo assim os únicos responsáveis pelo calor latente liberado, mesmo que de forma parcial, são as pessoas, alguns equipamentos específicos e paredes com característica permeável (PIRANI, 2004).

De acordo com Pena (2002), uma maneira comum para efetuar o cálculo da carga térmica de uma edificação é separar a origem sendo as externas: a insolação nas janelas, a o gradiente de temperatura exterior/interior nas superfícies externas e o insuflamento ou infiltração de ar exterior. E as cargas internas, em contrapartida, incluem: pessoas, equipamentos em geral, iluminação e possível gradiente de temperatura entre superfícies internas.

Portanto, dados referentes a localização da edificação, condições externas, dimensões físicas, e informações referentes as fontes internas de calor, serão dados fixos, enquanto os dados dos materiais utilizados serão variados para os diferentes cálculos da carga térmica.

Neste trabalho, para critérios de comparação, foram utilizadas duas metodologias distintas para o cálculo: a primeira por meio de fórmulas e considerações, baseando-se na norma NBR 16401 da ABNT e na literatura (cálculo simplificado), e a segunda através de um software indicado para este propósito (calculado via software).

3.2 Condições do ambiente

Os dados climáticos e geográficos do município de Dourados (Latitude: 22° 13' 16" S, Longitude: 54° 48' 20" W) utilizados para o cálculo da carga térmica foram retirados de (EMBRAPA, 2018) em sua plataforma aberta Guia Clima e do site geografos.com.br, respectivamente (Tabela 1). Os dados de temperatura são do dia de maior e menor temperaturas médias para efetuar uma análise da carga térmica em duas condições opostas, sendo o dia 10 de junho de 2017 o dia de temperatura média mais baixa (média diária 11,1°C) e o dia 14 de setembro de 2017 o dia de temperatura média mais alta (média diária de 31,8°C).

Tabela 1 - Variação de temperaturas.

10/06/2017		14/09/2017	
Hora	T (°C)	Hora	T (°C)
07:00	4,9	07:00	23,8
08:00	7,6	08:00	26,9
09:00	9,8	09:00	29,6
10:00	12,4	10:00	31,8
11:00	14,4	11:00	33,5
12:00	15,8	12:00	35,9
13:00	17,3	13:00	36,9
14:00	18,7	14:00	36,9
15:00	18,8	15:00	36,4
16:00	18,8	16:00	35,8
17:00	17,5	17:00	34,4
Média	14,2	Média	32,9

Fonte: Adaptado de Guia Clima, 2017.

3.3 Cálculo Simplificado

O cálculo simplificado refere-se ao cálculo de carga térmica realizado por meio de fórmulas simples e considerações provenientes da norma NBR 16401 (Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários) da ABNT e da literatura, tomando como base principal, do livro “Instalações de Ar-Condicionado”, 6ª edição, de Hélio Creder.

A metodologia em questão busca analisar a carga térmica total necessária a ser adicionada ou retirada do ambiente por meios artificiais comparando esse valor quando há e quando não há a utilização do material isolante térmico, nos diferentes extremos em que a edificação pode se encontrar seja no dia mais frio ou no dia mais quente.

O cálculo da carga térmica é realizado, a princípio, por ambiente, para que ao final sejam somados os valores encontrados para a obtenção a carga térmica total de uma determinada zona ou da edificação como um todo.

Como previamente mencionado, diversas são as fontes que contabilizam para a carga térmica total de um ambiente. Os detalhes de cada fonte de calor são detalhados a seguir.

3.3.1 Calor proveniente das pessoas

O cálculo do calor liberado pelo corpo humano, é dividido por nível da atividade e em consulta a dados contidos na Tabela C.1 da NBR 16401-1 da ABNT de 2008.

Para o estudo em questão, nos diferentes ambientes, ao considerar os ambientes de escritório, foram utilizados os valores referentes a “atividade moderada em trabalhos de escritório”, já para os itens restantes foram utilizados os valores referentes a “trabalho leve em máquina operatriz”, ambos para a condição “Ajustado M/F” na qual considera-se uma mistura entre homens e mulheres. Os valores estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Calor por pessoa em cada ambiente.

	Calor liberado [W/pessoa]	
	Escritórios	Demais ambientes
Sensível	75	110
Latente	55	185
Total	130	295

Fonte: Adaptado de ABNT, 2018.

As parcelas de calor sensível e latente proveniente das pessoas no recinto são representadas pelas equações (1) e (2).

$$Q_{s(pessoas)} = Np \cdot P_{ds(pessoa)} \quad (1)$$

$$Q_{l(pessoas)} = Np \cdot P_{dl(pessoa)} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{s(pessoas)}$ = Calor sensível liberado por pessoas no ambiente [W];

$Q_{l(pessoas)}$ = Calor latente total liberado por pessoas no recinto [W];

$P_{ds(pessoa)}$ = Parcela de calor sensível dissipada por pessoa [W/pessoa];

$P_{dl(pessoa)}$ = Parcela de calor latente dissipada por pessoa [W/pessoa].

Sendo a parcela total das pessoas representada pela equação (3), respectivamente.

$$Q_{t(pessoas)} = Q_{s(pessoas)} + Q_{l(pessoas)} \quad (3)$$

3.3.2 Calor proveniente da iluminação

As lâmpadas utilizadas no ambiente são do tipo fluorescente tubular e, de acordo com pesquisas, apresentam uma dissipação térmica média de 16W/m^2 . Com isso, através da equação (4) é possível determinar a potência dissipada no ambiente.

$$Q_s(\text{iluminação}) = A * P_d(\text{iluminação}) \quad (4)$$

Onde:

$Q_s(\text{iluminação})$ = Calor total sensível liberado pelo sistema de iluminação [W];

A = Área útil do recinto [m^2];

$P_d(\text{iluminação})$ = Calor dissipado por unidade de área para um determinado tipo de lâmpada [W/m^2].

3.3.3 Calor proveniente dos equipamentos

A dissipação de calor de equipamentos comumente utilizados no recinto, como computadores, impressoras e alguns outros equipamentos mais comuns foram retirados de valores dispostos nas Tabelas C.3, C.4, C.8 e C.10 da NBR 16401-1 da ABNT (2008), onde podem ser encontrados valores médios do calor dissipado por esses equipamentos. Dessa maneira, a fórmula que representa a parcela de calor proveniente dos equipamentos é dada por:

$$Q_s(\text{equipamentos}) = \Sigma(NE \cdot P_d(\text{Equipamento})) \quad (5)$$

Onde:

$Q_s(\text{Equipamentos})$ = Calor total sensível liberado pelos equipamentos de um recinto [W];

NE = Quantidade de um determinado equipamento no recinto [-];

$P_d(\text{Equipamento})$ = Calor dissipado por um determinado equipamento [W].

Para encontrar um valor condizente, o cálculo leva em consideração a operação de todos os equipamentos operando simultaneamente, afim de verificar qual é o mais alto valor de carga térmica que esta parcela representa.

3.3.4 Calor proveniente de paredes, janelas, piso e cobertura

Este item apresenta maior complexidade com relação aos cálculos anteriores pelo fato de que o calor que atravessa as paredes externas levarem em consideração a incidência solar,

que por sua parte apresenta uma parcela de radiação solar nas superfícies. Além do fato de que a incidência solar varia com relação a localização da instalação no planeta, da direção na qual a superfície está voltada e também nos diferentes horários.

A metodologia de cálculo referentes as superfícies externas é a mesma proposta por Creder (2004). Na qual as equações propostas levam em consideração o gradiente de temperatura entre ambiente interno e externo. Os valores utilizados como referência de temperatura de bulbo seco e umidade relativa estão dispostas na NBR-16401 da ABNT, os valores padrões são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Condição climática ambientes internos.

Valores de Referência	
Tbs. Interna	24°C
Umidade relativa (UR)	50%

Fonte: Adaptado de ABNT, 2018.

Desta forma, os gradientes de temperatura são obtidos pela diferença entre a temperatura de bulbo seco da região e a temperatura de bulbo seco interna apresentada na Tabela 3. Todavia, ao trabalhar com o fator insolação direta em uma superfície, algumas considerações devem ser realizadas, bem como haverão diferentes dados para a envoltória através dos diferentes materiais construtivos utilizados (isolantes e não isolantes). Os dados pertinentes as áreas das paredes e janelas da edificação, bem como suas respectivas orientações geográficas, podem ser consultadas na tabela 7.

➤ **Janelas**

- Calor por condução

A seguinte equação é utilizada por Creder (2004) para descrever o ganho de calor através de superfícies translúcidas:

$$Q_{s(Cond.Janelas)} = U_{Janelas} \cdot A_{Janelas} \cdot \Delta T \quad (6)$$

Onde:

$Q_{s(Cond.Janelas)}$ = Calor sensível proveniente da condução em janelas [W];

$U_{Janelas}$ = Coeficiente de transmitância de calor para janelas de vidro [W/m²-K];

$A_{Janelas}$ = Área útil das janelas do recinto [m²];

ΔT = Gradiente de temperatura entre temperatura externa e do ambiente condicionado [K].

O valor utilizado como transmitância térmica dos vidros das janelas são baseados no livro de Creder (2004), que fornece um valor médio para vidros simples ($U_{Janelas} = 6,024 \text{ W/m}^2\text{K}$).

- Calor por isolamento

O equacionamento utilizado por Creder (2004) será o método para cálculo do calor proveniente da insolação solar:

$$Q_{s(Ins.Janelas)} = U_{m\acute{a}x(Janelas)} \cdot A_{Janelas} \quad (7)$$

Onde:

$Q_{s(Ins.Janelas)}$ = Calor sensível total proveniente da insolação nas janelas [W];

$U_{m\acute{a}x(Janelas)}$ = Quantidade de calor transferido por área de vidro para uma determinada região, chamado também de Fator Solar [W/m^2];

Por tratar de valores experimentais e tabelados, os valores correspondentes a $U_{m\acute{a}x}$ variam tanto de acordo com a época do ano quanto com a localização geográfica. Em seu livro, Creder (2004) apresenta valores para a cidade do Rio de Janeiro. Todavia, utilizando fatores de conversão propostos por Pirani (2004). O que faz com que seja possível uma melhor aproximação para o município de Dourados-MS, cidade onde encontra-se o prédio objeto de estudo.

Na Tabela 4 são apresentados os valores utilizados no projeto, retirados do livro de Creder e os valores já corrigidos, para diferentes datas e horários e orientações geográficas na cidade de Dourados – MS, nas diferentes situações do estudo de caso.

Tabela 4 - Fator solar Rio de Janeiro - RJ / Dourados - MS

Orientação	U _{max} - Vidros (W/m ²)			
	Junho		Setembro	
	Rio de Janeiro - RJ	Dourados - MS	Rio de Janeiro - RJ	Dourados - MS
Sul	34,9	38,4	44,1	48,5
Sudeste	34,9	38,4	296,4	325,7
Leste	379,2	416,7	532,9	585,7
Nordeste	543,1	596,9	485,6	533,7
Norte	457,1	502,4	264,9	291,1
Noroeste	79,1	86,9	485,6	533,7
Oeste	38,4	42,2	510,8	561,4
Sudoeste	38,4	42,2	261,7	287,6
Claraboia	372,2	409	737,9	811

Fonte: Adaptado de CREDER, 2004; PIRANI, 2004.

Segundo Creder (2004), deve-se efetuar uma correção, quando necessária. Ao tratar do estudo de caso em questão, são acrescentados dois fatores como variáveis:

- Presença de proteção externa: 0,2
- Esquadria metálica: 1,15

Sendo assim, para o este estudo, a equação pode ser reescrita através da equação (8).

$$Q_{s(Ins.Janelas)} = U_{m\acute{a}x(Janelas)} \cdot A_{Janelas} \cdot (0,2) \cdot (1,15) \quad (8)$$

➤ *Paredes externas*

Seguindo o raciocínio e metodologia das janelas, a realização dos cálculos para paredes externas é representado por uma parcela proveniente da condução pelo gradiente de temperatura também da insolação solar direta na parede. Dessa maneira, o cálculo será realizado separadamente.

- Calor por condução

O cálculo da transferência de calor por condução nas paredes externas é similar a equação (6), utilizada para as janelas. Sendo assim:

$$Q_{s(Cond.Paredes Ext.)} = U_{Paredes} \cdot A_{Paredes Ext.} \cdot \Delta T \quad (9)$$

Onde:

$Q_{s(Cond. Paredes Ext.)}$ = Calor sensível proveniente da condução nas paredes externas [W];

$U_{Paredes}$ = Coeficiente de transmitância de calor da parede [$W/m^2 \cdot K$];

$A_{Paredes Ext.}$ = Área útil das paredes externas do ambiente [m^2];

Os diferentes coeficientes de transmitância de calor para diferentes configurações de parede pode ser obtido através da Tabela D.3 da norma NBR 15220 da ABNT (2003), imagens da Tabela D.3 encontram-se no “ANEXO A” desse trabalho. Para o prédio em estudo, serão analisados dois diferentes tipos de materiais, o primeiro trata-se de uma parede comum de 15 cm de espessura ($U_{Paredes} = 2,24 W/m^2K$), já o segundo material é o PIR com 10 cm de espessura ($U_{Paredes} = 0,02 W/m^2K$). As dimensões de área das paredes foram fornecidas diretamente pela empresa.

- Calor por insolação

A parcela de calor que é transferida aos ambientes internos por meio da insolação nas paredes externas, pode ser considerada como um rearranjo da equação (9), metodologia aplicada por Creder (2004). E é definida como:

$$Q_{s(Ins.Paredes Ext.)} = U_{Paredes} \cdot A_{Paredes Ext.} \cdot (\Delta T + \Delta T') \quad (10)$$

Onde:

$Q_{s(Ins. Paredes Ext.)}$ = Calor sensível proveniente da insolação nas paredes externas [W];

$\Delta T'$ = Acréscimo de temperatura devido à insolação [K];

Considerando que as superfícies sejam de mesma cor, os valores de $\Delta T'$ serão os mesmos para ambos os casos (com ou sem material isolante térmico). Visto que os valores não dependem de material, mas sim de fatores como o tom de cor da superfície, a orientação geográfica onde ocorre a insolação e data com valor correspondente. A Tabela 5 apresentada os valores utilizados para os cálculos, utilizados por Creder (2004), sendo considerados como superfície clara caso em questão.

Tabela 5 - Adicional de temperatura através de insolação.

Temperatura Adicional - Insolação - ΔT (°C ou K)			
Superfície	Cor Escura	Cor Média	Cor Clara
Telhado/Cobertura	25,0	16,6	8,3
Parede Leste ou Oeste	16,6	11,1	5,5
Parede Norte	8,3	5,5	2,7
Parede Sul	0,0	0,0	0,0

Fonte: Adaptado de CREDER (2004).

➤ *Cobertura*

Seguindo o princípio da metodologia utilizada para as paredes externas, Creder (2004) considera a incidência solar, tornando as equações similares em suas variáveis como material utilizado. Com a consideração de sua aplicabilidade apenas para o pavimento superior e não entre pavimentos. Segundo dados informados no local, a cobertura é de telha de fibrocimento de 0,7cm com forro de concreto de 3,0cm, material que segundo a Tabela D.4 da norma NBR 15220 da ABNT (2003), apresenta transmitância térmica como: $UCobertura = 2,25 W/m^2K$. Observando que o material para este caso também pode ser substituído por um isolante térmico, sendo composto de PIR de 50mm de espessura revestido em aço interna e externamente 0,43mm em cada face, apresentando um coeficiente de troca de calor $UCobertura = 0,40 W/m^2K$.

- Calor por condução

Os equacionamentos utilizados para cálculo de calor proveniente de condução seguem o mesmo padrão proposto na equação (6) e (9), diferenciado apenas por tratar de dados da cobertura.

$$Q_{s(Cond.cobertura)} = U_{Cobertura} \cdot A_{Cobertura} \cdot \Delta T \quad (11)$$

Onde:

$Q_{s(Cond.cobertura)}$ = Calor sensível proveniente da condução na cobertura [W];

$A_{Cobertura}$ = Área útil da cobertura [m²];

- Calor por insolação

Utilizando os parâmetros anteriormente utilizados na metodologia para as paredes, o cálculo da parcela da cobertura por insolação é:

$$Q_{s(Ins.Cobertura)} = U_{Cobertura} \cdot A_{Cobertura} \cdot (\Delta T + \Delta T') \quad (12)$$

Onde:

$Q_{s(Ins. Cobertura)}$ = Calor sensível proveniente da insolação na cobertura [W];

➤ *Paredes Internas*

A parcela de calor referente à paredes internas é simplificado, pois não há parcela de insolação e a temperatura mais quente não é a temperatura externa. Segundo Creder (2004) as paredes internas a serem consideradas, são aquelas que estão em contato com ambientes não climatizados, mesmo que haja fluxo de calor na prática para essa situação, a troca de calor é desprezada e a equação é dada por:

$$Q_{s(Cond.Paredes Int.)} = U_{Paredes} \cdot A_{Paredes Int.} \cdot \Delta T_i \quad (13)$$

Onde:

$Q_{s(Cond. Paredes Int.)}$ = Calor sensível proveniente da condução nas paredes internas [W];

$A_{Paredes Int.}$ = Área útil das paredes internas entre o ambiente a ser condicionado e ambientes não condicionados [m²];

ΔT_i = Gradiente de temperatura entre a temperatura do ambiente condicionado e ambientes não condicionados [K].

Para este projeto, foram utilizados os valores de 18°C e 30°C de temperatura, para o dia mais frio e mais quente, respectivamente em ambientes não condicionados.

➤ *Piso*

O piso será considerado como uma fonte de calor constante para ambos os dias, sendo considerado de maneira arbitrária 20°C para o dia mais frio e 27°C para o dia mais quente e o material apresenta valor correspondente ao valor de transmitância térmica do conjunto telhas e laje ($U_{Piso} = 2,25 \text{ W/m}^2\text{K}$). Com o seguinte equacionamento:

$$Q_{s(Cond.Piso)} = U_{Piso} \cdot A_{Piso} \cdot \Delta T_p \quad (14)$$

Onde:

$Q_{s(Cond. Piso)}$ = Calor sensível proveniente da condução no piso [W];

U_{Piso} = Transmitância térmica do piso (laje 15cm) [W/m²-K];

A_{Piso} = Área útil do piso do ambiente [m²];

ΔT_p = Gradiente de temperatura entre o ambiente condicionado e o solo [K].

3.3.5 Calor proveniente da renovação de ar

Além das fontes citadas anteriormente, há ainda trocas de calor proveniente das trocas e renovações de ar, para o estudo em questão e com a consulta ao material de Creder (2004), janelas ou portas em 2 paredes o número é de 1,5 trocas por hora.

O método da troca de ar baseia-se no número de vezes em que se ocorre as trocas de ar dentro do ambiente, seja troca parcial ou total. Os valores referentes as trocas por hora nos recintos são propostas por Creder (2004). A equação simplificada para este cálculo, pode ser expressa pela equação (15).

$$V_{trocas} = V_{ambiente} \cdot Trocas \text{ por hora} \quad (15)$$

Onde:

V_{trocas} = Volume de ar proveniente da troca de ar do ambiente [m³/h].

$V_{ambiente}$ = Volume do ambiente, considerando altura do pé direito de 3 metros [m³].

O calor proveniente das trocas de ar possui em sua composição presença de água no ar e devido a esse fato, essa fonte de calor é dividida em uma parcela de calor sensível e outra de calor latente. Para efetuar o cálculo dessa parte, foi utilizada a metodologia sugerida por UNISANTA (2002) que faz uso da psicrometria. Neste projeto, que utiliza a carta psicrométrica, e as variações de entalpia que esta fornece, para obtenção dos valores relativos às taxas de calor.

Para encontrar o valores de modo preciso, uma carta psicrométrica deve ser utilizada. Foi utilizado o software de psicrometria *PsychroCalc*, da *G&P Engineering*. Através do programa, além da maior precisão proporcionada por uma ferramenta computacional, foi possível a inserção da altitude do local do município de Dourados como 430 metros (GEOGRAFOS). A Tabela 6 apresenta os dados utilizados no projeto.

Tabela 6 - Propriedades do ar.

	T. bulbo seco (Tbs) [°]	UR(%)	Vol. Específico [m³/kg]	Entalpia (h) [kJ/kg]
Ar externo 14/09/2017	32,9	24,18	0,9248	53,380
Ar externo 10/06/2018	14,2	60,36	0,8662	30,410
Ar interno referência	24,0	50,00	0,9006	49,060

Fonte: Autor.

As equações (16) e (17) apresentam os equacionamentos pertinentes ao calor proveniente da entrada de ar externo.

$$\dot{m} = \frac{V_{trocas}}{v_{ext}} \quad (16)$$

Onde:

\dot{m} = Vazão mássica de ar [kg/h];

v_{ext} = Volume específico do ar externo [m³/kg];

$$Q_{ar} = \dot{m} \cdot \Delta h \cdot \frac{1h}{3600s} \quad (17)$$

Onde:

Q_{ar} = Calor latente proveniente da ventilação de ar externo [W];

Δh = Diferença entre externa e interna [J/kg];

3.4 Levantamento de dados

Visto que a carga térmica é dividida entre sensível e latente, a definição é dada como a soma de todos valores encontrados até o momento. Através dessas considerações, os valores obtidos para análise do projeto são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Levantamento de dados do local onde foi realizado o estudo de caso.

Local	Área [m ²]	Np	Calor sensível oriundo de equipamentos [W]	Paredes externas			Paredes internas				Volume de ar [m ³ /h]
				Posição	Área [m ²]	Área janelas [m ²]	Ambientes não condicionados	Ambientes condicionados	Posição	Área [m ²]	
Hall entrada	69,6	1	1168,6	Sul	10,5	5,25	-	-	Norte	15,75	313,2
				-	-	-	-	-	-	-	
				Oeste	17,09	4,96	-	-	Leste	12	
Escritório diretoria	12	1	247	Sul	7,8	4,2	-	-	Norte	12	54
				-	-	-	-	-	Leste	9	
				-	-	-	-	-	Oeste	9	
Escritório funcionários	36	3	816	Sul	21,4	5,6	-	-	Norte	21	486
				-	-	-	-	-	Leste	12	
				-	-	-	-	-	Oeste	12	
Escritório atendimento	36	5	741	Leste	9,2	2,8	Sul	18	Norte	18	810
				-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	Oeste	12	
Mecânica	27,9	3	446,4	Sul	27	-	Norte	27	-	-	376,65
				Leste	13,8	1,2	-	-	-	-	
				Oeste	4,34	4,96	-	-	-	-	
Simulação virtual de equipamentos	8,75	2	995	-	-	-	Norte	7,5	Sul	7,5	78,75
				-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	Oeste	10,5	Leste	6,24	
Teste de equipamento	16,1	2	1757,6	Norte	7,3	3,2	Sul	10,5	-	-	144,9
				-	-	-	-	-	-	-	
				Leste	9,16	4,64	Oeste	12,54	-	-	

Fonte: Autor.

Destacando-se o fato de que a quantidade de calor proveniente da iluminação, está inclusa na coluna “Calor sensível oriundo de equipamentos [W]”.

3.5 Cálculo via software

Com a finalidade comparativa, foi necessária a utilização de uma ferramenta computacional com essa funcionalidade. O cálculo de carga térmica pode ser feito de maneira computacional por diversos programas e com diferentes métodos. Nesse trabalho o software utilizado foi o *HVAC Load Explorer*.

3.5.1 Descrição do programa

O software utilizado para calcular a carga térmica da edificação foi o HVAC Load Explorer (v.1.1.3). O programa foi desenvolvido por J.D. Spitler, professor da Oklahoma State University, localizada em Oklahoma, nos Estados Unidos, e foi desenvolvido para atender a este propósito.

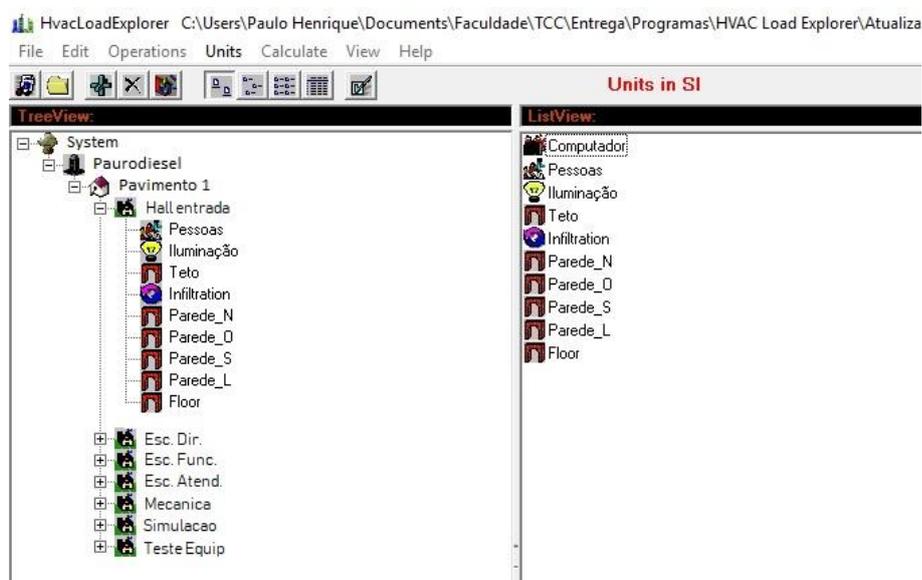
O software utiliza o método conhecido como RTSM (*Radiant Time Series Method*) para o cálculo da carga térmica que é considerado uma simplificação do método HBM (*Heat Balance Method*). Para melhor compreensão de como ocorre tal simplificação, (LOPES, 2013) apresenta as principais suposições realizadas pelo método RTSM em relação ao método HBM.

- Período de Cálculo: O HBM pode efetuar a simulação de um período pré estabelecido, sendo até mesmo um ano, diferentemente do método RTSM em que é assumido um dia apenas, como dia padrão de verão ou inverno (para retirar ou inserir calor no ambiente).
- Balanço energético de fachadas: o método RTSM substitui o balanço energético na superfície exterior considerando a troca de calor em condição de contorno com temperatura conhecida.
- Balanço energético das superfícies interiores e ar ambiente: O RTSM simplifica os meios de transmissão por radiação e convecção como um único coeficiente, através da consideração de que a temperatura das superfícies internas se aproximam da temperatura do ar interno. Apenas multiplicando o coeficiente pela diferença de temperatura entre o ar e a superfície.

As suposições citadas permitem que o método de cálculo seja realizado de forma sequencial e não por meio de iterações. Assim, primeiramente são feitas as entradas de calor e, por fim, a carga térmica.

Comparados à outros programas, o *HVAC Load Explorer*, apresenta uma interface mais simples e a edificação por etapas (Figura 2): A edificação é composta de zonas térmicas, sejam ambientes ou salas, constituídas de paredes, tetos, pisos, equipamentos em geral e a infiltração de ar no recinto.

Figura 2 - Interface inicial com os respectivos itens adicionados.



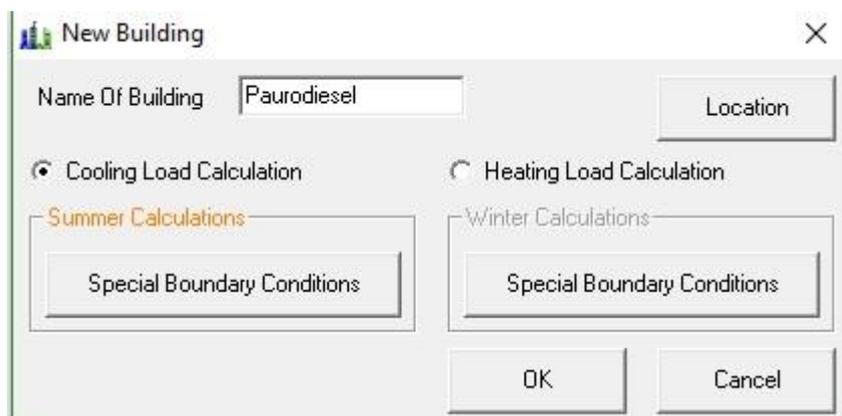
Fonte: Autor.

3.5.2 Dados utilizados

Os dados de entrada utilizados para efetuar a simulação computacional são, em grande maioria os mesmos utilizados no cálculo simplificados, apresentado anteriormente. O programa possui opção de escolha entre as diferentes unidades sendo sistema internacional ou sistema britânico.

Da mesma maneira como foram considerados dois diferentes dias no método simplificado, a plataforma do programa apresenta a opção do dia utilizado como referência como dia padrão (Figura 3), porém com algumas diferenças até o momento: o programa considera a média externa das 24 horas do dia considerado, com uma variação de 13°C para o dia mais quente e de 10°C para o dia mais frio, seguindo os dados levantados e apresentados na Tabela 1 anteriormente e com os outros valores de propriedades do ar atmosférico obtidos a partir do programa *PsychroCalc*. Os parâmetros de localização são os mesmos e adicionalmente o programa possui uma entrada na qual deve ser considerada a velocidade média do vento como 1,40 m/s para setembro e 1,10 m/s para junho e com a direção do vento voltada para nordeste em ambos os casos, dados obtidos por meio de um relatório técnico da Embrapa (FIETZ, FISCH, *et al.*, 2017).

Figura 3 - Tela inicial com opções padrão de diferentes climas.



Fonte: Autor.

A criação dos diferentes ambientes é permitida pelo programa. Ao inserir cada ambiente, foi possível adicionar as temperaturas desejadas para cada horário do dia. As temperaturas aqui utilizadas, são as mesmas consideradas na metodologia anterior. Dentro de cada zona térmica, o usuário pode criar inúmeros ambientes, que por sua vez podem receber todas as fontes de calor, como previamente ilustrado na Figura 2.

Para paredes, piso e teto, o programa permite especificar o posicionamento destes em relação as coordenadas geográficas, níveis de emissividade e absorvidade, os materiais que compõem suas camadas bem como as condições que externam essas superfícies. Ou seja, é possível escolher entre a condição exterior, ambiente interno não-condicionado, ambiente condicionado, ou ainda ambientes com condições especiais. Para as paredes, é possível ainda dimensionar janelas e optar pela existência de cobertura para as janelas. Para este projeto, foram utilizados os mesmos parâmetros da metodologia anterior. Para valores referentes a emissividade e absorvidade das superfícies, foram mantidos os valores padrões sugeridos pelo próprio software.

Os dados referentes a iluminação e equipamentos em geral também podem ser adicionados no programa, seja através do ganho de calor por unidade de área, o período em que este permanece em funcionamento e as parcelas de calor provenientes da radiação e convecção no ambiente interno, variáveis adicionadas seguindo um intervalo sugerido por Iu & Fisher (2004) de 90 e 10%, respectivamente. Portanto, essas considerações já podem gerar uma pequena diferença por adicionar condições não previstas no cálculo simplificado.

A parcela de calor proveniente de pessoas é adicionada, especificando o calor sensível e latente liberado por pessoa no ambiente e da mesma forma dos equipamentos, acrescentando uma parcela de convecção e uma parcela de radiação e também determinadas de acordo com Iu & Fisher (2004).

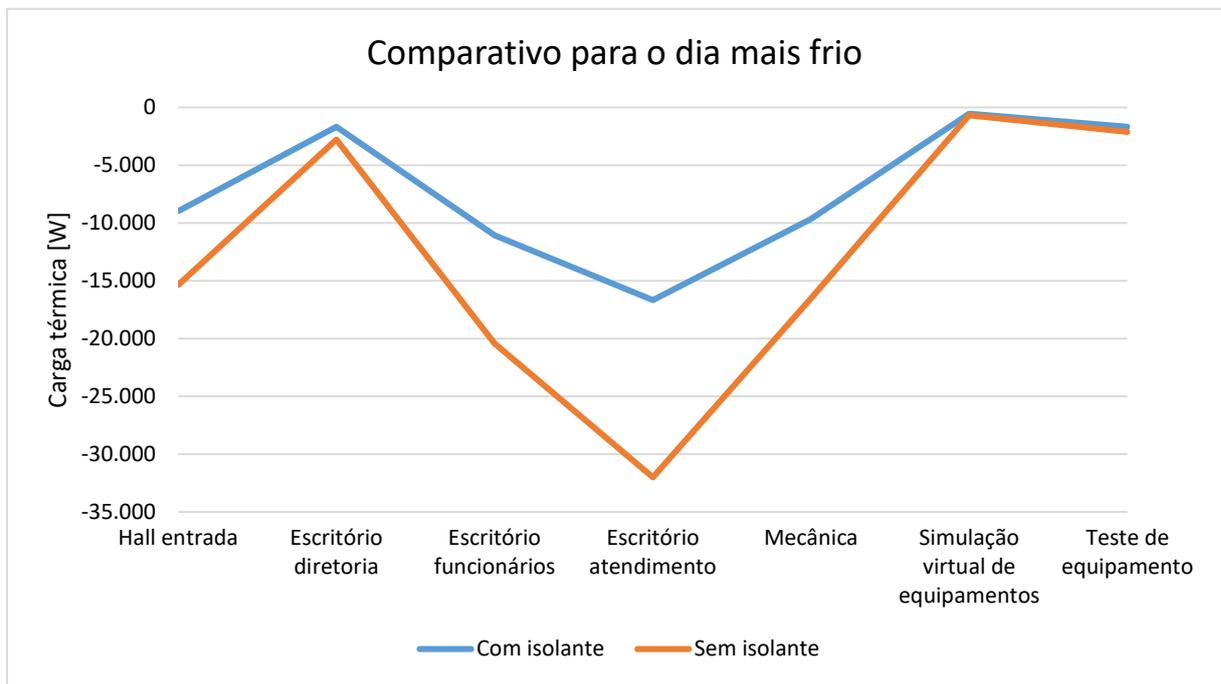
Por fim, o programa ainda permite adicionar dados referentes a infiltração de ar exterior. A quantidade de ar pode ser especificada em diversas unidades, tais como trocas de ar por hora, litros por segundo ou ainda litros por segundo por pessoa no recinto. É possível ainda estipular qual parcela do valor total que adentra o ambiente em cada horário do dia. Desta forma, como para este projeto, o ar de renovação virá diretamente para os ambientes, foi adicionado ao programa o maior entre os valores referentes a ventilação ou infiltração de cada recinto. Para os casos em que a ventilação supera a infiltração, apenas os valores referentes a infiltração foram mantidos nos horários em que o prédio não está em funcionamento. Os dados aqui utilizados foram os mesmos utilizados no cálculo simplificado, realizado anteriormente.

4 RESULTADOS

4.1 Resultado metodologia simplificada

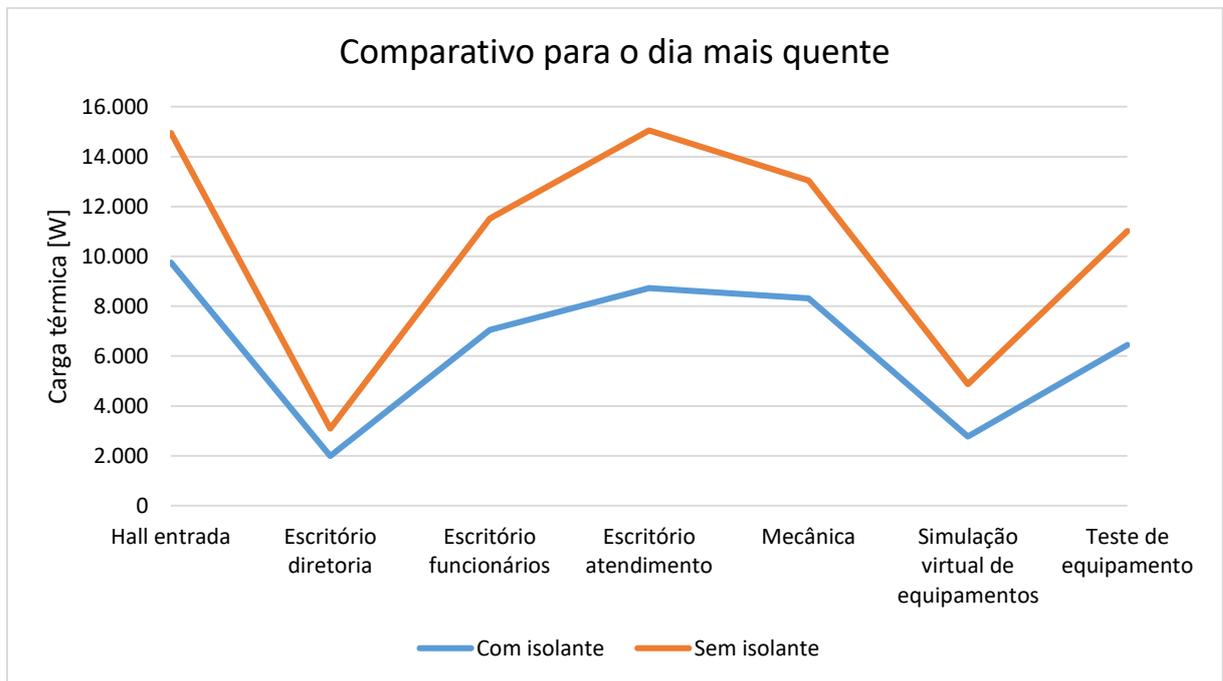
Através dos dados obtidos em campo e com a metodologia simplificada utilizada para a base de cálculo, os resultados parcelados são apresentados em “ANEXO B”. O comparativo entre valores obtidos, são mostrados nos Gráficos 1 e 2 a seguir.

Gráfico 1 - Resultados do para o dia 10 de junho de 2017.



Fonte: Autor.

Gráfico 2 - Comparativo para o dia 14 de setembro de 2017.



Fonte: Autor.

Observando os valores, é possível notar a menor amplitude de valores com a utilização do isolante térmico. Valores negativos, indicam que uma determinada quantidade de calor deve ser adicionada ao ambiente, como é possível observar no comparativo para o dia mais frio. Um possível valor nulo, indicaria que o ambiente já está em situação de conforto térmico.

Através dos resultados obtidos, foi possível analisar a variação percentual para cada caso, apresentando os resultados na Tabela 8:

Tabela 8 - Diferencial entre resultados.

Local	Carga térmica total [W]							
	10 de junho, sem material isolante	10 de junho, com material isolante	Variação absoluta	Variação percentual [%]	14 de setembro, sem material isolante	14 de setembro, com material isolante	Variação absoluta	Variação percentual [%]
Hall entrada	-8.950	-6.397	2.553	-29	9.750	5.197	4.553	-47
Escritório diretoria	-1.678	-1.088	590	-35	1.988	1.101	888	-45
Escritório funcionários	-11.055	-9.371	1.684	-15	7.049	4.465	2.584	-37
Escritório atendimento	-16.670	-15.333	1.338	-8	8.724	6.327	2.397	-27
Mecânica	-9.660	-6.862	2.798	-29	8.322	4.723	3.599	-43
Simulação virtual de equipamentos	-546	-124	423	-77	2.768	2.105	662	-24
Teste de equipamento	-1.664	-448	1.216	-73	6.450	4.571	1.879	-29
Total	-50.224	-39.623	10.601	-21	45.051	28.489	16.562	-37

Fonte: Autor.

É importante ressaltar que o motivo de os valores de carga térmica negativos, indicam que o calor deve ser adicionado ao ambiente para atingir a temperatura desejada, diferentemente dos os valores positivos que determinam a quantidade de calor a ser retirada do ambiente.

4.2 Resultados da simulação via software

Após a adição de todos os componentes de uma determinada edificação, o software *HVAC Load Explorer* permite a criação de relatórios com os resultados. As Tabelas de 9 a 12 apresentam os dados obtidos referentes a carga térmica total máxima, parcelas sensível e latente, horários em que estas ocorrem e a vazão de ar de todos os ambientes da edificação.

Tabela 9 - Resultados da simulação para o dia frio sem isolante.

14 de junho, sem material isolante					
Local	Horário	Carga térmica total [W]	Carga Térmica Sensível [W]	Carga Térmica Latente [W]	Vazão de ar [m ³ /s]
Hall entrada	14	-3223	-2742	-481	0,0322
Escritório diretoria	14	-669	-188	-482	0,0305
Escritório funcionários	14	-1848	-1233	-615	0,0380
Escritório atendimento	14	-1896	-1189	-707	0,0493
Mecânica	14	-2554	-2053	-502	0,0821
Simulação virtual de equipamentos	15	-943	-367	-576	0,0447
Teste de equipamento	15	-2291	-1802	-489	0,1437
Total		-13424	-9573	-3851	

Fonte: Autor.

Tabela 10 - Resultados da simulação para o dia frio com isolante.

10 de junho, com material isolante					
Local	Horário	Carga térmica total [W]	Carga Térmica Sensível [W]	Carga Térmica Latente [W]	Vazão de ar [m ³ /s]
Hall entrada	14	-1772	-1315	-457	0,0332
Escritório diretoria	14	-355	103	-457	0,0314
Escritório funcionários	14	-1164	-580	-584	0,0392
Escritório atendimento	14	-1403	-731	-672	0,0508
Mecânica	14	-1890	-1414	-476	0,0846
Simulação virtual de equipamentos	15	-660	-113	-547	0,0461
Teste de equipamento	15	-1604	-1139	-465	0,1481
Total		-8848	-5190	-3659	

Fonte: Autor.

Tabela 11 - Resultados da simulação para o dia quente sem isolante.

14 de setembro, sem material isolante					
Local	Horário	Carga térmica total [W]	Carga Térmica Sensível [W]	Carga Térmica Latente [W]	Vazão de ar [m ³ /s]
Hall entrada	15	8369	7814	555	0,0332
Escritório diretoria	14	1738	1183	555	0,0314
Escritório funcionários	14	4799	4090	709	0,0392
Escritório atendimento	14	4924	4108	816	0,0508
Mecânica	14	6632	6054	578	0,0846
Simulação virtual de equipamentos	15	2448	1784	664	0,0461
Teste de equipamento	15	5950	5386	564	0,1481
Total		34859	30418	4441	

Fonte: Autor.

Tabela 12 - Resultados da simulação para o dia quente com isolante.

14 de setembro, com material isolante					
Local	Horário	Carga térmica total [W]	Carga Térmica Sensível [W]	Carga Térmica Latente [W]	Vazão de ar [m ³ /s]
Hall entrada	15	4603	4076	527	0,0332
Escritório diretoria	14	921	394	528	0,0314
Escritório funcionários	14	3024	2350	674	0,0392
Escritório atendimento	14	3643	2868	775	0,0508
Mecânica	14	4908	4358	549	0,0846
Simulação virtual de equipamentos	15	1713	1083	631	0,0461
Teste de equipamento	15	4165	3629	536	0,1481
Total		22977	18758	4219	

Fonte: Autor.

Com a finalidade de atestar resultados entre métodos, a seguinte tabela apresenta os valores totais para cada dia para a metodologia simplificada e através da simulação por software, além disso, com uma coluna apresentando uma situação na qual o fator do insuflamento de ar não é considerado no método simplificado. Isso se deve ao fato de que o calor latente oriundo do insuflamento de ar para renovação não entra nos cálculos. Esta situação é descrita como “Simplificado sem ar”, trazendo o comparativo percentual entre métodos na última coluna.

Tabela 13 - Comparativo entre métodos.

Situação	Carga térmica total [W]			Diferença [%]
	Cálculo Simplificado	Simplificado sem ar	Software	
10/06/2017 Sem isolante	-50224	-13501	-13424	-0,57
10/06/2017 Com isolante	-39623	-9072	-8848	-2,46
14/09/2017 Sem isolante	45051	34496	34859	1,05
14/09/2017 Com isolante	28489	22163	22977	3,67

Fonte: Autor.

As tabelas apresentam, de maneira mais visível, que os valores nos quais não são levados em conta a parcela da troca de ar, valores mais próximos e condizentes com os resultados apresentados pelo software.

5. CONCLUSÕES

Atualmente, um ambiente climatizado é considerado, na maioria das vezes, uma necessidade, seja no ambiente familiar, profissional ou de lazer. Considerando que, com o passar do tempo as preocupações com o conforto térmico e com a eficiência energética têm aumentado significativamente, o estudo dos parâmetros necessários para a climatização tornam-se fundamentais, desde a fase de projeto do edifício, a escolha do condicionador de ar e o modo de sua utilização. De acordo com a análise, foi possível observar a diferença e impacto causado pela possível utilização do material isolante térmico ao invés de materiais construtivos convencionais.

Os resultados esperados possíveis eram da ordem de 70%, porém tratava-se de considerações e experimentos isolados, sem adição de equipamentos, pessoas ou quaisquer outros fatores. A redução da ordem de 40% no consumo energético destinado à climatização causaria uma grande diferença ao sistema energético nacional, caso fosse consolidada. Não ficando restrito apenas aos dias mais quentes, mas estendendo-se ao clima mais frio e com isso abrangendo-se boa parte do território nacional.

Os valores apresentados nos resultados indicam queda no quantitativo de calor que deve ser retirado ou inserido no ambiente devido à utilização dos materiais isolantes propostos. A análise feita de maneira geral indica grandes valores de mudança e que se feitas análises parciais apenas da envoltória (conjunto paredes + cobertura), isso se deve ao fato da grande discrepância entre a grandeza condutibilidade térmica entre os diferentes materiais e é uma grandeza direta tanto no fator de ganho de calor por condução, quanto insolação.

A fim de atestar os valores obtidos pelas instruções e métodos utilizados pela literatura e normativas brasileiras, foi efetuada a simulação via software considerando os mesmos dados de entrada nos quais foram baseados os cálculos simplificados. Porém, ao efetuar os cálculos com ambas as tecnologias, observou-se uma grande discrepância de resultados, sendo os resultados da segunda metodologia muito menor que os resultados obtidos previamente. Ao efetuar uma busca mais detalhada e metodologia considerada pelo programa em questão, observou-se que os valores não levavam em consideração devida a parcela de calor latente representada pela ventilação de ar atrelada à umidade relativa do ar. O software *HVAC Load Explorer*, por sua

vez, considera apenas a parcela de calor sensível existente no ar de renovação para dentro do ambiente. Algo que foi possível atestar através da nova consideração nas quais os valores foram desconsiderados e acusando pequenos erros percentuais entre métodos.

Os recursos e método de cálculo do software não é o mesmo do cálculo simplificado e não é o mesmo de outras metodologias utilizadas em outros programas, além do mais, difere da metodologia simplificada utilizada por tratar-se de uma ferramenta computacional. Nas quais entre algumas considerações que são feitas com o objetivo de simplificar os cálculos e que fazem com que os resultados sejam diferentes dos obtidos manualmente, dentre eles:

- O software *HVAC Load Explorer* utiliza o método RTSM (*Radiant Time Series Method*), uma simplificação do método HBM (*Heat Balance Method*), como citado previamente, enquanto a primeira metodologia abordada baseia-se em equações simplificadas de transferência de calor;
- O método simplificado utiliza ainda aproximações e considerações a respeito de calor proveniente das paredes e janelas, com o objetivo de simplificar os cálculos;
- O software apresenta uma metodologia abordando as formas de calor por radiação e convecção proveniente de pessoas, equipamentos e outros, o que não acontece no método simplificado;
- No software, há apenas um tipo de proteção de janelas, o qual não corresponde com a real, enquanto no método simplificado é utilizado um fator de correção por conta de existência de brises.
- O software contabiliza a contribuição na carga térmica por conta da absorção de calor das paredes, piso e teto, dissipando em outro momento como atraso térmico já que trabalha com as 24 horas do dia.

Através desse trabalho foi possível analisar os impactos da utilização dos construtos térmicos, sem a análise de custos em obra. O orçamento varia de acordo com cada edificação e fica como recomendação para trabalho futuro um comparativo entre custos e tempo de obra necessários para os diferentes casos analisados nesse trabalho e um possível tempo de retorno de investimento para a obra eficiente.

REFERÊNCIAS

ASHRAE 55, 1. **Ansi/Ashrae Standard 55-2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta, EUA. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de Edificações.** Rio de Janeiro - RJ, p. 66. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários.** ABNT. [S.l.], p. 60. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edifícios habitacionais: Desempenho – Parte 1.** Rio de Janeiro - RJ. 2013.

BYNUM, J. R. T. **Insulation Handbook.** New York - EUA: McGraw Hill Education, 2000. 494 p.

CARDOSO, A. G. S. **A Influência das Propriedades Térmicas e Características Construtivas no Desempenho Térmico de Cinco Residências Unifamiliares Localizadas em Itaberá-SP.** Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC. 2006.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da Eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, p. 215. 2008.

CREDER, H. **Instalações de Ar Condicionado.** 6ª. ed. Rio de Janeiro - RJ: Ltc, 2004. 318 p.

ELIHIMAS, F. **A Norma NBR 15.575 e o conforto térmico em edificações habitacionais.** [S.l.], p. 17. 2013.

EMBRAPA. Guia Clima, 2018. Disponível em: <<https://clima.cpao.embrapa.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica ano base 2016**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasil, p. 232. 2017.

FANGER, P. O. **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering**. Dinamarca: [s.n.], 1970. 244 p.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial**. Relatório de Iniciação Científica (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, p. 104. 2009.

FIETZ, C. R. et al. **O clima da região de Dourados, MS**. Documento (Relatório 3ª ed. rev. e atual.). Dourados - MS, p. 31. 2017.

GEOGRAFOS. Informações geográficas. **Geografos**. Disponível em: <<https://www.geografos.com.br/cidades-mato-grosso-sul/dourados.php>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

GHISI, E. . G. S. . L. R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007.

GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 81-93, 2005.

IU, I.; FISHER, D. E. **Application of Conduction Transfer Functions and Periodic Response Factors in Cooling Load Calculation Procedures**. ASHRAE. [S.l.], p. 14. 2004.

LAMBERTS, R. Desempenho Térmico de Materiais e Componentes de Edificação. **II Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil**, Florianópolis, 1989. 121-130.

LOPES, C. F. D. M. **Análise Comparativa de Carga Térmica entre dois Métodos de cálculo para um auditório**. Projeto (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ, p. 53. 2013.

MACIEL, A. A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 138. 2002.

MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais. **Ambiente Construído**, p. 47-68, 2005.

MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e diretrizes básicas**. Ministério de Minas e Energia. Brasília. 2011.

NICOL, F. et al. **Standards for Thermal Comfort. Indoor air temperature standards for the 21st century**. 1ª. ed. Londres - RU: E. & F.N. Spon, 1995. 247 p.

PAPST, A. L. et al. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação**. 1ª. ed. Florianópolis - SC: Editora Labsolar, 2005. 121 p.

PENA, S. M. **Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração**. Rio de Janeiro - RJ: Eletrobras; Procel, 2011. 103 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20Pratico%20PROCEL-Man%20Ar-Cond-Procet-Eletr-11.pdf>>. Acesso em: 10 Dez 2018.

PIRANI, M. J. **ENG176 - Refrigeração e Ar Condicionado**. Apostila (Departamento de Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Bahia. Salvador - BA, p. 244. 2004.

PRÊMIO JOVEM CIENTISTA. e-Disciplinas Universidade de São Paulo. **Energia e História - Dominando o conhecimento de energia.**, 2011. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1065915/mod_resource/content/0/cap%202%20Energia%20e%20Historia.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2018.

SANTOS, I. G. D.; SOUZA, R. V. G. D. Revisão de regulamentações em eficiência energética: uma atualização das últimas décadas. **Fórum Patrimônio**, Artigo, 2012. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/download/35/31>. Acesso em: 10 dez. 2018.

SILVA, F. M. **Estudo de Materiais de Isolamento Térmico Inovadores**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto. Porto, p. 211. 2013.

SPINELLI, R. et al. Isolamento térmico de fachadas: redução do consumo energético de edificações para Zona Bioclimática 2. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília - DF, p. 172-186, 2018.

THOMAZ, B.; ISHIOKA, L. **Materiais de construção - Isolamento térmico**. Artigo (Laboratório de Construção da Faculdade de Arquitetura) - Universidade do Porto. Porto - PT, p. 26. 2010.

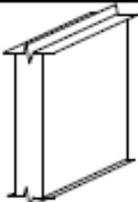
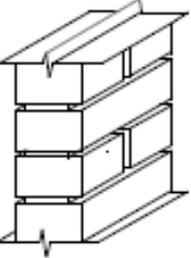
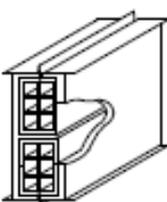
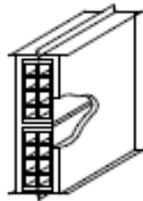
UNISANTA. **Ar Condicionado e Refrigeração: Carga Térmica**. Material de Aula. Santos - SP, p. 7. 2002.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. **Téchne**, v. 75, p. 66-70, 2003.

ANEXO A

Figura A. 1 - Captura de tela. Tabela D.3 NBR 15220, parte 1 de 4.

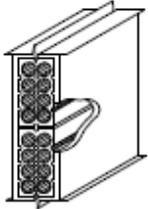
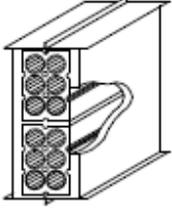
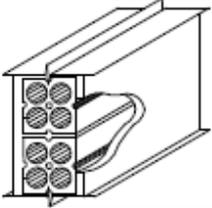
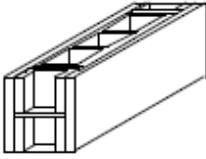
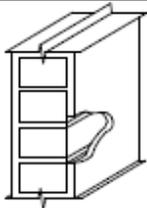
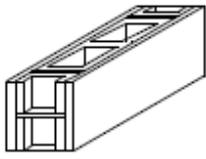
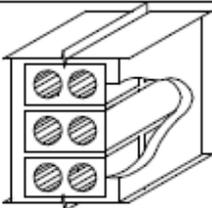
Tabela D.3 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

Fonte: ABNT, 2013.

Figura A. 2 - Captura de tela. Tabela D.3 NBR 15220, parte 2 de 4.

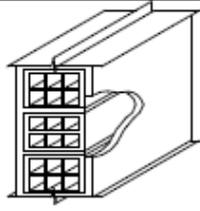
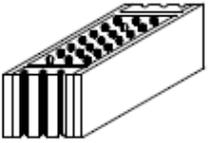
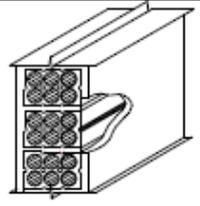
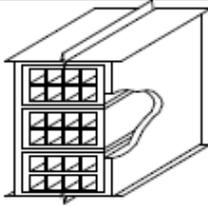
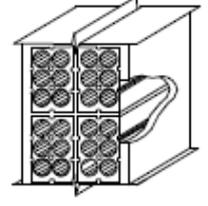
Tabela D.3 (continuação) - **Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico** para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167	3,7
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168	3,7
	Parede com 4 furos circulares Dimensões do tijolo: 9,5x9,5x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,5 cm	2,49	186	3,7
	Parede de blocos cerâmicos de 3 furos Dimensões do bloco: 13,0x28,0x19,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 18,0 cm	2,43	192	3,8
	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x8,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	266	3,8
	Parede de blocos cerâmicos de 2 furos Dimensões do bloco: 14,0x29,5x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,46	203	4,0
	Parede de tijolos com 2 furos circulares Dimensões do tijolo: 12,5x6,3x22,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,5 cm	2,43	220	4,2

Fonte: ABNT, 2013.

Figura A. 3 - Captura de tela. Tabela D.3 NBR 15220, parte 3 de 4.

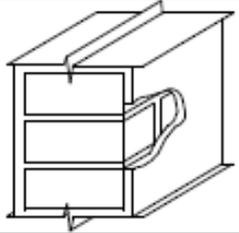
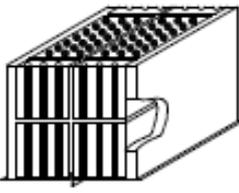
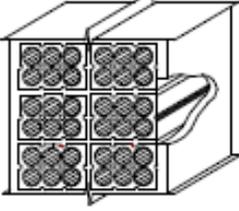
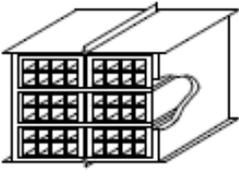
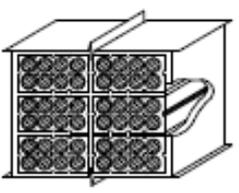
Tabela D.3 (continuação) – **Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico** para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	Cr [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm	1,61	232	5,9
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
	Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	2,30	430	6,6

Fonte: ABNT, 2013.

Figura A. 4 - Captura de tela. Tabela D.3 NBR 15220, parte 4 de 4.

Tabela D.3 (conclusão) – **Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico** para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x8,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 27,0 cm	2,25	445	6,8
	Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm	1,54	368	8,1
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 36,0 cm	1,21	312	8,6
	Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 44,0 cm	1,12	364	9,9
	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 48,0 cm	0,98	368	10,8

Fonte: ABNT, 2013.

ANEXO B

Carga térmica 10 de junho, sem material isolante [W]													
Local	Calor sensível pessoas	Calor latente pessoas	Calor equipamentos	Condução janelas	Insolação janelas	Condução Paredes externas	Insolação paredes externas	Condução Cobertura	Insolação Cobertura	Condução paredes internas	Piso	Calor ar externo	Calor total por ambiente
Hall entrada	75,0	55,0	1168,6	-309,9	46,3	-230,5	-230,5	-1534,7	-234,9	-	-626,4	-6316,2	-9029,8
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Escritório diretoria	75,0	55,0	247,0	-292,8	48,1	-375,2	-271,8	0,0	0,0	-	-	-	-1678,4
				-247,9	37,1	-171,2	-171,2	-264,6	-40,5	-	-108,0	-1089,0	
Escritório funcionários	225,0	165,0	816,0	-330,6	49,4	-469,8	-469,8	-793,8	-121,5	-	-324,0	-9800,9	-11055,0
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Escritório atendimento	375,0	275,0	741,0	-165,3	268,4	-202,0	-146,3	-793,8	-121,5	-241,9	-324,0	-	-16670,3
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mecânica	330,0	555,0	446,4	-70,8	115,0	-302,9	-219,5	-615,2	-94,2	-362,9	-251,1	-7595,7	-9660,3
				-292,8	48,1	-95,3	-69,0	-	-	-	-	-	
Simulação virtual de equipamentos	220,0	370,0	995,0	-	-	-	-	-192,9	-29,5	-100,8	-78,8	-1588,1	-546,3
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste de equipamento	220,0	370,0	1757,6	-188,9	369,7	-160,2	-70,3	-355,0	-54,3	-141,1	-144,9	-2922,1	-1664,1
				-273,9	444,7	-201,1	-145,7	-	-	-168,5	-	-	

Carga térmica 10 de junho, com material isolante [W]													
Local	Calor sensível pessoas	Calor latente pessoas	Calor equipamentos	Condução janelas	Insolação janelas	Condução Paredes externas	Insolação paredes externas	Condução Cobertura	Insolação Cobertura	Condução paredes internas	Piso	Calor ar externo	Calor total por ambiente
Hall entrada	75,0	55,0	1168,6	-309,9	46,3	-2,1	-2,1	-272,8	-41,8	-	-626,4	-6316,2	-6476,7
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-292,8	48,1	-3,3	-2,4	-	-	-	-	-	
Escritório diretoria	75,0	55,0	247,0	-247,9	37,1	-1,5	-1,5	-47,0	-7,2	-	-108,0	-1089,0	-1088,2
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Escritório funcionários	225,0	165,0	816,0	-330,6	49,4	-4,2	-4,2	-141,1	-21,6	-	-324,0	-9800,9	-9371,2
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Escritório atendimento	375,0	275,0	741,0	-165,3	268,4	-1,8	-1,3	-141,1	-21,6	-2,2	-324,0	-	-15332,8
				-	-	-	-	-	-	-	-	16334,9	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mecânica	330,0	555,0	446,4	-70,8	115,0	-2,7	-2,0	-109,4	-16,7	-3,2	-251,1	-7595,7	-6862,0
				-292,8	48,1	-0,9	-0,6	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-34,3	-5,3	-0,9	-78,8	-1588,1	
Simulação virtual de equipamentos	220,0	370,0	995,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-123,6
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	-	-1,3	-	-	
Teste de equipamento	220,0	370,0	1757,6	-188,9	369,7	-1,4	-0,6	-63,1	-9,7	-1,3	-144,9	-2922,1	-448,5
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-273,9	444,7	-1,8	-1,3	-	-	-1,5	-	-	

Carga térmica 14 de setembro, sem material isolante [W]													
Local	Calor sensível pessoas	Calor latente pessoas	Calor equipamentos	Condução janelas	Insolação janelas	Condução Paredes externas	Insolação paredes externas	Condução Cobertura	Insolação Cobertura	Condução paredes internas	Piso	Calor ar externo	Calor total por ambiente
Hall entrada	75,0	55,0	1168,6	281,5 265,9 -	58,6 -	209,3 340,7 -	209,3 444,1 -	1393,7 -	2693,5 -	-	469,8 -	1463,0 -	9768,5
Escritório diretoria	75,0	55,0	247,0	225,2 -	37,1 -	155,5 -	155,5 -	240,3 -	464,4 -	-	81,0 -	252,2 -	1988,2
Escritório funcionários	225,0	165,0	816,0	300,2 -	62,5 -	426,6 -	426,6 -	720,9 -	1393,2 -	-	243,0 -	2270,2 -	7049,3
Escritório atendimento	375,0	275,0	741,0	150,1 -	377,2 -	183,4 -	239,1 -	720,9 -	1393,2 -	241,9 -	243,0 -	3783,7 -	8723,5
Mecânica	330,0	555,0	446,4	- 64,3 265,9	- 161,7 640,4	538,3 275,1 86,5	538,3 358,6 112,8	558,7 -	1079,7 -	362,9 -	188,3 -	1759,4 -	8322,4
Simulação virtual de equipamentos	220,0	370,0	995,0	- -	- -	- -	- -	175,2 -	338,6 -	100,8 141,1	59,1 -	367,9 -	2767,7
Teste de equipamento	220,0	370,0	1757,6	171,6 -	214,2 -	145,5 -	235,5 -	322,4 -	623,1 -	141,1 -	108,7 -	676,9 -	6449,5
				248,8	625,1	182,6	238,0	-	-	168,5	-	-	

Carga térmica 14 de setembro, com material isolante [W]													
Local	Calor sensível pessoas	Calor latente pessoas	Calor equipamentos	Condução janelas	Insolação janelas	Condução Paredes externas	Insolação paredes externas	Condução Cobertura	Insolação Cobertura	Condução paredes internas	Piso	Calor ar externo	Calor total por ambiente
Hall entrada	75,0	55,0	1168,6	281,5	58,6	1,9	1,9	247,8	478,8	-	469,8	1463,0	5215,2
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				265,9	640,4	3,0	4,0	-	-	-	-	-	
Escritório diretoria	75,0	55,0	247,0	225,2	37,1	1,4	1,4	42,7	82,6	-	81,0	252,2	1100,5
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Escritório funcionários	225,0	165,0	816,0	300,2	62,5	3,8	3,8	128,2	247,7	-	243,0	2270,2	4465,4
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Escritório atendimento	375,0	275,0	741,0	150,1	377,2	1,6	2,1	128,2	247,7	2,2	243,0	3783,7	6326,8
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mecânica	330,0	555,0	446,4	-	-	4,8	4,8	99,3	192,0	3,2	188,3	1759,4	4723,1
				64,3	161,7	2,5	3,2	-	-	-	-	-	
				265,9	640,4	0,8	1,0	-	-	-	-	-	
Simulação virtual de equipamentos	220,0	370,0	995,0	-	-	-	-	31,2	60,2	0,9	59,1	367,9	2105,4
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				-	-	-	-	-	-	1,3	-	-	
Teste de equipamento	220,0	370,0	1757,6	171,6	214,2	1,3	2,1	57,3	110,8	1,3	108,7	676,9	4570,8
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				248,8	625,1	1,6	2,1	-	-	1,5	-	-	