



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GILDERLÂNIO BARBOSA ALVES PALÁCIO

DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS CONDICIONADORES DE AR
ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COM O SOFTWARE “ENERGY PLUS”

FORTALEZA

2017

GILDERLÂNIO BARBOSA ALVES PALÁCIO

DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS CONDICIONADORES DE AR
ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COM O SOFTWARE “ENERGY PLUS”

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Clodoaldo de
Oliveira Carvalho Filho

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P176d Palácio, Gilderlânio Barbosa Alves.
Dimensionamento e seleção dos condicionadores de ar através da simulação com o software “energy plus” /
Gilderlânio Barbosa Alves Palácio. – 2017.
57 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho.
1. Condicionadores de ar. 2. Energy Plus. 3. Simulação. 4. Volume de refrigerante variável. I. Título.
CDD 620.1
-



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PARECER

A Banca Examinadora composta pelos professores CLODOALDO DE OLIVEIRA CARVALHO FILHO, CARLA FREITAS DE ANDRADE e FRANCISCO NIVALDO AGUIAR FREIRE, designados para avaliar o Trabalho Final de Curso DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS CONDICIONADORES DE AR ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COM O SOFTWARE "ENERGY PLUS", desenvolvido e defendido por GILDERLÂNIO BARBOSA ALVES PALÁCIO, matrícula n.º 356334, aluno do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, atribuiu nota final igual a 8,5 (oito e meio) ao referido trabalho.

Fortaleza, 04 de Setembro de 2017

Prof. Dr. Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Carla Freitas de Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

GILDERLÂNIO BARBOSA ALVES PALÁCIO

DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS CONDICIONADORES DE AR
ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COM O SOFTWARE "ENERGY PLUS"

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Curso de
Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Aprovada em 01/10/2017

BANCADA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Carla Freitas de Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família; Gercilo, Francisca e Gerciara
Aos amigos que a vida os transformaram em irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador e professor Clodoaldo de Oliveira pela atenção e paciência durante todo o trabalho, e também a banca examinadora por ter aceitado o convite.

Agradeço a minha família que sempre me apoiou nos momentos bons e ruins; À Mariane pelo apoio no trabalho e na vida; À Ana Carmelita pela presença sempre forte ao meu lado.

Aos meus grandes Amigos: Rodrigo Chaves, Lucas Moreno, Eliezer Batista, Handerson Rodrigues, Felipe Pinto, Michael Robson, Uenes Silva, Harley Azevedo, que me ajudaram na jornada acadêmica.

“Não somos nada
mais, nada menos, do que decidimos revelar”

Frank Underwood

RESUMO

Elemento de relevância para atender a demanda de conforto térmico, os condicionadores de ar são itens de necessários para o cotidiano das pessoas. A participação que esses aparelhos possuem no cálculo do consumo de energia elétrica de uma edificação é bastante significativo. Escolher um condicionador de ar ideal para uma determinada localização precisa levar em conta diversos fatores, como perfil de utilização, carga térmica, localização geográfica, entre outras variáveis. Uma ferramenta dos engenheiros nas análises são os *softwares* de simulação. O *Energy Plus* é um programa eficaz para atingir a meta de um estudo preciso no ambiente. Depois de escolhido um condicionador de ar para determinada(s) zona(s) que atendessem as necessidades requeridas, analisou-se o comportamento do consumo energético do ambiente e, nesse estudo, revelou que os condicionadores de ar das zonas estudadas foram de 64% do consumo de toda a edificação. Esse número indica qual deve ser o objeto de estudo mais importante e detalhado, pois a influência deste é majoritária em relação a soma dos outros elementos que consomem energia na edificação.

Palavras-chave: condicionadores de ar, *Energy Plus*, simulação, volume de refrigerante variável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificações dos ambientes em uma empresa modelo.....	19
Figura 2 - Esquema dos parâmetros que serão avaliados.....	20
Figura 3 - Exemplo da relação de uma zona com o eixo de coordenadas.....	22
Figura 4 - Esquema representativo dos fatores que influenciam a carga térmica.....	28
Figura 5 - Exemplo de um esquema de quantificação da sensação térmica.....	29
Figura 6 - Status final da simulação no EP.....	33
Figura 7 - Imagem da edificação em estudo.....	34
Figura 8 - Vista externa da edificação.....	35
Figura 9 - Dois tipos de representação de uma zona térmica de um pavimento.....	36
Figura 10 - Zona padrão condicionada da edificação.....	37
Figura 11 - Modelo aproximado do envelope lateral da edificação.....	39
Figura 12 - Modelo adotado para teto-piso das zonas.....	39

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Posicionamento global da edificação.....	35
Tabela 2 - Parâmetros dimensionais de uma zona.....	38
Tabela 3 - Propriedade térmica dos materiais da construção.....	40
Tabela 4 - Participação do fator humano na carga térmica interna.....	42
Tabela 5 - Participação do calor dos equipamentos na carga térmica interna.....	43
Tabela 6 - Dados climáticos de Fortaleza-Aeroporto Internacional Pinto Martins.....	44
Tabela 7 - Faixa de valores para escolha do <i>SetPoint</i>	45
Tabela 8 - Especificação escolhida das unidades do condicionador de ar.....	48
Tabela 9 - Valor de consumo de cada classe de componentes elétricos para edificação...50	
Tabela 10 - Cálculo do COP das Zonas estudadas.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Rotina de ocupação e desempenho de uma zona exemplo.....	23
Gráfico 2 - Perfil do controle de temperatura de uma zona exemplo.....	30
Gráfico 3 - Rotina de ocupação da sala de aula nos dias letivos.....	41
Gráfico 4 - Rotina de ocupação da sala de aula nas semanas letivas em um pavimento....	41
Gráfico 5 - Rotina de ocupação das zonas térmicas ao longo do ano.....	42
Gráfico 6 - Potência de resfriamento que o condicionador de ar é demandado.....	46
Gráfico 7 - Perfil de temperatura diário em 3 casos.....	48
Gráfico 8: Porcentagem da participação dos fatores no consumo elétrico.....	49
Gráfico 9: Carga térmica gerado pelos fatores internos e externos a zona.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Representação da classe <i>Localization and Climate</i>	21
Quadro 2: Representação da classe <i>Thermal Zones and Surfaces</i>	21
Quadro 3: Representação da classe <i>Surface Construction Elements</i>	22
Quadro 4: Representação dos dados de entrada darotina (<i>schedule</i>).....	24
Quadro 5: Representação dos termos de ganhos internos/pessoas.....	25
Quadro 6: Representação dos <i>inputs</i> dos ganhos internos luminosos.....	26
Quadro 7: Representação dos parâmetros da carga térmica dos equipamentos.....	26
Quadro 8: Representação dos dados de entrada do controle de temperatura das zonas....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VRV	Volume de Refrigerante Variável
EP	<i>Energy Plus</i>
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UR	Umidade Relativa
UA	Umidade Absoluta
DPI _L	Densidade de Potência da Iluminação Limite
COP	Coeficiente de Desempenho
CR	Razão de Combinação

LISTA DE SÍMBOLOS

\dot{Q}	Taxa de Transferência de Calor [W]
T	Temperatura [°C]
e	Espessura [m]
λ	Condutividade [W/m.K]
A	Área [m ²]
U	Transmitância Térmica [W/m ² .K]
C _T	Calor Específico [J/m ² .K]
CR	Razão de Combinação[W/W]
PI	Power Input [KW]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivos.....	18
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>18</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>18</i>
2	METODOLOGIA.....	19
2.1	Detalhamento da edificação.....	20
<i>2.1.1</i>	<i>Localização e geometria.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Rotina de utilização das zonas.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Carga térmica.....</i>	<i>24</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Ganhos internos de calor devido à ocupação das zonas</i>	<i>24</i>
<i>2.1.5</i>	<i>Ganhos internos de calor devidos à iluminação artificial das zonas.....</i>	<i>25</i>
<i>2.1.6</i>	<i>Ganhos internos de calor devidos aos equipamentos nas zonas.....</i>	<i>26</i>
<i>2.1.7</i>	<i>Ganhos de calor devido à infiltração nas zonas</i>	<i>27</i>
<i>2.1.8</i>	<i>Ganhos de calor através da envoltória das zonas.....</i>	<i>27</i>
2.2	Crerios e escolha do condicionador de ar.....	28
<i>2.2.1</i>	<i>Controle da temperatura.....</i>	<i>28</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Apresentação do condicionador de ar do tipo Volume de Refrigerante Variável.....</i>	<i>30</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Parâmetros incrementados no EnergyPlus para simulação do condicionador de ar.....</i>	<i>31</i>
2.3	Dados de saída (output) no Energy Plus.....	33
3	ESTUDO DE CASO.....	34
3.1	Forma de Utilização e Localização da Edificação.....	34
3.2	Geometria dos Ambientes.....	36
3.3	Cálculo de Carga Térmica Fatores Internos.....	40
3.4	Análise dos fatores ambientais que influenciam nos volumes de controle..	43
3.5	Análise da temperatura de uma zona.....	44
3.6	Escolha do condicionador de ar.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	ANEXO A.....	54
	ANEXO B.....	56

1 INTRODUÇÃO

O retrato econômico do país desde o fim do último trimestre de 2016 é instável, com relação ao mesmo período dos anos anteriores, somado a escassez pluviométrica ocasionada pela irregularidade das chuvas que afeta uma grande parte do território brasileiro. Segundo o Ministério de Minas e Energia, teve, em 2015 e 2016, taxas de crescimento negativas (MME, 2015). Esses fatos mostram o porquê da preocupação em economizar energia elétrica nas residências, empresas e nas indústrias, pois, os custos de operação podem sofrer um grande aumento, impactando negativamente nos lucros e na competitividade de mercado.

As principais formas do governo de tentar ajustar a situação é utilizando os postos de geração de termoeletricas que, normalmente, são utilizados como ferramenta preventiva, ou melhor, como reserva estratégica, mas que na situação atual operam nas suas máximas cargas. Para auxiliar no controle da demanda energética, além de produzir mais gases do que qualquer outra forma de geração, as termoeletricas são mais onerosas, isso ocasiona um maior preço na fatura do cliente.

Avaliando o caso do preço da energia elétrica fornecido pela Companhia Energética do Ceará (COELCE), atualmente, vendida para a empresa de energias ENEL que desde 22/04/2017 é de 0,474 R\$/KWh para o consumidor residencial (bandeira verde) que pagava no período de 22/04/2015 o valor de 0,41796 R\$/KWh, de acordo com Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2016), houve um acréscimo de 16,34% do valor por quilowatt de energia. A média do preço da energia elétrica em 2010 da região nordeste para os consumidores era de 0,262 R\$/KWh, aproximadamente, 81% maior do que o valor atual.

É nesse quadro econômico que o termo “economia energética” está mais integralizada nas metas da sociedade. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEM,2015) as edificações em todos os segmentos industriais, comerciais, serviço, residencial e público usam cerca de 50% da energia consumida no país, onde, por sua vez, a iluminação e a climatização são os principais sistemas consumidores. A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), indica que depois de integrada a eficiência energética das edificações, o consumo de energia elétrica pode chegar até a 15% do total da eletricidade consumida no Brasil (ABRAVA, 2015).

No Brasil, o clima tropical, equatorial e semiárido cobre uma grande extensão territorial. Nesses ambientes as médias térmicas são comumente altas, acarretando no uso de condicionadores de ar para um melhor conforto térmico no ambiente. Desenvolvendo novas tecnologias para trazer melhorias. Engenheiros e projetistas, buscam produzir meios para

desenvolver projetos mais eficientes de condicionadores de ar com o auxílio de simuladores como o *ENERGY PLUS*, uma forma de dimensionar o projeto no melhor ponto de operação antes de pôr o sistema de refrigeração em funcionamento. Um bom planejamento traz a vantagem de consumir menos energia para se conseguir um estado termodinâmico satisfatório do ar no ambiente.

Os fatores ambientais da região do estudo em questão, bem como o modo de utilização do ambiente e suas diversas características, compõem fatores significativos para uma elaboração de projeto de condicionador de ar, além de definir a máquina para melhor utilizar. Nesse estudo, o foco analisado foi um tipo de condicionador de ar específico, Volume de Refrigerante Variável (VRV), que possui um diferencial de tecnologia eletrônica aliado com o uso de microprocessadores tornando o sistema mais “inteligente”, o qual segue em um crescimento de mercado desde sua criação na década de 80, principalmente, depois dos avanços científicos que agregaram mais tecnologias embarcadas no sistema VRV.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Analisar a eficiência energética de um conjunto de condicionadores de ar de um prédio, além de selecioná-los, de acordo com a modelagem e o dimensionamento, por meio do *ENERGY PLUS*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a carga térmica das zonas da edificação.
- Obter as curvas de desempenho do condicionador de ar selecionado
- Estimar o consumo de energia elétrica e o coeficiente de desempenho (COP) dos sistemas de condicionamento de ar da edificação

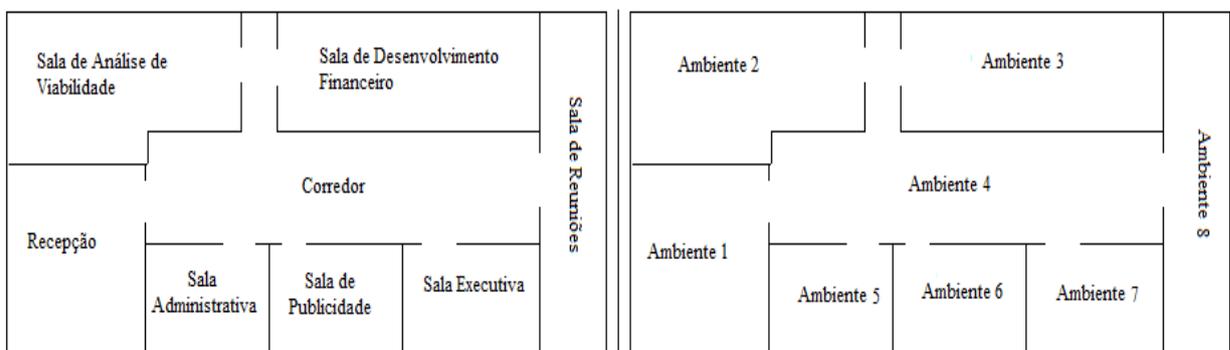
2 METODOLOGIA

O estudo do dimensionamento do condicionador de ar seguiu uma pauta que relaciona os métodos da coleta de variáveis, zoneamento, cálculo de carga térmica, entre outros pontos que foram discutidos detalhadamente, assim como a metodologia que a simulação no *software* Energy Plus (EP) prescreve para consolidação do estudo térmico e energético da edificação escolhida.

De acordo com a ABNT NBR 16401-1 (2008, p.4), “zona térmica é grupo de ambientes com o mesmo regime de utilização e mesmo perfil de carga térmica, permitindo que as condições requeridas possam ser mantidas com um único dispositivo de controle, ou atendidas por um único equipamento condicionador destinado somente àquela zona.”

A escolha dos ambientes que compuseram a zona foi de alta importância na dimensão do condicionador de ar. Uma zona pode conter “N” ambientes ou até mesmo um único. A figura 1 retrata essa divisão que está a cargo do projetista, o qual deve escolher a melhor opção de layout para reduzir o máximo de custo (dutos e fios elétricos, por exemplo) e se ajustar a rotina de utilização das zonas.

Figura 1: Identificações dos ambientes em uma empresa modelo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Divisão do zoneamento pode ser formada da seguinte maneira:

Zona 1 = Ambiente 1

Zona 2 = Ambiente 2 + Ambiente 3

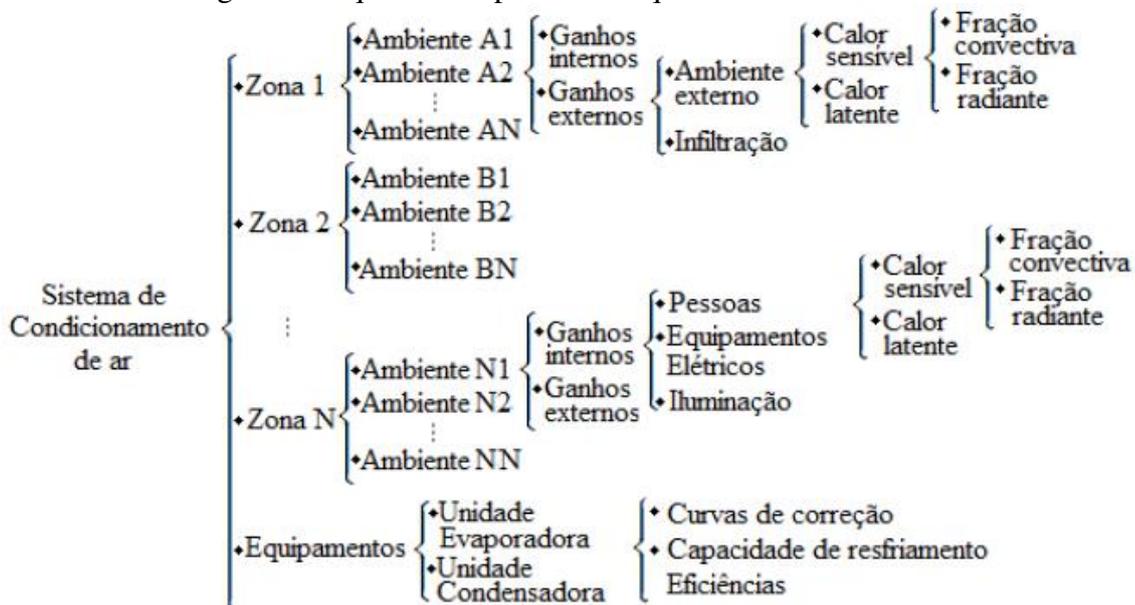
Zona 3 = Ambiente 5 + Ambiente 6 + Ambiente 7

Zona 4 = Ambiente 8

Obs: Ambiente 4 não forma uma zona pois não necessita de um condicionador ar.

A ABNT NBR 16401/2008 é dividida em três documentos que auxiliam na padronização do método do cálculo de viabilidade energética da edificação. O esquema da figura 2 ajuda a entender os fatores pedidos em norma, dos quais foram levados em conta para completar e definir a simulação. O zoneamento da edificação é o primeiro passo para explicitar as regiões em que foram levadas em consideração, ou seja, é preciso diferenciar as áreas que foram simuladas com os condicionadores de ar, das que não foram influenciadas

Figura 2: Esquema dos parâmetros que serão avaliados



Fonte: CALÇA, 2015.

2.1 Detalhamento da edificação

2.1.1 Localização e geometria

O espaço em que o EP permite a entrada de dados é no editor IDF, uma janela que está dividida em classes e cada uma contém campos onde são criados objetos a serem preenchidos com os dados coletados. A classe ilustrada no quadro 1 que permite entrada de dados de *inputs* da posição geográfica é *Localization and Climate*, nela há espaço para definir em qual região climática a edificação se localiza, essa variável proporciona a indicação de TBS, TBU, UR, UA, perfil da velocidade dos ventos, perfil de precipitação, entre outros fatores que influenciam na zona térmica.

Quadro 1: Representação da classe *Localization and Climate*

Classe	Localização e Clima (<i>Localization and Climate</i>)	
Campo	Localização (<i>localization</i>)	Período (<i>Run</i>)
Dados	Latitude	Mês de Início (<i>begin month</i>)
	Longitude	Dia de início (<i>begin of day month</i>)
	Fuso horário (<i>time zone</i>)	Mês do término (<i>end month</i>)
	Elevação (<i>elevation</i>)	Dia do término (<i>end of day month</i>)

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados climáticos e ambientais foram coletados por órgãos competentes de cada região, esses conjuntos de dados de várias localidades foram reunidos em documentos e então disponibilizado para o departamento de energia americano (*U.S. Department of Energy*) que gera um *Weather File* com o formato *epw, quando se inicia a simulação a escolha correta do arquivo climático da região em que o prédio se encontra é primordial para a simulação convergir em valores precisos.

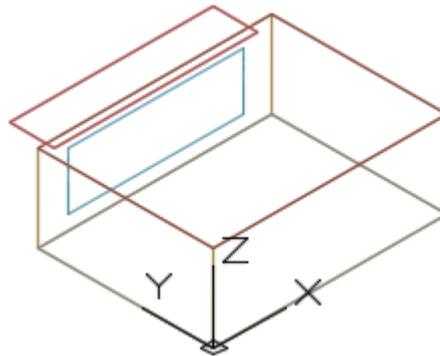
Outra classe pertencente ao IDF do EP chamada de *Thermal Zones and Surfaces*, Representado no quadro 2, onde admite que se caracterize fisicamente a geometria das zonas térmicas, ou seja, permite delimitar as paredes, pisos, tetos, inclinação das estruturas, tamanhos e espessuras. Esses *inputs* representaram os valores retirados da medição feita na própria zona térmica. As zonas foram fixas em relação a um referencial e um eixo de coordenadas padrão X, Y e Z em que se constrói o desenho da edificação no próprio IDF e no final foi necessário orientar a inclinação da edificação em relação ao norte geográfico.

Quadro 2: Representação da classe *Thermal Zones and Surfaces*

Classe	Zonas Térmicas e superfícies (<i>Thermal Zones and Surfaces</i>)		
Campo	Geometria Global (<i>global geometry</i>)	Zona (<i>zone</i>)	Detalhe da Superfície (<i>surface detailed</i>)
Dados	Posição inicial do vértice	Direção em relação ao norte	Tipo de superfície
	Direção de entrada do vértice	Distância em X do ponto	Condição de contorno
	Sistema de coordenadas	Distância em Y do ponto	Exposição ao sol
		Distância em Z do ponto	Exposição ao vento

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3: Exemplo da relação de uma zona com o eixo de coordenadas



Fonte: CALÇA, 2015

O programa precisa receber as dimensões físicas dos espaços que serão simulados, e para isso é disponibilizado dois modos para construir a estrutura 3D da edificação, um dos procedimentos foi usar uma extensão do Sketchup, um programa de desenho tridimensional muito usado na arquitetura, que estava vinculado com o OpenStudio, que fez a transformação do desenho no formato *.skp para o formato *.dxf que é a armação primária do desenho, em outras palavras, transforma uma parede tridimensional em uma geometria composta por linhas simples. A vantagem desse procedimento foi a agilidade na construção do desenho requerido pelo EP, porém, esse método não está completamente validado, acarretando em erros na hora da transformação de projetos complexos.

Mais adiante, após a construção da geometria da edificação, tem a escolha dos materiais que compõe as estruturas físicas, como as paredes, tetos, piso, janela, brises, entre outras. A classe de objetos do simulado *Surface Construction Elements* possui dois objetos que precisam ser preenchidos que são *Material* e *WindowMaterial* neles definem-se, quantitativamente, as propriedades listadas a no quadro 3.

Quadro 3: Representação da classe *Surface Construction Elements*

Classe	Elementos da superfície (<i>Surface construction elements</i>)	
Campo	Material (<i>Material</i>)	Material da janela (<i>Window material</i>)
Dados	Rugosidade	Nome do material
	Espessura	Dado óptico
	Condutividade	Espessura
	Densidade	
	Calor específico	

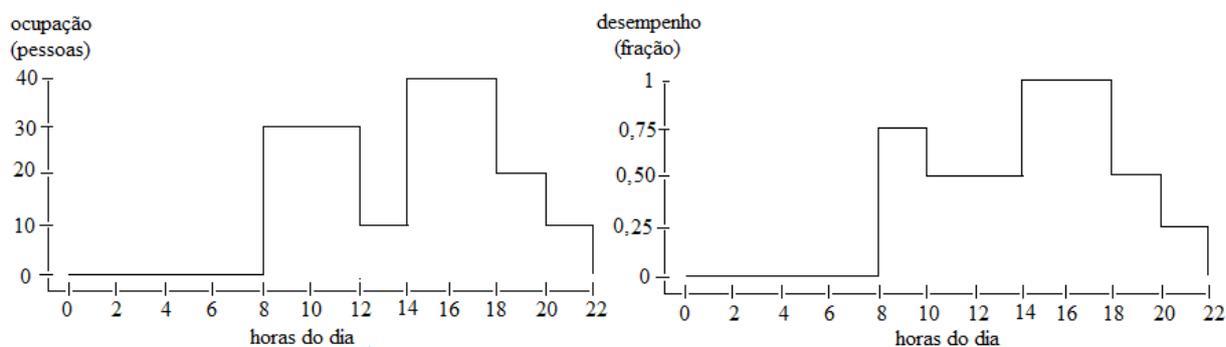
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.2 Rotina de utilização das zonas

Cada espaço, dependendo da sua atividade, apresenta características de ocupação, um consultório médico, por exemplo, pode apresentar pouco número de pessoas em uma zona durante uma parte do dia apenas, enquanto uma sala de aula pode apresentar um número maior de pessoas dentro de um espaço menor e ainda ser ocupado durante os três turnos do dia. Essas características podem apresentar um padrão chamado de rotina, e é esse comportamento constante é que permite prever os picos de ocupação das zonas em estudo.

A classe de objetos na simulação que recebe os dados da rotina de simulação das zonas se chama *Schedule*, que na tradução para o português mais se assemelha a palavra “rotina”, afinal é nessa classe de objetos do EP que se define os valores de utilização dos espaços em simulação desde dos ocupantes, até a utilização dos condicionadores de ar e aparelhos elétricos e luminosos. Essa rotina temporal foi interpretado pelo *software* como um modo de caracterizar a intensidade de pessoas no espaço, por exemplo, ou até mesmo a fração do desempenho do condicionador de ar sempre em relação ao tempo. O gráfico 1 exemplifica bem essa função temporal nos dois casos mencionados.

Gráfico 1: Rotina de ocupação e desempenho de uma zona exemplo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mesmo pode ser feito com o perfil semanal de ocupação e desempenho, assim como um perfil mensal e anual pode ser reproduzindo para evidenciar a caracterização e as peculiaridades das zonas térmicas. O quadro 4 apresenta os dados de entrada que o EP precisa para reproduzir a rotina de utilização da zona térmica, promovendo uma simulação condizente com a realidade.

Quadro 4: Representação dos dados de entrada da rotina (*schedule*)

Classe	Rotina de utilização (<i>Schedule</i>)			
Campo	Tipo do Rotina (<i>Schedule type limits</i>)	Rotina do dia (<i>Schedule:Day</i>)	Rotina da semana (<i>Schedule:Week</i>)	Rotina do ano (<i>Schedule:Year</i>)
Dados	Limite do menor valor	Nome do Rotina	Dias da semana	Nome da rotina semanal
	Limite do maior valor	Tempo 1	Final de semana	Mês de início
	Tipo numérico	Valor até o tempo 1	Período férias	Dia de início
	Tipo de unidade	Tempo 2	Exposição a vento	Mês de termino
		Valor até o tempo 2	Verão/inverno	Dia de termino

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.3 Carga térmica

De acordo com a ABNT 16401-1 (2008) a carga térmica é a máxima carga, simultaneamente, do conjunto de zonas servidas pela unidade; não é, necessariamente a somado máximo das zonas, que podem não ocorrer simultaneamente, considerando ainda um eventual fator de simultaneidade para alguns dos componentes da carga térmica (pessoas, iluminação, fatores externos, equipamentos, infiltração entre outros).

2.1.4 Ganhos internos de calor devido à ocupação das zonas

A presença de pessoas dentro das zonas influencia, normalmente, de forma significativa a intensidade da carga térmica, dependendo do tipo de atividade que se desenvolve no interior do sistema, que pode ser do tipo sedentária que gera pouco calor, sendo até do tipo mais dinâmica como um exercício físico de alta movimentação, em que o nível metabólico gera elevado calor no ambiente. O calor gerado pelo ser humano é parte sensível, sem mudança de fase, e parte latente que é liberado pela respiração e da transpiração.

Consonante com a ABNT 16401-1(2008), os valores tabelados de acordo com o nível metabólico foram padronizados com base em teste detalhados, e indica o valor do calor gerado por uma pessoa em vários tipos de níveis de atividades, como por exemplo uma atividade de escritório (sentado, trabalho leve) tem um valor ajustado de 115 W, sendo 70 W referente ao calor sensível e 45 W ao latente. O valor ajustado significa um valor médio de um ambiente que contem pessoas do sexo masculino e feminino, de criança a adultos.

O EP tem como entrada os dados do número de pessoas presente no ambiente, o nível de atividade, calor gerado (por pessoa), a rotina (*schedule*) de ocupação e a fração de radiação, que o programa entende como a razão do calor sensível pelo calor latente, assim como mostrado no quadro 5.

Quadro 5: Representação dos termos de ganhos internos/pessoas

Classe	Ganhos internos (<i>Internal gains</i>)
Campo	Pessoas (<i>people</i>)
Dados	Nome da zona
	Rotina utilização
	Número de pessoas
	Fração radiante
	Nível de atividade

Fonte: Elaborado pelo autor

2.1.5 Ganhos internos de calor devidos à iluminação artificial das zonas

Assim como o perfil de ocupação, o de iluminação necessita ser analisado para saber como é seu modo de utilização no cálculo de carga térmica, isso inclui saber a rotina da utilização. No caso da iluminação artificial o calor passa ao ambiente em duas formas, uma delas é o calor sensível que se transfere a zona pelo aumento de temperatura das lâmpadas e luminárias e seus reatores, a outra forma é o calor radiante que emite radiação visível e uma faixa de radiação não visível.

O EP exige como *input* a potência individual de cada objeto luminoso na classe *Internal Gains*, incluindo dos reatores que alimentam esses dispositivos luminosos, e seus fatores de fração radiante e visível, os dados de entrada precisam está dentro de um rotina diário que mostra em que momento a iluminação artificial está ou não em simultaneidade com a iluminação natural, assim como mostrado no quadro 6.

Quadro 6: Representação dos *inputs* dos ganhos internos luminosos

Classe	Ganhos internos (<i>Internal gains</i>)
Campo	Iluminação (<i>Lights</i>)
Dados	Nome da zina
	Rotina de utilização
	Potência luminosa
	Quantidade de lâmpadas
	Fração radiante
	Fração visível

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.6 Ganhos internos de calor devidos aos equipamentos em funcionamento nas zonas

Dependendo em que tipo de ambiente a simulação está se referindo, se é em uma sala de aula, em um escritório, casa de máquinas, supermercado, entre outras possibilidades, cada caso possui particularidades em relação aos equipamentos elétricos utilizados. Em uma sala de aula, por exemplo, encontra-se computadores, notebooks e projetores, enquanto em supermercados facilmente é encontrado computadores, compressores, motores elétricos, fornos elétricos, entre outros instrumentos.

Cada equipamento participa para o aumento da carga térmica. A ABNT NBR 16401-1/2008 exibe tabelas com várias espécies de máquinas no que tange sua potência e outros dados necessários. O EP necessita ser informado apenas de dados da potência gerada pelos equipamentos elétricos que devem estar presentes nas zonas e outros fatores listados no quadro 7.

Quadro 7: Representação dos parâmetros da carga térmica dos equipamentos

Classe	Ganhos internos (<i>Internal gains</i>)
Campo	Equipamentos elétricos (<i>Electric equipments</i>)
Dados	Nome da zona
	Rotina de utilização
	Potência do equipamento
	Fração latente
	Fração radiante
	Fração perdida

Fonte: Elaborado pelo autor

2.1.7 Ganhos de calor devido à infiltração nas zonas

Segundo a ABNT NBR 16401-1 (2008, p.12), “Infiltração é o fluxo de ar externo para dentro da edificação através de frestas e outras aberturas não intencionais, e através do uso normal de portas localizadas na fachada”. Essa entrada (infiltração) ou saída (exfiltração) de ar pode ser provocado pelo efeito chaminé, pela diferença de pressão do ambiente interno com o externo ou pela frequência de abertura de portas e janelas. A consequência imediata implica no ganho de carga térmica.

Normalmente, há dificuldade de desenvolver um modelo que represente a infiltração de uma fresta, por exemplo, pois existe uma certa aleatoriedade, já que é uma variável que não está sob controle. Alguns modelos representativos, relativamente, satisfatório pode ser encontrado na literatura, porém só é aconselhável seu uso quando se tem plena certeza que o modelo representativo se assemelha ao caso analisado.

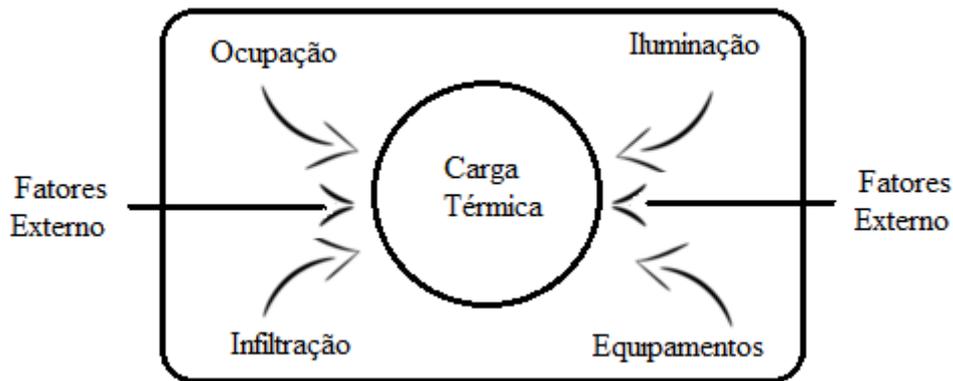
2.1.8 Ganhos de calor através da envoltória das zonas

As zonas são delimitadas pela envoltória que separa o ambiente interno do externo. Os raios solares incidentes e a temperatura externa atuam na carga térmica, por isso é preciso conhecer a localidade onde a edificação está inserida assim como sua geometria e as propriedades físicas do envelope da edificação, comentado no tópico 3.1.

Nas superfícies opacas os raios solares e a temperatura externa transferem calor para as fachadas que absorvem essa energia e se transforma, gradativamente, em carga térmica quando a superfície interna possui temperatura maior que o ar dentro da zona. Há um certo intervalo para o calor se transformar em carga térmica, esse espaço de tempo é resultado direto da inercia térmica que dependem da densidade, calor específico e capacidade térmica dos materiais que compõe o envelope.

Os modos de acréscimo na carga térmica ilustrado na figura 4 representa os fatores que o EP prioriza para o estudo térmico da zona. A representação matemática pode ser observada na equação 1.

Figura 4: Esquema representativo dos fatores que influenciam a carga térmica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_I + \dot{Q}_O + \dot{Q}_E + \dot{Q}_{\text{If}} + \dot{Q}_{\text{Fe}} \quad (1)$$

Legenda da equação (1):

\dot{Q}_I = Taxa de calor referente a iluminação.

\dot{Q}_O = Taxa de calor referente a ocupação.

\dot{Q}_E = Taxa de calor referente aos equipamentos elétricos.

\dot{Q}_{If} = Taxa de calor referente a infiltração.

\dot{Q}_{Fe} = Taxa de calor referente aos fatores externos.

\dot{Q}_{total} = Soma de todos os fatores, expressa, quantitativamente, a carga térmica.

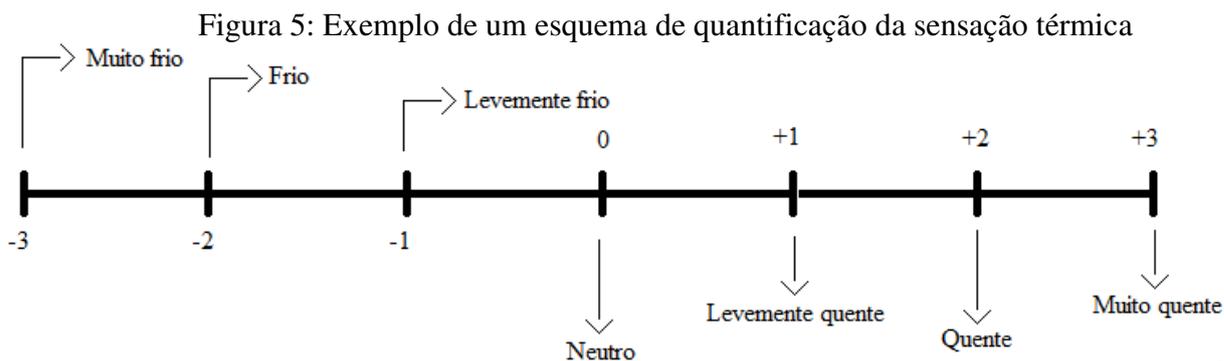
2.2 Critérios e escolha do condicionador de ar

2.2.1 Controle da temperatura

A forma como os indivíduos percebem a temperatura ambiente é a chamada sensação térmica, que pode ser retratada por duas pessoas diferentes como sendo distinta. em uma tabela de níveis de sensação térmica, ou seja, quando se é desenvolvido um questionário sobre o conforto térmico em uma determinada zona em estudo, em que os participantes podem votar de forma quantificada sobre a sensação térmica, a distribuição normal média dos votos indica uma faixa sobre a intensidade da sensação térmica (frio, quente ou neutro), essa discordância entre as pessoas sobre qual o valor de temperatura é o mais confortável

termicamente se dá pela diferença metabólica, tipo de vestimenta e o tipo de atividade realizada dentro da zona avaliada.

Os fatores que mais intervêm no conforto ambiental além da temperatura é a umidade e a velocidade do vento que devem estar dentro das faixas de valores na norma ABNT 16401-2/2008. O esquema da figura 5 exhibe os valores de sensação térmica de forma quantitativa, sendo -3 muito frio, 0 neutro e 3 muito quente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para determinados parâmetros de umidade e velocidade do ar, assim como do tipo de vestimenta e outros fatores, é indicado qual o melhor ponto de operação (temperatura) do qual o condicionador precisa operar. Pode se encontrar uma faixa de valores que retratam o melhor ponto para o conforto ambiental na ABNT NBR 16401-2 (2008, p.3) no tópico parâmetros de conforto.

Após a escolha das temperaturas de operação o sistema precisa se comportar de acordo com o esperado em projeto. Um exemplo pode ser retirado do gráfico 1, se for projetado que durante o período de ocupação ultrapassar 30 pessoas a temperatura escolhida será “ T_a ” se a ocupação estiver entre 10 e 30 pessoas “ T_b ” e se tiver com 10 ou menos pessoas será “ T_c ” e no caso de a zona está vazia a temperatura interna será a mesma do ambiente “ T_{amb} ”, teremos um controle de temperatura programado para operar sempre na melhor temperatura. O exemplo acima pode ser visualizado no gráfico 2.

Gráfico 2: Perfil do controle de temperatura de uma zona exemplo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *software* EP se refere ao controle de temperatura pelo campo *ThermostatSetpoint:SingleCooling*, como mostrado no quadro 8, onde se aponta qual temperatura de operação em determinadas horas preestabelecidas e indicando qual zona se encontra esses valores no campo *ZoneControl:Thermostat*. O mesmo pode ser feito com a maior temperatura que a zona pode ter de acordo com a norma e indicado pelo objeto *ThermostatSetpoint:SingleHeating*, que normalmente pode ser de até 5°C acima da temperatura de *SingleCooling*.

Quadro 8: Representação dos dados de entrada do controle de temperatura das zonas.

Classe	Controle e termostato das zonas (<i>Zone controls and thermostats</i>)	
Campo	Controle:termostato	<i>Setpoint:Resfriamento simples</i>
Dados	Nome da zona	Nome do objeto
	Nome da rotina de controle	Nome da Rotina de <i>setpoint</i>
	Tipo de objeto de controle	
	Nome do objeto de controle	

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.2 Apresentação do condicionador de ar do tipo *Volume de Refrigerante Variável (VRV)*

A empresa Daikin McQuay desenvolveu a tecnologia de volume de refrigerante variável no início da década de 80 trazendo uma opção interessante aos tipos convencionais de condicionadores de ar. Com uma tecnologia embarcada mais sofisticada do que os tradicionais aparelhos, os condicionadores de ar do tipo VRV conseguem adaptar a vazão, automaticamente, do fluido refrigerante para se adequar ao valor necessário, trabalhando com um desempenho ajustável a demanda imposta ao sistema de condicionamento de ar.

Apesar do valor monetário maior para adquirir um condicionador do tipo VRV com o objetivo de compor o projeto, da sua maior dificuldade de instalação e pela limitação no tamanho da tubulação, há a vantagem potencial da economia de energia uma vez que o sistema possui um coeficiente de desempenho (COP), relativamente, alto e por possuir uma faixa de desempenho com altos valores de potência com o mesmo espaço ocupado pelos condicionadores tradicionais, de acordo com o catálogo técnico da empresa Daikin (2013)

O sistema VRV é caracterizado por usar um fluido refrigerante primário ecológico, normalmente o R-410A, e pela possibilidade de trabalhar com várias unidades evaporadores (unidade interna), simultaneamente, assim como permiti o controle de temperatura de cada unidade interna independentemente, ajudando a ter uma maior flexibilidade na instalação. Todavia há casos em que a vantagem de utilizar várias unidades evaporadores ao mesmo instante é evitado, pois quando por determinado motivo a unidade condensadora (unidade externa) apresenta falhas ou defeito várias zonas serão prejudicadas conjuntamente.

2.2.3 Parâmetros de entrada no EnergyPlus para simulação do condicionador de ar

Após demarcar os *inputs* da estrutura e das peculiaridades presente na zona térmica, é necessário simular o ambiente para mensurar a carga térmica que precisa ser retirada do sistema, para só então saber de acordo com o valor medido qual a potência que o condicionador de ar precisa ter para conseguir manter as condições ambientes dentro da norma. O condicionador de ar comercial escolhido precisa ter potência para retirar o pico de carga térmica que a zona simulada pode apresentar. Depois de escolhido as especificações do condicionador de ar comercial, os dados dele entraram na simulação para só então costatar seu desempenho e consumo.

A classe de objetos que precisam ser preenchidos com o detalhamento do condicionador de ar para completar a simulação são:

- *Fans* (objeto *Fan on/off*);
- *Coils* (objeto *Coil: Cooling: DX: VariableRefrigerantFlow*) e;
- *Variable Refrigerant Flow Equipment* (objeto *AirConditioner: VariableRefrigerantFlow*).

A primeira classe mencionada *Fans* está ligado ao sistema mecânico de fluxo de fluido, normalmente, o meio que está imerso, no caso, o ar. Utilizado para forçar a circulação

do ar contra a serpentina de resfriamento aumentando o efeito convectivo de troca de calor dentro da unidade interna do sistema do condicionador de ar e como forma de circular o ar dentro da zona térmica.

Dados de entrada mais relevantes para o objeto *Fan on/off*:

- Rotina de utilização (horas em que o equipamento de ventilação está ativo).
- Aumento da pressão [Pa].
- Máximo taxa de fluxo de fluido [m³/s].
- Eficiência do motor.

A classe *Coil* indica a serpentina de resfriamento, local em que o fluxo do fluido primário de refrigeração por meio de um trocador de calor resfria o ambiente.

Dados de entrada para o objeto *Coil:Cooling:DX:VariableRefrigerantFlow*:

- Rotina de utilização (horas em que o condicionador de ar está ativo).
- Taxa total da capacidade de resfriamento [W].
- Fração de troca de calor sensível (em relação a taxa total da capacidade de resfriamento).
- Taxa do fluxo de ar [m³/s] (dependente com da taxa total da capacidade de resfriamento).

A última classe mencionada *Variable Refrigerant Flow Equipment*, se refere as demais variáveis que circunda o desempenho do condicionador de ar.

Dados de entrada para o objeto *AirConditioner:VariableRefrigerantFlow*:

- Taxa total da capacidade de resfriamento [W]
- COP (ciclo de resfriamento) [W/W]
- COP (ciclo de aquecimento) [W/W]
- Mínima temperatura de resfriamento [°C]
- Máxima temperatura para resfriamento [°C]
- Número de compressores
- Razão de compressão da capacidade total do compressor [W/W]
- Tipo de combustível (geralmente eletricidade)

2.3 Dados de saída (*output*) no *Energy Plus*

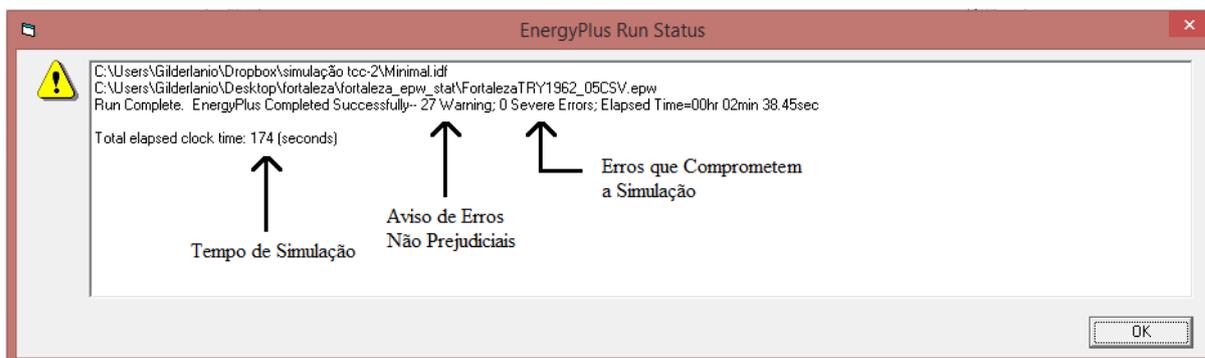
A capacidade de gerar uma vasta quantidade de tipos de dados de saída no EP fez com que o *software* se tornasse uma ferramenta poderosa para análise energética e térmica, por consequência, se torna completa, confiável e de grande utilidade prática.

A classe de objetos que relaciona os dados de saída foi o *Output Reporting*. Os objetos mais utilizados foram: *Output:Surfaces:Drawing* (gera um arquivo *.dxf que ilustra a edificação em 3 dimensões), *Output:Table:SummaryReports* (gera os dados climáticos, a fração da carga térmica dos fatores, etc.), *OutputControl:Table:Style* (escolhe o formato de saída do relatório final e a unidade de energia e potência).

Informações cruciais para o estudo termo-energético e para a escolha do condicionador de ar foram: Carga térmica que o condicionador ar precisa retirar do ambiente, perfil de temperatura em função do tempo na zona térmica, consumo energético e eficiência do sistema. Todos esses dados são escolhidos no objeto *Output:Variable* onde se encontra dezenas de outras variáveis disponíveis para análise, de acordo com a necessidade de análise do projetista.

No momento que a simulação finaliza é aberto automaticamente uma janela que indica o resultado do processo da simulação, se ocorreu como planejado ou se possuem erros que venham a comprometer os dados gerados. A figura 6 é a imagem do resultado de uma simulação exemplo, onde aparece a quantidade de 27 (*vinte e sete*) *warning* que sinaliza algum erro no código que foi encontrado, mas que não invalida a simulação, pois o próprio programa consegue contornar o problema. Os *Severe Errors* são falhas que impossibilitam o andamento da simulação.

Figura 6: Status final de uma simulação exemplo do EP



Fonte: Elaborado pelo autor.

3 ESTUDO DE CASO

A simulação planejada nesse trabalho foi da edificação 707, bloco didático encontrado no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza. A análise foi feita em todas as salas que compõe o bloco, sendo analisado vários comportamentos energéticos e térmicos no período de janeiro de 2016 até dezembro de 2016, para isso o estudo foi feito através de uma metodologia cujo propósito foi catalogar apenas os dados necessários propostos.

3.1 Forma de Utilização e Localização

O bloco 707 é utilizado para fins acadêmicos no Centro de Tecnologia do Campus do Pici, inaugurado em 2012 sendo frequentado, na maior parte do dia, por estudantes de engenharia. Usado em tempo integral no período matutino, vespertino e noturno, a estrutura comporta uma grande demanda, por isso o conforto térmico e luminoso são de extrema importância para o processo de aprendizado. A figura 7 demonstra o espaço físico da edificação.

Figura 7: Imagem da edificação em estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O prédio contém 25 salas de aulas distribuídas em 5 pavimentos, cada pavimento com 5 salas, cada qual possuindo características geométricas parecidas, assim como formas de utilização também parecidas, todas as salas suportam em média o mesmo número de pessoas, cerca de 60 alunos, exercendo atividade de baixa movimentação, ou seja, atividade sedentária.

Localizada na posição geográfica descrita na tabela 1 é necessário converter a notação minutos e segundos para casas decimais em ângulos, pois o *software* EP pede que a entrada de dados geográficas seja dada em ângulo.

Tabela 1: Posicionamento global da edificação

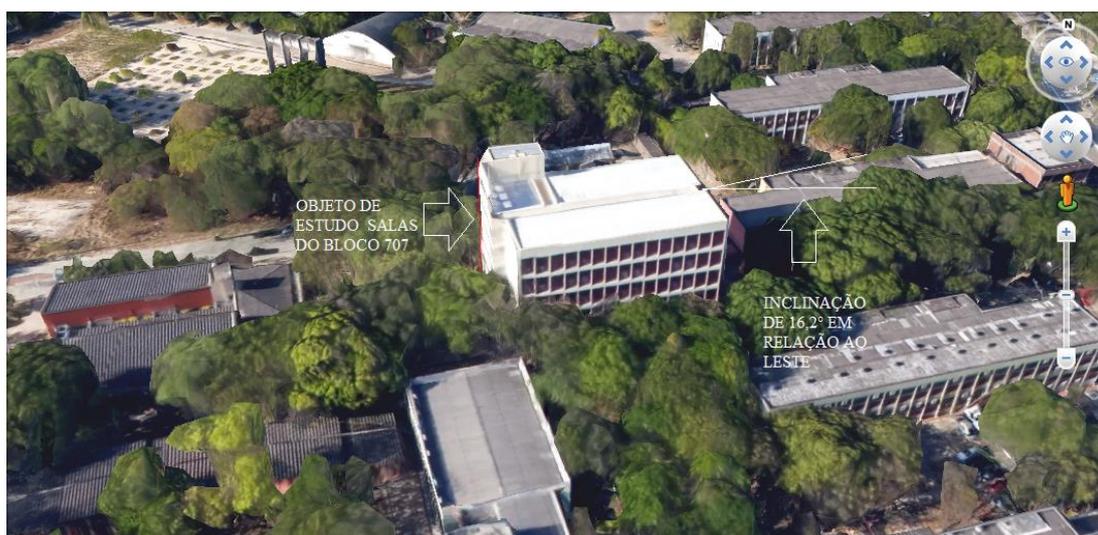
Coordenada geográfica	Referência	Direção [°]
Longitude	W 38° 34' 33''	-38,53°
Latitude	S 3° 44' 36''	-3,78°

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os referenciais utilizados pelo EP são a linha do Equador e o Meridiano de Greenwich. O valor de latitude indica que a posição em relação ao Equador é de 3,78° em direção ao sul geográfico, enquanto que a posição da longitude é de 38,53° em direção leste.

A vista superior mostra a situação do terreno em que a edificação está construída e revela sua posição exata, assim como no seu entorno, no caso do bloco 707 é circundada por árvores além de outras construções de menor porte. A figura 8 mostra uma excelente vista onde a edificação foi erigida.

Figura 8: Vista externa da edificação.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2016)

A edificação está rotacionada 16,2° em relação ao leste como mostra a figura 15, essa inclinação influencia os ângulos de incidência solar nas paredes da edificação, o que causa

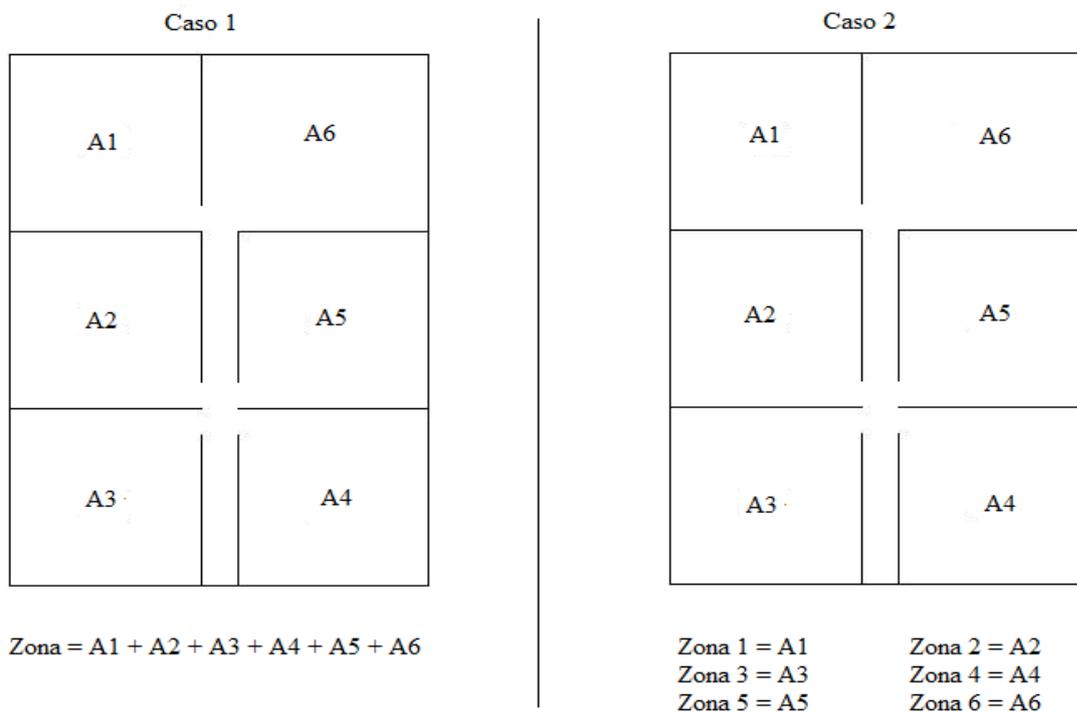
uma diferença no fator de convergência da radiação solar em comparação se a edificação não estivesse com determinada inclinação.

3.2 Geometria dos Ambientes

A ABNT 16401-1:2008 define zona térmica como um conjunto de ambientes de mesmo regime de utilização que serão, simultaneamente, consideradas as cargas térmicas, ou seja, serão ponderadas para o dimensionamento do condicionador de ar a participação de cada ambiente, uma vez que o mesmo será utilizado como único dispositivo de controle destinado somente para uma zona.

O número de condicionadores de ar é o mesmo número de zonas térmica, cada zona pode ter vários ambientes (caso 1) ou somente um único ambiente (caso 2), assim como exemplificado na figura 9.

Figura 9: Dois tipos de representação de uma zona térmica de um pavimento.



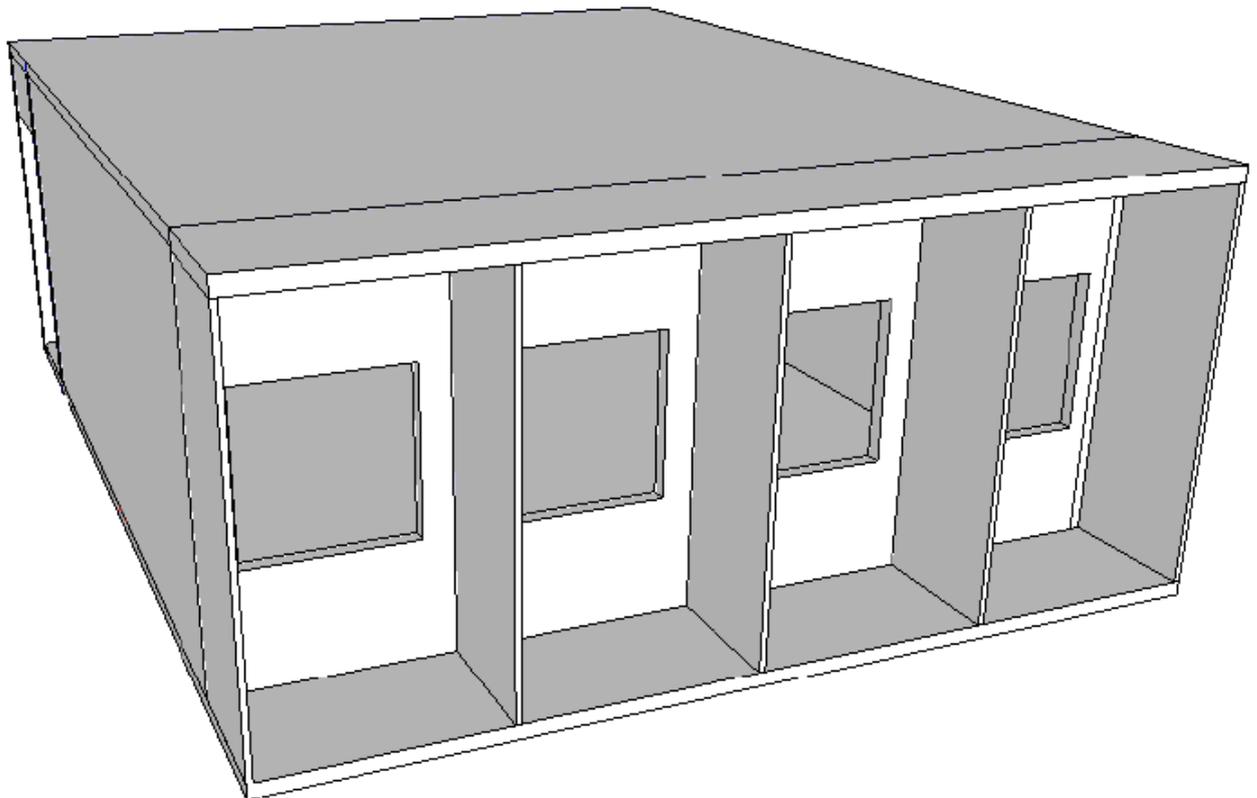
Fonte: Elaborado pelo autor.

A edificação em estudo possui 25 salas dividido em 5 pavimentos que constituirão como 25 zonas, cada qual simuladas com condicionadores de ar independentes, outra forma de fazer o estudo foi escolhendo as 5 salas de cada pavimento para modelar como 1 zona com 5 ambientes, porém caso o condicionador de ar instalado venha a demonstrar defeitos no seu uso,

todo o pavimento será prejudicado, ou seja, 5 salas de aula. Pensando nisso as simulações foram feitas em cada sala individualmente, se ocorresse algum problema em uma máquina apenas uma sala seria prejudicada, afetando menos alunos.

Na simulação no EP as dimensões de cada sala foram baseadas na dimensão de apenas uma sala usada como padrão. A sala modelo está na figura 10, enquanto as dimensões estão na tabela 11.

Figura 10: Zona padrão condicionada da edificação



Fonte: Calça, 2015.

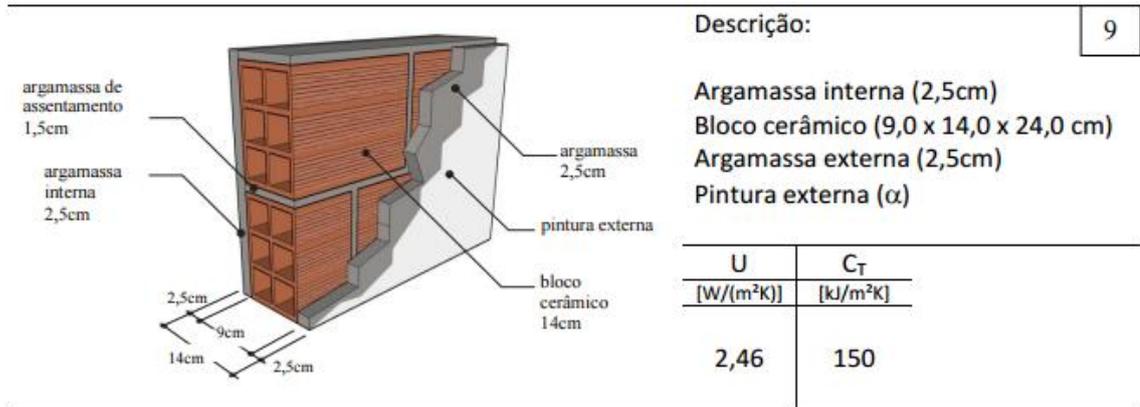
Tabela 2: Parâmetros dimensionais de uma zona.

Parâmetros (uma zona)	Valor
Fachada Norte-Sul	
Largura	8 m
Altura	2,8 m
Fachada Leste-Oeste	
Largura	7,65 m
Altura	2,8 m
Piso	
Largura	8 m
Comprimento	7,65 m
Área da fachada Norte-Sul	22,4 m ²
Área da fachada leste-oeste	21,42 m ²
Área total	210,04 m ²
Superfície transparente (janela)	
Largura	1,4 m
Altura	1,4 m
Área da superfície transparente*	7,84 m ²
Dimensões da Porta	
Largura	1,45 m
Altura	2,6 m
Área da Porta	3,77 m ²
Volume total	171,36 m ³

Fonte: Elaborado pelo autor.

As paredes da sala são constituídas de três camadas reboco, tijolo e argamassa, um modelo está representado na figura 11, elas compõem o envelope lateral da sala padrão não levando em consideração as dimensões da camada de tinta. As pinturas das paredes interna e externa definem os valores da emissividade, a parede interna é da cor branco gelo e a da superfície externa vermelho tijolo, não levando em considerações os dispositivos de sombreamento que serão comentados mais adiante.

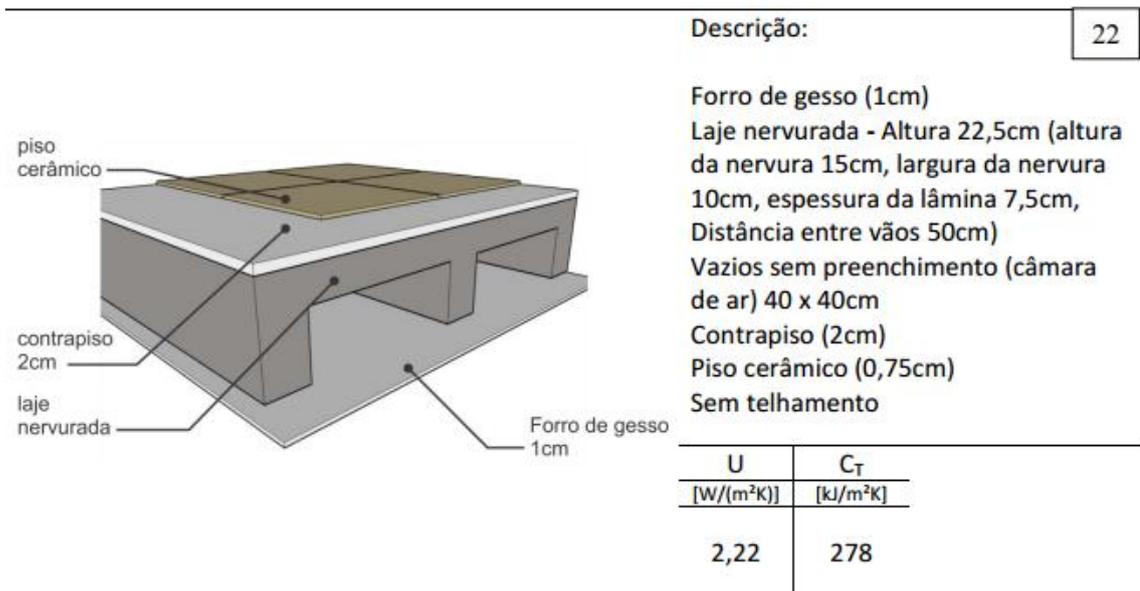
Figura 11: Modelo aproximado do envelope lateral da edificação



Fonte: Anexo da portaria INMETRO nº 50 /2013, anexo geral V propriedades térmica das paredes, coberturas e vidros.

O teto de cada zona é uma extensão do piso da zona superior, o modelo que retrata aproximadamente esse caso está na figura 12.

Figura 12: Modelo adotado para teto-piso das zonas



Fonte: Anexo da portaria INMETRO nº 50 /2013, anexo geral V propriedades térmica das paredes, coberturas e vidros.

A edificação é equipada com vários dispositivos de sombreamento que impede a incidência direta da radiação solar, assim como promove a turbulência do ar, além de bloquear sua passagem. Cada sala é cercada com 5 dispositivos de sombreamento verticais e 2 horizontais, facilmente visualizado na figura 10.

O EP tem como dados de entrada algumas propriedades dos materiais das paredes, piso, teto, janelas e porta que são importantes para efetuar quantitativamente a participação no cálculo da inércia térmica da estrutura, os valores estão definidos na tabela 3.

Tabela 3: Propriedade térmica dos materiais da construção.

Construção	Materiais	Condutividade (λ) [W/m.K]	Massa Específica (ρ) [Kg/m ³]	Calor Específico (c_p) [J/Kg.K]
Parede				
	Argamassa	0,72	1860	780
	Bloco Cerâmico	0,9	1600	920
Teto-Piso				
	Gesso	0,35	750	840
	Laje	1,75	2200	1000
	Contra Piso	0,72	1860	780
	Piso	1,05	2000	920
Porta				
	Madeira (Pinho)	0,12	510	1380
Janela				
	Vidro	1,4	750	2500

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Cálculo de Carga Térmica Fatores Internos

A ABNT 16401-1:2008 páginas 11 e 12, define os fatores que influenciam no ganho de calor interno que são: pessoas, iluminação, equipamentos eletrônicos e qualquer outra fonte calor significativo. A quantidade e a rotina de utilização desses fatores precisam ser determinadas, pois o condicionador de ar precisa ser suficiente para anular o aumento da temperatura da zona que esse elemento por ventura venha ocasionar.

A sala de aula, normalmente, é composta, além dos alunos e o professor, por lâmpadas, computador e projetor de slides. No caso do Bloco 707 a quantidade de alunos que a sala comporta é de 60 alunos, porém, devido a vários fatores raramente a sala está na sua capacidade limite, por isso foi definido que o fator de utilização da edificação é 90%, de acordo com a análise da lista de presença de 5 professores diferentes, ou seja, por diversos motivos há alunos que faltam, compactuando com o valor abaixo do limite. O período em que as salas possuem alguma atividade é 08:00 às 12:00 com intervalo de almoço de duas horas retornando

as atividades das 14:00 às 22:00, a rotina diária, semanal e mensal de todas as zonas se encontram no gráfico 3, 4 e 5.

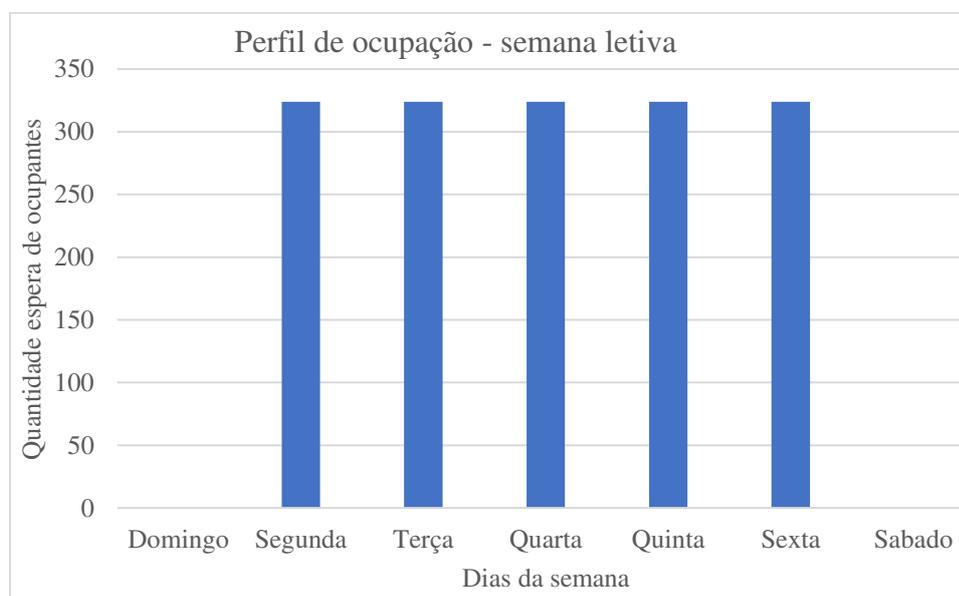
Gráfico 3: Rotina de ocupação da sala de aula nos dias letivos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Supondo que não haja feriados na semana e que se mantenha constante o valor médio de alunos dentro de uma zona. O gráfico 4 representa esse perfil semanal para um pavimento (andar) da edificação.

Gráfico 4: Rotina de ocupação da sala de aula nas semanas letivas em um pavimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Supondo que todos os dias úteis letivos durante um mês, a sala tenha seu valor médio alcançado, ou seja, 100% da ocupação esperada.

Gráfico 5: Rotina de ocupação das zonas térmicas ao longo do ano.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A norma ABNT 16401-1 (2008- anexo C) mostra valores de calor sensível e latente que cada pessoa gera de acordo com a atividade realizada, diversos fatores influenciam no metabolismo humano, como movimentação, idade, sexo entre outros elementos, porém a norma realizou diversos teste que produzem um valor estatístico ajustado mais próximo do valor médio, que no caso de uma sala de aula é considerado um trabalho leve sedentário onde cada pessoa gera uma taxa de calor de 115 W cada, logo o valor da carga térmica total pode ser conseguido multiplicando com a quantidade de pessoas, o valor da carga total na rotina de utilização pode ser visualizado na tabela 4.

Tabela 4: Participação do fator humano na carga térmica interna.

Local	Área do piso (m ²)	Nº Ocupantes/aula	Tipo de atividade	Calor gerado (W/pessoa)	Calor total (W)	Fs
Zona	61,2	55	Trabalho leve	115	6325	0,95
Pavimento	306	275	Trabalho leve	115	31625	0,95
Edificação	1530	1375	Trabalho leve	115	158125	0,95

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada zona possui vinte e quatro lâmpadas de 32 W e a mesma quantidade de reatores duplos de 5 W cada, totalizando 600 lâmpadas e 600 reatores em toda edificação, supondo que elas estejam em funcionamento no mesmo ciclo da rotina das pessoas, o que significa, que todos os equipamentos elétricos serão acionados no período de aula, esquematizado na tabela 5. Supondo que todo professor utiliza um notebook e um projetor de slide para ministrar aula, então os equipamentos elétricos que geram calor sensível para o ambiente precisam da mesma forma ser avaliados. O projetor em média tem potência 245 W, enquanto o notebook 65 W, totalizando 310 W que para efeito de simulação será considerado que toda aula é ministrada com os dois equipamentos, o valor do fator dos equipamentos também pode ser visto a seguir.

Tabela 5: Participação do calor dos equipamentos na carga térmica interna.

Local		Lâmpadas	Reatores	Notebook	Projetor	Total
Zona						
	Nº equipamento	24	24	1	1	
	Potencia (W)	32	5	65	245	
	Total (W)	768	120	65	245	1198
Pavimento						
	Nº equipamento	120	120	5	5	
	Potencia (W)	32	5	65	245	
	Total (W)	3840	600	325	1225	5990
Edificação						
	Nº equipamento	600	600	25	25	
	Potencia (W)	32	5	65	245	
	Total (W)	19200	3000	1625	6125	29950

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Análise dos fatores ambientais que influenciam nos volumes de controle

O *Energy Plus* na sua interface de simulação *EP-launch* requer dois tipos de arquivos para poder iniciar a simulação, um é o *IDF* que contém todos os dados da edificação necessários geometria, dimensões, por exemplo, para obter o cálculo de carga térmica escolhido como um *input file*, outro tipo é o *weather file* que seleciona um arquivo tipo **epw* disponibilizado pelo *U.S. Department of Energy*.

Os diversos dados que o departamento de energia americano possui são coletados por órgãos responsáveis de cada país ou região, no caso da cidade de fortaleza a qual o estudo está sendo realizado, são coletados no aeroporto internacional Pinto Martins, localizado na

posição geográfica 3°46'44.23"S e 38°32'26.92"O uma distância de aproximadamente 5,4 km do bloco estudado, uma das considerações mais importante do estudo é que há uma invariabilidade das condições ambientais, apesar da distância.

Os dados podem ser verificados no formato HTML, facilmente visualizado em um software de navegação (*Google Chrome, Firefox*, entre outros). A tabela 6 referenciam valores na ordem mostrada pelo arquivo *.epw do programa EP.

Tabela 6: Dados climáticos de Fortaleza-Aeroporto Internacional Pinto Martins

Dados climáticos relevantes	Valores
Referência	FortalezaTRY1962_05EPWCSV
Dados do local	Fortaleza-TRY
Latitude	{S 3° 46'}
Longitude	{O 38° 31'}
Hora em relação a Greenwich	{GMT -3.0 Horas}
Elevação acima do nível do mar (m)	25
Pressão padrão (absoluta)	101025Pa
Máxima TBS (°C)	32.2°
Máxima TBS ocorre em	mar/09
Mínima TBS (°C)	19.7°
Mínima TBS ocorre em	jul/18
Máxima TBU (°C)	28.3°
Máxima TBU ocorre em	dez/01
Mínima TBU (°C)	17.2°
Mínima TBU ocorre em	ago/17
Classificação de Köppen	Af
Descrição de Köppen	Tropical úmido (sem estação seca, floresta tropical, quente ano inteiro, lat. < 10°)
Recomendação de Köppen	Aquecimento pode não ser requerido
Zona climática da ASHRAE	3C
Descrição ASHRAE	Caloroso - próximo ao mar

Fonte: *U.S. Department of Energy* – Adaptado pelo autor.

3.5 Análise da temperatura de uma zona

No momento da escolha do condicionador de ar que irá compor o sistema térmico foi preciso conhecer qual o *SetPoint*, que indica qual a temperatura que o condicionador de ar

vai sustentar com o intuito de satisfazer o conforto térmico dos ocupantes, a temperatura escolhida deve atender mais de 80% do grupo de pessoas, ou seja, essas pessoas precisam expressar satisfação no conforto térmico, presumindo que todos exerçam a mesma atividade, usem roupas parecidas e que a densidade de pessoas seja homogênea em toda a zona, assim como a temperatura. A ABNT 16401-2/2008 indica uma faixa de valores de temperatura, em determinadas condições de umidade, tipo de roupa (clo) e estação do ano. Essa faixa de valores são testes padronizados em laboratório os quais facilitam na hora de escolher a temperatura de *SetPoint*. A tabela 7 demonstra essas faixas de valores.

Tabela 7: Faixa de valores para escolha do *SetPoint*.

Verão (0,5 clo)		Inverno (0,9 clo)	
Temperatura	Umidade Relativa	Temperatura	Umidade Relativa
22,5 °C – 25,5 °C	65%	21 °C – 23,5 °C	60%
23 °C – 26 °C	35%	21,5 °C - 24 °C	30%

Fonte: Adaptado pelo autor

O tipo de vestimenta mais adotado na região onde ocorre esse estudo é equivalente ao valor de 0,5 clo, enquanto a umidade relativa média de Fortaleza é de 65 % essas variáveis indicam a faixa de 22,5 °C – 25,5 °C, então o valor escolhido precisa estar dentro dessa faixa, a temperatura de *SetPoint* escolhida para reproduzir a simulação é de 25 °C.

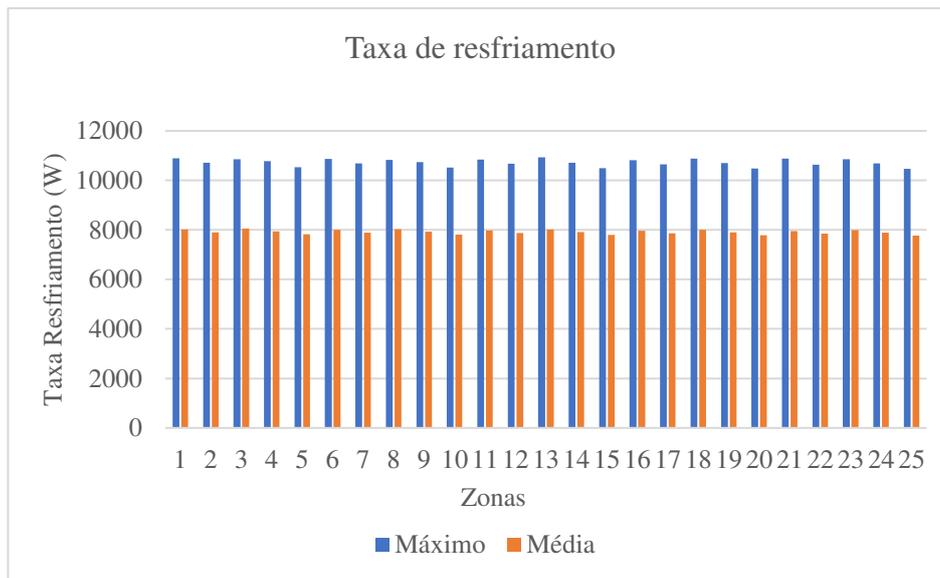
3.6 Característica e desempenho do condicionador de ar

No momento do estudo feito as zonas possuíam dois condicionadores de ar de 30000 Btu /h cada. Para definir o qual máquina vai operar nas zonas, é preciso saber a quantificação aproximada da carga térmica total, que é a soma das cargas internas (sensível e latente) com a carga térmica externa que influenciam cada zona, individualmente. O *EnergyPlus* gera valores dessa carga térmica total que vai auxiliar na escolha do condicionador de ar do tipo VRF pois a soma do calor gerado dentro das zonas precisa ser aproximadamente igual ao calor retirado como exemplificado na fórmula x, quando chegar na temperatura de operação do *SetPoint*.

$$\dot{Q}_{entra} + \dot{Q}_{sai} \approx 0 \quad (2)$$

Coletando os dados e aplicando esses valores em um gráfico, facilita de visualizar qual o porte e a classe que o condicionador necessita ter. O gráfico 6 ajuda a observar os valores da potência de resfriamento para retirar a carga térmica das 25 zonas.

Gráfico 6: Potência de resfriamento que o condicionador de ar é demandado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor máximo expressa a dimensão do condicionador de ar que deve ser instalado nas salas de aulas, com a potência de 10,6 KW, o passo seguinte é procurar qual deve ser a melhor escolha do condicionador de ar para compor o sistema.

Uma análise do custo/benefício precisa ser avaliada para a escolha de um condicionador de ar que atenda aos requisitos de potência, de custo e de consumo. As características do produto escolhido seguem na tabela 8. Pensando, primeiramente, em reduzir ao máximo o consumo elétrico devido a situação atual da escassez hídrica como uma forma de economizar a utilização desse recurso, por isso, a prioridade foi dada aos produtos que possuem classificação “A” de eficiência energética, indicado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) no documento do PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem).

Tabela 8: Especificação escolhida das unidades do condicionador de ar.

Marca	LG MultiV
Unidade Externa/Interna	ARUN036GS2/ ARUN183VJA2
Tipo	Reverso
Cap. De Refrigeração Padrão (BTU/h)	38000/19100
Eficiência Energética - 220V (W/W)	3,34
Faixa de Classificação (A-E)	A

Fonte: Elaborado pelo autor.

A capacidade de resfriamento líquida possibilitada pelo evaporador escolhido (unidade interna) é de 19100 Btu/h, enquanto que o condensador (unidade externa) é de 3800 Btu/h, por tanto foram necessárias duas unidades evaporadoras para garantir as trocas de calor, efetivamente.

Depois de escolhido as unidades internas e externas, o próximo passo é calcular a razão de combinação, que indica a relação entre as unidades, seguindo a equação (14):

$$RC = \frac{\dot{Q}_{\text{resfriamento/evap}}}{\dot{Q}_{\text{resfriamento/cond}}} \quad (3)$$

No caso, o valor de RC é de 1,005, podendo ser arredondado para o valor unitário, a fim de facilitar o cálculo. No anexo A está a tabela para a razão de combinação é 1. A capacidade de refrigeração de 38000 Btu/h, condiz com as condições de teste: temperatura bulbo seco externa (TBS_e) 35 °C e temperatura de bulbo úmido interna (TBU_i) 19,4 °C. (LG ELETRONICS Inc., 2015)

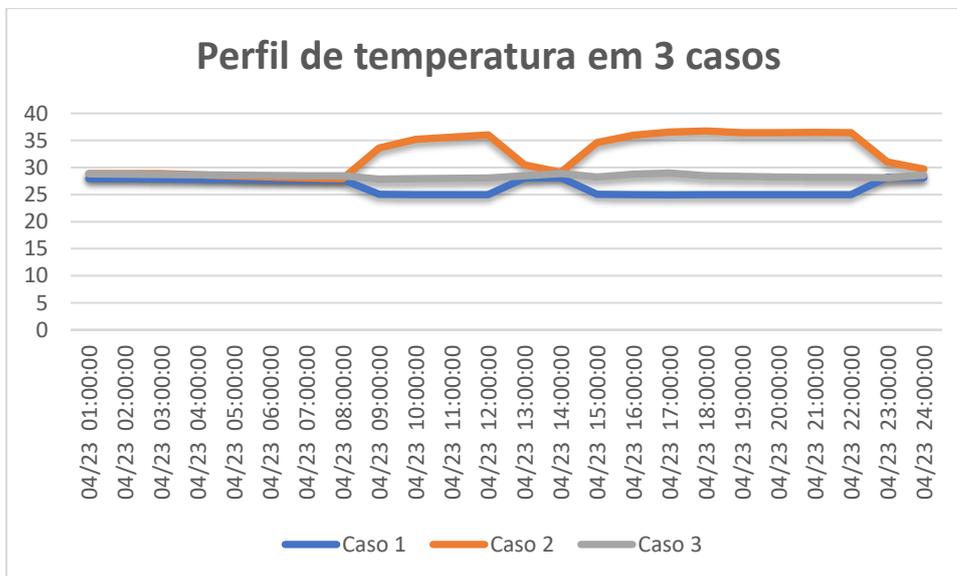
A tabela do Anexo A contém os valores de potência e consumo elétrico para várias combinações de temperaturas, diferentes das temperaturas padrão mencionada no parágrafo anterior. Foram geradas curvas biquadráticas (Anexo B) para colocar como dado de entrada na simulação, com a intenção de formar curvas de correção para as várias combinações de temperatura que o EP determina.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *software* EP foi programado para gerar dados usuais que possam demonstrar as características das zonas térmicas, onde foram dimensionados os condicionadores de ar. Esses *outputs* foram definidos após a finalização da simulação, dentre os dados de saída estão a carga térmica, o perfil de temperatura, dos quais já foram apresentados anteriormente, os dados de consumo energético foram exibidos ao final da simulação.

O condicionador de ar precisa retirar calor do ambiente suficientemente para se alcançar a temperatura de *SetPoint* definida. Para visualizar melhor a variação de temperatura para se alcançar a temperatura predefinida, o gráfico 7 auxilia nessa demonstração. A temperatura da zona 1 demonstra o perfil de temperatura sem a influência das cargas internas e do condicionador de ar (Caso 3), a temperatura da zona 1 com a influência das cargas internas e sem a influência do condicionador de ar (Caso 2) e a temperatura com a influência das cargas internas em conjunto com o condicionador de ar em pleno funcionamento programado (Caso 1).

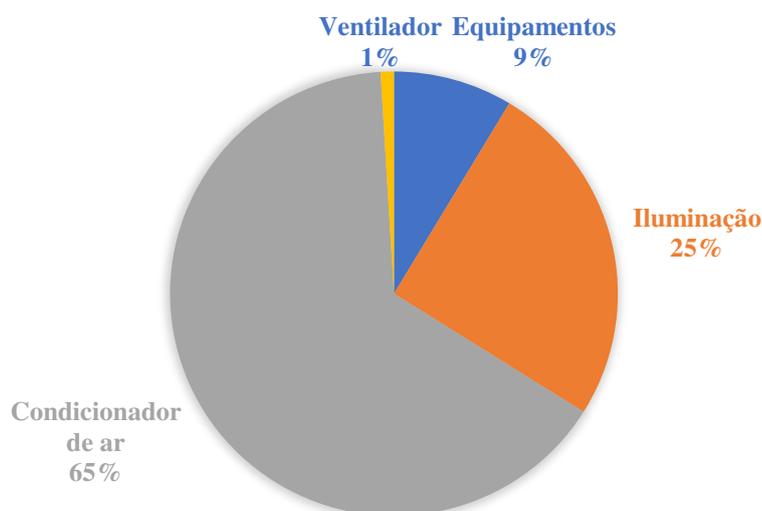
Gráfico 7: Perfil de temperatura diário em 3 casos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliar a porcentagem da taxa de consumo de eletricidade em relação ao valor total do consumo, o EP consegue gerar valores que indicam a participação de cada fator: Equipamentos elétricos, Iluminação, ventiladores e Condicionadores de ar. O gráfico 8 apresenta esses dados.

Gráfico 8: Porcentagem da participação dos fatores no consumo elétrico



Fonte: Elaborado pelo autor

O valor do consumo energético ao longo do período de um ano, se encontra na tabela 9, onde há quantificação da participação de cada fator no consumo de energia da edificação.

Tabela 9: Valor de consumo de cada classe de componentes elétricos para edificação.

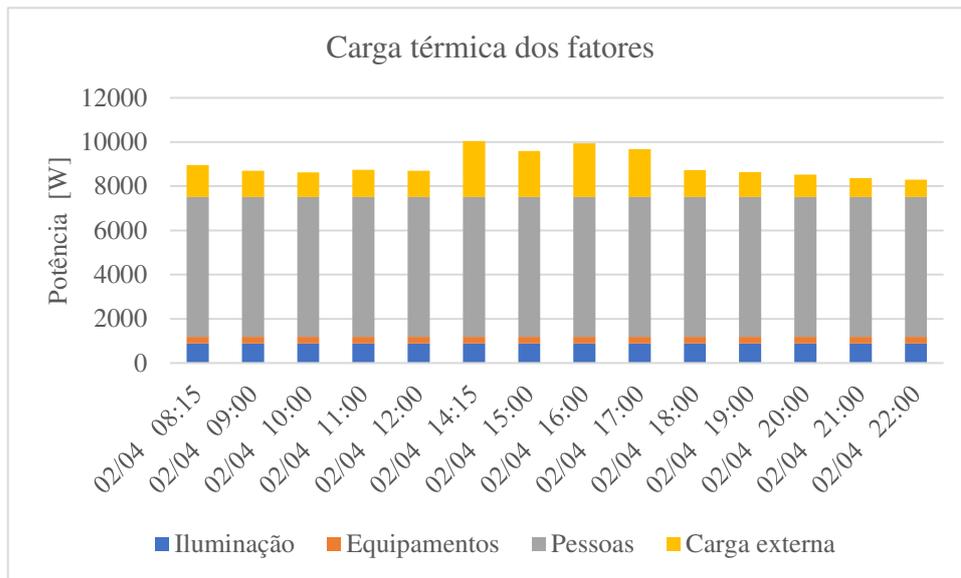
Fator	Consumo anual (GJ)	Porcentagem
Equipamentos	70	9,57%
Iluminação Artificial	185	25,30%
Condicionador de ar	476	65,11%
Total	731	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para saber o grau de influência da carga térmica dos fatores que geram calor, interno ao ambiente e externo ao ambiente, foi preciso gerar dados para conseguir verificar o termo

mais influente na carga térmica, assim como podemos ver no gráfico 9. Os dados foram tirados em um dia aleatório (02/04/16) e verificado somente o período em que a zona estava sendo utilizada para as atividades padrões. O valor de pico do gráfico de carga térmica do perfil anual indica a dimensão do condicionador de ar, como já mencionado.

Gráfico 9: Carga térmica gerado pelos fatores internos e externos a zona.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a finalidade de calcular o COP de cada Zona, foi utilizado a equação (4):

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{resfriamento}}}{\text{EIR}_{\text{médio}}} \quad (4)$$

Dependentemente das condições de temperatura, pode-se ter valores variáveis do COP e, conseqüentemente, a eficiência dos sistemas oscilam. Os valores médios ficaram na faixa de 3,6 à 3,75, ligeiramente maior do valor estipulado no estudo indicado na tabela 10.

Tabela 10: Cálculo do COP das Zonas estudadas.

	Calor extraído pelo condicionador de ar anual [GJ]	Eletricidade consumida anual [GJ]	COP
Zona 1	9,29	2,5	3,68
Zona 2	9,11	2,5	3,61
Zona 3	9,31	2,5	3,69
Zona 4	9,46	2,5	3,75
Zona 5	9,25	2,5	3,67
Zona 6	9,27	2,5	3,68
Zona 7	9,10	2,5	3,61
Zona 8	9,29	2,5	3,69
Zona 9	9,43	2,5	3,74
Zona 10	9,24	2,5	3,67
Zona 11	9,26	2,5	3,67
Zona 12	9,08	2,5	3,60
Zona 13	9,27	2,5	3,68
Zona 14	9,42	2,5	3,74
Zona 15	9,23	2,5	3,66
Zona 16	9,24	2,5	3,67
Zona 17	9,07	2,5	3,60
Zona 18	9,26	2,5	3,67
Zona 19	9,40	2,5	3,73
Zona 20	9,22	2,5	3,66
Zona 21	9,23	2,5	3,66
Zona 22	8,98	2,5	3,56
Zona 23	9,34	2,5	3,71
Zona 24	9,38	2,5	3,72
Zona 25	9,21	2,5	3,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

O delineamento do estudo se deu pelos mecanismos de operação, usualmente, utilizado para conseguir dimensionar o condicionador de ar, a análise das dimensões, as propriedades físicas das zonas foram os primeiros fatores a se caracterizar e dimensionar. As propriedades físicas da envoltória vão influenciar diretamente o fluxo de calor do ambiente externo das zonas térmicas para os ambientes internos.

Utilizando hipóteses baseadas em observação de como o perfil de ocupação dos ambientes estabelecidos, pôde-se definir os fatores que influenciaram na carga térmica, como a do calor gerado pelas pessoas, iluminação artificial e equipamentos (ganhos internos). No caso do fator da carga térmica externa que apresentou nas zonas, foi calculado no final da simulação, uma vez que o método numérico apresentou o valor mais condizente com o real.

Com o valor de pico da carga térmica estabelecido, o passo seguinte foi definir qual o condicionador de ar iria cumprir a tarefa de manter a temperatura ambiente com valores de 25°C (*setpoint*), para isso, a escolha foi de um condicionador cuja potência de refrigeração é de 38000 BTU, enquanto o COP médio da edificação tem valor de 3,34 W/W. Um dos parâmetros para escolha do condicionador de ar estava na eficiência nível “A”, já que o foco era buscar sempre compor as zonas com equipamentos mais eficientes afim de economizar o consumo elétrico na edificação pública. O valor do consumo anual de energia foi na ordem de 731 GJ referente as 25 zonas analisadas.

As curvas de desempenho geradas para efetuar o cálculo do consumo anual atingiram valores de correção entre 0,97 e 0,98, que são valores excelentes, pois são próximos de 1, isso acarreta em valores de consumo de energia anual e o cálculo do coeficiente de desempenho mais confiáveis para a simulação.

As hipóteses utilizadas para a determinação do condicionamento de ar prevaleceram, valores tendenciosos para sua medida máxima, ou seja, números que claramente não serão atingidos no cotidiano das atividades da edificação, porém, estará garantido, que no pior dos casos, terá um bem-estar térmico, por isso, vale ressaltar que na maior parte do tempo os condicionadores estarão superdimensionados para as zonas.

REFERÊNCIAS

- ABRAVA. **Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento**. Acesso em 13.01.2016: <http://abrava.com.br/?p=4092>. São Paulo, 2015.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Boletim de Informações Gerenciais** – 1º trimestre de 2016. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de ar condicionado– Sistemas centrais e unitário. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalações de ar condicionado– Sistemas centrais e unitário. Parte 2: Parâmetro de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.
- BEN. **Balanco Energético Nacional**. Acesso em 13.01.2016: <http://abrava.com.br/?p=4092>. Rio de Janeiro, 2015.
- CALÇA, G. D. **Avaliação do Consumo de Energia e da Eficiência Energética do Condicionamento de Ar de Uma Sala de Aula de Através de Simulação Numérica**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.
- INMETRO. **Eficiência Energética**. Condicionadores de Ar Split HI-WALL Atualizado em 25/11/2016. < http://inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indicenovo.pdf > Acesso em 01 de Dez. 2016.
- INMETRO. **Anexo da Portaria Nº 50/2013 Atualizado em 08/06/2015**: Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. < http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf > Acesso em 10 de abril. 2016.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Caracterização do Cenário Econômico para os próximos 10 anos (2015-2024)**. Série Estudos Econômicos. Nota técnica DEA 12/15. Rio de Janeiro, 2015.
- LG Electronics Inc. Multi V mini. **Engineering Manual**. n. 1, p. 27, 2015. Disponível em:< http://www.lg-vrf.com/multi-v-mini.aspx/Download?filename=EMMultiVMini_5_15_20150522111423.pdf&id=1023>. Acesso em 20 de junho 2017.

ANEXO A – TABELA DE DADOS DE DESEMPENHO PARA CR=100%

Combination Ratio (%)	Outdoor Air Temp (°F) DB	Indoor Air Temperature (°F) WB													
		57		61		64		67		70		73		76	
		MBh	PI	MBh	PI	MBh	PI	MBh	PI	MBh	PI	MBh	PI	MBh	PI
100	23	25.2	0.78	30.6	1.02	34.4	1.18	38.2	1.24	42.8	1.61	45.5	1.74	49.3	1.98
	25	25.2	0.81	30.6	1.05	34.4	1.21	38.2	1.30	42.8	1.64	45.5	1.77	49.3	2.02
	30	25.2	0.84	30.6	1.09	34.4	1.24	38.2	1.36	42.8	1.67	45.5	1.80	49.3	2.05
	35	25.2	0.87	30.6	1.12	34.4	1.27	38.2	1.43	42.8	1.71	45.5	1.83	49.3	2.08
	40	25.2	0.90	30.6	1.16	34.4	1.33	38.2	1.55	42.8	1.77	45.5	1.89	49.3	2.14
	45	25.2	0.96	30.6	1.21	34.4	1.40	38.2	1.61	42.8	1.80	45.5	1.92	49.3	2.17
	50	25.2	1.03	30.6	1.27	34.4	1.46	38.2	1.66	42.8	1.86	45.5	2.00	49.3	2.21
	55	25.2	1.04	30.6	1.29	34.4	1.49	38.2	1.69	42.8	1.90	45.5	2.04	49.3	2.25
	60	25.2	1.09	30.6	1.35	34.4	1.56	38.2	1.77	42.8	1.98	45.5	2.13	48.1	2.31
	65	25.2	1.11	30.6	1.38	34.4	1.59	38.2	1.81	42.8	2.10	45.5	2.30	47.4	2.44
	70	25.2	1.13	30.6	1.41	34.4	1.67	38.2	1.96	42.8	2.27	45.5	2.49	46.6	2.57
	75	25.2	1.19	30.6	1.54	34.4	1.83	38.2	2.19	42.8	2.50	45.1	2.71	45.8	2.75
	80	25.2	1.27	30.6	1.65	34.4	1.97	38.2	2.32	42.8	2.70	44.3	2.84	45.1	2.86
	85	25.2	1.46	30.6	1.91	34.4	2.28	38.2	2.69	42.4	3.09	42.8	3.10	43.5	3.13
	90	25.2	1.57	30.6	2.05	34.4	2.45	38.2	2.89	41.6	3.22	42.0	3.24	42.8	3.26
	95	25.2	1.67	30.6	2.19	34.4	2.62	38.2	3.10	40.9	3.35	41.6	3.37	42.4	3.39
	100	25.2	1.79	30.6	2.35	34.4	2.82	38.2	3.33	40.1	3.48	40.9	3.50	41.6	3.53
	105	25.2	2.02	29.0	2.73	32.9	3.22	36.7	3.72	37.4	3.81	39.3	3.88	40.1	4.00
	110	24.4	2.23	27.5	2.90	30.6	3.75	34.4	4.00	35.1	4.06	37.4	4.22	39.0	4.31
	115	24.2	2.25	27.2	2.97	30.2	3.78	34.0	4.04	34.8	4.10	37.1	4.25	38.5	4.35

Fonte: LG Electronics Inc.(2015).

1 – Dados de Correção das Curvas (CapFT e EIRFT)

Os dados da capacidade de resfriamento retirados da tabela acima precisam ser divididos pelo valor padrão de 38000 BTU (38 MBh). Esse valor padrão é referente ao valor de teste na temperatura $TBS_e = 35^{\circ}C$ e $TBU_i = 19,35^{\circ}C$.

TBU_i(°C)	13,89	16,11	17,78	19,44	21,11	22,78	24,44
TBS_e(°C)	MBh						
-5,00	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
-3,89	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
-1,11	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
1,67	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
4,44	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
7,22	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
10,00	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
12,78	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,30
15,56	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,27
18,33	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,25
21,11	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,20	1,23
23,89	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,19	1,21
26,67	0,66	0,81	0,91	1,01	1,13	1,17	1,19
29,44	0,66	0,81	0,91	1,01	1,12	1,13	1,14
32,22	0,66	0,81	0,91	1,01	1,09	1,11	1,13
35,00	0,66	0,81	0,91	1,01	1,08	1,09	1,12
37,78	0,66	0,81	0,91	1,01	1,06	1,08	1,09
40,56	0,66	0,76	0,87	0,97	0,98	1,03	1,06
43,33	0,64	0,72	0,81	0,91	0,92	0,98	1,03
46,11	0,64	0,72	0,79	0,89	0,92	0,98	1,01

A mesma ação feita para a capacidade de resfriamento foi utilizada para a energia de entrada (EIRFT). O valor padrão na temperatura $TBS_e = 35^\circ\text{C}$ e $TBU_i = 19,35^\circ\text{C}$ está relacionado com a Energia de Entrada de 3,07 KW. Portanto a tabela corrigida ficou da seguinte forma:

TBU_e(°C)	13,89	16,11	17,78	19,44	21,11	22,78	24,44
TBS_e(°C)	PI						
-5,00	0,25	0,33	0,38	0,40	0,52	0,57	0,64
-3,89	0,26	0,34	0,39	0,42	0,53	0,58	0,66
-1,11	0,27	0,36	0,40	0,44	0,54	0,59	0,67
1,67	0,28	0,36	0,41	0,47	0,56	0,60	0,68
4,44	0,30	0,38	0,43	0,50	0,58	0,62	0,70
7,22	0,31	0,39	0,46	0,52	0,59	0,63	0,71
10,00	0,34	0,41	0,48	0,54	0,61	0,65	0,72
12,78	0,34	0,42	0,49	0,55	0,62	0,66	0,73
15,56	0,36	0,44	0,51	0,58	0,64	0,69	0,75
18,33	0,36	0,45	0,52	0,59	0,68	0,75	0,79
21,11	0,37	0,46	0,54	0,64	0,74	0,81	0,84
23,89	0,39	0,50	0,60	0,70	0,81	0,88	0,89
26,67	0,41	0,54	0,64	0,76	0,88	0,93	0,93
29,44	0,48	0,62	0,74	0,88	1,01	1,01	1,02
32,22	0,51	0,67	0,80	0,94	1,05	1,06	1,06
35,00	0,54	0,71	0,85	1,01	1,09	1,10	1,10
37,78	0,58	0,77	0,92	1,08	1,13	1,14	1,15
40,56	0,66	0,89	1,05	1,21	1,24	1,26	1,30
43,33	0,73	0,96	1,22	1,30	1,32	1,37	1,40
46,11	0,73	0,97	1,23	1,32	1,34	1,38	1,42

ANEXO B: CURVAS E EQUAÇÕES DAS CURVAS DE DESEMPENHO

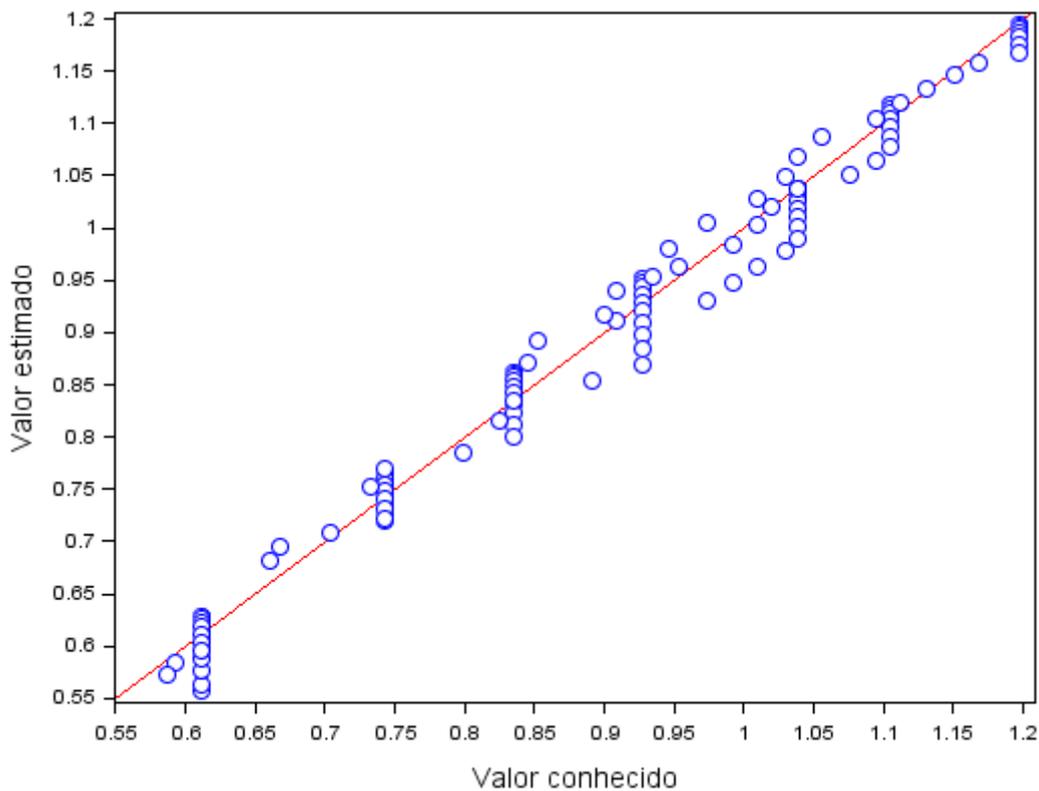
Para ser feita a correção foi utilizada uma equação biquadrática do tipo:

$$F(TBS_e, TBU_i) = a + b(TBS_e) + c(TBS_e)^2 + d(TBU_i) + e(TBU_i)^2 + f(TBS_e)(TBU_i)$$

Após calculada a regressão no *software* SCILAB, os coeficientes do CapFT e do EIRFT foram descobertos, com o intuito de inserir esses valores no EP para se ter a correção do desempenho do condicionador de ar. Os valores dos coeficientes são:

	CapFt	EIRFT
a	-0.7434182	-0.0759768
b	0.0107569	-0.0016876
c	-0.0000959	0.0001298
d	0.116722	0.0196692
e	-0.001535	-0.0004597
f	-0.0004709	0.0000682

A curva do CapFT registra as dispersões dos dados, com os coeficientes mencionados a cima, a confiabilidade pode ser interpretada pelo cálculo do $R^2 = 0.9856365$.



Fonte: Elaborado pelo autor

A curva do EIRFT registra as dispersões dos dados, com os coeficientes mencionados a cima, a confiabilidade pode ser interpretada pelo cálculo do $R^2 = 0.9754927$.

