

## SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTO DE CLIMATIZAÇÃO DE SALA DE AULA

[\[ver artigo online\]](#)

Bruno Leite Cruz<sup>1</sup>

### RESUMO

Este estudo apresenta o estudo de dimensionamento de um aparelho de ar-condicionado para uma sala de aula localizada na cidade de Porto Alegre – RS. Além disso, condições de dias de projeto foram utilizadas para simular/comparar com os demais dias do ano. Para a simulação foi utilizado o software EnergyPlus®, assim como, o Euclid (Sketchup) para elaboração da planta da edificação, incluindo os dados da zona térmica. Na simulação foram feitas considerações quanto a potência de equipamentos elétricos, iluminação, quantidade de pessoas e renovação do ar.

**Palavras-chave:** Dimensionamento, Ar-condicionado, Simulação, Edificações, Renovação do ar.

## COMPUTATIONAL SIMULATION FOR DIMENSIONING CLASSROOM AIR CONDITIONING EQUIPMENT

### ABSTRACT

This study presents the sizing study of an air conditioning unit for a classroom located in the city of Porto Alegre - RS. In addition, design day conditions were used to simulate/compare with other days of the year. For the simulation, the EnergyPlus® software was used, as well as Euclid (Sketchup) to prepare the building plan, including the thermal zone data. In the simulation, considerations were made regarding the power of electrical equipment, lighting, number of people and air renewal.

**Keywords:** Dimensioning, Air Conditioning Unit, Simulation, Buildings, Air renewal.

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Mecânica pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, Rio Grande do Sul, brunoleite11@yahoo.com.br.



## 1. INTRODUÇÃO

Diminuir as emissões dos gases do efeito estufa continua sendo um tema muito debatido no meio acadêmico e a tendência é continuar assim por muito tempo. Uma opção para que aconteça a redução destes gases é reduzir o consumo de energia elétrica, visto que grande parte da energia consumida, em todo o mundo, é oriunda da queima de combustíveis fósseis em termoelétricas (CRUZ, 2022). Em contrapartida, diversos estudos buscam desenvolver e aplicar formas alternativas e ecologicamente sustentáveis de geração de energia. Assim, é necessário que a humanidade tenha disciplina e consciência ecológica fazendo uso dos recursos disponíveis de forma responsável, causando o mínimo impacto ambiental pelo seu consumo.

Uma opção para redução do consumo de energia elétrica é a utilização de softwares de simulação computacional que permitem, por exemplo, examinar a viabilidade técnica e consumo de energia de equipamentos em determinados cenários. Nesse contexto, o software EnergyPlus® possibilita uma real análise do consumo energético em edificações, sendo capaz de simular a utilização de diversos tipos de equipamentos e materiais de construção para um melhor consumo de energia aliado ao conforto térmico esperado (ENERGYPLUS, 2023).

BARBOSA (2013), utilizou o software EnergyPlus® para verificação de desempenho térmico de ambientes com fachadas duplas. Assim como WANG (2021) e ABOLHASSANI (2023) também utilizaram o EnergyPlus® para seus estudos que foram, respectivamente a utilização de uma janela ventilada de dupla parede integrada com células em um edifício rural e a utilização de uma estrutura metodológica sistemática para avaliar os impactos das mudanças climáticas nas demandas de aquecimento e resfriamento de edifícios.

Assim como os três autores supracitados, este estudo fez uso desta ferramenta computacional para simular situações, utilizando diversas possibilidades e cenários, para dimensionar aparelhos de ar-condicionado, de uma sala de aula na região sul do Brasil, com foco na eficiência energética e em um consumo sustentável.

No Brasil, para a realização e normatização de estudos técnicos como o do presente estudo, além de manuais técnicos, artigos científicos e demais publicações

de autores conceituados nas áreas, deve-se considerar o acervo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Assim, para fundamentação teórica deste estudo foram utilizadas as seguintes normas:

- ABNT NBR 15.220 - 2:2022 - Desempenho térmico de edificações. Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD).
- ABNT NBR 15.220 - 3:2005 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.
- ABNT. NBR 15.575: 2021 - Coletânea de Normas Técnicas. Edificações Habitacionais – Desempenho.
- ABNT NBR 16.401 - 1:2008 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projeto das instalações.
- ABNT NBR 16.401 - 2:2008 - Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.
- ABNT NBR 16.401 - 3:2008 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior.
- ABNT NBR ISO 50.001:2018 - Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso.

## 2. OBJETIVOS

Realizar estudo de climatização de uma sala de aula, localizada na cidade de Porto Alegre – RS.

Comparar os resultados dos dias de projeto com base nas temperaturas obtidas após a simulação.

Identificar a potência requerida para um aparelho de ar-condicionado (split) para o sistema proposto.

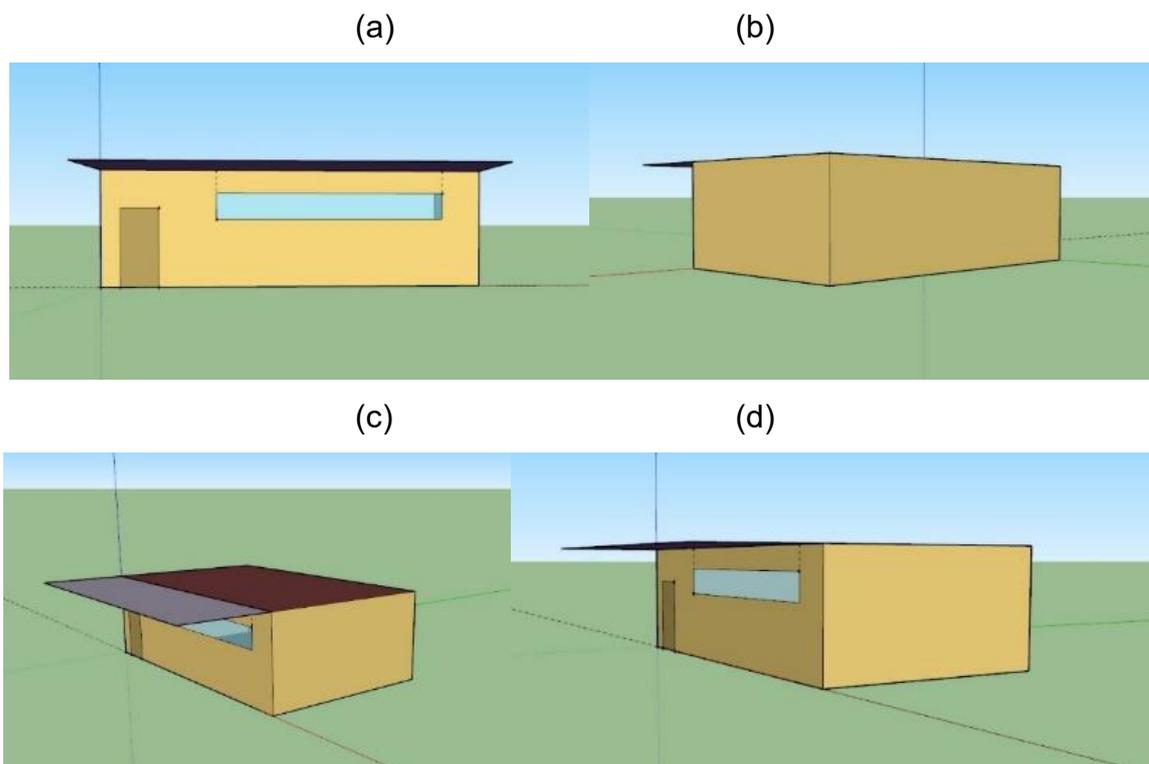
## 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1 A EDIFICAÇÃO

Para o estudo foi considerada uma sala de aula localizada na cidade de Porto Alegre – RS (Brasil). A sala fica em uma edificação que possui salas climatizadas em seus dois lados, assim como no andar superior (*ceiling*), de forma que suas paredes laterais, parede de trás e teto foram considerados adiabáticos (*interior door*). O piso foi considerado piso externo (*exterior floor – ground*).

As Figuras 1(a-d) abaixo mostram o esboço da sala do estudo.

Figura 1 – Esboço da sala de aula: (a) Vista frontal, (b-d) Vistas de perspectiva oblíqua.



Fonte: Autor (2021)

É possível verificar, pelas Figuras acima, que existe uma marquise em frente à sala, ela é a representação do corredor do piso superior. Para tal foi considerada sem transmitância de forma a não permitir a passagem de calor do sol (*always off*).

As dimensões da sala de aula são: comprimento de 10m, largura de 6m e pé direito de 3,1m.

### 3.2 DADOS DA SIMULAÇÃO

Para o estudo foram considerados 2 (dois) dias de projeto, o dia 21 de janeiro (verão) sendo o dia mais seco e com temperaturas mais altas, e 21 de julho (inverno) dia mais úmido e com temperaturas mais baixas. As temperaturas de referência para este estudo foram retiradas do livro: Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras, de GOULART (1998), que é o arquivo referência para este tipo de pesquisa.

Com o objetivo de calcular a transferência de calor no solo, situação mais próxima do real, foi considerado como piso externo, e, dessa forma, foram estabelecidas temperaturas médias para cada mês do ano, como segue a Tabela 1.

Tabela 1 – Temperatura do solo ao longo do ano.

<b>Mês</b>	<b>Temperatura do Solo (°C)</b>
Janeiro	23,24
Fevereiro	21,18
Março	18,85
Abril	17,13
Maio	15,78
Junho	15,34
Julho	15,22
Agosto	17,23
Setembro	19,81
Outubro	22,16
Novembro	23,80
Dezembro	24,19

Fonte: Autor (2021)

### 3.2.1 Schedules

Os schedules são utilizados no EnergyPlus®, assim como na maioria dos programas de simulação, para representar os padrões de uso e operação da edificação e seus sistemas, tais como o período de utilização de iluminação, pessoas no local, horário de operação e temperaturas do sistema de climatização. No caso deste estudo, que trata de uma edificação e sistemas sem alta complexidade, foi utilizado o schedule do tipo *COMPACT*.

Os schedules utilizados no projeto foram:

- a) Office Lights Schedule (Programação das luzes - Iluminação)
- b) Office Equipment Schedule (Programação de equipamentos)
- c) Office Occupancy Schedule (Cronograma de ocupação)
- d) Infiltration Schedule (Cronograma de infiltração)
- e) Infiltration Half On Schedule (Renovação do ar pela metade no cronograma)
- f) Infiltration Quarter On Schedule (Renovação do ar no trimestre dentro do cronograma)
- g) Hours of Operation Schedule (Horários de operação)
- h) Always On (Sempre ligado)
- i) Always Off (Sempre desligado)
- j) Heating Setpoint Schedule (Programação do ponto de ajuste de aquecimento)
- k) Cooling Setpoint Schedule (Programação do ponto de ajuste de resfriamento)
- l) Office Activity Schedule (Cronograma de atividades)
- m) Office Work Eff. Schedule (Cronograma de trabalho efetivo)
- n) Office Clothing Schedule (Programação de vestuários)

### 3.2.2 Materiais

Os materiais empregados na edificação são os que seguem na Tabela 2:

Tabela 2 – Materiais utilizados na simulação.

---

**Piso Externo**

---

I02 placa de isolamento de 50 mm

---

M15 concreto pesado 200mm

---

**Piso interno**

---

F16 Placa acústica

---

F05 Resistência do espaço aéreo do  
teto

---

M11 concreto leve 100mm

---

**Parede externa**

---

Reboco Branco

---

M01 Tijolo 100mm

---

I02 placa de isolamento de 50 mm

---

Reboco Branco

---

**Parede interior (revestimento)**

---

G01a placa de gesso 19mm

---

F04 Resistência do espaço aéreo da  
parede

---

G01a placa de gesso 19mm

---

**Telhado Exterior**

---

M11 concreto leve 100mm

---

F05 Resistência do espaço aéreo do  
teto

---

F16 Placa acústica

---

**Teto Interior (forro)**

---

M11 100mm concreto leve

---

F05 Resistência do espaço aéreo do  
teto

---

G01a placa de gesso 19mm

---

**Janela**

---

Vidro claro 3mm

---

Ar 13mm
Vidro claro 3mm
<b>Porta</b>
F08 Superfície de metal
I01 placa de isolamento de 25 mm
Fonte: Autor (2021)

### 3.2.3 Internal Gains (Ganhos Internos)

a) Para a iluminação foram considerados os dados da Tabela 3 que segue:

Tabela 3 – Dados de iluminação da sala.

	<b>Iluminação</b>	<b>Horários</b>
Dias da semana	on	08:00 até 22:00
Dias de Projeto	on	24h
Feriados	off	off

Fonte: Autor (2021)

b) Foi considerada uma potência de 1.500W dentro da sala de aula, equivalente ao retroprojetor e um notebook, funcionando simultaneamente.

c) Para a área total de 60m<sup>2</sup> utilizou-se 25 (vinte e cinco) alunos e mais 1 (um) professor, totalizando 26 pessoas dentro da sala de aula sempre que tiver atividade, sendo este o cenário mais crítico em relação a ocupação por pessoas.

### 3.2.4 Infiltration (Renovação de ar)

Foi considerado o *schedule: Always on*, para 2 (duas) renovações completas por hora. Assim, para a área total de 60m<sup>2</sup> x 3,1m (pé direito), teremos um volume de 186m<sup>3</sup> para cada renovação de ar.

### **3.2.5 HVAC Template: Thermostat (Heating, Ventilation and Air Conditioning - Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado)**

O *setpoint* dos termostatos foram regulados para 20°C e 24°C para o ponto de aquecimento e resfriamento, respectivamente.

A Temperatura máxima do ar fornecido para aquecimento foi de 50°C e a Temperatura mínima do ar de refrigeração 13°C.

Para o cálculo de dimensionamento do aparelho de ar-condicionado foi considerado um fator de 10% a maior na carga térmica, com a finalidade de aumentar a capacidade do aparelho.

## **3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Após a simulação obteve-se como resultado que as lâmpadas da sala de aula representam um consumo anual de 13.789,95 KWh e os equipamentos elétricos de 21.184,38 KWh.

Da simulação tem-se que a média anual da temperatura operativa encontrada foi de 23,86°C e a média anual da temperatura de bulbo seco da cidade de Porto Alegre é de 19,08°C.

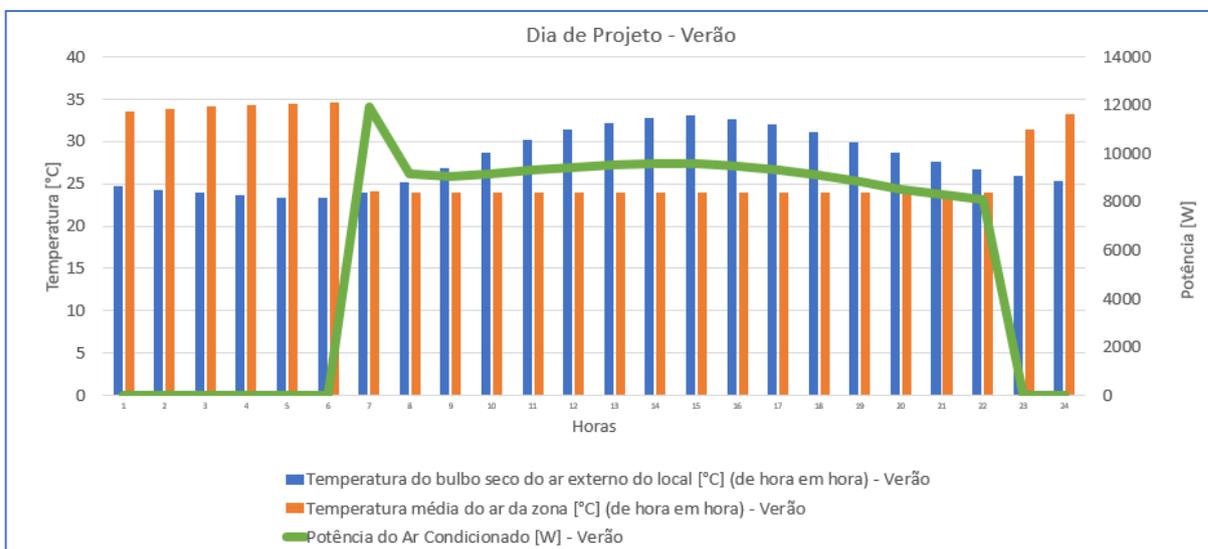
Comparando-se os dados dos dois dias de projeto com os demais dias do ano, verificou-se que, apesar dos dias de projeto serem considerados como os dias e cenários extremos, os seus resultados estão em consonância/equivalência numérica com os demais dias do ano.

As Figuras 2(a-b), apresentam os gráficos dos dias de verão e inverno, respectivamente, comparando a temperatura de bulbo seco (ar externo do local), a temperatura média do ar na zona térmica e a potência de refrigeração (capacidade de refrigeração do aparelho de ar-condicionado). Pose-se observar que o horário de

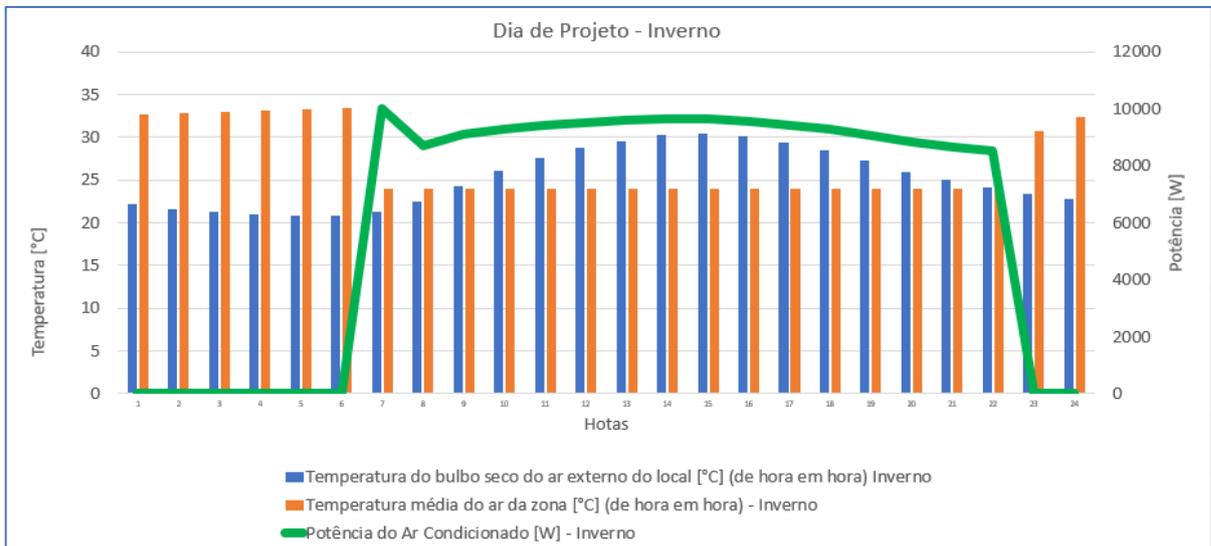
início das atividades na sala de aula é às 7 horas da manhã, quando as lâmpadas, os equipamentos elétricos e o aparelho de ar-condicionado são ligados. Para este horário inicial é requerida a maior potência do sistema de climatização, para retirar grande parte do calor que está dentro do ambiente que ficou a noite inteira sem climatização. Ainda nestes gráficos, pode-se notar que a temperatura externa aumenta durante o dia e a temperatura dentro da sala de aula diminui e estabiliza em 24°C, que é um requisito do projeto, voltando a aumentar após o término das atividades na sala com o desligamento do aparelho de ar-condicionado às 22h e, pelo fato de estar no período da noite, a temperatura fora da sala de aula é menor que dentro dela.

Figura 2(a-b) - Temperatura de bulbo seco x temperatura média do ar na zona térmica x potência térmica (dias de projeto).

(a)



(b)

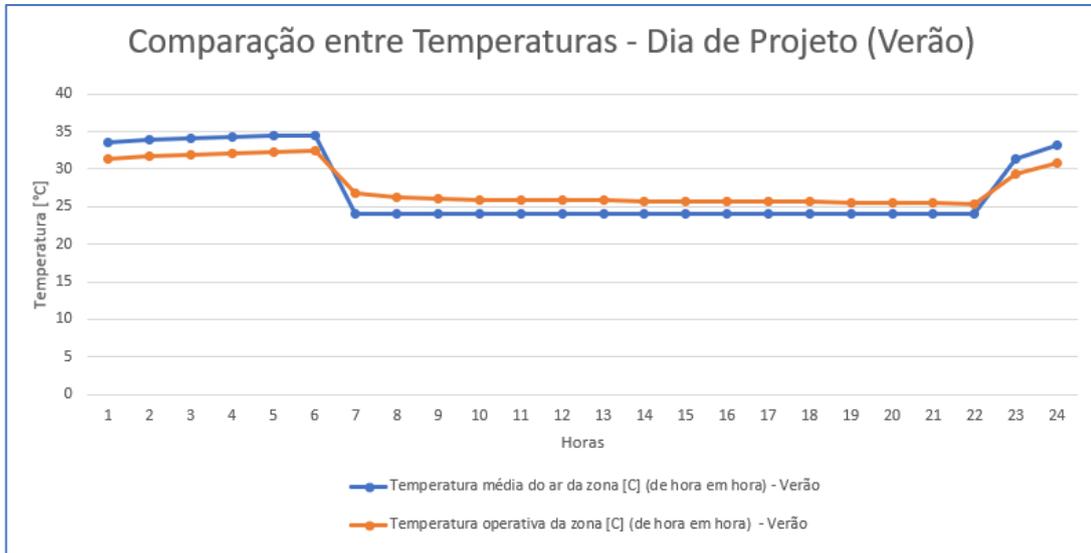


Fonte: Autor (2021)

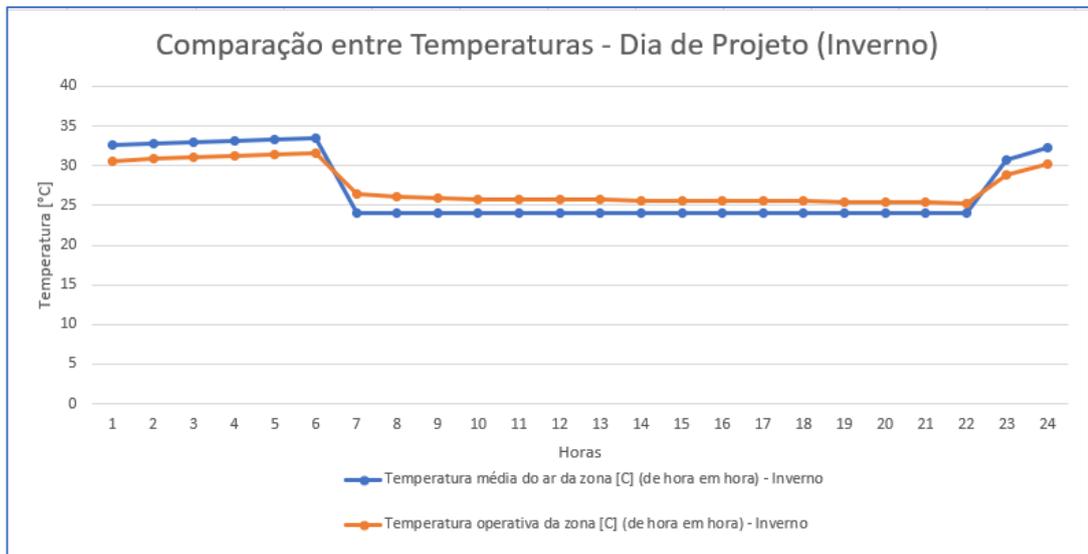
Os gráficos da Figura 3(a-b) mostram os dias de projeto (verão e inverno), com suas temperaturas dentro da sala de aula, sendo a temperatura operativa e a temperatura na zona térmica. Pode-se observar que a temperatura operativa é mais baixa até às 6h da manhã, quando, na sequência, é ligado o aparelho de ar-condicionado e refrigera a sala e, conseqüentemente o ar dentro dela. A temperatura operativa permanece maior que a temperatura do ar durante todo o período em que o ar-condicionado está ligado, visto que a temperatura operativa leva em consideração, além da temperatura do ar, a temperatura radiante média (considerando o calor contido nas paredes, por exemplo). Vale ressaltar que INCROPERA (2003) e ÇENGEL, *et al.* (2012) conceituaram transferência de calor por radiação como sendo a energia térmica transmitida sem um meio de propagação, ou seja, as paredes recebem calor, da radiação emitida pelo sol, durante o dia, e então transmite essa energia térmica ao longo do dia por meio da irradiação, devendo este fenômeno ser considerado no estudo.

Figura 3(a-b) - Temperatura dentro da sala de aula x temperatura operativa.

(a)



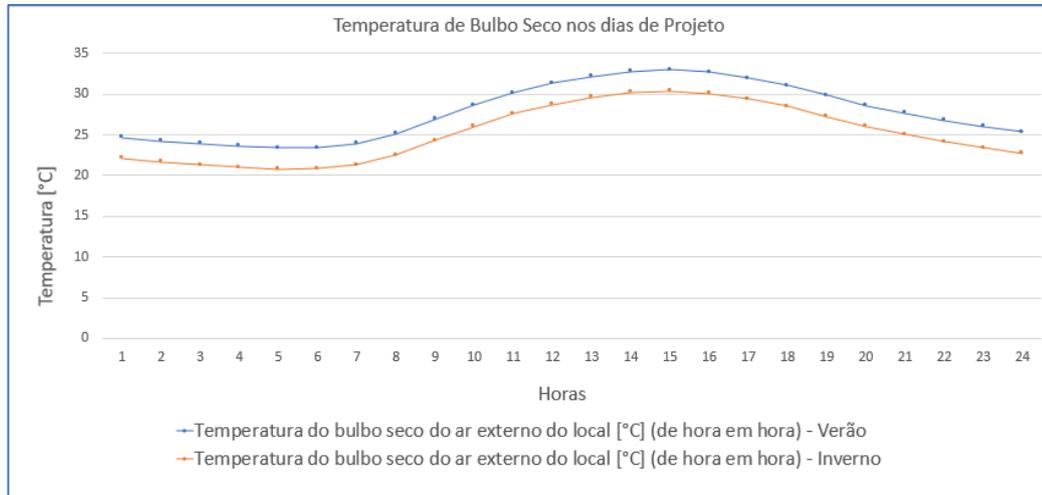
(b)



Fonte: Autor (2021)

O gráfico da Figura 4 apresenta de forma clara e trivial que as temperaturas no dia de inverno são menores que no dia de verão, através da temperatura de bulbo seco.

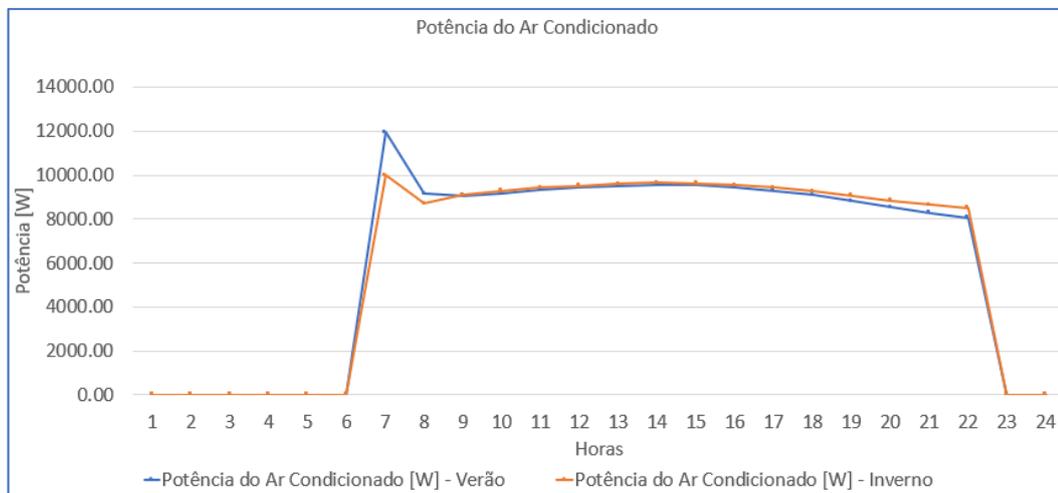
Figura 4 – Temperaturas de bulbo seco (verão x inverno).



Fonte: Autor (2021)

A Figura 5 mostra a comparação de potência térmica [W] do aparelho de ar-condicionado nos dias de verão e de inverno. Observa-se que entre 6 e 7h da manhã é necessária uma potência maior que no restante do dia, isto porque é necessário tirar calor da sala pelo fato dela ter passado horas sem climatização, após isso a potência necessária é reduzida porque há apenas a necessidade de manter a temperatura interna que já foi reduzida inicialmente.

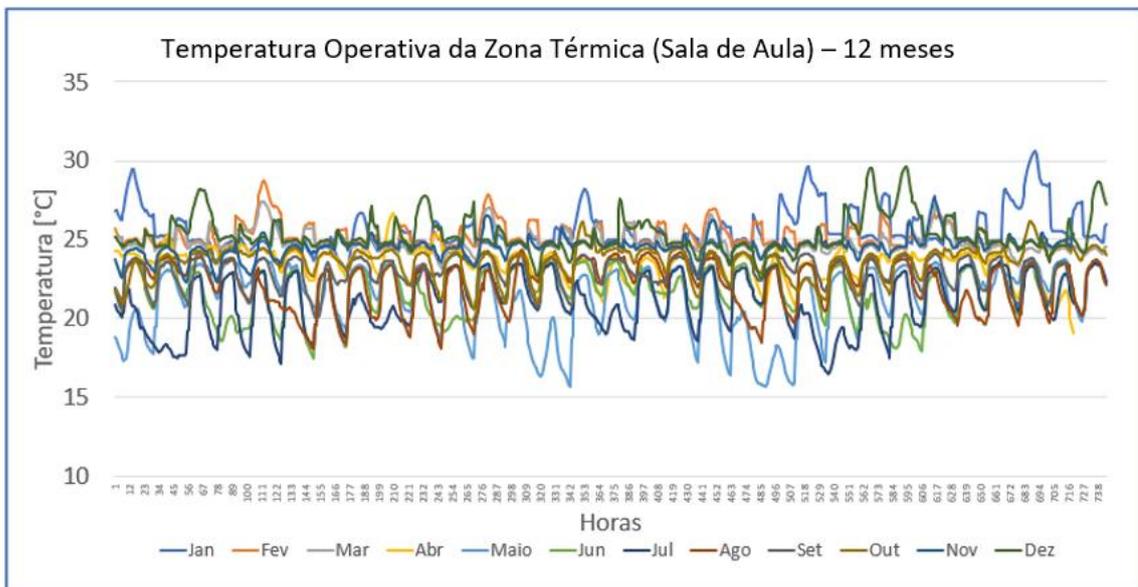
Figura 5 – Potência do aparelho de ar-condicionado



Fonte: Autor (2021)

Como comentado anteriormente, a temperatura operativa considera a temperatura do ar ambiente e, também, a temperatura radiante do local. Assim, o gráfico da Figura 6, mostra as temperaturas operativas, por mês, durante um ano inteiro. É possível verificar que há uma grande amplitude entre as temperaturas ao longo do ano, que podem variar de 15,5°C no mês de maio (mês mais frio no ano) e 30,61°C no mês de janeiro (mês mais quente do ano).

Figura 6 – Temperatura Operativa dos 12 meses do ano

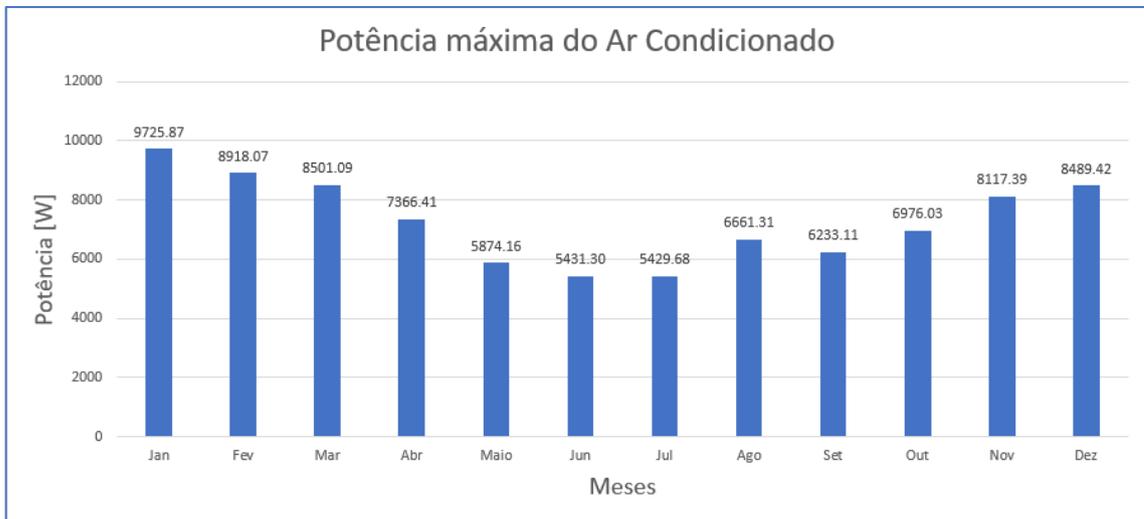


Fonte: Autor (2021)

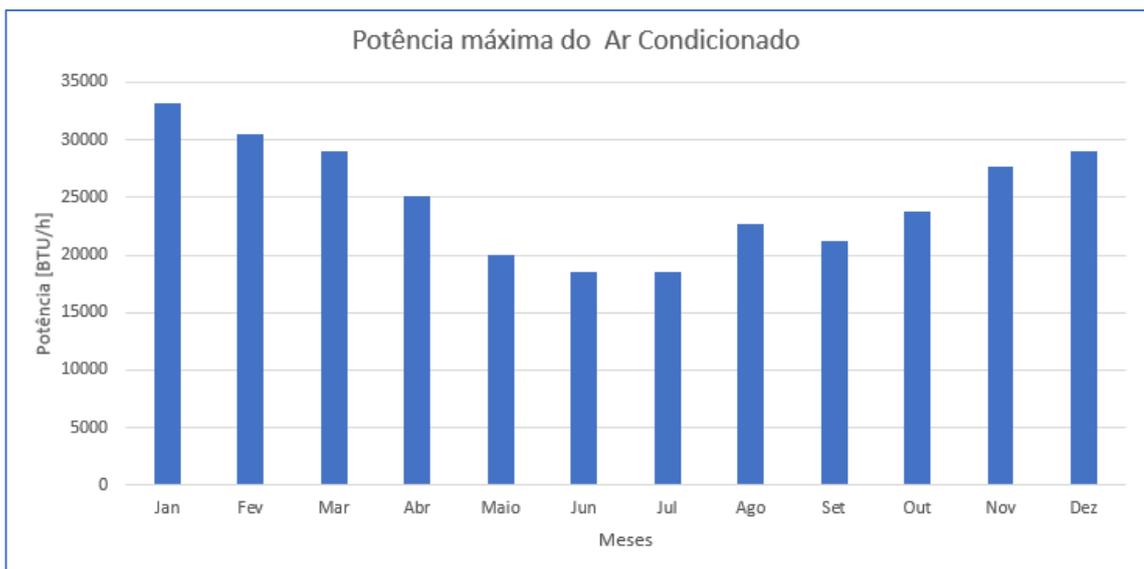
Nas Figuras 7(a-b), em Watts e BTU/h respectivamente, são apresentadas a capacidade de refrigeração do aparelho de ar-condicionado para cada mês do ano, com base na maior temperatura de cada mês, por ser o momento mais crítico. O maior valor é o valor que deverá ter o aparelho para este ambiente, que é da ordem de 10.000W ou, aproximadamente, 34.000BTU/h.

Figuras 7(a-b), Potência do aparelho de ar-condicionado (Watts e BTU/h)

(a)



(b)



Fonte: Autor (2021)

Vale ressaltar que foi feita uma simulação desconsiderando a janela da sala de aula, ou seja, a sala possuía apenas a porta de entrada. Os resultados desta simulação (sala de aula sem janela) foram praticamente iguais a simulação com a janela, de forma que os valores numéricos fossem próximos da ordem de  $10^{-2}$ .

#### 4. Considerações finais

De forma geral, o presente artigo apresentou um estudo de simulação computacional, utilizando o software EnrgyPlus®, para dimensionar a potência requerida para climatizar uma sala de aula, medindo 60m<sup>2</sup>, e localizada na cidade de Porto Alegre, na região sul do Brasil. Assim, após as análises realizadas, com base na simulação e adequação às normas referenciadas, conclui-se que:

- a) Os dias de projeto, nos gráficos aqui apresentados, serviram como base para análise, visto que consideram os cenários mais críticos, porém próximos do real, podendo ser considerados como fator de projeto para majorar uma aproximação do valor da capacidade de refrigeração do aparelho de ar-condicionado
- b) A capacidade do aparelho de ar-condicionado para a zona térmica (sala de aula) é de 10.000W;
- c) Fazendo uma conversão direta de Watts para BTU, a capacidade do aparelho para a zona térmica estudada é de 34.141,35 BTU;
- d) Sugere-se que seja feita a instalação de um aparelho, ou a soma de mais de um aparelho, de ar-condicionado deva ser superior a 34.141,35 BTU;
- e) A utilização de software de projeto, neste caso de climatização e conforto térmico, são extremamente úteis para analisar a real carga térmica necessária em ambientes e, dessa forma, evitar o desperdício com a aquisição de equipamentos superdimensionados e, conseqüentemente, evitando gastos desnecessários com energia elétrica;
- f) O software EnergyPlus® é uma ferramenta apropriada para a análise proposta neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABOLHASSANI, S.S.; JOYBARI, M. M.; HOSSEINI, M.; PARSAAE, M.; EICKER, U. **A systematic methodological framework to study climate change impacts on heating and cooling demands of buildings.** Journal of Building Engineering 63, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 15.220-2:2022 - Desempenho térmico de edificações. Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD).**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 15.220-3:2005 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 15.575: 2021 - Coletânea de Normas Técnicas. Edificações Habitacionais – Desempenho.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 16.401-1:2008 - Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projeto das instalações.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 16.401-2:2008 - Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 16.401-3:2008 - Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR ISO 50001:2018 - Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso.**

BARBOSA, S. A.; TIBÚRCIO, T. M. DE S.; CARLO, J. C.; GUIMARÃES, I. B. B. E. **Método de utilização do programa Energyplus para verificação de desempenho térmico de ambientes com fachadas duplas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 121-134, jul./set. 2013.

CRUZ, B. L.; SCHVADE, D. C.; MODOLO, R. C. E.; MORAES, C. A. M. **Diagnóstico socioambiental da cadeia produtiva da biomassa do coco babaçu na região de Alcântara - MA.** In: XIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2022, Teresina, 2022. <http://dx.doi.org/10.55449/congea.13.22.X-005>

ÇENGEL, YUNUS; GHAJAR, J. AFSHIN. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem Prática.** 4. Ed. – Porto Alegre: AMGH, 2012.

ENERGYPLUS - **Software de Simulação Energética de Edificações - Arquivos climáticos.** Disponível em: <https://energyplus.net/downloads> Acesso em: janeiro de 2023.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras.** Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

INCROPERA, Frank P.; DeWITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa.** 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2018.

WANG, C.; JI, J.; UDDIN, M.; YU, B.; SONG, Z. **The study of a double-skin ventilated window integrated with CdTe cells in a rural building.** Energy. Volume 215, Part A, 15 January 2021.