

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE TERMOENERGÉTICA DE UMA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO  
LOCALIZADA EM PORTO ALEGRE - RS

por

Felipe Severo Almeida

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, abril de 2023

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Almeida, Felipe Severo

Análise termoenergética de uma academia de musculação localizada em Porto Alegre - RS / Felipe Severo Almeida. -- 2023.

25 f.

Orientador: Letícia Jenisch Rodrigues.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Academia de musculação. 2. Conforto térmico. 3. Soluções passivas e artificiais. 4. EnergyPlus. 5. Consumo energético. I. Rodrigues, Letícia Jenisch, orient. II. Título.

Felipe Severo Almeida

ANÁLISE TERMOENERGÉTICA DE UMA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO  
LOCALIZADA EM PORTO ALEGRE - RS

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Cirilo Seppi Bresolin  
Coordenado do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues (Presidente)

Prof. Dr. Diogo Elias da Vinha Andrade

Prof. Dr. Alexandre Vagtinski de Paula

Porto Alegre, abril de 2023.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, em especial meus pais e irmãos por sempre terem me apoiado e me dado suporte para me desenvolver e poder chegar aonde estou.

A minha parceira da vida e namorada Jade Saibert, com quem compartilhei minhas batalhas e me deu suporte para que continuasse.

Aos meus sogros por também me apoiarem nos anos finais do curso.

Aos meus colegas que se tornaram grandes amigos com quem pude contar ao longo da formação.

A UFRGS, por me proporcionar um ensino de qualidade de forma gratuita e ótimas experiências que levarei para o resto da vida.

E a todos que de alguma forma contribuíram e fizeram parte da minha história e dessa conquista.

Almeida, Felipe Severo. **ANÁLISE TERMOENERGÉTICA DE UMA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO LOCALIZADA EM PORTO ALEGRE-RS**. 2023. 25p. – RS Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

## **RESUMO**

No presente trabalho avalia-se o comportamento térmico e energético de uma academia de musculação localizada na cidade de Porto Alegre (RS). Para a prática do exercício físico as temperaturas ideais devem ficar entre 24 e 25,9°C. Como a academia apenas utiliza climatização na função resfriamento para altas temperaturas, são propostas soluções passivas e artificiais com o intuito de buscar maior conforto térmico dos ocupantes nos meses mais quentes. As soluções passivas são: alterar o tipo do telhado, adicionar películas nos vidros, e inserir um *brise* horizontal. Além disso, como solução artificial utiliza-se um ar-condicionado modelo VRF para a climatização apenas no modo resfriamento. Os resultados são obtidos através das simulações pelo software EnergyPlus. As temperaturas externas (T<sub>BS</sub>), temperatura operativa ( $T_{op}$ ) de cada zona e o consumo energético da edificação antes e depois das modificações ao longo de um ano são obtidos através do software. As soluções passivas e artificiais mostram-se eficientes, melhorando o conforto térmico nos meses mais quentes. As temperaturas permanecem muito próximas de 25,9°C. Assim, o consumo energético é reduzido em 317,01 kWh no ano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Academia de Musculação, Conforto Térmico, Soluções Passivas e Artificiais, EnergyPlus, Consumo Energético

Almeida, Felipe Severo. **THERMO ENERGETIC ANALYSIS OF A GYM ACADEMY IN PORTO ALEGRE-RS**. 2023. 25p. Mechanical Engineering end of course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

## **ABSTRACT**

In this work, we evaluate the thermal and energy behavior of a real gym academy located in Porto Alegre (RS). The ideal temperature for the environment where people work out should be around 24 and 25.9°C. Since the gym academy only employs refrigeration for high temperature situations, we propose passive and artificial solutions in order to keep the people inside thermally comfortable during the hottest months in the year. The passive solutions are: change the type of roof, add thermal films to the glass windows, and add a horizontal brise. Besides this, as an artificial solution, we could use an air-conditioning device model VRF on the cooling mode. The results are obtained by means of simulation on the software EnergyPlus. The external temperature (TBS), the operational temperature ( $T_{op}$ ) of each zone and the energy consumption of the building before and after the changes through a year are obtained by the software. The passive and artificial solutions proved to be efficient, enhancing the thermal comfort during the hottest months. The temperature is kept very close to 25.9°C. Thus, the energy consumption is reduced by 317,01 kWh per year.

**KEYWORDS:** Gym Academy, Thermal Comfort, Artificial and Passive Solutions, EnergyPlus, Energy Consumption

## NOMENCLATURA

### Símbolos

$C_z \frac{dT_z}{dt}$	Taxa de energia armazenada na zona térmica	[W]
A	Área	[m <sup>2</sup> ]
$C_p$	Calor Específico	[J/kgK]
$\dot{Q}$	Carga Térmica	[W]
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção	[W/m <sup>2</sup> K]
T	Temperatura	[K]
$N_{zones}$	Número de zonas térmicas	Adimensional
$N_{surfaces}$	Número de superfícies	Adimensional
$\dot{m}$	Vazão Mássica	[kg/s]
$q''$	Fluxo de Calor	[W/m <sup>2</sup> ]
$f_{convected}$	Fator Convectivo	Adimensional
M	Taxa Metabólica	[W]
S	Ganho sensível de calor	[W]

### Abreviaturas e acrômimos

CoP	Conferência das Partes
GEE	Gases do Efeito Estufa
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
PNE	Plano Nacional de Energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
AMS	Academia de Musculação Simples
AMM	Academia de Musculação Modificada
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVO .....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO .....	2
2.1 BALANÇO ENERGÉTICO DAS ZONAS TÉRMICAS .....	2
2.2 CONDUÇÃO ATRAVÉS DAS PAREDES .....	2
2.3 BALANÇO ENERGÉTICO NAS SUPERFÍCIES.....	3
2.4 GANHO DE CALOR PELA ILUMINAÇÃO .....	4
2.5 GANHO DE CALOR PELAS PESSOAS.....	4
2.6 GANHO DE CALOR PELOS EQUIPAMENTOS .....	4
2.7 CÁLCULO DA CLIMATIZAÇÃO DE VRF .....	4
2.8 MODELO ADAPTATIVO PARA CONFORTO TÉRMICO .....	5
3. METODOLOGIA .....	5
3.1 ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO .....	5
3.2 MATERIAIS.....	6
3.3 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS.....	6
3.4 AR-CONDICIONADO .....	7
3.5 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA .....	7
4. RESULTADOS .....	8
4.1 SIMULAÇÃO DA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO SIMPLES .....	8
4.2 SIMULAÇÃO DA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO MODIFICADA .....	11
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	13
5.1 TEMPERATURA OPERATIVA.....	13
5.2 CONFORTO TÉRMICO.....	13
5.3 CONSUMO DE ENERGIA.....	14
6. CONCLUSÃO .....	15
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15



## 1. INTRODUÇÃO

Diante das mudanças climáticas que vêm ocorrendo, a busca da eficiência energética e a redução da emissão do  $CO_2$  na atmosfera são temas que têm sido amplamente debatidos por grandes autoridades e países do mundo. O retrato disso, são as vinte e sete CoP (conferências das partes) já realizadas, que contribuíram com diversos protocolos e no estabelecimento de metas para os países participantes com o intuito de redução dos GEE (Guitarra, 2022).

Visando o uso da energia de forma sustentável é imprescindível que as edificações tenham alta eficiência energética, pois elas representam mais de um terço do consumo mundial de energia, e correspondem a aproximadamente um quinto das emissões totais de GEE (WBCSD, 2009).

No Brasil, as edificações correspondem a cerca de 50% do consumo energético. Dentro desse grupo estão os estabelecimentos comerciais, residenciais e do setor público, sendo metade desse consumo destinado às residências e a outra parte para os comércios e o setor público (EPE, 2020a).

Para cuidar dos assuntos energéticos do país foi criado, pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, o Plano Nacional de Energia (PNE 2050). Nesse Plano, está listado um conjunto de medidas, estratégias e diretrizes a serem seguidas na definição das ações e iniciativas a serem implementadas, visando o crescimento do setor de energia até 2050 (EPE, 2020b).

Dentre essas medidas, para edificações, pode se destacar a seguinte: a Lei de Eficiência Energética (Brasil, 2001), que estabelece os índices mínimos de eficiência energética para equipamentos comercializados no Brasil e em edificações, a ser realizada a partir de regulamentação específica (EPE, 2020b); entre outras que abrangem a avaliação do desempenho energético a partir do zoneamento bioclimático brasileiro; temos a NBR 15220/2005 (ABNT, 2005b), instrução normativa SLTI n.º02/2014 (Brasil, 2014), que torna obrigatório a etiquetagem nível A de eficiência energética para edifícios públicos federais novos e reformados.

Tendo em vista a necessidade de eficiência energética é importante salientar que ela deve andar lado a lado com a melhoria do conforto térmico nas edificações. As academias de musculação, por exemplo, são locais que necessitam de climatização e estão cada vez mais sendo utilizadas para a prática do exercício físico. Segundo Corrêa, 2008, “a atividade física em qualquer fase do ciclo da vida é tão importante quanto a satisfação das necessidades fisiológicas do ser humano, principalmente quando as facilidades e o desconforto proporcionado pela evolução tecnológica se traduzem em uma vida cada vez mais sedentária, na qual as pessoas são poupadas de quase tudo que necessite movimento e esforço”.

No entanto, a prática do exercício físico deve ser realizada em um local apropriado que atenda as normas de edificações e o conforto térmico dos usuários. O conforto térmico é influenciado por fatores físicos, fisiológicos e psicológicos, sendo definido como “o estado da mente que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda” (ASHRAE, 2017b). De acordo com a Organização Mundial de Saúde os valores adequados para a umidade relativa do ar ficam entre 30 e 60% (Franca, 2009). Para Camargo e Furlan, 2011, acima de 70% a perda de calor por evaporação da pele é afetada e abaixo de 40% ela é intensificada. Já a temperatura ideal fica em torno de 25°C, segundo Rowell, 1974. Para a prática da atividade física esse valor pode variar entre 24 e 25,9°C (Bastos et al., 2013).

### 1.1 OBJETIVO

Nesse cenário, o objetivo do presente trabalho foi o de realizar a análise térmica e energética através do software EnergyPlus, 2017a, de uma academia de musculação localizada

em Porto Alegre (RS). O intuito foi encontrar qual seria a demanda de energia para manter esse espaço numa temperatura de conforto para a prática da atividade física e, se possível, realizar alguma melhoria no projeto da edificação.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO

Neste capítulo apresenta-se os métodos de cálculo utilizados pelo EnergyPlus para determinar a carga térmica e o consumo energético da edificação. O software foi desenvolvido e distribuído pelo Departamento de Energia do Estados Unidos da América (DOE) e o acesso é disponibilizado de forma gratuita. O método de cálculo é realizado pelo balanço de energia para obter as cargas térmicas, e o consumo energético é calculado com base nos dados de iluminação, equipamentos elétricos e de ar-condicionado inseridos no programa. A transferência de calor ocorre de forma transiente através dos elementos da edificação. É possível através do programa inserir um arquivo climático da região, determinar a localização e direção da edificação, criar rotinas de funcionamento de aparelhos elétricos e quantidade de pessoas na habitação, inserir condições de contorno, declarar os diferentes materiais, elementos de sombreamento, sistema de climatização e configurar as variáveis de saída em diferentes intervalos de tempo.

### 2.1 BALANÇO ENERGÉTICO DAS ZONAS TÉRMICAS

De acordo com o manual *Engineering Reference* (EnergyPlus, 2017b) é possível separar os ambientes em diferentes zonas térmicas. Cada zona é compreendida pelo software como um espaço onde todo o volume de ar está a uma temperatura uniforme, possibilitando que se faça a análise de forma independente da demanda energética de cada zona. A partir de um balanço térmico de todos os componentes da edificação o software utiliza a seguinte equação de energia para obter os resultados:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} + T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

na qual  $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$  representa a soma das cargas convectivas internas (W),  $\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  é a parcela convectiva da transferência de calor entre as superfícies (W),  $\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} + T_z)$  é a transferência de calor da mistura do ar entre as zonas (W),  $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$  é a parcela da transferência de calor do ar externo pelas infiltrações (W),  $\dot{Q}_{sys}$  é a saída do sistema de ar (W) e por fim  $C_z \frac{dT_z}{dt}$  que representa a taxa de energia acumulada por cada zona térmica (W).

### 2.2 CONDUÇÃO ATRAVÉS DAS PAREDES

As funções de transferência de calor por condução (CTF) calculam os fluxos de calor dentro da superfície. A solução mais básica das séries temporais são as equações do fator de resposta, que relacionam o fluxo de calor numa superfície de um elemento com uma série infinita de temperaturas em ambos os lados de uma parede (EnergyPlus, 2017b). A forma básica de uma solução baseada em CTF é mostrada nas seguintes equações, nas quais o subíndice “*t*” indica o passo do tempo.

- Fluxo de calor interno:

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (2)$$

na qual  $Y_j$  é o coeficiente cruzado do fator de resposta do CTF,  $Z_j$  é o coeficiente do fator de resposta da CTF interno,  $\phi_j$  é o coeficiente do fluxo do fator de resposta do CTF,  $T_i$  é a temperatura interna da superfície (K) e  $q''_{ki}$  é o fluxo de calor por condução para o interior (W/m).

- Fluxo de calor externo:

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (3)$$

na qual  $X_j$  representa o coeficiente do fator de resposta da CTF externo,  $T_o$  representa temperatura externa da superfície (K) e  $q''_{ko}$  é fluxo de calor por condução para o exterior (W/m).

### 2.3 BALANÇO ENERGÉTICO NAS SUPERFÍCIES

O método para o cálculo do balanço energético interno envolve as faces internas e externas das superfícies das zonas, e é subdividido nos seguintes componentes de fluxo de calor: (i) por condução entre as paredes, (ii) convecção, (iii) radiação de comprimento de onda curto, que é transmitida pelas janelas, e (iv) radiação de comprimento de onda longo, que envolve a absorvidade e emissividade (EnergyPlus, 2017b). A seguir pode ser visualizada a equação que engloba o balanço energético dos fluxos informados.

- Parede Interna:

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad (4)$$

na qual  $q''_{LWX}$  representa o fluxo líquido radiante de ondas longas entre as superfícies da zona ( $\frac{W}{m^2}$ ),  $q''_{SW}$  é o fluxo líquido de radiação de comprimento de onda curto da iluminação para a superfície ( $\frac{W}{m^2}$ ),  $q''_{LWS}$  é o fluxo de radiação de comprimento de onda longo dos equipamentos dentro da zona para a superfície ( $\frac{W}{m^2}$ ),  $q''_{ki}$  é o fluxo pela condução através da parede para o interior ( $\frac{W}{m^2}$ ),  $q''_{sol}$  é o fluxo de radiação solar transmitida que a superfície absorveu ( $\frac{W}{m^2}$ ) e  $q''_{conv}$  é o fluxo de calor convectivo para o ar da zona ( $\frac{W}{m^2}$ ).

- Parede Externa:

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (5)$$

na qual  $q''_{\alpha sol}$  é o fluxo de calor de radiação solar direta e difusa absorvida de baixo comprimento de onda ( $\frac{W}{m^2}$ ),  $q''_{LWR}$  é o fluxo líquido de radiação de onda longa trocado com o ar e arredores ( $\frac{W}{m^2}$ ),  $q''_{conv}$  é o fluxo de calor convectivo do ar externo para a superfície ( $\frac{W}{m^2}$ ) e  $q''_{ko}$  é o fluxo de calor por condução do exterior através da superfície ( $\frac{W}{m^2}$ ).

## 2.4 GANHO DE CALOR PELA ILUMINAÇÃO

O ganho de calor pela iluminação é dividido em três parcelas: radiante que é a radiação com comprimento de onda longo, visível que é a radiação com comprimento de onda curto e a convectiva. Por exemplo, para as lâmpadas incandescentes 10% é visível, 80% radiante e 10% convecção (EnergyPlus, 2017c).

## 2.5 GANHO DE CALOR PELAS PESSOAS

Essa carga térmica no interior da edificação está ligada à taxa metabólica das pessoas, que depende de qual atividade física elas estão fazendo. Esse calor é dissipado pelo corpo humano para o ambiente e pelas vias respiratórias, através de uma combinação de radiação, convecção e evaporação. O EnergyPlus utiliza uma equação polinomial para dividir a taxa metabólica em transferência de calor sensível e latente,

$$S = 6,461927 + 0,946892M + 0,0000255737M^2 + 7,139322T - 0,0627909TM + 0,0000589172TM^2 \pm 0,198550T^2 + 0,000940018T^2M - 0,00000T^2M^2 \quad (7)$$

na qual  $M$  é a taxa metabólica que depende de qual é a atividade física que a pessoa está exercendo (W), o  $T$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), o  $S$  é o ganho sensível de calor (W) e o ganho de calor latente pode ser calculado subtraindo o ganho sensível da taxa metabólica.

## 2.6 GANHO DE CALOR PELOS EQUIPAMENTOS

O software modela os equipamentos que consomem eletricidade, tais como computadores, televisores, esteiras, entre outros. A conversão da energia em ganho de calor ocorre por efeito joule, e é possível determinar a porcentagem dessa energia que virará um fluxo radiante para o interior da zona (EnergyPlus, 2017b).

## 2.7 CÁLCULO DA CLIMATIZAÇÃO DE VRF

A sigla VRF, significa fluxo variável de refrigerante. Esse modelo de aparelho de climatização é um ar-condicionado semelhante ao *split*, mas com o diferencial de utilizar apenas uma unidade condensadora para várias evaporadoras. O VRF pode ser controlado por um único termostato ou um para cada unidade evaporadora, podendo, então, escolher diferentes temperaturas para cada zona. O termostato é responsável pelo controle do *setpoint* da temperatura. Ou seja, caso a temperatura da zona ultrapasse a temperatura escolhida no termostato, a climatização deve ser ligada com o intuito de manter a temperatura da zona na mesma do *setpoint* escolhido.

A seguir pode ser visualizada a equação responsável por determinar a quantidade de energia total utilizada para resfriar ou aquecer a zona.

$$\dot{Q}_{total} = (\dot{m}_{SA,avg})(h_{out,avg} - h_{zone\ air}) \quad (8)$$

na qual,  $\dot{Q}_{total}$  representa a energia total transferida para a zona (W),  $\dot{m}_{SA,avg}$  é a média da vazão mássica de ar de alimentação para o interior da zona (kg/s),  $h_{out,avg}$  é a entalpia do ar a ser fornecido à zona (J/kg) e  $h_{zone\ air}$  é a entalpia do ar da zona (J/kg).

## 2.8 MODELO ADAPTATIVO PARA CONFORTO TÉRMICO

O modelo adaptativo proposto pela ASHRAE *Standard* 55-2017 (ASHRAE, 2017b) é composto por um conjunto de equações de regressão que relacionam a temperatura de neutralidade do ambiente a uma única variável, que é a temperatura média do ambiente externo. A partir dessas equações define-se que, para o estado de conforto térmico, existem duas regiões que podem ser de 80% ou 90% de aceitabilidade dos ocupantes. No Anexo A pode ser visualizado um gráfico que demonstra essas regiões relacionando o intervalo de temperaturas operativas da zona que se deseja analisar com a temperatura média mensal externa do ar. Importante salientar que esse modelo serve somente para zonas naturalmente ventiladas, nesse caso, apenas quando o ar-condicionado estiver desligado.

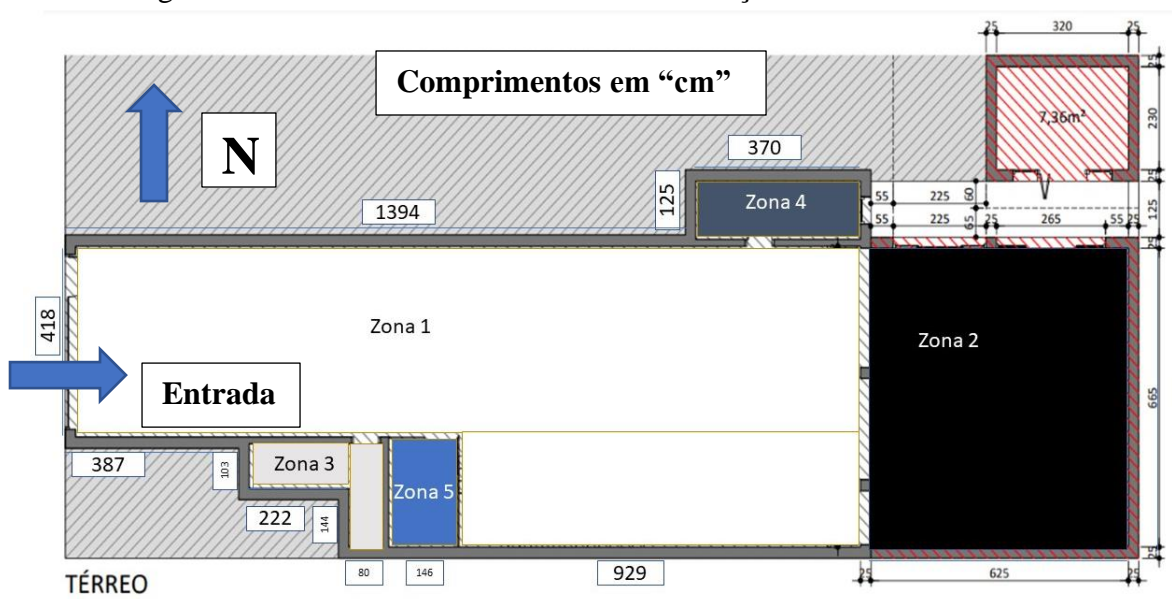
## 3. METODOLOGIA

Na realização da primeira etapa foi preciso coletar as informações da edificação, como área construída, planta baixa, quantidade de equipamentos elétricos, localização, direção em relação ao Norte, e quantidade de pessoas que frequentam o local. O segundo passo foi declarar essas informações coletadas no software EnergyPlus para realizar a análise e obter os resultados da simulação de como variou a temperatura ao longo do ano e o consumo energético.

### 3.1 ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO

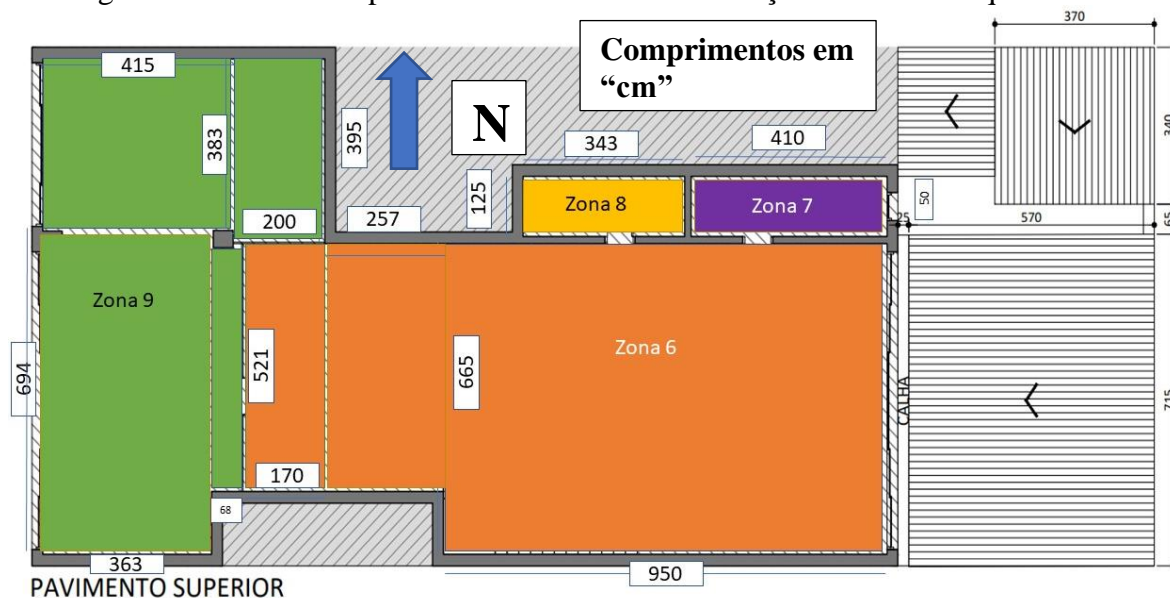
O centro de treinamento está localizado na Zona Norte de Porto Alegre (RS), com fachada para o Oeste, em um prédio de três andares, onde a academia de musculação ocupa o primeiro e o segundo andares. Na simulação foi desconsiderado o terceiro andar desse prédio e as construções ao redor. Além disso, a academia possui uma área total de 300,15 m<sup>2</sup>, sem contar com a cozinha, que não fez parte da análise por ser um local externo ao centro de treinamento. Na Figura 1 é exibida a planta baixa do andar térreo com as zonas criadas.

Figura 1. Andar térreo da academia de musculação dividido em cinco zonas.



Como pode ser visto na Figura 1, o térreo foi dividido em cinco zonas: a Zona 1 engloba a entrada da edificação e uma área de treinamento; a Zona 2 é uma extensão da área de treinamento; as Zonas 3 e 4 representam os banheiros masculinos e femininos, respectivamente; e por fim, a Zona 5 é utilizada para a anamnese dos alunos. Como não se tinha todas as medidas na planta fornecida, foi feita uma proporção a partir de medidas existentes para se obter o comprimento de todas as paredes. Na Figura 2 é exibida a planta baixa do pavimento superior da edificação.

Figura 2. Pavimento superior da academia de musculação dividido em quatro zonas.



Como pode ser visto na Figura 2 o pavimento superior foi dividido em quatro zonas: a Zona 6 é representada por uma área de treinamento; as Zonas 7 e 8 são representadas pelos banheiros masculinos e femininos, respectivamente; e a Zona 9 por mais uma área de atividade física. No Apêndice A podem ser visualizadas mais informações de área de piso por zona.

### 3.2 MATERIAIS

As paredes possuem duas camadas de argamassa de 1 cm de espessura para assentar os tijolos do tipo 6 furos e duas camadas de reboco de 2 cm de espessura. O piso e o teto são constituídos por uma laje de concreto de 15 cm. As janelas de vidro foram todas definidas com o uso do banco de dados para janelas do EnergyPlus, a saber: “Clear 6 mm”, “Clear 8 mm”, “Silver 6 mm”. Para a porta de vidro, na entrada, foi utilizado o “Clear 8 mm”.

A composição do material escolhido para algumas divisórias internas leves foi de apenas uma camada de gesso cartonado de 1,9 cm de espessura. Por fim, foram utilizados *brises* horizontais de 1 m de largura no térreo, 0,75 m no segundo piso e 1,5 m nos fundos da academia. No telhado da Zona 2 foram utilizadas telhas de fibrocimento com espessura de 8 mm, e um forro de 1 cm de espessura de pinus. No Anexo B podem ser visualizadas as especificações dos materiais baseadas na ABNT, 2005a.

### 3.3 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS

As cargas térmicas internas são geradas pela iluminação, equipamentos elétricos e as pessoas. Na habitação são utilizados três tamanhos de lâmpadas, com potências de 4,5 W, 9 W e

18 W. A quantidade delas foi separada por zonas e inseridas no software com uma dissipação de potência em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ ), com fração radiante de 32% e fração visível de 23%. Esses dados foram retirados do manual *Input Output Reference*, que se baseou na ASHRAE 1282-RP “*Lighting Heat Gain Distribution in Buildings*” de Daniel E. Fisher e Chanvit Chantrasrisalai (EnergyPlus, 2017c).

Os equipamentos elétricos da academia são os seguintes: bebedouros, chuveiros, computadores, esteiras, frigobar, som, televisão e ventiladores. A dissipação de potência dos equipamentos elétricos foi contabilizada para cada zona e inserida em Watts (W) no programa com fração radiante de 50% resultando em diferentes taxas de dissipação de calor por efeito Joule.

A partir da Tabela 4 da ASHRAE (ASHRAE, 2017a) foi definido que uma pessoa fazendo exercício físico intenso dissipa em média  $200 W/m^2$  com uma fração radiante de 30%. A quantidade de pessoas que frequentam a academia em um dia é variável e não há um sistema que faça a análise precisa dessa quantidade. Por isso, foi feita uma estimativa da média desse número, separada por zonas e horário de funcionamento. As demais informações de quantidades e horários de funcionamento dos três grupos de cargas térmicas internas podem ser visualizadas no Apêndice A. No Anexo C são declaradas as taxas metabólicas.

### 3.4 AR-CONDICIONADO

O sistema de ar-condicionado da academia é o *split*. Ela possui um total de quatro *splits* instalados. As zonas que possuem esse equipamento são a Zona 1, Zona 2, Zona 6 e Zona 9, com a capacidade de 24000 BTU/h, 22000 BTU/h, 18000 BTU/h e 16000 BTU/h, respectivamente. O EER que corresponde à eficiência desses sistemas no resfriamento é de 3,3. Assim, foi necessário converter a unidade para Watts e dividir o valor pelo EER para obter a capacidade de resfriamento desses equipamentos e inserir os valores no programa. A academia existente não possui um sistema de controle de temperatura (termostato) para ligar o ar-condicionado de forma automática. Entretanto, no programa, foi inserido que o sistema de resfriamento ligue sempre que a temperatura da zona seja superior a  $25^{\circ}C$ , com o intuito de mantê-la dentro dos  $25,9^{\circ}C$  que é o limite superior ideal para a prática de exercício físico. O ar-condicionado foi criado na seção de VRF do EnergyPlus que funciona conforme explicado na Seção 2.7. Outro ponto importante é que foram utilizados termostatos independentes para cada uma das zonas, unidades evaporadoras na mesma capacidade, quantidade e zonas que da academia existente.

### 3.5 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

A simulação foi realizada em duas etapas. A primeira com a edificação mais próxima da existente com a diferença apenas no tipo de ar-condicionado conforme explicado na Seção 3.4. Os dados extraídos foram do comportamento da temperatura de bulbo seco externa, da temperatura operativa de cada zona e do consumo energético dos equipamentos elétricos, iluminação e climatização.

Na segunda etapa foram realizadas modificações passivas e artificiais nas Zonas 2, 6 e 9 com o intuito de melhorar o conforto térmico desses ambientes. Primeiro foi alterado o telhado da Zona 2, adicionando uma camada de ar de 4 cm entre a telha de fibrocimento e o pinus, como o ar possui baixa condutividade, foi possível aumentar a resistência térmica do telhado e reduzir o fluxo de calor entre a Zona 2 e o ambiente externo. Depois foram realizadas alterações na Zona 6 com a adição de uma película e de um *brise* horizontal de 1,5 m de largura na janela com intuito de reduzir a radiação absorvida e transmitida para o interior da Zona. Foi testado diferentes configurações de largura para o *brise* e a que mais trouxe melhorias foi a de 1,5m de largura. Por

fim, foi feita a adição das películas nos vidros da Zona 9 que através dos resultados foi visto que não seria o suficiente para melhorar o conforto dessa Zona e, por isso, foi realizada uma alteração artificial, baixando a temperatura do *setpoint* para 20°C do ar-condicionado da Zona 9 de novembro até abril. Dessa forma foi possível manter as temperaturas abaixo do limite estipulado de 25,9°C.

Os resultados extraídos, foram da temperatura de bulbo seco do ar externo à edificação (TBS), da temperatura operativa ( $T_{op}$ ) que é o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente e do consumo energético total anual.

No apêndice B podem ser visualizadas as imagens da academia, daquela desenhada através do *SketchUp*<sup>1</sup>, antes e depois das modificações, da lista de classes e dos materiais utilizados no EnergyPlus.

## 4. RESULTADOS

De acordo com o INMETRO, 2012, existem ambientes de permanência transitória, como banheiros, cozinha e lavanderia, bem como ambientes de permanência prolongada como dormitórios e sala de estar. No presente trabalho apenas os ambientes de permanência prolongada serão analisados. Nesses se enquadram as Zonas 1, 2, 6 e 9, excluindo-se os banheiros e a sala de anamnese.

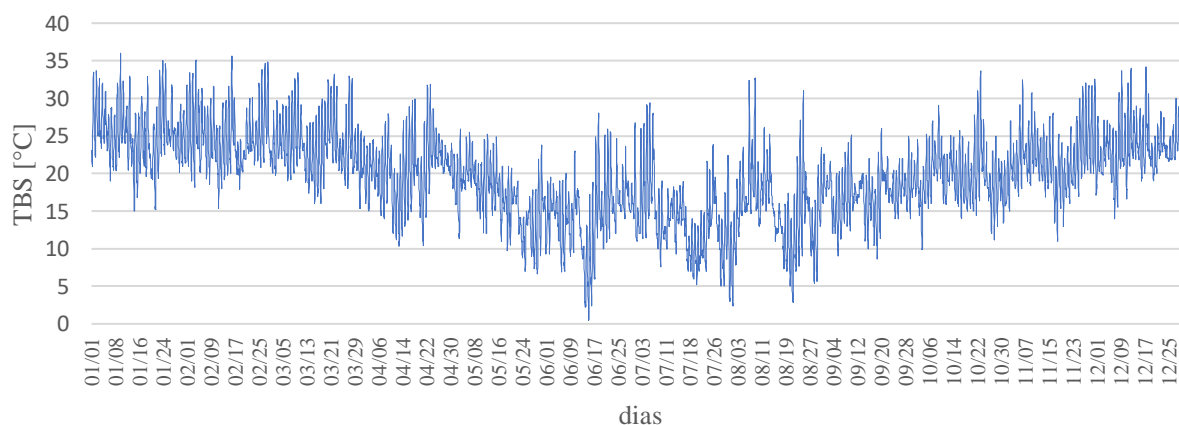
A seguir, são apresentados os resultados obtidos para a simulação da academia mais próxima da existente, que será denominada de Academia de Musculação Simples (AMS) e da Academia de Musculação Modificada (AMM).

### 4.1 SIMULAÇÃO DA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO SIMPLES

O primeiro passo foi coletar as informações da TBS e a  $T_{op}$  de cada zona para todas as horas do ano. Além disso, foi criado um marcador fixo de 25,9°C, que é o limite superior de conforto térmico para a prática de exercício físico, com o intuito de facilitar a visualização do quanto a  $T_{op}$  se afasta da temperatura considerada ideal.

A Figura 3 apresenta o gráfico da TBS, que servirá para as duas simulações.

Figura 3. Temperatura de Bulbo Seco.



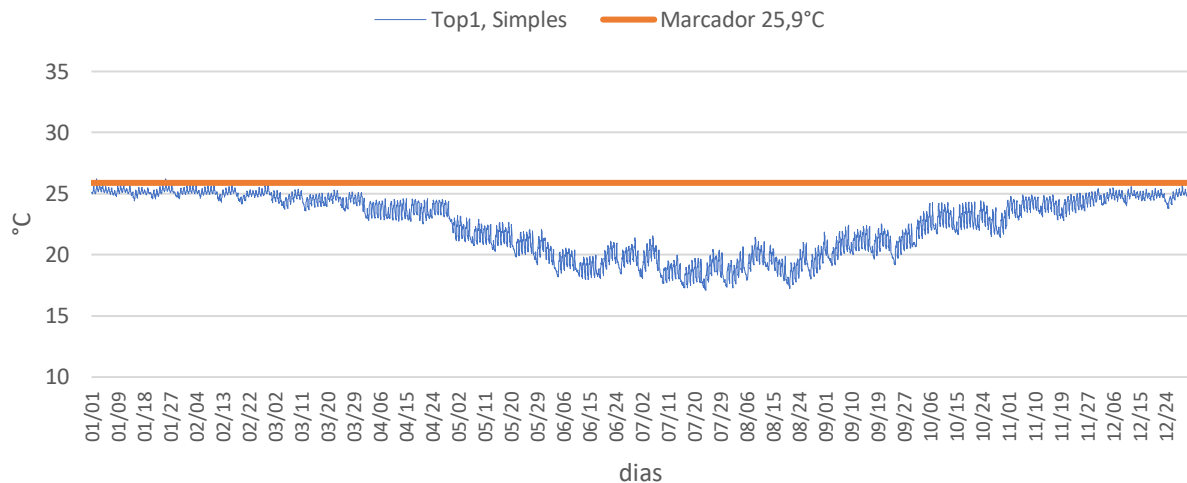
<sup>1</sup> Foi utilizado o SketchUp 2016 na versão trial.



Pode se perceber que as TBS estão de acordo com as variações anuais de temperatura em Porto Alegre, chegando a máxima próxima de 36°C nos meses de verão e a mínima próxima a 0°C nos meses de inverno.

A Figura 4 apresenta a  $T_{op}$  da Zona 1.

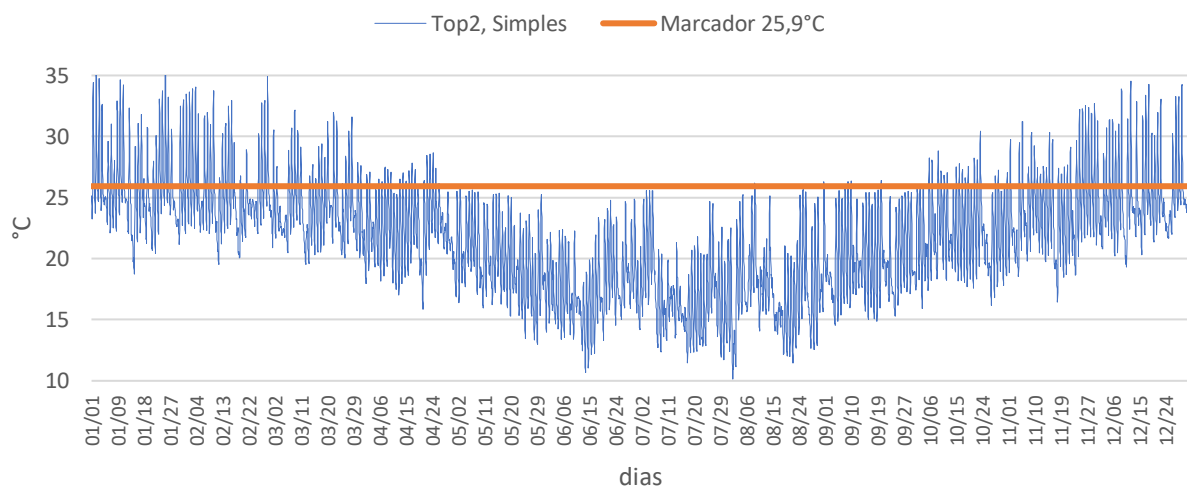
Figura 4. Temperatura operativa da Zona 1.



A Zona 1, que representa uma área de treino, está dentro do esperado com temperaturas nos meses mais quentes chegando a no máximo 25,9°C e em poucos momentos ultrapassando esse limite não tendo a necessidade de nenhum ajuste de imediato. Nos meses de inverno, como já era esperado, por não ter aquecimento na academia, os valores de temperatura chegam a no mínimo 17°C.

A Figura 5 apresenta o comportamento anual da  $T_{op}$  da Zona 2.

Figura 5. Temperatura operativa da Zona 2.

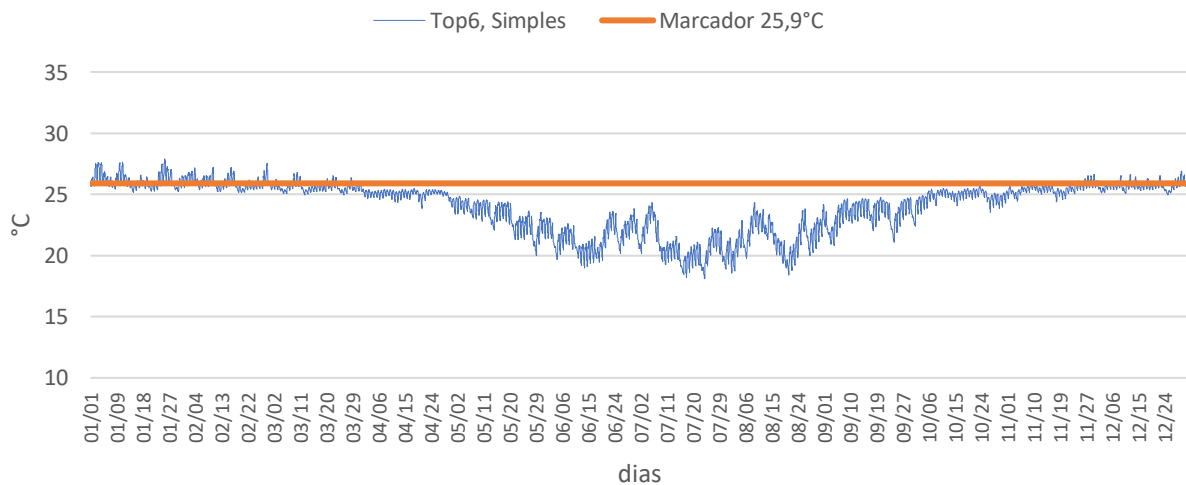


A Zona 2, que representa uma área de treino, mesmo com a climatização, possui variações mais abruptas de temperatura ao longo do ano, chegando à máxima de 35°C nos meses mais

quentes e a mínima de 10°C nos meses mais frios. Isso se dá pelo fato de ser a única Zona que possui um telhado com pouco revestimento, tornando-a mais propícia a trocar calor com o ambiente externo. Como os intervalos de temperatura saem do limiar de aceitabilidade, torna-se necessária alguma modificação para melhorar o conforto térmico dos ocupantes.

A Figura 6 apresenta a  $T_{op}$  da Zona 6 ao longo do ano.

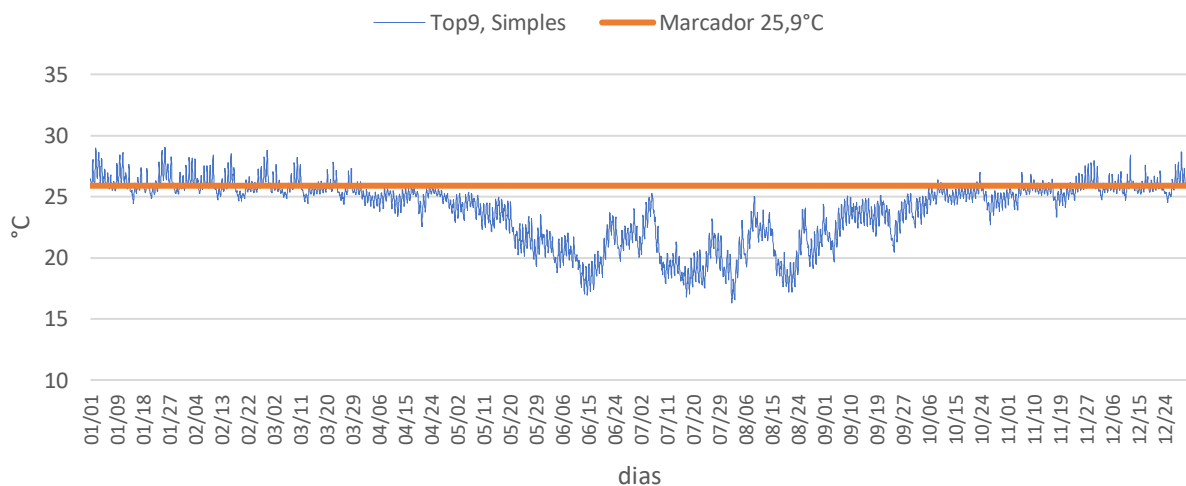
Figura 6. Temperatura Operativa da Zona 6.



A Zona 6 é uma área de treinamentos, que possui vários equipamentos elétricos, como bebedouro, esteiras, ventiladores e som. Por isso, é uma região que, mesmo com a presença de ar-condicionado, teve temperaturas que chegaram próximas a 27°C nos meses mais quentes. Por isso, tornou-se necessária alguma medida para melhorar o conforto desse ambiente.

A Figura 7 apresenta o comportamento da  $T_{op}$  ao longo de um ano para Zona 9.

Figura 7. Temperatura Operativa da Zona 9.

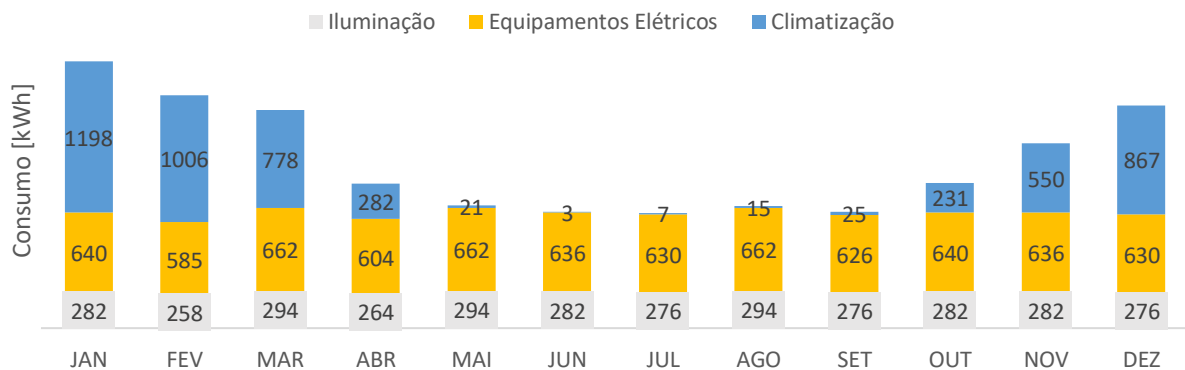


A Zona 9 é uma área de treinamentos na faixa da edificação, orientação Oeste. Nos horários da tarde recebe Sol direto nas janelas. A temperatura ultrapassa o limiar superior

estabelecido de 25,9°C durante vários dias do ano. Por isso, foi necessário reavaliá-la após as alterações de projeto.

A Figura 8 apresenta o total mensal do consumo energético para a iluminação, os equipamentos elétricos e a climatização.

Figura 8. Consumo mensal de Iluminação, Equipamentos Elétricos e Climatização.



Analisando o consumo anual, pode se perceber que a iluminação e os equipamentos elétricos possuem um comportamento semelhante ao longo do ano, pois foi feita uma média do consumo anual a partir dos horários de funcionamento desses equipamentos, distribuídos igualmente ao longo do ano. Já para a climatização, o pico de consumo se dá nos meses mais quentes do ano, momento em que se necessita o uso do ar-condicionado. Nos meses mais frios o uso é praticamente nulo.

## 4.2 SIMULAÇÃO DA ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO MODIFICADA

O segundo passo foi realizar uma nova simulação com a edificação modificada, conforme explicado na Seção 3.5, visando melhorar o comportamento anual das temperaturas das Zonas 2, 6 e 9, as quais apresentaram temperaturas fora do limite de 25,9°C.

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam os gráficos de temperaturas das Zonas 2, 6 e 9, respectivamente, após as modificações e comparando com os resultados da Seção 4.1.

Figura 9. Temperatura Operativa da Zona 2 antes e após as modificações.

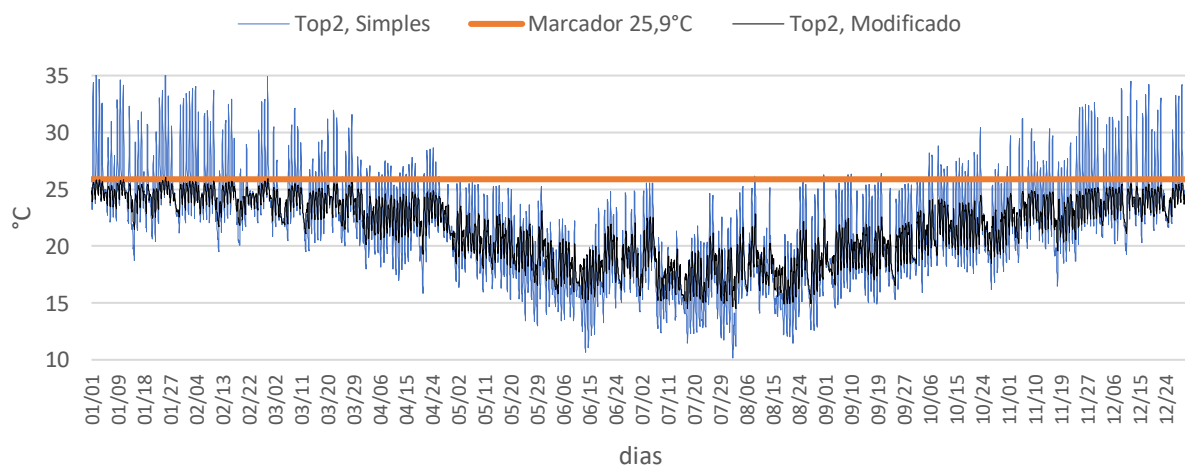


Figura 10. Temperatura Operativa da Zona 6 antes e após as modificações.

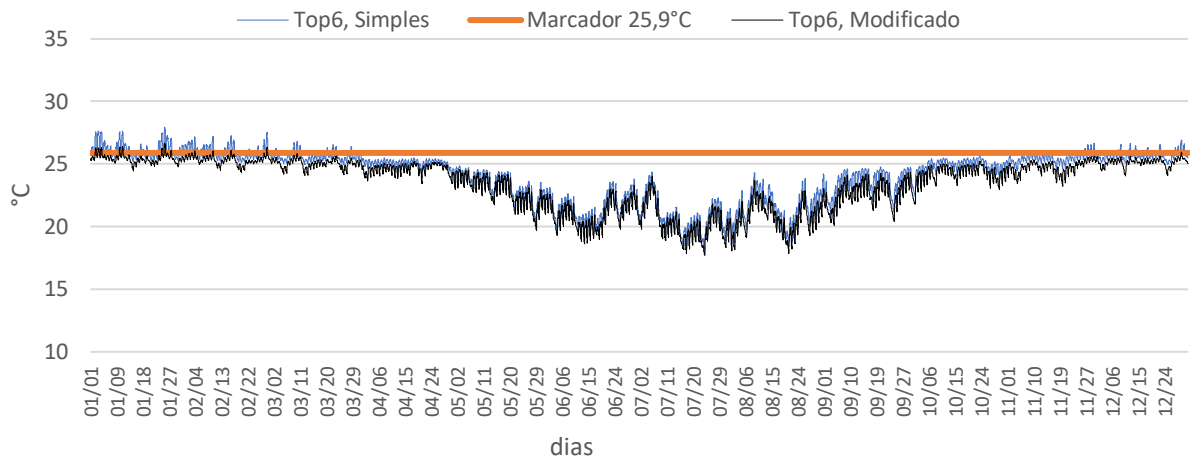
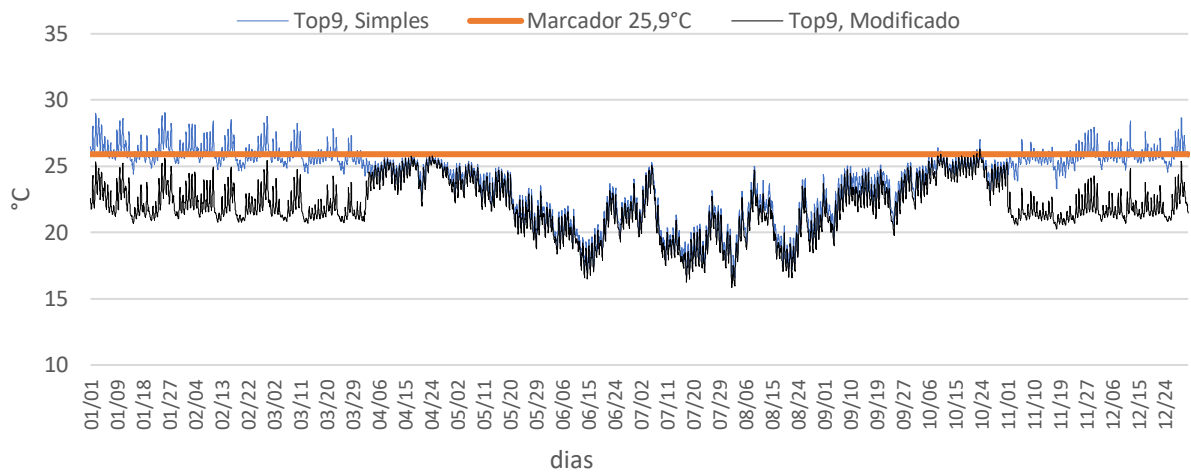


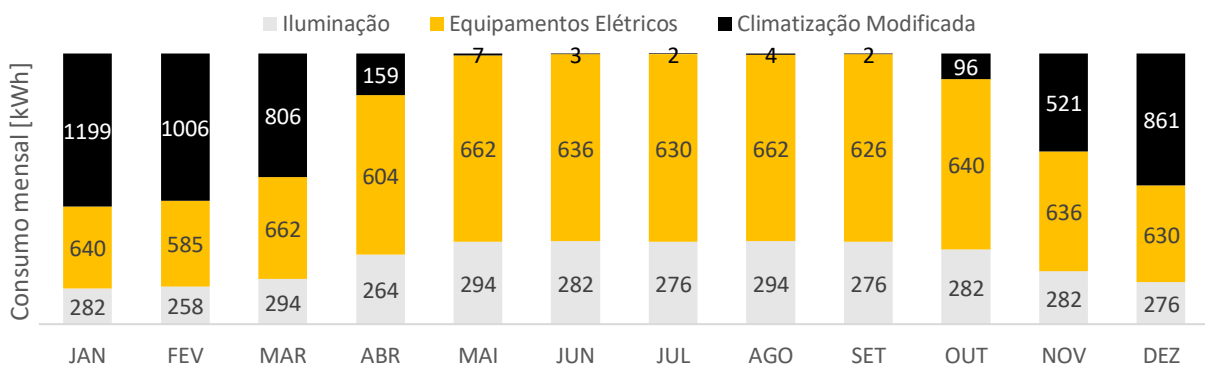
Figura 11. Temperatura Operativa da Zona 9 antes e após as modificações.



Como pode ser visto nas Figuras 9, 10 e 11, após as modificações realizadas, as três Zonas tiveram uma melhora significativa no intervalo de temperaturas, tanto nas máximas quanto nas mínimas. As alterações foram suficientes para deixar as temperaturas dentro do limite estabelecido na maior parte do tempo.

A Figura 12 apresenta o gráfico do consumo total mensal kWh.

Figura 12. Consumo mensal das Cargas Internas da Edificação modificada.



Como pode se perceber, a parte de iluminação e equipamentos elétricos se mantiveram com o mesmo consumo, pois não houveram alterações nos seus tempos de funcionamento. Já a climatização teve uma redução considerável, que chegou ao total de 317,01 kWh no ano.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise foi realizada em duas etapas. A primeira com a academia mais próxima da existente (AMS) e a segunda com a academia modificada (AMM). Por fim, foram avaliadas as  $T_{op}$  de cada Zona e o consumo energético total anual nas duas situações.

### 5.1 TEMPERATURA OPERATIVA

A partir dos resultados expostos na Seção 4.2, pode se perceber que as propostas utilizadas para a melhora do conforto térmico das Zonas 2, 6 e 9 reduzindo a  $T_{op}$  e o consumo energético da edificação foram eficazes. Na Tabela 1 podem ser visualizados os comparativos das horas em que as temperaturas operativas de todas as zonas analisadas ficaram abaixo do limite estipulado de 25,9°C.

Tabela 1. Horas em que as temperaturas operativas das zonas ficaram abaixo dos 25,9°C.

<b>Academia</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 6</b>	<b>Zona 9</b>
Simple (h)	8744	7459	7637	7266
Modificada (h)	8760	8755	8671	8750
Diferença (h)	16	1296	1034	1484
Diferença Relativa (%)	0,18	17,37	13,54	20,42

Como pode ser visto, as quatro zonas tiveram um aumento das horas nas quais as temperaturas ficaram abaixo do limite estipulado, sendo mais expressivo na Zona 9 que teve alterações passivas e artificiais. Vale ressaltar que a Zona 1 não sofreu modificações diretas, mas, mesmo assim, teve melhorias e para todas as horas do ano ficou com temperaturas abaixo do limite. As Zonas 2, 6 e 9 ainda podem ser melhoradas, principalmente a Zona 6 que ficou mais horas com a temperatura acima do limite.

### 5.2 CONFORTO TÉRMICO

Para analisar as horas de conforto térmico nas zonas da edificação o EnergyPlus utiliza o modelo adaptativo, que vale apenas para ambientes naturalmente ventilados. Embora a academia seja climatizada, essa análise foi realizada apenas para as horas em que o ar-condicionado está desligado. Na Tabela 2 podem ser visualizadas as diferenças nas horas de conforto térmico das Zonas 1, 2, 6 e 9.

Tabela 2. Horas de conforto térmico ao longo do ano das zonas analisadas.

<b>Academia</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 6</b>	<b>Zona 9</b>
Simple (h)	2222	1313	1525	1461
Modificada (h)	2373	2009	1840	1593
Diferença (h)	151	696	316	132
Diferença Relativa (%)	6,8	53	20,7	9

Como pode ser visto houve um aumento das horas de conforto térmico em todas as zonas. Isso ocorreu por conta das melhorias que as alterações passivas trouxeram para a edificação. É importante salientar, que o software leva em conta nesse cálculo o *clo*, que é a resistência térmica da vestimenta das pessoas podendo variar de 1 até próximo de 0,4 em relação a TBS medida às 6:00 da manhã. Quanto maior a TBS, menor é o *clo*. No Anexo A, além do modelo adaptativo, pode ser visualizado o gráfico utilizado pelo software para determinar o *clo*.

### 5.3 CONSUMO DE ENERGIA

O consumo energético se manteve o mesmo para a iluminação e os equipamentos elétricos, pois não houve alterações nos seus horários de funcionamento. Já para a climatização, houve uma diferença considerável entre a simulação da AMS e da AMM. Na Tabela 2 é possível visualizar a diferença do consumo elétrico entre as duas situações simuladas.

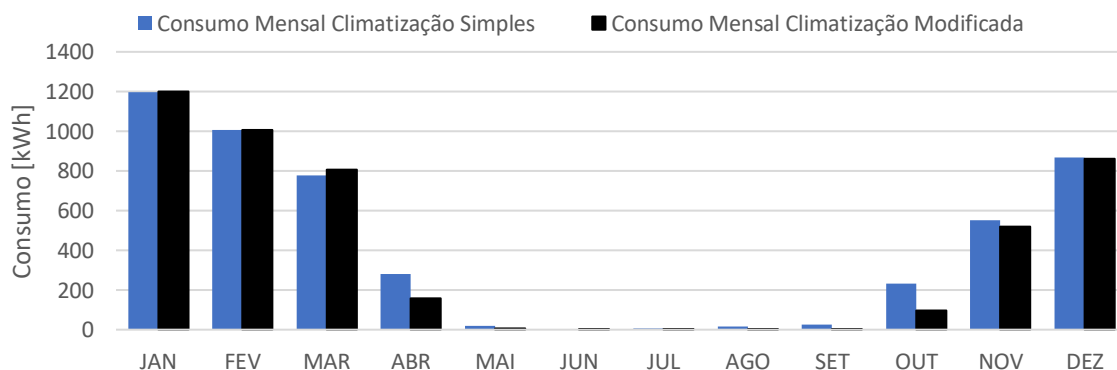
Tabela 3. Comparativo do consumo energético da AR, AMS e AMM.

Edificação	Academia (kWh)	AMS (kWh)	AMM (kWh)
Iluminação	-	3358,82	3358,82
Equipamentos Elétricos	-	7613,08	7613,08
Climatização	-	4982,75	4665,74
Total	16132	15954,65	15637,64
Diferença relativa Academia (%)	-	- 1,1%	- 3,06%
Diferença relativa AMS (%)	-	-	- 2%

De acordo com a Tabela 3, pode ser visualizado que a simulação AMS ficou 1,1% abaixo do consumo total anual de energia em relação a academia existente. Já na AMM, o consumo caiu 3,06% em relação a existente e 2% em relação à AMS. O comparativo dos resultados entre as duas simulações mostrou que as alterações realizadas foram eficientes, contribuindo para uma redução no consumo anual de 317,01 kWh, que representou uma redução no custo anual de R\$ 207,82 - considerando o preço vigente de R\$ 0,65556 do kWh, sem adicionais de taxas e serviços (CEEE, 2022).

A seguir pode ser visualizado na Figura 13 o comparativo da média mensal do consumo energético da AMS e da AMM no quesito climatização.

Figura 13. Comparativo do consumo energético da climatização.



Como pode ser visto na Figura 16, os meses mais quentes - de outubro até abril - foram os que mais exigiram resfriamento para climatizar as zonas. Já nos meses mais frios - de maio até setembro - o uso do ar-condicionado foi praticamente nulo, reduzindo ainda mais, no caso da simulação da AM.

## 6. CONCLUSÃO

Os objetivos do presente trabalho foram analisar termoenergeticamente uma academia de musculação e caso fosse possível, fazer modificações passivas ou artificiais em busca da melhora do conforto térmico para os ocupantes, isso seria realizado.

No primeiro momento a academia foi desenhada de forma semelhante a existente e apenas foi modificado o ar-condicionado de *split* para o modelo VRF. A análise foi realizada em cima dos ambientes de permanência prolongada e as temperaturas operativas obtidas através da simulação mostraram que as Zonas 2, 6 e 9 estavam passando do limiar de 25,9°C estipulado, demonstrando a necessidade de realizar modificações na edificação. As modificações realizadas foram: alterar o telhado da Zona 2 adicionando uma camada de ar; adicionar um *brise* na janela da Zona 6; adicionar películas nos vidros das janelas das Zonas 6 e 9; e, por fim, foi alterado o *setpoint* do ar-condicionado da Zona 9 para 20°C de novembro até abril.

Como a academia só é climatizada para evitar altas temperaturas, os resultados mostraram que as temperaturas ficaram por mais tempo dentro do limiar superior estabelecido e no geral, pelo modelo adaptativo, as horas de conforto térmico ao longo do ano aumentaram. Além disso, foi possível obter na simulação modificada um consumo energético 317,01 kWh menor que o da academia simples. Vale ressaltar que na prática essa academia não é climatizada todo o tempo e principalmente na Zona 9 o ar-condicionado passa a maior parte do tempo desligado, ou seja, se os aparelhos de ar-condicionado da academia existente ficassem ligados o tempo inteiro essa redução do consumo se mostraria de forma ainda mais evidente.

Este trabalho buscou ressaltar a importância do conforto térmico para a prática do exercício físico nas academias, visto que existe um movimento mundial das pessoas procurando esses locais visando obter mais saúde e qualidade de vida. Para futuros trabalhos sugere-se a procura de novos materiais construtivos que possam ser testados, a utilização de aquecimento nos meses mais frios e a utilização de células fotovoltaicas no telhado da Zona 2 com função de sombreamento e produzindo energia para a academia. Dessa forma, é possível alcançar o conforto térmico nos meses mais frios também, visando o mínimo aumento no consumo e custo de energia.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 2005a. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT, 2005b. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASHRAE, 2017a. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. **Fundamentals. Handbook**. SI Edition. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE, p.185, 2017.

ASHRAE, 2017b. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. **Standard 55-2017 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE, p.13, 2017.

Brasil, 2001. República Federativa do Brasil - **Lei nº 10.295**. Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências. Brasília, 17 out. 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm). Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

Brasil, 2014. República Federativa do Brasil – **Instrução Normativa de Eficiência Energética IN SLTI-MP Nº 02-2014**. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília, 21 jan. 2014. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm). Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

Camargo, M. G.; Furlan, M. M., 2011. Resposta Fisiológica do Corpo às Temperaturas Elevadas: Exercício, Extremos de Temperatura. **Revista Saúde e Pesquisa**. Paraná, Maringá, v. 4, n. 2, p. 278-288, maio/ago. 2011 – ISSN 1983-1870. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/1723>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2023.

CEEE, 2022. CEEE – Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica – Grupo Equatorial Resolução Homologatória ANEEL Nº 3.138/2022. **Tarifas e Custos dos Serviços**. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 22 de novembro de 2022. Disponível em: [https://ceee.equatorialenergia.com.br/ceee/copy\\_of\\_FolderGrupoB2022.pdf](https://ceee.equatorialenergia.com.br/ceee/copy_of_FolderGrupoB2022.pdf). Acesso em 25 de março de 2023.

Corrêa, S. A. M., 2008. **Estratégia Competitiva das Academias de Ginástica da Cidade de São Paulo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Mestrado em Administração da Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unip.br/dissertacoes-teses-programa-de-mestrado-em-administracao/estrategias-competitivas-das-academias-de-ginastica-da-cidade-de-sao-paulo/>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2023.

EnergyPlus, 2017a. ENERGYPLUS Version 8.7.0. U.S. Department of Energy. **Software**. 2017. Disponível em: <https://github.com/NREL/EnergyPlus/releases/tag/v8.7.0>. Acesso em: 11 de dezembro de 2023.

EnergyPlus, 2017b. ENERGYPLUS. U.S. Department of Energy. **Engineering Reference**. 2017. Disponível em: <https://github.com/NREL/EnergyPlus/releases/tag/v8.7.0>. Acessado em: 12 de janeiro de 2023.

EnergyPlus, 2017c. ENERGYPLUS. U.S. Department of Energy. **Input Output Reference**. p. 537, 2017c. Disponível em: <https://github.com/NREL/EnergyPlus/releases/tag/v8.7.0>. Acesso em: 20 janeiro de 2023.

EPE, 2020a. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética**. Nota Técnica.



2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/epe-publica-nota-tecnica-sobre-acoas-de-eficiencia-energetica-em-edificacoes-brasileiras>. Acesso em 15 de fevereiro de 2023.

EPE, 2020b. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia (PNE 2050)**. Relatório Final. p. 3-221, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

Franca, R. R., 2009. **Anticiclones e umidade relativa do ar: um estudo sobre o clima de Belo Horizonte**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-7VQH45>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

Guitarra, P., 2022. “COP 27 – Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas”. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/cop-27-conferencia-das-nacoes-unidas-sobre-as-mudancas-climaticas.htm>. Acesso em 13 de março de 2023.

Bastos, M. S.; Borges, T. M. T.; Shimabuko, G.; Pimenta, R. G.; Neves, A. R. M., 2013. **Aplicação para recomendação contextualizada sobre atividades físicas aos usuários do Parque da Cidade**. 2013. Artigo Científico (Graduação em Engenharia da Computação) – Centro Universitário Instituto de Educação Superior de Brasília (IESB), Distrito Federal, 2013. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/779/o/artigo\\_finalizado.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/779/o/artigo_finalizado.pdf). Acesso em: 9 de janeiro de 2023.

Rowell, L. B., 1974. **Human cardiovascular adjustment to exercise and thermal stress**. *Physiological Reviews*. V. 54, p.75-88, 1974. Disponível em : <https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/physrev.1974.54.1.75>. Acesso em : 15 de janeiro de 2023.

INMETRO, 2012. INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**”. RTQ-R. 2012. Publicado através da portaria nº18, de 16 de janeiro de 2012.

WBCSD, 2009. WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. **Energy Efficiency in Buildings**. 9 de agosto de 2009. Disponível em: <https://www.wbcsd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Resources/Transforming-the-Market-Energy-Efficiency-in-Buildings>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023.

## ANEXOS

## ANEXO A – MODELO ADAPTATIVO E CLO UTILIZADO NO ENERGYPLUS

De acordo com o informado na Seção 2.8 e 5.2 respectivamente pode ser visto nas Figuras A.1 e A.2, o gráfico com as regiões de aceitabilidade para ambientes naturalmente ventilados e do *clo*.

Figura A.1 - Limites aceitáveis da temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente (Adaptado de ASHRAE, 2017b)

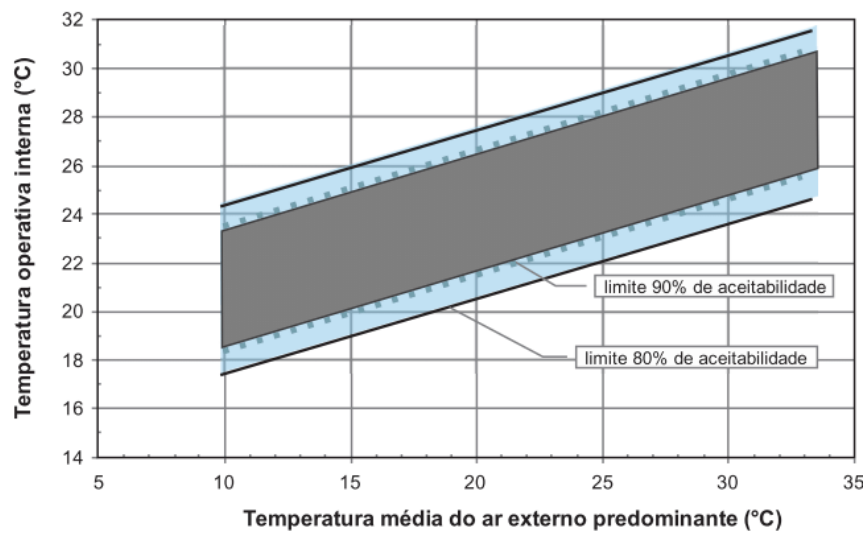
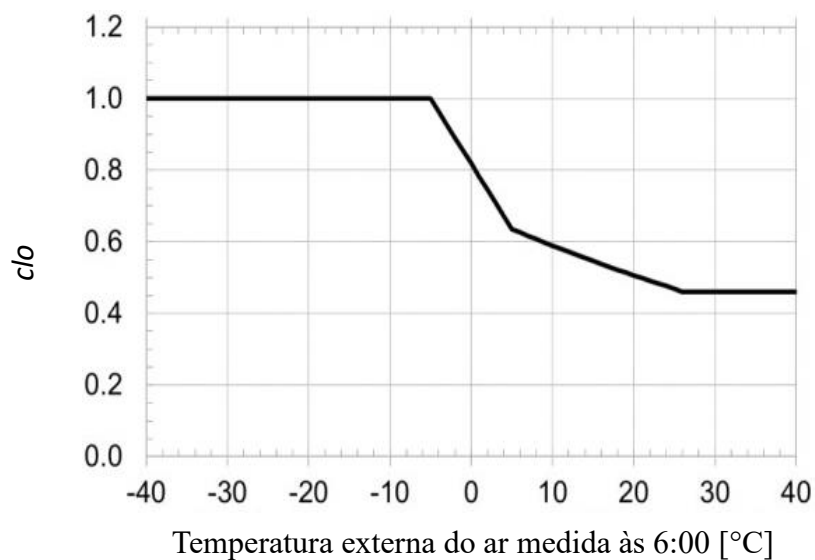


Figura A.2 – Método de determinação do *clo*. (Adaptado de EnergyPlus, 2017b)



## ANEXO B – PROPRIEDADE DOS MATERIAIS ABNT, 2005a

De acordo com o informado na Seção 3.2 segue abaixo as Tabelas B.1 e B.2 utilizadas para obter as propriedades dos materiais.

Tabela B.1 – Propriedades térmicas dos materiais (Adaptado de ABNT, 2005a).

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	C (kJ/(kg.K))
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibrocimento</b>			
placas de fibrocimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34

Tabela B.2 – Absortância e emissividade (Adaptado de ABNT, 2005a)

Tabela B.2 — Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	$\alpha$	$\epsilon$
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95

**ANEXO C – TABELA 4, 2017 ASHRAE HANDBOOK-FUNDAMENTALS (SI)**

De acordo com o informado na Seção 3.3, segue a Tabela referente à geração de calor devida à taxa metabólica para cada tipo de atividade.

Tabela C.1 – Geração de calor para diferentes atividades físicas (Adaptado de *ASHRAE*, 2017a)

ASHRAE 2017 Handbook – Fundamentals (SI)	
Geração de calor metabólico para várias atividades físicas	
	$W/m^2$
Calistenia/Exercícios	175 a 235

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – ÁREA DE PISO POR ZONA, ILUMINAÇÃO, EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS, FLUXO DE PESSOAS POR ZONA E HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO.

Neste apêndice são apresentadas as Tabelas referentes às áreas de piso por Zona, às cargas interna de iluminação, aos equipamentos elétricos, ao fluxo de pessoas por Zona, e aos horários de funcionamento desses grupos, citados na Seção 3.

Tabela A.1 - Área de cada Zona.

ZONAS	A [m <sup>2</sup> ]	ZONAS	A [m <sup>2</sup> ]
ZONA 1	96,68	ZONA 6	85,42
ZONA 2	41,56	ZONA 7	5,13
ZONA 3	4,26	ZONA 8	4,29
ZONA 4	4,62	ZONA 9	54,58
ZONA 5	3,61	-	-

Tabela A.2 – Quantidade de lâmpadas por Zona.

ZONAS	Lâmpada Pequena (4,5W)	Lâmpada Média (9W)	Lâmpada Grande (18W)
ZONA 1	0	15	20
ZONA 2	0	9	12
ZONA 3	2	0	0
ZONA 4	2	0	0
ZONA 5	2	0	0
ZONA 6	0	6	18
ZONA 7	3	0	0
ZONA 8	1	0	0
ZONA 9	0	4	12
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>34</b>	<b>62</b>

Tabela A.3– Quantidade de equipamentos por Zona.

ZONAS	Bebedouro(130W)	Chuveiro(5500W)	Computador(60W)	Esteira(350W)
ZONA 1	1	0	2	0
ZONA 2	0	0	0	0
ZONA 3	0	0	0	0
ZONA 4	0	1	0	0
ZONA 5	0	0	0	0
ZONA 6	1	0	0	8
ZONA 7	0	1	0	0
ZONA 8	0	0	0	0
ZONA 9	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>8</b>

Tabela A.4 – Continuação da quantidade de equipamentos por Zona.

<b>ZONAS</b>	<b>Frigobar(40W)</b>	<b>Som(120W)</b>	<b>Tv(200W)</b>	<b>Ventilador(35,75W)</b>
ZONA 1	2	2	1	6
ZONA 2	0	1	0	3
ZONA 3	0	0	0	0
ZONA 4	0	0	0	0
ZONA 5	0	0	0	0
ZONA 6	0	2	0	3
ZONA 7	0	0	0	1
ZONA 8	0	0	0	0
ZONA 9	0	1	0	7
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>20</b>

Tabela A.5 – Horários de funcionamento dos equipamentos.

<b>Equipamentos Elétricos</b>	<b>Dias da semana</b>	<b>Sábado</b>	<b>Quant.Func.</b>
Lâmpadas	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00	50%
Ventilador			
Bebedouro; Frigobar	24:00 às 10:00	24:00 às 10:00	100%
Som	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00	50%
Chuveiro Elétrico	6:00 às 6:12	9:00 às 9:12	100%
Computador	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00	100%
TV			
Esteira	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00	12,5%

Tabela A.6 – Quantidade de pessoas máxima por hora de funcionamento.

<b>ZONAS</b>	<b>Pessoas Máx./hora funci.</b>	<b>Dias da semana</b>	<b>Sábado</b>
ZONA 1	6	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 2	6	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 3	1	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 4	1	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 5	1	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 6	6	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 7	1	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 8	1	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00
ZONA 9	4	6:00 às 22:00	9:00 às 17:00

Tabela A.7 – Porcentagem de pessoas ocupando a zona em relação ao máximo estimado.

Período	Zona 1 / Zona 2 /	Zona 6 / Zona 9	Zona 3 / Zona 4 / Zona 5 / Zona 7 / Zona 8	
	Dias da Semana	Sábado	Dias da Semana	Sábado
0:00 - 6:00	0%	0%	0%	0%
6:00 - 7:00	100%	0%	0%	0%
7:00 - 9:00	100%	0%	100%	0%
9:00 - 10:00	100%	50%	100%	0%
10:00 - 12:00	100%	50%	100%	100%
12:00 - 14:00	50%	50%	100%	100%
14:00 - 15:00	50%	100%	100%	100%
15:00 - 17:00	100%	100%	100%	100%
17:00 - 21:00	100%	0%	100%	0%
21:00 - 22:00	50%	0%	100%	0%
22:00 - 0:00	0%	0%	0%	0%

### APÊNDICE B – ACADEMIA DE MUSCULAÇÃO EXISTENTE, SIMPLES, MODIFICADA E LISTA DE CLASSES

Neste Apêndice são apresentados as Figuras da Academia de Musculação Existente, Academia de Musculação Simples (AMS), Academia de Musculação Modificada (AMM), lista de classes e propriedades dos materiais utilizados no EnergyPlus.

Figura B.1 – Foto da academia de musculação analisada neste trabalho.



Figura B.2 – Desenho da frente da academia de musculação simples (AMS).

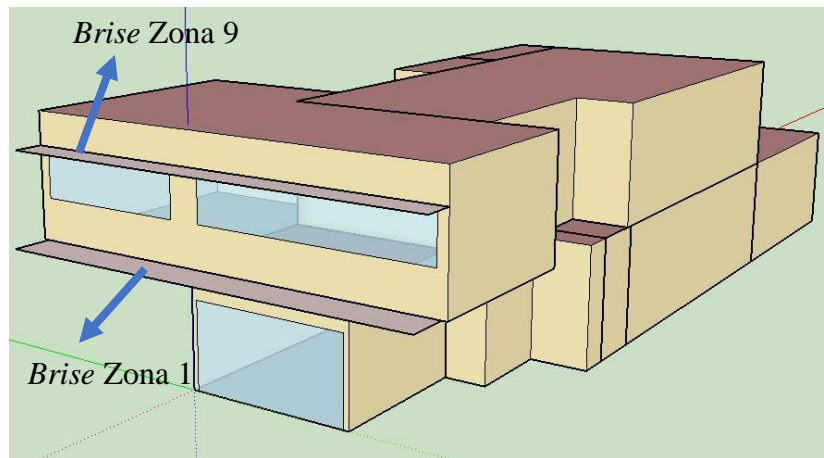


Figura B.3 – Desenho dos fundos da academia de musculação simples (AMS).

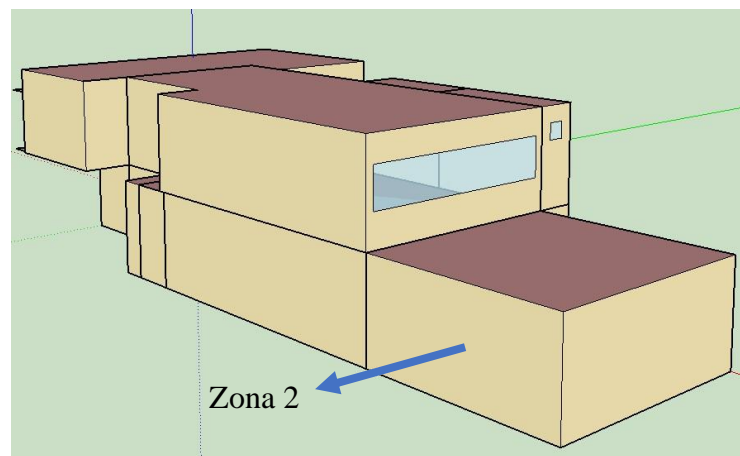


Figura B.4 – Desenho dos fundos da academia de musculação modificada (AMM).

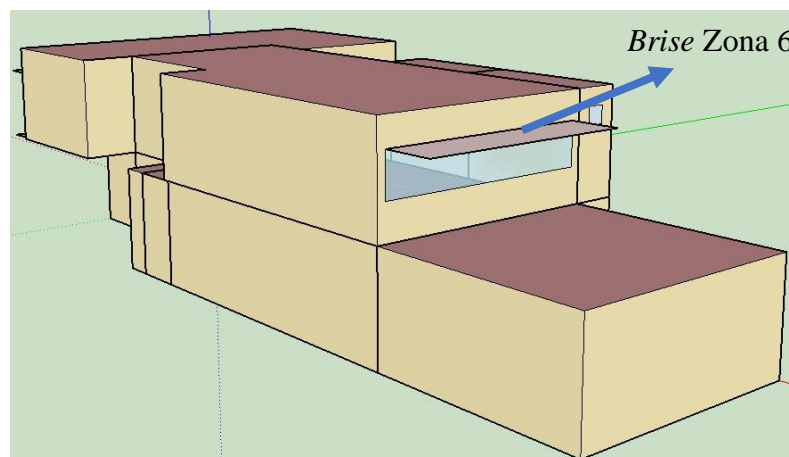




Figura B.5 – Lista de classes utilizada no EnergyPlus.

[0001] Version	
[0001] SimulationControl	[0007] Construction
[0001] Building	[0001] GlobalGeometryRules
[0001] ShadowCalculation	[0009] Zone
[0001] SurfaceConvectionAlgorithm:Inside	[0076] BuildingSurface:Detailed
[0001] SurfaceConvectionAlgorithm:Outside	[0006] FenestrationSurface:Detailed
[0001] HeatBalanceAlgorithm	[0002] Shading:Overhang
[0001] ZoneAirHeatBalanceAlgorithm	[0018] People
[0001] ZoneAirMassFlowConservation	[0018] Lights
[0001] Timestep	[0030] ElectricEquipment
[0001] ConvergenceLimits	[0001] HVACTemplate:Thermostat
[0001] Site:Location	[0004] HVACTemplate:Zone:VRF
[0002] SizingPeriod:DesignDay	[0004] HVACTemplate:System:VRF
[0001] RunPeriod	[0001] Output:VariableDictionary
[0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface	[0001] Output:Surfaces:Drawing
[0005] ScheduleTypeLimits	[0001] Output:Table:SummaryReports
[0017] Schedule:Compact	[0001] OutputControl:Table:Style
[0007] Material	[0003] Output:Variable
[0002] WindowMaterial:Glazing	

Figura B.6 – Propriedades dos materiais

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Tijolo6furos	Concreto15	G01_a_19mm gypsum board	Fibrocimento	Pinus	CamaraAr	Reboco	Argamassa
Roughness		Rough	Rough	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	VerySmooth	Rough	Rough
Thickness	m	0,09	0,15	0,019	0,008	0,01	0,04	0,02	0,01
Conductivity	W/m-K	0,72	1,75	0,35	0,95	0,23	0,0263	1,15	1,15
Density	kg/m3	1920	2300	800	2000	675	1,225	2100	2100
Specific Heat	J/kg-K	835	1000	840	840	1340	1007	1000	1000
Thermal Absorptance									
Solar Absorptance			0,65					0,5	

Figura B.7 – Propriedade das janelas

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		CLEAR 6MM	CLEAR 8MM	GREY 6MM
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name				
Thickness	m	0,006	0,008	0,006
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,775	0,775	0,455
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,071	0,071	0,053
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,071	0,071	0,053
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,881	0,881	0,431
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,08	0,08	0,052
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,08	0,08	0,052
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84
Conductivity	W/m-K	0,9	0,9	0,9