

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO AUGUSTIN

METODOLOGIA DE ANÁLISE DO IMPACTO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS COM  
APLICAÇÃO DE EQUIPAMENTO DE TELEMETRIA PARA INTEGRAÇÃO DE  
CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTES  
ACADÊMICOS

CURITIBA

2023

GUSTAVO AUGUSTIN

METODOLOGIA DE ANÁLISE DO IMPACTO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS COM  
APLICAÇÃO DE EQUIPAMENTO DE TELEMETRIA PARA INTEGRAÇÃO DE  
CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTES  
ACADÊMICOS

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, área de concentração Sistemas Eletrônicos, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Augusto Mariano

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique da Costa Oliveira

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Augustin, Gustavo

Metodologia de análise do impacto de condições ambientais com aplicação de equipamento de telemetria para integração de conforto térmico e eficiência energética em ambientes acadêmicos / Gustavo Augustin. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: André Augusto Mariano

Coorientador: Gustavo Henrique da Costa Oliveira

1. Consumo de energia. 2. Eficiência energética. 3. Conforto térmico. 4. Internet das coisas. 5. Salas de aulas – Condições ambientais. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Mariano, André Augusto. IV. Oliveira, Gustavo Henrique da Costa. V. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
ELÉTRICA - 40001016043P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA ELÉTRICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GUSTAVO AUGUSTIN** intitulada: **METODOLOGIA DE ANALISE DO IMPACTO DE CONDICÕES AMBIENTAIS COM APLICACAO DE EQUIPAMENTO DE TELEMETRIA PARA INTEGRACAO DE CONFORTO TERMICO E EFICIENCIA ENERGETICA EM AMBIENTES ACADEMICOS**, sob orientação do Prof. Dr. ANDRÉ AUGUSTO MARIANO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 30 de Junho de 2023.

Assinatura Eletrônica

04/07/2023 07:28:38.0

ANDRÉ AUGUSTO MARIANO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

04/07/2023 07:56:02.0

LUIS HENRIQUE ASSUMPÇÃO LOLIS

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

30/06/2023 17:46:19.0

EDSON LEONARDO DOS SANTOS

Avaliador Externo (FACULDADES DA INDÚSTRIA - SISTEMA FIEP)

Assinatura Eletrônica

01/07/2023 14:05:03.0

RICARDO SCHUMACHER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me agraciar com a saúde e amparo necessário para seguir esse árduo caminho até aqui.

A meu pai Sérgio Noberto Augustin e meu irmão Gabriel Augustin, pelo suporte, motivação e carinho. O que foi combustível essencial para manter o foco no objetivo traçado.

À André Augusto Mariano e Gustavo Henrique da Costa Oliveira, meus valiosos orientadores pelos ensinamentos, extrema disponibilidade e paciência em me guiar pelo caminho correto.

Aos amigos da empresa Compassio Soluções Digitais, Thiago e Paulo, pela disponibilidade e atenção para ajudar ao longo desse caminho.

Aos técnicos do laboratório da sala PK8 e Lammi, da Universidade Federal do Paraná, que não pouparam esforços para ajudar com o desenvolvimento deste trabalho.

Aos nossos amigos e colegas de pós-graduação, esses que dividiram curtos porém valorosos momentos.

Agradeço também a todos que uma alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Com o aumento de tecnologias existentes dentro do cotidiano das pessoas nos diferentes setores da economia, é natural que ocorra um aumento na demanda de energia elétrica. Estima-se que em países desenvolvidos a demanda de energia elétrica cresça 3,2% ao ano. No caso da China é previsto um aumento de 3,7%, podendo dobrar seu consumo de energia elétrica dentro de 20 anos. No Brasil, acompanhando tendências mundiais, houve aumento na demanda de 2,4% e 3,8% nos setores de serviços públicos e residencial, e a demanda anual vem em uma crescente nos últimos 5 anos nesses setores. Para tornar o crescimento da demanda mais eficiente e sustentável, foi lançado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, que a partir de 2014 tornou-se obrigatório o selo de eficiência em prédios públicos, tornando um requisito legal a necessidade de se trabalhar eficiência dentro de edifícios públicos. Porém, embora a questão de eficiência deva ser estudada, o conforto dos ocupantes desses locais também deve ser considerado, uma vez que o rendimento de atividades humanas são diretamente afetadas por desconfortos ambientais. Baseado nessas motivações, este trabalho buscou desenvolver uma metodologia de análise de condições ambientais e fenômenos ocorridos dentro de uma sala, tendo como objetivo a integração de conforto térmico e eficiência energética em ambiente acadêmico. Para o desenvolvimento dessas análises, foram realizadas medições por meio de um módulo desenvolvido neste trabalho, baseado em internet das coisas. Módulo esse que realizou medições de temperatura, umidade relativa e luminosidade interna, formando um banco de dados, que foi analisado, constatando fenômenos de utilização de energia elétrica na sala, e avaliado o desempenho térmico do ambiente com técnicas de *predicted mean vote* nesses momentos, o que gerou conclusões expostas em forma de propostas para melhoria de conforto térmico e eficiência energética no recinto. Os resultados obtidos foram construídos baseados em medições realizadas de Abril até Novembro de 2022. Foram identificados ao total 11 situações em que o sistema de condicionamento de ar foi utilizado, calculando o PMV nesses momentos, e baseado na análise desses resultados foram retiradas as conclusões. Conclusões que se resumiram na parametrização do sistema de condicionamento de ar, por diferentes pessoas que utilizam o recinto podendo impactar em perdas para o conforto e eficiência energética, mostrando a necessidade de implementação de um sistema de controle e gerenciamento desses parâmetros. Esse sistema, por sua vez pode também realizar o controle das correntes de ar que transpassam o recinto, controlando aberturas e fechamentos de portas e janelas. Além disso, ele pode tomar decisões com base na lotação do recinto, uma vez que estes fatores podem potencialmente realizar mudanças nos dados ambientais. O que baseados nos resultados deste estudo também impactam na questão da integração entre conforto e eficiência no ambiente acadêmico. Por fim, de forma complementar é realizada uma abordagem em relação a arquitetura e fatores que este sistema de controle e gerenciamento pode ter.

**Palavras Chave:** Eficiência energética, Conforto térmico, Monitoramento, IoT, Condições Ambientais.

## ABSTRACT

With the increase in existing technologies in people's daily lives in different sectors of the economy, it is natural that it has caused an increase in the demand for electricity. It's estimated that in countries where the demand for electricity grew by 3.2% per year. In the case of China, an increase of 3.7% is expected, with the possibility of doubling its electricity consumption within 20 years. In Brazil, following world trends, there was an increase in demand of 2.4% and 3.8% in the sectors of public and residential services, and the annual demand has been increasing in the last 5 years in these sectors. To make the growth in demand more efficient and sustainable, the National Electric Energy Conservation Program was launched, which from 2014 onwards made the efficiency seal on public buildings mandatory, making the need to work within public buildings. However, although the issue of efficiency must be experienced, the comfort of the occupants of these places must also be considered, since the yield of human activities is directly experienced by environmental disturbances. Based on these motivations, this work sought to develop a methodology for analyzing environmental conditions and phenomena occurring within a room, with the objective of integrating thermal comfort and energy efficiency in an academic environment. For the development of these analyses, measurements were performed using a module developed in this work, based on the internet of things. This module carried out measurements of temperature, relative humidity, and internal luminosity, forming a database, which was analyzed, noting phenomena of use of electric energy in the room, and evaluating the thermal performance of the environment with techniques of predicted means in those moments, the which generated exhibits in the form of proposals for improving thermal comfort and energy efficiency in the enclosure. The results obtained were constructed based on measurements taken from April to November 2022. A total of 11 situations in which the air accommodation system was used were identified, calculating the PMV at these times, and based on the analysis of these results, they were removed as projected . Conclusions that were summarized in the parameterization of the air housing system, by different people who use the enclosure, which can impact on losses for comfort and energy efficiency, showing the need to implement a control and management system for these parameters. This system, in turn, can also control the air currents passing through the enclosure, controlling the opening, and closing of doors and windows. Furthermore, he can make decisions based on enclosure capacity, as these factors can potentially effect changes in environmental data. Which, based on the results of this study, also impact on the issue of integration between comfort and efficiency in the academic environment. Finally, in a complementary way, an approach is carried out in relation to the architecture and factors that this control and management system may have.

**Key Words:** Energy efficiency, Thermal comfort, Monitoring, IoT, Environmental conditions.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Decomposição do consumo final de eletricidade em 2019 .....	10
FIGURA 2.1 – Protótipo do MDAD montado em protoboard .....	21
FIGURA 2.2 – Comparação entre as medidas do LDR .....	22
FIGURA 2.3 – Página <i>web</i> para <i>download</i> do banco de dados das medidas .....	23
FIGURA 2.4 – Diagrama de blocos do sistema desenvolvido .....	24
FIGURA 2.5 – Design final do sistema desenvolvido .....	25
FIGURA 2.6 – Desenho orientativo da localização do Bloco PK e da sala PK8 .....	26
FIGURA 2.7 – Imagem da sala PK8.....	27
FIGURA 2.8 - Valor do PPD em função do PMV .....	29
FIGURA 2.9 - Ilustração do conjunto de componentes de um SDCA.....	30
FIGURA 2.10 - Descrição do esquema de código dos equipamentos RHEEM.....	32
FIGURA 2.11 – Página de acesso aos dados da estação meteorológica .....	33
FIGURA 3.1 - Detalhamento da instalação dos módulos de aquisição de dados.....	36
FIGURA 3.2 - Detalhamento do processo de tratamento dos dados realizado .....	37
FIGURA 3.3 - Tabela de dados tratados para desenvolvimento dos gráficos de análise .....	38
FIGURA 3.4 - Tabela dos dados coletados sem tratamento .....	38
FIGURA 3.5 - Mecanismo lógico para cálculo do PMV/PPD .....	40
FIGURA 3.6 - Métrica para análise das medições e formulação das hipóteses .....	43
FIGURA 4.1 – Constatação de acionamento do SDCA aquecendo o ambiente .....	46
FIGURA 4.2 – Constatação do acionamento do SDCA resfriando o ambiente .....	47
FIGURA 4.3 – Demonstração da definição do período de ocupação da sala baseada na luminosidade .....	48
FIGURA 4.4 – Ilustração da extração de dados dos gráficos de acionamentos .....	51
FIGURA 4.5 – Exemplo do valor de PMV médio durante ocupação da sala PK8 .....	52
FIGURA 5.1 – Constatação de utilização ineficiente do SDCA: Dia 30/09/2022 .....	59
FIGURA 5.2 – Segundo exemplo de constatação de uso ineficiente do SDCA: Dia 20/10/2022 .....	60
FIGURA 5.3 - Constatação do uso do SDCA resfriando o ambiente: Dia 27/10/2022. ....	61
FIGURA 5.4 – Constatação do uso do SDCA resfriando o ambiente: Dia 16/11/2022. ....	62

FIGURA 5.5 - Constatação do SDCA resfriando o ambiente com função ventilador: Dia 10/11/2022 .....	63
FIGURA 5.6 - Gráfico das condições verificadas para o dia 18/11/2022.....	65
FIGURA 5.7 - Gráfico das condições verificadas para o dia 31/08/2022.....	66
FIGURA 5.8 – Diagrama Macro do sistema de controle e gerenciamento do SDCA. .....	68

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Tecnologias de microcontroladores disponíveis no mercado.....	19
TABELA 2.2 - Escala sétima de sensações .....	28
TABELA 2.3 - Dados técnicos do SDCA RHEEM RB1PT60HP2C .....	33
TABELA 3.1 - Conjunto de roupas e valores de clo inicialmente considerados .....	41
TABELA 4.1 - Conjunto de roupas e valores de considerados neste estudo .....	49
TABELA 4.2 – Comparação entre ITV/PMV e PPD resultante .....	50
TABELA 4.3 - Dados dos acionamentos do sistema de condicionamento de ar .....	53
TABELA 4.4 - Comentários em função do observado no sistema de monitoramento .....	56
TABELA 4.5 - Observações quanto a quantidade de pessoas + padrão de vestimentas .....	57
TABELA 5.1 – Comparação entre o fechamento de entradas de fluxo de ar x tempo de rampa .....	64
TABELA 5.2 – Possíveis economias com a implementação do sistema de controle e gerenciamento.....	68

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

DELT – Departamento de Engenharia Elétrica  
ENCE – Etiqueta nacional de conservação de energia  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
ITV – Isolamento térmico das vestimentas  
MDAD – Módulo de Aquisição de Dados  
PMV – Predicted Mean Vote  
PPD – Predicted Percentage Dissatisfied  
PROCEL – Programa de combate ao desperdício de energia elétrica  
SDCA – Sistemas de Condicionamento de Ar  
SDMI – Sistema de Monitoramento de Imagem  
SIP – Sistemas em pacotes  
SOC – Sistemas em chip  
TAE – Temperatura do Ar Externa  
TAI – Temperatura do ar interna  
TSV – *Thermal Sensation Vote*  
URE – Umidade Relativa Externa  
URI – Umidade relativa interna

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_{cl}$  – Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu

$h_c$  – Coeficiente de transferência de calor por convecção

$\bar{A}_{Atividade}$  – Índice de atividade física no recinto

$Lux$  – Luminosidade

$M_{I1 \rightarrow IN}$  – Valor de gasto metabólico

$M$  – Taxa metabólica

$P_a$  – Pressão parcial do vapor de água

$E_{cons}$  – Energia consumida

$P_{nom}$  – Potência nominal

$T_{1 \rightarrow N}$  – Tempo de atividade

$t_a$  – Temperatura do ar

$t_{cl}$  – Temperatura superficial das roupas

$t_r$  – Temperatura radiante média

$T_s$  – Temperaturas Superficiais

$T_{5DCA\_On}$  – Tempo do sistema de condicionamento de ar ligado

$T_{Rampa}$  – Tempo de chegada na temperatura de *set point*

$W$  – Potência elétrica

$\Delta T$  – Diferença de tempo

$\Delta T_{set\ point}$  – Diferença de tempo ao atingimento da temperatura de *set point*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	15
1.2.	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA E CONTRIBUIÇÃO .....	15
1.3.	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	16
<b>2.</b>	<b>MÉTODO PARA CONSTRUÇÃO DAS MEDIDAS E CONCEITOS BASE PARA ANÁLISE .....</b>	<b>18</b>
2.1.	INTRODUÇÃO.....	18
2.2.	CONCEPÇÃO DO MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE DADOS UTILIZADO.....	18
2.2.1.	VERIFICAÇÃO TÉCNOLOGIAS EXISTENTES NO MERCADO.....	19
2.2.2.	DEFINIÇÃO DAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS E PROTOTIPAGEM .....	20
2.2.3.	CALIBRAÇÕES E AJUSTES.....	21
2.2.4.	COMUNICAÇÃO COM O BANCO DE DADOS .....	23
2.2.5.	CONCEPÇÃO FINAL DO SISTEMA .....	24
2.3.	CRITÉRIOS PARA ESCOLHA E DESCRIÇÃO DA SALA.....	25
2.4.	CONFORTO TÉRMICO.....	27
2.5.	INFORMAÇÕES TÉCNICAS QUANTO AO FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	29
2.6.	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS SDCA RHEEM RB1PT60HP2C .....	31
2.7.	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA.....	33
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
3.1.	INTRODUÇÃO.....	35
3.2.	METODOLOGIA DE MEDIÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	35
3.2.1.	REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS .....	35
3.2.2.	TRATAMENTO DAS MEDIDAS REALIZADAS .....	36
3.2.2.1.	VERIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE CADA MÓDULO .....	36
3.2.2.2.	DESENVOLVIMENTO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO.....	37
3.3.	MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DA MÉTRICA DE CONFORTO TÉRMICO ...	39
3.3.1.	MECANISMO DE CÁLCULO DO PMV.....	39
3.3.2.	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA PARA CÁLCULO DO PMV .....	40

3.3.2.1. TEMPERATURA, UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA INTERNA .....	40
3.3.2.2. VELOCIDADE DO AR, ÍNDICE DE ISOLAMENTO TÉRMICO E NÍVEL DE ATIVIDADE FÍSICA.....	41
3.4. MÉTRICA DE ANÁLISE DAS MEDIÇÕES PARA FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES.....	42
3.4.1. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS PARA ANÁLISE .....	43
<b>4. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES REALIZADAS .....</b>	<b>45</b>
4.1. ANÁLISE PRELIMINAR DAS MEDIDAS .....	45
4.1.1. CONSTATAÇÃO DE ACIONAMENTO DO SDCA AQUECENDO O AMBIENTE .....	46
4.1.2. CONSTATAÇÃO DE ACIONAMENTO DO SDCA RESFRIANDO O AMBIENTE .....	47
4.1.3. DEFINIÇÃO DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO DA SALA PK8 .....	48
4.1.4. VERIFICAÇÃO DO PMV DURANTE OS ACIONAMENTOS DO SDCA.....	48
4.2. ANÁLISE DOS ACIONAMENTOS IDENTIFICADOS .....	50
4.2.1. DESCRIÇÃO DA AVALIAÇÃO REALIZADA DE CADA ACIONAMENTO ...	51
4.2.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS DOS ACIONAMENTOS .....	54
4.3. INVESTIGAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIARAM NAS DIFERENÇAS .....	55
4.3.1. OBSERVAÇÃO E DESCRIÇÃO DE FENÔMENOS VIA SDMI .....	55
<b>5. ANÁLISE SISTÊMICA PARA INTEGRAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO.....</b>	<b>58</b>
5.1. DESENVOLVIMENTO DAS HIPÓTESES .....	58
5.1.1. HIPÓTESE QUANTO AO MÉTODO DE ACIONAMENTO SDCA.....	58
5.1.2. HIPÓTESE EM RELAÇÃO A ABERTURA E FECHAMENTO DE ENTRADAS DE FLUXO DE AR .....	63
5.1.3. HIPÓTESE QUANTO A LOTAÇÃO DA SALA.....	64
5.2. ARQUITETURA DO SISTEMA DE CONTROLE E GERENCIAMENTO DO SDCA	66
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>70</b>
6.1. CONCLUSÕES DO TRABALHO .....	70
6.2. DIREÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	72
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>

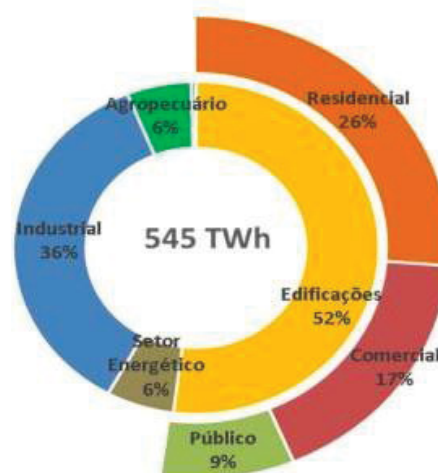
<b>APÊNDICE 1 – CÓDIGO PARA DESENVOLVIMENTO E ACESSO DO BANCO DE DADOS .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE 2 – SCRIPT DE PLOTAGEM DOS GRÁFICOS .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO 1 – Índice metabólico para atividades típicas – Tabela A1 ASHRAE ....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO 2 – Índice de isolamento térmico das roupas – Tabela B2 ASHRAE.....</b>	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O grande crescimento de inovações e de novas tecnologias, vem aumentando de forma significativa a demanda de energia elétrica mundial. Segundo Pérez-Lombard, Ortiz e Pout (2007) nos países ditos como economias emergentes, o aumento da demanda de energia elétrica será de 3,2% ao ano, e países como a China terão uma taxa de aumento de 3,7% ao ano, podendo até dobrar sua demanda de energia elétrica em 20 anos. Em estudos mais recentes realizados na China, verificou-se um aumento percentual de 30 a 50% na demanda de energia elétrica no período de 2015 a 2030, podendo ultrapassar os 50% de aumento após 2050. Porém com estratégias de conservação de energia rígidas, estima-se ser possível manter o consumo atual ou crescer a demanda em menos de 30% até 2050 (GUO *et al*, 2021).

No Brasil, setores como o de serviços públicos e residencial tiveram um aumento respectivo de demanda de energia elétrica de 2,4% e 3,8% em 2020, comparado com 2019. Nestes setores, a demanda vem crescendo nos últimos cinco anos (EPE,2021). Estes setores estão em sua maioria presentes nos grandes centros e são compostos por edificações de grande porte. Essas edificações de grande porte (prédios), são responsáveis por 52% do consumo final de eletricidade no Brasil, conforme mostrado no gráfico da FIGURA 1.1. Isso evidencia, a necessidade de ações para tornar mais eficiente o uso de tal recurso nesse setor de consumo final de energia.

FIGURA 1.1 - Decomposição do consumo final de eletricidade em 2019



Fonte: EPE (2020b). Balanço Energético Nacional – ano base 2019.

Como iniciativa para tornar este consumo mais eficiente, o programa de combate ao desperdício de energia elétrica – PROCEL, foi lançado em dezembro de 1985 (Procel,2006). O objetivo original do PROCEL era certificar a eficiência de produtos consumidores de energia elétrica e orientar o consumidor sobre qual produto é capaz de oferecer um consumo de energia elétrica menor. Com a modernização dos métodos produtivos, e avanço nos estudos de consumo da matriz energética brasileira, em 2014 o PROCEL lançou a etiquetagem de edifícios. Esta etiquetagem é voluntária e tem como objetivo, a exemplo dos equipamentos que utilizam eletricidade, informar o consumidor sobre quais imóveis oferecem maior eficiência no uso dos recursos. O que proporciona economia financeira e preservação de recursos naturais (Procel, 2014). Ao encontro disto, no ano de 2014 foi publicado no diário oficial da união a normativa IN02/2014, obrigando que todos os prédios federais novos, ou que passassem por processo de modernização, devessem passar pelo processo de etiquetagem também, recebendo então a ENCE (etiqueta nacional de conservação de energia). Para obtenção da ENCE em prédios públicos, são avaliados: a iluminação, a envoltória do prédio e o sistema de ar condicionado (SDCA), além de fatores de bonificação, que correspondem a tecnologias suplementares que abrangem o racionamento de água, a utilização de sistema de aquecimento solar de água, aproveitamento de energia solar, eólica ou então alguma outra técnica ou tecnologia de cogeração. O processo de avaliação para a etiquetagem acontece em dois momentos: primeiro na concepção do projeto de forma prescritiva ou com base em simulação; e num segundo momento após a construção do prédio, por meio de medições *in loco* (Procel,2009).

Apesar da necessidade de medidas que foquem em eficiência, uma construção moderna e tecnológica deve considerar aspectos que considerem as necessidades humanas. Em outras palavras, para além de sustentabilidade, é importante que o prédio ofereça qualidade de experiência aos seus usuários, visto que desconfortos ambientais, afetam diretamente as atividades humanas dentro destes ambientes.

Neste contexto, inclui-se a condição de conforto térmico. De acordo com Lamberts (2011), a condição de conforto térmico é atribuída aos indivíduos que se encontram em neutralidade térmica, ou seja, quando estes se encontram em balanço térmico. Porém, a questão da neutralidade não é suficiente para garantir a condição de conforto térmico para um dado indivíduo, já que este pode estar exposto a

condições de desconforto localizado, como correntes de ar localizadas dentro do ambiente, irradiação assimétrica significativa, entre outras, que podem alterar a percepção pessoal do indivíduo quanto a condição de conforto.

Como forma de verificar, como e quanto o conforto térmico pode afetar as atividades humanas dentro de um ambiente, Frota e Schiffer (2003) relatam que atividades como o trabalho, são fortemente impactadas pelo desconforto térmico sentido pelas pessoas. Por exemplo, segundo os autores, em uma fábrica onde um dado trabalho físico é realizado, o rendimento da atividade cai 15% com a alteração da temperatura do ambiente de 20°C para 24°C.

No sentido de criar uma medida para conforto térmico, Fanger (1972) propôs um modelo matemático onde condições individuais (como vestimentas e atividades) e variáveis ambientais (como temperatura do ar, temperatura irradiada, umidade relativa e velocidade do vento) são consideradas para cálculo de um índice para conforto térmico denominado de *predicted mean vote* (PMV), verificando também de forma gráfica o índice de insatisfação por meio do *predicted percentage of dissatisfied* (PPD), que mede a porcentagem de pessoas insatisfeitas sob o ponto de vista de conforto térmico em determinado ambiente.

Na linha da verificação de conforto térmico, Hwang, Lin e Kuo (2005) realizaram um trabalho para verificação da temperatura ideal para os alunos da *National Formosa University* de Taiwan, chegando em um resultado de 24,7°C. Apesar das faixas de temperatura verificadas no estudo serem diferentes das especificadas pela ASHRAE (2010), concluiu-se que em ambientes mais úmidos, admite-se pelo público uma temperatura mais alta do que a especificada. Já Wang (2005) realizou um estudo para a verificação de conforto térmico em um prédio residencial de Harbin, nordeste da China. Como resultado obteve uma temperatura operativa neutra de 20,9°C para homens e 21,9°C para mulheres. Esta diferença de 1°C que aconteceu mesmo quando as mulheres estavam utilizando roupas com isolamento térmico melhor que dos homens. Correia et al. (2016) realizou um estudo de conforto térmico no posto de trabalho de uma professora, na Universidade Federal da Paraíba, onde se encontrou por meio de simulação de software um PMV de 1,9 a 2,22 com um PPD de 72 a 86%, concluindo que para melhora do desempenho de ensino da docente, um sistema de condicionamento de ar deveria ser instalado, com o objetivo de melhorar o conforto térmico.

No objetivo de integrar a questão do conforto térmico com eficiência energética, Frătean e Dobra (2018) realizaram um estudo tendo como base dois métodos diferentes para controle do sistema de condicionamento de ar. Os métodos foram aplicados em dois prédios na cidade de Bucareste, e seus efeitos na demanda de energia elétrica foram verificados. Dentre os prédios analisados, um deles apresentava alto índice de inércia térmica, enquanto o outro baixo índice. Com base nisso, eles utilizaram métodos de controle diferentes, um visando conforto térmico e outro visando economia de energia. Ao final do estudo, analisando medições de consumo já existentes incorporadas nos prédios, foi verificado, que apenas no prédio com alta inércia térmica e com uma estratégia de economia de energia, foi possível manter um razoável conforto térmico com 15% de economia no perfil de demanda do prédio. Na mesma linha, Abdulgader e Lashhab (2021) desenvolveram um modelo energético eficiente de controle térmico com base na *database* ASHRAE RP-884, medindo o *thermal sensation vote* (TSV) por meio de quatro algoritmos de aprendizagem de máquina. Os algoritmos consideravam erro médio quadrático e um erro médio absoluto para o modelo. Ao final, foi realizado um estudo de caso para exemplificar o funcionamento do modelo, por meio de simulação. Gao, Li e Wen (2019) desenvolveram um sistema de controle com aprendizagem profunda o *deep neural network* com regulação Bayesiana, tendo como objetivo promover conforto térmico com eficiência energética. Para verificar o funcionamento do método desenvolvido, utilizaram o software TRNSYS concluindo através de simulação que o método desenvolvido apresentava melhor desempenho se comparado com os métodos similares como Q Learning, SARSA e DQN.

Em paralelo a estes trabalhos apresentados, a verificação de conforto ou eficiência é realizada por um sistema de medição existente e que pode não contemplar todas as informações necessárias para uma análise adequada dos resultados, ou ainda apresentar esse resultado por meio de simulações que podem não considerar efeitos práticos. A fim de que estudos de campo sejam realizados e desenvolvidos de forma consistente, sejam eles tanto de eficiência energética como de conforto térmico, é importante a implementação de um sistema em tempo real de coleta de dados. Neste sentido, a conexão de sensores e atuadores à internet, por meio de dispositivos que integrem o conceito de *internet of things* (IoT), apresenta-se como uma solução possível.

Conforme Mendonça, Andrade e Neto(2018) soluções de IoT são uma ferramenta que conecta objetos, os tornando inteligentes pela capacidade de se comunicar entre si, mesmo tendo papéis diferentes, proporcionando em função disto a capacidade de gerar dados, de fácil acesso e que constroem base suficiente para a criação de tecnologias complementares revolucionárias.

Uma aplicação de IoT para estudos de eficiência pode ser vista em Avotins et al. (2018). Os autores realizaram um trabalho de coleta e análise de dados, buscando oportunidades de melhoria na eficiência energética do prédio de engenharia elétrica na *Riga Technical University*, na Letônia. Foram utilizados equipamentos de IoT comercialmente consolidados para realização das medidas necessárias, setorizando o prédio estudado em áreas com características comuns, verificando o consumo de energia elétrica, temperatura, umidade relativa, nível de CO<sup>2</sup>, energia para aquecimento e pressão do sistema de ventilação. Como resultado, verificou-se um consumo mensal do prédio em 35.539 kWh, onde o cenário que mais chamou a atenção durante a análise do consumo, foram duas salas de auditório que eram idênticas. A primeira apresentou um consumo de 4,8 kWh e a segunda 1,44 kWh, isto é uma diferença de 70% na utilização da energia elétrica, em salas iguais e com regime/condições de funcionamento praticamente iguais também. O resultado indica um caminho de trabalho para melhoria da eficiência no prédio.

Baseado no explorado até aqui, a literatura trata eficiência energética e conforto térmico de forma distinta, realizando abordagens em apenas uma das áreas. Nos casos em que se realiza abordagens que buscam a promoção de conforto e eficiência, não se mensura, nem de forma aproximada o índice de conforto, seja pelo método do PMV ou outra métrica. Portanto, um trabalho que busque integrar a questão de conforto térmico, analisando o parâmetro via técnicas de PMV, com eficiência no consumo de energia elétrica em ambientes acadêmicos pode ser interessante. Além disso, conforme a literatura, a tecnologia de IoT tem como vantagem a criação de banco de dados de forma inteligente, realizando medições em tempo real, integrando sistemas e sensores, construindo assim, uma possibilidade para desenvolvimento de tecnologias complementares e trabalhos, nos quais busca-se atingir a questão de integração de conforto térmico com eficiência energética.

## 1.1. OBJETIVOS

Como o objetivo deste trabalho, tem-se a construção de uma análise e proposição de melhorias da eficiência energética do ambiente construído tendo em mente a manutenção do conforto térmico em espaços de uso acadêmico. A metodologia tem como princípio a utilização de dispositivos de medição baseados em IoT e um ambiente de testes com uso real, que é uma sala de aula do bloco PK, do Departamento de Engenharia Elétrica (DELT) da Universidade Federal do Paraná. Para atingimento deste objetivo, definiu-se os objetivos específicos descritos abaixo:

1. Desenvolver equipamento de aquisição de dados baseado em técnicas de IoT, para medição de temperatura, umidade relativa e luminosidade interna, com baixo custo e de fácil transmissão de informação para banco de dados;
2. Realizar medidas das condições internas do prédio, para verificar dados e fenômenos de consumo de energia elétrica, bem como variáveis que afetam o conforto térmico do ambiente;
3. Desenvolver análise comparativa dos fenômenos de consumo de energia elétrica constatados, buscando identificar correlações e diferenças;
4. Verificar o índice de conforto no ambiente analisado, utilizando as técnicas de PMV;
5. Formular propostas de ações que impactariam na melhora da promoção de conforto e eficiência no consumo da energia elétrica na sala.

## 1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA E CONTRIBUIÇÃO

O presente estudo foi desenvolvido por meio de medições realizadas na sala PK8 do Bloco PK do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná (DELT), localizado no Centro Politécnico UFPR no bairro Jardim das Américas da Cidade de Curitiba. Essas medidas foram realizadas nos meses de Abril a Novembro de 2022, buscando registrar fenômenos que impactassem na questão do conforto/eficiência. Esse extenso tempo no período de amostragem das condições ambientais (temperatura, umidade relativa e luminosidade interna) aconteceu em virtude da necessidade de monitorarmos períodos dentro de todas as sazonalidades das estações do tempo. Em linhas gerais, períodos em que as temperaturas externas estão muito quentes e/ou muito frias, com o objetivo de tornar a análise mais completa

dentro de suas conclusões. Além disso, com este tempo total de observação, foi possível realizar medições com a utilização da sala nas mais variadas condições de lotação, contribuindo para verificação de mais este fator nas medidas e conseqüentemente no conforto e eficiência do ambiente.

A contribuição deste estudo em comparação aos demais trabalhos relacionados e disponíveis na literatura quanto o tema, se dá por meio da utilização de múltiplos módulos de medição utilizados dentro do mesmo recinto, com o objetivo de verificar diferenças dentro do próprio ambiente. Além disto, este estudo desenvolve contribuições que podem ser utilizadas como base de informação para estudos de conforto em edificações na cidade de Curitiba.

Finalmente, as hipóteses descritas neste trabalho podem ser utilizadas em futuros trabalhos que busquem correlacionar os fenômenos ambientais que impactam na questão do conforto térmico e eficiência energética em salas da Universidade Federal do Paraná.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Os capítulos que compõem esta dissertação estão divididos de acordo com o apresentado abaixo.

**Capítulo 2: Método para construção das medidas e conceitos base para análise.** Contém a apresentação do módulo de aquisição de dados (MDAD) desenvolvido para realização das medições e conceitos fundamentais dentro da literatura que são utilizados como base para o desenvolvimento de toda a dissertação, como a descrição e explicação da concepção quanto ao conforto térmico, informações sobre o funcionamento de equipamentos de condicionamento de ar, escolha e descrição da sala selecionada para análise.

**Capítulo 3: Metodologia.** Contém a descrição da metodologia utilizada dentro da construção da base de dados das medidas realizadas, da definição das variáveis para cálculo dos valores e métrica de conforto térmico utilizado e método de análise das medidas aplicado.

**Capítulo 4: Análise das medições realizadas.** Desenvolve toda a análise das medidas realizadas, apresentando seus resultados e promovendo discussões quanto as observações possíveis após as análises das medidas.

**Capítulo 5: Análise sistêmica para integração de conforto térmico e eficiência energética no ambiente construído.** Neste, são realizadas as descrições das hipóteses que relacionam conforto térmico e eficiência energética. Essas hipóteses têm como foco a promoção de conforto e eficiência no ambiente, fundamentadas nos fenômenos observados por meio das análises dos dados.

**Capítulo 6: Conclusões:** Capítulo que descreve as conclusões atingidas com base nos resultados deste trabalho, contendo também uma indicação de trabalhos futuros relacionados com este documento.

## **2. MÉTODO PARA CONSTRUÇÃO DAS MEDIDAS E CONCEITOS BASE PARA ANÁLISE**

### **2.1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo, está descrita o método utilizado para construção das medidas, indicando os aspectos construtivos do MDAD desenvolvido para realização do monitoramento dos dados ambientais. Em seguida serão apresentados os critérios e descrição da sala selecionada para realização das medidas, sendo explorado após, conceitos relacionados ao conforto térmico, o que é um dos objetivos centrais do trabalho. Em seguida, estão descritas informações técnicas sobre o funcionamento de sistemas de condicionamento de ar (SDCA), as quais foram necessárias para uma análise mais abrangente das medidas, especificações do SDCA instalado na sala selecionada. Por fim, é apresentada a estação meteorológica que irá fornecer dados de condições ambientais externas, úteis nas análises de fenômenos de utilização de energia elétrica no recinto.

### **2.2. CONCEPÇÃO DO MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE DADOS UTILIZADO**

Para a construção da base de dados necessária para as análises, precisaríamos ser capazes de medir temperatura, umidade relativa e luminosidade. Além disso, os dados coletados devem ficar disponíveis e acessíveis de forma organizada em um banco de dados. Esse dispositivo deveria exigir o mínimo de intervenções para coleta das medidas, ser o menor possível para facilitar a instalação e ter o menor custo possível. Com base nesses requisitos, o MDAD utilizado neste trabalho foi desenvolvido, sendo necessário uma pesquisa preliminar para definição das tecnologias que seriam utilizadas. Em seguida, foi passado para a etapa de prototipagem e testes preliminares, o que evidenciou a necessidade de calibrações e ajustes acerca da filtragem das medidas. Por fim, foi realizado a programação para comunicação do MDAD por meio da internet com o servidor que hospeda o banco de dados, montagem e solda do conjunto, resultando então no conceito final do módulo.

### 2.2.1. VERIFICAÇÃO TÉCNOLOGIAS EXISTENTES NO MERCADO

Para desenvolvimento do MDAD respeitando os requisitos definidos no item 2.2, buscou-se entender quais as tecnologias de microcontroladores e módulos Wi-Fi estão disponíveis no mercado. A TABELA 2.1 relaciona algumas das tecnologias encontradas.

TABELA 2.1 – Tecnologias de microcontroladores disponíveis no mercado

Modelo	Bits	Tipo de Tecnologia	Dimensões	Preço	Data da pesquisa
QCA4020	32	SoC	28x33x1mm	\$5,60	28/09/2021
ESP32-WROOM-32D	32	Kit	27,5x51x7 mm	R\$79,40	01/10/2021
nRF9160 DK	32	Kit	N/E (Peso 154g)	\$155,00	29/09/2021
nRF9160 SiP	32	SiP	10x16x1mm	\$23,29	28/09/2021
Pi 3 Model B+	64	Kit	56x85xNmm	R\$489,90	01/10/2021
ESP32-U4WDH	32	SoC	5x5xNmm	\$1,60	28/09/2021
SAM R34/R35	32	SiP	6x6xNmm	\$5,32	01/10/2021
CC2511Fx	8	SoC	6.1x6.1x1mm	\$4,00	29/09/2021
DA16200	32	SoC	6x6x0.4mm	\$6,12	28/09/2021

Fonte: Do autor (2021).

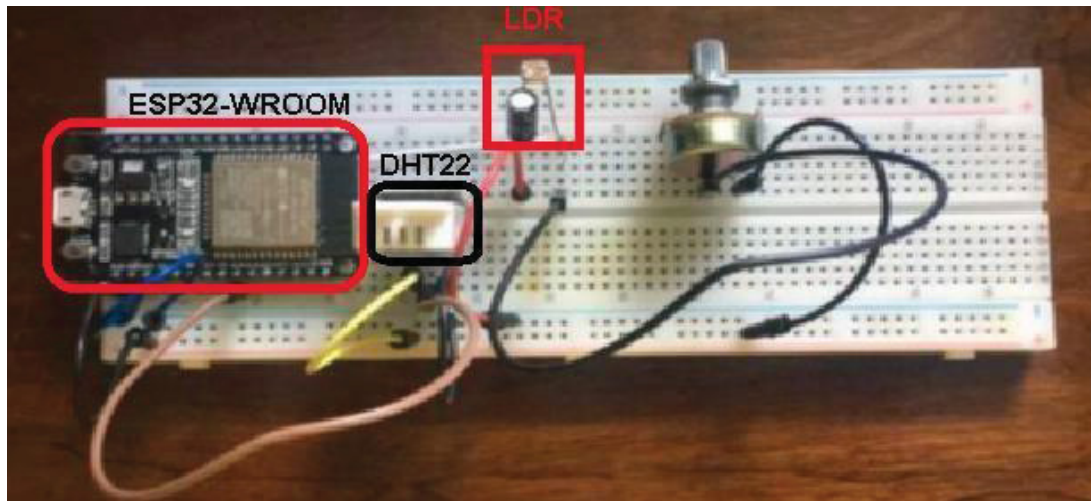
Dentre as tecnologias encontradas na pesquisa, destacaram-se os *system on chip* (SOC), *system in package* (SiP) e kits de desenvolvimento. As tecnologias SOC e SiP apresentavam grande vantagem na questão de tamanho e custo. Porém, na maioria dos casos não contavam com um sistema de comunicação IEEE 802.11, tornando o processo de desenvolvimento de certa forma mais trabalhoso. Já os kits, embora tivessem tamanho relativamente maior comparado as outras tecnologias, contavam com a comunicação IEEE 802.11 já integrada. Este fato torna o desenvolvimento de uma solução de IoT mais rápida, com um valor consideravelmente maior, mas ao comparar a questão de praticidade e velocidade de desenvolvimento, com a questão do custo, torna-se mais vantajoso sua utilização.

## 2.2.2. DEFINIÇÃO DAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS E PROTOTIPAGEM

Com base na pesquisa realizada no item 2.2.1, pela questão preço, tamanho e tecnologia integrada, selecionou-se o kit ESP32-WROOM-32D, para o projeto (CURTO-CIRCUITO,2021). Isto se justifica pela questão se tratar de um kit, com a tecnologia relativamente compacta pela quantidade de aplicações que podem ser possíveis. Embora o valor consideravelmente mais alto do kit em questão, se comparado a sistemas SOC ou SIP, ele apresenta a vantagem de já embarcar um módulo Wi-Fi, o que além facilitar o desenvolvimento na parte do *hardware*, contribui para um tempo de desenvolvimento menor, fazendo desta forma que a questão de custo seja compensada por esta vantagem.

Na escolha dos sensores, foi adotado o DHT22, responsável pelas medidas de temperatura e umidade relativa (CURTO-CIRCUITO,2021). A escolha pelo DHT22 foi realizada em função do sensor ser utilizado em aplicações similares desenvolvido por Macheso *et al.*(2021) e Umarov *et al.*(2020), com bons resultados descritos pelos autores. Para medição de luminosidade foi selecionado o *light dependent resistor* (LDR), que é um dispositivo construído com material semicondutor, que altera sua impedância com a incidência de radiação luminosa (SEABRA;ALBUQUERQUE,2012). A escolha do LDR aconteceu por ele se tratar de um sensor muito barato e largamente utilizado, a exemplo do DHT22, se encontra em muitos projetos, existindo bastante conhecimento para a aplicação do dispositivo neste projeto (CURTO-CIRCUITO,2021). Com essas definições, o sistema foi montado em protoboard de acordo com a FIGURA 2.1 para desenvolvimento do *software* e teste do seu funcionamento, onde estão indicados o kit do ESP32, o DHT22 e o LDR, além de um potenciômetro para regulação da queda de tensão no LDR e dois capacitores de entrada em ambos os sensores.

FIGURA 2.1 – Protótipo do MDAD montado em protoboard



Fonte: Do Autor (2023).

De acordo com o mostrado na figura, a alimentação do módulo acontece por meio da entrada USB existente no próprio kit, a qual é aproveitada para funcionamento dos sensores.

### 2.2.3. CALIBRAÇÕES E AJUSTES

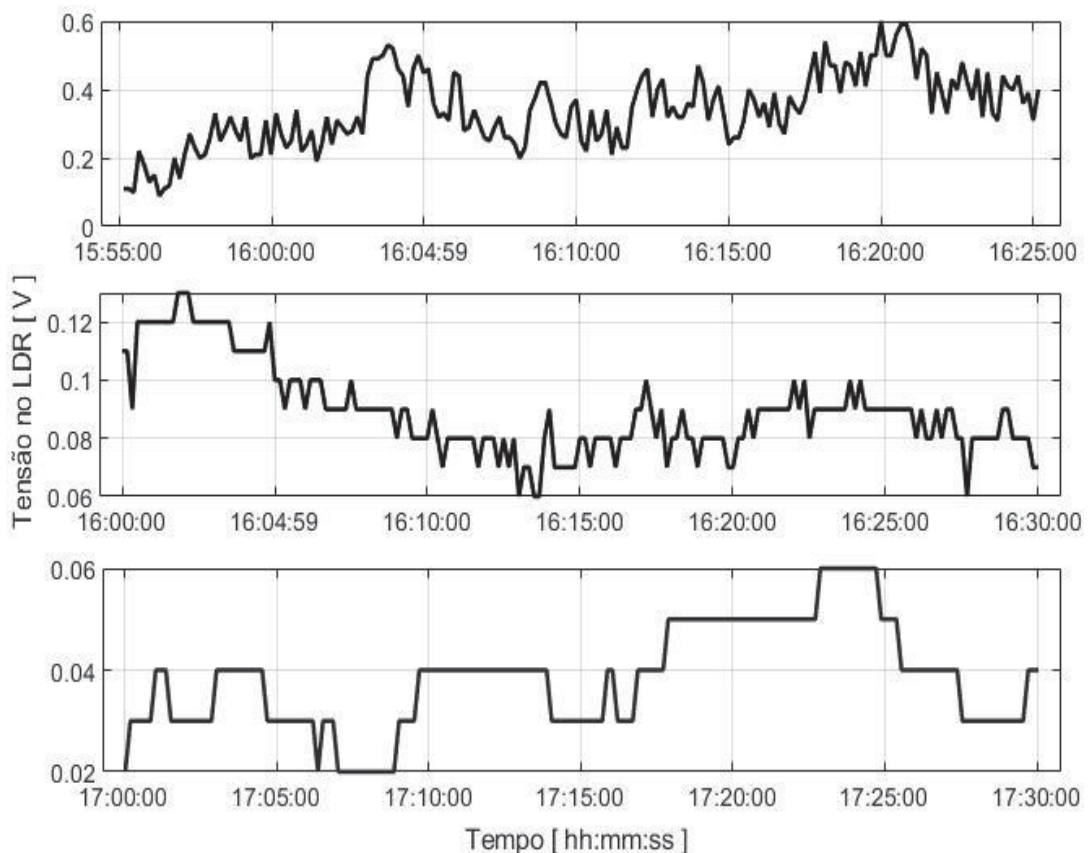
De acordo com Liu (2013), o DHT22 é um sensor já calibrado de fábrica, que basta alimentar e incluir o pino de dados na entrada de um microcontrolador e o sensor já realizará as medidas de temperatura e umidade relativa. No que diz respeito ao LDR, é necessário realizar um procedimento de calibração devido ao seu comportamento não linear. Para tal, se pode traçar um gráfico entre a grandeza física que sensibiliza o dispositivo e a respectiva saída (AGUIRRE,2013). Porém, a questão da luminosidade neste trabalho não é um medida qualitativa, mas sim quantitativa. Isto exclui a necessidade de uma calibração mais ajustada, uma vez que o objetivo é constatar a ausência ou a presença da iluminação artificial no ambiente. Sendo realizado, por meio do sistema de iluminação da sala, verificado pelas medidas realizadas pelo LDR, que posteriormente irão fornecer dados quanto ao tempo de ocupação e utilização da sala.

Com os sensores devidamente alimentados e feito a calibração necessária, iniciou-se o desenvolvimento dos teste de funcionamento, com os quais notou-se a

presença de ruído nas medidas. Para resolução do problema, foi aplicado um filtro digital de média móvel. De acordo com Nalon (2009), esses filtros são frequentemente utilizados no processamento de sinais digitais, por conta da facilidade na implementação, além do bom desempenho apresentado na eliminação do ruído.

Além da implementação do filtro digital, utilizou-se também um filtro passa baixa capacitivo de primeira ordem, projetado com frequência de corte de 1kHz na entrada do LDR, uma vez que o DHT22 já contava com este tipo de filtro integrado. Com esses ajustes no *hardware* e *software* verificou-se por meio de testes a melhora da questão do ruído na medida, conforme mostrado na FIGURA 2.2, onde o primeiro gráfico apresenta a tensão sobre o LDR sem tratamento de medida, o segundo é a medida com o filtro passa baixa capacitivo aplicado, e por fim, o terceiro é resultado do filtro passa baixo capacitivo e filtro de média móvel. Esses três testes foram realizados em momentos diferentes, com o objetivo de ilustrar as diferenças nas medidas com a aplicação dos filtros.

FIGURA 2.2 – Comparação entre as medidas do LDR



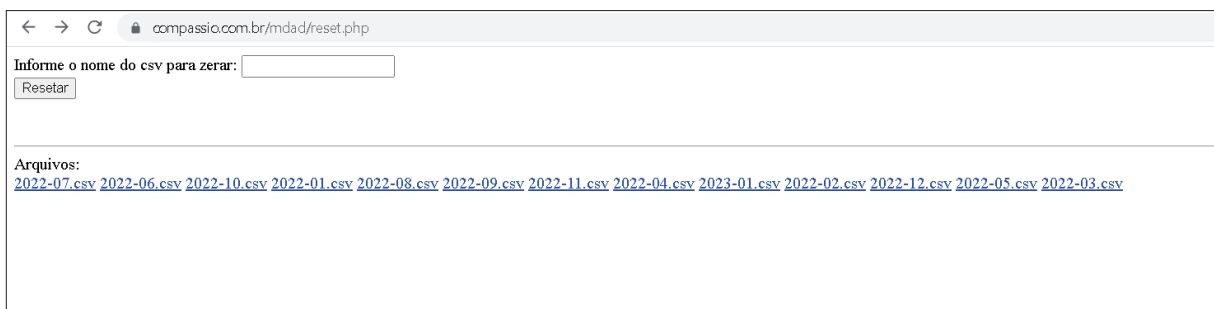
Fonte: Do Autor (2022).

Após a aplicação dos filtros, desenvolveu-se teste de robustez do sistema, onde foi incluso uma rotina de programação que realizava a reconexão automática do módulo a internet caso a houvesse queda na conexão, melhorando a autonomia do módulo durante o desenvolvimento das medidas.

#### 2.2.4. COMUNICAÇÃO COM O BANCO DE DADOS

O envio e armazenamento das medidas realizadas pelos sensores do sistema foi realizado via *web*, conectando o dispositivo em uma rede Wi-Fi local criada exclusivamente para o projeto. Por meio da internet, foi realizada a publicação das medidas em um domínio de um servidor MQTT. Onde, antes de publicar a mensagem, se realiza uma autenticação com uma por meio de uma chave de autenticação (*authentication key* do inglês). Isto possibilita que apenas dispositivos validados realizem a publicação (*publish* do inglês) dos dados em um arquivo .csv, que pode ser baixado via uma página *web* criada. A FIGURA 2.3 apresenta a página *web* criada para *download* do arquivo das medidas, os quais são separados por mês, gerando um novo a cada mês.

FIGURA 2.3 – Página *web* para *download* do banco de dados das medidas



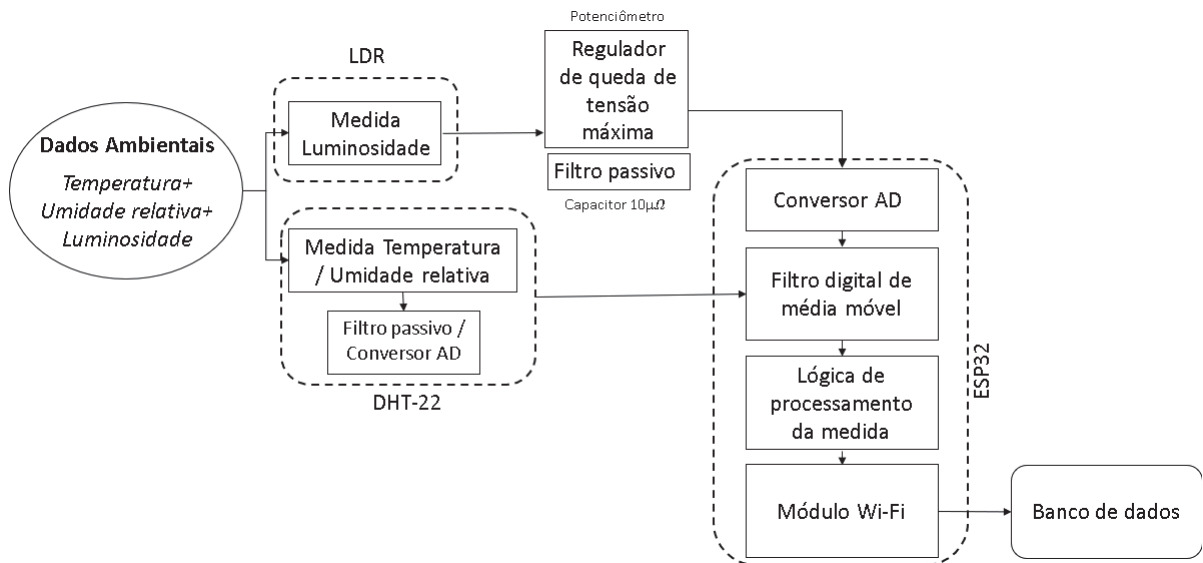
Fonte: Do Autor (2023).

Nesta página, foi criada a opção de *reset*, caso fosse desejado zerar as medidas realizadas em um determinado arquivo. Já os arquivos das medidas realizadas, estão apresentados nos hiperlinks da FIGURA 2.3, separadas pelo ano e mês que foi gerada. O apêndice 1 apresenta o código para criação dos arquivos .csv e a criação da página *web* para acesso aos dados medidos.

### 2.2.5. CONCEPÇÃO FINAL DO SISTEMA

Com a aplicação dos filtros e validação da robustez do sistema, o conceito do projeto desenvolvido estava formado. A FIGURA 2.4, apresenta o diagrama de blocos que representa o MDAD construído para realizar as medições deste trabalho.

FIGURA 2.4 – Diagrama de blocos do sistema desenvolvido

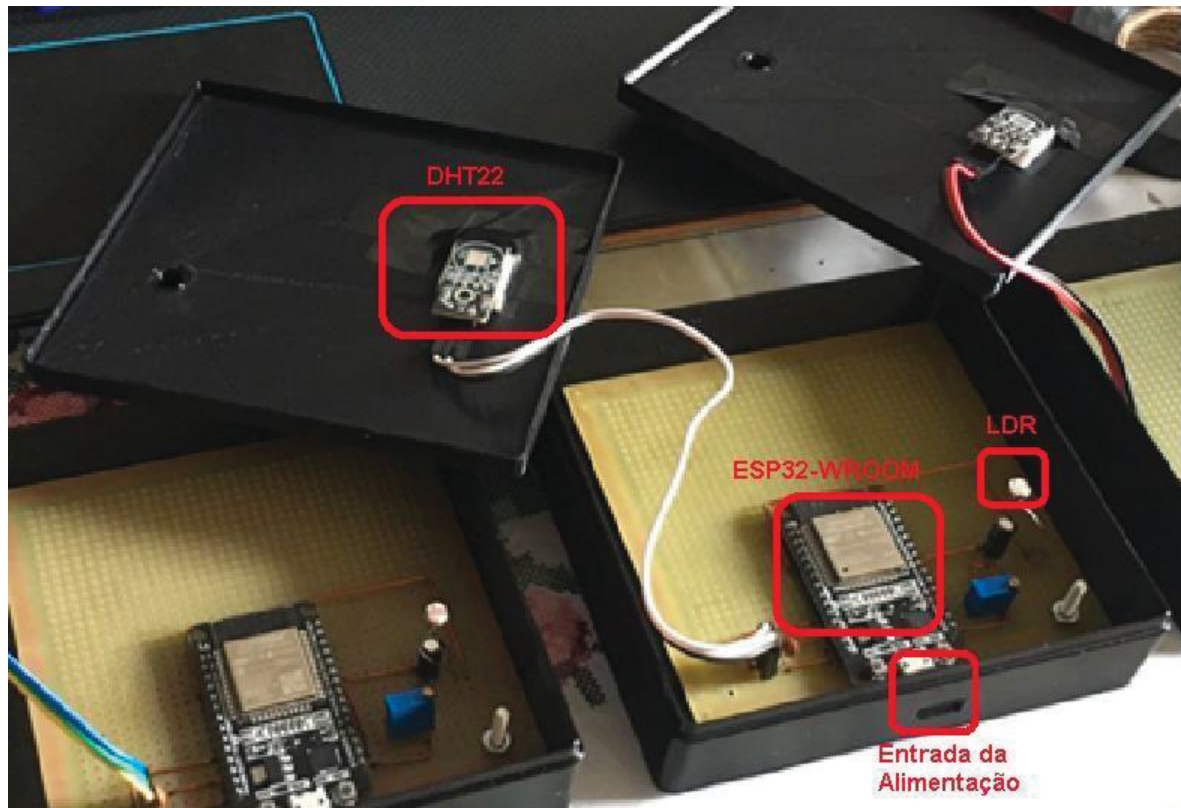


Fonte: Do Autor (2022).

Conforme mostra a FIGURA 2.4, os dados ambientais monitorados são: Temperatura, Umidade Relativa e Luminosidade. O LDR realiza as medidas de luminosidade e o DHT-22 monitora Temperatura e Umidade relativa. Ambas as medidas passam por filtros passivos e são convertidas do formato analógico para digital por conversores A/D. Os dados das medidas, agora digitalizadas, são filtradas por um filtro digital de média móvel, e posteriormente entregues para a lógica de processamento, que as processa enviando o resultado via módulo Wi-Fi para o banco de dados hospedado pelo servidor.

A montagem dos componentes do módulo, foi realizado em uma placa universal, com o objetivo de agilizar o desenvolvimento dos módulos e iniciar imediatamente as medições. Para envoltória do sistema, desenvolveu-se um invólucro personalizado, onde o DHT22 foi posicionado na tampa da case, contando com uma abertura de passagem para o LDR realizar das medidas. A FIGURA 2.5, apresenta o MDAD montado, pronto para instalação e início de aquisição das medidas.

FIGURA 2.5 – Design final do sistema desenvolvido



Fonte: Do Autor (2022).

Por fim, o sistema então é alimentado por uma fonte de 5 V, 2,4 A, 12,5 W, via cabo USB, realizando uma medida de temperatura do ar interna (TAI), umidade relativa interna (URI) e luminosidade por minuto e enviando a medida ao banco de dados, com registro de data e hora de cada medição.

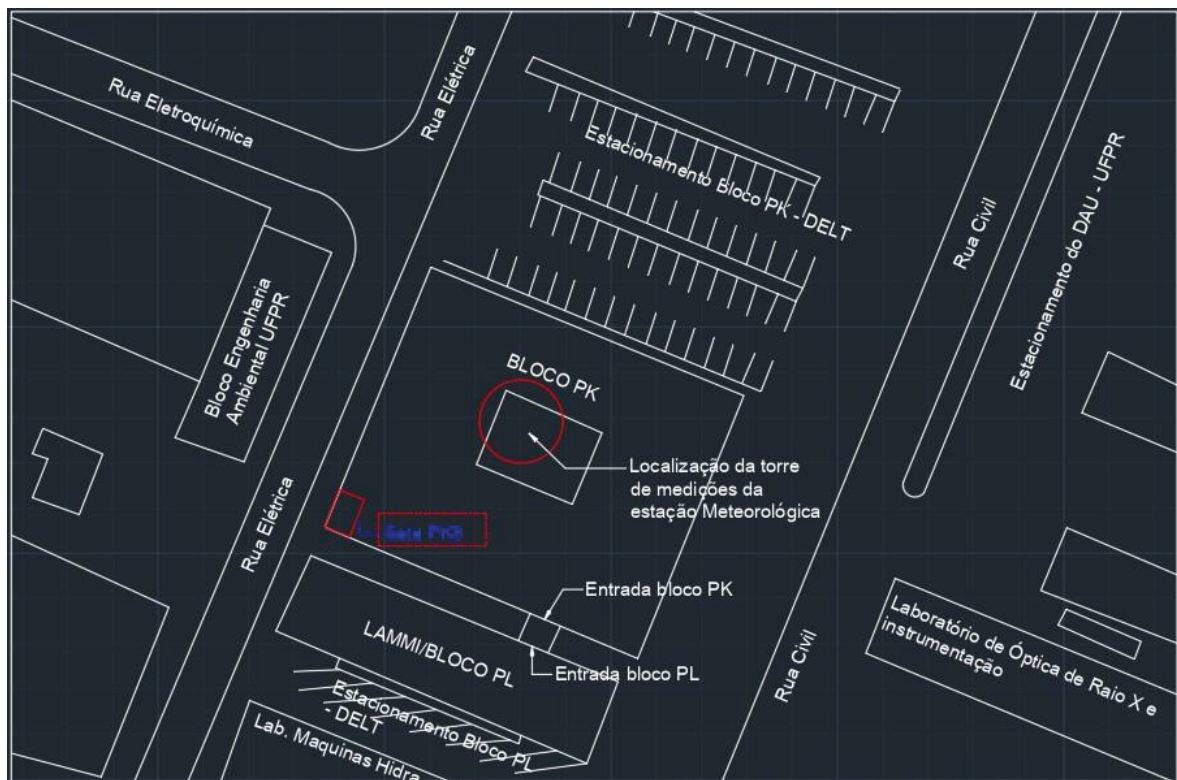
### 2.3. CRITÉRIOS PARA ESCOLHA E DESCRIÇÃO DA SALA

Para desenvolvimento do trabalho, selecionou-se para estudo de caso uma sala, que além de contar com um SDCA, tivesse uma utilização frequente de estudantes e funcionários, para que fatores de lotação fossem considerados nas análises deste trabalho. Além disso, o MDAD não conta com instrumentação capaz de verificar a lotação de pessoas no ambiente, o que poderia ser feito por um sistema de monitoramento de imagens, por exemplo. Portanto, de forma complementar, outro requisito para sala selecionada foi contar com um sistema de monitoramento de imagem (SDMI), para realizar confirmações quando necessário.

Baseado nessas premissas, a sala PK8 é um laboratório de eletrônica, local onde aulas são realizadas e em outros momentos fica disponível para os alunos desenvolverem experimentos, o que implica em vários momentos com lotações distintas no recinto. Por se tratar de um laboratório, a sala conta com um SDMI, um SDCA e uma equipe de 3 técnicos, completando assim os requisitos definidos, fator decisivo para escolha da PK8 como ambiente de nosso estudo.

A sala PK8 está localizada na coordenada geográfica  $25^{\circ}27'04.8''S$   $49^{\circ}14'02.8''W$ , no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, dentro do Departamento de Engenharia Elétrica, no bloco PK, estabelecido em frente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, com passagem da Rua Civil e tendo a outra fachada virada para a Rua Elétrica, no Bairro Jardim das Américas, com o CEP 82590-300 na capital do estado do Paraná, Curitiba. Dentro do bloco PK, a sala está situada ao final do corredor da esquerda da entrada principal do prédio. A FIGURA 2.6, faz uma representação da localização geográfica do prédio, indicando também o posicionamento da sala.

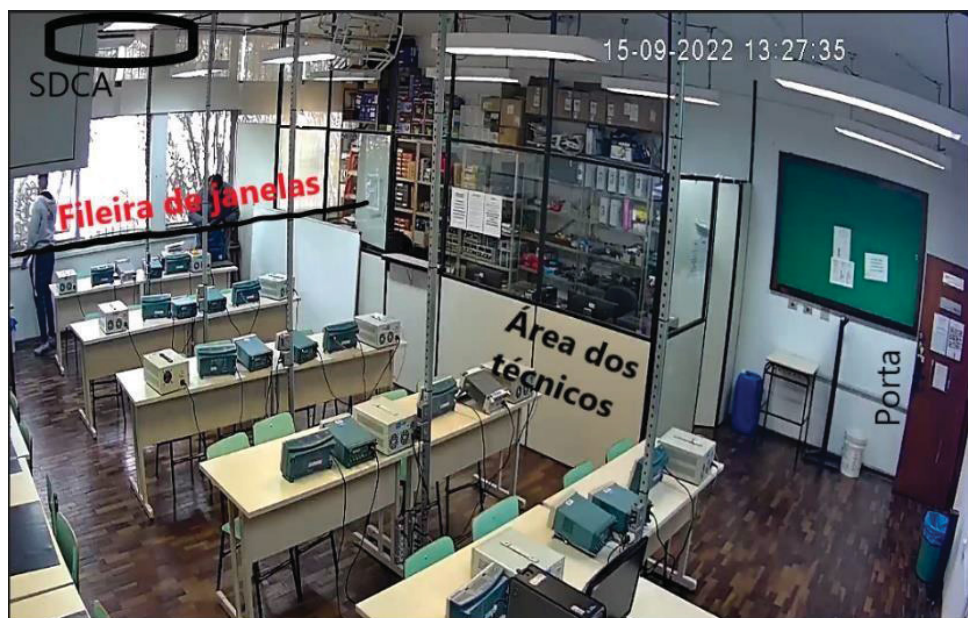
FIGURA 2.6 – Desenho orientativo da localização do Bloco PK e da sala PK8



Fonte: Do Autor (2023).

A sala PK8, é disposta em dois recintos. Um deles é uma repartição utilizada para armazenamento de equipamentos e materiais, onde também é a área de permanência da equipe de técnicos do laboratório, a outra é a área comum de uso dos alunos, onde ficam permanentemente equipamentos de medição que compõem o laboratório. A sala conta com apenas uma porta acesso ao recinto, e uma fileira de janelas apenas ao fundo da sala, viradas para a Rua Elétrica, com o SDCA instalado na área de permanência dos alunos, logo a frente da fileira de janelas. A FIGURA 2.7, representa a disposição da sala descrita, capturada pelo SDMI da sala, fornecendo direção da localização do SDMI na sala também.

FIGURA 2.7 – Imagem da sala PK8



Fonte: Do Autor (2023).

## 2.4. CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é a “condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliada subjetivamente.” (ASHRAE, 2010, p.3). Por conta da subjetividade da avaliação da condição de conforto, a ISO 7730 (1994) considera o atingimento de forma geral do parâmetro de conforto em níveis que há pelo menos 90% das pessoas satisfeitas com a condição térmica em análise. Nota-se a subjetividade deste parâmetro, uma vez que preferências pessoais são consideradas,

tornando então o atingimento de conforto térmico suscetível a populações e condições específicas fruto de regionalidades.

Um método clássico para verificar o conforto térmico em ambientes foi o proposto por Fanger (1972) por meio do *Predicted Mean Vote* (PMV). O PMV é calculado pela Equação 2.5. Nesta equação, as variáveis são: M = Taxa metabólica, em W/m<sup>2</sup>, W = Trabalho mecânico, em W/m<sup>2</sup>, sendo nulo para a maioria das atividades, f<sub>cl</sub> = Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nú, t<sub>a</sub>= Temperatura do ar, em °C, t<sub>r</sub>= Temperatura radiante média, em °C, P<sub>a</sub> = Pressão parcial do vapor de água, em Pa, h<sub>c</sub> = Coeficiente de transferência de calor por convecção, em W/m<sup>2</sup>.°C, t<sub>cl</sub> = Temperatura superficial das roupas, em °C.

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028) \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99(M - w) - P_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - P_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad (2.5)$$

De forma complementar ao PMV, Fanger propôs o cálculo do *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD), que é um índice que estabelece a quantidade de pessoas insatisfeitas no quesito térmico com o ambiente. Este índice se baseia na TABELA 2.2, pontuando sua insatisfação de acordo com a escala, onde +3 ou +2 se refere a um grande desconforto relacionado com sentir muito calor e -3 ou -2 relacionado com sentir muito frio no ambiente (LAMBERTS,2011).

TABELA 2.2 - Escala sétima de sensações

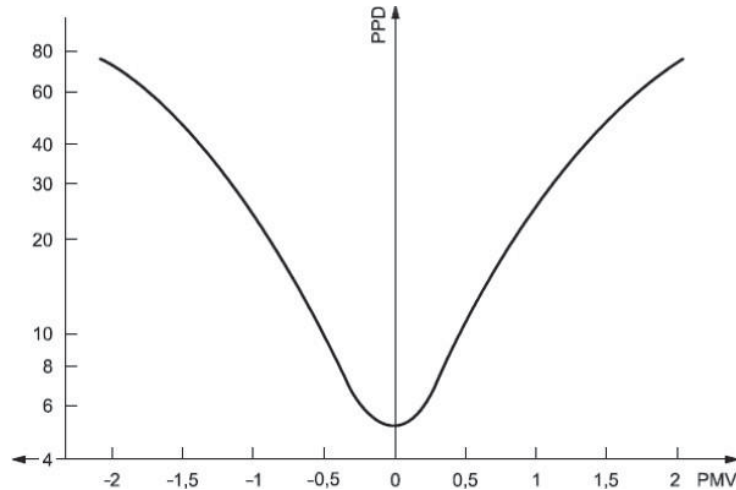
PMV	Sensação Térmica	PPD
-3	Muito Frio	99,1%
-2	Frio	76,4%
-1	Leve sensação de frio	26,8%
0	Neutralidade Térmica	5,00%
+1	Leve sensação de calor	26,4%
+2	Calor	75,7%
+3	Muito Calor	99,1%

Fonte: Adaptado de Fanger (1972).

Do ponto de vista matemático, a Equação 2.6 e a FIGURA 2.8 contém a relação matemática entre PMV e PPD.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-[0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2]} \quad (2.6)$$

FIGURA 2.8 - Valor do PPD em função do PMV



Fonte: Lamberts (2011).

Este mecanismo de avaliação de conforto térmico proposto por Fanger, serviu de base para o desenvolvimento da ISO 7730, onde, se estabelece na versão de 1994 que para o atingimento de conforto o PMV deve seguir a relação de  $-0,5 \leq PMV \leq +0,5$ .

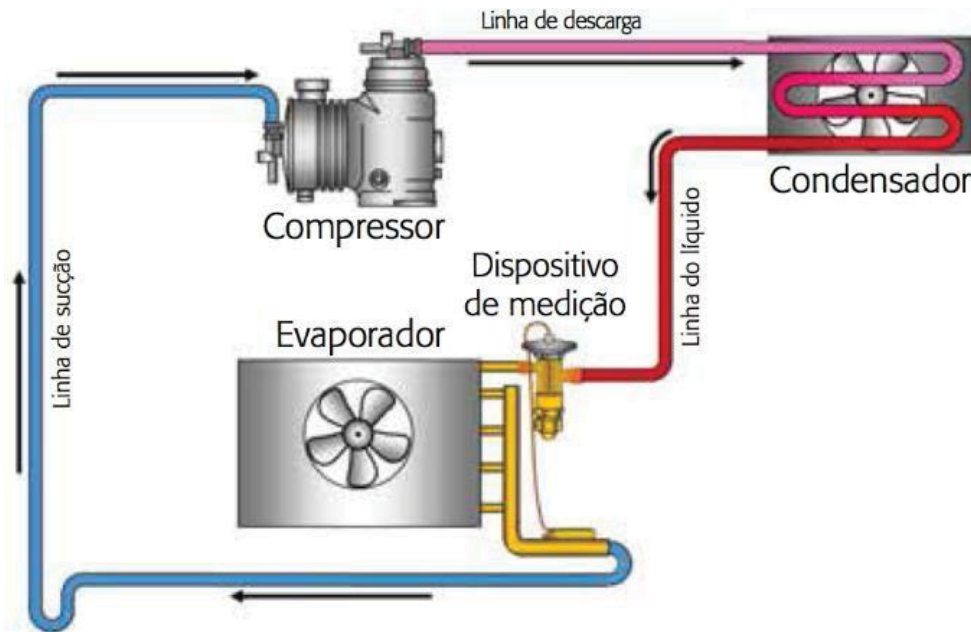
Ainda, como forma de avaliação dos resultados analíticos obtidos por meio dos índices propostos por Fanger, Batiz *et. al* (2009) concluiu uma coincidência de 90,9% entre o PMV calculado de acordo com este método em comparação com uma avaliação subjetiva desenvolvida via questionário com ocupantes do recinto analisado, concluindo então a eficiência do método de avaliação de conforto proposto por Fanger.

## 2.5. INFORMAÇÕES TÉCNICAS QUANTO AO FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

De acordo com Miller e Miller (2014) um SDCA é um eletrodoméstico que tem o papel de resfriar, aquecer, desumidificar, filtrar e fazer com que circule o ar dentro de ambientes. Este equipamento é composto basicamente por quatro elementos: evaporador, condensador, compressor e dispositivo de medição, que pode ser uma válvula de expansão ou um tubo capilar (Wirz, 2012). A FIGURA 2.9 ilustra o conjunto

de componentes descrito anteriormente, apresentando como estão conectados e interagem cada um dos componentes citados.

FIGURA 2.9 - Ilustração do conjunto de componentes de um SDCA



Fonte: Wirz (2012) *apud*. Refrigeration training service (2011).

Com base na FIGURA 2.9, o funcionamento de um SDCA de acordo com Fonseca, Silva e Pereira 2015 *apud* Brain 2006, acontece com base na troca de calor por conta da evaporação de um fluido refrigerante. Mais especificadamente, o compressor serve para comprimir o gás, aumentando a pressão sobre ele, fazendo então que ele adquira temperatura, em seguida este gás é empurrado para um trocador, para justamente perder calor e condensar, processo que ocorre justamente no componente denominado condensador. De lá esse líquido escoar por meio do dispositivo de medição chegando no evaporador, tornando-se gasoso e muito frio, sendo assim ele irá para passar por uma serpentina retirando calor do ar do ambiente, devolvendo a ele um ar mais frio, consequentemente refrigerando o recinto. Neste processo de acordo com Fortes, Jardim e Fernandes (2015), ao passar o ar ambiente do recinto através da serpentina do evaporador a água presente no ar condensa ao longo da serpentina, o que gera o condensado expelido por meio do dreno, para fora do equipamento tornando, portanto, o ar menos úmido, baixando por consequência a umidade relativa do ar agora refrigerado. Este processo acontece tanto no ciclo de refrigeração quanto no aquecimento do ar do ambiente em que o dispositivo se

encontra. Para cálculo de consumo de um SDCA de acordo com Filho (2007), pode-se aplicar um cálculo simples, uma vez que o Joule, unidade que expressa energia pode ser deduzida como 1 Joule por segundo, dando origem ao Watt, ou seja, a energia por uma unidade de tempo. Assim a Equação 2.6, relaciona o consumo de energia elétrica, com o tempo de consumo e valor dessa potência,

$$E_{cons} = P_{nom} \cdot \Delta T \quad (2.6)$$

Nesta equação, a energia elétrica consumida  $E_{cons}$ , é igual ao produto da potência nominal do SDCA  $P_{nom}$  multiplicado pela diferença de tempo que o sistema ficou ligado. No entanto, conforme apresentado por Pinheiro e Cardozo (2019), quando o SDCA atinge a temperatura de *set point*, o sistema não consome a mesma potência, uma vez que o sistema fica um tempo desligado, voltando a ligar quando o sensor do equipamento detecta a mudança de temperatura, ficando aproximadamente dentro de 60 segundos, 30 desligado e 30 ligado, o que faz com que a energia consumida seja aproximadamente a metade da energia de consumo nominal, o que aplicado a Equação 2.6 resulta na Equação 2.7, onde agora considera-se a energia consumida durante a operação na temperatura programada, dividida por dois.

$$E_{cons} = (P_{nom} \cdot \Delta T_{rampa}) + \frac{(P_{nom} \cdot \Delta T_{set\ point})}{2} \quad (2.7)$$

Em linhas gerais então, para cálculo da energia elétrica consumida  $E_{cons}$  pelo SDCA, devemos considerar o produto da potência nominal  $P_{nom}$  pelo tempo de operação que a máquina leva a temperatura ambiente, até a temperatura de *set point* definindo assim  $\Delta T_{rampa}$ . A partir disto, deve-se somar o produto da  $E_{cons}$ , pelo tempo em que a máquina opera mantendo a temperatura de *set point*, o que define  $\Delta T_{set\ point}$ , isto dividido por um fator 2, uma vez que o sistema fica metade do tempo ligado e outra metade desligado, conforme comentado.

## 2.6. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS SDCA RHEEM RB1PT60HP2C

O modelo do SDCA da sala PK8 é o RB1PT60HP2C. De acordo com RHEEM Do Brasil (2012), as principais informações sobre as características dos equipamentos

está disposto pela combinação de letras do modelo do SDCA, onde as duas primeiras letras designam o nome do fabricante e país de origem, neste caso RHEEM do Brasil, o próximo número a família de produto, que neste caso é um ar condicionado mini split, em seguida as próximas duas letras se referem ao tipo de produto que neste caso é piso teso, os próximos dois números expressam a capacidade, que para o SDCA da sala em questão é de 60000 BTU/h, as próximas duas letras equivalem ao ciclo de operação do equipamento onde para este é frio e quente, o próximo número é relativo ao tipo de refrigerante utilizado, que é o R22, e pôr fim a última letra se refere a tensão, frequência e número de condutores carregados na entrada do equipamento. A FIGURA 2.10 apresenta o esquema de código para verificação de características dos SDCA.

FIGURA 2.10 - Descrição do esquema de código dos equipamentos RHEEM



Fonte: Catálogo RHEEM (2012).

Com as informações extraídas via código do modelo, foi possível verificar as informações técnicas de consumo como: tensão/frequência da alimentação de entrada, capacidade no modo de refrigeração, capacidade no modo de aquecimento, consumo de energia modo de refrigeração, consumo de energia modo de aquecimento, corrente de entrada modo de refrigeração e corrente de entrada modo de aquecimento. Os valores dos dados técnicos verificados para o modelo RB1PT60HP2C estão apresentados na TABELA 2.3.

TABELA 2.3 - Dados técnicos do SDCA RHEEM RB1PT60HP2C

	Especificação
<b>Alimentação Elétrica</b>	220V/60Hz/3~
<b>Potência Consumida Modo Refrigeração</b>	6800W
<b>Potência Consumida Modo Aquecimento</b>	6100W
<b>Corrente de Entrada Modo Refrigeração</b>	20,80A
<b>Corrente de Entrada Modo Aquecimento</b>	18,60A

Fonte: Adaptado de Catálogo RHEEM (2012).

## 2.7. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

As informações da estação meteorológica são importantes no sentido de comparação das condições registradas internamente pelo dispositivo descrito no item 2.2 com as condições externas, comparação essa, que pode servir como meio de confirmação de acionamentos do SDCA, ou qualquer outro fenômeno que ocorra na sala PK8, fundamentando as análises descritas no objetivo específico 2 do item 1.1. Portanto, a estação meteorológica da UFPR está localizada dentro do bloco PK do Departamento de Engenharia Elétrica (DELTA), sua torre de medição está instalada na parte do jardim interno do prédio, na localização descrita no item 2.5. A FIGURA 2.8, apresentada anteriormente, também está indicado o local da torre de medição da estação.

A estação meteorológica monitora com tempo de medição de 1s as medidas de Radiação UV, Temperatura do Ar Externa (TAE), Umidade Relativa Externa (URE), Velocidade do Vento, Direção do Vento e demais dados. O acesso aos dados é realizado por meio de uma página *web* no endereço <http://vega.eletrica.ufpr.br>, onde com um login e senha pode-se acessar os dados. A FIGURA 2.11 apresenta a página *web* para acesso dos dados registrados pela estação.

FIGURA 2.11 – Página de acesso aos dados da estação meteorológica

id	Name	Interval	Size	Updated	Public	Value	Unit	Edit	Delete	Config	View	Graph	Info	Download
548	Radiacao_LUV	1s	364MB	2s	🔒	206.6	WpM2	👁	🗑	⚙	📊	📈	ℹ	📄
549	TemperaturaAr	1s	364MB	2s	🔒	28.63	°C	👁	🗑	⚙	📊	📈	ℹ	📄
550	UmidadeAr	1s	364MB	2s	🔒	44.3	%	👁	🗑	⚙	📊	📈	ℹ	📄
551	VelocidadeVento	1s	364MB	2s	🔒	2.1	ms	👁	🗑	⚙	📊	📈	ℹ	📄
552	DirecaoVento	1s	364MB	2s	🔒	252.3	°	👁	🗑	⚙	📊	📈	ℹ	📄

Fonte: Do Autor (2023).

Nesta mesma página, conforme indicado na figura, pode-se realizar o download das medidas de cada variável monitorada, de forma separada, podendo ajustar o intervalo das medições de 1 segundo até 12 horas, como for desejado no *report*. Além disso, os relatórios são emitidos em um arquivo .csv, que pode ser aberto e analisado por meio do Microsoft Excel.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada para a construção dos resultados obtidos dentro deste trabalho, realizando explicação quanto ao método utilizado para a construção da base de dados medida. Na sequência, será relatado como foi estabelecido a métrica de conforto térmico adotada no presente trabalho e por fim apresentando o esquema lógico com suas entradas e saídas utilizado para a construção dos resultados do capítulo 4.

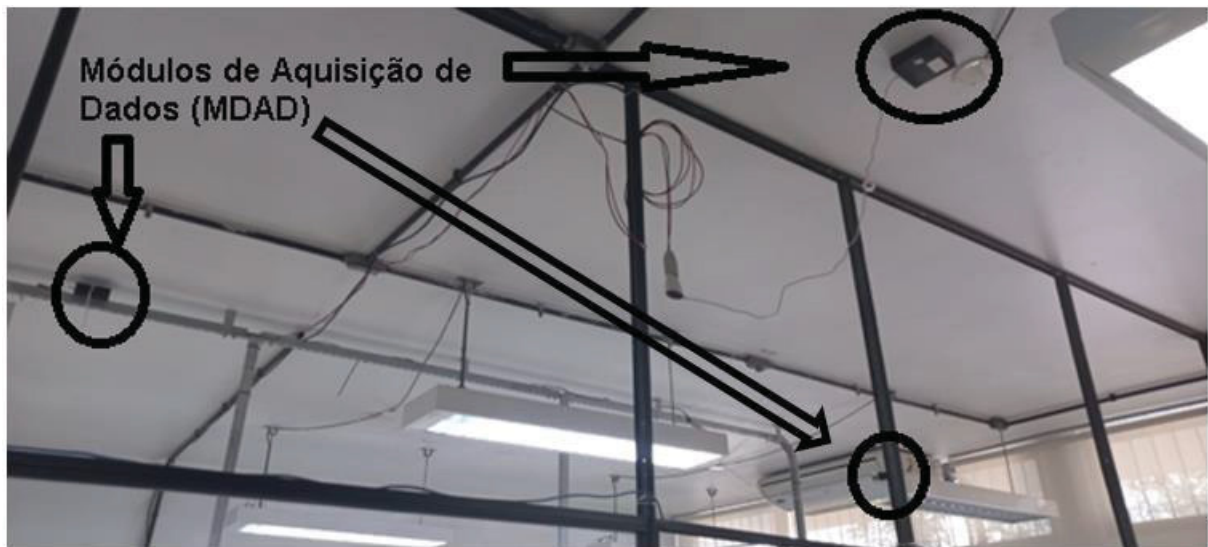
#### **3.2. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Aqui, serão tratados os pontos referentes às medidas realizadas, abordando a forma de como elas foram realizadas e tratadas para utilização dentro do trabalho. O MDAD realiza medidas de temperatura, umidade relativa e luminosidade. Para desenvolvimento deste trabalho, baseia-se principalmente nos dados de temperatura e umidade relativa. Desta forma, a luminosidade fica como uma medida de confirmação, que será melhor explorada nas análises do capítulo 4. Portanto, a seguir serão tratadas as verificações e processamento de dados realizados para as medidas de temperatura e umidade relativa.

##### **3.2.1. REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS**

O dispositivo utilizado para medição e construção do banco de dados ao longo do tempo total observado foi o desenvolvido e descrito no Capítulo 2, item 2.2. Foram instalados 3 módulos para medição, espaçados de cerca de 2,5 metros. Um dos dispositivos foi instalado na parte próxima ao quadro, outro próximo a janela, no fundo da sala e outro sobre a área de permanência dos técnicos do laboratório conforme apresentado na FIGURA 3.1.

FIGURA 3.1 - Detalhamento da instalação dos módulos de aquisição de dados



Fonte: Do autor (2022).

Esta estratégia foi adotada, com o objetivo de verificar possíveis diferenças nos dados ambientais nos três setores da sala, o que poderia ocasionar um desconforto térmico localizado nos ocupantes daquele determinado setor.

### 3.2.2. TRATAMENTO DAS MEDIDAS REALIZADAS

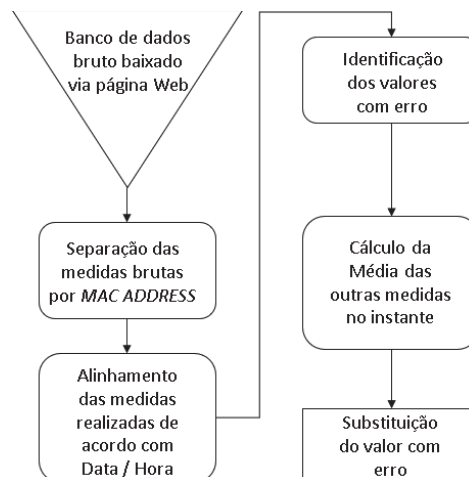
Para análise correta baseada nas medidas realizadas, foi necessário fazer um tratamento nos dados coletados, uma vez que haviam três módulos instalados no recinto. Ao realizar a medição das mesmas variáveis em diferentes partes da sala, notou-se que, em geral, haviam diferenças de no máximo 2°C na temperatura e 8 pontos percentuais na umidade relativa, entre os módulos. Desta forma, foi definido que seria considerado para análise uma média das medidas realizadas por cada módulo, apenas para a temperatura e umidade relativa. Para desenvolvimento desta média, foi necessário verificar a existência de dados para todos os módulos de acordo com cada data/hora. Nos próximos itens, serão descritos os tratamentos realizados.

#### 3.2.2.1. VERIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE CADA MÓDULO

A verificação das medidas realizadas serve para que não sejam considerados valores de erros que venham a interferir na média da medida, uma vez que isto pode acontecer em casos em que a conexão de internet estiver lenta ou houver algum

problema de conexão nos sensores dos módulos, por exemplo. Esta verificação e tratamento de dados foi realizada via Excel, manualmente, onde os dados foram planilhados de acordo com a data e hora de cada medida, separados pelo *MAC ADDRESS* de cada módulo conectado ao servidor que hospeda o banco de dados. Para os casos em que o Excel retornava um erro ou continha um valor fora do esperado, dando indícios de alguma inconsistência, foi realizada a substituição do valor inconsistente para uma média entre as medidas recebidas para os dois outros módulos. Então, de forma geral, os dados brutos foram baixados em um arquivo .csv, diferenciando os dispositivos pelo *MAC ADDRESS* e, em seguida, foram alinhadas as medidas de acordo com a data e hora realizada para melhor visualização dos erros e desenvolvimento das médias. Este processo lógico de tratamento de dados utilizado, está descrito na FIGURA 3.2 com o objetivo de melhorar o entendimento sobre o método realizado. Essa identificação de erros grosseiros, foi realizada também de forma manual, analisando caso a caso e realizando o processo para substituição do erro.

FIGURA 3.2 - Detalhamento do processo de tratamento dos dados realizado



Fonte: Do autor (2022).

### 3.2.2.2. DESENVOLVIMENTO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO

De acordo com Martins e Domingues (2017), a média aritmética pode ser utilizada largamente para várias aplicações, no entanto deve-se tomar cuidado já que ela é fortemente impactada por valores extremos das amostras, uma vez que todas as amostras afetam diretamente seu resultado. Já a média geométrica é um tipo de

média especial, ela deve ser utilizada quando os dados da série de amostras se aproxima a uma progressão geométrica nos seus valores ou em casos que os dados são de porcentagem sucessivas, onde um percentual incide sobre outro percentual nos valores das amostras. Da mesma forma, a média harmônica é outra média especial, que deve ser utilizada quando busca-se realizar a média de valores que apresentam relação inversamente proporcional, como velocidade por quilometro ou quilômetros por litro. Baseado nos tipos de médias e finalidades de cada uma, utilizou-se neste trabalho o conceito da média aritmética, uma vez que realizando a análise dos dados medidos, foi verificado que a série de dados não apresenta diferenças extremas entre as medidas.

Desta forma, foi possível organizar os dados agora tratados em uma tabela apresentada na FIGURA 3.3, onde o descrito no item 3.2.2.1 é apresentado, somado as informações das médias e outros dados que foram utilizados para o desenvolvimento dos gráficos das medidas. Para efeitos de comparação a FIGURA 3.4 apresenta os dados sem o tratamento do item 3.2.2.1, contendo a demonstração do que foi corrigido para utilização dos dados coletados.

FIGURA 3.3 - Tabela de dados tratados para desenvolvimento dos gráficos de análise

Data_Hora	A4:E5:7C:6D:FD:D0	A4:E5:7C:6D:F5:CC	CC:50:E3:AB:A9:04	Temperatura	Umidade	Ocup_Ints1	PMV	Desvio padrão			
11/10/2022 11:59	21	54	21	58	23	50	21.67	54.00	1	-0.7266	1.154700538
11/10/2022 12:00	21	54	21	58	23	50	21.67	54.00	1	-0.7266	1.154700538
11/10/2022 12:01	21	54	21	58	23	50	21.67	54.00	1	-0.7266	1.154700538
11/10/2022 12:02	21	54	21	57	23	50	21.67	53.67	1	-0.7288	1.154700538
11/10/2022 12:03	21	54	21	57	23	50	21.67	53.67	1	-0.7288	1.154700538
11/10/2022 12:04	21	54	21	57	23	50	21.67	53.67	1	-0.7288	1.154700538
11/10/2022 12:05	21	54	21	57	23	50	21.67	53.67	1	-0.7288	1.154700538
11/10/2022 12:06	21	54	21	57	23	50	21.67	53.67	1	-0.7288	1.154700538
11/10/2022 12:07	21	53	21	57	21	55	21.00	55.00	1	-0.9268	0
11/10/2022 12:08	21	53	21	57	21	55	21.00	55.00	1	-0.9268	0
11/10/2022 12:09	21	53	21	57	21	55	21.00	55.00	1	-0.9268	0
11/10/2022 12:10	21	53	21	57	21	55	21.00	55.00	1	-0.9268	0
11/10/2022 12:11	21	53	21	57	21	55	21.00	55.00	1	-0.9268	0
11/10/2022 12:12	21	53	21	57	21	55	21.00	55.00	1	-0.9268	0

Fonte: Do autor (2022).

FIGURA 3.4 - Tabela dos dados coletados sem tratamento

Data_Hora	A4:E5:7C:6D:FD:D0	A4:E5:7C:6D:F5:CC	CC:50:E3:AB:A9:04	Temperatura	Umidade %	Ocup_Ints1_2	PMV	Desvio padrão			
11/10/2022 11:59	21	56	21	58	23	50	21.6666667	54.67	1	-0.7266	1.15
11/10/2022 12:00	21	56	21	58	23	50	21.6666667	54.67	1	-0.7266	1.15
11/10/2022 12:01	21	56	21	58	23	50	21.6666667	54.67	1	-0.7266	1.15
11/10/2022 12:02	21	56	21	57	23	50	21.6666667	54.33	1	-0.7288	1.15
11/10/2022 12:03	21	56	21	57	23	50	21.6666667	54.33	1	-0.7288	1.15
11/10/2022 12:04	21	56	21	57	23	50	21.6666667	54.33	1	-0.7288	1.15
11/10/2022 12:05	21	56	21	57	23	50	21.67	54.33	1	-0.7288	1.15
11/10/2022 12:06	21	56	21	57	23	50	21.67	54.33	1	-0.7288	1.15
11/10/2022 12:07	21	56	21	57	-2.1E+07	-2.1E+07	-7158257	-7158224.3	1	-0.9268	12398501.19
11/10/2022 12:08	21	56	21	57	-2.1E+07	-2.1E+07	-7158257	-7158224.3	1	-0.9268	12398501.19
11/10/2022 12:09	21	56	21	57	-2.1E+07	-2.1E+07	-7158257	-7158224.7	1	-0.9268	12398501.19
11/10/2022 12:10	21	57	21	57	-2.1E+07	-2.1E+07	-7158257	-7158224.3	1	-0.9268	12398501.19
11/10/2022 12:11	21	57	21	57	-2.1E+07	-2.1E+07	-7158257	-7158224.3	1	-0.9268	12398501.19
11/10/2022 12:12	21	57	21	57	-2.1E+07	-2.1E+07	-7158257	-7158224.3	1	-0.9268	12398501.19

Inconsistências

Fonte: Do autor (2022).

Baseado nas FIGURAS 3.3 e 3.4, após o tratamento dos dados, pode-se verificar também a questão das diferenças nas medidas entre os módulos, que conforme comentado, não apresenta diferenças tão expressivas. É interessante comentar que o módulo com MAC ADDRESS A4:E5:7C:6D:FD:D0, estava instalado sobre a sala dos técnicos, o A4:E5:7C:6D:F5:CC na parte próxima da lousa e o CC:50:E3:AB:A9:04 no fundo da sala, em frente e pouco abaixo do SDCA.

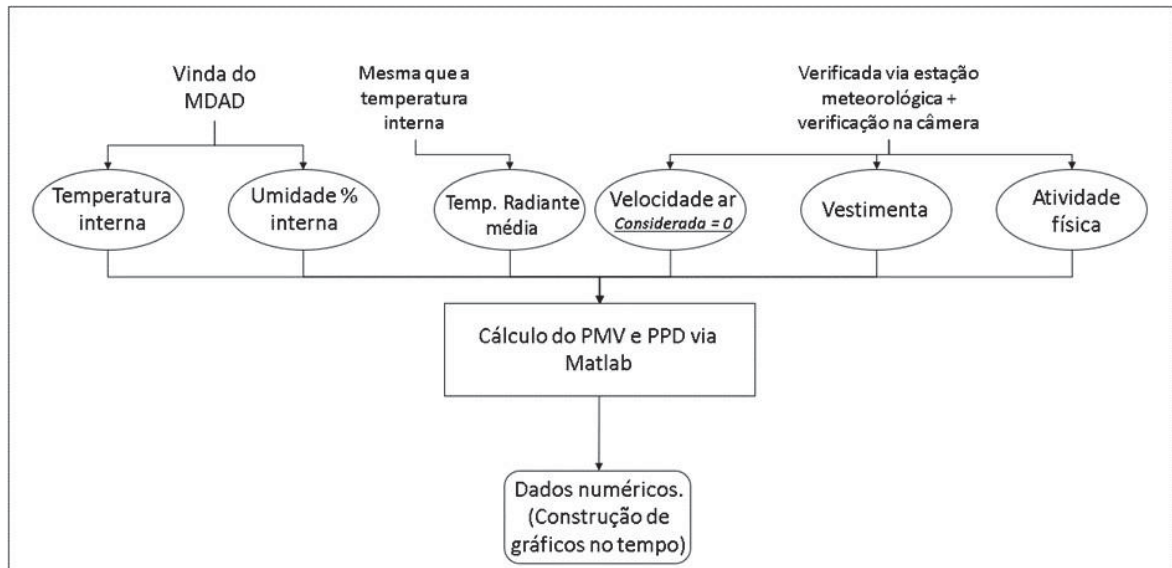
### 3.3. MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DA MÉTRICA DE CONFORTO TÉRMICO

Para a definição da métrica do estado de conforto térmico neste estudo, baseou-se no abordado no capítulo 2 item 2.4, utilizando então a técnica do PMV para estimar o conforto térmico dos ocupantes durante os períodos desejados. A seguir, serão descritos as definições e mecanismos metodológicos utilizados para o atingimento do resultado.

#### 3.3.1. MECANISMO DE CÁLCULO DO PMV

Para construção do mecanismo de cálculo do PMV, mapeou-se as entradas necessárias, baseado na Equação 2.5 apresentada no capítulo 2, item 2.4. Os seguintes dados são necessários: Temperatura do ar interna (TAI) em °C, Umidade relativa interna (URI) em valor %, Temperatura radiante média interna em °C, Velocidade do ar em m/s, vestimentas utilizadas em “clo”, que baseado em ASHRAE (2010) é a unidade utilizada para expressar o índice de isolamento térmico proporcionado pelas vestimentas utilizadas e nível de atividade física em “met”, que é o índice da transformação de energia química em calor e força mecânica pelo organismo do indivíduo. Com posse destes dados é possível realizar os cálculos apresentando como resultado o valor de PMV e PPD. A FIGURA 3.5, demonstra de forma lógica o mecanismo de cálculo de PMV baseado no exposto acima, indicando os parâmetros de entrada, com a origem de cada dado e as respectivas saídas.

FIGURA 3.5 - Mecanismo lógico para cálculo do PMV/PPD



Fonte: Do autor (2022).

Conforme apresentado na figura acima, a temperatura do ar (TAI) e umidade relativa interna (URI) são parâmetros fornecidos pelo MDAD, já a temperatura média radiante interna foi utilizada baseada no item 3.3.2, apresentada em seguida. Já os fatores de vestimentas e atividade física, são produtos verificados por meio das gravações do SMDI, com esses dados, é realizada a entrada dos dados no código do MATLAB, fornecendo como resultado os valores de PMV e PPD. No capítulo 4 estes dados serão utilizados para desenvolvimento de gráficos que servirão de base para a análise de conforto e eficiência.

### 3.3.2. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA PARA CÁLCULO DO PMV

Neste item, serão abordados a origem e definições realizadas quanto os parâmetros de entrada para o cálculo de PMV, expostos no item 3.3.1.

#### 3.3.2.1. TEMPERATURA, UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA INTERNA

Na consideração das variáveis de TAI e URI como entradas no cálculo do PMV, obteve-se os valores baseado no descrito do item 3.2, incluindo os valores diretamente na entrada do algoritmo de 3.3.1. Já a temperatura média radiante interna, sendo ela a temperatura média de um ambiente imaginário onde a

transferência de calor por radiação do corpo humano é igual a transferência de calor por radiação de um ambiente não uniforme (ASHRAE, 2010). Normalmente se obtém seus valores por meio de processos indiretos de cálculo, seja por meio de um fator de forma com as temperaturas superficiais ( $T_s$ ), ou por obtenção da temperatura via termômetro de globo (FERNANDES;KRUGER,2019), por exemplo. No entanto, essas variáveis não foram monitoradas, pela dificuldade de incorporar essas medidas com precisão satisfatória no MDAD, em função disto, como forma de aproximação considerou-se a temperatura média radiante igual a TAI.

### 3.3.2.2. VELOCIDADE DO AR, INDICE DE ISOLAMENTO TÉRMICO E NÍVEL DE ATIVIDADE FÍSICA

A velocidade do ar, foi uma variável não monitorada pelo dispositivo de medição instalado internamente. Por se tratar de uma sala, onde normalmente a maioria das janelas estão fechadas, a velocidade do ar no ambiente é muito baixa ou até mesmo nula, o que se considerou então nos cálculos, como nula.

Já quanto ao valor de isolamento térmico das vestimentas (ITV), baseado em Mudrek, Canciglieri E Freire (2019) assumiu-se os conjuntos de roupa considerados por esses autores, primeiramente pelo ambiente abordado no trabalho desses autores se tratar de um ambiente similar ao local que estava sendo estudado no presente trabalho, e além disto também estar localizado na cidade de Curitiba. A TABELA 3.1 apresenta os conjuntos inicialmente considerados com o respectivo valor de clo.

TABELA 3.1 - Conjunto de roupas e valores de clo inicialmente considerados

Vestimentas Predefinidas	$I_{cl}$ : Isolamento Térmico (clo)
Roupas Íntimas + vestido + sandálias	0,33
Roupas Íntimas +camiseta manga curta + calça + meias + sapatos	0,47
Roupas Íntimas +camiseta manga comprida + calça + meias + sapatos	0,63
Roupas Íntimas +camiseta manga longa + jaqueta + calça + meia grossa + sapatos	1,00

Fonte: MUDREK, CANGILIERI e FREIRE (2019).

Para determinação do nível de atividade física, é possível realizar uma soma ponderada do tempo de cada atividade física desempenhada pelos ocupantes do

recinto, tomando como período de permanência basicamente 60 minutos, indicando quantas partes deste tempo é gasto em determinada atividade (ASHRAE,2009). A Equação 3.1, ilustra o abordado acima, o que serve como método para o presente trabalho. Os valores do índice metabólico estão descritos na tabela A1 (ASHRAE, 2010), no Anexo 1.

$$\bar{Atividade} = M_{I1} \cdot T_1 + M_{I2} \cdot T_2 + M_{IN} \cdot T_N \dots \quad (3.1)$$

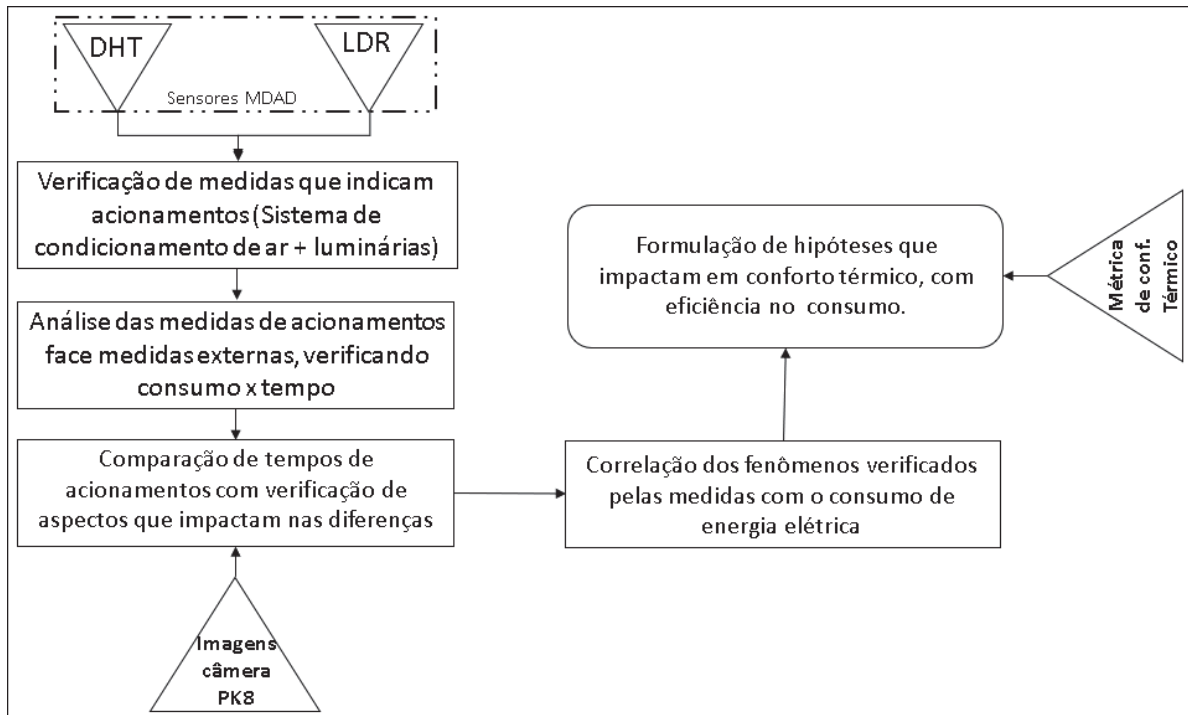
Baseado no Anexo 1 e na Equação 3.1, é observado via SDMI a atividade exercida pelos ocupantes da sala, realizando uma aproximação quanto a média de atividades desempenhadas durante o tempo de permanência no recinto, gerando então a variável de entrada para o cálculo do PMV.

#### 3.4. MÉTRICA DE ANÁLISE DAS MEDIÇÕES PARA FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES

Para desenvolvimento da métrica de análise das medições, similar ao realizado no item 3.3, foram mapeadas as entradas de dados e saídas desejadas do mecanismo de avaliação.

Foi definido como entrada principal, as medidas realizadas pelos sensores do MDAD. Medidas essas, que posteriormente analisadas geram as curvas das medidas internas e externas, o que se comparando com as imagens do SDMI para confirmação de fenômenos não monitorados, constroem uma base de dados e observações de fenômenos internos durante o uso da sala. Base de dados essa, que se relacionada com a entrada dos valores de PMV, advindo da métrica de conforto descrito no item 3.3, geram hipóteses para melhor integração entre conforto térmico e eficiência no consumo de energia elétrica dentro do ambiente acadêmico. A FIGURA 3.6, ilustra a métrica desenvolvida comentada anteriormente, indicando as etapas existentes e os momentos em que os dados são inclusos dentro do mecanismo.

FIGURA 3.6 - Métrica para análise das medições e formulação das hipóteses



Fonte: Do autor (2022).

Conforme a FIGURA 3.6, as medidas definidas como entrada principal no mecanismo, são coletadas pelos sensores do MDAD, o LDR e o DHT-22. Em seguida, de acordo com o ilustrado, o método consiste em analisar as medidas do MDAD para constatação de indícios de utilização de energia elétrica no recinto. Para confirmação da existência da utilização de energia elétrica, as medidas coletadas pelo MDAD são comparadas com medidas externas, vindas da estação meteorológica do item 2.7. Realizada a confirmação, as curvas dos acionamentos são analisadas registrando características que as compõem, bem como são anotados outros fenômenos que aconteceram nesses momentos via as imagens do SDMI. Com o levantamento dessa base de dados, busca-se correlacionar semelhanças e diferenças entre as curvas, e baseado nisso, com a avaliação do conforto térmico no recinto advindo do mecanismo do item 3.3, são formuladas as hipóteses para melhoria na integração entre o conforto térmico e a eficiência energética.

#### 3.4.1. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS PARA ANÁLISE

A construção dos gráficos das curvas analisadas com as quais foi possível a construção das hipóteses, foi baseado em scripts desenvolvidos no MATLAB. O

Apêndice 2 contém um dos scripts desenvolvidos, exemplificando o método utilizado. Os períodos estão separados por mês, organizados e separados em semanas dentro dos meses, em arquivos .csv, que contém as medidas consideradas para cada período. Ainda, para tornar as correlações mais simples de serem verificadas, geraram-se os gráficos um seguido do outro para melhor visualização e comparação entre as medidas.

## 4. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES REALIZADAS

Nos capítulos anteriores, tratou-se da construção dos dados, medidas, conceitos, e métodos utilizados. Neste capítulo, serão abordadas e analisadas as medidas coletadas, visando levantar hipóteses e ações para integração de conforto térmico e eficiência energética em ambientes acadêmicos.

### 4.1. ANÁLISE PRELIMINAR DAS MEDIDAS

Conforme os objetivos presentes no item 1.1 do capítulo 1, para desenvolvimento das análises de acionamentos que afetam a questão do conforto e eficiência energética da sala PK8, é necessário avaliar as medidas internas realizadas. Desta forma, é possível identificar fenômenos que se confrontados com as medidas externas provenientes do descrito no item 2.7, geram indícios de acionamento do SDCA, e conseqüentemente consumo de energia elétrica. Realizada essa análise, é possível verificar o conforto térmico nesses momentos, para avaliar se o uso da energia elétrica no funcionamento do SDCA está promovendo conforto de forma eficiente (consumo), dentro do ambiente acadêmico. Sendo possível desenvolver hipóteses para melhoria caso a integração de conforto e eficiência energética apresente oportunidades.

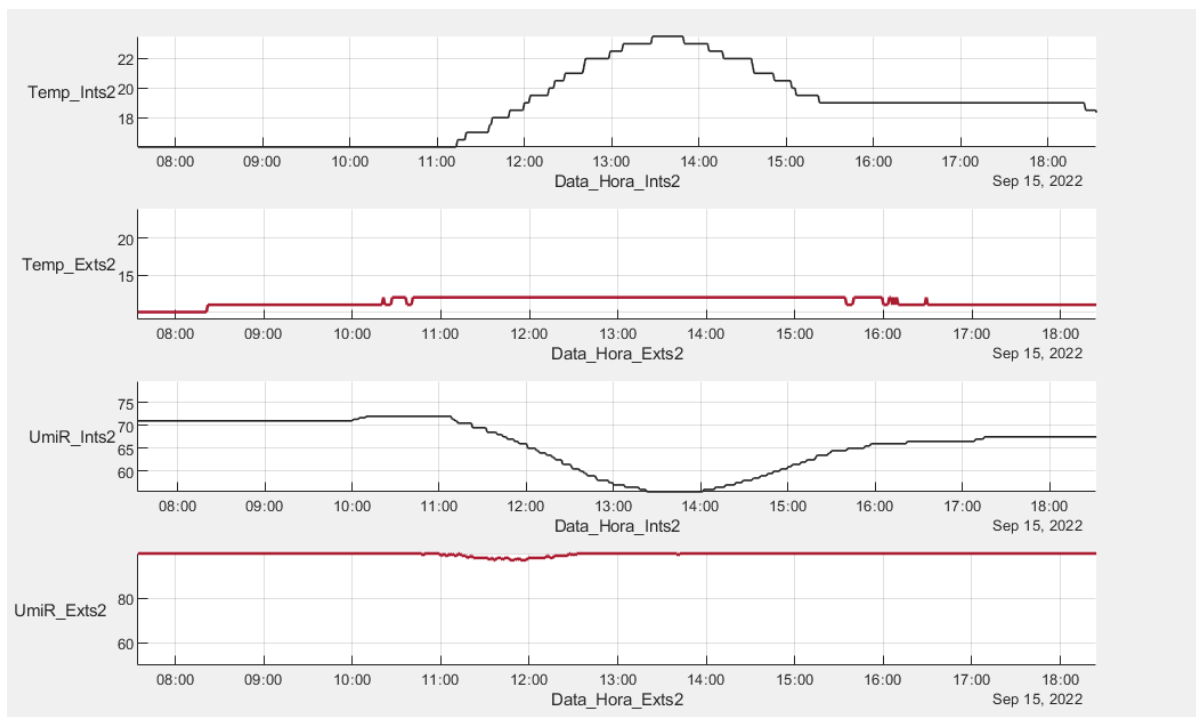
Neste item, foram desenvolvidas análises baseadas nas medidas internas realizadas pelo MDAD, sendo comparadas temperatura e umidade com os dados externos advindos da estação meteorológica, para concluir sobre os acionamentos que aconteceram na sala PK8. De forma complementar, analisando as medidas, os dados de luminosidade para inferir um período de utilização da sala. Período esse, em que se irá avaliar o PMV, e se necessário, reavaliar os dados de entrada para cálculo do parâmetro.

As medidas foram realizadas de Abril a Novembro de 2022, fazendo o registro de 1 medida por minuto, verificando as mais diferentes situações, tanto na questão de dias mais frios quanto nos dias muito quentes. Durante este período, também foram registradas as mais diferentes condições para lotação, ou seja, dias em que o ambiente contou com 2 pessoas no recinto e outros que havia cerca de 18 pessoas, dessa forma considerando o fator lotação dentro das análises.

#### 4.1.1. CONSTATAÇÃO DE ACIONAMENTO DO SDCA AQUECENDO O AMBIENTE

Durante a análise preliminar das medições realizadas, foram verificadas mudanças abruptas de temperatura e umidade relativa em determinados momentos, onde a TAI aumentava muito e a URI diminuía. Baseado no item 2.5 do capítulo 2, isto poderia se tratar de um acionamento do SDCA, uma vez que durante o funcionamento do sistema ele tende a diminuir a umidade relativa, realizando mudança na temperatura do ar no recinto. Ao realizar a comparação com os dados externos, obtidos por meio do explorado no item 2.7, aplicando a métrica descrita no item 3.4, verificou-se que tal efeito não se relacionava com a TAE e URE, aumentando assim, a possibilidade do acionamento do SDCA para aquecimento do ambiente. Para fins de confirmação, utilizou-se as gravações do SDMI, o que confirmou o acionamento. O descrito acima, pode ser precisamente observado na FIGURA 4.1, do dia 15/09/2022, onde ocorreu o comportamento das medidas abordadas, caracterizando um acionamento do SDCA no referido dia, apresentando a TAI e URI no primeiro e terceiro gráfico em preto, a TAE e URE em bordô no segundo e quarto gráfico.

FIGURA 4.1 – Constatação de acionamento do SDCA aquecendo o ambiente.

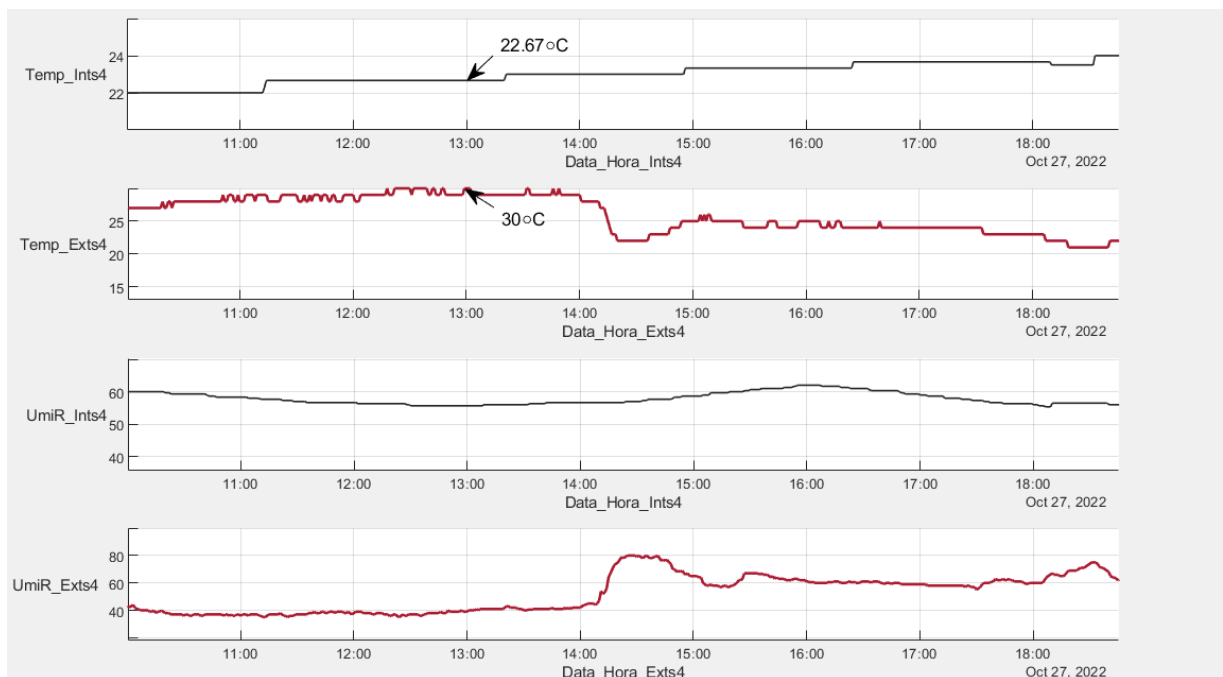


Fonte: Do autor (2022).

#### 4.1.2. CONSTATAÇÃO DE ACIONAMENTO DO SDCA RESFRIANDO O AMBIENTE

Durante a análise preliminar das medições realizadas, também foram verificadas que, em certos momentos, a TAI e URI se comportavam de forma diferente com o registrado externamente, estando mais baixa internamente para temperatura e mantendo mais estáveis os valores da umidade relativa, o que novamente, baseado no item 2.5 do capítulo 2, poderia se tratar de um acionamento do SDCA. Ao realizar a comparação com os dados externos do dia 27/10/2022, obtidos por meio do explorado no item 2.7, aplicando a métrica descrita no item 3.4, verificou-se que tal efeito não se relacionava com a TAE e URE, uma vez que a TAE neste dia às 13:00 horas estava em 30°C, enquanto a TAI para o mesmo dia e hora na sala PK8 estava em 22.67°C com desvio padrão de 0.5773. Portanto, para fins de confirmação, utilizou-se as gravações do SDMI, o que confirmou o acionamento do SDCA resfriando o ambiente. A FIGURA 4.2 apresenta os dados do dia 27/10/2022, onde TAI e URI estão em preto no primeiro e terceiro gráfico e a TAE e URE estão em bordô no segundo e quarto gráfico.

FIGURA 4.2 – Constatação do acionamento do SDCA resfriando o ambiente.



Fonte: Do autor (2022).

#### 4.1.3. DEFINIÇÃO DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO DA SALA PK8

A definição do tempo de utilização da sala, serve como estimativa para definição do tempo em que o ambiente conta com pessoas, tempo o qual deve-se utilizar a estratégia de promoção de conforto térmico em primeiro plano, deixando a questão de eficiência energética ser atingida apenas em casos que não ofereça perdas justamente para a questão de conforto. Para verificar isso então, utilizou-se o tempo de acionamento do sistema de iluminação da sala, uma vez que a sala não conta com uma boa iluminação natural, sendo necessário o acionamento do sistema de iluminação para que qualquer atividade seja desempenhada no local. Desta forma, a ocupação da sala é dada pelo acionamento inicial, feito pela manhã por exemplo, o que aumenta de forma abrupta a luminosidade sentida pelo sensor do MDAD descrito no capítulo 2 item 2.2, e a final é representada por uma queda também de forma abrupta da luminosidade ao se realizar o desligamento do sistema, ao final do dia ou período de uso do recinto. A FIGURA 4.3 ilustra a definição realizada quanto a luminosidade representar o tempo de utilização da sala, indicando aproximadamente o início do período de utilização e o final, constando inclusive um breve momento que as luzes foram totalmente desligadas no início da tarde.

FIGURA 4.3 – Demonstração da definição do período de ocupação da sala baseada na luminosidade



Fonte: Do autor (2022).

#### 4.1.4. VERIFICAÇÃO DO PMV DURANTE OS ACIONAMENTOS DO SDCA

Para a verificação do PMV durante os acionamentos identificados, além do abordado no item 3.3 do capítulo 3 e os dados de entrada para o cálculo provenientes das medições realizadas, foi necessário definir a atividade metabólica dos ocupantes.

Portanto, utilizou-se a tabela A1 (ASHRAE, 2010), do Anexo 1. Considerou-se que os ocupantes na maioria sentados, e lendo na metade do tempo e na outra metade estão sentados relaxados. Somado estes fatores, têm-se o valor de 1 met, valor calculado de acordo com a Equação 3.1 apresentada no item 3.3.2.2 do capítulo 3.

No entanto, ao se iniciar a etapa de cálculo dos índices de PMV, utilizando os valores de ITV descritos no capítulo 3, TABELA 3.1, verificou-se que os resultados estavam implicando em um nível alto de desconforto durante o período de ocupação da sala PK8, conforme também demonstrado na TABELA 4.2. Baseado nisto, utilizou-se o SDMI da sala para confirmação do padrão médio das vestimentas nos dias de acionamentos, o que agora foi organizado exclusivamente para este estudo. Este resultado está apresentado na TABELA 4.1, mostrada abaixo, onde foi retirada a contribuição de cada peça do vestuário (clo) da tabela B2 (ASHRAE, 2010), no Anexo 2.

TABELA 4.1 - Conjunto de roupas e valores de considerados neste estudo

<b>Média de padrão de vestimentas verificado</b>	<b><i>I<sub>clo</sub></i>: Isolamento térmico (clo)</b>
Roupa íntima+ Camiseta(grossa)+tênis+ meias + calça(fina)	0.46
Roupa íntima+ Camiseta(fina)+tênis+ meias+ casaco(fino)+calça jeans(considerado calça reta grossa)	0.82
Roupa íntima+ Camiseta(fina)+tênis+ meias + casaco(grosso)+ calça jeans(considerado calça reta grossa)	0.88
Roupa íntima+ Camiseta(fina)+tênis + meias + casaco(fino) +casaco(grosso)+calça jeans(considerado calça reta grossa)	1.24

Fonte: Do autor (2022).

Com base nos valores definidos por este trabalho para o índice de ITV, a TABELA 4.2 compara os valores da TABELA 3.1, e suas resultantes de PMV e PPD, com os valores de ITV definidos neste trabalho. Os valores de temperatura e umidade relativa utilizados na construção da TABELA 4.2 são fictícios, utilizados apenas para fins da comparação desenvolvida abaixo.

TABELA 4.2 – Comparação entre ITV/PMV e PPD resultante

<b>Resfriando o Ambiente</b>					
	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	ITV (clo)	PMV	PPD (%)
MUDREK, CANCIGLIERI e FREIRE (Tabela 3.1)	24.33	54.33	0.47	-0.66	14.24
	24	55.5	0.47	-0.78	17.98
	22	59.67	0.47	-1.55	53.67
Presente Trabalho (Tabela 4.1)	24.33	54.33	0.46	-0.69	15.01
	24	55.5	0.46	-0.81	18.94
	22	59.67	0.46	-1.59	55.54
<b>Aquecendo o Ambiente</b>					
	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	ITV (clo)	PMV	PPD (%)
MUDREK, CANCIGLIERI e FREIRE (Tabela 3.1)	15	63	1	-2.17	83.88
	21.67	50.33	1	-0.40	8.33
	23.33	47.67	1	0.04	5.04
Presente estudo (Tabela 4.1)	15	63	1,24	-1.59	56.01
	21.67	50.33	1,24	-0.03	5.02
	23.33	47.67	1,24	0.36	7.65

Fonte: Do autor (2023).

Conforme a tabela acima, nota-se que os valores de ITV da TABELA 3.1 para condições em que as roupas são mais leves e conseqüentemente o ITV é menor, são bem parecidos com os definidos por este estudo, o que resulta em números de PMV e PPD relativamente próximos. Porém, quando se trata da utilização de roupas mais pesadas, o que implica em valores de ITV maiores, comparando os valores de PMV e PPD gerados com base na TABELA 3.1 com os da TABELA 4.1, nota-se que a questão de desconforto é minimizada em temperaturas mais baixas, condição que representa de forma melhor o observado no SDMI.

#### 4.2. ANÁLISE DOS ACIONAMENTOS IDENTIFICADOS

Baseado nas análises preliminares realizadas no item 4.1, foram verificadas 8 situações em que a TAI e URI se comportaram de forma similar ao descrito no item 4.1.1, caracterizando então acionamentos do SDCA no modo de aquecimento. Em outras 3 oportunidades verificou-se comportamento similar das medidas de TAI e URI com o descrito no item 4.1.2, caracterizando assim o acionamento do SDCA no modo de resfriamento.

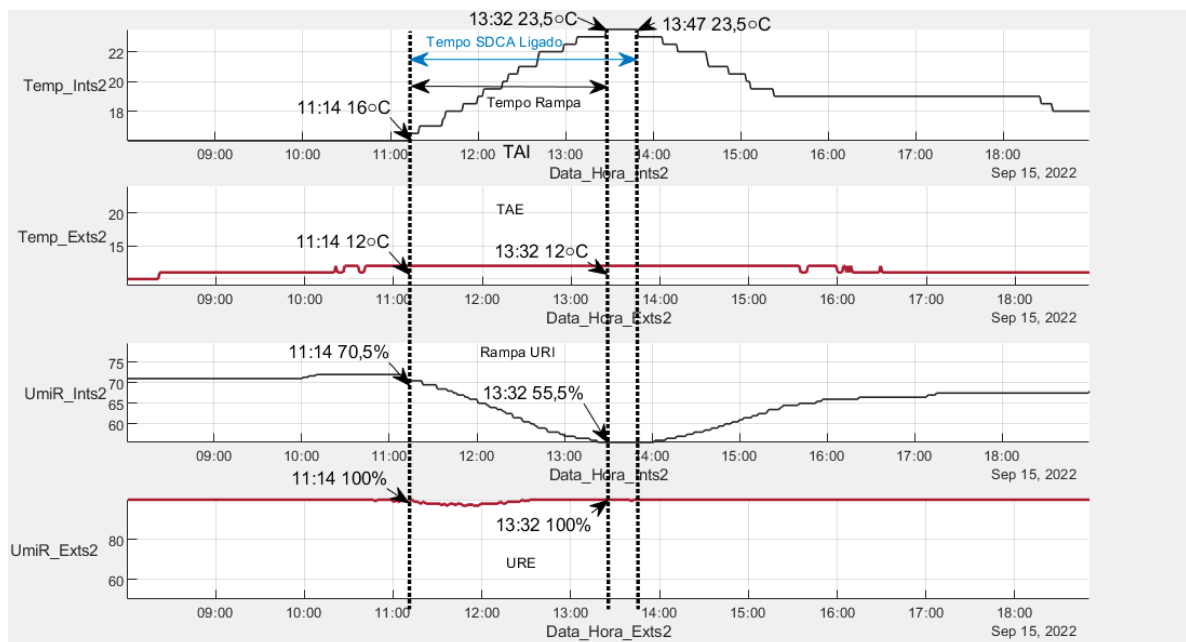
Além disto, foi verificado durante a análise 1 situação fora do esperado, que aconteceu no dia 18/11/2022, onde a TAE era consideravelmente menor que a TAI,

no entanto, a URI não decrescia de forma tão abrupta, o que contrariava o descrito no item 4.1.1, e, portanto, essa situação motivou investigação das condições que ocorreram para tal acontecimento, incluindo esse caso dentro das análises.

#### 4.2.1. DESCRIÇÃO DA AVALIAÇÃO REALIZADA DE CADA ACIONAMENTO

Com base nas análises preliminares descritas no item 4.1, foi necessário desenvolver uma forma de relacionar e comparar cada uma das situações em que houve acionamentos do SDCA, para então avaliar se o conforto térmico foi atingido e se houveram oportunidades as quais se poderia ter diminuído o consumo de energia elétrica. Para isso, foram extraídas informações das curvas dos gráficos, tornando possível a comparação de situações similares, por exemplo. A FIGURA 4.4 abaixo, indica como os dados foram extraídos de cada acionamento constatado, onde TAI e URI estão representadas no primeiro e terceiro gráfico, e os dados de TAE e URE no segundo e quarto.

FIGURA 4.4 – Ilustração da extração de dados dos gráficos de acionamentos



Fonte: Do autor (2022).

Conforme a FIGURA 4.4 acima, os valores retirados dos gráficos desenvolvidos conforme o apresentado no item 3.4.1, foram os de: Data/Hora do início do acionamento, TAI e URI inicial, TAE e URE inicial, TAI e URI final, TAE e URE final,

Data/Hora em que o SDCA atingiu a temperatura programada, o que chamamos de “Acionamento Rampa” e Data/Hora do final do acionamento do SDCA, representado como “Hora Final”. Com esses dados, foi utilizada a Equação 4.1 para cálculo do tempo do SDCA ligado.

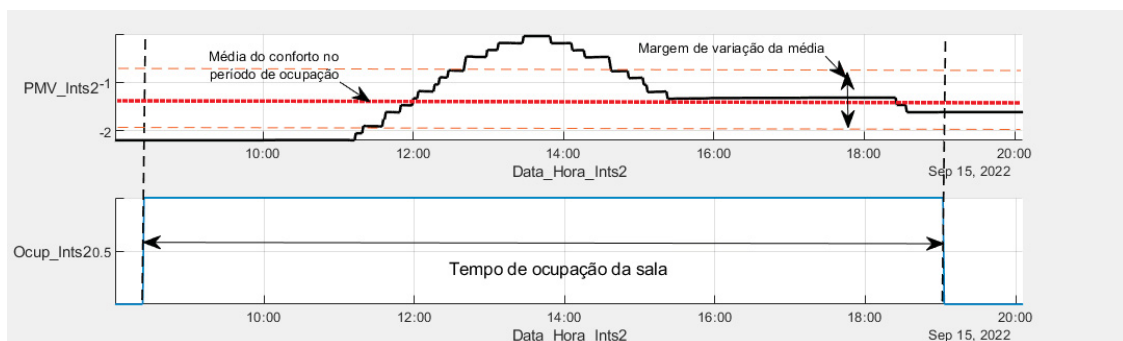
$$T_{5DCA\_On} = \text{Hora Final} - \text{Data|Hora Inicial} \quad (4.1)$$

Já a Equação 4.2, contém a descrição do tempo que o SDCA ficou trabalhando para atingir o *set point* de temperatura programado na máquina, o que chamamos de  $T_{Rampa}$ .

$$T_{Rampa} = |\text{Acionamento Rampa} - \text{Data|Hora Inicial}| \quad (4.2)$$

Sendo o conforto térmico a principal condicionante para concluir se o consumo do acionamento ocorrido promoveu conforto com o mínimo de energia elétrica utilizada, criou-se a coluna “PMV Médio” para ser utilizado também como parâmetro de comparação dos dados extraídos, a qual foi calculada baseada no descrito pelo item 3.3 e 4.1.4, onde calculou-se o valor do PMV médio durante o tempo de ocupação da sala, tempo esse que foi obtido de acordo com o item 4.1.3. A informação do desvio médio padrão para o PMV do período também é mostrada na coluna da TABELA 4.3. A FIGURA 4.5, ilustra um exemplo do realizado para construção da coluna “PMV Médio.”, indicando a média que foi inclusa na tabela e o desvio padrão do período.

FIGURA 4.5 – Exemplo do valor de PMV médio durante ocupação da sala PK8



Fonte: Do autor (2023).

De forma complementar à média do PMV nos períodos de ocupação, somado aos horários de utilização do SDCA ( $T_{5DCA\_On}$ ), foram isolados os momentos em que

o SDCA estava ligado e desligado. Assim, tornou-se possível realizar a média e o desvio padrão do PMV para essas duas condições, dando origem as colunas “PMV On” e “PMV Off”, o que busca evidenciar a eficiência na utilização do SDCA para promover o conforto térmico no ambiente, quando ligado, e os efeitos na condição de conforto ao realizar o desligamento do sistema. No sentido de estimar o consumo de energia elétrica durante o acionamento, baseado no discutido no item 2.5, foram calculados os valores da coluna “Consumo”, onde indica-se a potência utilizada durante o acionamento.

Baseado na descrição feita acima, a TABELA 4.3 foi montada, incluindo as informações dos 11 acionamentos constatados, mais as medições do dia 18/11/2022. Além desses acionamentos analisados, não foram constatados demais acionamentos do SDCA, restringindo o uso do equipamento a apenas esses 11 acionamentos dentro do tempo total de observação. No próximo item, serão discutidas as informações existentes na TABELA 4.3, explorando as conclusões quanto a promoção de conforto térmico no ambiente, versus o consumo de energia elétrica realizado ao acionar o SDCA. Além disso, serão comparados e discutidos os valores dos acionamentos.

TABELA 4.3 - Dados dos acionamentos do sistema de condicionamento de ar

Data/Hora Inicial	Acionamento Rampa	Hora Final	TAI/ URI Inicial	TAE / URE inicial	TAI / URI Final	TAE / URE Final	$T_{SDCA\_On}$	$T_{Rampa}$	PMV Médio (Desv. Pa.)	PMV On (Desv. Pa.)	PMV Off (Desv. Pa.)	Consumo
30/08 15:34	17:42	18:12	16°C/62%	10°C/91%	22°C/51%	10°C/97%	02:38	02:08	-1.03 (0.51)	-0.46 (0.45)	-1.23 (0.35)	14.54 (kWh)
31/08 10:55	14:13	14:33	15°C/64%	13°C/76%	23°C/48%	15°C/74%	03:38	03:18	-0.72 (0.62)	-0.62 (0.67)	-0.72 (0.62)	21.15 (kWh)
15/09 11:14	13:32	13:47	16°C/71%	12°C/100%	24°C/56%	12°C/100%	02:33	02:18	-1.36 (0.67)	-0.89 (0.67)	-1.36 (0.67)	14.8 (kWh)
28/09 12:00	13:41	13:51	17°C/67%	14°C/81%	23°C/52%	13°C/87%	01:51	01:41	-0.56 (0.40)	-0.23 (0.45)	-0.56 (0.39)	10.78 (kWh)
30/09 16:15	18:40	18:45	16°C/73%	13°C/89%	21°C/70%	12°C/98%	02:30	02:25	-2.12 (0.35)	-1.57 (0.49)	-2.26 (0.08)	15 (kWh)
06/10 11:22	13:37	18:08	19°C/69%	19°C/75%	23°C/66%	19°C/84%	06:46	02:15	-0.69 (0.43)	-0.53 (0.31)	-0.69 (0.43)	25.95 (kWh)
10/10 11:36	13:58	17:51	20°C/59%	13°C/93%	22°C/55%	14°C/88%	06:15	02:22	-0.71 (0.30)	-0.51 (0.17)	-0.71 (0.30)	23.63 (kWh)
20/10 11:33	12:56	13:51	20°C/72%	18°C/85%	26°C/59%	17°C/91%	02:18	01:23	-0.47 (0.57)	0.12 (0.55)	-0.47 (0.57)	11.23 (kWh)
27/10 11:05	17:28	17:28	22°C/58%	27°C/40%	24°C/58%	24°C/57%	06:23	06:23	-1.30 (0.20)	-1.26 (0.12)	-1.30 (0.20)	43.41 (kWh)
10/11 13:14	15:40	15:40	22°C/48%	27°C/27%	22°C/41%	27°C/47%	02:26	02:26	-0.62 (0.34)	-0.68 (0.09)	-0.62 (0.34)	16.55 (kWh)
16/11 13:52	18:01	18:01	24°C/47%	26°C/32%	23°C/45%	21°C/63%	04:09	04:09	-1.10 (0.09)	-1.06 (0.07)	-1.13 (0.09)	28.22 (kWh)
18/11 07:42	18:23	18:23	22°C/46%	16°C/52%	26°C/43%	18°C/64%	10:41	10:41	-1.12 (0.57)	-	-0.72 (0.37)	-

Fonte: Do autor (2022).

#### 4.2.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS DOS ACIONAMENTOS

Conforme os dados contidos na TABELA 4.3 do item 4.2.1, nos dias 30/08, 28/09, 06/10, 10/10 e 20/10, o SDCA foi utilizado consumindo uma potência total de 86,13 kWh. Essa potência consumida, colocou os ocupantes da sala PK8 em condição de conforto de acordo com o abordado no item 2.4 do capítulo 2. Isto faz com que o consumo seja necessário, mesmo impactando a questão do uso da energia elétrica. No entanto, nos dias 28/09 e 20/10, a média do PMV no recinto durante ocupação e o PMV médio com o SDCA desligado, satisfazem a condição de conforto, revelando que caso o SDCA não fosse ligado, da mesma forma os ocupantes estariam dentro da condição de conforto térmico, tornando o consumo total de 22,01kWh desnecessário. Já nos dias 31/08, 15/09, 30/09, 27/10, 10/11 e 16/11, foram consumidos 139,13 kWh de energia elétrica, não atingindo uma média de valores de PMV que expressem conforto térmico nem quando o SDCA estava ligado. Desta forma, esses acionamentos foram consumos ineficientes, uma vez que a condição de conforto não foi atingida.

Além das avaliações quanto ao conforto térmico versus o consumo de energia elétrica feito acima, foi possível verificar algumas situações que apresentam diferenças entre acionamentos com condições similares. Uma delas acontece ao comparar o dia 31/08/2022 com o dia 30/09/2022. Nota-se que a TAE e URE estão alinhadas na questão da temperatura, com uma diferença de 13% na umidade relativa. Já internamente há uma diferença de 1°C na TAI e 9% URI, porém o tempo de rampa entre os dois dias apresenta um delta de 53 minutos. O PMV médio do dia 30/09/2022 é consideravelmente pior, baseado na definição do item 2.3, colocando os ocupantes do recinto em desconforto alto. Já ao comparar o dia 30/08/2022 com o dia 15/09/2022, verifica-se que os dados internos estão relativamente alinhados, com ressalva apenas para a URI que apresenta uma diferença de 9%, e externamente há uma diferença de 2°C com 9%, o que ocasionaria um tempo maior de rampa para o dia 30/08/2022 uma vez que o sistema estaria perdendo mais calor para o ambiente externo, mas na verdade a rampa do dia 30/08/2022 foi 8 minutos mais rápida, embora o PMV no tempo de utilização da sala não tenha sido tão diferente. Comparando também o dia 30/09/2022 com o dia 10/10/2022, nota-se uma diferença na TAI de 4°C e na URI de 14%. Porém, externamente a TAE dos dois dias está igual com 4% de diferença na URE, ficando de certa forma bem alinhadas. Isto deveria gerar tempos

de rampa parecidos, bem como valores de PMV. No entanto, não é o que se verifica na questão do PMV. Por fim, no dia 27/10/2022, a TAI estava alinhada com 10% de diferença na URI, se comparado com o dia 10/11/2022, e externamente inicialmente a TAE dos dias era a mesma com diferença de 13% na URE, o que deveria então gerar um tempo de rampa parecido, o que não aconteceu nem no tempo de rampa e nem nos valores de PMV.

Desta forma, motivado pelas diferenças encontradas dentro da análise das medidas realizadas, a próxima sessão trata da investigação de fatores que influenciaram para essas diferenças acontecerem, buscando observar fenômenos durante os acionamentos por meio do SDMI.

#### 4.3. INVESTIGAÇÃO DE FATORES QUE INFLUÊNCIARAM NAS DIFERENÇAS

De acordo com as diferenças encontradas nas análises das curvas dos acionamentos, descritas no item 4.2, foram necessárias maiores informações sobre fenômenos que aconteceram na sala PK8. Para a verificação dessas maiores informações sobre os fenômenos que ocorreram, foram verificadas as imagens do SDMI e anotados as observações realizadas.

##### 4.3.1. OBSERVAÇÃO E DESCRIÇÃO DE FENÔMENOS VIA SDMI

Ao total foram registrados 11 fenômenos de utilização do SDCA no período e um caso atípico, portanto foram observados esses 12 períodos realizando anotações. As observações realizadas focaram na grande maioria nos seguintes aspectos: Quantidade de pessoas na sala, Abertura/Fechamento de entradas de fluxo de ar (portas e janelas) e vestimentas utilizadas, o que serviu como base para o desenvolvido no item 4.1.4. Além disso, ficou-se atento a sinais de desconforto térmico apresentado pelos ocupantes para então comparação com o PMV e temperatura no recinto naquele momento, posteriormente. Essas anotações foram sintetizadas nas TABELAS 4.4 e 4.5, que apresenta inicialmente a tabela com resultados quanto os comentários referente as observações e, em seguida, a quantidade de pessoas, vestimentas médias e PMV.

TABELA 4.4 - Comentários em função do observado no sistema de monitoramento

Data/Hora inicial	Comentários
30/08/2022	Não foi constatado desconforto térmico com base em reações dos ocupantes. Todos utilizando roupas mais pesadas para frio (visualmente ao menos 2 casacos ).
31/08/2022	Sala com 17 pessoas, com três deles demonstrando desconforto térmico em razão da temperatura do ambiente. Janelas e portas abertas, em médias as pessoas estavam vestindo ao menos dois casacos. ).
15/09/2022	Sala vazia, apenas com 2 técnicos na sala. Janela aberta, porta parcialmente fechada. Ao entrar na sala (alunos) abriram a janela e porta indicando desconforto térmico com a temperatura que a sala estava, 13:31 o ar é desativado por conta do desconforto gerado. Diferente do dia 30/09, a porta estava encostada, porém o tempo de permanência dos ocupantes era maior, com mais tempo em repouso.
28/09/2022	Sala vazia com apenas 1 técnico utilizando, com roupa mais leve(um casaco) porém outros ocupantes com 2 casacos. Horário de almoço porta e janela fechada e as luminárias estão todas acesas.
30/09/2022	Sala vazia com apenas os 3 técnicos utilizando o recinto. Janelas e portas abertas. Temperatura interna levou cerca de 15 minutos para começar a aumentar.
06/10/2022	Sala vazia com apenas os 3 técnicos utilizando o recinto, usando roupas mais leves(1 casaco). Janelas e portas abertas. Temperatura interna levou cerca de 2 minutos para começar a aumentar. 4 minutos depois a porta foi fechada e apenas a janela permaneceu aberta.
10/10/2022	Dois técnicos na sala, com a janela fechada e a porta aberta. Ar-condicionado começa a mudar a temperatura da sala quase 60 minutos após o acionamento. Temperatura começa a chegar no <i>set point</i> ao fechar a porta e janelas, que acontece 80 minutos após o acionamento do ar-condicionado.
20/10/2022	Três pessoas na sala, na parte dos técnicos com roupas leves(1 casaco). Ar-condicionado acionado demorou cerca de 20 minutos para começar a mudar a temperatura, com janelas e portas abertas. Após encostar a porta e janelas, temperatura demorou 10 minutos para começar a mudar, Set point do ar estava em 30°C, temperatura máxima registrada pelo sensor foi 27.
27/10/2022	Sistema de condicionamento de ar ligado no modo de resfriar com <i>set point</i> em 22°C. . Temperatura dentro do esperado para o conforto, porém sem grande alteração nos gráficos, subindo ainda 1°C do programado no ar, mesmo com janelas e porta fechadas. Porta aberta faz com que a temperatura passe de 22°C para 23°C.
10/11/2022	Sistema de condicionamento de ar ligado no modo de resfriar com <i>set point</i> em 19°C, com o ventilador do equipamento ligado. Temperatura da sala não chegou nem perto do <i>set point</i> , no entanto os ocupantes da sala pediram para desativar o ar em função do desconforto térmico, comprovado pela pessoa colocando a blusa. As portas e janelas inicialmente estavam fechadas e depois foram abertas.
16/11/2022	Sistema de condicionamento de ar ligado no modo de resfriar com <i>set point</i> em 19°C, janelas fechadas com venezianas abaixadas, porta aberta. 6 pessoas na sala, chegam mais algumas pessoas na sala e as condições da sala continuam as mesmas.
18/11/2022	Não houve acionamento no sistema de condicionamento de ar neste dia, no entanto a sala esteve no período da tarde cheia com cerca de 18 pessoas na sala, utilizando os equipamentos eletrônicos do laboratório. Janelas e porta aberta durante toda a tarde, atingindo temperaturas internas acima da externa, inclusive

Fonte: Do autor (2022).

TABELA 4.5 - Observações quanto a quantidade de pessoas + padrão de vestimentas

<b>Data/Hora inicial</b>	<b>Quantidade e pessoas</b>	<b>Quantidade casaco</b>	<b>Fino ou grosso? / Calça + camiseta ou Bermuda + camiseta</b>	<b>PMV méd. com ocup.</b>
30/08/2022	6	2	Ambos	-1.0289/0.5109
31/08/2022	17	2	Ambos	-0.7185/0.6197
15/09/2022	2	1	Grosso	-1.3633/0.6663
28/09/2022	3	2	Ambos	-0.5605/0.3967
30/09/2022	3	1	Grosso	-2.1227/0.3452
06/10/2022	3	1	Fino	-0.6906/0.4272
10/10/2022	2	1	Grosso	-0.7139/0.2955
20/10/2022	3	1	Fino	-0.4662/0.5702
27/10/2022	14	Bermuda + Camiseta	Bermuda + Camiseta	-1.303/0.2037
10/11/2022	13	Calça + Camiseta	Calça + Camiseta	-0.6228/0.3414
16/11/2022	6	Bermuda + Camiseta	Bermuda + Camiseta	-1.0995/0.087
18/11/2022	18	Calça + Camiseta	Calça + Camiseta	-1.1153/0.5719

Fonte: Do autor (2022).

## 5. ANÁLISE SISTÊMICA PARA INTEGRAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Com as análises descritas no capítulo 4, foram desenvolvidas as hipóteses apresentadas nas seções a seguir, com uma abordagem baseada nos principais casos observados, utilizando esses como exemplos para justificar as hipóteses desenvolvidas. Ao final, é realizada uma abordagem baseada nas conclusões geradas pelas hipóteses, descrevendo de forma básica os aspectos da arquitetura da solução.

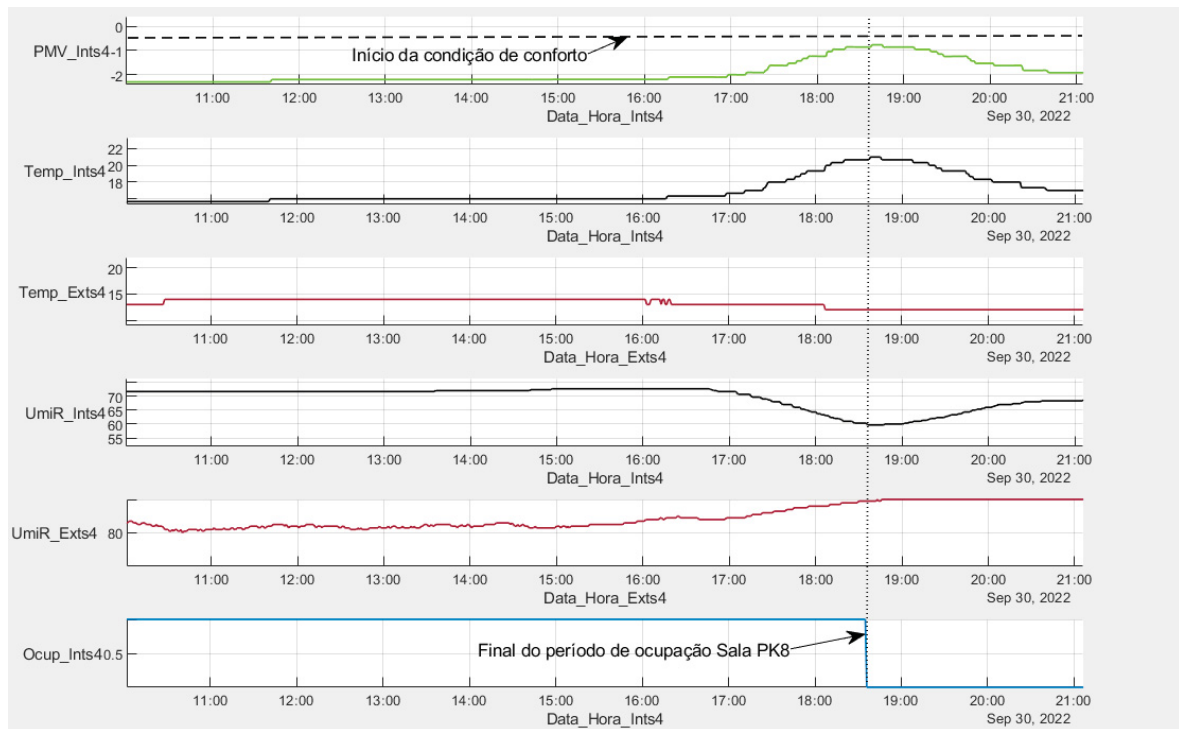
### 5.1. DESENVOLVIMENTO DAS HIPÓTESES

Neste item, serão desenvolvidas as hipóteses, uma vez que conforme apresentado, o SDCA em certos momentos trabalha de forma ineficiente tanto no aspecto do conforto térmico, quanto no de eficiência energética. Em outros momentos, apresenta oportunidades de melhoria com o controle de condições do ambiente, ou consideração dessas condições dentro da rotina de controle e gerenciamento do sistema.

#### 5.1.1. HIPÓTESE QUANTO AO MÉTODO DE ACIONAMENTO SDCA

Durante análises e verificações das situações em que o sistema estava acionado realizando o aquecimento do ambiente, pode-se citar como um ponto marcante que afeta a questão do conforto e eficiência diretamente, a possibilidade de livre controle de programação do SDCA pelos diferentes usuários. Essa hipótese se baseia por exemplo nas medições do dia 30/09/2022, onde o SDCA foi acionado de acordo com a TABELA 4.3 do item 4.2.1, às 16:15 e sendo desativado às 18:45, consumindo a energia elétrica estimada de 15 KWh, durante as 02:30 horas de funcionamento (calculado a partir da Equação 2.7). Se atentarmos para os gráficos apresentados na FIGURA 5.1, onde está apresentado os gráficos das medições do dia 30/09/2022, pode-se verificar que o PMV, no primeiro gráfico, nunca chega a atingir valores dentro das condições de conforto descritas no capítulo 2 item 2.4, inclusive atingindo a pior média de PMV de -2.1227, com desvio padrão de 0.3452, para o período de ocupação, dos acionamentos registrados.

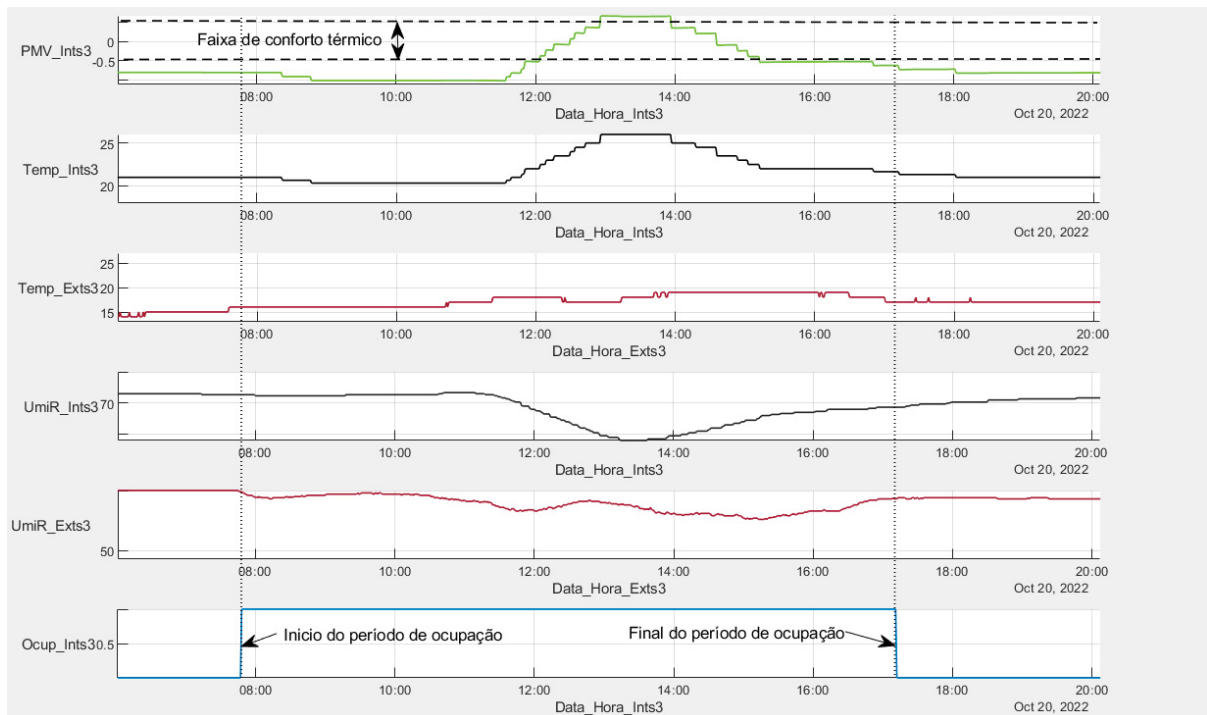
FIGURA 5.1 – Constatação de utilização ineficiente do SDCA: Dia 30/09/2022.



Fonte: Do autor (2022).

Além de não atingir saídas de PMV que expressam conforto térmico de acordo com a métrica adotada no item 2.4 do capítulo 2. Verificou-se a ocorrência do acionamento perto do final do período de ocupação do recinto (sexto gráfico linha azul), desperdiçando o calor adicionado ao ambiente. Este fato, com um sistema de monitoramento de ocupação aliado ao sistema de controle, poderia ser considerado. Realizando o desligamento do SDCA ao constatar uma ocupação menor e efetuando o aquecimento novamente ao constatar um novo aumento no índice de ocupação/utilização da sala, poupando energia por encontrar a temperatura interna em patamares mais altos. Outra situação verificada que reforça essa hipótese, é a do dia 20/10/2022, em que a FIGURA 5.2, mostra o SDCA aquecendo o recinto, levando o PMV dos ocupantes de valores negativos, que expressam frio, até valores positivos, que expressam calor, conforme o explorado no item 2.4 do capítulo 2, e além disto, mantendo a temperatura no ambiente em patamares que baseado nos valores de PMV, colocam os ocupantes em situação de desconforto em adição a questão de estar consumindo potência desnecessária para manter tal temperatura.

FIGURA 5.2 – Segundo exemplo de constatação de uso ineficiente do SDCA: Dia 20/10/2022.

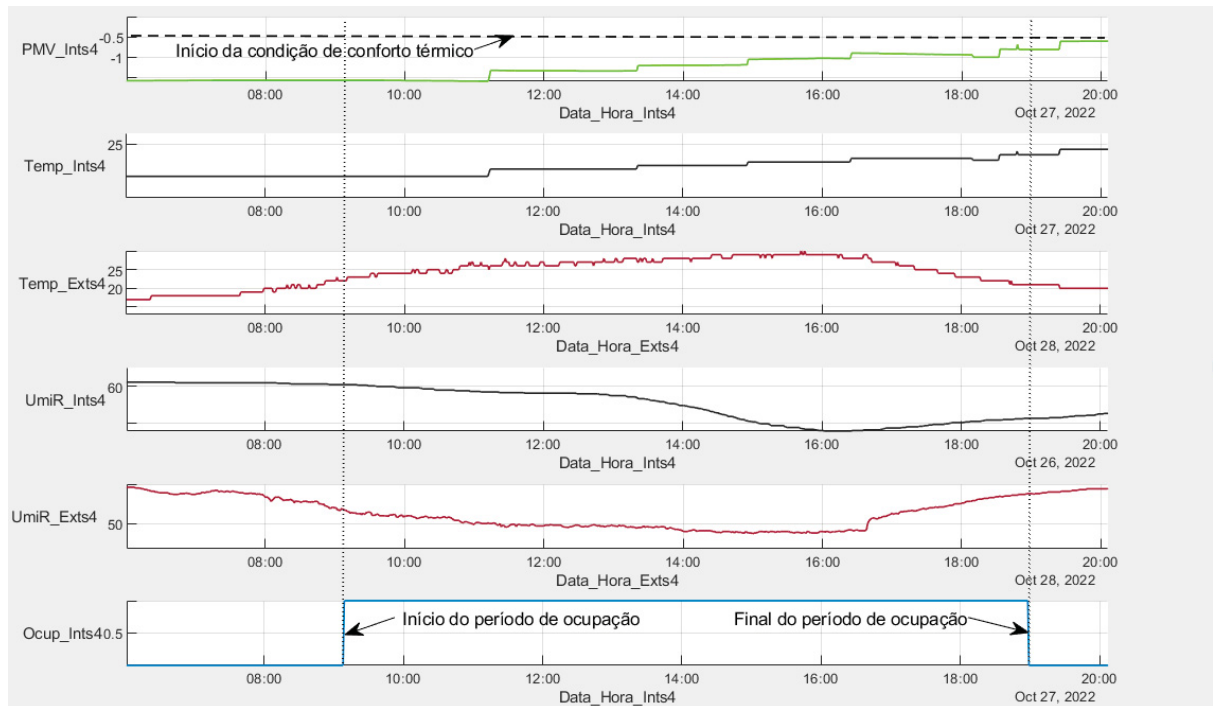


Fonte: Do autor (2022).

Analisando melhor esse tempo, o sistema ficou durante 60 minutos trabalhando para manter a temperatura em patamares incompatíveis para o atingimento de conforto, o que baseado com a estratégia de cálculo do item 2.5 do capítulo 2 corresponde a 3,05 KWh, consumo que poderia ser menor caso a TAI estivesse adequada ao parâmetro de conforto indicado pelo PMV, que seria considerado pelo sistema de controle e gerenciamento.

Essa hipótese para o caso do SDCA resfriando o ambiente, também é válida, mas de acordo com as análises, trabalhando em uma estratégia de controle diferente, uma vez que a TAI e URI respondem de forma diferente se comparado ao modo de aquecimento, onde baseado nas medições realizadas, nota-se que o processo de resfriamento se dá de forma mais lenta, necessitando maior tempo de funcionamento do sistema para mudança significativa na temperatura. Isto podemos notar na FIGURA 5.3, nela está apresentada os gráficos do dia 27/10/2022, onde a TAI fica em média durante o período de ocupação em 22,95°C com desvio padrão de 0.6189, enquanto externamente a temperatura ficou em 26°C, o que comprova o funcionamento do sistema de resfriamento, porém com capacidade menor de realizar grandes mudanças nas variáveis de temperatura se comparado ao modo de aquecimento.

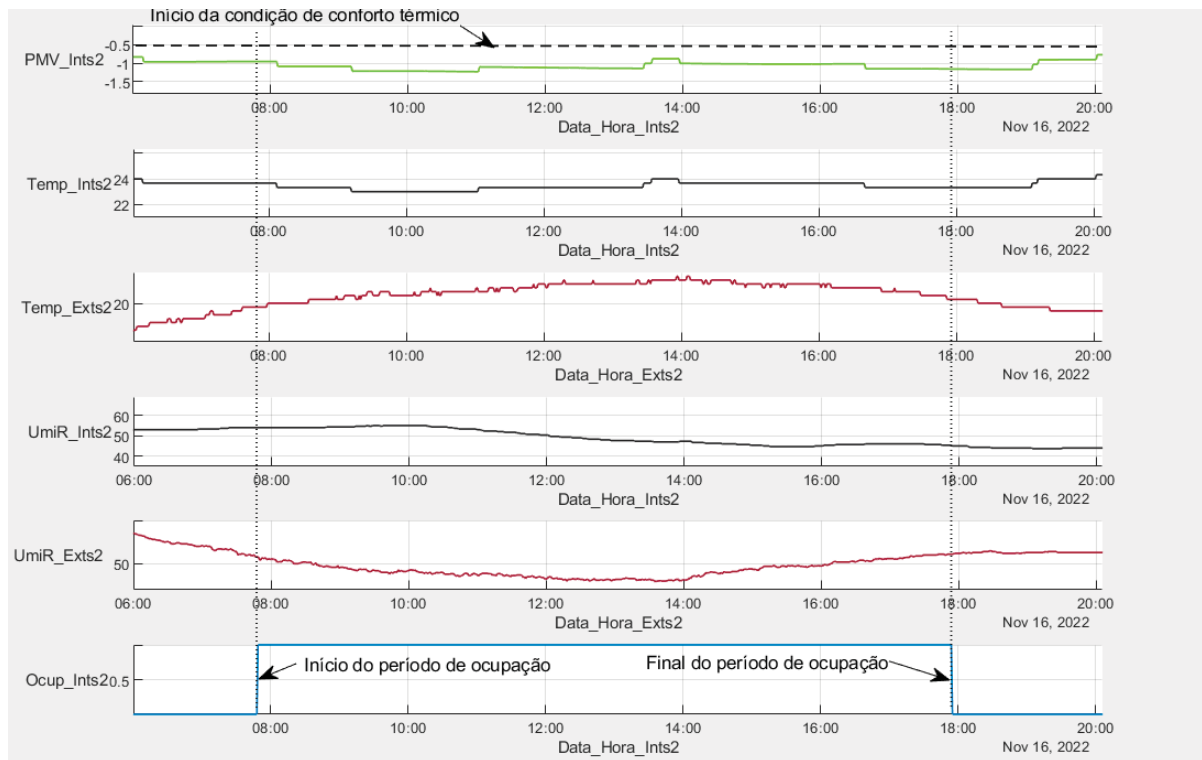
FIGURA 5.3 - Constatação do uso do SDCA resfriando o ambiente: Dia 27/10/2022.



Fonte: Do autor (2022).

Para compactuar com esta verificação, o gráfico do dia 16/11/2022 demonstra justamente o descrito anteriormente, pois de acordo com informações colhidas junto aos técnicos quanto ao *set point* da máquina e inclusas na TABELA 4.5 do item 4.3.1 que traz os comentários quanto a esse acionamento, a temperatura estava programada para 19°C, o que não aconteceu em nenhum momento de acordo com a FIGURA 5.4, segundo gráfico em preto, abaixo mostrado.

FIGURA 5.4 – Constatação do uso do SDCA resfriando o ambiente: Dia 16/11/2022.



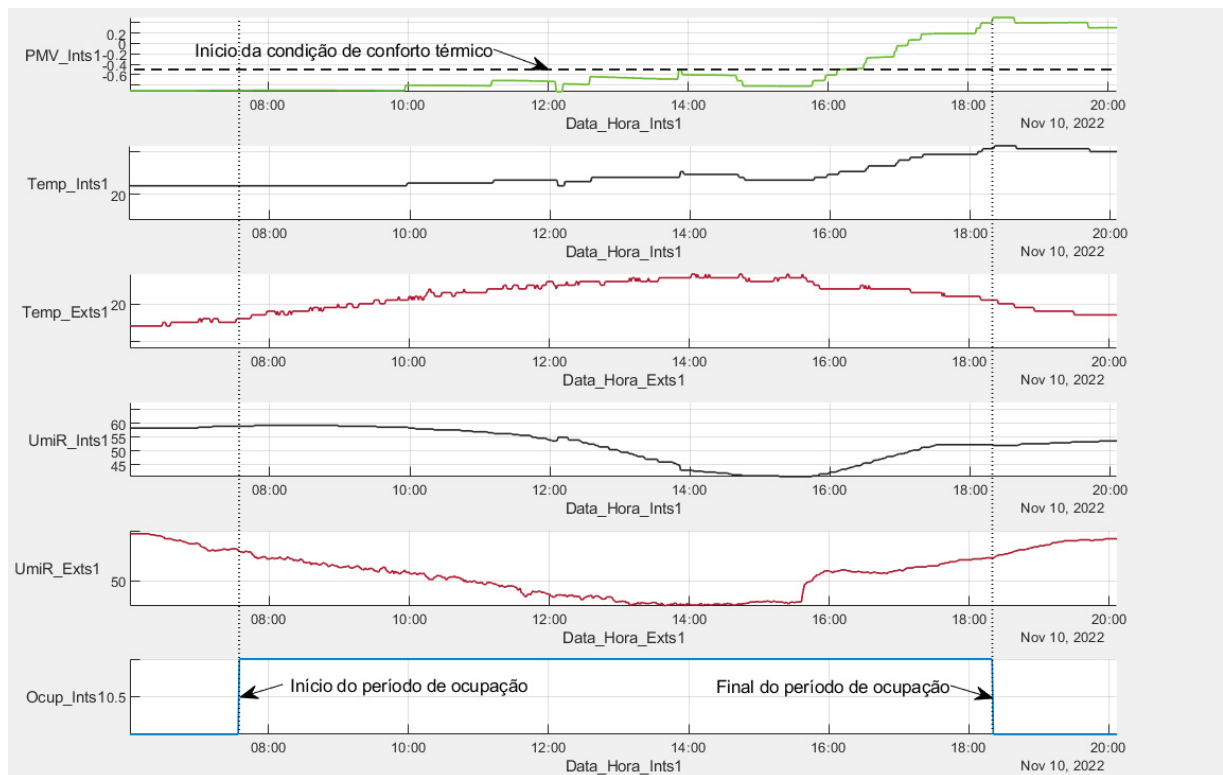
Fonte: Do autor (2022).

Conforme as medidas que remontam o gráfico, a temperatura média neste dia durante o tempo de ocupação foi de 23,40°C com desvio padrão de 0,2616. Desta forma, baseado nos gráficos deste tipo de acionamento, levanta-se a hipótese de que para integração de conforto térmico com eficiência é interessante que o sistema seja acionado mais perto o possível da temperatura alvo que irá colocar os ocupantes dentro da condição de conforto, uma vez que o sistema não consegue fazer grandes mudanças nesses parâmetros, e para isso é novamente interessante que um sistema de controle realize tal ação, uma vez que o acionamento manual feito por pessoas que utilizam a sala como técnicos ou alunos podem acarretar em *set points* incorretos, levando preferências pessoais que diferem da maioria e que podem ocasionar perdas no conforto e/ou na eficiência.

Para reforçar isto, nas duas situações vistas anteriormente, embora os valores de PMV demonstrem desconforto por parte dos ocupantes, em nenhum momento é verificado, seja por meio de coleta de informações com os técnicos da sala ou por meio das imagens do sistema de monitoramento, sinais de desconforto por parte dos ocupantes, no entanto, no dia 10/11/2022 representado pelos gráficos na FIGURA 5.5, nota-se situação similar aos dias 27/10 e 16/11/2022 no quesito PMV dos ocupantes,

conforme podemos notar na TABELA 4.3 apresentada no item 4.2, porém verificando as imagens, nota-se que o SDCA foi desligado por volta das 15:40, e em entrevista com os técnicos da sala quanto a este dia, eles relataram que os ocupantes solicitaram o desligamento do sistema em razão do frio sentido, possivelmente por conta da função ventilador do equipamento estar ventilando o ar frio sobre os ocupantes da sala, colocando essas pessoas em situação de desconforto, portanto reforçando a necessidade de controle automático das funções do equipamento para uma melhor promoção de conforto térmico e eficiência no ambiente.

FIGURA 5.5 - Constatação do SDCA resfriando o ambiente com função ventilador: Dia 10/11/2022.



Fonte: Do autor (2022).

### 5.1.2. HIPÓTESE EM RELAÇÃO A ABERTURA E FECHAMENTO DE ENTRADAS DE FLUXO DE AR

Outra hipótese verificada agora em função da observação das gravações do SDMI é quanto a abertura/fechamento de entradas de fluxos de ar (porta e janelas). Tal hipótese se baseia no observado nos dias 30/09, 06/10 e 10/10 onde de acordo com o descrito na TABELA 4.3 da sessão 4.2 apresentada anteriormente, notou-se que com a mudança no estado de aberto para fechado da porta e janelas, inicia-se a

mudança de temperatura no recinto sentida pelos sensores. Além disso, se compararmos o tempo de rampa dos dias 20/10/22 da FIGURA 5.2 e do dia 28/09/2022, nota-se que para a temperatura atingir o seu máximo e estabilizar, demonstrando indícios que o *set point* da máquina foi alcançado, necessitou-se de 01:23h para o dia 20/10/22 e 01:41h para o dia 28/09/22, dias nos quais as portas e janelas estavam fechadas, enquanto para os dias em que se demorou mais para fechar portas e janelas, como por exemplo nos dias 30/09,06/10 e 10/10 os tempos de rampa ficaram na casa das 02:20h em média. A TABELA 5.1 apresenta essa comparação para ficar mais claro a constatação realizada, apresentando as informações quanto ao tempo de rampa e fechamentos de porta e janelas, vindas da TABELA 4.4 do item 4.3.1.

TABELA 5.1 – Comparação entre o fechamento de entradas de fluxo de ar x tempo de rampa

Data/Hora Inicial	Data/Hora Final Rampa	Rampa	PMV méd. com ocup.	Tempo que demorou para fechar janelas/Porta
30/08/2022 15:34	30/08/2022 17:42	02:08	-1.0289/	Abertas todo o tempo
			0.5109	
28/09/2022 12:00	29/09/2022 13:41	01:41	-0.5605/	Fechadas desde o começo
			0.3967	
06/10/2022 11:22	06/10/2022 13:37	02:15	-0.6906/	4 minutos Porta fechada, janelas abertas todo o tempo
			0.4272	
10/10/2022 11:36	10/10/2022 13:58	02:22	-0.7139/	80 minuto depois janelas e porta encostada
			0.2955	
20/10/2022 11:33	20/10/2022 12:56	01:23	-0.4662/	10 minutos para fechar porta e janelas
			0.5702	

Fonte: Do autor (2023).

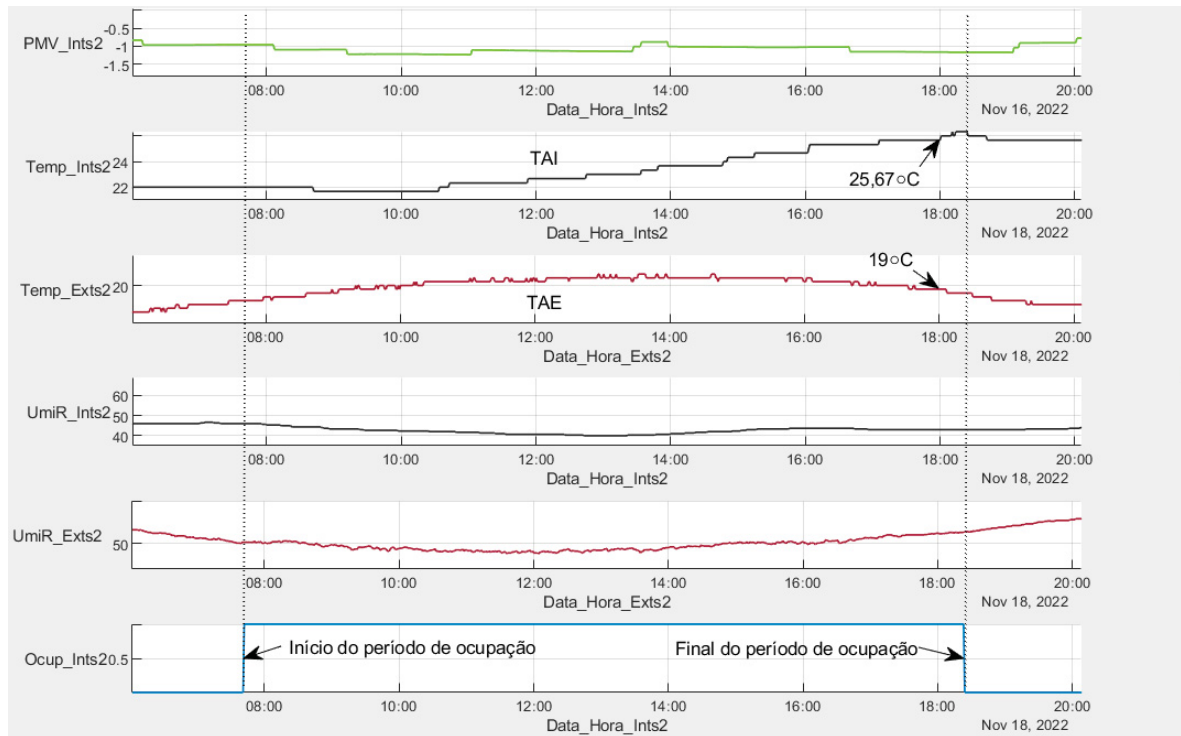
Podemos notar com a tabela acima, que além do tempo de rampa ser melhorado pelo fechamento das janelas e porta, o PMV nos dias em que a mudança de aberto para fechado aconteceu mais rápido também é melhor em sua média, indicando que potencialmente a questão de conforto e eficiência pode ser melhorada com a adoção dessa estratégia de fechar as entradas de fluxo de ar ao realizar o acionamento do SDCA.

### 5.1.3. HIPÓTESE QUANTO A LOTAÇÃO DA SALA

Ao investigar mais sobre a grande diferença no tempo de rampa do dia 31/08/2022 se comparado com as demais situações, notou-se o comportamento

atípico no dia 18/11/2022, onde a TAI em alguns momentos estava mais alta que TAE, no entanto a URI não decrescia tanto assim para caracterizar um acionamento do SDCA, conforme podemos visualizar na FIGURA 5.6 mostrada na sequência, onde as 18:00 horas a TAI era de 25,67°C com desvio padrão de 1,1547, e externamente a TAE era de 19°C.

FIGURA 5.6 - Gráfico das condições verificadas para o dia 18/11/2022.

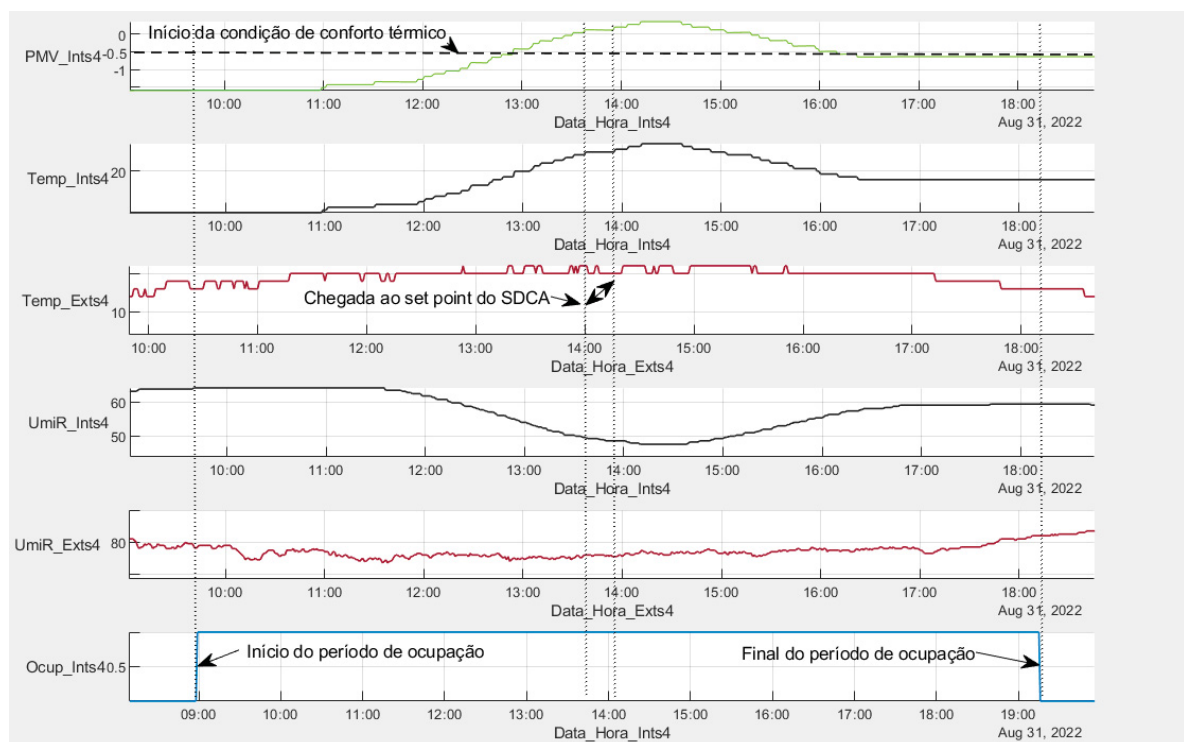


Fonte: Do autor (2022).

Ao verificar o ocorrido durante este dia nas gravações do SDMI, produzindo as anotações do item 4.3.1, TABELA 4.5, notou-se a ocorrência de aulas no referido dia do início da tarde por volta das 13:00 com final próximo às 18:00, com uma lotação praticamente constante de cerca de 18 pessoas na sala, o que causou um delta de 7,33°C da TAI para a TAE, servindo como base então para a hipótese de que a quantidade de pessoas na sala influencia na TAI afetando o conforto térmico no ambiente e a eficiência do SDCA caso ele esteja em funcionamento. Para reforçar esta hipótese, analisando mais minuciosamente, agora o gráfico do dia 31/08/2022 apresentado na FIGURA 5.7, nota-se que antes do máximo do gráfico, houve um período de 17 minutos de estabilidade na TAI da sala PK8, o que refletiu em 17 minutos da mesma forma no PMV, vindo a aumentar às 13:58, hora na qual a aula no

dia em questão iniciava, contando com a lotação das 17 pessoas, o que estima-se que acarretou no aumento da TAI da sala, condição que levou o PMV de 0,1229, para 0,3567, não retirando os ocupantes da sala da condição de conforto de acordo com o PMV na maioria, porém aumentando em 1°C a temperatura interna, o que se verificado por um sistema de controle, poderia servir como entrada fazendo com que o sistema diminuísse a temperatura de *set point* da máquina, promovendo uma possível economia de energia elétrica. Outra possibilidade, sendo essas aulas regulares durante o semestre, é do sistema de controle acessar essa informação de acordo com o determinado dia da semana, agindo em avançado para atingir o PMV desejado, considerando automaticamente este efeito na TAI.

FIGURA 5.7 - Gráfico das condições verificadas para o dia 31/08/2022.



Fonte: Do autor (2022).

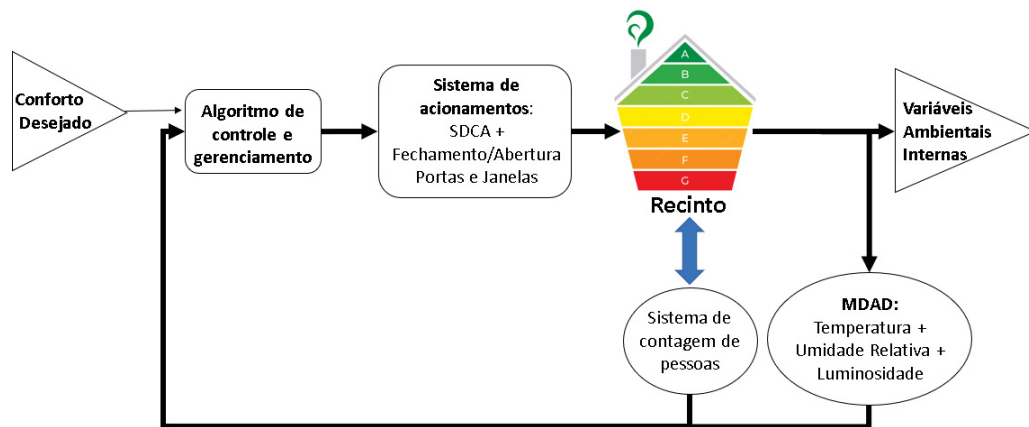
## 5.2. ARQUITETURA DO SISTEMA DE CONTROLE E GERENCIAMENTO DO SDCA

Com base nas hipóteses desenvolvidas fundamentadas pelas análises das medidas realizadas, em linhas gerais, concluiu-se que para uma melhor integração de conforto térmico e eficiência energética no ambiente acadêmico estudado, é necessária a implementação de um sistema de controle e gerenciamento para a

utilização do SDCA, além de controlar e considerar outras variáveis, como a abertura de entradas de fluxo de ar e quantidade de pessoas utilizando a sala, visto que esses fatores afetam a condição de conforto e devem ser consideradas para ajustes, e por consequência, uso mais eficiente da energia elétrica. Portanto, de forma complementar é justificável a caracterização construtiva desse sistema de controle e gerenciamento.

Fundamentalmente, o sistema de controle e gerenciamento do SDCA deveria ter como parâmetro de entrada, a temperatura operativa média na qual a maioria dos ocupantes se encontrassem satisfeitos em termos da temperatura no ambiente, temperatura essa que pode ser incluída no algoritmo como um valor variável, que se altera automaticamente ao verificar condições externas, uma vez que dias mais frios acarretam em um ITV maior e portanto temperatura operativa menor e já dias mais quentes ITV menor, com temperatura operativa maior. Para compor o sistema supervisorio do atingimento da temperatura no recinto, pode ser implementado o *hardware* desenvolvido neste trabalho apresentado no item 2.2 do capítulo 2, incluindo uma melhoria para acionamento do SDCA via relé, para acionamento por meio deste mesmo kit de sensores e agora atuadores, do SDCA no recinto. Para controle e consideração da lotação, seria necessário a adição no sistema existente ou criação de novo módulo com atuadores e conjunto mecânico para abertura e fechamento automático das janelas e portas, além de outro módulo posicionado na entrada, utilizando sensoriamento para contagem de pessoas, o que poderia considerar a luminosidade no ambiente que já estava sendo medida, como fator de confiança no número registrado como resposta do contador posicionado na porta. O diagrama de blocos da FIGURA 5.8, representa uma visão macro do sistema de controle e gerenciamento do SDCA, incluindo os demais subsistemas.

FIGURA 5.8 – Diagrama Macro do sistema de controle e gerenciamento do SDCA.



Fonte: Do autor (2023).

De forma complementar, além dos acionamentos do SDCA e da abertura e fechamento das entradas de fluxo de ar, com a contagem da quantidade de pessoas na sala, utilizando a questão da luminosidade no ambiente como fator de confiança, pode-se adicionar o acionamento/desacionamento automático do sistema de iluminação, com a constatação que o ambiente não conta com ocupação. Essa possibilidade amplia a questão da eficiência energética para o sistema de iluminação melhorando ainda mais a eficiência no uso do ambiente acadêmico.

Realizada a implementação do sistema de gerenciamento, de forma prévia, é possível converter os consumos ineficientes identificados no capítulo 4, em economias. A TABELA 5.2 relaciona os consumos ineficientes, totalizando a potência elétrica aproximada, que pode ser economizada. Outras economias em função dessa implementação, podem ser atingidas também, uma vez que o *set point* da máquina estará ajustado, e a real necessidade do acionamento do SDCA também será considerado.

TABELA 5.2 – Possíveis economias com a implementação do sistema de controle e gerenciamento

Dia de Consumo	Energia elétrica Consumida (kWh)
31/08/2022	21.15
15/09/2022	14.8
28/09/2022	10.78
30/09/2022	15
20/10/2022	11.23
27/10/2022	43.41
10/11/2022	16.55
16/11/2022	28.22
<b>Total:</b>	<b>114.41</b>

Fonte: Do autor (2023).

Os desafios para a implementação desse sistema passam pela própria concepção dele, uma vez que os sistemas de acionamentos e de contagem de pessoas deveriam ser desenvolvidos. Além disso, possivelmente para acionamento do sistema de fechamento e abertura de portas e janelas, uma mudança mecânica estrutural no conjunto possivelmente seria necessário, adicionando ainda mais custo ao desenvolvimento dos sistemas complementares e necessidade de tempo. Outro fator que pode ser citado como um desafio de implementação é o desenvolvimento de um estudo para fixar as temperaturas operativas médias que serviram como parâmetro de entrada para o algoritmo de controle e gerenciamento, além do desenvolvimento deste mesmo algoritmo, que necessitaria de tempo para desenvolvimento e validação do controle, por meio de testes e ensaios.

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. CONCLUSÕES DO TRABALHO

Este trabalho trouxe uma investigação e levantamento de condições ambientais (internas da edificação) e fenômenos, que impactam no planejamento e utilização da energia elétrica no prédio PK do Departamento de Engenharia Elétrica (DELT) da UFPR. Adicionou-se a preocupação com o conforto térmico dos ocupantes, que conforme visto ao longo da dissertação, fato este que também deve ser considerado e estudado de forma conjunta com a questão de eficiência. Sabe-se que o desempenho humano na utilização desses recintos está fortemente relacionado com a questão de conforto, e perdas neste sentido podem ser traduzidas como perdas de produtividade.

Em termos de atingimento de objetivos, o objetivo número 1 é atingido no capítulo 2, no item 2.2. Os objetivos número 2,3 e 4 são atingidos ao longo do desenvolvimento dos capítulos 3 e 4, onde inicialmente apresenta-se a metodologia de tratamento e mecanismo de análise utilizado e posteriormente atinge-se o objetivo definido. Finalmente o objetivo número 5 é atingido no capítulo 5.

Em relação ao IoT desenvolvido neste trabalho, conforme os testes realizados no período de desenvolvimento, foram monitorados dados de Abril a Novembro de 2022, de forma satisfatória e sem grandes intervenções humanas. Portanto, considerou-se o MDAD desenvolvido, apresentando uma solução suficiente para o monitoramento de dados ambientais de temperatura do ar, umidade relativa e luminosidade interna.

Com as medidas realizadas internamente, conforme as análises desenvolvidas no capítulo 4, foram constatados 11 momentos em que fenômenos percebidos em mudanças de temperatura e umidade relativa interna, se traduziram em fenômenos de utilização e consumo de energia elétrica. Dentro desses 11 momentos, outros fenômenos puderam ser verificados e observou-se 1 momento em que não houve acionamento do SDCA. Porém, os dados medidos chamaram a atenção, alertando sobre o acontecimento de outra situação interessante para investigação. Notou-se que o conforto térmico foi afetado e, potencialmente, pode afetar de forma positiva o consumo de energia elétrica. Já que, pela questão da ocupação, verificou-se o aumento de 1°C na TAI. Desta forma, considerou-se as

medidas realizadas satisfatórias para observação de fenômenos de utilização de energia e fenômenos que afetam o conforto na sala PK8.

As análises realizadas quanto aos acionamentos do SDCA constatados, verificaram dados relativos aos acionamentos. O potencial para melhoria na questão do uso da energia elétrica, tendo como fator principal a promoção de conforto térmico, que foi apresentado nas hipóteses do capítulo 5. Esse fator que foi calculado e estimado utilizando as técnicas de PMV, que foram comparadas com as medidas realizadas, constando se houve ou não atingimento da condição de conforto térmico durante os acionamentos. Avaliou-se o uso da energia elétrica aconteceu de forma eficiente, o que gerou propostas para integração da condição de conforto e eficiência no ambiente acadêmico, desenvolvidas no capítulo 5. Baseado nisto, concluiu-se que as análises e a verificação do PMV durante os momentos de acionamentos foram bem desenvolvidos.

Finalmente, foram desenvolvidas hipóteses baseadas nas medidas e análises realizadas até então, apontando a questão do método de acionamento do SDCA, a abertura e fechamento das entradas de fluxo de ar e a lotação da sala PK8 como potenciais medidas que se adequadas/controladas podem gerar ganhos na questão do atingimento do conforto térmico e consumo de energia elétrica.

No entanto, embora considere-se atingido os objetivos descritos no item 1.1 do capítulo 1, é possível verificar aspectos que poderiam ser melhorados, como por exemplo a questão da assertividade dos valores de PMV, que poderiam ser mais bem verificados com base em uma análise mais profunda, agora utilizando as medidas de temperatura de globo para encontrar a temperatura média radiante do ambiente. Além disso, seria interessante incorporar ao MDAD um medidor de corrente, para monitoramento de mais esse dado, o que seria interessante para análise mais precisa da potência elétrica consumida pelo sistema elétrico que desejar monitorar, como exemplo o SDCA ou o sistema de iluminação.

É importante ressaltar ainda, que dentro das análises realizadas quanto ao SDCA, pôde-se destacar a baixa capacidade de realizar mudanças na temperatura interna do ar, o que pode ser indícios de problemas no funcionamento do SDCA, causado pela mudança de propriedades do refrigerante ou até mesmo falta dele, uma vez que grandes vazamentos deste gás podem afetar diretamente a eficiência destes equipamentos (WIRZ, 2012).

## 6.2. DIREÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Em trabalhos futuros, seria interessante desenvolver um trabalho para calibração do índice de PMV observado na PK8 e talvez, expandir a análise para todo o bloco PK, similar pelo realizado por Hang, Lin e Kuo(2006) onde a temperatura operativa neutra ficou por volta dos 26,3°C, utilizando conjuntos de roupas entre 0.4 até 0.7 clo. Neste trabalho apenas a sala PK8 foi analisada, e os conjuntos de roupas atribuídos em alguns casos foram maiores, o que pode levar essa temperatura de neutralidade térmica para patamares menores, proporcionando uma temperatura de trabalho para o SDCA menor, oferecendo um possível ganho em eficiência.

Outra abordagem que pode ser realizada após o desenvolvimento do estudo de calibração do PMV, é o desenvolvimento de dados também baseados no presente estudo, porém buscando identificar correlações quanto as hipóteses verificadas aqui, desenvolvendo como resultado, um modelo para descrição analítica dos estados identificados para aplicação de métodos de controle, conforme o realizado por Avontis *et. al* (2018).

Além disso, dentro da bibliografia descrita no capítulo 2, no item 2.5, nota-se que há uma tecnologia de condicionamento de ar que em linhas gerais faz o mesmo trabalho de um SDCA, porém sem diminuir tanto a umidade relativa do ar, sendo mais indicado para aplicações que busquem oferecer conforto. Essa tecnologia é a dos climatizadores evaporativos, e um estudo de viabilidade pode ser pertinente uma vez que o equipamento pode consumir a mesma potência, oferecendo ganhos no aspecto de conforto, conforme desenvolvido por Fonseca, Silva e Pereira(2015).

## REFERÊNCIAS

Abdulgader, M., Lashhab, F. Energy-Efficient Thermal Comfort Control in Smart Buildings, 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2021, pp. 0022-0026.

ANSI/ASHRAE 55. American National Standards Institute. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Thermal Environmental Conditions of Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010.

Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021. Brasília, 2021.

AVOTINS, A., PODGORNOVS, A., SENFELDS, A., VEGERIS M. A., "IoT solution approach for energy consumption reduction in buildings: Part 2. Measurement setup and practical data analysis", Engineering for Rural Development, vol. 17, pp. 923-929, 2018.

AVOTINS, Ansis et al. IoT Solution Approach for Energy Consumption Reduction in Buildings: Part 3. Mathematical Model of Building and Experimental Results. In: **2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)**. IEEE, 2018. p. 1-8.

Batiz, Eduardo Concepción et al. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. Production. 2009, v. 19, n. 3, pp. 477-488.

Correia, O. V. S. *et al.* Avaliação do conforto térmico em uma sala de aula. XXXVI Encontro nacional de engenharia de produção. João Pessoa, 2016.

Curto-Circuito. Placa DOIT ESP32 - ESP32-WROOM-32D - WiFi / Bluetooth. Disponível em: < <https://curtocircuito.com.br/placa-doit-esp32-esp32-wroom-32d-wifi-bluetooth.html> > Acesso: 15 ago 2023.

Curto-Circuito. Módulo DHT22 - Sensor de Temperatura. Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/modulo-dht22-sensor-de-temperatura.html>> Acesso: 12 ago. 2023.

Curto-Circuito. Sensor de Luminosidade - LDR - 5mm. Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/sensor-de-luminosidade-ldr-5mm.html>> Acesso: 14 ago 2023.

EPE. Balanço Energético Nacional 2020. Rio de Janeiro. 2020b.

Etiquetagem em Edificações. PROCEL info, 2009. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em: 12 de ago de 2023.

Fanger, P. O. (1972). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, 244.

FERNANDES, Leandro Carlos; KRÜGER, Eduardo L. Temperatura Radiante média obtida via termômetro de globo: análise crítica de dados de um estudo de campo. **Revista de arquitetura IMED**, v. 8, n. 1, p. 147-163, 2019

FILHO, Matheus Teodoro da S. Fundamentos de Eletricidade. São Paulo: Grupo GEN, 2007.

FONSECA, L. A., SILVA, DE O. F., PEREIRA, P. F. R., Análise de Viabilidade Econômica da Implementação de Climatizadores Evaporativos no Ambiente Acadêmico. Faculdade de Engenharia de Resende. Resende. 2012.

FORTES, D. P., JARDIM, W. C. F. P. M. G. P. FERNANDES, G. J. Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar condicionado. In: XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2015, Resende.

Frătean, A., Dobra, P. The impact of control strategies upon the energy flexibility of nearly zero-energy buildings: Energy consumption minimization versus indoor thermal

comfort maximization, 2018 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), 2018, pp. 1-6.

FROTA, A.B. , SCHIFFER, S.R. Manual do Conforto Térmico. 4ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

Gao, Guanyu, Jie, Li, Yonggang, Wen. DeepComfort: Energy-Efficient Thermal Comfort Control in Buildings Via Reinforcement Learning. IEEE Internet of Things Journal 7 (2020): 8472-8484.

GUO, Siyue et al. Modelling building energy consumption in China under different future scenarios. **Energy**, v. 214, p. 119063, 2021.

Hwang, R.L, Lin, T. P, Kuo, N.J. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan, Energy and Buildings, Taiwan, V.38, 53–62, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730: Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. 1994.

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano, PEREIRA, Fernando O. R. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, Roberto. CONFORTO E STRESS TÉRMICO. Laboratório de eficiência energética em edificações. Julho, 2011. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil.

LIU, Thomas. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302). **Aosong Electronics Co.**, Ltd, 2013.

LU, F. et al., "The effect of spacing between luminaires on visual comfort," 2014 11th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), 2014, pp. 88-91, doi: 10.1109/SSLCHINA.2014.7127228.

MACHESO, Paul et al. Design of Standalone Asynchronous ESP32 Web-Server for Temperature and Humidity Monitoring. In: **2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)**. IEEE, 2021. p. 635-638.

MARTINS, Gilberto de A.; DOMINGUES, Osmar. Estatística Geral e Aplicada, 6ª edição. São Paulo, Brasil, Grupo GEN, 2017. ISBN 9788597012682.

MENDONÇA, Cláudio Márcio Campos de; ANDRADE, António Manuel Valente de; NETO, Manoel Veras de Sousa. Uso da IoT, big data e inteligência artificial nas capacidades dinâmicas e seus microfundamentos. In: **15th International Conference on Information Systems and Technology Management-CONTECSI-2018**. Universidade de São Paulo, 2018. p. 4839-4861.

MILLER, Rex; MILLER, Mark. Ar-Condicionado e Refrigeração, 2ª edição. São Paulo, Brasil Grupo GEN, 2014. ISBN 978-85-216-2612-1.

MUDREK, Mayara Roberta Meger; CANCELIERI, Osiris Junior; FREIRE, Roberto Zanetti. EQUIPAMENTO PARA MENSURAR CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES NATURALMENTE E ARTIFICIALMENTE CLIMATIZADOS: UM ESTUDO DE CASO EM LABORATÓRIOS DE ENSINO E PESQUISA. In: **Congresso Brasileiro de Automática-CBA**. 2019.

NALON, José A. Introdução ao Processamento Digital de Sinais. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

O programa. PROCEL info, 2006. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}> >. Acesso em: 14 de ago de 2023.

PÉREZ-LOMBARD, Luis. ORTIZ, José, POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings. Vol. 40(3):394-398. 2007.

PINHEIRO, Borrher Lenon, CARDOZO, Anitelli Leonardo Wellington. **Sistema supervisório sem fio para controle de temperatura de ar-condicionado**. Trabalho de Graduação - Curso de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

RHEEM DO BRASIL. Catálogo de Ar Condicionado: Linha mini Split, 2012. São Paulo. 2012.

SEABRA, Antônio C.; ALBUQUERQUE, Rômulo O. **Utilizando Eletrônica com AO, SCR, TRIAC, UJT, PUT, C.I 555, LDR, LED, IGBT e FET de POTÊNCIA**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012.

Selo Procel Edificações. PROCEL info, 2006. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}> >. Acesso em: 14 de ago de 2023.

UMAROV, A. et al. Microclimate Monitoring System for a Home Greenhouse as Part of ESP32. TEST Engineering & Management, v. 82, n. 1-2, p. 4564-4573, 2020.

VALVERDE, Juliana Viéguas de Lima. A influência do conforto luminoso na satisfação dos profissionais que atuam no ginásio do Centro de Reabilitação Infantil, Natal-RN. 2014. 206f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

VEITCH, J. A. Psychological processes influencing lighting quality. Journal of the Illuminating Engineering Society. V. 54, n.6. p. 124-140. 2001. Disponível em: < <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc42469/nrcc42469.pdf> >. Acesso em: 14 ago de 2023.

Wang, Zhaojun. A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin. Building and Environment V.41, 2006.

WIRZ, Dick. Refrigeração Comercial - Para técnicos em ar-condicionado - Tradução da 2ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2012. ISBN 9788522113316.

W.M.O., World Climate Programme Applications, Climate and Human Health. World Meteorological Organization, 1987.

## APÊNDICE 1 – CÓDIGO PARA DESENVOLVIMENTO E ACESSO DO BANCO DE DADOS

O código abaixo, recebe a URL enviada pelo MDAD. Ele organiza as informações e as salva gerando um arquivo .csv. Um novo arquivo para armazenamento dos dados é criado a cada novo mês.

```
<?php

//https://www.compassio.com.br/mdad/get.php?_k="+key+"&_m="+macDisp+"&

// Validações das variáveis vazias:
if(!isset($_GET["_k"])){ die("ERRO: Token key não informado!"); }
if(!isset($_GET["_m"])){ die("ERRO: MAC não informado!"); }
if(!isset($_GET["tf"])){ die("ERRO: Temperatura não informada!"); }
if(!isset($_GET["hf"])){ die("ERRO: Humidade não informada!"); }
if(!isset($_GET["vf"])){ die("ERRO: Tensão não informada!"); }
if(!isset($_GET["lf"])){ die("ERRO: Leitura filtrada não informada!"); }
if(!isset($_GET["rl"])){ die("ERRO: LUX não informado!"); }

// Validação do token:
if(isset($_GET["_k"]) != "-----"){ die("ERRO: Token inválido!"); }

//$file_name = date("Y-m-d").'.csv';
$file_name = date("Y-m").'.csv';
$fp = fopen($file_name, 'a+');

$sep = ',';
$str = date("d/m/Y");
$str .= $sep.date("H:i:s");
$str .= $sep.$_GET["_m"];
$str .= $sep.$_GET["tf"];
$str .= $sep.$_GET["hf"];
$str .= $sep.$_GET["vf"];
$str .= $sep.$_GET["lf"];
$str .= $sep.$_GET["rl"];
$str .= PHP_EOL;

fwrite($fp, $str);
fclose($fp);

// Mensagem de retorno:
echo
'OK|https://compassio.com.br/mdad/' . $file_name . '|' . $_GET["_m"] . '|' . date("d/m/Y") . '-' . date("H:i:s");

?>
```

Para acesso e controle de reset dos dados contidos em um arquivo .csv criado, o código abaixo possibilita o acesso por meio de uma página web, que pode ser acessada pelo navegador de qualquer computador que possua o endereço.

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-br">
<head>
  <Title>MDAD</Title>
</head>
<body>
  <?php

  if(isset($_GET["a"])){
    if(trim($_GET["a"]) == "RESET"){
      unlink($_POST["nome"]);
      echo '<div>Arquivo zerado com sucesso!</div>';
    }
  }

  ?>
  <form action="?a=RESET" method="post">
    <div>
      <label for="nome">Informe o nome do csv para zerar:</label>
      <input type="text" id="nome" name="nome" />
    </div>
    <div class="button">
      <button type="submit">Resetar</button>
    </div>
  </form>
  <br><br>
  <hr/>
  Arquivos:
  <div>
  <?php
    if ($handle = opendir('.')) {
      while (false !== ($entry = readdir($handle))) {
        if ($entry != "." && $entry != ".." && $entry != "reset.php"
&& $entry != "get.php") {
          echo '<a target="_blank" href=".'.$entry.'">'.$entry" .
'</a>' . PHP_EOL;
        }
      }
      closedir($handle);
    }
  ?>
  </div>
</body>
</html>

```

## APÊNDICE 2 – SCRIPT DE PLOTAGEM DOS GRÁFICOS

Este script serve para comparação dos gráficos resultado das medidas de temperatura, umidade relativa e luminosidade interna realizadas, as quais comparou-se com a temperatura e umidade relativa externa. A criação dos gráficos está separada por semana, sendo gerada apenas para as semanas que foram constatados acionamentos do sistema de condicionamento de ar dentro do mês. Os gráficos de cada semana são plotados individualmente, para tanto no script destinado a plotagem de outra semana, deve ser incluso o sinal de percentual.

```
clear;
close all;
clc;

%-----Desenvolvimento dos gráficos de Outubro Semana 1 - Interno ----- %

%Extrato_Novembro22_Interno_s1 = 'Extrato_Novembro22_Interno_s1.csv';
%opts = detectImportOptions(Extrato_Novembro22_Interno_s1);
%opts.SelectedVariableNames = {'Data_Hora_Ints1','Temp_Ints1','UmiR_Ints1',...
%   'Ocup_Ints1','PMV_Ints1'};
%opts = setvartype(opts,'Data_Hora_Ints1','datetime');
%opts = setvaropts(opts,'Data_Hora_Ints1','InputFormat',...
%   'MM/dd/uu HH:mm');
%opts = setvartype(opts,{'Temp_Ints1','UmiR_Ints1','Ocup_Ints1',...
%   'PMV_Ints1'},'double');
%getvaropts(opts,{'Data_Hora_Ints1','Temp_Ints1','UmiR_Ints1','Ocup_Ints1',...
%   'PMV_Ints1'});
%t_int = readtimetable(Extrato_Novembro22_Interno_s1,opts);

%-----Desenvolvimento dos gráficos de Outubro Semana 1 - Externo ----- %

%Extrato_Novembro22_Externo_s1 = 'Extrato_Novembro22_Externo_s1.csv';
%opts = detectImportOptions(Extrato_Novembro22_Externo_s1);
%opts.SelectedVariableNames = {'Data_Hora_Exts1','Temp_Exts1','UmiR_Exts1'};
%opts = setvartype(opts,'Data_Hora_Exts1','datetime');
%opts = setvaropts(opts,'Data_Hora_Exts1','InputFormat',...
%   'MM/dd/uu HH:mm');
%opts = setvartype(opts,{'Temp_Exts1','UmiR_Exts1'},'double');
%getvaropts(opts,{'Data_Hora_Exts1','Temp_Exts1','UmiR_Exts1'});
%t_ext = readtimetable(Extrato_Novembro22_Externo_s1,opts);

%-----Plot dos gráficos de Outubro Semana 1 ----- %

%Temp_int = t_int(:,1);
%UmiR_int = t_int(:,2);
%Ocup = t_int(:,3);
%PMV = t_int(:,4);

%Temp_ext = t_ext(:,1);
%UmiR_ext = t_ext(:,2);

%subplot(6,1,1)
%stackedplot(PMV);
%grid on;
%subplot(6,1,2)
%stackedplot(Temp_int);
%grid on;
%subplot(6,1,3)
%stackedplot(Temp_ext);
```

```

%grid on;
%subplot(6,1,4)
%stackedplot(UmiR_int);
%grid on;
%subplot(6,1,5)
%stackedplot(UmiR_ext);
%grid on;
%subplot(6,1,6)
%stackedplot(Ocup);
%grid on;

%-----Desenvolvimento dos gráficos de Outubro Semana 2 - Interno ----- %

Extrato_Novembro22_Interno_s2 = 'Extrato_Novembro22_Interno_s2.csv';
opts = detectImportOptions(Extrato_Novembro22_Interno_s2);
opts.SelectedVariableNames = {'Data_Hora_Ints2','Temp_Ints2','UmiR_Ints2',...
'Ocup_Ints2','PMV_Ints2'};
opts = setvartype(opts,'Data_Hora_Ints2','datetime');
opts = setvaropts(opts,'Data_Hora_Ints2','InputFormat',...
'MM/dd/uu HH:mm');
opts = setvartype(opts,{'Temp_Ints2','UmiR_Ints2','Ocup_Ints2',...
'PMV_Ints2'},'double');
getvaropts(opts,{'Data_Hora_Ints2','Temp_Ints2','UmiR_Ints2','Ocup_Ints2',...
'PMV_Ints2'});
t_int = readtimetable(Extrato_Novembro22_Interno_s2,opts);

%-----Desenvolvimento dos gráficos de Outubro Semana 2 - Externo ----- %

Extrato_Novembro22_Externo_s2 = 'Extrato_Novembro22_Externo_s2.csv';
opts = detectImportOptions(Extrato_Novembro22_Externo_s2);
opts.SelectedVariableNames = {'Data_Hora_Exts2','Temp_Exts2','UmiR_Exts2'};
opts = setvartype(opts,'Data_Hora_Exts2','datetime');
opts = setvaropts(opts,'Data_Hora_Exts2','InputFormat',...
'MM/dd/uu HH:mm');
opts = setvartype(opts,{'Temp_Exts2','UmiR_Exts2'},'double');
getvaropts(opts,{'Data_Hora_Exts2','Temp_Exts2','UmiR_Exts2'});
t_ext = readtimetable(Extrato_Novembro22_Externo_s2,opts);

%-----Plot dos gráficos de Outubro Semana 2 ----- %

Temp_int = t_int(:,1);
UmiR_int = t_int(:,2);
Ocup = t_int(:,3);
PMV = t_int(:,4);

Temp_ext = t_ext(:,1);
UmiR_ext = t_ext(:,2);

subplot(6,1,1)
stackedplot(PMV);
grid on;
subplot(6,1,2)
stackedplot(Temp_int);
grid on;
subplot(6,1,3)
stackedplot(Temp_ext);
grid on;
subplot(6,1,4)
stackedplot(UmiR_int);
grid on;
subplot(6,1,5)
stackedplot(UmiR_ext);
grid on;
subplot(6,1,6)
stackedplot(Ocup);
grid on;

```

## ANEXO 1 – Índice metabólico para atividades típicas – Tabela A1 ASHRAE

Activity	Metabolic Rate		
	Met Units	W/m <sup>2</sup>	(Btu/h-ft <sup>2</sup> )
<b>Resting</b>			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
Standing, relaxed	1.2	70	(22)
<b>Walking (on level surface)</b>			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
<b>Office Activities</b>			
Reading, seated	1.0	55	(18)
Writing	1.0	60	(18)
Typing	1.1	65	(20)
Filing, seated	1.2	70	(22)
Filing, standing	1.4	80	(26)
Walking about	1.7	100	(31)
Lifting/packing	2.1	120	(39)
<b>Driving/Flying</b>			
Automobile	1.0–2.0	60–115	(18–37)
Aircraft, routine	1.2	70	(22)
Aircraft, instrument landing	1.8	105	(33)
Aircraft, combat	2.4	140	(44)
Heavy vehicle	3.2	185	(59)
<b>Miscellaneous Occupational Activities</b>			
Cooking	1.6–2.0	95–115	(29–37)
House cleaning	2.0–3.4	115–200	(37–63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
Machine work			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0–2.4	115–140	(37–44)
heavy	4.0	235	(74)
Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
Pick and shovel work	4.0–4.8	235–280	(74–88)
<b>Miscellaneous Leisure Activities</b>			
Dancing, social	2.4–4.4	140–255	(44–81)
Calisthenics/exercise	3.0–4.0	175–235	(55–74)
Tennis, single	3.6–4.0	210–270	(66–74)
Basketball	5.0–7.6	290–440	(90–140)
Wrestling, competitive	7.0–8.7	410–505	(130–160)

## ANEXO 2 – Índice de isolamento térmico das roupas – Tabela B2 ASHRAE

Garment Description <sup>†</sup>	$I_{clw}$ clo	Garment Description <sup>b</sup>	$I_{clw}$ clo
<b>Underwear</b>		<b>Dress and Skirts**</b>	
Bra	0.01	Skirt (thin)	0.14
Panties	0.03	Skirt (thick)	0.23
Men's briefs	0.04	Sleeveless, scoop neck (thin)	0.23
T-shirt	0.08	Sleeveless, scoop neck (thick), i.e., jumper	0.27
Half-slip	0.14	Short-sleeve shirtdress (thin)	0.29
Long underwear bottoms	0.15	Long-sleeve shirtdress (thin)	0.33
Full slip	0.16	Long-sleeve shirtdress (thick)	0.47
Long underwear top	0.20	<b>Sweaters</b>	
<b>Footwear</b>		Sleeveless vest (thin)	0.13
Ankle-length athletic socks	0.02	Sleeveless vest (thick)	0.22
Pantyhose/stockings	0.02	Long-sleeve (thin)	0.25
Sandals/thongs	0.02	Long-sleeve (thick)	0.36
Shoes	0.02	<b>Suit Jackets and Vests<sup>††</sup></b>	
Slippers (quilted, pile lined)	0.03	Sleeveless vest (thin)	0.10
Calf-length socks	0.03	Sleeveless vest (thick)	0.17
Knee socks (thick)	0.06	Single-breasted (thin)	0.36
Boots	0.10	Single-breasted (thick)	0.44
<b>Shirts and Blouses</b>		Double-breasted (thin)	0.42
Sleeveless/scoop-neck blouse	0.12	Double-breasted (thick)	0.48
Short-sleeve knit sport shirt	0.17	<b>Sleepwear and Robes</b>	
Short-sleeve dress shirt	0.19	Sleeveless short gown (thin)	0.18
Long-sleeve dress shirt	0.25	Sleeveless long gown (thin)	0.20
Long-sleeve flannel shirt	0.34	Short-sleeve hospital gown	0.31
Long-sleeve sweatshirt	0.34	Short-sleeve short robe (thin)	0.34
<b>Trousers and Coveralls</b>		Short-sleeve pajamas (thin)	0.42
Short shorts	0.06	Long-sleeve long gown (thick)	0.46
Walking shorts	0.08	Long-sleeve short wrap robe (thick)	0.48
Straight trousers (thin)	0.15	Long-sleeve pajamas (thick)	0.57
Straight trousers (thick)	0.24	Long-sleeve long wrap robe (thick)	0.69
Sweatpants	0.28		
Overalls	0.30		
Coveralls	0.49		