



PPG  
GECON

Programa de Pós-Graduação em  
Geotecnia, Estruturas e Construção Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL (EECA)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA, ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL (PPGGECON)

PAULO JOSÉ LIMA PERILLO

## **A Influência da Envoltória no Conforto Térmico em Salas De Aula em Climas Tropicais**

D0185C18  
GOIÂNIA  
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

Paulo José Lima Perillo

#### 3. Título do trabalho

A influência da envoltória no conforto térmico em salas de aula em climas tropicais

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Andre Siqueira Campos, Professor do Magistério Superior**, em 22/01/2024, às 17:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo José Lima Perillo**, **Usuário Externo**, em 29/01/2024, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4329246** e o código CRC **8BB4E89A**.

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

Paulo José Lima Perillo

#### 3. Título do trabalho

A influência da envoltória no conforto térmico em salas de aula em climas tropicais

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Paulo José Lima Perillo**, Usuário Externo, em 29/10/2024, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Andre Siqueira Campos, Professor do Magistério Superior**, em 30/10/2024, às 01:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4929792** e o código CRC **DBE37014**.

---

Referência: Processo nº 23070.003160/2024-68

SEI nº 4929792

PAULO JOSÉ LIMA PERILLO

## **A Influência da Envoltória no Conforto Térmico em Salas De Aula em Climas Tropicais**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil (PPGGECON), da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), da Universidade Federal de Goiás (UFG) como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos

Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Loyde Vieira de Abreu-Harbich

D0185C18

GOIÂNIA

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Perillo, Paulo José Lima

A Influência da Envoltória no Conforto Térmico em Salas de Aula em Climas Tropicais [manuscrito] / Paulo José Lima Perillo. - 2018. 152 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos; co orientadora Loyde Vieira de Abreu-Harbich.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, 2018.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Conforto Térmico. 2. Desempenho Térmico. 3. Envoltória. 4. Salas de Aula. I. Siqueira Campos, Marcus André, orient. II. Título.

CDU 624



PPG  
GECON

Programa de Pós-Graduação em  
Geotecnia, Estruturas e Construção Civil



Ata de Nº 0185 da sessão de julgamento da  
Dissertação do (a) aluno (a) Paulo José Lima  
Perillo da área de concentração Construção  
Civil do PPG em Geotecnia, Estruturas e  
Construção Civil.

Aos 29 dias do mês de agosto de 2018, às 14h00, no Miniauditório do Centro de Recursos Computacionais (CERCOMP), no Campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás, reuniu-se a banca examinadora designada na forma regimental pela Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil para julgar a Dissertação intitulada "**A Influência da Envoltória no Conforto Térmico em Salas de Aula em Climas Tropicais**", apresentada pelo (a) aluno (a) **Paulo José Lima Perillo**, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de MESTRE, área de concentração Construção Civil. A Banca Examinadora foi Presidida pelo Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos, tendo como membros a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter (GECON/UFG) e a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kelen Almeida Dorneles (IAU/USP São Carlos). Aberta a sessão pública, o (a) candidato (a) teve a oportunidade de expor o trabalho. Após a exposição, o (a) aluno (a) foi arguido(a) oralmente pelos membros da Banca, os quais concluíram pelos seguintes resultados:

Membro	Instituição	Função	Resultado
Marcus André Siqueira Campos	GECON/UFG	Presidente	<u>APROVADO</u>
Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter	GECON/UFG	Examinadora Interna	<u>APROVADO</u>
Kelen Almeida Dorneles	IAU/USP São Carlos	Examinadora Externa	<u>APROVADO</u>

Tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **aprovação** do(a) candidato(a) **sem restrições**.

Não tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **reprovação** do(a) candidato(a), conforme as seguintes justificativas:

---



---

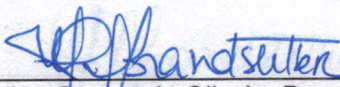


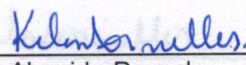
---

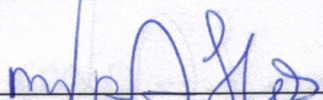


---

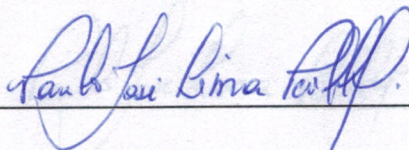
Nos termos do Regulamento Geral dos Cursos de Pós-Graduação desta Universidade, foi lavrada a presente ata que, lida e julgada conforme, segue assinada pelos membros da **Banca Examinadora** e pelo(a) **candidato(a)**.

  
\_\_\_\_\_  
Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter  
PPG-GECON/UFG

  
\_\_\_\_\_  
Kelen Almeida Dorneles  
(IAU/USP São Carlos)

  
\_\_\_\_\_  
Marcus André Siqueira Campos  
PPG-GECON/UFG

Candidato(a): Paulo José Lima Perillo

  
\_\_\_\_\_

# DEDICATÓRIA

*Durante toda a minha vida fui agraciado por ter tido minha curiosidade e meu senso moral e crítico incentivados o tempo todo por minha família. Porém, só cheguei até aqui por ter tido o apoio incondicional da minha companheira de vida, Lara Nunes. Este trabalho e este homem são frutos de sua bela e breve gravitação neste plano.*

## AGRADECIMENTOS

Completar essa etapa foi um grande desafio pessoal e profissional que não teria sido possível sem o incentivo e apoio dos meus dois orientadores, Marcus e Loyde. Sou eternamente grato aos dois por terem acreditado em minha capacidade e me impulsionado na minha carreira acadêmica e profissional, que agora se misturam. Ao professor Marcus, meu muito obrigado pela crítica que me fez crescer e enxergar com mais amplitude e detalhamento o mundo da pesquisa. À professora Loyde todo o meu carinho, retribuição de toda a confiança e apoio em mim depositados, inclusive na compra dos equipamentos utilizados nesta pesquisa.

Ao professor Leônidas Albano, que enxergou em mim capacidade e me incentivou a continuar minha formação e as pesquisas de conforto térmico.

Gostaria de agradecer aos técnicos e técnicas do CEGEF e da Regional Goiás da UFG que me auxiliaram a vencer a burocracia e aplicar a pesquisa na instituição. Aos professores que da Regional Goiás que muito pacientemente permitiram que eu interrompesse suas aulas para a aplicação dos questionários.

À CAPES, por ter tornado possível mais uma etapa de minha formação e a realização da pesquisa em si.

Sou grato à minha família e meus amigos, por ter me dado apoio (financeiro e emocional) em todos os momentos. Ao meu pai, Joaquim, que é engenheiro civil e me auxiliou nos estudos. À minha mãe, Eliza, que é professora e me inspirou a sê-lo e à minha irmã, Anna. Finalmente, à minha companheira, Lara, que é meu esteio há seis anos, me acalmando nos momentos de nervosismo e desespero, fazendo de mim uma pessoa melhor e mais consciente.

## EPÍGRAFE

*“Beco da minha terra...  
Amo tua paisagem triste, ausente e suja.  
Teu ar sombrio, tua velha umidade andrajosa.[...]  
[...] Amo a avenca delicada que renasce  
na frincha de teus muros empenados,  
e a plantinha desvaliada, de caule mole  
que se defende, viceja e floresce  
no agasalho de tua sombra úmida e calada.”*

*Cora Coralina.*

## RESUMO

As condições de bem-estar proporcionadas por um ambiente escolar de qualidade são fundamentais para melhorar o rendimento dos alunos. Promover o conforto térmico em salas de aula sem demandar altos gastos energéticos é um desafio em regiões tropicais, principalmente porque muitas edificações são adaptadas para receber as funções de ensino. Salienta-se que a envoltória tem um papel importante nas condições de conforto térmico em ambientes internos e o projeto de edifícios precisa considerar isso. Este trabalho objetiva analisar a influência do desempenho térmico das envoltórias no conforto térmico em salas de aula em dois edifícios da Universidade Federal de Goiás – Unidade Sant’Ana e Unidade Areião - localizadas na cidade de Goiás – GO, Zona Bioclimática 7. Após analisar os projetos dos edifícios escolhidos, foram selecionadas duas salas de aula em cada edificação nas seguintes orientações: nordeste e noroeste. Os métodos contemplaram: (a) a coleta de dados climáticos – temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura de globo – no entorno imediato e nos ambientes selecionados durante o ano de 2017; (b) levantamento de informações construtivas dos edifícios em análise; (c) aplicação de questionários aos usuários das salas selecionadas; (d) análise do entorno imediato pelo método do transecto e análise de insolação; (e) análise do desempenho térmico das envoltórias pelo método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013) e medições; (f) quantificação do conforto térmico pelo índice PMV (AMV/PPD) e Temperatura Operativa e avaliação da sensação térmica dos usuários. Neste estudo foram coletadas 448 respostas entre estudantes universitários na Regional Cidade de Goiás da UFG. O desempenho térmico das envoltórias influencia o grau de satisfação dos usuários, sendo que a edificação que não atendeu aos requisitos mínimos da norma apresentou o maior percentual de desconforto térmico. Observou-se também que muitos usuários estão aclimatados ao ambiente externo, portanto não se sentem satisfeitos com os ambientes climatizados. Esses dados são muito importantes para profissionais da área que visam adaptar os ambientes educacionais às necessidades de conforto térmico do usuário.

**Palavras-chave:** Conforto Térmico. Desempenho Térmico. Envoltórias. Salas de Aula.

## ABSTRACT

*The well-being conditions provided by a quality school environment are fundamental to the improvement of student achievement. Promoting thermal comfort in classrooms without demanding high energy costs is a challenge in tropical regions, mainly because many buildings are adapted to receive the teaching functions. It is emphasized that wrapping plays an important role in the thermal comfort conditions in indoor environments and the retrofit of buildings needs to consider this. This work aims to analyze the influence of the thermal performance of the envelopes on thermal comfort in classrooms in two buildings of the Federal University of Goiás - Sant'Ana Unit and Areião Unit - located in the city of Goiás - GO. After analyzing the projects of the chosen buildings, two classrooms were selected in each building in the following orientations: northeast and northwest. The methods included: (a) the collection of climatic data - air temperature, relative humidity, wind speed and globe temperature - in the immediate environment and in the selected environments during the year 2017; (b) research of constructive information of the buildings under analysis; (c) application of a survey to the users of the selected rooms; (d) analysis of the immediate surroundings by the transect method and insolation analysis; (e) analysis of the thermal performance of the envelopes by the descriptive method of NBR 15.575 (ABNT, 2013); (f) quantification of thermal comfort by the PMV index (AMV / PPD) and Operative Temperature and Thermal Sensations of users. In this study, 448 answers were collected among university students in the Regional City of Goiás, UFG. The data allowed concluding that the immediate environment directly influences the thermal performance of the buildings, although there were no differences in temperature within the urban area. The thermal performance of the enclosures influences the degree of satisfaction of the users, and the building that did not meet the minimum requirements of the standard presented the highest percentage of thermal discomfort. It also has been observed that many users are acclimatized to the external environment, so they are not very satisfied with the acclimatized environments. These data are very important for professionals in the area who aim to adapt educational environments to the user's thermal comfort needs.*

**Key words:** *Thermal Comfort. Thermal Performance. Envelopes. Classrooms.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Método adotado para a Revisão Sistemática da Literatura. ....	29
Figura 2.2: Distribuição físico-temporal dos artigos aderentes. ....	32
Figura 2.3: Relação entre o tipo de climatização do ambiente e a estação em que a pesquisa foi realizada. ....	37
Figura 2.4: Relação entre o modelo de conforto adotado e o tipo de climatização do ambiente. ....	38
Figura 2.5: Análise da compatibilidade entre os modelos de conforto adotados e as Sensações reais dos usuários. ....	39
Figura 3.1: Diagrama das etapas de pesquisa. ....	43
Figura 3.2: Localização e imagem de satélite da Cidade de Goiás, com destaque para o perímetro do Centro Histórico. ....	45
Figura 3.3: Normais Climatológicas de Goiás (1961-1990). ....	46
Figura 3.4: Normais Climatológicas de Goiás (1981-2010). ....	46
Figura 3.5: Localização das unidades da UFG em Goiás, com a estação meteorológica do Inmet em branco. ....	48
Figura 3.6: Análise das variáveis ambientais do entorno das edificações. ....	49
Figura 3.7: Elementos de cobertura do solo no entorno imediato das edificações analisadas. ....	50
Figura 3.8: Localização da unidade Areião com destaque para o terreno em que se situa. ....	50
Figura 3.9: Centro de Aulas com destaque para os <i>brises</i> fixos, tipo <i>celosia</i> . ....	51
Figura 3.10: Corte esquemático das salas da unidade Areião. ....	52
Figura 3.11: Localização das duas unidades da UFG analisadas. ....	53
Figura 3.12: Fachada frontal da unidade Sant'Ana. ....	54
Figura 3.13: Planta do 1º pavimento da Unidade Sant'Ana. ....	55
Figura 3.14: Esquema das salas escolhidas para análise, escala gráfica. ....	56

Figura 3.15: Interior da sala de aula NO da Unidade Areião. Obs.: Quando a pesquisa foi realizada as persianas não estavam instaladas. ....	57
Figura 3.16: Corte esquemático da Sala NO da unidade Sant'Ana. ....	58
Figura 3.17: Corte esquemático da Sala NE da unidade Sant'Ana. ....	58
Figura 3.18: Interior da sala de aula NE da Unidade Sant'Ana. ....	59
Figura 3.19: Termo higrômetro Testo 174H. ....	61
Figura 3.20: Sistema desenvolvido para proteção dos registradores. ....	61
Figura 3.21: Termo anemômetro utilizado. ....	62
Figura 3.22: Termômetro Infravermelho utilizado na pesquisa. ....	63
Figura 3.23: Termômetro de Globo utilizado na pesquisa. ....	63
Figura 3.24: Calibração da temperatura do ar (Ta) dos registradores. ....	64
Figura 3.25: Calibração da umidade relativa (UR) dos registradores. ....	65
Figura 3.26: Percurso de realização do transecto. ....	66
Figura 3.27: Interface do programa de computador <i>RayMan Pro 2.1</i> .....	74
Figura 3.28: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Carta Bioclimática para a cidade de Goiás. ....	75
Figura 3.29: Análise da relação entre o AMV e o PPD.....	87
Figura 3.30: Análise da relação entre a Sensação Térmica e o PPD.....	88
Figura 3.31: Relação entre a Sensação Térmica Normalizada (STN) e o PPD.....	89
Figura 4.1: Variações de temperatura do ar observadas entre os dados coletados durante a realização do transecto e os dados da estação, nos períodos matutino e vespertino. ....	92
Figura 4.2: Variáveis climáticas internas, medidas durante a medição teste, do interior da sala NE – Sant'Ana:.....	97
Figura 4.3: Variáveis climáticas internas, medidas durante a medição teste, do interior da sala NO - Areião:.....	98
Figura 4.4: Variáveis climáticas externas, medidas pela estação do Inmet localizada à Rua Ernestina:.....	98

Figura 4.5: Análise da Temperatura do Ar registrada nos ambientes internos e pela estação meteorológica do Inmet. ....	99
Figura 4.6: Análise da Umidade Relativa do Ar registrada nos ambientes internos e pela estação meteorológica do Inmet. ....	100
Figura 4.7: Gráfico dos registros de temperatura do ar colhidos durante o testemunho. ....	102
Figura 4.8: Gráfico dos registros de umidade relativa colhidos durante o testemunho. ....	102
Figura 4.9: Ta[°C] Unidade Areião, ciclo Verão. ....	103
Figura 4.10: UR[%] Unidade Areião, ciclo Verão. ....	104
Figura 4.11: Ta[°C] Unidade Sant'Ana, ciclo Verão. ....	105
Figura 4.12: UR[%] Unidade Sant'Ana, ciclo Verão. ....	105
Figura 4.13: Croqui esquemático das paredes externas da unidade Areião (A) e Sant'Ana (B) ..... .....	108
Figura 4.14: Análise da To para unidade Areião. ....	112
Figura 4.15: Análise da Temperatura Operativa para a unidade Sant'Ana. ....	113
Figura 4.16: Relação entre o AMV e a Temperatura do Ar. ....	114
Figura 4.17: Correlação entre o AMV e a Temperatura do Ar. ....	115
Figura 4.18: Relação entre o AMV e a Temperatura do Ar para ambientes naturalmente ventilados. ....	115
Figura 4.19: Correlação entre o AMV e a Temperatura do Ar para ambientes naturalmente ventilados. ....	116
Figura 4.20: Relação entre o AMV e a Umidade Relativa do Ar. ....	116
Figura 4.21: Relação entre o AMV e a Temperatura Radiante Média - TRM. ....	117
Figura 4.22: Relação entre o AMV e o tipo de climatização. ....	118
Figura 4.23: Relação entre o AMV e a posição do usuário. ....	119
Figura 4.24: Relação entre o AMV e o nível de vestimenta dos indivíduos. ....	120
Figura 4.25: Relação entre o AMV e o sexo dos indivíduos. ....	120
Figura 4.26: Relação entre o AMV e o tempo de permanência no ambiente. ....	121

Figura 4.27: Relação entre o AMV e o meio de transporte utilizado.....	122
Figura 4.28: Relação entre a sensação térmica e a temperatura do ar. ....	123
Figura 4.29: Correlação entre dados de Ta (°C) e ST. ....	123
Figura 4.30: Relação entre a sensação térmica e temperatura do ar para condição de ventilação natural. ....	124
Figura 4.31: Relação entre a sensação térmica e a umidade relativa do ar. ....	125
Figura 4.32: Correlação entre dados de UR e ST. ....	125
Figura 4.33: Relação entre a sensação térmica temperatura radiante média (TRM).....	126
Figura 4.34: Correlação entre dados de TRM (°C) e ST. ....	126
Figura 4.35: Relação entre a sensação térmica e o tipo de climatização no momento da coleta. ....	127
Figura 4.36: Relação entre a sensação térmica e o tipo de climatização no momento da coleta. ....	128
Figura 4.37: Relação entre a sensação térmica e o nível de vestimenta dos usuários. ....	129
Figura 4.38: Relação entre o nível de vestimenta e o sexo dos usuários.....	129
Figura 4.39: Relação entre o sexo e a sensação térmica.....	130
Figura 4.40: Relação entre a sensação térmica e o tempo de permanência na sala de aula. ..	131
Figura 4.41: Relação entre a sensação térmica e o meio de transporte. ....	132
Figura 4.42: Relação entre a sensação térmica e o meio de transporte. ....	133
Figura 4.43: Relação entre a sensação térmica e o meio de transporte. ....	134

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Protocolo utilizado para a condução do Mapeamento Sistemático da Literatura.	31
Quadro 2.2: Sumário dos artigos aderentes.	34
Quadro 3.1: Sumário dos sistemas construtivos empregados no Centro de Aulas.	53
Quadro 3.2: Sumário dos sistemas empregados na unidade Sant'Ana.	56
Quadro 3.3: Características e propriedades dos ambientes analisados.	60
Quadro 3.4: Cronograma de realização das medições das variáveis climáticas:	67
Quadro 3.5: Datas de coleta das variáveis ambientais para o conforto térmico.	69
Quadro 3.6: Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno. .....	75
Quadro 3.7: Transmitância e Capacidade Térmica segundo a norma.	76
Quadro 3.8: Determinação da capacidade térmica requerida para fechamentos verticais externos de acordo com a ZB.	78
Quadro 3.9: Áreas Mínimas de aberturas para ventilação.	78
Quadro 3.10: Valores mínimos de absorvância ( $\alpha$ ) e transmitância térmica (U) para as ZBs.	79
Quadro 3.11: Critérios de conforto referentes à um ser humano sadio, em atividade sedentária, período verão.	80
Quadro 4.1: Análise da insolação na unidade Areião.	93
Quadro 4.2: Análise da insolação na unidade Sant'Ana.	94
Quadro 4.3: Comparativo da insolação nas duas unidades analisadas.	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Processos de exclusão e inclusão adotados e resultados. ....	31
Tabela 3.1: Síntese da análise do entorno. ....	49
Tabela 3.2: Valores de população e amostra calculados para a aplicação de questionários: ...	71
Tabela 3.3: Datas de aplicação dos questionários e número de respostas obtidas. ....	72
Tabela 3.4: Caracterização básica da amostra: .....	72
Tabela 4.1: Medições realizadas durante o dia 07/03/2017. ....	91
Tabela 4.2: Caracterização dos dados.....	99
Tabela 4.3: Resumo descritivo dos dados de temperatura do ar. ....	101
Tabela 4.4: Resumo descritivo dos dados de umidade relativa do ar.....	101
Tabela 4.5: Análise do desempenho a partir das medições de Ta. ....	107
Tabela 4.6: Propriedades dos materiais das fachadas da unidade Areião. ....	109
Tabela 4.7: Propriedades dos materiais das fachadas da unidade Sant'Ana .....	109
Tabela 4.8: Propriedades calculadas para as paredes das duas unidades. ....	110
Tabela 4.9: Propriedades das aberturas das salas analisadas.....	110
Tabela 4.10: Propriedades das coberturas das edificações analisadas.....	111
Tabela 4.11: Propriedades calculadas para as coberturas das duas unidades.....	111

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMV – *Actual Mean Vote* (Voto Térmico Real)

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*  
(Sociedade Americana dos Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)

ATC – *Adaptive Thermal Comfort* (Modelo Adaptativo de Conforto Térmico)

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

CEGEF-UFG – Centro de Gestão do Espaço Físico, departamento de gestão das instalações da  
Universidade Federal de Goiás

DGI – Digital Globe Imagery

EJA – Educação de Jovens e Adultos

GO – Sigla para rodovias estaduais goianas

ha – Hectare, unidade de medida de área, equivalente a 10.000 m<sup>2</sup>;

IFG – Instituto Federal de Goiás

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

ISO – International Organization for Standardization

MEMI – Modelo de Munique

NBR – Norma Brasileira Reguladora

pa – pressão parcial de vapor de água

PET – *Physiological Equivalent Temperature* (Temperatura Fisiologicamente Equivalente)

PMV – *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Estimado)

PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Porcentagem Predita de Insatisfeitos)

RTC – *Rational Thermal Comfort* (Modelo Racional de Conforto Térmico)

RTQ-C – Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

SLR – *Systematic Literature Review* (Revisão Sistemática da Literatura)

SMS – *Systematic Mapping Studies* (Mapeamento Sistemático da Literatura)

ST – Sensação Térmica

Ta – Temperatura do ar, em °C

Tg – Temperatura de globo, em °C

Tm – Temperatura média mensal externa, em °C

Tn – Temperatura neutra de conforto

Trm – Temperatura Média Radiante

Ts – Temperatura de superfície, em °C

UEG – Universidade Estadual de Goiás

UFG – Universidade Federal de Goiás

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UR – Umidade Relativa do ar, em %

Va – Velocidade do ar, em m/s

ZB – Zona Bioclimática

ZBB – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1.OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.1. Objetivos Específicos.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.METODOLOGIA ADOTADA .....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.RESULTADOS DO MAPEAMENTO .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.RESULTADOS DA REVISÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.CONSIDERAÇÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.DELINEAMENTO.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISA .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.1. Seleção das Edificações .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.2. Seleção das Salas de Aula.....</b>	<b>56</b>
<b>3.4.EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>3.4.1. Calibração dos Equipamentos.....</b>	<b>64</b>
<b>3.5.LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....</b>	<b>65</b>
<b>3.5.1. Entorno Imediato.....</b>	<b>65</b>
<b>3.5.2. Desempenho Térmico da Envoltória .....</b>	<b>67</b>

<b>3.5.3. Conforto térmico do Usuário.....</b>	<b>68</b>
<b>3.6.LEVANTAMENTO DA SENSAÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS.....</b>	<b>69</b>
<b>3.7.ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>72</b>
<b>3.7.1. Entorno Imediato.....</b>	<b>73</b>
<b>3.7.2. Desempenho Térmico .....</b>	<b>74</b>
<b>3.7.3. Conforto Térmico .....</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS .....</b>	<b>90</b>
<b>4.1.MEDIÇÕES PREPARATÓRIAS .....</b>	<b>90</b>
<b>4.1.1. Entorno Imediato.....</b>	<b>90</b>
<b>4.1.2. Ciclo de Medição 01 e 02 - Medições Teste .....</b>	<b>96</b>
<b>4.1.3. Ciclo de Medições 03 - Testemunho.....</b>	<b>100</b>
<b>4.2.MEDIÇÕES EXPLORATÓRIAS .....</b>	<b>103</b>
<b>4.3.DESEMPENHO TÉRMICO .....</b>	<b>106</b>
<b>4.3.1. Resultado a partir de medições in loco .....</b>	<b>106</b>
<b>4.3.2. Resultados do método simplificado da NBR 15575 .....</b>	<b>108</b>
<b>4.4.CONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>112</b>
<b>4.4.1. Temperatura Operativa .....</b>	<b>112</b>
<b>4.4.2. Voto Médio Real – AMV.....</b>	<b>114</b>
<b>4.4.3. Sensação Térmica – ST .....</b>	<b>122</b>
<b>4.4.4. Comparação entre <math>T_o</math> x AMV x ST .....</b>	<b>133</b>
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>136</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>138</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Proporcionar conforto térmico em salas de aula é essencial para a melhoria do rendimento escolar dos estudantes (TOFTUM et al., 2015). O conforto térmico pode ser definido pela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 2010, p. 3) e é influenciado por fatores físicos, fisiológicos e psicológicos, formando uma condição psicofisiológica. A promoção do bem-estar em edifícios educacionais com baixo custo de energia é sempre um desafio em regiões de climas tropicais. No entanto, a adequação de edifícios para que tenham as melhores condições de conforto térmico, saúde e melhor rendimento para as atividades diárias e menor gasto energético é necessária (YANNAS, 1995). Existe uma relação entre o conforto térmico no interior dos edifícios, estratégias de projeto arquitetônico e as características construtivas da envoltória, tais como condições do entorno imediato, arranjo de mobiliário, dimensões do ambiente, relação parede e janela, sombreamento externo e propriedades termo físicas dos materiais (transmitância, Resistência Térmica, Capacidade Térmica, entre outros

As envoltórias das edificações são os sistemas responsáveis pelo isolamento imediato do interior, proporcionando proteção e conforto térmico aos usuários, ao minimizar os impactos do aquecimento causado pela radiação solar e pela temperatura do ar ( $T_a$ ) externa, sobretudo em climas quentes. Para que um ambiente apresente desempenho térmico satisfatório deve-se considerar as características do clima em que se insere a edificação, a orientação solar das fachadas, as aberturas e os sistemas construtivos, desde seus materiais até a ordem de disposição das camadas e a cor dos fechamentos externos (DORNELLES; CARAM; SICHIERI, 2015), bem como as necessidades específicas do usuário para determinada atividade devem ser consideradas.

Os sistemas construtivos devem ser capazes de retardar ou isolar a transmissão do calor externo para o ambiente interno e vice e versa, como por exemplo ao utilizar a inércia térmica como mecanismo de proteção em climas extremos, como os climas secos (ROMERO, 2013). Nestes climas o desempenho das envoltórias deve ter, dentre suas características, capacidade de amortecer as variações diárias da temperatura externa e manter a temperatura interna o mais estável possível (DORNELLES, 2004). Dentro dessa perspectiva, as propriedades termo-físicas

da envoltória têm um papel importante no desempenho dos sistemas construtivos, que influenciam diretamente nas condições de conforto térmico no ambiente interno.

Para garantir o conforto térmico no ambiente interno e ao mesmo tempo reduzir a demanda de energia para climatização dos ambientes internos, estratégias passivas e o tratamento adequado da envoltória dos edifícios são necessários. A partir da medição de variáveis climáticas tais como temperatura do ar, umidade relativa, temperatura média radiante, velocidade do vento e variáveis humanas como atividade e vestimenta, é possível quantificar a partir de índices de conforto térmico como o modelo do PMV/PPD (FANGER, 1970) e o modelo adaptativo (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2016).

A fim de definir procedimentos de cálculo das propriedades térmicas da envoltória, bem como estabelecer critérios e requisitos para diferentes níveis de desempenho – mínimo, intermediário e superior – para sistemas construtivos, a Norma Brasileira de Desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013) descreve métodos de análise do desempenho térmico dos sistemas construtivos por meio de procedimento simplificado ou simulações (BOGO, 2016, 2008; SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2014; SILVA et al., 2014). Por outro lado, em 2017 entrou em consulta uma revisão da NBR 16401 (ABNT, 2008) em que são definidos procedimentos de cálculo para quantificar o conforto térmico interno tanto pelo modelo adaptativo (Temperatura Operativa) como o Racional (PMV/PPD) (ABNT, 2017).

Embora existam diversos estudos sobre o desempenho térmico da envoltória pelo método descrito pela NBR 15575 (ABNT, 2013), ainda há uma grande lacuna entre as análises do comportamento da envoltória das edificações e o conforto térmico do usuário (BOGO, 2008). No entanto, não existe uma correlação clara entre os limites de desempenho térmico estabelecidos na norma e as condições mínimas de conforto para os usuários (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2017; SILVA; GHISI, 2014), sobretudo pela ausência de pesquisas que envolvam a coleta de dados e sensações dos usuários.

O presente trabalho vem de encontro à norma pelo fato de que o desempenho de edificações existentes, dentre elas as vernáculas e históricas, não é abordado pelas diretrizes e critérios existentes, o que levanta um importante tópico de estudo, sobretudo quando as edificações sofrem alterações no seu uso ou função (ALWETAISHI, 2016). Observa-se que muitos edifícios educacionais de ensino superior, como os da Universidade Federal de Goiás, são prédios adaptados. Se por outro lado, dar novos usos a uma edificação existente, ou seja, *retrofit*, pode aumentar a vida útil dos edifícios a partir do uso das novas tecnologias e materiais,

ao mesmo tempo que se adapta o edifício às novas demandas de uso e preserva o patrimônio histórico e arquitetônico, por outro lado, adaptar uma edificação às novas demandas de conforto térmico promove a utilização de estratégias ativas para climatizar o ambiente, como sistemas de ventilação mecânica, resfriamento evaporativo e ar condicionado (ASCIONE et al., 2015; MARTINEZ-MOLINA et al., 2017). Esses equipamentos atuam na correção das condições ambientais internas na tentativa de fornecer conforto térmico aos usuários, em situações em que a envoltória da edificação é ineficiente do ponto de vista do desempenho térmico.

Também existem muitos edifícios educacionais novos que foram construídos com materiais de desempenho inferior que não beneficiam o conforto térmico no ambiente interno. Neste caso, equipamentos para climatização dos espaços internos também são necessários para melhorar as condições internas de conforto. Por exemplo, Kowaltowski, Labaki e Pina (2001) observaram que salas de aula de escolas na região de Campinas, Brasil, foram mais confortáveis durante o período da manhã do que durante o período da tarde em termos de temperatura do ar. Estes resultados foram relacionados com os materiais utilizados no telhado, já que foram aplicadas telhas de fibrocimento sem forro. Labaki e Bueno-Bartholomei (2001) constataram que as condições do entorno imediato, como a presença de árvores, influenciam no conforto térmico em salas de aula. Já Ochoa, Araújo e Sattler (2012) observaram que mesmo em edificações em que o projeto arquitetônico se preocupou com o desempenho térmico da envoltória, o conforto térmico foi insatisfatório. Paulse et al. (2016) avaliaram o desempenho térmico e conforto térmico em um edifício escolar em Goiânia a partir de simulações no *software Design Builder* e perceberam a influência do sistema construtivo nas sensações de conforto térmico. De Abreu-Harbich, Chaves e Brandstetter (2018) observaram que há a necessidade do uso de ar condicionado para garantir as condições adequadas de conforto térmico em edifícios escolares de Goiânia, principalmente no período da tarde.

Para o desenvolvimento de um ambiente escolar mais adaptado ao clima local por meio da análise da influência do desempenho térmico da envoltória no conforto térmico dos usuários de salas de aula, esta pesquisa visa avaliar duas edificações construídas com sistemas construtivos diferentes. As edificações estudadas se situam na Regional Cidade de Goiás da Universidade Federal de Goiás, Zona Bioclimática 7 (ABNT, 2005). As salas de aula foram escolhidas como ambiente de análises pela facilidade na coleta de um número de amostras que seja estatisticamente significativo. O trabalho pretende, além de alimentar bases de dados e auxiliar futuros pesquisadores, os produtos desta pesquisa possam auxiliar gestores e projetistas a

compreender o comportamento de edificações e seus sistemas construtivos na ZB-7 e aplicar diretrizes que sejam efetivas na redução do impacto ambiental.

## **1.1. OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é verificar a influência de diferentes sistemas construtivos de envoltórias no conforto térmico em salas de aula de edificações escolares na cidade de Goiás – GO.

### **1.1.1. Objetivos Específicos**

- ◆ Verificar a influência do entorno imediato no desempenho térmico das envoltórias.
- ◆ Estabelecer relações entre o desempenho térmico das salas de aula e os sistemas construtivos das envoltórias.
- ◆ Quantificar as condições de conforto térmico dos usuários de salas de aula por meio de medições de campo;

## **1.2. METODOLOGIA ADOTADA**

Para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, foram coletados dados de campo que permitiram a caracterização e avaliação do entorno das edificações que foram comparadas, durante a etapa de avaliação do desempenho térmico da envoltória. A análise do desempenho térmico das envoltórias das edificações foi conduzida por meio do método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013), que foi utilizada por estabelecer critérios e requisitos importantes para o desempenho de ambientes de permanência longa, embora tenha sido concebida exclusivamente para edificações residenciais. Foram avaliadas as vedações verticais e horizontais externas quanto às propriedades de transmitância e capacidade térmica e área de ventilação por meio de levantamento e coleta de dados ambientais (temperatura, umidade e velocidade do ar, temperatura superficial e temperatura de globo) e de projeto. Posteriormente, os dados ambientais coletados foram utilizados para quantificação do conforto térmico dos usuários por meio do modelo PMV/PPD e da temperatura operativa. Estes foram comparados por meio de estatística descritiva com os dados de sensações térmicas dos usuários coletados por meio da

aplicação de questionários para 438 alunos de ensino superior, durante os meses de outubro, novembro e dezembro, período chuvoso, pela manhã, tarde e noite.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação inicia-se com este capítulo de Introdução que é seguido pelo capítulo 2 - em que é apresentada uma Revisão Sistemática da Literatura sobre conforto térmico em salas de aula. Esta revisão foi conduzida por um método científico específico em que buscou-se levantar todas as publicações de relevância internacional sobre o tema, desde que estivessem disponíveis para consulta. Este processo foi capaz de demonstrar que embora o tema seja discutido a muito tempo, são poucas as pesquisas em regiões periféricas e não existe um consenso científico sobre qual modelo ou índice deve ser utilizado na avaliação de conforto.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada na condução desta pesquisa, descrevendo o processo de seleção dos locais de pesquisa, o método de levantamento do entorno imediato, a coleta de dados climáticos para as análises de desempenho térmico das envoltórias e do conforto térmico dos usuários e o instrumento e procedimento de coleta de dados da sensação térmica dos usuários. Posteriormente, ainda no capítulo três, são descritos os métodos de tratamento e análise dos dados coletados e o procedimento estatístico adotado.

O capítulo quatro traz os resultados dos procedimentos de coleta e análise descritos no capítulo anterior, a comparação dos resultados de desempenho das envoltórias com o conforto e sensação térmica dos usuários e a análise da relação entre os resultados obtidos.

O quinto e último capítulo trata das conclusões obtidas pela análise dos resultados desta pesquisa. São apresentados os resultados analíticos e a relação entre os dados encontrados, com sugestões para diretrizes e pesquisas futuras.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Durante os anos escolares, as pessoas passam grande parte do tempo no ambiente escolar, onde a qualidade dessas edificações é essencial para a manutenção da saúde dos usuários e redução do consumo energético. Considerando a variabilidade de fatores que compõem o estudo do conforto térmico de seres humanos e os vários índices de avaliação do conforto térmico encontrados na literatura, faz-se necessário estudos agregativos que classifiquem e avaliem essas diferenças. Este método objetiva analisar as principais publicações sobre conforto térmico em salas de aula por periódicos indexados para gerar informações importantes que auxiliem pesquisadores e profissionais da área de arquitetura e engenharias. A partir do Mapeamento Sistemático (*Systematic Mapping Studies* - SMS) e posterior Revisão Sistemática da Literatura (*Systematic Literature Review* - SLR), foi possível identificar os métodos utilizados pelos pesquisadores, as estratégias de climatização dos ambientes analisados, o valor amostral e os resultados encontrados. Os estudos que utilizam o modelo Adaptativo (ATC – *Adaptive Thermal Comfort*) têm maior compatibilidade com as sensações térmicas dos usuários que os estudos que utilizam o modelo Racional (RTC – *Rational Thermal Comfort*). Em regiões de clima tropical, deve-se considerar a adaptação do usuário ao clima, bem como a aplicação de mais de um método de avaliação de conforto para verificar qual o método mais adequado. Esses resultados expressam a necessidade de serem realizadas pesquisas futuras sobre esse tema no Brasil, bem como a divulgação em revistas internacionais indexadas.

#### **2.1. ESTADO DA ARTE**

Os sistemas de iluminação e condicionamento de ar são os principais responsáveis pelo elevado consumo de energia elétrica em edificações escolares (EPE, 2017a, 2017b). Dito isto, é preocupante que em muitos casos não sejam alcançados nem o conforto lumínico nem o conforto térmico dos usuários, no caso estudantes (RUPP et al., 2015). A qualidade ambiental e a eficiência energética não dependem somente de fatores físicos, como o desempenho térmico da envoltória das edificações, mas também de fatores fisiológicos e psicológicos dos usuários. Se por um lado as mudanças do clima urbano podem influenciar no desempenho térmico da envoltória, por outro, a adaptabilidade das pessoas ao clima pode influenciar nas sensações de

conforto (DE DEAR et al., 2015; MISHRA; RAMGOPAL, 2015a). O Mapeamento Sistemático da Literatura (SMS) e a Revisão Sistemática da Literatura (SLR) podem auxiliar na identificação de metodologias para avaliar o conforto térmico, bem como as estratégias de climatização do ambiente escolar.

Além da utilização de índices clássicos de conforto, como o Voto Médio Estimado (PMV, do inglês *Predicted Mean Vote*) e do modelo Adaptativo (Temperatura Operativa - $T_o$ ), a avaliação da satisfação do usuário pode ser conduzida por meio da aplicação de questionários e o subsequente tratamento das respostas obtidas, dentre outras maneiras. Muitos autores dividem a abordagem do conforto térmico em duas linhas: o Modelo Racional de Conforto Térmico (*Rational Thermal Comfort* – RTC) (FANGER, 1970) e o Modelo Adaptativo de Conforto Térmico (*Adaptive Thermal Comfort* – ATC) (AULICIEMS, 1981; HUMPHREYS, 1976; MATTHEWS; NICOL, 1995). Desde a introdução do ATC, os estudos evoluíram para propor atualizações ao modelo e estabelecer índices quantitativos, que auxiliassem na obtenção de condições de conforto térmico para os indivíduos (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2016). Esses modelos para a avaliação do conforto térmico de seres humanos foram regulamentados pela normativa 55 da ASHRAE (ASHRAE, 2010). No entanto, há necessidade de verificar qual deles está mais adaptado à realidade Brasileira.

As normas brasileiras relacionadas com a temática de conforto e eficiência energética, descrevem métodos para avaliar o desempenho térmico da envoltória de edificações, tais como as NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 partes 4 e 5 (ABNT, 2013). Há também o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, PBE - Edifica (INMETRO, 2013). Apesar dos inegáveis avanços proporcionados por essas normativas e regulamentos, ainda há a necessidade de definir um método de avaliação de conforto térmico para ambientes escolares mais adequado aos trópicos.

Esses avanços alcançados no Brasil são resultado dos esforços de vários pesquisadores que se dedicaram em esmiuçar as avaliações de conforto, na tentativa de construir um modelo nacional. Como exemplo, pode-se citar o estudo desenvolvido na cidade de Natal - RN, clima quente e seco – Aw - (RUBER; KOTTEK, 2011), onde o conforto térmico de usuários de escolas foi avaliado por meio da aplicação do índice PMV. Os resultados apresentaram que a insatisfação com o ambiente térmico alterou a sensação térmica dos usuários acerca dos demais itens avaliados: conforto acústico, luminoso e ergonômico (ARAÚJO, 1999). Em escolas da região de Campinas, São Paulo, com a mesma realidade climática (Aw), foi observado grande

desconforto térmico durante o verão, que estava fortemente relacionado com o desconforto acústico (KOWALTOWSKI et al., 1999).

Em Florianópolis, Santa Catarina, Xavier (2000) ao utilizar o PMV encontrou pouca correlação entre o modelo e a sensação dos usuários. Nesse estudo, também foi avaliado o conforto térmico pela carta de Givoni (GIVONI, 1992). Muitos estudos realizados em escolas utilizaram o modelo de Givoni para se avaliar conforto, como estudos realizados em Delmiro Gouveia, Alagoas (SANTOS; COSTA; BARROS, 2014) e em Goiânia, Goiás (OCHOA; ARAÚJO; SATTTLER, 2012).

Em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, região de clima quente e úmido (Aw), observou-se uma proximidade entre os votos de sensação térmica (PPD) dos usuários e o PMV, calculados em uma edificação condicionada artificialmente. No entanto, observou-se que o PPD superestimou a porcentagem real de pessoas insatisfeitas (APD) no período mais quente do ano (ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2010).

Em 2011, De Vecchi, Cândido e Lamberts (2013) avaliaram, em salas de aula, as relações entre o conforto térmico e o aumento da velocidade do ar com o uso de ventiladores de teto. O conforto térmico dos usuários foi avaliado de acordo com o PMV, o modelo Adaptativo e a Temperatura Efetiva Padrão (SET, do inglês *Standard Effective Temperature*). Notou-se que o aumento da velocidade do ar gera uma oportunidade adaptativa aos usuários, bem como uma maior aceitabilidade e satisfação térmica em climas quentes e úmidos.

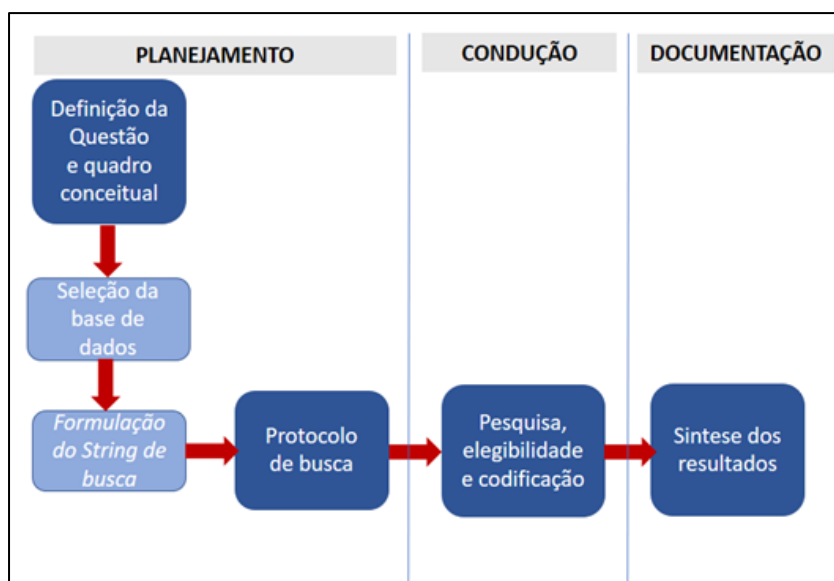
Devido à necessidade de investigar o método adequado para avaliação de conforto térmico em salas de aula, bem como identificar as recomendações para pesquisas futuras, o Mapeamento Sistemático da Literatura (SMS) combinado com a Revisão Sistemática da Literatura (SLR) são capazes de construir um sistema de classificação, permitindo a elucidação sobre os modelos utilizados, as variáveis medidas e outros dados. Este capítulo objetiva verificar quais os modelos de conforto mais utilizados e os desafios de se fornecer conforto térmico aos usuários de ambientes escolares.

## 2.2. MÉTODO DE PESQUISA

Baseado no método de Ruiz e Granja (2013) e Gough, Thomas e Oliver (2012) para a efetivação proposta da Revisão Sistemática da Literatura (SLR), este trabalho seguiu as seguintes etapas: Planejamento, Condução e Documentação, de acordo com a Figura 2.1. Na etapa Planejamento,

foi definida a questão, o quadro conceitual, a seleção das bases de dados, a formulação dos *Strings*<sup>1</sup> e o protocolo de busca. Na etapa condução, se identificou as principais correntes teóricas e metodológicas utilizadas pelos pesquisadores de conforto térmico em ambientes de ensino. Na etapa documentação, fez-se a opção por uma SLR agregativa (GOUGH; THOMAS; OLIVER, 2012), que é característica por possuir uma amplitude de pesquisa pequena, e ser capaz de permitir a identificação ou teste de métodos para determinado fim (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Figura 2.1: Método adotado para a Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Perillo, Campos e Abreu-Harbich (2017).

A seleção das bases de dados se baseou naquelas disponibilizadas pelos convênios CAPES/CNPq. A pesquisa foi realizada nas seguintes bases internacionais: *Science Direct*, *Scopus* e *Engineer Village*, escolhidas por serem repositórios das principais publicações científicas de impacto e relevância para a área analisada. A pesquisa não foi realizada em bases de dados brasileiras, já que essa atitude obrigaria a se pesquisar também em bases de dados específicas de vários países, o que impossibilitaria a condução, dado o número de participantes.

Como o processo de busca ocorre por meio de sistemas indexadores, define-se um conjunto de caracteres (*strings*) que devem ser buscados. Para que esse conjunto seja encontrado na ordem, sequência e completude que se deseja, são inseridas aspas e operadores booleanos<sup>2</sup> (*AND*, *OR*,

<sup>1</sup> Termo muito utilizado em linguagem de programação, que pode-se traduzir para cadeia ou conjunto de caracteres.

<sup>2</sup> Os booleanos derivam da álgebra computacional e permitem que sejam encontrados resultados que correspondam às limitações impostas e desejadas pelas palavras-chave.

NOT). As *strings* de busca definidas foram: conforto térmico e salas de aula, traduzidas para o inglês e conectadas pelo booleano AND (“*thermal comfort*” AND “*classroom*”).

No caso desta pesquisa, aceitou-se que *strings* fizessem parte do título, das palavras-chave e do resumo da publicação. A aplicação dos indexadores nas bases de dados pré-definidas retornará um número de resultados aderentes, que devem ser compilados para a segunda etapa de seleção, a etapa de condução.

Na etapa condução, adotou-se como estrutura conceitual desta pesquisa a busca pelos métodos mais utilizados na avaliação do conforto térmico em ambientes escolares e qual seria o modelo de conforto mais adequado para tais ambientes.

Foram aceitas pesquisas realizadas em qualquer realidade climática, qualquer tipo de sistema de climatização e em ambientes de sala de aula. Além disso, não foram definidas datas limite para as publicações. Os resultados da etapa anterior foram filtrados, objetivando a exclusão de estudos em que:

- ◆ Não foram coletadas variáveis climáticas, tais como estudos baseados em dados bibliométricos, simulações ou desenvolvimento de um modelo matemático que tratasse de qualidade do ar;
- ◆ Os ambientes analisados não eram salas de aula, uma vez que em laboratórios, anfiteatros, ginásios, salas ao ar livre, dentre outros, a atividade desenvolvida pelos usuários pode variar, influenciando níveis metabólicos;
- ◆ O foco era a saúde e segurança do trabalho de docentes e demais funcionários de instituições de ensino.

Como critério de inclusão, foram considerados todos aqueles estudos que tivessem por foco a avaliação do conforto térmico ou ambiental dos usuários finais, ou seja, os estudantes. O Quadro 2.1 sintetiza o protocolo de busca, resumindo as etapas adotadas durante o processo de mapeamento da literatura.

Após aplicação do protocolo de busca, tem início a etapa de Revisão Sistemática da Literatura. As publicações consideradas aderentes foram analisadas sistematicamente segundo os seguintes critérios: localização e classificação climática segundo Köppen (RUBER; KOTTEK, 2011); período das medições de campo; variáveis ambientais - Temperatura do ar (Ta), Umidade Relativa (UR), Velocidade do ar (V), Temperatura Radiante Média (Trm) -; estratégias de ventilação do ambiente analisado - Ventilação Natural (NV), Ar Condicionado (AC), sistemas

integrados de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), Ventilação Mecânica (MV) -; o Modelo de avaliação de conforto (ATC e RTC); e o número amostral adotado.

Quadro 2.1: Protocolo utilizado para a condução do Mapeamento Sistemático da Literatura.

Protocolo de busca	
<b>Estrutura conceitual</b>	Visou responder quais são os métodos para se avaliar o conforto térmico em salas de aula e qual o melhor modelo
<b>Contexto</b>	Buscou-se pesquisas sobre conforto térmico em salas de aula dentro dos contextos.
<b>Horizonte</b>	Toda a literatura disponível;
<b>Correntes teóricas</b>	Todos os modelos existentes;
<b>Idiomas</b>	Inglês, Português e Espanhol;
<b>Questão da revisão</b>	Qual o melhor método para avaliar o Conforto Térmico em Sala de Aula?
<b>Estratégia</b>	Agregativa;
<b>Crítérios de exclusão</b>	Não há coleta de dados em campo, apenas simulação e modelagem matemática; Foco da pesquisa é a performance acadêmica ou a qualidade do ar (poluição); Estudos desenvolvidos em ambientes que diferem da sala de aula padrão: ao ar livre, ginásios, auditórios, laboratórios, etc.
<b>Crítérios de inclusão</b>	Foco era conforto térmico ou ambiental dos usuários;

A aplicação das metodologias *snowball*, em que se busca na literatura cinza (estudos não publicados) e prospectiva (buscar trabalhos que citem os artigos já selecionados), sugeridas para SLR, não foram aplicadas devido principalmente à disponibilidade de capital humano para a realização desta pesquisa. Entretanto, foi realizada uma busca retrospectiva (buscar nas referências dos artigos aderentes).

### 2.3. RESULTADOS DO MAPEAMENTO

A busca nas bases retornou um total de 1.166 resultados, que foram filtrados de acordo com o protocolo de busca adotado no método. A Tabela 2.1 apresenta o resumo dos resultados do Mapeamento (SMS).

Tabela 2.1: Processos de exclusão e inclusão adotados e resultados.

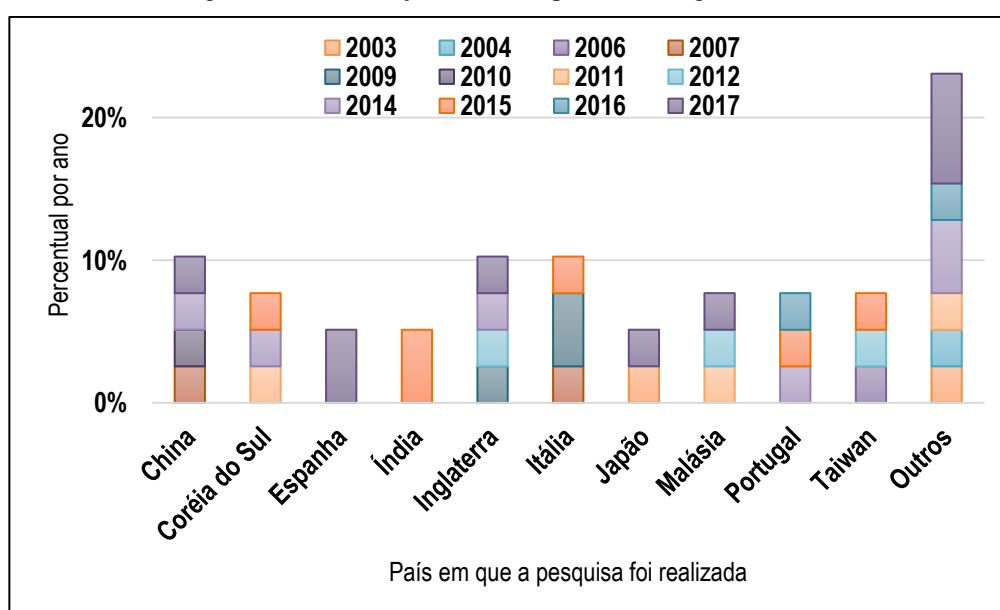
Processo/base	Science Direct	Scopus	Engineer Village	Total
<b>Busca</b>	698	298	170	1166
<b>Título e Resumo</b>	97	94	67	258
<b>Palavras Chave</b>	31	69	60	160
<b>Idioma</b>	31	63	60	154
<b>Duplicidade</b>	30	39	37	154
<b>Disponibilidade</b>	30	8	6	44
<b>Leitura</b>	27	6	5	36

O processo de filtragem se iniciou com a exclusão pela leitura dos títulos, resumos, palavras-chave e dos textos completos, nesta ordem. Ficou evidente que os mecanismos de busca das bases de dados são falhos, uma vez que só pela leitura dos títulos e resumos foram excluídas 908 publicações, o que é uma redução de mais de 77% dos resultados anteriormente obtidos. Seguiu-se a análise das palavras-chave, que levou à exclusão de mais 98 publicações dos resultados.

Embora o idioma inglês possa ser considerado universal para as publicações científicas, foram encontrados seis artigos publicados em línguas desconhecidas dos pesquisadores, como Mandarim ou Cantonês. Assim também, foram excluídos os artigos em duplicidade.

Observou-se que resultados obtidos por meio da base *Science Direct* (SD) foram pouco aderentes. Inicialmente retornaram 698 publicações, mas no processo de extração por leitura de títulos, resumos e palavras chave eliminaram-se 667. Ou seja, aproximadamente 95% dos resultados não eram aderentes à pesquisa. Já nos resultados obtidos pelas demais bases de dados, o percentual de exclusão foi de 76% no *Scopus* e 64% no *Engineer Village*. Os resultados sugerem que, apesar do SD ser o maior repositório, seu método de busca é muito amplo. Por outro lado, todos os trabalhos selecionados na base SD estavam disponíveis para leitura por serem de acesso livre ou constarem do convênio CAPES/CNPq. Nas demais bases a quantidade de publicações disponíveis foi muito pequena. Esses resultados demonstram a importância de se realizar um processo de exclusão criterioso das informações contidas nos artigos, extraindo várias publicações não-aderentes.

Figura 2.2: Distribuição físico-temporal dos artigos aderentes.



A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta um gráfico relacionando o ano e o país das publicações. China, Inglaterra e Itália são os países com o maior número de publicações aderentes sobre o tema. Dentre os trabalhos selecionados uma pequena quantidade diz respeito a pesquisas realizadas em climas tropicais, o que evidencia a necessidade de mais estudos nesta que é a realidade climática do Brasil.

A principal limitação do SMS é o fato de seus resultados dependerem do nível de acesso que os pesquisadores terão às publicações. Isso porque a maioria dos periódicos de qualidade não é gratuito, e o convênio CAPES, embora forneça acesso a uma gigantesca quantidade de informação, não consegue alcançar a totalidade necessária a esse tipo de análise. Como exemplo temos o artigo *Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms* (DE DEAR et al., 2015) que foi extremamente citado, mas excluído durante o processo de filtragem.

## 2.4. RESULTADOS DA REVISÃO

A extração sistemática de informações permitiu a elaboração do Quadro 2.2 que apresenta os resultados classificados segundo: país em que a pesquisa foi realizada; classificação climática da região estudada; estratégias de ventilação (MV, NV, AC ou HVAC); estação; tamanho da amostra; variáveis ambientais medidas e modelo utilizado na avaliação do conforto térmico.

A classificação segundo o local de realização da pesquisa permitiu identificar o clima segundo a classificação de Köppen (RUBER; KOTTEK, 2011), o que permite a análise entre os estudos oriundos de localidades geográficas distintas, porém com a mesma realidade climática. Nos resultados aderentes foram encontrados estudos realizados em seis climas também presentes no Brasil: Clima equatorial (Af), Clima Tropical de Monções (Am), Clima Tropical (chuvas no verão) (Aw), Clima Subtropical ou tropical de Altitude (Cwa); Clima subtropical úmido (Cfa) e Clima temperado marítimo úmido (Cfb). Vários pesquisadores omitiram informações tanto sobre o clima quanto sobre a estação do ano em que se realizaram as medições e aplicações de questionários, o que impossibilitou a classificação adequada de suas pesquisas.

Em climas “Af”, os estudos realizados utilizaram tanto o RTC quando o ATC. Os estudos de Wong e Khoo (2003) e de Yatim et al. (2011) realizam análises por meio do RTC e da aplicação de 504 e 235 questionários, respectivamente, apontando não existir compatibilidade entre o PMV e o PPD. No primeiro o PMV superestimou a temperatura de conforto e no segundo subestimou. Em um terceiro estudo, realizado na Malásia com 1408 entrevistados, utilizou-se

o modelo ATC e também não foi encontrada compatibilidade entre o modelo adotado e o voto dos usuários (ZAKI et al., 2017).

Quadro 2.2: Sumário dos artigos aderentes. (Continua)

Referência	País	Clima (Köppen)	Ventilação	Estação	Amostra	Variáveis ambientais	Modelo
WONG; KHOO (2003)	Singapura	Af	MV	Inverno	506	Ta, UR, V, Tg	Racional
KWOK; CHUN (2003)	Japão	Cfa	NV + AC	Verão	74	Ta, UR, V, Tg	Racional
KRUGER; ZANNIN (2004)	Brasil	Cfb	HVAC	Inverno + Verão	NI	Ta, UR	Givoni
HWANG; LIN; KUO (2006)	Taiwan	Cfa	NV + AC	Verão	1294	Ta, UR, V, Tg	Racional
CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO (2007)	Itália	Cfa	HVAC	Inverno	430	Ta, UR, V, Tg	Racional
ZHANG et al. (2007)	China	Cfa	MV	Primavera	1273	Ta, UR, V, Tg	Racional
BURATTI; RICCIARDI (2009)	Itália	Cfa	HVAC	Outono + Inverno + Primavera	959	Ta, TBU, Tg, V, Ts-piso	Racional e Adaptativo
CORGNATI; ANSALDI; FILIPPI (2009)	Itália	Cfa	NV	Outono + Primavera	230	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
MUMOVIC et al. (2009)	Inglaterra	Cfb	NV+MV	Inverno	NI	Ta, UR	Racional
YAO; LIU; LI (2010)	China	Cfa	HVAC	Todas	3621	Ta, UR, V	Racional e Adaptativo
MORS et al. (2011)	Holanda	Cfb	HVAC	Inverno + Primavera + Verão	2166	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
YATIM et al. (2011)	Malásia	Af	AC	NI	235	Ta, UR, V, Tg	Racional
JUNG et al. (2011)	Coréia do Sul	Dfa	HVAC	Primavera + Outono	962	Ta, UR, V, Tg	Racional
LIANG; LIN; HWANG (2012)	Taiwan	Cfa	NV	Todas	3754	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
TELI; JENTSCH; JAMES (2012)	Inglaterra	Cfb	HVAC	Primavera	1300	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
WANG et al. (2014)	China	Dwa	HVAC	Inverno + Primavera	488	Ta, UR, V, Ts	Adaptativo
NEMATCHOUA; TCHINDA; OROSA (2014)	Camarões	Am + Aw	NV	Verão + Inverno	2650	Ta, UR, V,	Racional e Adaptativo
PEREIRA et al. (2014)	Portugal	Csa	NV	Primavera	NI	Ta, UR,	Racional
TELI; JENTSCH; JAMES (2014)	Inglaterra	Cfb	NV	Primavera	2990	Ta, UR	Racional e Adaptativo
YUN et al. (2014)	Coréia do Sul	Dfa	NV	Primavera	119	Ta, UR, V, Tg	Racional

KATAFYGIOTOU; SERGHIDES (2014)	Chipre	Csa	HVAC	Todas	100	Ta, UR	Racional
NICO; LIUZZI; STEFANIZZI (2015)	Itália	Csa	NV	Inverno	126	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
NAM <i>et al.</i> (2015)	Coréia do Sul	Dfa	HVAC	Todas	994	Ta, UR, V, Tg	Racional
PEREIRA; CARDOSO; SILVA (2015)	Portugal	Csa	NV + HVAC	Inverno	NI	Ta, UR	Racional
HUANG <i>et al.</i> (2015)	Taiwan	Cfa	NV	Verão	NI	Ta, V, Tg	Adaptativo
MISHRA; RAMGOPAL, (2015b)	Índia	Aw	NV	Todas	548	Ta, UR, V, Tg	Adaptativo
MISHRA; RAMGOPAL (2015a)	Índia	Aw	AC+NV	Primavera	50 x?	NI	Racional + adaptativo
HAMZAH <i>et al.</i> (2016)	Indonésia	Am	NV	Primavera	118	Ta, UR, Ts, V	Racional
ALMEIDA; RAMOS; FREITAS (2016)	Portugal	Csb	NV	Primavera	490	Ta, UR, V, Ts	Racional + adaptativo
KRAWCZYK; GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK; RODERO (2017)	Polónia	Dfb	HVAC	Inverno + Verão	138	Ta, UR	Racional
	Espanha	Csa	HVAC		129		
TREBILCOCK <i>et al.</i> (2017)	Chile	Csc	NV	Inverno + Primavera	5414	Ta, UR, V, Tg	Adaptativo
ZAKI <i>et al.</i> (2017)	Malásia	Af	NV + AC	Verão	1428	Ta, UR, V, Tg	Adaptativo
	Japão	Cfa					
VILCEKOVA <i>et al.</i> (2017)	Eslováquia	Dfb	HVAC	NI	39	Ta, UR	Racional
MARTINEZ-MOLINA <i>et al.</i> (2017)	Espanha	Csa	HVAC	Outono	60	Ta, UR	Racional
WANG <i>et al.</i> (2017)	China	Cwa + Dwb + Dwc	HVAC	Todas	1126	Ta, UR, V, Tg	Racional + adaptativo
MONTAZAMI <i>et al.</i> (2017)	Inglaterra	Cfb	NV	Inverno	662	Tg	Racional

Em climas “Am”, observou-se que os dois estudos realizados não encontraram compatibilidade entre os modelos (ATC e RTC) e o voto dos usuários (HAMZAH *et al.*, 2016; NEMATCHOUA; TCHINDA; OROSA, 2014).

De três estudos realizados em climas “Aw”, dois foram realizados na Índia pelos mesmos pesquisadores, onde Mishra e Ramgopal (2015a, 2015b) aplicaram cerca de 550 questionários e mediram variáveis ambientais como temperatura do ar (Ta) e de globo (Tg), velocidade do ar (V) e umidade relativa do ar (UR). Os resultados apontaram para a existência de compatibilidade entre os modelos (RTC e ATC), porém incompatibilidade entre os modelos e os votos dos usuários. Salienta-se que em um dos estudos foram coletados dados durante o ano todo, em salas dotadas de sistemas de NV e AC (ventilação natural e ar condicionado, respectivamente).

Durante um ano, Wang et al. (2017) mediram as variáveis ambientais em escolas situadas em três regiões climáticas diferentes da China, “Cwa”, “Dwb” e “Dwc”, bem como foram coletadas 1126 repostas de sensação térmica. Os resultados apontaram que o modelo Racional (RTC) é o mais adequado para as realidades climáticas em questão.

Em climas “Cfa”, foram encontrados 10 (dez) estudos, onde 4 (quatro) utilizaram modelo RTC, 2 (dois) o modelo ATC e 4 (quatro), os dois modelos. Em dois estudos realizados com amostra maior que 900 respostas, foram coletados dados durante um grande período de tempo. A comparação entre os dois modelos retornou a maior compatibilidade entre o modelo ATC e os votos coletados do que o PMV (BURATTI; RICCIARDI, 2009; LIANG; LIN; HWANG, 2012).

Em climas “Cfb”, foram identificados 6 (seis) estudos, a maioria na Inglaterra. Teli, Jentsch e James, em estudo publicado em 2014, verificaram a compatibilidade do modelo ATC com os votos de 2990 usuários durante a primavera em um ambiente naturalmente ventilado (NV) na Inglaterra. Salienta-se que, embora em climas temperados (Cfb) é comum que ambientes possuam sistemas HVAC, alguns estudos fizeram a opção de realizar a pesquisa com equipamentos desligados, permitindo o monitoramento de condições reais, como é o caso dos estudos de Teli, Jentsch e James (2014), sendo que estes autores haviam, anteriormente, desenvolvido estudo similar em condições de ambientes climatizados. Outros optaram por avaliar os ambientes com os aparelhos ligados e desligados, como pode-se observar nos estudos de Zaki et al. (2017), Pereira, Cardoso e Silva (2015), Hwang, Lin e Kuo (2006), Kwok e Chun (2003) e Mumovic et al. (2009).

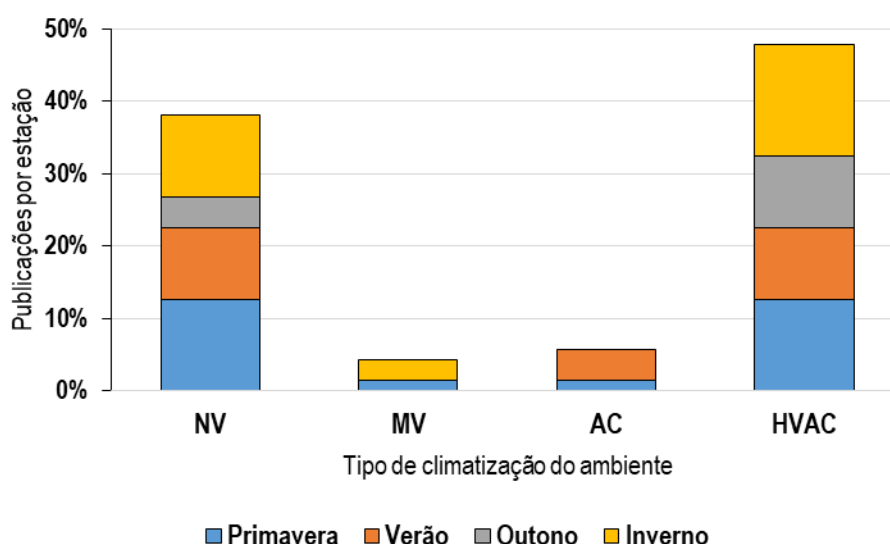
Ao se considerar as variáveis ambientais analisadas e a forma como foram coletadas, verificou-se que muitos estudos não aferiram a temperatura de globo ( $T_g$ ) e velocidade do ar ( $V$ ). A aferição da  $T_g$  é fundamental para o cálculo da  $T_{rm}$ , que é a média das temperaturas superficiais dos elementos que envolvem o ambiente. Quando a variável  $T_g$  não é medida, a  $T_{rm}$  pode ser estimada pela média das temperaturas superficiais interna da envoltória ou então, adota-se a temperatura interna do ar ( $T_a$ ) igual à  $T_{rm}$ . Porém, quando a envoltória transfere grande quantidade de energia térmica para o ambiente interno ou existem equipamentos e outros elementos geradores de calor no ambiente, a  $T_{rm}$  não poderá ser considerada a mesma da  $T_a$  (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2016). Outra variável de grande importância é a velocidade do ar ( $V$ ), fundamental para a realização de trocas térmicas por convecção, influenciando grandemente a sensação térmica de usuários, sobretudo em climas quentes (DE VECCHI;

CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013). Quando não há aferição dessa variável in loco, considera-se 0,1 m/s. No cálculo da Temperatura Operativa ( $T_o$ ) ou do PMV, essas simplificações poderão gerar incompatibilidade com as sensações de conforto dos usuários.

Dentre os estudos que se valeram do modelo RTC para o cálculo do conforto térmico dos usuários, 64% coletaram a  $T_g$  nos ambientes analisados. Nos estudos baseados no modelo ATC esse percentual saltou para 76% dos estudos. Dentre todos os estudos analisados, 42% não coletaram a  $T_g$  dos ambientes analisados, sendo que 10% dos casos utilizaram as temperaturas superficiais dos ambientes internos para cálculo da  $T_{rm}$ . Do total, 21% das análises foram desenvolvidas a partir da coleta apenas da  $T_a$  e UR. Esses resultados sugerem que a escolha do modelo a ser adotado depende da disponibilidade de equipamentos apropriados para a coleta de dados.

A Figura 2.3 é um resumo entre o sistema de condicionamento de ar adotado no ambiente – Naturalmente Ventilado (NV), Ventilação Mecânica (MV), Ar Condicionado (AC) e Sistema Integrado de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento do Ar (HVAC) - com a estação do ano em que os dados foram coletados. Existem estudos que foram realizados com duas ou mais condições de ventilação, bem como estudos que foram realizados durante mais de uma estação. Nestes casos, foram pontuados individualmente cada sistema e cada estação.

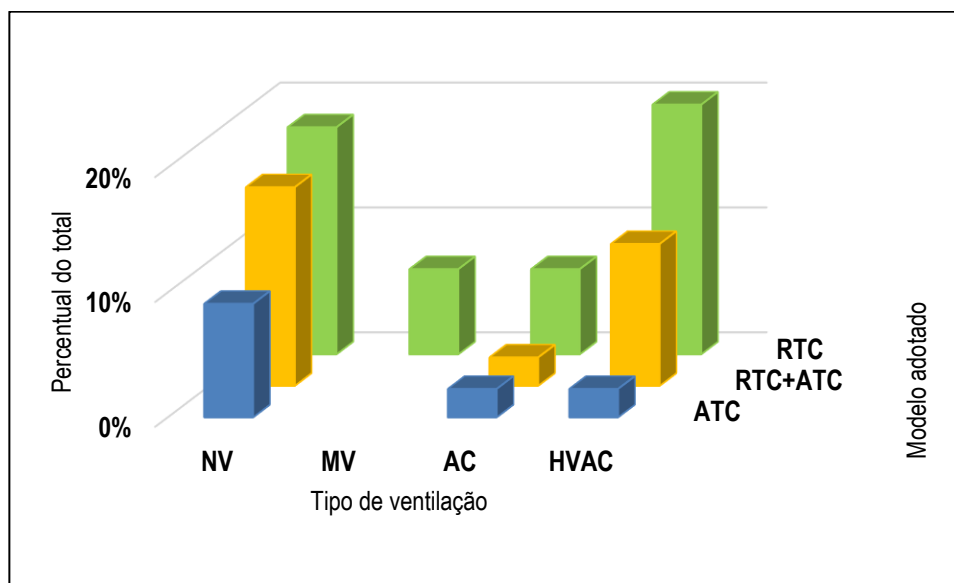
Figura 2.3: Relação entre o tipo de climatização do ambiente e a estação em que a pesquisa foi realizada.



O sistema de ventilação utilizado durante a análise foi classificado de acordo com o modelo de conforto adotado, resultando no gráfico representado na Figura 2.4, em que observa-se a predominância, dentro do universo analisado do RTC, já que 78% das análises se utilizaram do

modelo baseado no PMV (FANGER, 1970). Em 47% dos estudos, o RTC foi o único modelo adotado. Já 31% dos resultados tiveram suas análises desenvolvidas tanto com o RTC como com o ATC. Estudos mais recentes, como o de Wang et al. (2017) fizeram opção por usar uma derivação do PMV, o aPMV (*adaptive PMV*). Em aproximadamente 50% dos estudos analisados o RTC superestimou o conforto dos usuários.

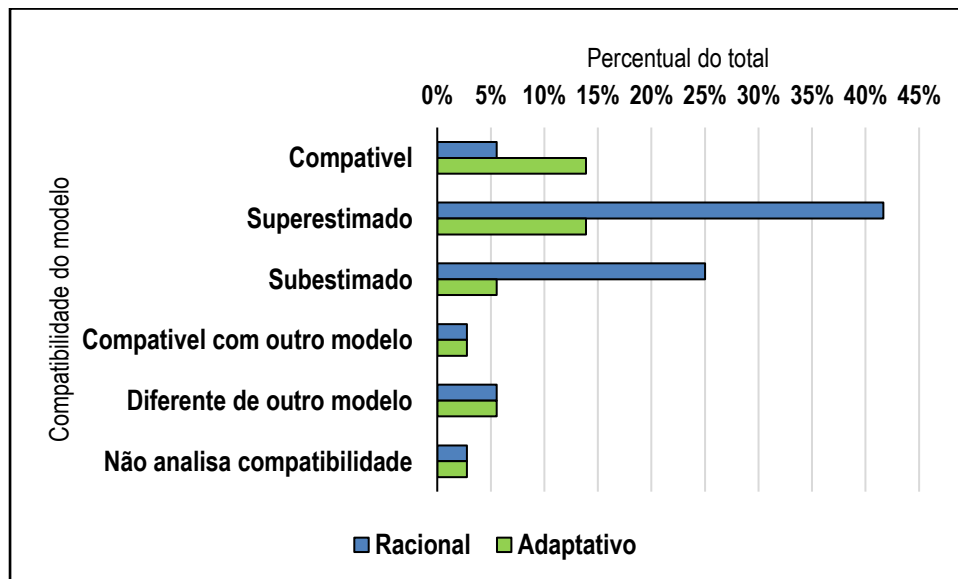
Figura 2.4: Relação entre o modelo de conforto adotado e o tipo de climatização do ambiente.



Dentre as pesquisas que utilizaram RTC, apenas em 6,5% os modelos foram compatíveis com o TSV (Voto de Sensação Térmica, da sigla em inglês) dos usuários. Nestes resultados, as situações climáticas avaliadas eram de inverno, como no estudo desenvolvido no ensino básico em Portugal por Pereira, Cardoso e Silva (2015) ou de climas temperados, como fica expresso na análise desenvolvida por Krawczyk, Gładyszewska-Fiedoruk e Rodero (2017).

A Figura 2.5 analisa a compatibilidade dos modelos de conforto em números absolutos, ou seja, compara os dados das respostas dos usuários com os limites propostos pelos métodos de conforto (PMV e ATC). Em 50% das análises desenvolvidas com o RTC, este índice superestimou as condições de conforto. Embora o estudo desenvolvido por Fanger (1970) tenha partido de análises com indivíduos em situação escolar (universitários), a adoção deste modelo é indicada em ambientes de escritórios, onde o usuário possui mais opções para se adaptar as condições, como constatado por Nico, Liuzzi e Stefanizzi (2015). Em todas as análises conduzidas em climas tropicais o modelo racional foi inadequado, como apontado por Hamzah et al. (2016), que constataram que a utilização do RTC em climas com características tropicais pode ser considerada inadequada, dada a baixa compatibilidade deste modelo com os votos de sensação térmica dos usuários (TSV).

Figura 2.5: Análise da compatibilidade entre os modelos de conforto adotados e as Sensações reais dos usuários.



A maior parte das análises foi desenvolvida com estudantes do ensino superior. Isso pode ter sido influenciado pela facilidade de aplicação do questionário, visto que esse grupo de indivíduos possui maior compreensão sobre as questões propostas, reduzindo a necessidade de adaptação dos métodos de coleta. Além disso, a coleta em instituições de ensino superior garante uma elevada padronização dos respondentes em relação à idade, atividade e vestimenta, variáveis que influenciam o conforto térmico e que, ao apresentarem semelhança, ajudam a caracterizar o grupo de análise. Como o RTC se baseia no metabolismo de adultos, pode ser considerado mais adequado para ser aplicado em estudantes do ensino superior. Vale lembrar que crianças e adolescentes possuem um metabolismo mais acelerado e diferentes concentrações hormonais, que somados geram uma grande variabilidade entre os indivíduos de um mesmo grupo de análise (MONTAZAMI et al., 2017).

Como exemplo, Martinez-Molina et al. (2017) e Nam et al. (2015) encontraram diferenças entre os votos de alunos e professores ao aplicarem os modelos para um grupo de indivíduos em instituições de ensino fundamental e médio. Posteriormente, a análise conduzida por Montazami et al. (2017) apontou que na maior parte das situações, os professores foram responsáveis por controlar a climatização do ambiente o que, conseqüentemente, causou desconforto aos estudantes. Além disso, foram constatadas taxas metabólicas distintas entre os indivíduos, proporcionadas pelas diferenças: de idade, de desenvolvimento de atividades, e de vestimentas.

Dentre os artigos analisados, apenas o estudo de Almeida, Ramos e Freitas (2016) avaliou as condições de conforto em salas de aula nos três níveis de ensino utilizando os modelos RTC e ATC, tendo constatado que nas condições analisadas o RTC foi mais restrito quanto às zonas de conforto que o ATC. O estudo conduzido por Vilcekova et al. (2017) foi único por ter coletado respostas de crianças em situações especiais de ensino. Neste caso, o modelo RTC se mostrou superestimado em relação ao RTC. Dentre as 36 publicações avaliadas, em 6 o RTC não apresentou correlação com o ATC, sendo que o primeiro modelo possui uma faixa de conforto mais estrita que os votos dos usuários e que o modelo Adaptativo.

Os estudos desenvolvidos por Mishra e Ramgopal (2015a e 2015b) na Índia analisaram a performance de universitários por meio dos dois modelos, além do conforto nos ambientes internos a partir do ATC. Não foi encontrada relação entre a aplicação de diferentes modelos para climatização dos ambientes e o rendimento estudantil. A análise, porém, apresentou compatibilidade entre o modelo ATC e as sensações térmicas dos usuários, sendo o único estudo desenvolvido em clima quente em que o ATC apresentou compatibilidade.

Dois estudos realizados na Itália com alunos do ensino superior, em 2009, concluíram que o ATC não apresentou correlação com o TSV. Contudo, em um dos casos foi encontrada correlação entre o RTC e a ATC (BURATTI; RICCIARDI, 2009) enquanto no outro não (CORGNATI; ANSALDI; FILIPPI, 2009).

Outro ponto a ser considerado é o número amostral adotado nas análises. Fanger (1970) sugere uma amostra com cerca de 1300 entrevistados. Logo, observou-se que os estudos como de Teli, Jentsch e James (2014), Trebilcock et al. (2017), Yao, Liu e Li, (2010) atingiram ou ultrapassaram esse tamanho amostral de respondentes. Embora 65% dos estudos analisados possuem número de respondentes inferior ao recomendado (FANGER, 1970), estes são tão citados quantos os que possuem número amostral elevado e as relações encontradas entre os modelos e as sensações térmicas são as mesmas dos estudos com grande número de inquiridos (MARTINEZ-MOLINA et al., 2017; MISHRA E RAMGOPAL, 2015b; VILCEKOVA et al., 2017). Assim, embora haja uma recomendação para um número mínimo de respostas acerca das sensações térmicas (FANGER, 1970; XAVIER, 2000), a análise dos artigos encontrados pela revisão mostra que a pesquisa de conforto pode atingir qualidade independentemente do número amostral.

É notória a existência de grande quantidade de estudos realizados em países em desenvolvimento, sobretudo no sudeste asiático (16 publicações). Muitas destas publicações

preocupam-se com a qualidade do ambiente construído e com o consumo energético das edificações. Os estudos chineses são realizados em áreas de climas frios, enquanto os demais do sudeste asiático em condições de clima tropical, tipicamente em meses chuvosos e quentes. Apenas um estudo realizado no continente Africano foi encontrado, o de Nematchoua, Tchinda e Orosa (2014), que compara condições de conforto em edificações educacionais e de escritórios em duas cidades em Camarões, cada uma classificada em uma zona climática distinta (Am e Aw).

Na América Latina foram encontrados dois estudos: o primeiro, realizado no Brasil, avaliou o conforto térmico a partir da Carta Bioclimática de Givoni (1992) (KRUGER; ZANNIN, 2004) e não realizou a coleta de respostas dos usuários. Assim, não foi possível estabelecer relações entre o método de conforto adotado e a sensação térmica.

O segundo artigo é chileno e utilizou o ATC para avaliar o conforto térmico de 5414 respondentes (TREBILCOCK et al., 2017). Neste, foi observado que os estudantes de escolas localizadas em regiões de maior vulnerabilidade social possuíam maior capacidade de adaptação às situações de desconforto que os estudantes de escolas localizadas em zonas com renda per capita maior.

Outros estudos, não aderentes a esta revisão, consideraram a adaptação dos usuários ao ambiente a partir da vestimenta e indicam uma preferência do brasileiro por ambientes ventilados e de controle individual, sobretudo em situações de desconforto por calor (CÂNDIDO et al., 2010; DE VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013; DE VECCHI; LAMBERTS; CANDIDO, 2017).

## **2.5. CONSIDERAÇÕES**

A combinação entre o Mapeamento (SMS) e posterior Revisão (SLR) permitiu levantar e avaliar a aplicação de diferentes métodos de avaliação do conforto térmico em ambiente escolar. Embora haja algumas limitações neste método, foi possível identificar estudos com mesmos objetivos, isto é, a avaliação do conforto térmico em salas de aula. Embora existam muitos estudos sobre conforto térmico em ambientes de sala de aula, esta análise encontrou poucos estudos que se situam na realidade climática brasileira nas bases de dados internacionais. Para responder à questão levantada nesta revisão sistemática foram analisados 36 artigos, em que 18 utilizaram exclusivamente o RTC, 12 o RTC e o ATC, cinco o ATC e um utilizou Givoni.

Embora o amplo espectro de modelos e índices de avaliação de conforto, apenas sete dos estudos analisados apontaram para a compatibilidade entre o modelo ou índice utilizado e a resposta dos usuários. Destes sete, cinco analisaram o conforto pelo ATC e dois pelo RTC. A dificuldade em estabelecer uma correlação entre o modelo e/ou índice e a sensação térmica dos usuários pode ser explicada pela falta de adequação dos modelos e/ou índices com a preferência térmica dos usuários, que se baseiam nas médias mensais das temperaturas externas, observadas nos locais em que os estudos foram conduzidos. Considerando-se as análises que utilizaram os dois modelos de conforto, 30 foram conduzidas com o RTC enquanto 17 com o ATC. Ressalta-se que as análises mais recentes primam pelo ATC e este modelo foi capaz de gerar resultados mais confiáveis (em relação às sensações térmicas dos usuários).

Várias análises apontaram que o modelo RTC tende a superestimar os resultados, ou seja, a sensação térmica dos usuários se encontra acima dos limites superiores das zonas de conforto propostas pelo modelo. Ainda, observou-se que seis estudos que utilizaram o modelo ATC mediram apenas temperatura do ar e a umidade relativa, e estimaram a  $T_{rm}$  e a velocidade do ar. Não se observaram estudos baseados no RTC que trabalharam com os mesmos dados, permitindo a observação de que a escolha do modelo e/ou índice de avaliação de conforto pode estar relacionada à disponibilidade e à qualidade dos dados climáticos coletados no ambiente em estudo.

Em regiões tropicais, sugere-se: aplicar mais de um método de avaliação de conforto para verificar qual a adequação do modelo, bem como considerar a adaptação do usuário ao clima, conforme o estudo de Wang et al. (2017). Além disso, no desenvolvimento de pesquisas futuras sobre este tema salienta-se a importância de publicações em revistas internacionais indexadas. Caso contrário, a divulgação de resultados fica limitada, dificultando a compatibilização de diferentes métodos de avaliação de conforto para a realidade brasileira.

# CAPÍTULO 3

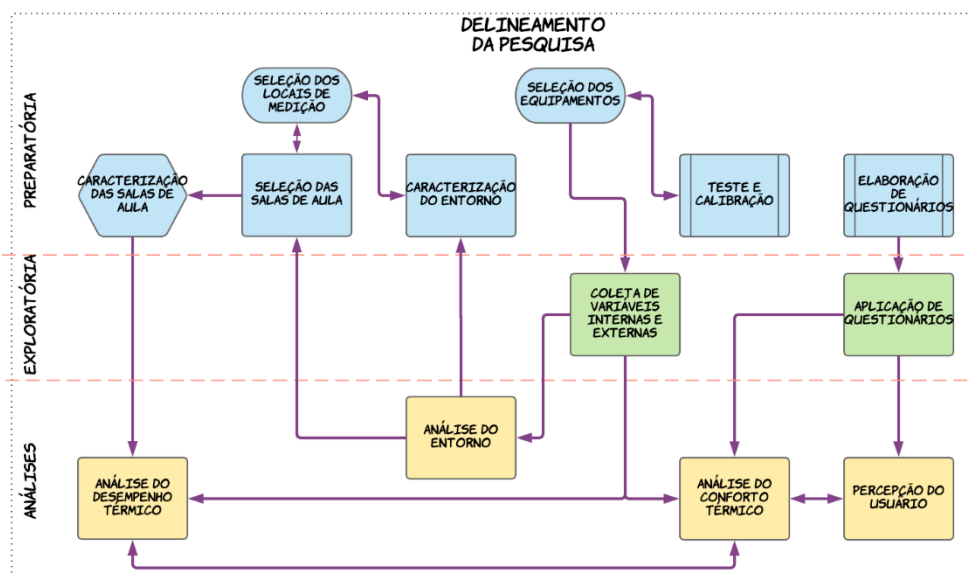
## MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta detalhadamente o delineamento da pesquisa e a metodologia empregada em cada etapa, descrevendo os procedimentos empregados para medição, coleta e tratamento dos dados obtidos. Se dedica, também, a expor os objetos de pesquisa, caracterizando os locais em que a pesquisa foi conduzida e a amostra abordada.

### 3.1. DELINEAMENTO

A análise do comportamento térmico dos sistemas construtivos das envoltórias e do conforto térmico dos usuários nas salas de aula foi desenvolvida pela coleta de dados em campo, com o monitoramento de quatro ambientes de ensino em duas edificações distintas. A análise do desempenho das envoltórias foi conduzida por meio do método simplificado proposto pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) e o conforto térmico dos usuários foi calculado a partir das variáveis climáticas medidas e das respostas coletadas com a aplicação de um questionário simplificado e respectivos tratamentos estatísticos.

Figura 3.1: Diagrama das etapas de pesquisa.



A Figura 3.1 demonstra, de forma gráfica, o projeto geral de coleta e tratamento de dados, que serão descritos nos itens que se segue. O delineamento desta pesquisa é experimental e o

resultado final foi a avaliação da influência da envoltória de edificações na satisfação térmica dos ocupantes. De modo a verificar qual o grau de influência de diferentes sistemas construtivos no desempenho térmico e conforto térmico em edifícios escolares, esta pesquisa definiu a seguinte metodologia:

- ◆ Etapa Preparatória:
  - ◆ Seleção dos Locais de Medição:
    - ◆ Caracterização do entorno;
    - ◆ Seleção das salas de aula
    - ◆ Caracterização das salas de aula;
  - ◆ Seleção do Equipamentos:
    - ◆ Teste e Calibração;
  - ◆ Elaboração dos Questionários;
- ◆ Etapa Exploratória:
  - ◆ Coleta das variáveis internas e externas;
  - ◆ Aplicação dos Questionários;
- ◆ Etapa de Análises:
  - ◆ Análise do Entorno;
  - ◆ Análise do Desempenho Térmico;
  - ◆ Análise do Conforto Térmico;
  - ◆ Percepção do usuário.

Para a realização desta pesquisa e obtenção dos dados necessários às análises sugeridas pelos objetivos, foram utilizados os instrumentos de medição expressos no item 3.4 a seguir.

### **3.2. CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA**

Goiás (Figura 3.2) se localiza na mesorregião nordeste do estado de Goiás, microrregião do Rio Vermelho, à 148 km da capital do estado, Goiânia, em 15°56' Sul de latitude e 50°08' Oeste de longitude, sua altitude média é de 496 m (IBGE, ANNO). A conformação da topografia é acidentada, localizando-se no vale do Rio Vermelho e cercada pela Serra Dourada, possui diversas elevações em seu perímetro, como o Morro do Canta Galo e de São Francisco. Devido

à continentalidade e a localização ser em uma depressão topográfica, a velocidade do ar registrada na cidade não é expressiva.

Figura 3.2: Localização e imagem de satélite da Cidade de Goiás, com destaque para o perímetro do Centro Histórico.



Fonte: IBGE, 2016; DGI, 2017, adaptado pelo autor.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (RUBER; KOTTEK, 2011), o clima da cidade é tropical com inverno seco (Aw). O clima é composto por duas estações, uma quente e seca, entre os meses de maio a setembro e outra quente e úmida, entre os meses de outubro e abril, sendo que a média anual de temperatura do ar é 25,1°C, a máxima média mensal é acima de 32°C e as mínimas médias mensais são entre 17,5°C e 21,7°C. O período quente e seco possui umidade relativa do ar média de 54,3% e a precipitação mensal é abaixo de 50 mm. Já no período quente e úmido a umidade relativa do ar média é de 75,3% e a precipitação mensal varia de 115 mm a 345 mm.

A Figura 3.3 apresenta as normais climatológicas da cidade entre 1981 e 1990, em que se percebe que durante todo o ano há uma elevada amplitude térmica, que se torna ainda mais notória na estação da seca. Já a Figura 3.4, que apresenta o clima da cidade segundo as normais de 1981 a 2010, nota-se uma alteração na linha de temperaturas médias compensadas, sobretudo

de setembro a novembro e uma alteração na precipitação média, sobretudo nos meses de junho e dezembro.

Figura 3.3: Normais Climatológicas de Goiás (1961-1990).

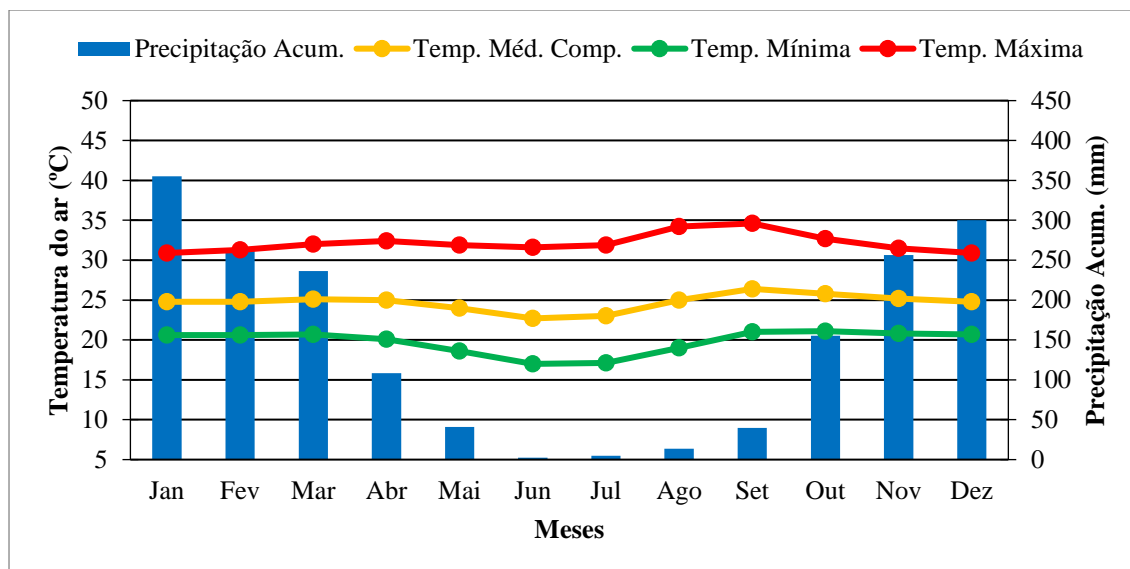
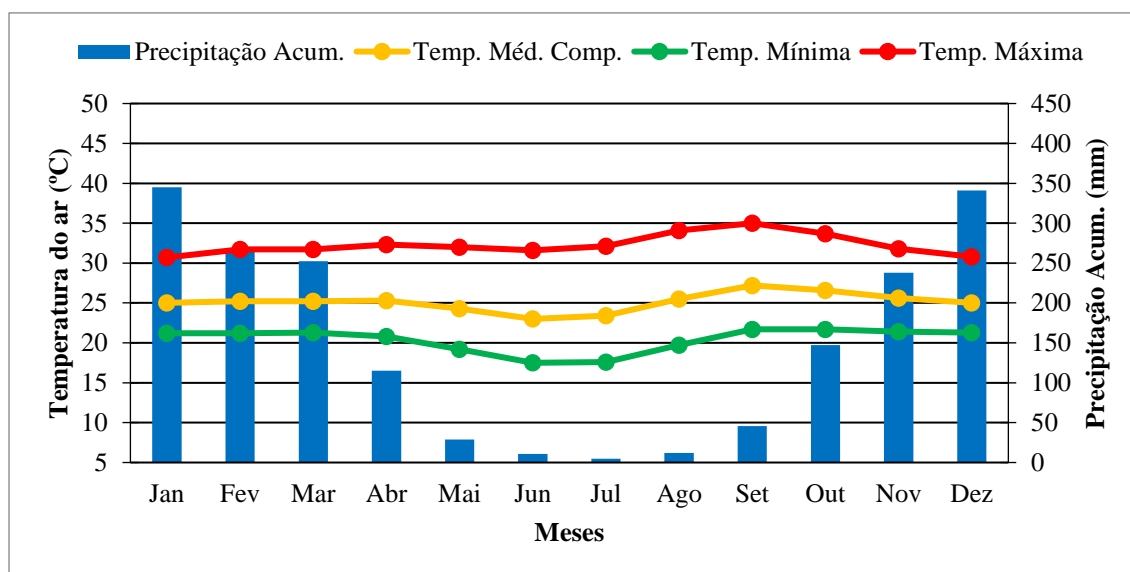


Figura 3.4: Normais Climatológicas de Goiás (1981-2010).



Fonte: Inmet (2018), adaptado pelo autor, 2018.

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISA

Retrato da conquista do território marcada por ouro e sangue, a Cidade de Goiás destaca-se por conservar mais de 90% de sua arquitetura barroco colonial original, foi a primeira aglomeração urbana oficial situada a oeste da linha de Tordesilhas, o que marcou claramente a expansão da

colônia pelos bandeirantes (COELHO, 2001). É um mostruário do que foi o Brasil oitocentista, mantendo o caráter de sua trama urbana, dos espaços públicos, a escala e a volumetria de suas edificações, constituindo o último e único testemunho íntegro, autêntico e original de conjunto urbano bandeirante (WHC/UNESCO, 2002).

A cidade histórica de Goiás é marcada também por preservar, além de suas edificações e técnicas construtivas, traços da riqueza cultural do estado, sendo o lar de tradições e manifestações culturais surgidas no sec. XVIII e mantidas vivas por sua população. Os símbolos de cultura, história e memória preservados em Goiás são parte fundamental da identidade cultural do estado, o que gera sentimento de pertença aos moradores que contribuem para a preservação do patrimônio da cidade (DELGADO, 2005; TAMASO, 2005). Dados do último Censo contabilizaram 24.727 habitantes distribuídos por toda a área do município, de 3.108 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

De maneira a atender a demanda exigida pelos cursos de graduação e pós-graduação, as instituições de ensino superior presentes na cidade construíram novas edificações e passaram a ocupar edifícios já existentes, muitos deles tombados pelo IPHAN. Estas edificações em muitos casos se encontravam sem uso, sendo que a sua ocupação e utilização é uma das maneiras mais eficazes de preservação. No entanto, as dificuldades encontradas para a adaptação destes espaços às novas demandas podem prejudicar as atividades desenvolvidas, desde ensino até administrativas.

### **3.3.1. Seleção das Edificações**

De modo a permitir a avaliação do desempenho e conforto térmico em edifícios escolares com sistemas construtivos distintos, é necessário que se considere a influência do clima urbano a partir das condições de entorno. Logo, foram considerados os seguintes critérios para a seleção dos locais de medição no estado de Goiás, visando a obtenção de um clima homogêneo:

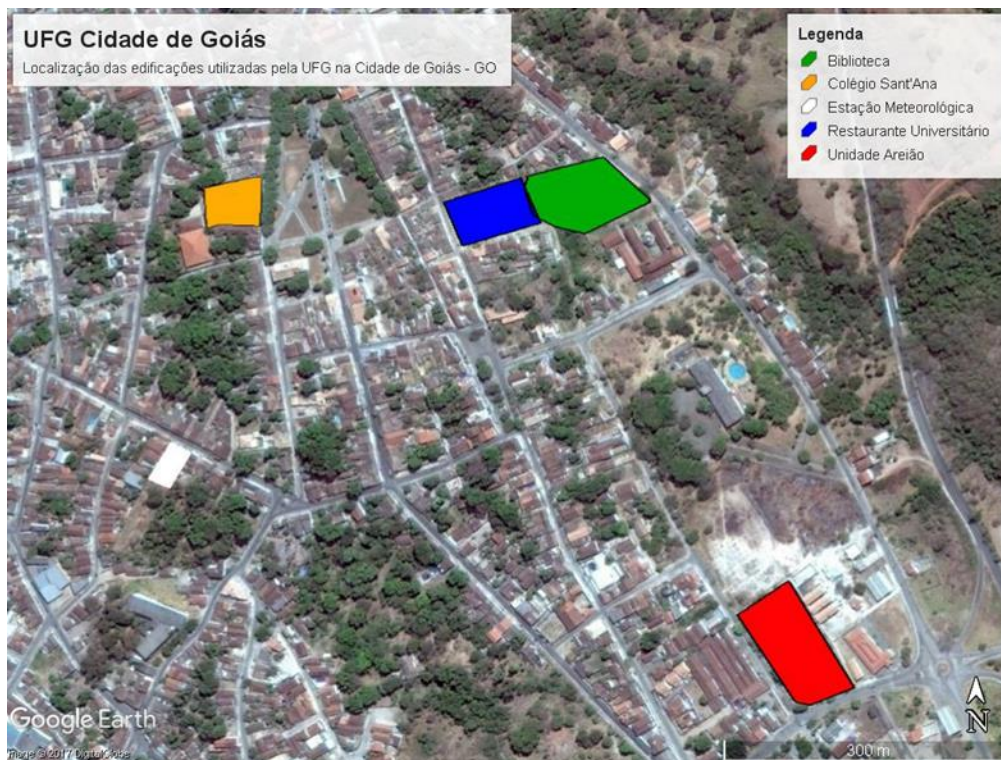
- ◆ Os edifícios devem estar a uma distância máxima de 1 km entre si, em áreas que possuam a mesma configuração urbana, para que a escala de influência do clima urbano seja a mesma (ASSIS et al., 2015);
- ◆ O entorno deve ser padronizado, não havendo interferências de grandes edificações, corpos e massas de água ou outros fatores ambientais que influenciem no clima urbano;

- ◆ Devem ser edifícios escolares com tipologias construtivas diferentes entre si, permitindo a análise de diferentes sistemas de envoltória;
- ◆ Estabelecimento em local seguro, que ofereça segurança ao pesquisador e aos equipamentos que serão utilizados, com presença de vigilantes durante o período de realização da pesquisa de campo;
- ◆ Localização acessível e, ao mesmo tempo, onde não haja risco da interferência de terceiros aos equipamentos;
- ◆ Edifícios que sediem instituições públicas, principalmente as federais, pois há uma facilidade de autorização de acesso à documentação;
- ◆ Semelhança entre os usuários das salas de aula das edificações selecionadas, neste caso se optou por avaliar a satisfação com o ambiente térmico de indivíduos adultos.

### 3.3.1.1. UFG Regional Goiás

A UFG se localiza em quatro áreas pela cidade, sendo que duas contam com salas de aula (Unidade Areião e Colégio Sant'Ana) e a distância entre elas é cerca de 850m, conforme mostrado na Figura 3.5.

Figura 3.5: Localização das unidades da UFG em Goiás, com a estação meteorológica do Inmet em branco.

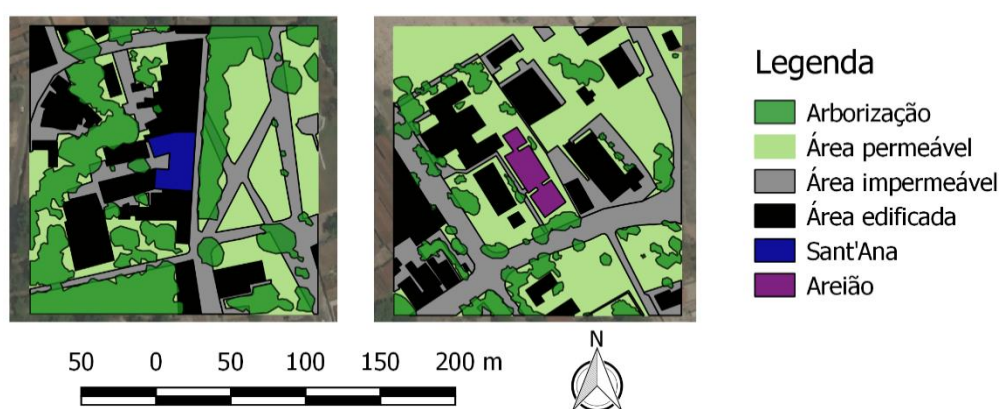


Fonte: DGI, 2016, adaptado pelo autor.

Uma das áreas se localiza na proximidade de um dos acessos à cidade, pela rodovia GO-164, onde estão locadas funções administrativas e de ensino, a Unidade Acadêmica Especial de Ciências Sociais Aplicadas (Areião), destacada em vermelho na Figura 3.5. A outra área se localiza na Praça Brasil Ramos Caiado, ou praça do Chafariz, em frente à Casa de Câmara e Cadeia, hoje, Museu das Bandeiras, no antigo Colégio Sant'Ana. A unidade destacada em amarelo, o Colégio Sant'Ana, possui funções exclusivas de ensino.

### 3.3.1.2. Caracterização do Entorno Imediato

Figura 3.6: Análise das variáveis ambientais do entorno das edificações



Para verificar a influência das condições do entorno imediato das edificações analisadas, foi feito levantamento a partir de programa do tipo SIG, com auxílio de imagens de satélite, em que foram levantados os quantitativos das áreas, em metros quadrados, de vegetação, construção e pavimentação no entorno dos edifícios. Para isso, foi definido um quadrante de 200 m por 200 m, totalizando 4 ha, ou 40.000 m<sup>2</sup>. O modelo de análise é apresentado na Figura 3.6.

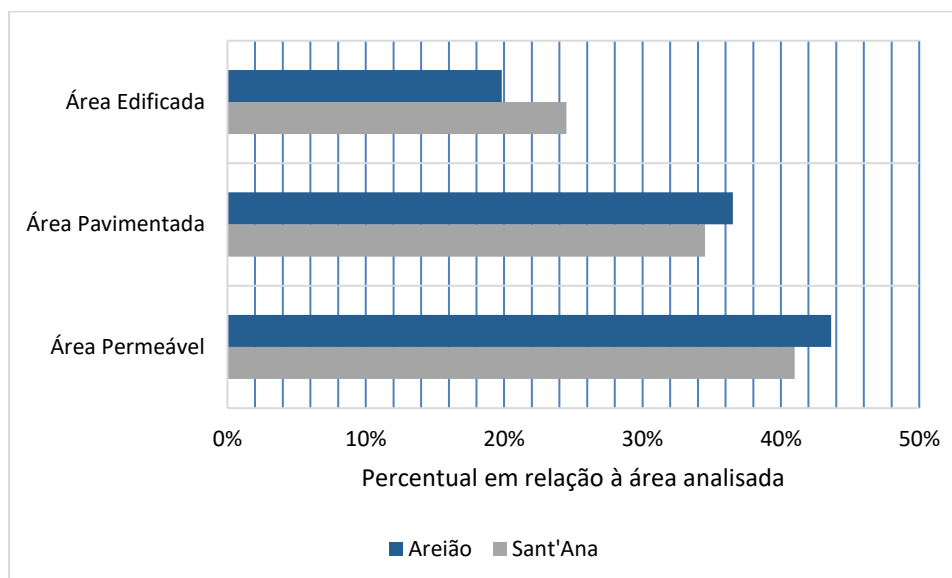
A avaliação dos parâmetros ambientais do entorno das edificações gerou dados que permitiram a aplicação dos procedimentos de pesquisa em ambas, uma vez que o grau de padronização encontrado eliminou as interferências do entorno sobre o microclima das edificações. A Tabela 3.1 traz um resumo da caracterização das edificações e do entorno.

Tabela 3.1: Síntese da análise do entorno.

Edificações	Sant'Ana	Areião	
<b>Relação com o entorno imediato</b> (Quadrante de análise de 200x200m)	Área Analisada	40.000,00 m <sup>2</sup>	
	Área Permeável	16.395 m <sup>2</sup> - 41%	17.455 m <sup>2</sup> - 43.64%
	Pavimento	13.804 m <sup>2</sup> - 34.51%	14.614 m <sup>2</sup> - 36.54%
	Área Edificada	9.801 m <sup>2</sup> - 24,5%	7.931 m <sup>2</sup> - 19,83%
	Fachadas	Até 2 pavimentos, na testada do lote.	Até 1 pavimento, recuadas em relação à rua
	Edifícios vizinhos	Térreos, pátio interno, sem recuo frontal.	Térreos, recuos frontais e laterais e de fundo.

A análise dos parâmetros ambientais de cobertura do solo do entorno permitiu que as edificações fossem comparadas dentro da metodologia proposta por este trabalho, uma vez que fica constatado um elevado grau de padronização entre o entorno imediato de ambas as edificações, como observado na Figura 3.7.

Figura 3.7: Elementos de cobertura do solo no entorno imediato das edificações analisadas.

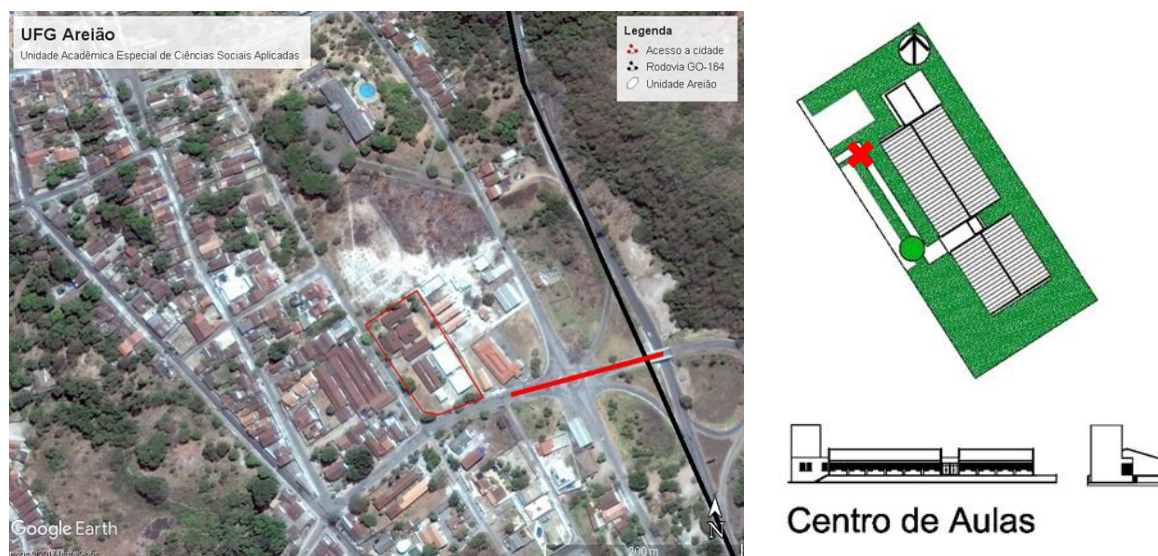


### 3.3.1.3. Caracterização das edificações

Cada uma das edificações utilizada pela universidade foi construída em um período, fazendo com que as características sejam diferentes, dentre elas a tipologia construtiva e de ocupação do terreno. Segue a descrição de cada uma delas:

#### **UFG Areião**

Figura 3.8: Localização da unidade Areião com destaque para o terreno em que se situa.



Fonte: DGI, 2016, adaptado pelo autor, 2018.

Localizada na esquina das ruas Bom Pastor com Edgar Camelo, a Unidade Acadêmica Especial de Ciências Sociais Aplicadas (UAECSA) da UFG na cidade de Goiás, conhecida como UFG Areião (Figura 3.8) é composta por seis blocos, sendo que 3 possuem salas de aula. Todos os blocos são interligados por passarelas, que se distribuem em uma área de 8.480,00 m<sup>2</sup>. Está distante cerca de 200 metros do trevo sobre a rodovia GO-070 e cerca de 700 metros da SANT'ANA e 650 metros da Estação Meteorológica do Inmet, localizada na rua Ernestina.

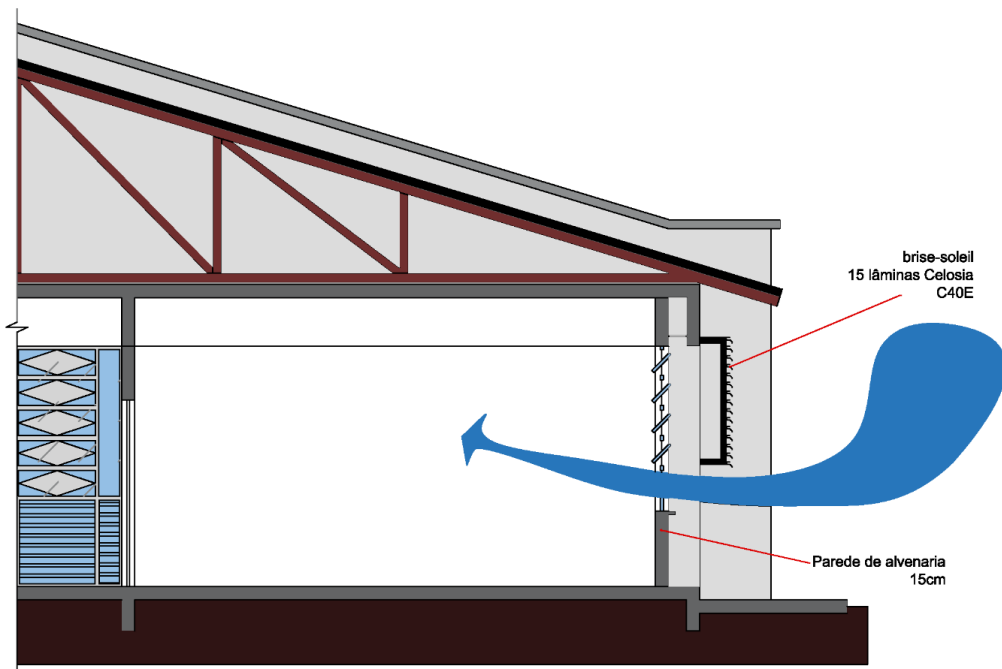
As edificações são todas térreas, e possuem área total construída de 3.198,00 m<sup>2</sup>. Os blocos mais antigos são de tijolo aparente, com estrutura e laje de concreto armado pintado, possuem telhado cerâmico com estrutura em madeira. A edificação não possui forro e a laje faz o acabamento. A Figura 3.8 traz um esquema do Campus Areião da UFG, com a edificação analisada, o Centro de Aulas, em destaque, bem como a planta baixa e as fachadas da mesma. Já a Figura 3.9 traz uma fotografia da edificação a partir da marcação X em vermelho na Figura 3.8.

Figura 3.9: Centro de Aulas com destaque para os *brises* fixos, tipo *celosia*.



O bloco escolhido para a realização da análise é o mais recente, construído com recursos do REUNI e seguindo o método construtivo mais empregado atualmente: estrutura e laje de concreto armado, paredes de alvenaria não-estrutural de tijolo furado.

Figura 3.10: Corte esquemático das salas da unidade Areião.



Fonte: Cegef, 2016, adaptado pelo autor.

A cobertura possui estrutura metálica e são utilizadas telhas metálicas com camada de isolante. Nesta edificação, em particular, além da laje de concreto é empregado forro de gesso pintado de branco. A Figura 3.10 apresenta um corte esquemático das salas de aula da unidade Areião.

Cada sala possui quatro janelas na parede oposta à porta protegidas externamente por *brises* fixos, todas do tipo basculante. O piso é monolítico e o forro de gesso perfurado. As luminárias são de embutir, com dispersores metálicos e lâmpadas fluorescentes. Todas as salas são equipadas com ar condicionado do tipo *Split*, capacidade nominal de 30.000 BTUs. O Quadro 3.1 traz um resumo dos sistemas utilizados nesta construção.

Quadro 3.1: Sumário dos sistemas construtivos empregados no Centro de Aulas.

SISTEMA	TIPO	MATERIAIS
<b>Cobertura</b>	Isolada, refletora. Laje de concreto, forro de gesso.	Telha metálica tipo sanduíche (aço-eps-aço). Estrutura de aço.
<b>Fechamentos</b>	Leve, refletora.	Alvenaria de tijolo furado, ½ vez (em pé). Rebocada; Pintura acrílica branca – interno; Textura palha externo.
<b>Aberturas</b>	Janelas basculantes. Brisas celosia fixos.	Janelas com 2,1 m <sup>2</sup> . Área real de abertura: 0,51 m <sup>2</sup> .
<b>Iluminação</b>	Fria.	Lâmpadas florescentes tubulares. Luminárias com difusores: aletas metálicas.
<b>Condicionamento de ar</b>	Ar condicionado (AC)	Tipo Split, 30.000 BTUs por sala. 1 Evaporadora centralizada parede janela, teto.

Fonte: Cegef, 2016, adaptado pelo autor.

### ***Colégio Sant'Ana***

A Unidade Acadêmica Especial de Ciências Humanas, em amarelo na Figura 3.11, é uma das duas unidades que compõem a Regional Cidade de Goiás da Universidade Federal de Goiás. Se localiza na Rua Senador Caiado, número 35, em frente ao Museu das Bandeiras. Ocupa uma edificação escolar do séc. XIX, parte integrante do casario colonial tombado na cidade. Em relação à unidade Areião está distante 670 m, aproximadamente, e cerca de 225 metros da Estação Meteorológica do Inmet.

Figura 3.11: Localização das duas unidades da UFG analisadas.



Fonte: DGI, 2017, adaptado pelo autor.

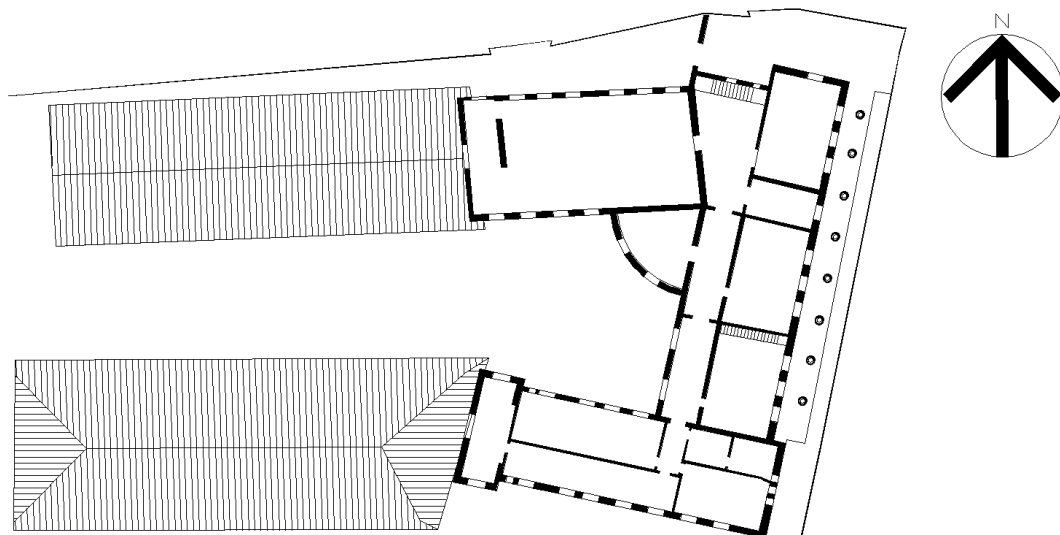
Sua fundação data de 1889, quando oito irmãs Dominicanas chegaram à cidade para abrir um centro educacional não-laico, exclusivamente feminino. Iniciou as operações em uma edificação que fora uma residência, porém logo se ampliou e incorporou outras duas edificações vizinhas. Funcionou como internato e externato por longos anos e quando fechou as portas definitivamente, em 2015, fornecia educação fundamental e média para aproximadamente 300 alunos. No ano de 2010 foram iniciadas obras de reforma do complexo com verba do PAC Cidades Históricas via convênio com o IPHAN, concluídas em 2011. Assim, quando em 2016 a UFG firmou convênio para ali instalar uma de suas unidades na cidade de Goiânia, a edificação se encontrava recém restaurada e em boas condições, observado na Figura 3.12, além de possuir informações construtivas suficientes para esta análise.

Figura 3.12: Fachada frontal da unidade Sant'Ana.



Funcionam plenamente no Colégio Sant'Ana os cursos de Filosofia e Ledoc – Licenciatura em Educação do Campo - ambos com ingresso semestral, via SISU (Sistema de Seleção Unificada) – ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e Vestibular próprio, e possuem duração de quatro anos. Por ser sede destes dois cursos, a unidade se caracteriza como uma Unidade Acadêmica Especial de Ciências Humanas, porém, algumas disciplinas do curso de Arquitetura e Urbanismo são ministradas no Colégio.

Figura 3.13: Planta do 1º pavimento da Unidade Sant'Ana.



Fonte: Cegef (2017), adaptado pelo autor, 2017.

A edificação conta com três níveis principais, que se aproveitam do desnível do terreno para formar primeiro pavimento semi-elevado e térreo. Acessa-se o edifício pelo primeiro pavimento da edificação histórica, onde ficam as secretarias acadêmicas, a capela e o auditório e de onde pode-se subir para o segundo pavimento, onde estão algumas salas de aula que atendem aos

cursos de Filosofia e Arquitetura e Urbanismo. No pavimento térreo há um grande pátio central, de onde pode-se locomover para o bloco de laboratórios, as áreas de apoio, as salas de aula do edifício histórico e as do novo bloco. A Figura 3.13 apresenta a planta do pavimento térreo da edificação.

A edificação principal, que será alvo desta análise, foi edificada com paredes externas e internas em adobe, caiadas, sendo que as externas possuem espessura de aproximadamente 55 cm e as internas de 20 cm. O telhado possui estrutura de madeira com cobrimento por telhas capa e canal. A edificação não possui laje e um forro de madeira separa a câmara de ar do telhado dos ambientes internos. O piso é de tábuas de madeira com espessura de 5 cm, suportados por estrutura de madeira. As janelas são do tipo abrir, com duas folhas e veneziana de madeira para permitir a ventilação mesmo com a janela fechada. As características podem ser verificadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2: Sumário dos sistemas empregados na unidade Sant'Ana.

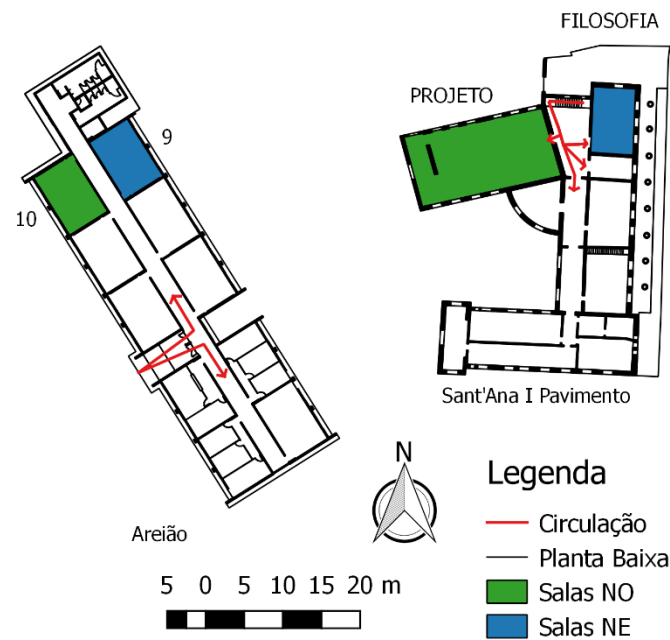
SISTEMA	TIPO		MATERIAIS
<b>Cobertura</b>	Leve isolada		Telha cerâmica estilo colonial, cor "terra". Forro de madeira (ipê).
<b>Fechamentos</b>	Pesada.		Paredes de Adobe, espessura superior a 0,5cm. Caição.
<b>Aberturas</b>	NE	Abrir, madeira com veneziana	1,3x2,2m, p = 1,0m; Abertura total de 2,86m <sup>2</sup>
	NO	Basculante, metal e vidro martelado	1,3x1,7m, p=0,7m; 2,21m <sup>2</sup> , Abertura de 2,21m <sup>2</sup> , área de ventilação 0,85m <sup>2</sup> .
<b>Iluminação</b>	Fria.		Lâmpadas fluorescentes tubulares e compactas. Luminárias sem difusores.
<b>Condicionamento de ar</b>	Ventilador de parede. (MV)		Velocidade do ar na posição dos usuários 0,2m/s.

Fonte: Cegef (2017), adaptado pelo autor.

### 3.3.2. Seleção das Salas de Aula

Após a escolha das edificações, foi realizada uma análise comparativa das plantas para identificar o posicionamento das salas de aula. Observou-se que as salas de aula estavam posicionadas na orientação leste, norte e oeste. Foram selecionadas salas de aula considerando a orientação solar da maior parede externa (mais a oeste ou a leste), com condições de insolação semelhantes e com maior frequência utilização, conforme a Figura 3.14.

Figura 3.14: Esquema das salas escolhidas para análise, escala gráfica.



As salas de aula da Unidade Areião selecionadas (Figura 3.14) possuem as mesmas dimensões, com área igual a  $51,8 \text{ m}^2$  e pé direito de  $2,7 \text{ m}$ . Cada sala (Figura 3.15) possui 4 janelas do tipo basculante, alumínio e vidro transparente, com área de  $2,12 \text{ m}^2$  cada e abertura de 5 folhas a  $60^\circ$ , o que garante uma área útil de  $0,85 \text{ m}^2$ . As janelas se distribuem na parede oposta à da porta e são protegidas por *brises* horizontais brancos do tipo *celosia*, instalados a  $0,65 \text{ m}$  da face externa das janelas.

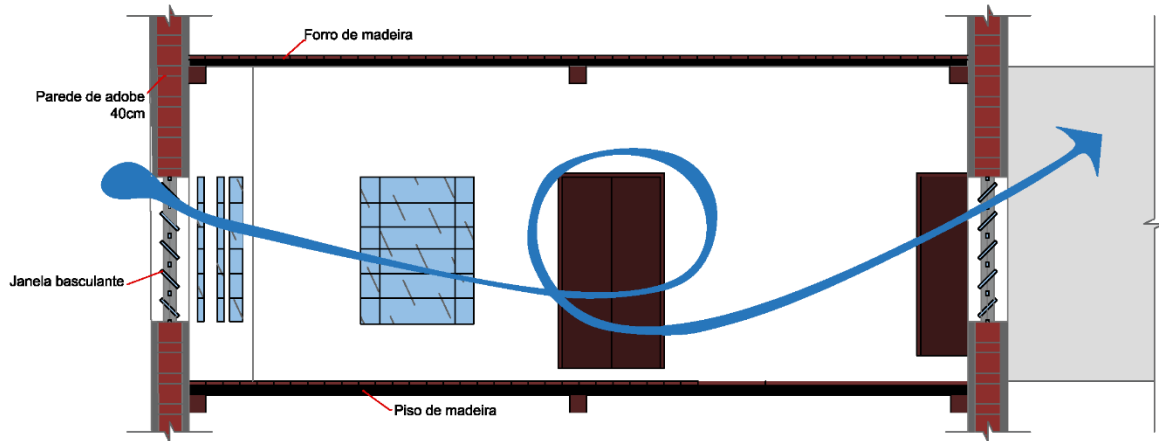
Figura 3.15: Interior da sala de aula NO da Unidade Areião. Obs.: Quando a pesquisa foi realizada as persianas não estavam instaladas.



A área efetiva de ventilação total é  $3,4 \text{ m}^2$ . As paredes externas são pintadas em terracota (norte) e creme, enquanto as internas são branco gelo e forro em branco neve. O piso é monolítico, tipo granitina (granilite), forro de gesso acartonado e, embora não possua laje de concreto, a

cobertura é feita com telhas termoacústicas tipo sanduíche, com metal-isolante-metal, utilizado o EPS para isolamento.

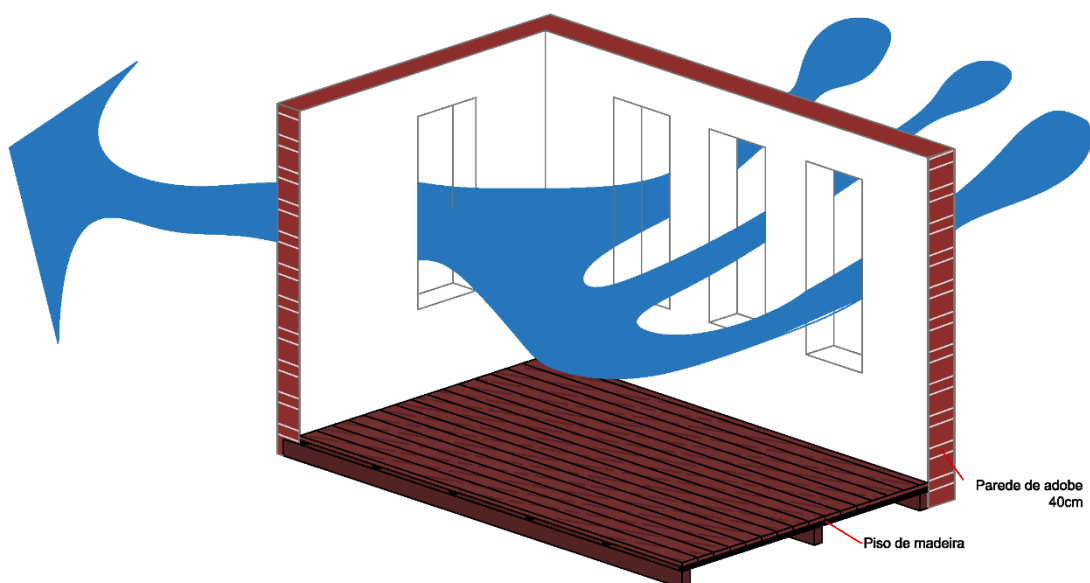
Figura 3.16: Corte esquemático da Sala NO da unidade Sant'Ana.



Fonte: Cegef (2017), adaptado pelo autor.

No Colégio Sant'Ana, contudo, as salas de aula selecionadas ficam no último pavimento, com contato direto com a cobertura da edificação e são diferentes. A sala com orientação Noroeste (Figura 3.16) tem área total de 171,0 m<sup>2</sup>, com pé direito de 3,7 m. O piso e o forro são de madeira maciça, sendo o primeiro flutuante, formado por tábuas de ipê. A sala possui 12 janelas, todas de caixilho metálico e vidro martelado, sendo que 11 delas são do tipo basculante, com área de 2,21 m<sup>2</sup> e área útil de 0,85 m<sup>2</sup>. Uma das janelas é fixa, garantindo apenas a iluminação.

Figura 3.17: Corte esquemático da Sala NE da unidade Sant'Ana.



Fonte: Cegef (2017), adaptado pelo autor.

Já a sala Nordeste (Figura 3.17) possui uma área de 48,15 m<sup>2</sup>, com pé direito de 3,7 m também. Novamente, o piso e o forro são formados por tábuas e ripas de ipê, respectivamente. As 4 janelas são de madeira, com duas folhas e área de 2,86 m<sup>2</sup> cada. Além de veneziana, possuem uma pequena área envidraçada. A abertura das janelas é total (Figura 3.18), garantindo uma área útil de ventilação de 100% quando abertas. Tanto a sala NE quanto a NO do Colégio Sant'Ana possuem as paredes internas e externas caiadas.

Figura 3.18: Interior da sala de aula NE da Unidade Sant'Ana.



O Quadro 3.3 apresenta um resumo das características construtivas das quatro salas de aula escolhidas para a condução desta pesquisa.

Quadro 3.3: Características e propriedades dos ambientes analisados.

UNIDADE	AREIÃO		SANT'ANA	
	SALA NE	SALA NO	SALA NE	SALA NO
<b>ORIENTAÇÃO DA PAREDE</b>	LESTE	OESTE	LESTE	OESTE
<b>Pé-direito (m)</b>	2,7	2,7	3,7	3,7
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	51,8	51,8	48,15	171
<b>Área de esquadrias (parede externa) (m<sup>2</sup>)</b>	8,75	8,75	11,5	26,5
<b>Área Opaca (parede externa) (m<sup>2</sup>)</b>	20	39,35	45,6	116,7
<b>Espessura das paredes (m)</b>	0,15	0,15	0,6	0,45
<b>Transmitância parede externa [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>	2,24	2,24		
<b>Transmitância cobertura [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>			2,00	2,00
<b>Absortância da parede (ABNT, 2005)</b>	0,35	0,35 a 0,8	0,20	0,20
<b>Absortância da Cobertura</b>	0,25	0,25	0,8	0,8

### 3.4. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Esta pesquisa contou com etapa exploratória, em que foram coletados dados em campo referentes às variáveis ambientais com os equipamentos descritos a seguir:

- a. Termo higrômetro Testo 174H

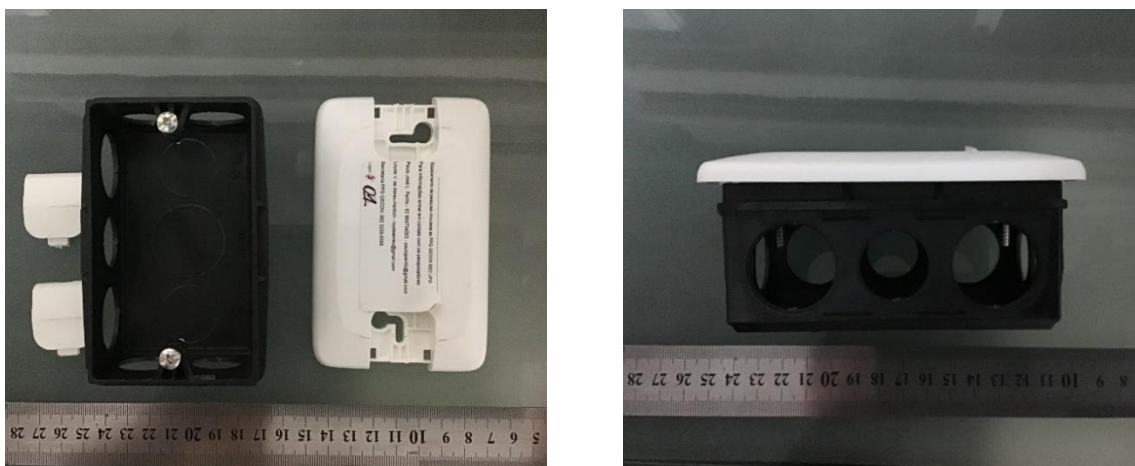
Para coleta dos dados de temperatura do ar e umidade relativa no interior das edificações foram utilizados quatro termohigrômetros com capacidade de armazenamento de dados, isto é, registradores. Os equipamentos são da marca TESTO, modelo 174H, representado pela Figura 3.19, onde pode-se notar o registrador (A) e a placa para fixação. Por serem pequenos podem ser facilmente instalados, sem que sua presença seja notada. No ambiente das salas de aula foram instalados sob a mesa do professor, em uma altura de 75cm do piso acabado, equivalente à altura do tórax de um indivíduo sentado em uma cadeira.

Figura 3.19: Termo higrômetro Testo 174H.



Para proteção dos dispositivos, foi desenvolvida uma peça composta por caixas de luz retangular de 4x2” fechadas por tampa cega (Figura 3.20). As tampas para eletrodutos foram retiradas nas laterais para permitir melhor ventilação e evitar que fossem registrados os dados do interior da proteção. O fundo foi escarificado na parte interna e externa, para permitir melhor desempenho da fita dupla-face utilizada. Anteriormente à instalação dos equipamentos na sala, foram realizados testes em que o sistema desenvolvido suportou uma carga de 2kg durante 36h.

Figura 3.20: Sistema desenvolvido para proteção dos registradores.



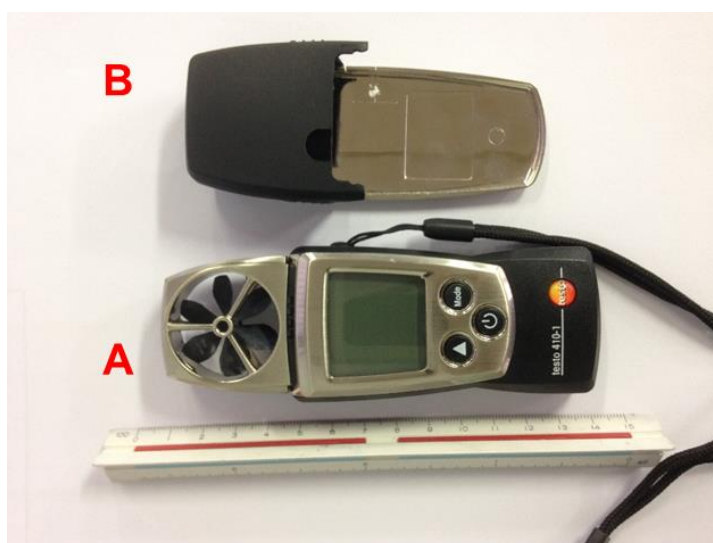
Vale ressaltar que o intuito do sistema de proteção era evitar a ação de vândalos ou mesmo o dano causado por descuidos e esbarrões. Sobre a tampa cega foi colada uma etiqueta que tinha por função lacrar os parafusos e fornecer informações sobre a pesquisa e o contato dos pesquisadores.

Os modelos foram calibrados e sua precisão é de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $T_a$  e  $\pm 2\%$  para UR. Para realização do testemunho foram instalados em corredores ou áreas cobertas térreas, protegidas da luz solar direta, a uma altura de  $1,50\text{ m}$  do piso acabado. O intervalo de registro dos dados foi programado para 10 minutos, fornecendo diariamente um total de 288 dados, metade de temperatura do ar, metade de umidade relativa do ar.

b. Termo anemômetro Testo 410-1

Capaz de medir os dados de temperatura e velocidade do ar, este equipamento portátil não possui função de armazenamento de dados, isto é, não é registrador, modelo TESTO 410-1, com precisão de  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $T_a$  e  $\pm 0,2\text{ m/s}$  para  $V_a$ . O equipamento foi utilizado para coleta de dados do transecto móvel diurno e durante a aplicação dos questionários, com os dados coletados registrados em formulários desenvolvidos para tal fim. É ilustrado pela Figura 3.21, onde pode-se ver o equipamento em si (A) e o dispositivo de proteção da tela e dos sensores (B):

Figura 3.21: Termo anemômetro utilizado.



c. Termômetro infravermelho

Utilizado para verificação da temperatura superficial ( $T_s$ ) de superfícies durante a realização do transecto móvel e a aplicação dos questionários. O equipamento é da marca ETEKCITY, modelo *Lasergrip 774*, possui precisão de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , mostrado na Figura 3.22.

Figura 3.22: Termômetro Infravermelho utilizado na pesquisa.



#### d. Termômetro de Globo

O termômetro de globo (Figura 3.23) é um equipamento com sensores de temperatura e umidade do ar, além de um sensor de temperatura localizado no interior de uma esfera de cobre com pintura em preto fosco, capaz de absorver toda a radiação infravermelha de um ambiente. Registra, portanto, a temperatura de globo negro, que é uma relação entre as temperaturas do ar e das superfícies que envolvem o ambiente, sendo influenciada pelo funcionamento de equipamentos e a evapotranspiração de seres vivos no mesmo ambiente em que se coleta.

Figura 3.23: Termômetro de Globo utilizado na pesquisa.



O equipamento utilizado é portátil, da marca Instrutemp, modelo ITWTG2000 e não possui capacidade de armazenamento de dados. A esfera é negra, com diâmetro de 75 mm Sua precisão é de 1°C e 1% UR, com tempo de resposta de 15s. Foi utilizado para a coleta de dados durante a aplicação dos questionários, com os dados coletados sendo anotados pelo pesquisador em formulários. Os ciclos de utilização do termômetro de globo seguiram os ciclos de aplicação dos questionários.

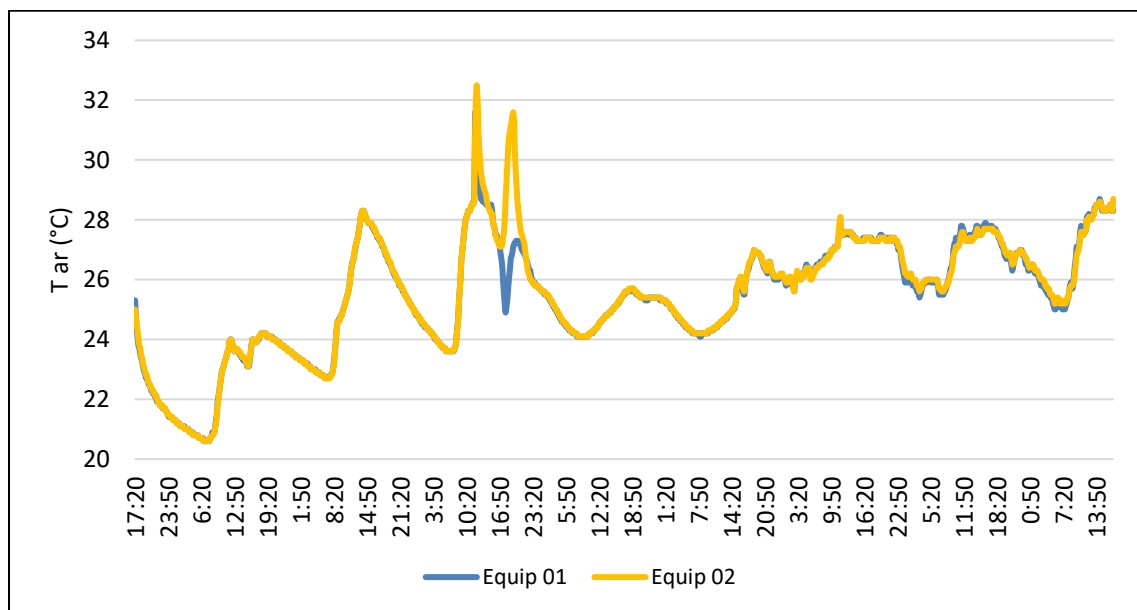
#### e. Biruta

Para mensuração da direção do vento foi utilizada uma biruta desenvolvida a partir de orientações dos professores Lutz Katzschner (Universidade de Kassel, Alemanha) e Eleonora Sad de Assis (UFMG). A biruta permite, aliado à uma bússola calibrada, aferir a direção do vento durante a realização de medições de maneira rápida, simples e barata. Consiste de uma porção de linha leve, neste caso lã sintética e uma vareta de madeira, encaixada à uma base de material plástico. O sistema de encaixe permite desmontagem para transporte e utilização sem base. O fio de lã, por ser leve e pouco denso, orienta-se automaticamente à direção preferencial das brisas, permitindo que se posicione o termo anemômetro na direção e sentido adequados.

### 3.4.1. Calibração dos Equipamentos

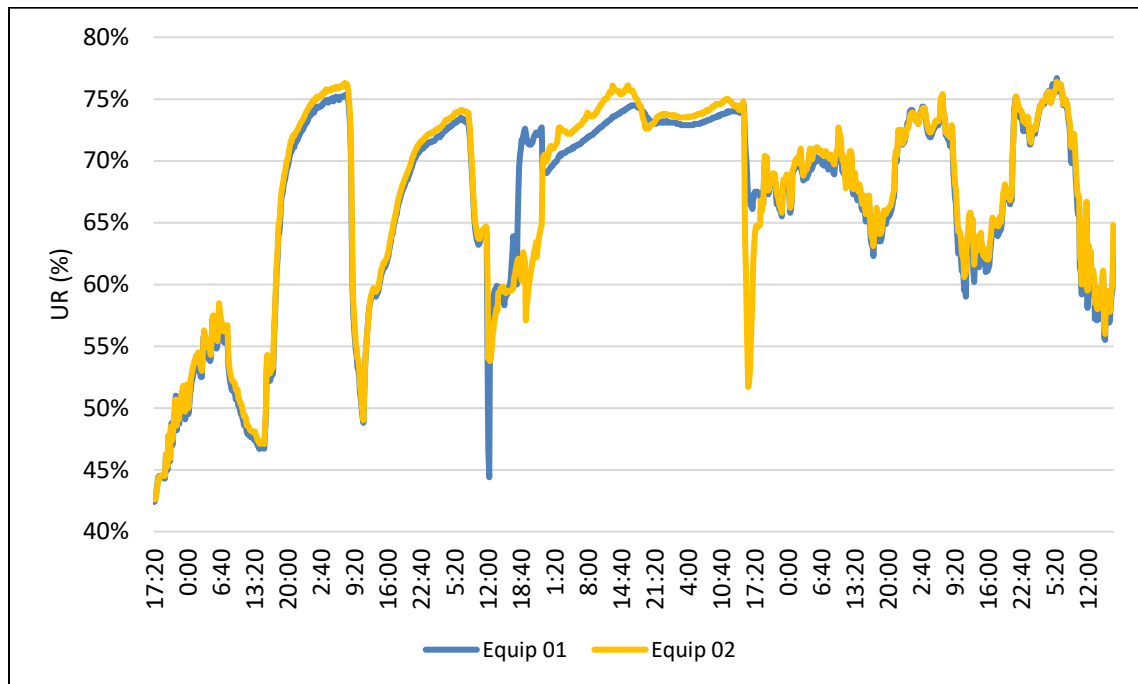
Durante o mês de março de 2017 foi realizada a calibração dos termohigrômetros registradores que seriam posteriormente utilizados para a coleta de dados.

Figura 3.24: Calibração da temperatura do ar ( $T_a$ ) dos registradores.



Os equipamentos foram instalados em um ambiente monitorado, com condições de temperatura e umidade controladas por meio de climatizadores de ar. As Figura 3.24 e Figura 3.25 trazem os gráficos construídos a partir dos dados coletados durante esse procedimento, em que se nota o perfeito funcionamento dos equipamentos, sem demonstrar alterações substanciais nos dados registrados.

Figura 3.25: Calibração da umidade relativa (UR) dos registradores.



A calibração foi considerada bem-sucedida e os equipamentos foram considerados prontos para uso sem necessidade de correção.

### 3.5. LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Para analisar a influência da envoltória do edifício no conforto térmico dos usuários, este estudo utilizou de três métodos de levantamento de variáveis climáticas para verificar a influência do entorno imediato, desempenho térmico da edificação e conforto térmico em salas de aula. O detalhamento dos métodos utilizados está exposto a seguir:

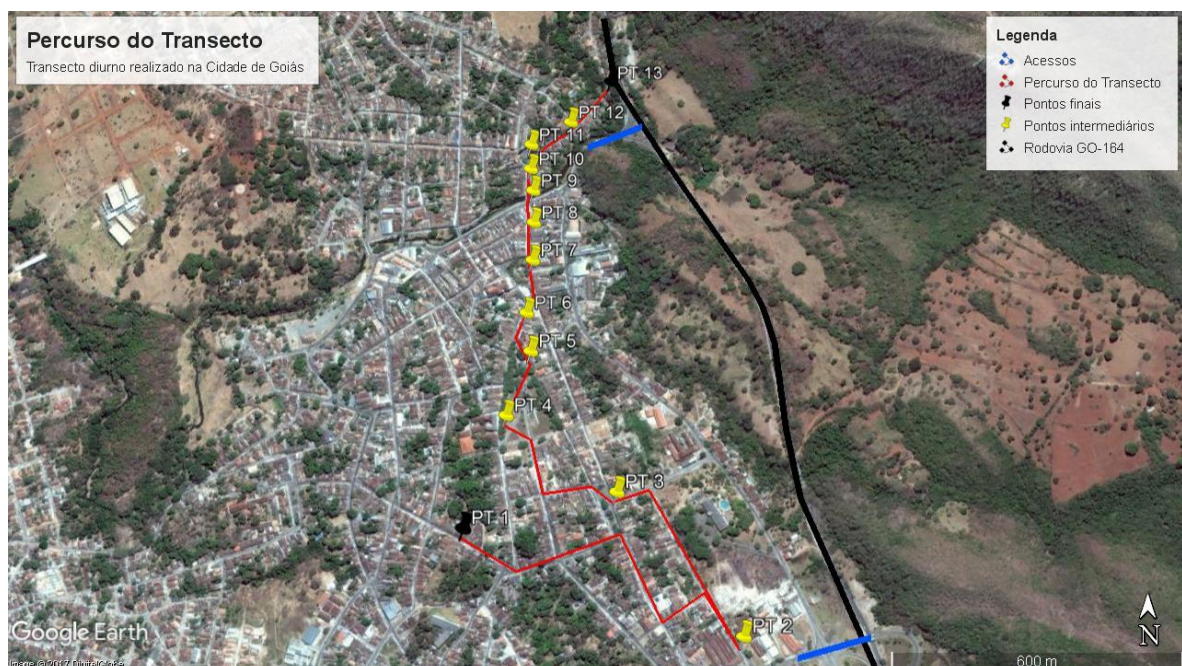
#### 3.5.1. Entorno Imediato

Este método envolveu a medição de variáveis climáticas no ambiente urbano durante a realização de transectos diurnos para análise das condições climáticas do entorno das edificações selecionadas (PERILLO et al., 2017). Neste ciclo mediu-se Ta, V, Direção do vento

e  $T_s$  do pavimento. Para aferição da temperatura e velocidade do ar foi utilizado um termoanemômetro marca TESTO, modelo 410-1. Para aferição da temperatura superficial do piso foi utilizado um termômetro infravermelho, marca ETEKCITY, modelo *Lasergrip 774*. A direção do vento foi medida a partir de uma biruta caseira desenvolvida pelo pesquisador. O intervalo de coleta de dados foi de 10 em 10 minutos. As medições foram realizadas durante um dia típico (céu aberto, sem chuvas nos dois dias anteriores), em dois períodos, manhã e tarde, no mês de março de 2017.

A primeira preocupação deste estudo foi a marcação de um trajeto para o transecto que incluísse uma rota representativa da estação meteorológica e os edifícios em estudo (Figura 3.26). Neste caso, foram escolhidos 13 pontos de medição que compreendam, a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Ponto 1), as duas instituições pesquisadas (Pontos 2 e 5) e locais de interesse turístico, como a Casa de Câmara e Cadeia (Ponto 3), a Praça do Coreto (Ponto 7) e as pontes sobre o Rio Vermelho (Pontos 9 e 13). Os demais pontos são intermediários aos anteriormente citados, mantendo-se um intervalo de distância de acordo com a densidade e a topografia do entorno imediato. Estes pontos foram capazes de representar também diferentes situações de topografia dentro da malha urbana tradicional da cidade de Goiás, tendo sido considerados dois pontos próximos à rodovia GO-164, que é um dos limites da cidade.

Figura 3.26: Percurso de realização do transecto.



Fonte: DGI, 2016, adaptado pelo autor.

### 3.5.2. Desempenho Térmico da Envoltória

As variáveis climáticas levantadas para análise de desempenho térmico das envoltórias foram Ta e UR dentro e fora dos edifícios selecionados neste estudo. Foram utilizados os termohigrômetros registradores TESTO 174-H. Os dados foram coletados com um intervalo de 10 minutos, entre os meses de julho a dezembro de 2017, durante as estações de seca e chuva.

Os registradores ficaram sempre instalados em uma altura de aproximadamente 0,75 metro do piso acabado, abaixo da mesa do professor. Essa altura foi utilizada para permitir que os equipamentos não ficassem à vista de todos. Já nos equipamentos portáteis, isto é, que eram operados pelos pesquisadores, os dados foram coletados em uma altura de aproximadamente 1,5 metro do piso acabado.

Quadro 3.4: Cronograma de realização das medições das variáveis climáticas nas edificações:

Ciclo	Início	Fim	Bloco	Salas	Variáveis	Salas
01	08/julho/17	27/julho/17	SANT'ANA	NE	Ta e UR (logger)	Ocupadas
			AREÃO	NO		
02	21/set/17	23/out/17	SANT'ANA	NE	Ta e UR (logger)	Ocupada e Desocupadas
			AREÃO	NE		
03	25/outubro/17		SANT'ANA	NE	Ta e UR (logger)	Ocupadas
				Pátio		
			AREÃO	NE		
				Pátio		
04	26/out/17	08/nov./17	SANT'ANA	NE	Ta e UR (logger)	Ocupadas
				NO		
			AREÃO	NE		
				NO		
05	08/nov./17	30/nov./17	SANT'ANA	NE	Ta e UR (logger)	Ocupadas
				NO		
			AREÃO	NE		
				NO		
06	11/dez/17	13/dez/17	SANT'ANA	NE	Ta e UR (logger)	Ocupadas
				NO		
			AREÃO	NE		
				NO		

As campanhas de medições foram realizadas em 6 ciclos, conforme o Quadro 3.4. No primeiro ciclo, foram coletados dados climáticos simultaneamente em duas salas de aula com orientações diferentes nos edifícios selecionados, uma na Unidade Areião (NO) e outra no Colégio Sant'Ana (NE), durante os dias 08 e 27 de julho de 2017, por serem as salas disponíveis no momento.

No segundo ciclo de medição foram coletados dados climáticos simultaneamente em duas salas de aula de mesma orientação em edifícios diferentes, uma na Unidade Areião (NE) e outra no Colégio Sant'Ana (NE) durante os dias 21 de setembro a 23 de outubro de 2017. No terceiro ciclo foram coletados dados climáticos simultâneos em uma sala de aula em cada edifício, uma na Unidade Areião (NE) e outra no Colégio Sant'Ana (NE) e nos entornos imediatos das duas edificações, durante o dia 25 de outubro de 2017. No quarto ciclo, foram realizadas medições simultâneas em quatro salas de aula selecionadas, duas na Unidade Areião (NE e NO) e outra no Colégio Sant'Ana (NE e NO) durante o período de 26 de outubro a 8 de novembro de 2017. No quinto ciclo, foram realizadas medições simultâneas nas quatro salas de aula selecionadas durante o período de 8 a 30 de novembro de 2017. O sexto ciclo foi realizado do dia 11 a 13 de dezembro de 2017, também nas quatro salas simultaneamente.

### 3.5.3. Conforto térmico do Usuário

Para coleta de dados para a análise do conforto térmico dos usuários, foram medidas as variáveis  $T_a$ , UR, V,  $T_g$ ,  $T_s$  interna de paredes, piso e teto nas salas de aula selecionadas. Para o levantamento da  $T_a$  e UR foram utilizados termohigrômetros registradores marca TESTO, modelo 174-H. Para o levantamento da velocidade do vento, foi utilizado um termo anemômetro marca TESTO, modelo 410-1. Para  $T_s$  do piso e paredes foi utilizado um termômetro infravermelho, marca ETEKCITY, modelo *Lasergríp 774*. Para mensuração da  $T_g$  foi utilizado o equipamento portátil, da marca Instrutemp, modelo ITWTG2000, descrito no item 3.4.

Os dados de Velocidade do Vento, TG,  $T_s$  foram coletados nos meses de novembro e dezembro de 2017, nos dias e períodos indicados pelo Quadro 3.5. Essas coletas ocorreram simultaneamente com o quinto e sexto ciclos de medição da etapa desempenho térmico da sala de aula selecionadas.

Quadro 3.5: Datas de coleta das variáveis ambientais para o conforto térmico.

DATA	Dia	MANHÃ	TARDE	NOITE
08/nov./17	Quarta	X	X	
13/nov./17	Segunda	X	X	X
14/nov./17	Terça	X		
27/nov./17	Segunda		X	X
28/nov./17	Terça	X	X	X
29/nov./17	Quarta	X	X	X
30/nov./17	Quinta	X		
11/dez/17	Segunda	X	X	
12/dez/17	Terça	X	X	X
13/dez/17	Quarta	X		

A coleta de dados para avaliação do conforto térmico do usuário ocorreu de acordo com o horário de aulas das salas selecionados. Os dados eram coletados duas vezes por aula, sempre 15 minutos e 1 hora após o início das aulas. Este ciclo de coleta de dados ocorreu de forma reduzida por razões orçamentárias e indisponibilidade de equipamentos.

### 3.6. LEVANTAMENTO DA SENSAÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS

O levantamento da sensação térmica dos usuários foi realizado a partir da aplicação de um questionário simplificado, exposto no Apêndice A-1, baseado no padrão sugerido pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010). Os procedimentos de aplicação do questionário e o próprio questionário seguiram as orientações da resolução 466/2012 da Anvisa (BRASIL, 2012), com parecer de aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa constante nos Anexos B-1 e B2. Neste modelo é pedido que os usuários respondam a uma série de perguntas divididas em fatores pessoais e ambientais. Para a condução deste trabalho, foram inseridas três questões referentes à aclimação do usuário.

Na primeira parte do questionário, que se assemelha a um cabeçalho, o usuário insere a data, a hora e o local em que o questionário foi respondido. Em seguida, algumas variáveis pessoais do conforto térmico, como altura, idade, peso e sexo, que permitem a caracterização da amostra e o cálculo do metabolismo dos usuários.

A questão 1, ainda de caráter pessoal, pergunta ao usuário quais peças de vestuários está utilizando no momento da resposta. Destaca-se que anteriormente à aplicação do questionário,

os estudantes foram observados pelos pesquisadores para evitar que fossem excluídas peças eventualmente utilizadas bem como que o questionário ficasse muito extenso e, logo, confuso.

As questões 2 a 4 dizem respeito à aclimatação dos usuários ao ambiente. O tempo de permanência na sala permite que, ao analisar as respostas, alguns pontos discrepantes possam ser caracterizados e eliminados ou não. O tipo de transporte e o tempo de percurso, questões 3 e 4, permitem que seja feita a distinção entre usuários residentes na cidade (logo, acostumados com o clima local) e usuários que moram em outras cidades e vão à Goiás para estudar somente. Isto é importante, uma vez que as cidades vizinhas não fazem parte da mesma Zona Bioclimática de Goiás. O meio de transporte permite que sejam considerados vícios em aparelhos de condicionamento de ar bem como o metabolismo, que pode estar descaracterizado após uma longa caminhada sob sol forte, por exemplo.

Seguidamente, tem-se a segunda parte do questionário, que diz respeito à temperatura da sala e a relação do usuário com o ambiente térmico. A questão 5 pede que a pessoa indique se, no momento, está confortável ou desconfortável. A sexta questão traz a escala sétima proposta por Fanger (1970) para que o usuário emita seu voto térmico sobre o ambiente térmico, se a sala está entre muito fria (-3) e muito quente (+3), passando por agradável. A questão 7 procura entender se a pessoa preferiria estar mais resfriado, mais aquecido ou se está satisfeita com o ambiente. A oitava questão traz novamente uma escala sétima, em que o usuário deve marcar sua sensação quanto ao ambiente, entre extremamente confortável e extremamente desconfortável. A quinta questão pede que o usuário responda como ele preferiria que o ambiente estivesse: mais quente, mais frio ou nenhuma das alternativas. A aplicação destas questões, que podem parecer repetitivas, visou a construção de um voto normalizado, explicado à frente na etapa de análises. A sexta e última questão traz um croqui da sala de aula e pede que o usuário marque sua posição no ambiente.

Finalmente, o questionário encerra-se com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, em que os respondentes atestam que foram informados sobre os riscos e benefícios que a pesquisa pode trazer, sendo que nesta pesquisa o risco para o usuário que se prestou a responder é ter as informações pessoais vazadas. De maneira a minimizar esse risco, o procedimento de coleta e tratamento de dados foi realizado pelo próprio pesquisador e os questionários respondidos foram armazenados em local seguro.

Para cálculo do tamanho da amostra foi utilizado o valor adotado pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), 35% do total, tendo sido considerado o somatório das matrículas das disciplinas que são

ministradas nas salas escolhidas, considerando todos os turnos. As perguntas foram elaboradas na tentativa de manter a objetividade, considerando todas as respostas possíveis. A partir do total de usuários foi possível determinar o tamanho da amostra pelo cálculo expresso na equação 3.1. Conforme Chaves (2016) e Ochoa (2010), o erro amostral considerado foi de 5%.

$$n = \frac{N \cdot n_0}{N + n_0} \text{ onde, } n_0 = \frac{1}{E^2} \quad 3.1$$

Onde,

$n$  = tamanho da amostra;

$n_0$  = primeira aproximação do tamanho da amostra;

$N$  = tamanho da população;

$E$  = erro amostral.

O tamanho da população foi levantado junto à Seccional do Centro de Gestão Acadêmica da Regional Goiás da UFG em setembro de 2017. Assim, foram calculados os valores amostrais de acordo com os dados fornecidos e a equação 3.1, os resultados estão expressos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Valores de população e amostra calculados para a aplicação de questionários:

Unidade	POPULAÇÃO	AMOSTRA
AREIÃO	743 alunos	261 respostas
SANT'ANA	175 alunos	122 respostas
	TOTAL	383 respostas

Os questionários foram aplicados nos três períodos do dia: manhã, tarde e noite, permitindo a obtenção de respostas de acordo com a variabilidade térmica diária, durante os meses de novembro e dezembro de 2017, período chuvoso. A Tabela 3.3 apresenta os dias de aplicação e a quantidade de respostas coletadas por dia.

Embora o valor amostral calculado tenha sido de 383 respostas, durante os ciclos de medição foram coletados 448 questionários, com a posterior tabulação dos resultados. Os participantes da pesquisa foram os alunos de graduação dos cursos de Arquitetura e Urbanismo, Administração, Filosofia, Licenciatura Especial em Docência no Campo e Serviço Social. A Tabela 3.4 apresenta a composição básica dos entrevistados.

Tabela 3.3: Datas de aplicação dos questionários e número de respostas obtidas.

DATA	Dia	NÚMERO DE RESPOSTAS			
		MANHÃ	TARDE	NOITE	QTD.
08/nov./17	Quarta	7	3	-	10
13/nov./17	Segunda	18	19	22	59
14/nov./17	Terça	8	-	-	8
27/nov./17	Segunda	-	-	25	25
28/nov./17	Terça	10	31	60	101
29/nov./17	Quarta	32	7	27	66
30/nov./17	Quinta	38	-	-	38
11/dez/17	Segunda	31	-	10	41
12/dez/17	Terça	23	14	24	61
13/dez/17	Quarta	39	-	-	39
<b>TOTAL</b>					448

Das 448 respostas coletadas, 20 foram descartadas por não terem sido adequadamente preenchidas. Das 428 restantes, 34,60% correspondiam às pessoas do sexo masculino e 60,94% às do sexo feminino.

Tabela 3.4: Caracterização básica da amostra:

<b>GÊNERO</b>	Masculino: 155 Feminino: 273
<b>IDADE</b>	24 anos
<b>ALTURA</b>	1,68m
<b>PESO</b>	64,7 Kg
<b>VESTIMENTA</b>	0,51 clo

O número de respostas coletadas foi superior ao sugerido pelo cálculo amostral, o que ocorreu sem intenção. A aplicação dos questionários ocorreu principalmente no início da semana, data em que haveria a maior ocupação das salas. Ressalta-se o grande número de ausentes durante o período de coleta e o constante atraso dos estudantes, que criou dificuldades para a condução da pesquisa.

### 3.7. ANÁLISE DOS DADOS

A seguir serão descritos os procedimentos e métodos adotados para o tratamento e análise dos dados coletados para a realização dos estudos de influência do entorno imediato, de desempenho das envoltórias e de quantificação do conforto térmico dos usuários.

### 3.7.1. Entorno Imediato

Para analisar a influência do entorno imediato, foram analisadas as três variáveis medidas durante a realização dos transectos diurnos: Ta, velocidade e direção do vento e Ts do pavimento.

As variáveis climáticas Ta e velocidade do vento coletadas em campo foram comparadas com a Ta obtida pela estação do Instituto Nacional de Meteorologia, a partir de uma análise da variância e do desvio padrão dos dados coletados para verificar se há diferença significativa entre os dados coletados. A análise de variância foi conduzida pela equação 3.2:

$$Var = [(Dado_{\text{Ponto Medição}}^2 + Dado_{\text{Imme}}^2) / n. \text{ dados}] \quad 3.2$$

Para verificar se o entorno imediato interfere na transferência de calor no interior do edifício, será calculado o coeficiente de variação, onde é analisado a dispersão relativa do valor médio. O cálculo do coeficiente de variação (CV) é dado pela equação 3.3:

$$CV = (Desv. \text{ Pad. Médio} / \text{Média da Var}) * 100 \quad 3.3$$

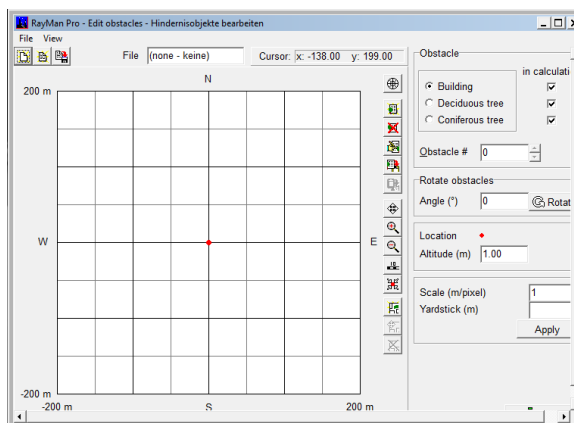
Onde:

*Desv. Pad Médio* é o Desvio Padrão Médio da Variação dos dados coletados

*Var* é a variação da temperatura do ar obtida na estação em relação a cada ponto de medição

Se o valor do Coeficiente de Variação for menor ou igual a 15%, será considerado que o entorno é homogêneo. Se o for entre 15 e 30 %, o entorno imediato tem uma média dispersão. Se for maior que 30%, o entorno imediato pode ser considerado heterogêneo.

Para analisar a influência de obstrução de elementos externos nas aberturas das salas de aula analisadas, utilizou-se o *software RayMan Pro*, versão 2.1, Figura 3.27. Este software permite a análise detalhada do sombreamento proporcionado por elementos externos - edifícios e vegetação – nas fachadas externas das salas de aula analisadas. Também, permite verificar as horas de insolação em cada fachada da sala de aula a partir de uma análise na carta solar.

Figura 3.27: Interface do programa de computador *RayMan Pro 2.1*

Fonte: MATZARAKIS, A., 2014.

A partir de uma imagem aérea escalada foi possível desenhar o cenário de cada edifício selecionado e os elementos externos são modelados no próprio programa. As alturas das edificações vizinhas e árvores foram estimadas a partir de visitas no local.

### 3.7.2. Desempenho Térmico

Neste estudo, adotou-se o método da NBR 15575 (ABNT, 2013) para a análise do desempenho de edificações via medições “*in loco*”. Embora esta norma tenha sido desenvolvida para edifícios habitacionais, considerou-se apropriado para a análise este procedimento devido a inexistência de outra norma para avaliação do nível de desempenho das edificações em análise e ao fato de que edificações escolares são, assim como habitacionais, ambientes de permanência longa.

Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013), uma edificação pode ter seu desempenho térmico considerado aceitável quando os ambientes de permanência prolongada, como salas, possuem condições térmicas no interior melhores ou iguais ao ambiente externo, durante o verão.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) classifica o desempenho térmico da edificação em três níveis: Mínimo (M) que é o mínimo para aceitação, Intermediário (I) e Superior (S), de acordo com a região bioclimática estabelecida pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). O Quadro 3.6 apresenta dos critérios de avaliação do desempenho térmico para as condições de verão e inverno.

Quadro 3.6: Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno, conforme NBR15.575.

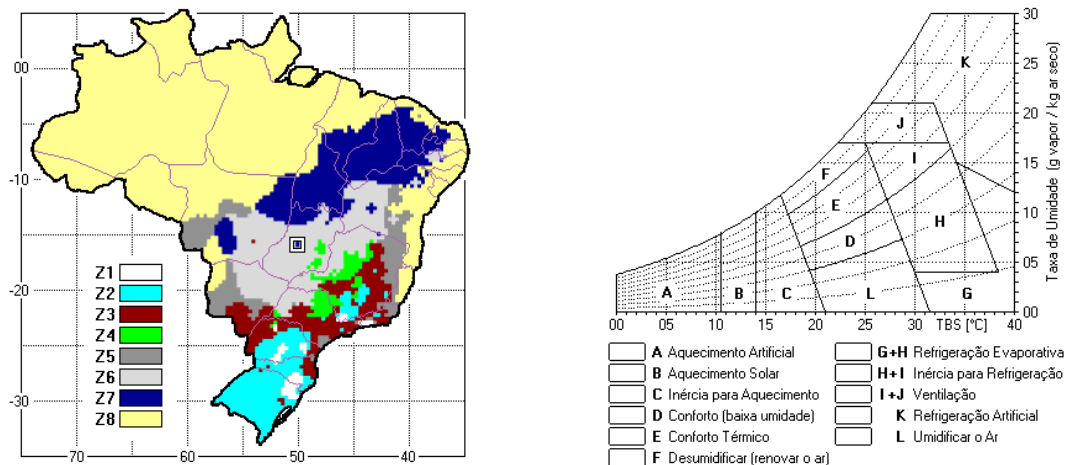
VERÃO		
Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4\text{o C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$

**$T_{i,max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;**  
 **$T_{e,max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados;**  
 **$T_{i,min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;**  
 **$T_{e,min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados**

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013), adaptado pelo autor.

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) analisou as normais climatológicas de temperatura do ar de 330 cidades brasileiras para classificar o país em oito regiões ou zonas bioclimáticas. As edificações analisadas se localizam na cidade de Goiás – GO que foi classificada dentro da Zona Bioclimática 7 (ZB-7), conforme a Figura 3.28.

Figura 3.28: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Carta Bioclimática para a cidade de Goiás.



Fonte: RORIZ (2004).

### 3.7.2.1. Vedações verticais externas

Para verificar o desempenho térmico de vedações verticais externas, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece valores de verificação da transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) e aberturas para ventilação para cada região bioclimática. O Quadro 3.7 apresenta valores mínimos para U e CT de acordo com a zona bioclimática.

Quadro 3.7: Transmitância e Capacidade Térmica segundo a norma.

Transmitância Térmica $U$ $W/(m^2.K)$		Capacidade térmica ( $CT$ ), $kJ / m^2.K$	
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8		Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\geq 130$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	

Fonte: ABNT (2013), adaptado pelo autor.

Segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005), o cálculo da quantidade de energia que o fechamento permite que entre no ambiente analisado é realizado por meio das equações pré-definidas 3.4 a 3.7:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad 3.4$$

Onde:

$U$  é a transmitância térmica total  $[W/m^2K]$ ;

$R_T$  é a resistência térmica total da parede  $[m^2K/W]$ ;

$$q = U \cdot \Delta T \quad 3.5$$

Onde:

$q$  é a densidade do fluxo de calor  $[W/m^2]$ ;

$U$  é a transmitância térmica total  $[W/m^2K]$ ;

$\Delta T$  é a diferença entre as temperaturas interior e exterior  $[K]$ ;

$$Q = q \cdot A \quad 3.6$$

Onde:

$Q$  é o fluxo de calor total  $[W]$ ;

$q$  é a densidade do fluxo de calor  $[W/m^2]$ ;

$A$  é a área total do fechamento  $[m^2]$ ;

$$q = U \cdot [T_{ext} + (\alpha \cdot I \cdot R_{se}) - T_{int}] + \tau \cdot I \quad 3.7$$

Onde:

$q$  é a densidade do fluxo de calor para materiais transparentes  $[W/m^2]$ ;

$U$  é transmitância térmica do vidro  $[W/m^2K]$ ;

$T_{ext}$  é a temperatura externa ao ambiente  $[^\circ C]$ ;

$\alpha$  é a absorvidade da superfície externa do fechamento [%];

$I$  é a radiação solar incidente no fechamento [W];

$R_{se}$  é a resistência superficial externa [ $m^2K/W$ ];

$T_{int}$  é a temperatura interna do ambiente [ $^{\circ}C$ ];

$\tau$  é a transmissividade do vidro [%];

Para o cálculo da Capacidade Térmica devem ser utilizados dois procedimentos diferentes. No caso de paredes que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica maior que 0,5 ( $m^2.K$ )/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar. Ambos os procedimentos de cálculo estão expressos na equação 3.8, que calcula a Capacidade Térmica para um elemento ou camada homogêneo.

$$CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad 3.8$$

Onde:

$CT$  é a capacidade térmica do sistema [ $kJ/m^2.K$ ];

$\lambda_i$  é a condutividade térmica do material da camada [ $W/(m^2.K)$ ];

$R_i$  é a resistência térmica da camada [ $(m^2.K)/W$ ];

$e_i$  é a espessura da camada [m];

$c_i$  é o calor específico do material da camada [ $J/(m^2.K)$ ];

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada [ $kg/m^3$ ];

Para calcular a Capacidade Térmica Total de uma parede composta por mais de uma camada utiliza-se a equação 3.11:

$$CT_{\square} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b}} \quad 3.9$$

Onde:

$A_a, A_b, \dots, A_n$ : área de cada uma das camadas ou seções que compõem a parede [ $m^2$ ];

$CT_a, CT_b, \dots, CT_n$ : Capacidade Térmica de cada uma das camadas da parede [ $kJ/m^2 \cdot K$ ].

Após o cálculo, deve-se utilizar a classificação contida no Quadro 3.8, de acordo com a Zona Climática em que se insere a edificação, no caso ZB-7, que exige Capacidade Térmica superior ou igual a 130  $kJ/m^2.K$ .

Quadro 3.8: Determinação da capacidade térmica requerida para fechamentos verticais externos de acordo com a ZB.

<b>Capacidade Térmica (CT) kJ/m<sup>2</sup>.K</b>	
<b>Zonas 1 a 7</b>	≥ 130
<b>Zona 8</b>	Sem exigência.

Fonte: ABNT (2013), adaptado pelo autor.

Os elementos, opacos ou translúcidos, ganham calor pela incidência da radiação solar. Para calcular o fator de ganho de calor solar para elementos opacos deve-se utilizar a equação 3.10:

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad 3.10$$

Onde:

$FS_o$  é o fator de ganho de calor solar para elementos opacos [%]

$U$  é a transmitância térmica [ $W/m^2K$ ];

$\alpha$  é a absorvância da superfície externa do fechamento [%];

$R_{se}$  é a resistência superficial externa [ $m^2K/W$ ];

Para verificar a capacidade de ventilação das aberturas em ambientes de longa permanência, considera-se a relação entre o tamanho da área útil de ventilação total pela área do cômodo. Utiliza-se a área útil de ventilação uma vez que é a área de janela que efetivamente se abre, permitindo que as trocas de ar ocorram no ambiente. O Quadro 3.9 traz os requisitos mínimos para as aberturas, de acordo com a Zona Bioclimática em que se insere a edificação.

Quadro 3.9: Áreas Mínimas de aberturas para ventilação.

<b>Zona Bioclimática</b>	<b>Tamanho das Aberturas (A)</b>	<b>% da área do piso</b>
<b>ZB 1 a 6</b>	Médias	$A \geq 8$
<b>ZB 7</b>	Pequenas	$A \geq 5$
<b>ZB 8</b>	Grandes	$A \geq 15$

Fonte: ABNT (2013), adaptado pelo autor.

Vale ressaltar que nas Zonas 1 a 6 a ventilação deve ser seletiva, portanto as aberturas devem permitir a vedação total durante o período de frio. O cálculo da área efetiva ou útil de abertura, dado pela equação 3.11, deve considerar somente a área de circulação de ar, desconsiderando-se os perfis e as partes fixas de esquadrias de janelas. Neste cálculo, as portas não são consideradas.

$$A = 100 \cdot \frac{A_A}{A_P} (\%) \quad 3.11$$

Onde:

$A_A$  é a área efetiva de ventilação do ambiente [ $m^2$ ];

$A_P$  é a área de piso do ambiente [ $m^2$ ].

### 3.7.2.2. Sistemas de Coberturas

De modo a garantir que os sistemas de cobertura apresentem desempenho térmico adequado para cada uma das regiões bioclimáticas brasileiras, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) define os critérios de absorvância e transmitância térmica para as Zonas Bioclimáticas expostas no Quadro 3.10.

Quadro 3.10: Valores mínimos de absorvância ( $\alpha$ ) e transmitância térmica (U) para as ZBs.

Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
$U \leq 2,3$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Mínimo
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV	
$U \leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Intermediário
	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5$ FV	$U \leq 1,0$ FV	
$U \leq 1,0$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Superior
	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0$ FV	$U \leq 0,5$ FV	

Fonte: ABNT (2013), adaptado pelo autor

O Fator de Ventilação (FV) para coberturas ventiladas e não ventiladas é definido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). Para coberturas não ventiladas,  $FV = 1$ , enquanto para coberturas ventilada o Fator de Ventilação é dado pela equação 3.12 abaixo.

$$FV = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04} \quad 3.12$$

Onde:

$h$  é a altura das aberturas [cm].

### 3.7.3. Conforto Térmico

Para cálculo do conforto térmico foram utilizados o índice Adaptativo (ATC – *Adaptive Thermal Comfort*), obtido pela Temperatura Operativa ( $T_o$ ) e o Modelo Racional (RTC – *Rational Thermal Comfort*), dado pelo índice PMV.

### 3.7.3.1. O Modelo Adaptativo

O cálculo da temperatura operativa é dado pela equação 3.13.

$$T_o = \frac{T_{mr} + T_a}{2} \quad 3.13$$

Onde:

$T_o$  é a temperatura operativa [°C];

$T_{mr}$  é a temperatura radiante média [°C];

$T_a$  é a temperatura do ar, ou temperatura de bulbo seco, [°C].

As normas brasileiras e internacionais consideram que um indivíduo em atividade sedentária possui uma taxa metabólica de 79 W/m<sup>2</sup> durante um dia típico de verão (ABNT, 2008; ASHRAE, 2010; ISO, 2005). A ISO 7730 e a ASHRAE 55 definem que para que este indivíduo esteja confortável, a Temperatura Operativa deverá estar entre 22 e 27 °C, desde que atendida a Umidade Relativa entre 40 e 60% e a velocidade do vento superior a 0,12 m/s e inferior a 0,24 m/s. (ASHRAE, 2010; ISO, 2005) Já a NBR 16.401 (ABNT, 2008) considera que o conforto do indivíduo ocorrerá se a  $T_o$  estiver entre 22,5°C e 26°C, com  $35\% \leq UR \leq 65\%$  e Velocidade do vento entre 0,2 e 0,25 m/s, conforme Quadro 3.11.

Quadro 3.11: Critérios de conforto referentes à um ser humano sadio, em atividade sedentária, período verão.

Norma	To [°C]	UR [%]	V [m/s]	Classificação da edificação
<b>ISO 7730</b> <b>ASHRAE 55</b>	24,5 ± 1	40 a 60	≤0,12	A
	24,5 ± 1,5		≤0,19	B
	24,5 ± 2,5		≤0,24	C
<b>NBR 16.401</b>	22,5 a 25,5	≤65	≤0,2	Não há classificação.
	23 a 26	≥35	≤0,25	
<b>R9 (ANVISA, 2003)</b>	23 a 26	≤65	≤0,25	

Fonte: Abreu-Harbach; Chaves; Brandstetter (2018), adaptado pelo autor.

### 3.7.3.2. O Modelo Racional

O índice PMV/PPD parte da teoria do balanço de calor em estado estacionário que considera o corpo humano como um objeto provido de uma câmara térmica. Fanger (1970) aponta que o conforto térmico é uma função das variáveis ambientais e pessoais e que vai ser definido, para

uma pessoa em estado permanente, com Carga Térmica (L) nula. O pesquisador dinamarquês desenvolveu uma equação para classificar ambientes que não são termicamente neutros a partir do modelo estacionário, a equação 3.17 do PMV:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp. (-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad 3.14$$

Onde:

*PMV* = Voto Médio Estimado ou sensação analítica de conforto térmico, escala de +3 (muito quente) a -3 (muito frio), sendo "0" a condição neutra, ou de conforto;

*M* = taxa metabólica de produção de calor em função da atividade desempenhada ( $W/m^2$ );

*L* = carga térmica atuando sobre o corpo ( $W/m^2$ ).

Para o cálculo da carga térmica atuante sobre o corpo, deve-se utilizar a equação 3.15 (RUAS, 1999):

$$L = \{M - 3,05 \cdot (5,73 - 0,007 \cdot M - p_a) - 0,42 \cdot (M - 58,15) - 0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \cdot hc \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad 3.15$$

Onde:

*L* = carga térmica atuando sobre o corpo ( $W/m^2$ );

*M* = taxa metabólica de produção de calor em função da atividade desempenhada ( $W/m^2$ );

*p<sub>a</sub>* = pressão parcial de vapor de água (kPa);

*T<sub>a</sub>* = temperatura do ar ( $^{\circ}C$ );

*f<sub>cl</sub>* = razão entre a área do corpo vestido pela área do corpo nu;

*t<sub>cl</sub>* = temperatura superficial média das vestimentas ( $^{\circ}C$ );

*t<sub>rm</sub>* = temperatura radiante média ( $^{\circ}C$ );

*hc* = coeficiente de troca de calor por convecção ( $W/m^2^{\circ}C$ );

Com a construção do índice PMV, Fanger (1970) permitiu que fosse estimada a resposta média de um grupo de indivíduos questionados sobre a sensação com o ambiente térmico. Os resultados são expressos em uma escala sétima, que varia de -3 (muito frio) a +3 (muito quente) (ASHRAE, 2010). Além da determinação do PMV, o percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente foi estimado com a equação do PPD expressa na equação 3.16:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad 3.16$$

Onde:

*PPD* = Percentagem predita/estimada de pessoas insatisfeitas (%);

*PMV* = Voto Médio Estimado, de -3 a +3.

Ao elaborar a equação, Fanger (1970) considerou como satisfeitos os indivíduos do grupo de análise que registraram um PMV entre -1 e +1 (ISO, 1995 e ASHRAE, 2010), já que o pesquisador afirmou que não há maneira de se satisfazer 100% dos indivíduos em um ambiente analisado, mesmo em câmaras climatizadas com PMV médio igual a 0, o PPD foi da ordem de 5%.

As variáveis pessoais são dados referentes aos indivíduos no instante em que se está avaliando o conforto. No modelo do balanço térmico, apenas a taxa metabólica (*met*) e o isolamento térmico por vestimenta (*clo*) influenciam o equilíbrio entre a pessoa e o meio (RUAS, 1999). A seguir, são expressas as variáveis pessoais e ambientais calculadas que influenciam no conforto térmico.

a. Taxa metabólica – *met*:

A taxa metabólica ou metabolismo é expresso na unidade *met* e significa a taxa com que o corpo produz energia. A energia produzida por unidade de área superficial do corpo para uma pessoa sentada em repouso é padronizada em 58,2 W/m<sup>2</sup>, que corresponde à 1 (um) *met*. Para essa determinação foi considerada a área superficial de 1,8 m<sup>2</sup>, e os valores para diversas atividades podem ser retirados das normas ISO 7730 (ISO, 2005) e ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010). Pode-se também realizar medições para determinar o metabolismo dos indivíduos, através do consumo de oxigênio e dos batimentos cardíacos, procedimento também normalizado pela ISO 8996 (ISO, 2004).

Os valores tabelados para a taxa metabólica consideram apenas a atividade que está sendo realizada, não divergindo para parâmetros como idade, peso, sexo, altura ou mesmo empenho dedicado à realização da atividade, que pode variar de acordo com o condicionamento físico e metabolismo basal do indivíduo. Assim, a utilização dos valores tabelados acarretará em grandes imprecisões, porém a dificuldade em medir o consumo de oxigênio ou a calorimetria dos indivíduos faz com que muitos estudos apliquem os valores sugeridos pela normativa.

Na maior parte dos estudos, o cálculo do PMV se dá pela utilização de softwares ou tabelas pré-programadas, que consideram o metabolismo do indivíduo como uma constante. Nesta pesquisa o PMV foi calculado para cada uma das respostas obtidas, com o desenvolvimento de uma planilha iterativa que se alimenta com as variáveis pessoais e ambientais descritas a seguir.

No modelo estacionário, a temperatura do corpo é a temperatura média da pele ( $t_{sk,m}$ ). Este modelo considera que a totalidade de calor gerado pelo metabolismo é dissipado no meio, e é expresso pela equação 3.17 (XAVIER, 2000):

$$M = (ASP \cdot 58,2) \cdot 1,1 \quad 3.17$$

Onde:

$M$  = taxa metabólica de produção de calor ( $W/m^2$ );

$ASP$  é a área de superfície corporal ( $m^2$ ).

A equação encontra-se expressa em energia (Watts) por área ( $m^2$ ), sendo que a última se refere à área de superfície corporal ( $ASP$ ), definida pela expressão de DuBois 3.18 (RUAS, 1999):

$$ASP = 0,202 \cdot m^{0,424} \cdot l^{0,725} \quad 3.18$$

Onde:

$ASP$  = Área de superfície corporal ( $m^2$ );

$m$  = massa do corpo ( $kg$ );

$l$  = estatura do corpo ( $m$ ).

A temperatura média da pele ( $t_{sk,m}$ ) e a taxa de evaporação de suor ( $E_{esk}$ ) são as únicas variáveis fisiológicas que influenciam no balanço energético (FANGER, 1970). Os valores de  $t_{sk,m}$  e  $E_{esk}$  podem ser calculados pelas equações 3.19 e 3.20 (ASHRAE, 2010):

$$t_{sk,m} = 35,7 - 0,0275 \cdot (M - W) \quad 3.19$$

$$E_{esk} = 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \quad 3.20$$

Onde:

$t_{sk,m}$  = temperatura média da pele ( $W/m^2$ );

$M$  = taxa metabólica de produção de calor ( $W/m^2$ );

$W$  = trabalho muscular ou eficiência mecânica ( $W/m^2$ );

$E_{esk}$  = perda de calor latente por evaporação do suor pela pele ( $W/m^2$ ).

#### b. Isolamento térmico das vestimentas - *clo*

É o teor de isolamento que as roupas provocam, dificultando as trocas de calor sensível entre o corpo e o meio ambiente que o circunda. Não leva em consideração a bolsa de ar formada entre a roupa e o corpo. Os valores de isolamento térmico das vestimentas são relacionados ao material que as compõem, a espessura dos tecidos e extensão das peças. 1 *clo* equivale a 0,155  $m^2K/W$ . Há também uma padronização de valores, obtida através do uso de manequins

aquecidos, que encontra-se disponível nas normas ISO 7730 (ISO, 2005) e ASHRAE 55 (2010). O cálculo para o Índice de Isolamento das vestimentas é dado pela equação 3.21.

$$I_{cl} = 0,155 \cdot clo_{total} \quad 3.21$$

Onde:

$I_{cl}$  = índice de isolamento das vestimentas ( $m^2K/W$ );

$clo_{total}$  = somatório do isolamento das vestimentas ( $clo$ ).

Ademais, para cálculo do PMV deve-se ainda calcular o fator de vestimenta ( $f_{cl}$ ), que é a razão entre a área do corpo coberto pelas roupas pela área do corpo nu. O cálculo do  $f_{cl}$  pode diferir de acordo com o somatório do isolamento térmico das vestimentas. Para somatórios superiores a 0,5  $clo$ , utiliza-se a equação 3.22, enquanto para valores menores ou iguais a 0,5  $clo$ , a equação 3.23.

$$F_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot I_{cl} \quad 3.22$$

$$F_{cl} = 1 + 0,2 \cdot I_{cl} \quad 3.23$$

Onde:

$f_{cl}$  = razão entre a área do corpo vestido pela área do corpo nu;

$I_{cl}$  = índice de isolamento das vestimentas ( $m^2K/W$ ).

Pesquisas têm apontado que em ambientes onde os indivíduos podem escolher o traje, este se torna uma variável da temperatura dos ambientes de permanência prolongada e não uma variável que influencia o conforto térmico (DE VECCHI; LAMBERTS; CANDIDO, 2017; XAVIER, 2000).

c. Temperatura Superficial Média das roupas –  $t_{cl}$  ( $^{\circ}C$ )

É dada pela equação 3.24 (ASHRAE, 2010; RUAS, 1999; XAVIER, 2000):

$$t_{cl} = \{35,7 - 1,96 - 0,155 \cdot I_{cl} \cdot (3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] + f_{cl} \cdot hc \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad 3.24$$

Onde:

$t_{cl}$  = temperatura superficial média das vestimentas ( $^{\circ}C$ );

$I_{cl}$  = índice de isolamento das vestimentas ( $m^2K/W$ );

$f_{cl}$  = razão entre a área do corpo vestido pela área do corpo nu;

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média ( $^{\circ}C$ );

$hc$  = coeficiente de troca de calor por convecção ( $W/m^2^{\circ}C$ );

$T_a$  = temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ).

d. Pressão parcial de vapor de água –  $p_a$  (kPa):

A pressão parcial do vapor de água representa a quantidade de pressão que o vapor de água poderia exercer se ocupasse todo o volume de ar úmido. É, juntamente com a razão de umidade ( $W_a$ ), uma das maneiras de expressar a umidade absoluta do ar. Usualmente se utiliza o psicrômetro para sua medição. O psicrômetro é capaz de realizar também a medição da temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido aspirado, já que se utiliza desses valores para, através das constantes psicrométricas, calcular a umidade do ar.

Muitos estudos aplicam a umidade relativa do ar (UR), por uma facilidade de compreensão e acesso ao dado. A UR é a quantidade de vapor de água em relação à quantidade de ar seco contido em determinado volume de ar, a uma certa temperatura. Seu cálculo se resume à equação 3.25:

$$UR = \frac{p_a}{p_{as}} \quad 3.25$$

Onde:

$P_a$  = pressão parcial de vapor de água (kPa);

$P_{as}$  = pressão de saturação do vapor de água (kPa).

Para o cálculo da pressão de saturação do vapor de água utiliza-se a equação 3.26:

$$P_a = EXP(16.6536-4030.183/(Ta+235)) \quad 3.26$$

Onde:

$P_a$  = pressão parcial de vapor de água (kPa);

$Ta$  = temperatura do ar [ $^{\circ}C$ ].

e. Temperatura Radiante Média –  $t_{rm}$  ( $^{\circ}C$ ):

É temperatura superficial média dos elementos que envolvem um espaço. Influencia tanto o calor perdido através da radiação do corpo como a perda de calor por condução, quando o corpo está em contato com superfícies mais frias. Pode ser medida por meio de um termômetro de globo negro, um radiômetro de duas esferas, através das temperaturas superficiais das superfícies ao redor do corpo ou através das temperaturas radiantes planas nas seis direções ao redor do corpo. O mais usual é o termômetro de globo negro e para obter-se a  $t_{rm}$  a partir dele deve-se medir a temperatura de globo ( $t_g$ ) e a temperatura e velocidade do ar na mesma região. A  $t_{rm}$  é calculada por meio de uma das equações 3.27 e 3.28 (RUAS, 1999; XAVIER, 2000):

Para convecção natural:

$$trm = [(t_g + 273)^4 + 0,25 \cdot (10^8 \div e) \cdot (t_g - t_a)^{0,25} \div d] \cdot (t_g - t_a)^{0,25} - 273 \quad 3.27$$

Para convecção forçada:

$$trm = \{(t_g + 273)^4 + 1,1 \cdot [(10^8 \cdot V_a^{0,6}) \div (e \cdot d^{0,4})]\} \cdot (t_g - t_a)^{0,25} - 273 \quad 3.28$$

Onde:

$T_{rm}$  = temperatura média radiante (°C);

$T_g$  = temperatura de globo (°C);

$T_a$  = temperatura do ar (°C);

$e$  = emissividade do globo;

$d$  = diâmetro do globo;

$V_a$  = velocidade do ar ao nível do globo (m/s);

O cálculo da  $trm$  depende da quantidade de calor trocado por convecção, diretamente ligado à velocidade do ar –  $V_a$  – dada em m/s. O cálculo do coeficiente de troca de calor por convecção ( $h_c$ ) corresponde às equações 3.29 e 3.30 (RUAS, 1999; XAVIER, 2000).

Para convecção natural:

$$h_c = 1,4 \cdot (|t_g - t_a| \div d)^{0,25} \quad 3.29$$

Para convecção forçada:

$$h_c = 6,3 \cdot (V_a^{0,6} \div d^{0,4}) \quad 3.30$$

Onde:

$h_c$  = coeficiente de troca de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>°C);

$t_g$  = temperatura de globo (°C);

$t_a$  = temperatura do ar (°C);

$d$  = diâmetro da esfera do globo (m);

$V_a$  = velocidade do ar ao nível do globo (m/s);

Após o exposto, considera-se que se o  $h_c$  por convecção forçada for maior que o  $h_c$  por convecção natural, adota-se o valor de  $trm$  para a convecção forçada.

Neste trabalho foi utilizado o Voto Médio Real (*Actual Mean Vote – AMV*), ou seja, o cálculo do Voto Médio baseado nas variáveis climáticas coletadas no momento da entrevista, tais como Temperatura do ar, Temperatura de Globo, Umidade Relativa do ar, Velocidade do Vento, e

variáveis humanas, tais como gênero, peso, idade, nível de vestimenta e metabolismo. As variáveis climáticas utilizadas neste cálculo foram obtidas simultaneamente com a aplicação do questionário.

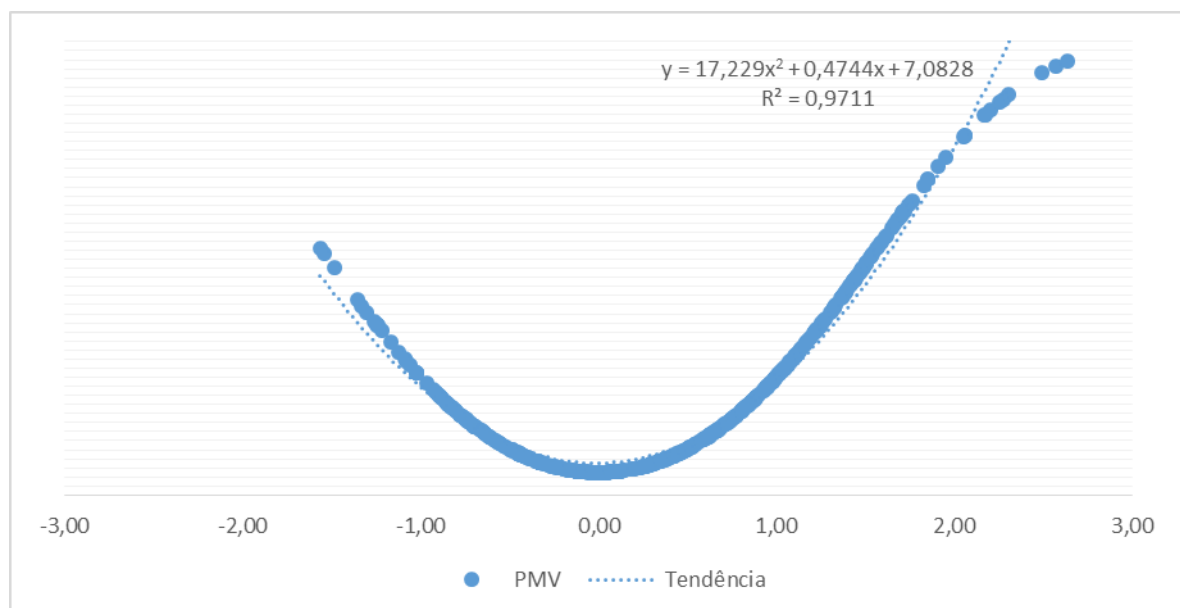
### 3.7.3.3. Sensação térmica

Para calcular a sensação térmica do usuário, de acordo com a escala sétima do PMV (Fanger, 1970), foram utilizadas as informações coletadas a partir da aplicação de questionários. Estes perguntaram aos usuários a sua sensação térmica, características pessoais como gênero, peso, altura, idade, nível de vestimenta e metabolismo, características do lugar como seu posicionamento na sala e tempo de permanência, e por fim, meio de transporte até a sala de aula. Esses dados foram comparados com os índices de conforto térmico.

### 3.7.3.4. Calibração do Modelo do Voto Médio Estimado

Posteriormente à avaliação das respostas referentes às percepções ambientais dos usuários, foi conduzida a etapa de cálculo e avaliação das condições de conforto térmico de acordo com as variáveis coletadas pelos equipamentos manuais e pelos registradores instalados na sala. A primeira avaliação calculou o AMV dos respondentes de acordo com as variáveis pessoais, como sexo, idade, peso, altura e vestimenta e as variáveis medidas na sala,  $T_a$ ,  $T_g$ ,  $V_{ar}$  e  $U_R$ . O cálculo do AMV e do PPD a partir destas variáveis resultou no gráfico expresso na Figura 3.29.

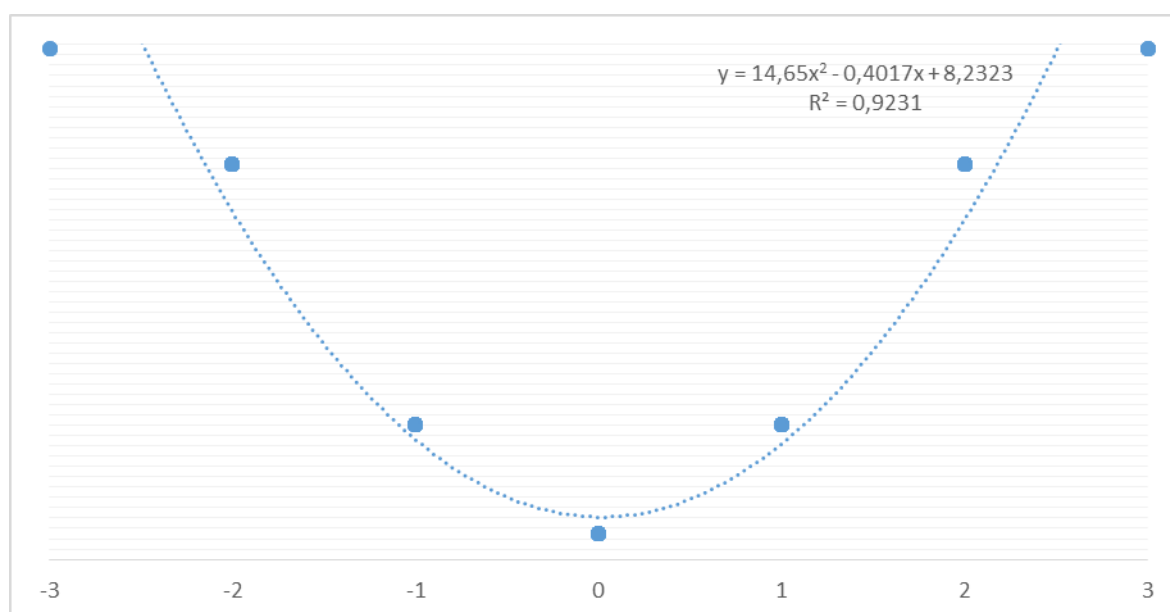
Figura 3.29: Análise da relação entre o AMV e o PPD.



Conforme predito por Fanger (1970), mesmo em situações em que as condições ambientais sejam favoráveis ao conforto de toda a população, isto é, mesmo quando o PMV for 0, teremos um número de pessoas insatisfeitas próximo de 5%, o que faz com que a curva formada pela relação entre esses dados nunca toque a linha inferior, do 0.

Ainda, no questionário os alunos eram convidados a marcarem a Sensação Térmica (ST), na escala sétima do PMV, em relação à percepção do ambiente. Foi calculado o PPD para os votos marcados e os resultados estão expressos na Figura 3.30, em que se percebe também a formação da curva típica da relação.

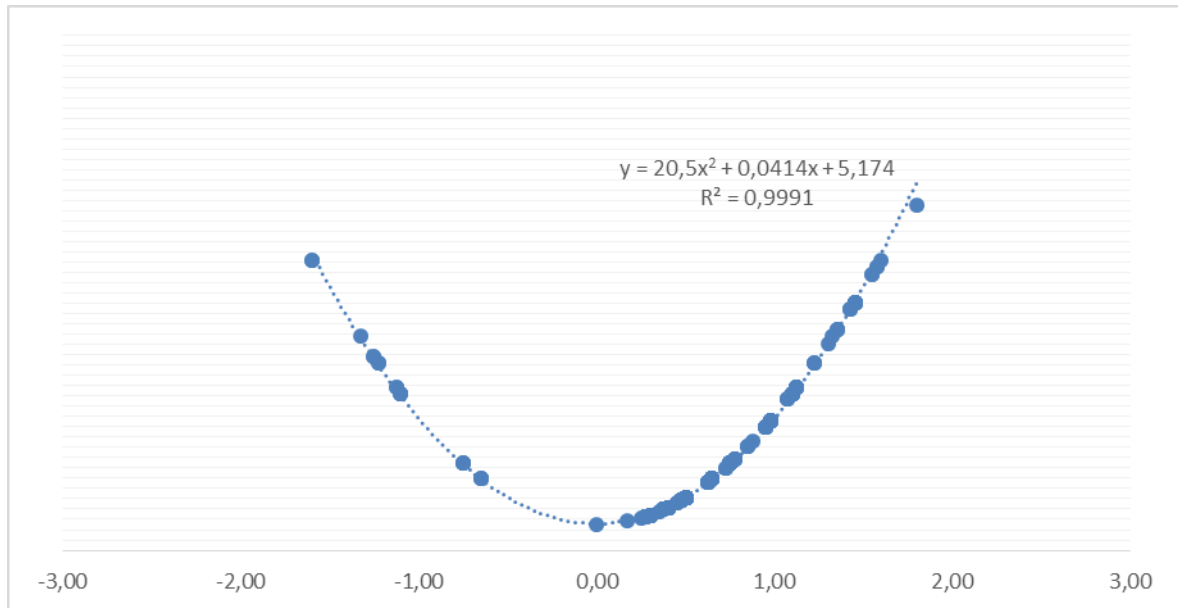
Figura 3.30: Análise da relação entre a Sensação Térmica e o PPD.



Percebe-se claramente que, embora alguns indivíduos tenham marcado ST -3, indicando que estão com muito frio, o AMV não calculou esse nível de desconforto para as situações em questão.

Todavia, os resultados serão refinados mais à frente. A análise dos questionários permitiu perceber que, embora a escala sétima abarque um grande número de preferências, a construção dos questionários não permitiu que a ST fosse considerada em valores não inteiros, diferente do AMV. Assim, foi estabelecida uma relação entre as demais respostas e a ST, calculando a Sensação Térmica Normalizada (STN). Para a STN, calculou-se o PPD, conforme expresso na Figura 3.31.

Figura 3.31: Relação entre a Sensação Térmica Normalizada (STN) e o PPD.



Ao analisar a Sensação Térmica Normalizada fica evidente que não há valores nos limites de desconforto, para frio ou calor, assim como foi apresentado no gráfico do AMVxPPD, o que infere um resultado mais refinado. A relação entre as diferentes análises de percepção do ambiente térmico: o voto dos usuários, na escala sétima, a Sensação Térmica Normalizada (STN), e o Voto Médio Real (AMV), em que se percebe notadamente os valores máximos e mínimos do gráfico serem atingidos somente pela curva da ST dos usuários, inferindo que as situações de desconforto máximo por frio e por calor não ocorreram, embora tenham sido marcados pelos estudantes.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS**

Neste capítulo estão expressos os resultados encontrados durante o desenvolvimento da pesquisa.

#### **4.1. MEDIÇÕES PREPARATÓRIAS**

De maneira a permitir a identificação e caracterização das edificações e do seu entorno imediato, foram realizados levantamentos dos elementos ambientais do entorno e das variáveis higrotérmicas nas edificações e no entorno imediato. Os resultados destas etapas estão descritos nos itens que se seguem.

##### **4.1.1. Entorno Imediato**

A cidade de Goiás, antiga capital do estado homônimo, é um relato autêntico e vivo do urbanismo bandeirista no Brasil Central, tendo sido reconhecida como Patrimônio Cultural Mundial pela Unesco em 2001. No perímetro do seu centro histórico figuram diversas edificações construídas ao longo dos séculos, com concepções arquitetônicas e técnicas construtivas distintas. Com o intuito de produzir informação que fomenta pesquisas sobre o bioclima da cidade, este trabalho realizou um estudo das condições climáticas intraurbanas no perímetro do centro histórico por meio da realização de transectos móveis, conforme adaptação das metodologias aplicadas por Stewart e Oke (2009), Katzschner (2009) e ASSIS *et al.* (2015). Foram coletados dados de temperatura do ar, temperatura superficial do piso (solo ou pavimento), umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, em dois períodos, nos meses de março e agosto de 2017, em 13 pontos localizados entre a estação meteorológica do INMET e a Ponte das Cambaúbas, que se localiza na porção mais oriental da cidade. Os dados coletados foram tabulados e comparados com os dados fornecidos pelo INMET, para posteriormente serem analisados conjuntamente com as condições topográficas e os padrões de ocupação existentes no trecho adotado. Os dados foram organizados em mapas e tabelas com o intuito de se averiguar a coerência dessas informações, permitindo de maneira rápida visualizar espacialmente a questão do clima urbano. Os resultados não permitiram identificar a formação

de ilhas de calor, como era esperado, mas fica clara a influência do traçado urbano na temperatura e sensação térmica dos pontos analisados, sobretudo por ser a cidade de Goiás pobre no quesito quantidade e qualidade da ventilação.

#### 4.1.1.1. Resultados e discussões

A medição das variáveis climáticas do entorno imediato ocorreu no dia 07 de março de 2017, que apresentou céu claro, sem nuvens, e calmaria em relação aos ventos. Em situações com esta característica, as possíveis ilhas de calor formadas ficam mais evidentes. A Tabela 4.1 apresenta os dados coletados pelos pesquisadores durante a realização dos transectos, nos períodos da manhã e da tarde.

Tabela 4.1: Medições realizadas durante o dia 07/03/2017 (*continua*).

	PT	Hora	T ar (°C)	V (m/s)	Direção	T piso (°C)	Material piso
MANHÃ	1	08:00:00	27,8	1,7	O-NO	29,5	CONCRETO
	2	08:10:00	29,2	0,9	O-NO	30,1	CONCRETO
	3	08:20:00	29,5	1,2	S	31,9	CONCRETO
	4	08:30:00	30,7	0,9	S	30,5	PEDRA
	5	08:40:00	30,2	0,8	S	30,9	PEDRA
	6	08:50:00	30,1	1,4	S	33,2	PEDRA
	7	09:00:00	30	1,8	S	33,3	PEDRA
	8	09:10:00	30,8	0,8	S	26,5	PEDRA
	9	09:20:00	33,5	1,2	L	36,3	PEDRA
	10	09:30:00	32	1,5	S	28	PEDRA
	11	09:40:00	30,6	1,7	S	36,9	PEDRA
	12	09:50:00	31,8	1,4	SO	42,1	CONCRETO
	13	10:00:00	33,5	0	-	39,1	CONCRETO
	PT	Hora	T ar (°C)	V (m/s)	Direção	T piso (°C)	Material piso
TARDE	1	15:00:00	34,2	1,4	L	58,8	CONCRETO
	2	15:10:00	36,6	1,4	N	53,4	CONCRETO
	3	15:20:00	35,9	1,5	L	59,2	CONCRETO
	4	15:30:00	35,8	0,9	SL	49,9	PEDRA
	5	15:40:00	35,9	1,3	NO	50	PEDRA

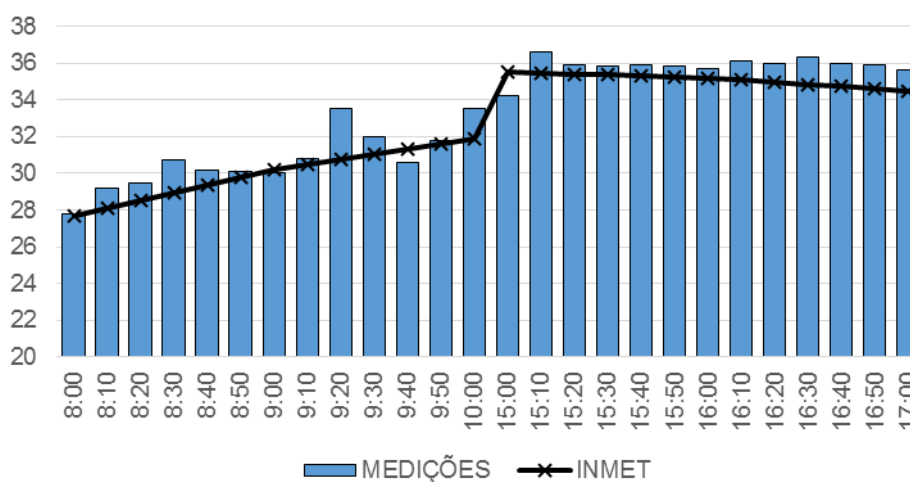
TARDE	6	15:50:00	35,8	0,9	S	52,3	PEDRA
	7	16:00:00	35,7	1,7	L	56,5	PEDRA
	8	16:10:00	36,1	-	-	51,4	PEDRA
	9	16:20:00	36	1,6	NO	52	PEDRA
	10	16:30:00	36,3	0,7	N	37,9	PEDRA
	11	16:40:00	36	1,4	S	51,4	PEDRA
	12	16:50:00	35,9	1,1	N	54,8	CONCRETO
	13	17:00:00	35,6	-	-	50,7	CONCRETO

Fonte: (PERILLO et al., 2017) (continuação).

Seguidamente, coletou-se os dados climáticos medidos pela estação climática do INMET na cidade, localizada à rua Ernestina. Durante a realização do transecto observou-se que, a nível de sensação térmica do usuário, o ponto em que se insere a estação é representativo da realidade climática e ambiental do centro histórico da cidade. A coleta e tabulação dos dados medidos pela estação permite a comparação com os dados medidos.

A análise dos dados da estação permitiu constatar que o dia não apresentou precipitações e nem interrupção nos índices de radiação causados por nebulosidade, confirmando o que foi observado pelos pesquisadores. Às 8:00h os pesquisadores mediram  $T_a=27,8^\circ\text{C}$  e  $V_a=1,7\text{m/s}$ , enquanto a estação registrou  $T_a=27,7^\circ\text{C}$ , e a  $V_a=0,3\text{m/s}$ , com rajadas de até  $3,5\text{m/s}$ . Os sensores da estação se localizam, aproximadamente, 15 metros acima do nível do solo, o que pode ter apresentado diferenças nas velocidades do vento medidas. Os dados de  $T_a$  indicaram calibração do equipamento, uma vez que a imprecisão pode ser de até  $0,1^\circ\text{C}$ , permitindo validar os dados medidos em seguida. Os dados estão expressos na Figura 4.1.

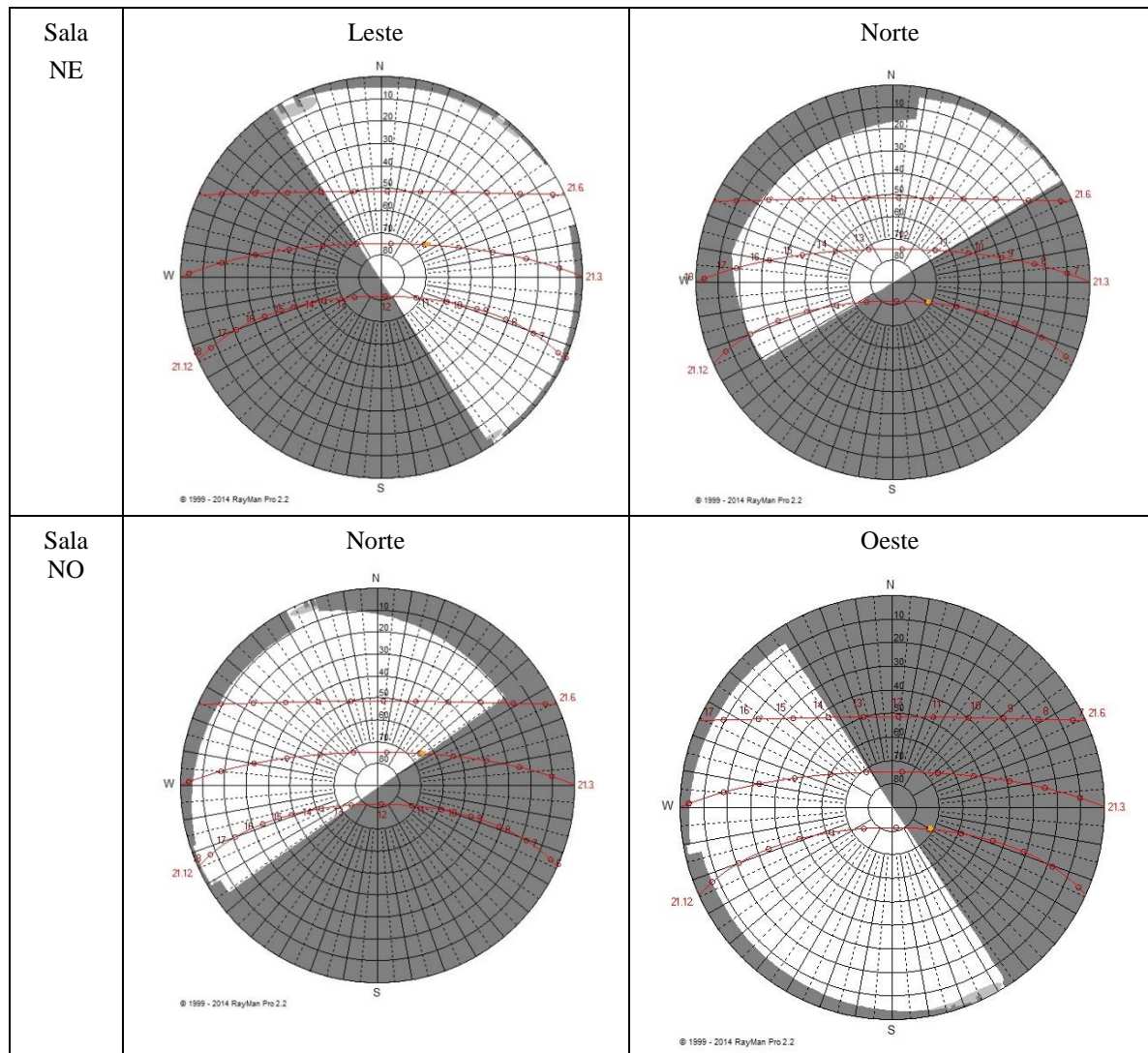
Figura 4.1: Variações de temperatura do ar observadas entre os dados coletados durante a realização do transecto e os dados da estação, nos períodos matutino e vespertino.



Fonte: Perillo et al. (2017)

Como resultados preliminares do transecto, é possível observar que os dados de Ta coletados a nível do solo foram compatíveis com os coletados pela estação automática do INMET. Já os dados de Va e direção do vento foram consideravelmente diferentes, o que se justifica pela altura em que a estação realiza as medições (a 2 metros do solo), não recebendo influência da conformação urbana.

Quadro 4.1: Análise da insolação na unidade Areião.

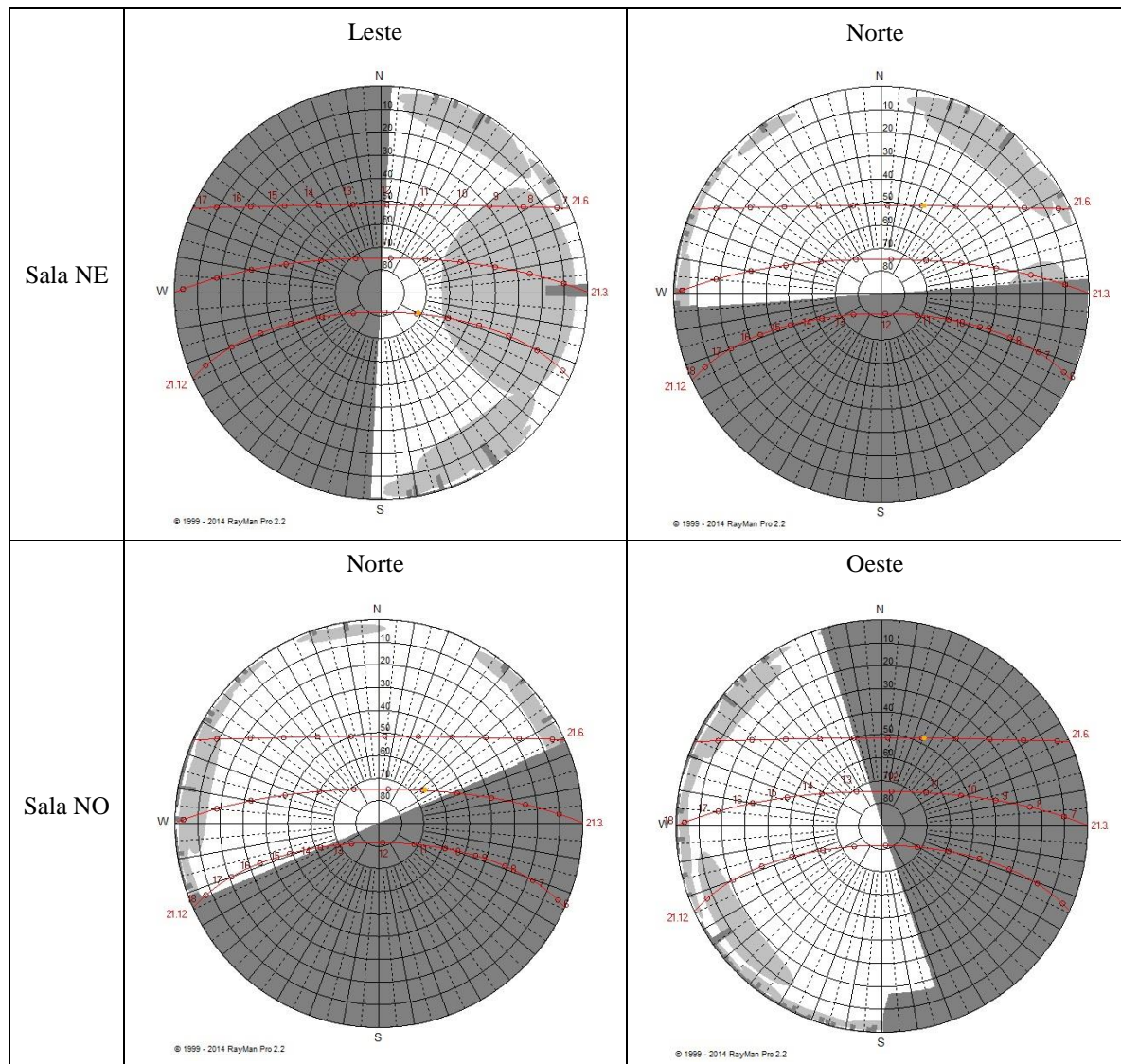


O resultado da análise de variância dos dados obtidos no transecto apontou que cerca de 64% de variância no período da manhã e 48% para o Campus Areião no período da tarde. Esses resultados indicam que o entorno é heterogêneo.

Os quadros Quadro 4.1 e 4.2 apontam os resultados obtidos da análise de insolação das fachadas leste, norte e oeste das edificações analisadas. Na sala NE do Campus Areião observou-se que

há 5h 30 min de isolamento no período da manhã durante o verão e 7h no ao longo do dia durante o inverno na fachada Leste; e 3h30 no período da tarde durante o verão e 8h ao longo do dia durante o inverno. Na sala NO do Campus Areião observou-se que há 5h 30 min de isolamento no período da tarde durante o verão e 8h30 ao longo do dia durante o inverno na fachada Norte; 6h30 no período da tarde durante o verão e 3h30 min no período da tarde durante o inverno.

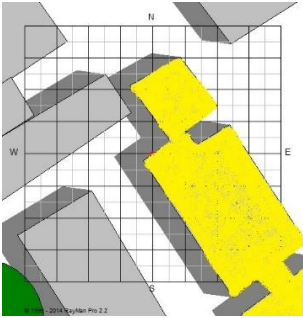
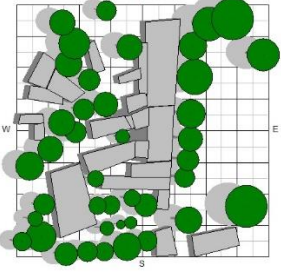
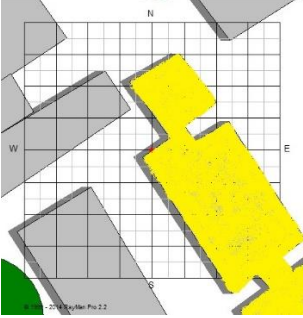
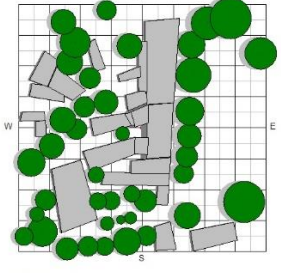
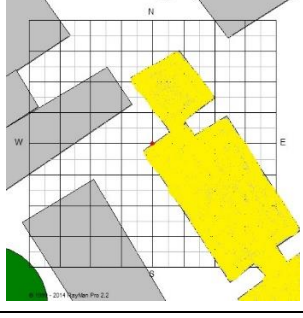
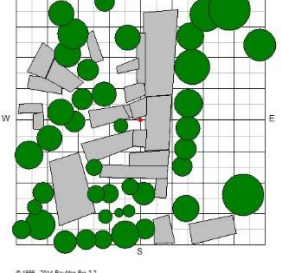
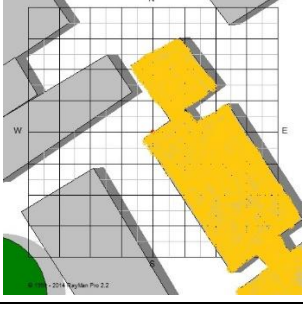
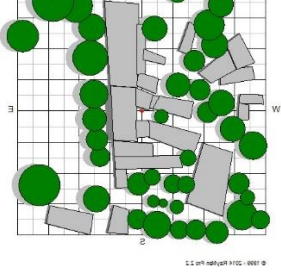
Quadro 4.2: Análise da insolação na unidade Sant'Ana.

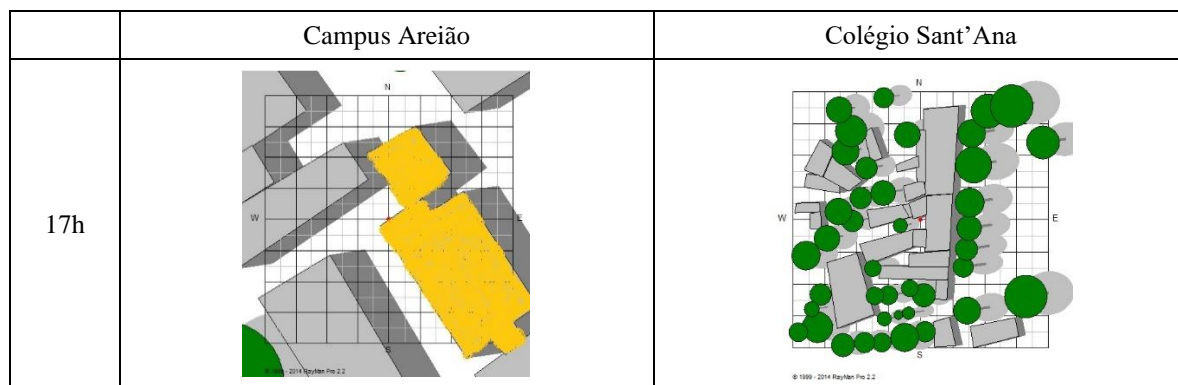


Na sala Nordeste do Colégio Sant'Ana observou-se que há 2h de isolamento no período da manhã durante o verão e 3h no ao longo do dia durante o inverno na fachada Leste; e 3h30 no período da tarde durante o verão e 8h ao longo do dia durante o inverno. Na sala NO do Colégio Sant'Ana observou-se que há 4h de isolamento no período da tarde durante o verão e 8h30 ao

longo do dia durante o inverno na fachada Norte; 6h30 no período da tarde durante o verão e 3h30 no período da tarde durante o inverno.

Quadro 4.3: Comparativo da insolação nas duas unidades analisadas.

	Unidade Areião	Unidade Sant'Ana
7h		
9h		
12h		
15h		



O Quadro 4.3 para os dois edifícios analisados apresenta os resultados da análise de sombra para o dia 25 de outubro, dia que iniciaram as medições válidas. Observou-se que no edifício do Campus Areião, o entorno imediato não influencia no sombreamento das edificações pois a sua implantação é mais dispersa que no Colégio Sant'Ana. Já no Colégio Sant'Ana, a maior influência é das árvores que sombreiam a fachada leste, reduzindo as horas de insolação dentro da sala de aula. Também pode se observar que a forma desse edifício, com um pátio interno, favorece o melhor aproveitamento da iluminação natural do edifício na sala NO deste edifício.

#### 4.1.1.2. Considerações finais

O transecto urbano se mostrou como uma boa ferramenta para a caracterização de entornos imediatos de edificações e permitiu, neste caso, considerar os dados da estação para grande parte da área compreendida dentro do perímetro de tombamento do centro histórico e adjacências. Assim, possibilitou a utilização de dados coletados em ambientes internos sem a necessidade da instalação de testemunhos externos às edificações, auxiliando a pesquisa desenvolvida pelos pesquisadores na cidade de Goiás.

Muito se discute sobre a validade dos dados utilizados para a elaboração do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, sobretudo para cidades em que os dados foram estimados por interpolação, e não medidos. Assim, estudos como este visam suprir a demanda de informação climática para auxiliar climatologistas e outros profissionais na concepção e elaboração de modelos que permitam melhores interpretações dos topoclimas e microclimas de diversas localidades brasileiras.

#### 4.1.2. Ciclo de Medição 01 e 02 - Medições Teste

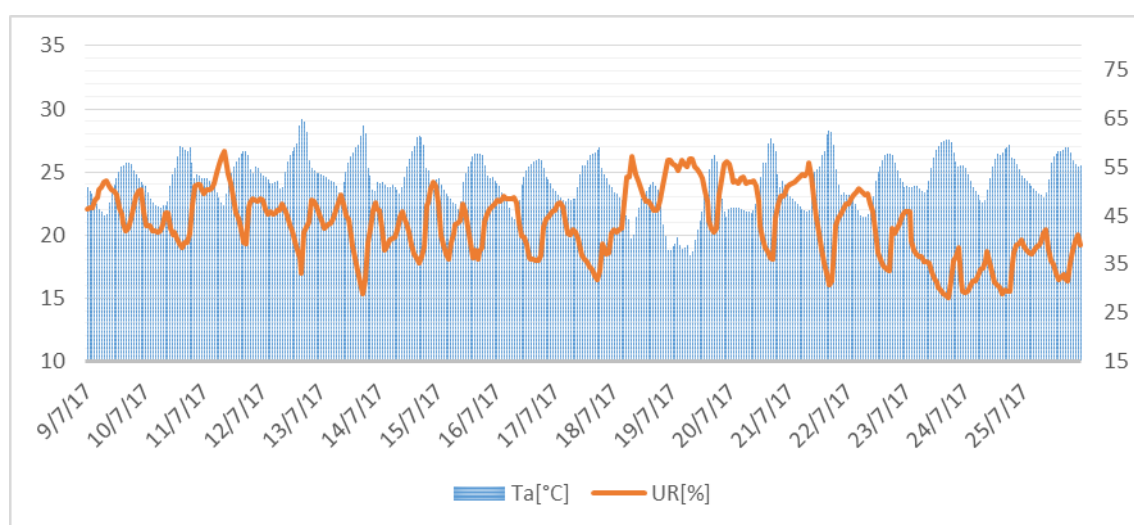
De maneira a garantir o bom andamento das medições durante a etapa de coleta de percepções dos usuários e a integridade dos equipamentos durante a pesquisa, foi realizada uma etapa teste,

em que dois equipamentos foram instalados dentro de duas das quatro salas de aula que seriam utilizadas posteriormente. Essa medição teste abarcou um período de recesso na instituição, em que a utilização das salas foi bastante reduzida ou nula. Durante esse período não foram checadas a permanência no recinto e a utilização de equipamentos de climatização, como ventiladores e ar condicionado.

Durante a realização desta etapa de medição houve uma queda de temperatura, sobretudo entre os dias 17 e 20, por ocasião da entrada de uma massa polar, conforme registrado nos gráficos e no Boletim Agroclimatológico de julho de 2017 (INMET, 2017). Embora tenha sido registrada essa anormalidade no clima, a estação da Cidade de Goiás apresentou média mensal compensada de 22,9°C, a sexta mais elevada da região Centro-Oeste.

As figuras a seguir trazem gráficos explicativos de temperatura e umidade relativa horária registrada nesse período de medições para as Salas de Aula NE Sant'Ana (Figura 4.2), NO Areião (Figura 4.3) e para a estação climatológica do Inmet (Figura 4.4), localizada na Rua Ernestina.

Figura 4.2: Variáveis climáticas internas, medidas durante a medição teste, do interior da sala NE – Sant'Ana:



Analisando estes três gráficos, pode-se perceber como as edificações têm atendido o requisito de minimizar ou mitigar as variações climáticas externas. Tanto a variável temperatura quanto a umidade relativa do ar apresentam menores variações, ou amplitudes, no interior das edificações.

Figura 4.3: Variáveis climáticas internas, medidas durante a medição teste, do interior da sala NO - Areião:

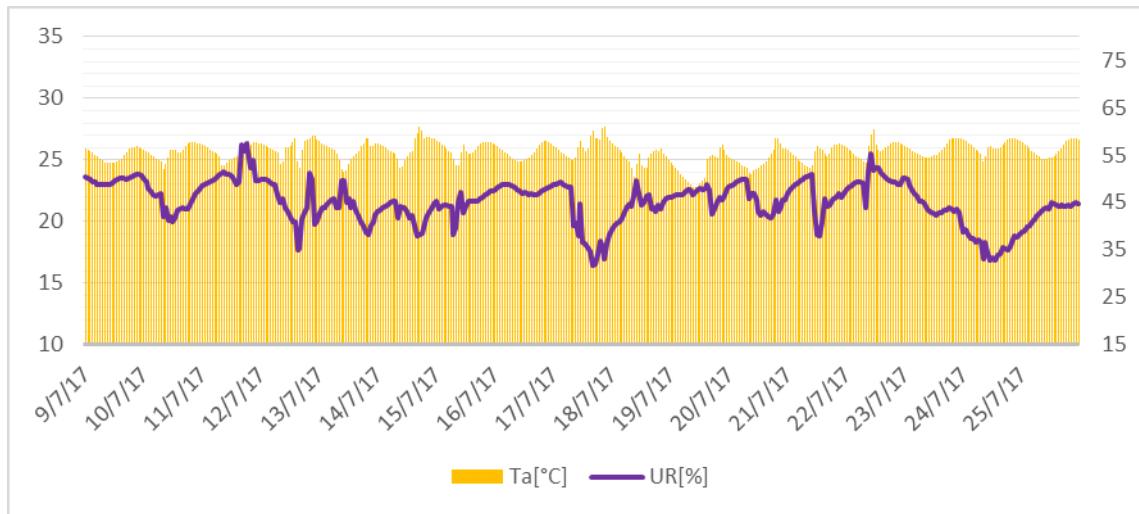
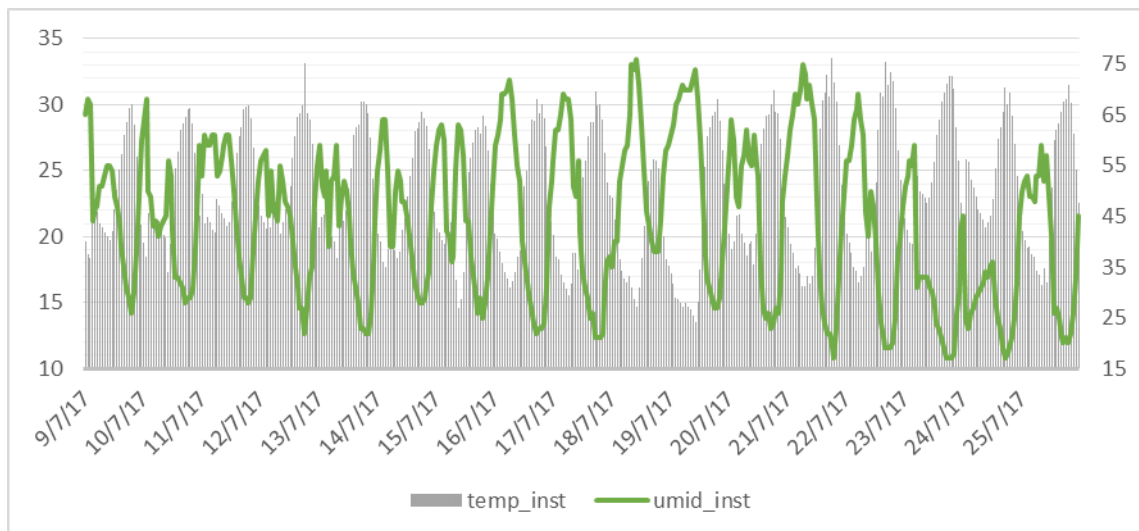


Figura 4.4: Variáveis climáticas externas, medidas pela estação do Inmet localizada à Rua Ernestina:



Fonte: o autor, 2018.

Contudo, como já foi dito anteriormente, julho de 2017 foi um mês atípico para a cidade de Goiás, do ponto de vista climático. A intensa onda de frio registrada fez com que os termômetros do Inmet registrassem amplitudes térmicas diárias altíssimas, fato que foi amenizado no interior das salas. A Tabela 4.2: Caracterização traz o tratamento dos dados climáticos coletados dentro das salas e pela estação do Inmet. Nela se percebe que, embora a unidade Sant'Ana possua maior inércia térmica, apresentou maior amplitude térmica.

Tabela 4.2: Caracterização dos dados.

Variável	Ta[°C] SANT'ANA - Sala NE	UR[%] SANT'ANA - Sala NE	Ta[°C] AREÃO - NO	UR[%] AREÃO - NO	Ta[°C] Inmet	UR[%] Inmet
MÉDIA	24.31	43.36	25.65	45.11	23.26	43.76
MEDIANA	24.30	43.50	25.75	45.40	22.60	44.00
DESVIO PADRÃO	1.95	7.01	0.82	4.55	4.71	15.33
ERRO PADRÃO	0.10	0.35	0.04	0.23	0.23	0.76
MODA	23.80	39.60	25.80	48.80	20.20	29.00
MÍNIMO	18.40	28.20	22.80	31.60	13.50	17.00
MÁXIMO	29.20	58.30	27.70	57.50	33.50	76.00
AMPLITUD E	10.80	30.10	4.90	25.90	20.00	59.00
COEF. DE VARIACÃO	8%	16%	3%	10%	20%	35%

O tratamento dos dados permitiu que fossem elaborados os gráficos a seguir (Figuras Figura 4.5 e Figura 4.6), comparando os dados coletados nos três pontos de medição, dois internos (Sant'Ana e Areião) e os dados da estação meteorológica do Inmet.

Figura 4.5: Análise da Temperatura do Ar registrada nos ambientes internos e pela estação meteorológica do Inmet.

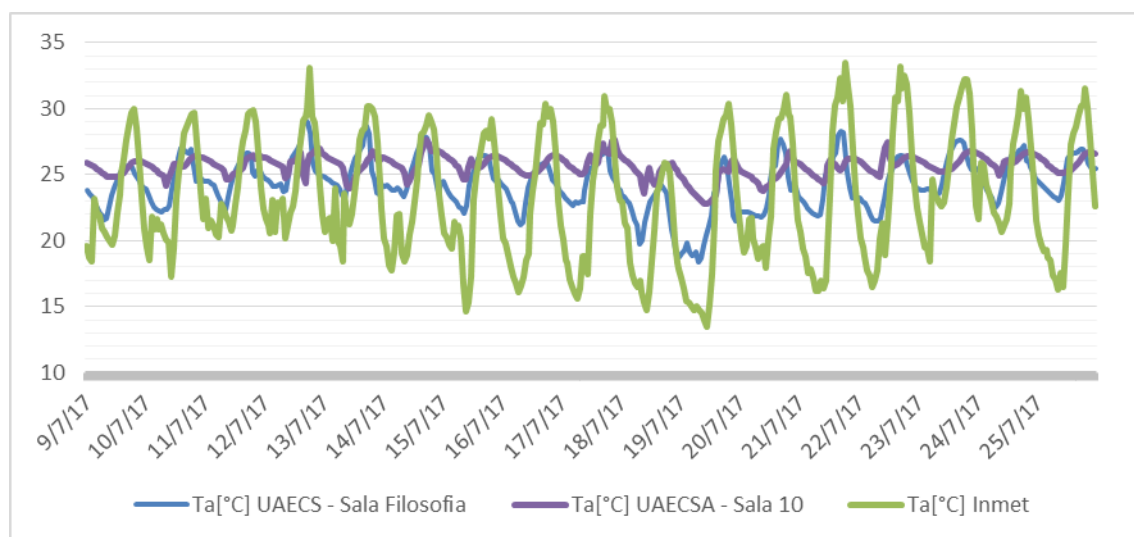
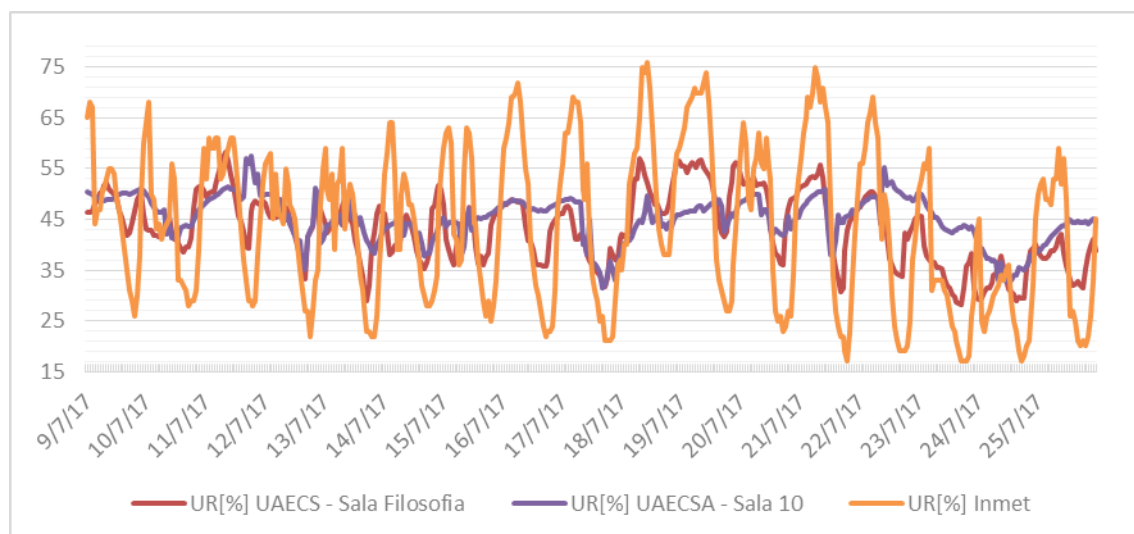


Figura 4.6: Análise da Umidade Relativa do Ar registrada nos ambientes internos e pela estação meteorológica do Inmet.



#### 4.1.3. Ciclo de Medições 03 - Testemunho

Com intuito de verificar a calibração e a confiabilidade dos dados obtidos durante o ciclo de medições, foram realizadas medições-testemunho que objetivaram a coleta de dados internos e externos e a comparação com os dados obtidos pela estação climática do Inmet localizada na cidade. A realização do transecto nos permitiu estabelecer os parâmetros de confiabilidade entre as variáveis climáticas coletadas nos espaços de estudo e as coletadas pela estação. Esta etapa foi realizada durante o mês de outubro de 2017, entre os dias 23 a 25, quando foram instalados quatro equipamentos nas edificações, sendo dois no interior das salas (Areião na sala NE, Sant'Ana na sala NE) e dois no exterior, em local protegido da insolação e do vento direto.

Para a correta realização do procedimento testemunho, é necessário que os dados sejam coletados durante um dia típico, neste caso, céu aberto, sem precipitação e com temperaturas e umidades dentro do padrão climático do mês. Outubro é, historicamente, o mês em que as chuvas voltam para o centro-oeste, contudo foi possível realizar o procedimento nos três dias descritos, sem que houvesse registro de precipitação ou céu encoberto. Embora o ciclo de medições para coleta do testemunho tenha ocorrido em três dias consecutivos, são descartados os dados do primeiro e do último dia, garantindo a integridade e normalidade dos dias registrados no dia 24 de outubro. O resumo descritivo para os dados de temperatura do ar coletados está expresso na Tabela 4.3 e os de umidade relativa na Tabela 4.4.

Tabela 4.3: Resumo descritivo dos dados de temperatura do ar.

Variável	Ta[°C] Inmet	Ta[°C] Areão Ext.	Ta[°C] Sant'Ana Ext	Ta[°C] Areão Int.	Ta[°C] Sant'Ana Int.
<b>MÁXIMO</b>	36.40	35.70	36.50	30.60	32.30
<b>MÍNIMO</b>	26.40	27.10	27.70	24.20	29.20
<b>AMPLITUDE</b>	10.00	8.60	8.80	6.40	3.10
<b>MÉDIA</b>	30.58	30.80	31.22	28.62	30.67
<b>DESVIO</b>	3.44	3.03	3.01	1.63	1.11
<b>MODO</b>	27.10	27.70	28.20	29.00	29.50
<b>MEDIANA</b>	29.90	30.30	30.75	29.00	30.75
<b>ERRO PADRÃO</b>	0.70	0.62	0.62	0.33	0.23
<b>COEF. DE VARIACÃO (%)</b>	11.24%	9.83%	9.66%	5.70%	3.63%

A análise dos dados expressos nas tabelas deixa claro que as edificações estão atuando positivamente na mitigação das variações climáticas diárias. As amplitudes de temperatura e umidade coletas pelos registradores foram muito inferiores às amplitudes registradas na estação climática do Inmet. Esse fato pode ser, ainda, verificado nas variáveis desvio padrão e no coeficiente de variação da amostra.

Tabela 4.4: Resumo descritivo dos dados de umidade relativa do ar.

Variável	UR[%] Inmet	UR[%] Areão Ext.	UR[%] Sant'Ana Ext.	UR[%] Areão Int.	UR[%] Sant'Ana Int.
<b>MÁXIMO</b>	49.00	49.50	48.20	48.80	45.60
<b>MÍNIMO</b>	20.00	26.40	24.90	32.80	32.90
<b>AMPLITUDE</b>	29.00	23.10	23.30	16.00	12.70
<b>MÉDIA</b>	36.13	39.38	38.19	44.05	40.24
<b>DESVIO</b>	9.77	8.30	7.89	5.13	4.77
<b>MODO</b>	47.00	47.20	#N/D	48.40	44.70
<b>MEDIANA</b>	35.00	38.50	37.25	47.00	41.55
<b>ERRO PADRÃO</b>	1.99	1.69	1.61	1.05	0.97
<b>COEF. DE VARIACÃO (%)</b>	27.04%	21.06%	20.67%	11.65%	11.85%

A amplitude diária das variáveis climáticas pode ocasionar situações de estresse térmico, uma vez que as intensas variações dificultam o processo de aclimação dos usuários que, de grosso modo, podem não encontrar opções viáveis para alterar as condicionantes pessoais e ambientais de modo a atingir o conforto térmico. Fica claro essas variações quando analisamos os gráficos expressos nas figuras Figura 4.7 e Figura 4.8 a seguir.

Figura 4.7: Gráfico dos registros de temperatura do ar colhidos durante o testemunho.

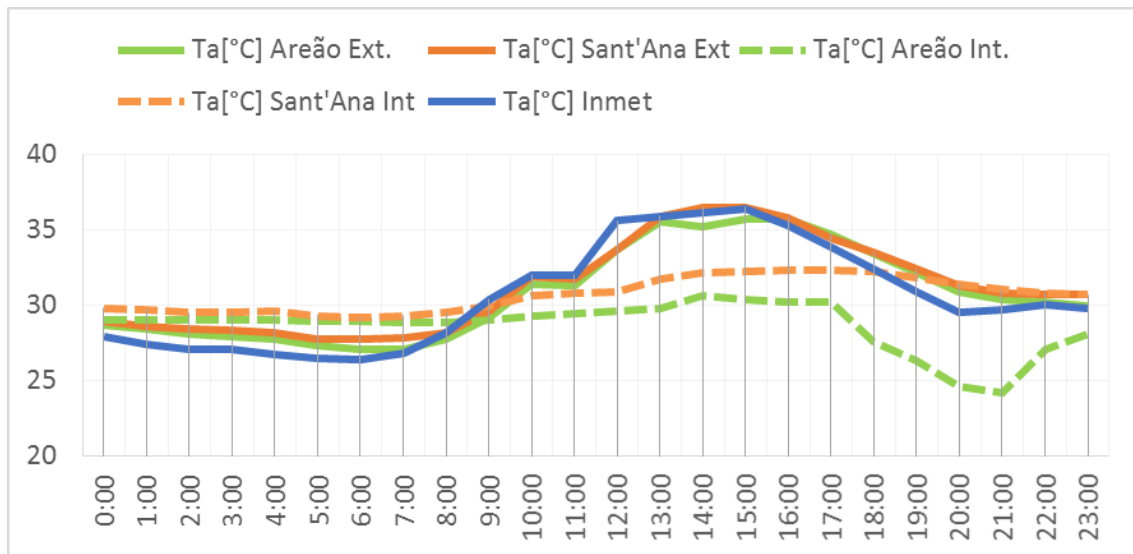
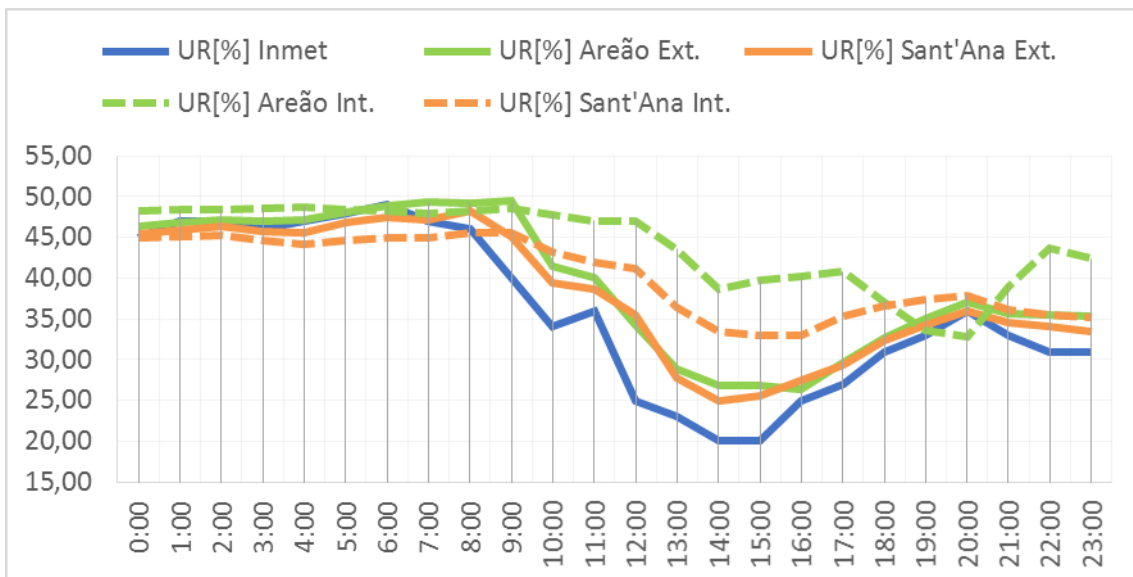


Figura 4.8: Gráfico dos registros de umidade relativa colhidos durante o testemunho.



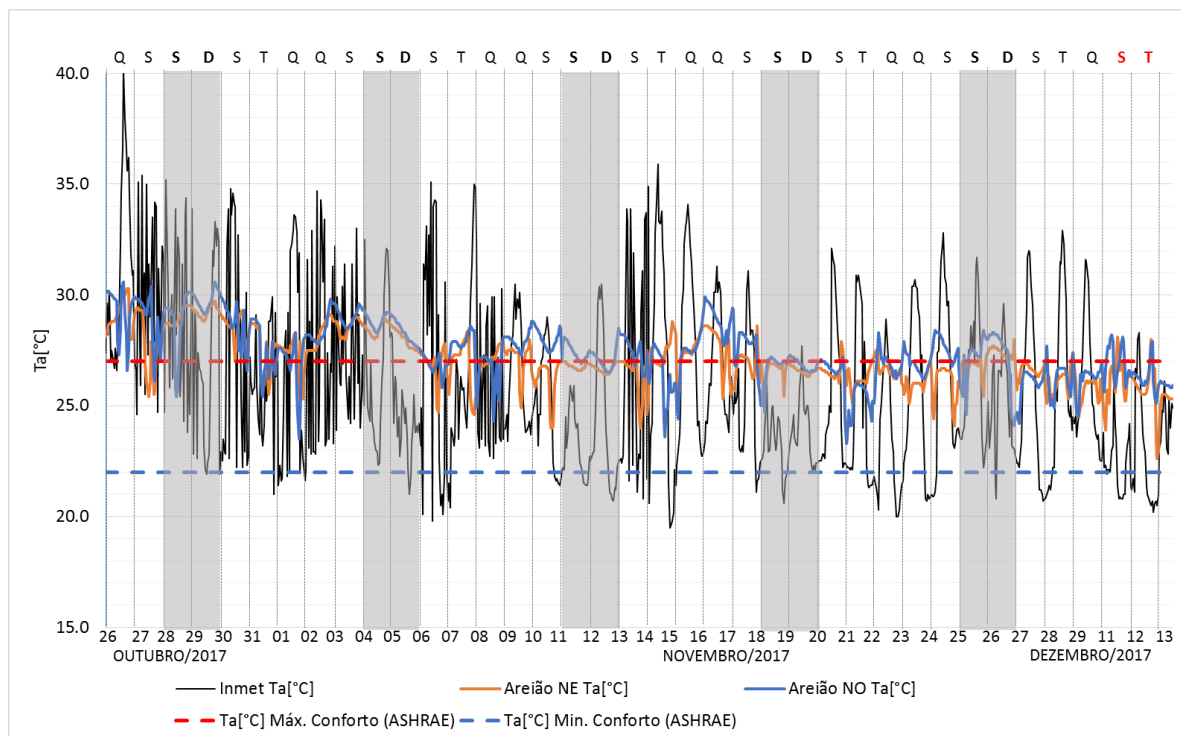
Na Figura 4.7 é notória a anomalia de temperatura do ar registrada na sala NE da unidade Areião, quando a partir das 14h ela começa a sofrer redução e se destaca dos demais registros. É mais evidente esse fato no horário compreendido entre 17:00h e 21:00h. Tal anomalia poderia ser explicada pelo funcionamento de um aparelho de ar condicionado, porém, no dia registrado, 24 de outubro, a instituição não abrigou atividades acadêmicas devido a um feriado. Foi perguntado à equipe de gestão e manutenção se a sala foi utilizada para algum fim, e a resposta foi negativa. Assim, embora o dado coletado não possa ser considerado de qualidade, ele aqui está apresentado devido à impossibilidade de realização do testemunho posteriormente, seja por disponibilidade de equipamentos seja por ausência de condicionantes climáticas adequadas.

Todavia, o que fica claro no testemunho, já percebido no Transecto Diurno e nas Medições Testes é que não há variabilidade considerável entre os dados coletados pela estação meteorológica do Inmet e os dados coletados no exterior das edificações, permitindo que os dados da estação sejam utilizados como dados externos, sem a necessidade da instalação de um equipamento para coleta exclusivamente destes.

## 4.2. MEDIÇÕES EXPLORATÓRIAS

Após a realização da etapa preparatória de medições, deu-se prosseguimento à etapa exploratória, em que foram coletados os dados utilizados para as análises de desempenho térmico da envoltória e do conforto térmico dos usuários. A coleta de dados dessa etapa se deu durante os ciclos 04 e 05, nos meses de novembro e dezembro de 2017. Foram instalados quatro registradores de Temperatura e Umidade do ar nas salas Nordeste e Noroeste das unidades Areião e Sant'Ana, um em cada sala, que coletaram os dados a cada 10 minutos. A Figura 4.9 apresenta os dados coletados no interior das salas de aula da unidade Areião, comparados com os dados do Inmet.

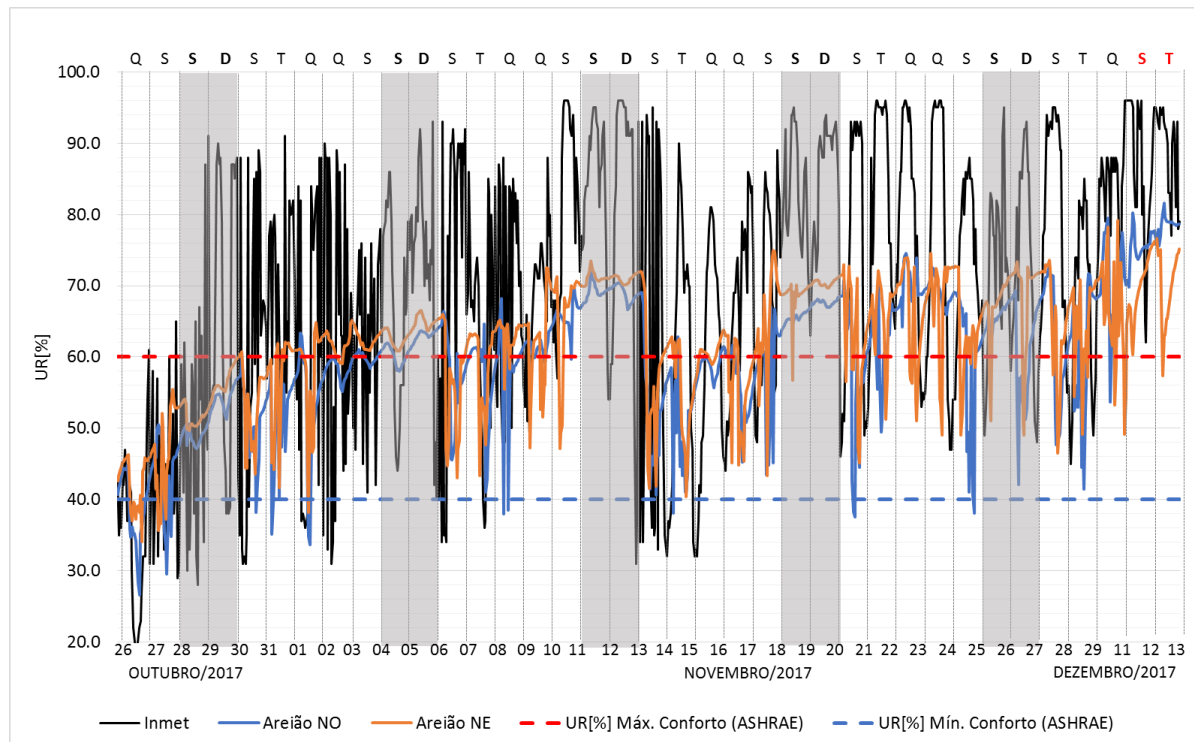
Figura 4.9: Ta[°C] Unidade Areião, ciclo Verão.



Os dados apontam que a edificação é capaz de absorver as variações diárias de temperatura, mantendo a Ta interna abaixo de 30° C, mesmo quando a Ta externa está acima de 35°C.

Durante todo o período as Ta internas ficaram próximas do limite superior de conforto da ASHRAE (ASHRAE, 2010). Contudo, por se tratar de uma edificação nova e com sistema de condicionamento ativo (Ar condicionado), os dados apresentados apontam para condições ambientais insatisfatórias. Sobretudo ao se analisar a Figura 4.10, que apresenta os registros de Umidade Relativa do Ar para o ciclo de medições em questão.

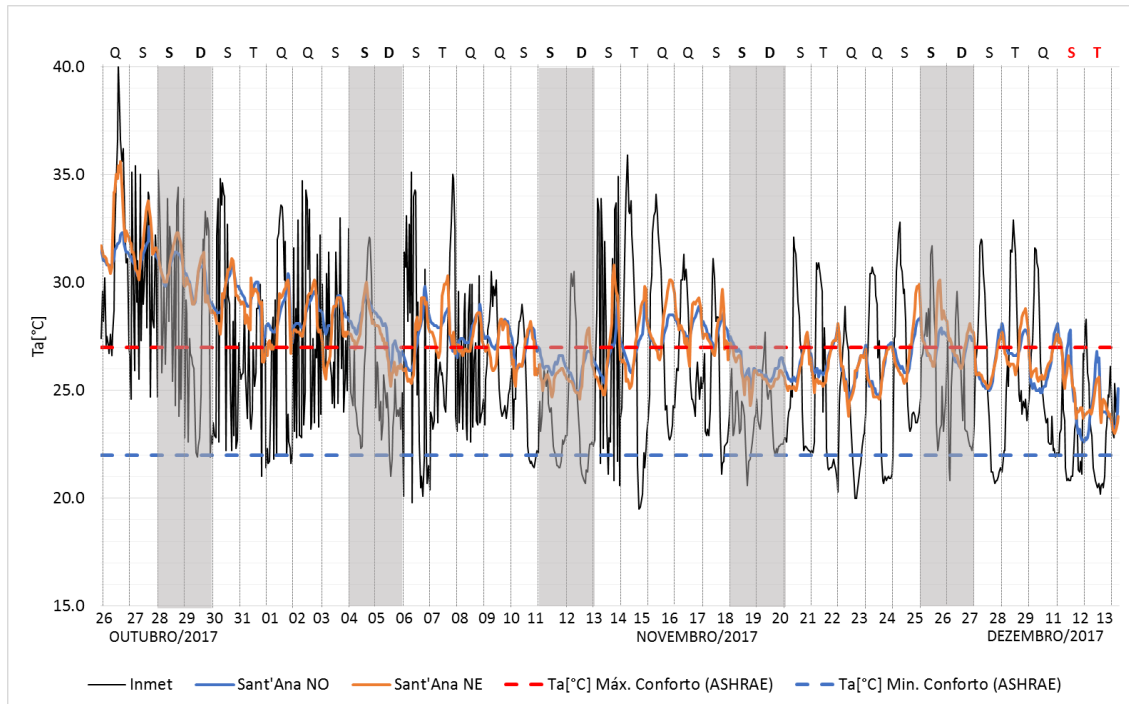
Figura 4.10: UR[%] Unidade Areião, ciclo Verão.



Como os ambientes (as salas NE e NO) são climatizadas por aparelhos de ar condicionado, os dados de UR apresentam enorme variação diária, uma vez que esses equipamentos retiram a umidade do ar no processo de resfriamento. Mesmo com a utilização destes equipamentos os valores de UR ficaram acima do limite superior da ASHRAE (ASHRAE, 2010), mostrando novamente desempenho insatisfatório da edificação e do sistema de climatização.

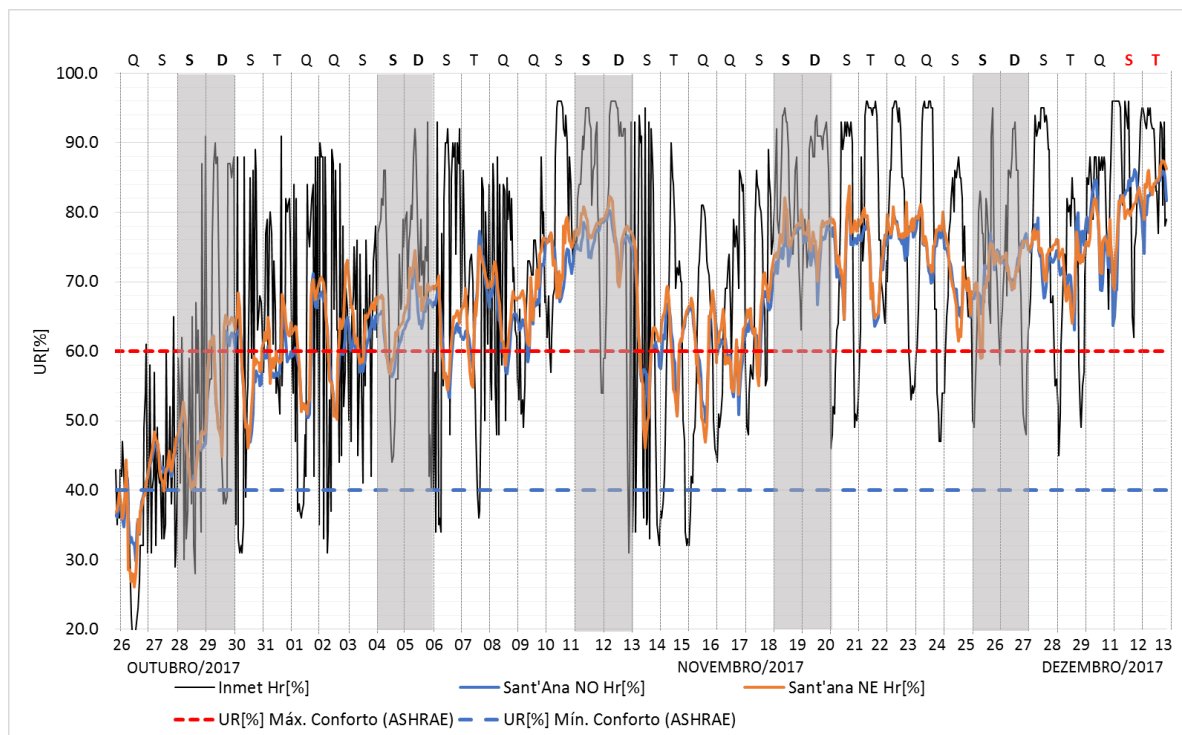
A análise subsequente, da edificação antiga, a unidade Sant'Ana, apresenta também resultados insatisfatórios. Contudo, por se tratar de uma edificação centenária que apresenta empecilhos para a climatização dos ambientes, os valores de Ta e UR acima do aceitável são ainda maiores que na unidade Areião, conforme apresentado pelas figuras Figura 4.11 e Figura 4.12.

Figura 4.11: Ta[°C] Unidade Sant'Ana, ciclo Verão.



Fica evidente que no período analisado a temperatura média das salas de aula da unidade Sant'Ana apresentou progressiva queda, sendo que nos dias finais de outubro/2017 eram registradas Temperaturas do Ar internas acima de 30°C, número que caiu para abaixo de 27°C, limite superior de conforto segundo a ASHRAE (ASHRAE, 2010).

Figura 4.12: UR[%] Unidade Sant'Ana, ciclo Verão.



Contudo, conforme aponta a Figura 4.12, a umidade relativa do ar, medida no ambiente interno, apresentou aumento no decorrer do ciclo de medição, o que ocorreu devido ao início do período chuvoso.

No período seco a  $T_a$  é acima do limite superior de conforto e no período chuvoso a UR é acima do limite superior de conforto, ambos estabelecidos pela ASHRAE. As salas, portanto, apresentam desempenho insatisfatório segundo a normativa, sendo incapazes de amortecer a amplitude térmica no período seco e ficando excessivamente úmidas no período chuvoso. Assim, os resultados apontam que ambas as edificações foram ineficazes na manutenção das condições de conforto térmico em seus ambientes internos, embora a edificação recente (Areião) apresente condições um pouco melhores que a edificação antiga (Sant'Ana). A análise do desempenho térmico das envoltórias das edificações, apresentada a seguir, procura auxiliar na compreensão destes fenômenos.

### **4.3. DESEMPENHO TÉRMICO**

O desempenho térmico das envoltórias das edificações foi analisado por dois métodos distintos: o primeiro considerou as variáveis Temperatura e Umidade Relativa do Ar coletadas dentro das salas de aula e o segundo seguiu o método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013). A seguir, apresenta-se os resultados obtidos a partir dos dados coletados.

#### **4.3.1. Resultado a partir de medições in loco**

A coleta das variáveis ambientais Temperatura e Umidade Relativa do Ar foi realizada no interior das quatro salas escolhidas, duas na unidade Areião (NE e NO) e duas na unidade Sant'Ana (NE e NO). Os dados foram analisados frente aos critérios da NBR 15.575 (ABNT, 2013) para condições de verão, expostos no Quadro 3.6.

Para esta análise, foi selecionado o dia 29 de outubro de 2017 como dia típico de verão. Além de não ter registrado precipitação nos dois dias anteriores e nele próprio, a data é um domingo, dia que as salas não foram utilizadas. Assim, o ambiente foi analisado fechado e desocupado. A Tabela 4.5 apresenta os dados coletados pelos equipamentos instalados dentro das salas de aula e pela estação climática do Inmet, localizada à rua Ernestina.

De acordo com os dados coletados no dia 29/10/2017, a sala que apresenta o pior desempenho é a NE da unidade Sant'Ana e a que apresenta o melhor desempenho é a sala NE da unidade

Areião. As salas NO das duas unidades apresentaram desempenho térmico muito semelhante, com diferença entre a temperatura máxima interna e a máxima externa de 2,7°C para a do Areião e 2,5°C para a do Sant'Ana.

Tabela 4.5: Análise do desempenho a partir das medições de Ta.

DATA	HORA	Areião NO Ta[°C]	Areião NE Ta[°C]	Sant'Ana NO Ta[°C]	Sant'ana NE Ta[°C]	Inmet Ta[°C]
29/10	0:00	30	29,4	30,6	29,9	28.6
29/10	1:00	30	29,3	30,4	29,8	22.6
29/10	2:00	29,9	29,3	30,4	29,9	27.4
29/10	3:00	29,8	29,2	30,3	30,2	26.7
29/10	4:00	29,7	29,2	30,1	29,9	26.5
29/10	5:00	29,6	29,1	30	29,9	26.2
29/10	<b>6:00</b>	<b>29,5</b>	<b>29</b>	<b>29,8</b>	<b>29,6</b>	<b>26.0</b>
29/10	7:00	29,4	29	29,5	29,2	23.2
29/10	8:00	29,3	28,9	29,3	29	22.1
29/10	9:00	29,2	28,8	29	29	21.9
29/10	10:00	29,1	28,8	29,1	29,2	22.4
29/10	11:00	29,2	28,9	29,6	29,5	22.8
29/10	<b>12:00</b>	<b>29,2</b>	<b>29,1</b>	<b>30,1</b>	<b>30,1</b>	<b>24.8</b>
29/10	13:00	29,4	29,2	30,4	30,5	28.5
29/10	14:00	29,5	29,4	30,7	30,8	32.0
29/10	15:00	29,6	29,5	30,7	31,1	31.3
29/10	16:00	29,7	29,5	30,7	31,2	33.3
29/10	17:00	30,1	29,6	30,8	31,3	32.2
29/10	18:00	30,5	29,7	30,8	31,4	33.0
29/10	19:00	30,6	29,7	30,4	29,1	32.4
29/10	20:00	30,4	29,4	29,7	29,1	21.9
29/10	21:00	30,3	29,4	29,5	29,4	22.9
29/10	22:00	30,2	29,3	29,3	29	22.5
29/10	23:00	30,1	29,2	29,1	28,8	23.5
	<b>Tmáx</b>	30,6	29,7	30,8	31,4	33,3
	<b>Diferença Text max</b>	2,7	3,6	2,5	1,9	

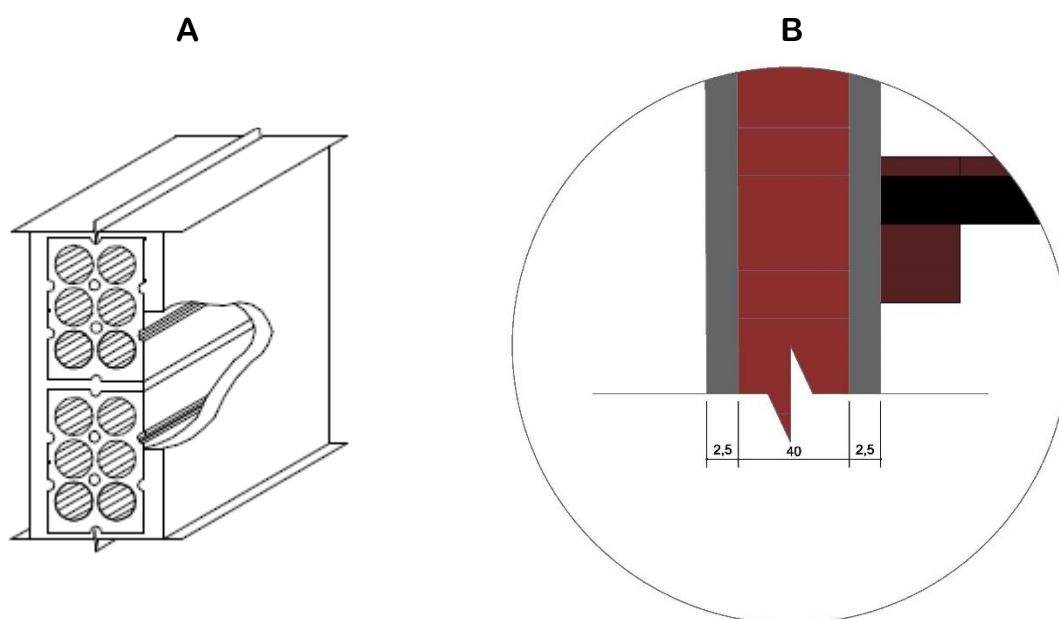
Assim, a sala NE da unidade Sant'Ana, apresentou desempenho térmico mínimo e as outras salas desempenho térmico intermediário, segundo os critérios adotados. Sob esse aspecto, fica claro a ineficácia da norma em fornecer conforto aos usuários, uma vez que as elevadas temperaturas externas fizeram que as edificações apresentassem, mesmo com desempenho intermediário, temperaturas internas muito acima das temperaturas de conforto.

### 4.3.2. Resultados do método simplificado da NBR 15575

A análise dos dados construtivos das edificações selecionadas permitiu o cálculo do desempenho da envoltória por meio do método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

A edificação que teve as salas analisadas na unidade Areião é recente, construída com paredes de tijolos furados de seis furos e argamassa mista com 2 cm nas duas faces (figura 4.13 – A). O reboco foi emassado e pintado nas cores branco gelo no interior e creme no exterior. Na unidade Sant’Ana as salas possuem paredes com aproximadamente 45 cm e não foi possível realizar ensaios destrutivos para a verificação do material constituinte (figura 4.13 – B). De acordo com informações obtidas nos projetos produzidos pela empresa responsável pelo restauro as paredes externas são de taipa e as internas de adobe. Contudo, a edificação conta com mais de seis metros de altura e nessa altura as paredes de taipa teriam que ser mais espessas do que elas de fato são. Assim, foi considerado que foram utilizados na construção blocos de adobe de dimensão de 40x20x10 cm, quer era comum no período da construção.

Figura 4.13: Croqui esquemático das paredes externas da unidade Areião (A) e Sant’Ana (B)



Fonte: (A) ABNT (2005); (B) o autor, 2018.

As propriedades das envoltórias para a unidade Areião foram extraídas da NBR 15.220 (ABNT, 2005) e constam na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Propriedades dos materiais das fachadas da unidade Areião.

Unidade	Sala	Sistema	Materiais	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)	$c$ (kJ/kgK)	$\alpha$	$\epsilon$
Areião	NO	Parede NO	Pintura Creme				0,35	0,9
			Reboco	2100	1,15	1		
			Tijolo Furado	1800	1	0,92		
			Reboco	2100	1,15	1		
			Pintura Branca				0,2	0,9
Areião	NO	Parede N	<b>Pintura Marrom</b>				<b>0,85</b>	<b>0,9</b>
			Reboco	2100	1,15	1		
			Tijolo Furado	1800	1	0,92		
			Reboco	2100	1,15	1		
			Pintura Branca				0,2	0,9
Areião	NE	Parede NO	<b>Pintura Creme</b>				<b>0,35</b>	<b>0,9</b>
			Reboco	2100	1,15	1		
			Tijolo Furado	1800	1	0,92		
			Reboco	2100	1,15	1		
			Pintura Branca				0,2	0,9
		Parede N	Pintura Marrom				0,85	0,9
			Reboco	2100	1,15	1		
			Tijolo Furado	1800	1	0,92		
			Reboco	2100	1,15	1		
			Pintura Branca				0,2	0,9

Para o cálculo das propriedades das paredes da unidade Sant'Ana foram considerados os valores expostos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Propriedades dos materiais das fachadas da unidade Sant'Ana

Sala	Sistema	Materiais	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)	$c$ (kJ/kgK)	$\alpha$	$\epsilon$
NE & NO	Todas as paredes	Caiação				0,15	0,9
		Reboco	1.800	1	0,95		
		Adobe (terra compactada seca)	1.700	0,52	0,84		
		Reboco	1.800	1	0,95		
		Pintura Branca				0,2	0,9

Para Resistência Superficial Interna foi adotado 0,17 (m<sup>2</sup>K/W) e para Resistência Superficial Externa 0,04 (m<sup>2</sup>K/W). A partir dos dados expostos, foram calculadas as propriedades de Resistência Térmica Total (RT), Transmitância (U), Capacidade (CT), Atraso ( $\phi$ ) e Fator Solar. A Tabela 4.8 apresenta as propriedades calculadas para as duas edificações.

Tabela 4.8: Propriedades calculadas para as paredes das duas unidades.

	<b>RT</b> (m <sup>2</sup> K/W)	<b>U</b> (W/m <sup>2</sup> K)	<b>CT</b> (kJ/m <sup>2</sup> K)	<b>φ (h)</b>	<b>Fsol (%)</b>	<b>Atende</b>
<b>Areião</b>	0,40	2,49	173,39	3,52	3,48%	Sim
<b>Sant'Ana</b>	0,85	1,18	683,00	18,49	0,7%	Sim

Os resultados mostram que as salas da unidade Areião possuem Transmitância (U) no limite mínimo requerido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), que é  $\leq 2,5$  W/m<sup>2</sup>K para paredes externas com absorvância inferior a 0,6. Vale lembrar que as paredes Norte das salas são pintadas em cor escura (marrom), com  $\alpha = 0,85$  e neste caso  $U \leq 3,7$  W/m<sup>2</sup>K e neste ponto a edificação não seria aceita, por estar abaixo do mínimo. As paredes externas das salas da unidade Sant'Ana, além de possuírem absorvância baixa, apresentaram Transmitância abaixo do exigido, se adequando aos critérios da norma. Referente à Capacidade Térmica, as quatro salas possuem paredes dentro dos requisitos para a Zona 7 ( $\geq 130$  kJ/m<sup>2</sup>K), embora exista uma diferença muito grande entre as paredes externas da unidade Sant'Ana, com atraso térmico muito superior ao das outras salas.

Referente à área de ventilação, que para a ZB - 7 é pequena ( $A_v \geq 5\% A_{\text{piso}}$ ), todas as salas atenderam aos requisitos da norma, conforme apontado na Tabela 4.9:

Tabela 4.9: Propriedades das aberturas das salas analisadas

<b>Unidade</b>	<b>Sala</b>	<b>Janela</b>	<b>A piso (m<sup>2</sup>)</b>	<b>A janela (m<sup>2</sup>)</b>	<b>A efetiva (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Qt.</b>	<b>A</b>	<b>%</b>
<b>Areião</b>	NE	Basculante	51,8	2,12	0,85	4	3,4	6,56
	NO	Basculante	51,8	2,12	0,85	4	3,4	6,56
<b>Sant'Ana</b>	NE	Abrir	48,15	2,86	2,86	4	11,44	23,75
	NO	Basculante	171	2,21	0,85	11	9,35	5,46

Para o cálculo da cobertura, foram consideradas as especificações dos projetos de arquitetura (Areião) e do levantamento para restauro (Sant'Ana). Tais informações foram cedidas pelo CEGEF-UFG e, no caso da unidade Areião, as dúvidas referentes ao material construtivo foram sanadas com a equipe de fiscalização de obras do mesmo órgão. As propriedades das coberturas estão expostas abaixo, na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Propriedades das coberturas das edificações analisadas.

Unidade	Camada	Espessura	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.K)	$\alpha$	$\epsilon$	RT	U
Areião	Telha Isolante	0,05	226,4	0,02	0,25	0,90	2,50	0,40
	Câmara de Ar							
	Laje	0,12	2.100	1,4				
	Câmara de Ar	0,55						
	Forro de Gesso	0,03		0,35				
	Total componente						3,09	0,32
Sant'Ana	<b>Telha de Barro</b>	<b>0,01</b>	<b>1.800</b>	<b>1</b>	<b>0,80</b>	<b>0,95</b>		
	Câmara de Ar							
	Forro de Madeira	0,01	450	0,15				
	Total componente						0,5	2,01

A partir dos dados apresentados, foram calculadas as propriedades térmicas dos componentes, com os resultados expressos na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Propriedades calculadas para as coberturas das duas unidades.

	RT (m <sup>2</sup> K/W)	U (W/m <sup>2</sup> K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> K)	$\phi$ (h)	Fsol (%)	Atende
<b>Areião</b>	3,1	0,32	683	26	1,04%	Sim
<b>Sant'Ana</b>	0,5	2,0	22,6	0,16	6,44%	Não

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.11, as aberturas das salas foram classificadas de acordo com os requisitos da NBR 15.575 (ABNT, 2013). As salas da unidade Areião foram classificadas como superiores, segundo a norma, uma vez que a transmitância térmica de sua cobertura é inferior a 0,5 (W/m<sup>2</sup>K). Vale lembrar que nas edificações em questão a cobertura, embora com câmara de ar, não é ventilada e o Fator de Ventilação considerado foi 1. No caso das salas da unidade Sant'Ana, que possuem telhado de telhas cerâmicas, com  $\alpha = 0,85$ , a cobertura não atendeu aos requisitos mínimos da norma, sendo desclassificada.

Com base nos resultados apresentados, fica claro que o baixo nível de desempenho da unidade Sant'Ana é causado pela cobertura com elevada Transmitância e baixa Capacidade Térmica. As salas da unidade Areião, em contrapartida, se beneficiam de um sistema de cobertura isolado e reflexivo, com Capacidade e Atraso térmicos contribuindo para o isolamento e desempenho térmico das salas.

Assim, embora as paredes externas da unidade Sant'Ana sejam pesadas e possuam atraso térmico superior às da unidade Areião, a baixa qualidade de sua cobertura foi extremamente

prejudicial para o desempenho térmico dos ambientes analisados, comprometendo, como será mostrado a seguir, o conforto térmico dos usuários.

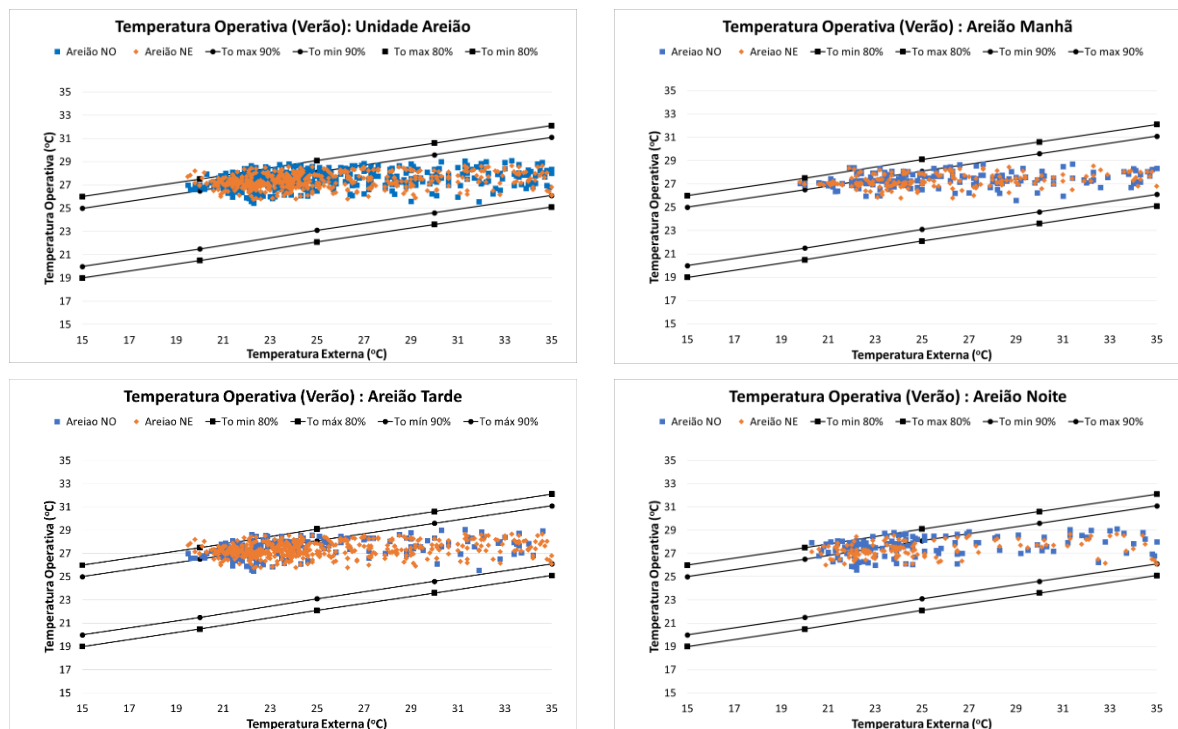
## 4.4. CONFORTO TÉRMICO

Conforme apontado pela Metodologia deste trabalho, o conforto térmico dos usuários foi analisado de acordo com os índices calculados de Temperatura Operativa ( $T_o$ ) e Voto Médio Real ( $AMV - Actual Mean Vote$ ), além da Sensação Térmica ( $ST$ ) dos usuários, coletada pelos questionários. Tai resultados serão apresentados a seguir.

### 4.4.1. Temperatura Operativa

Embora a norma brasileira recomende a utilização da temperatura do ar ( $T_a$ ) para as análises de conforto térmico, normas internacionais consideram a Temperatura Operativa ( $T_o$ ) como essencial para as análises, bem como o RTQ-R (BRASIL, 2010). A  $T_o$  considera a radiação emitida pela superfície de objetos e equipamentos e a temperatura do ar no ambiente, sendo mais precisa que a Temperatura do Ar ( $T_a$ ) para a análise do conforto térmico dos usuários.

Figura 4.14: Análise da  $T_o$  para unidade Areião.



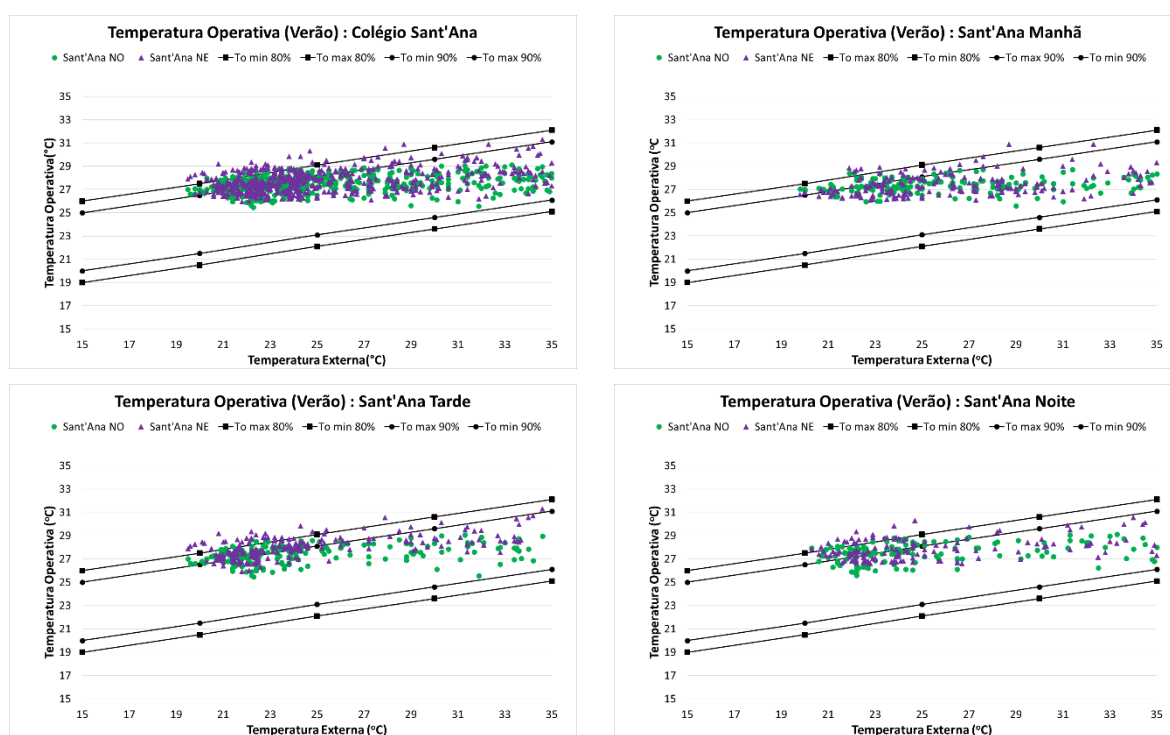
A Figura 4.14 apresenta os resultados obtidos a partir do cálculo da Temperatura Operativa para as salas de aula da unidade Areião. Os ambientes se mostraram mais confortáveis para faixas

de temperatura acima de 25°C, porém os dados apresentados indicam grande número de horas de desconforto no espaço interno. No período matutino houve maior quantidade de horas de conforto térmico que nos demais. Todavia, a dispersão dos dados demonstra que mesmo em situações em que a temperatura do ar externa está abaixo de 25°C, o número de horas de desconforto, segundo a To, é elevado nos três períodos do dia, o que gera incertezas quanto à calibração do índice para a avaliação de conforto nas condições analisadas.

A análise dos dados permite concluir que não houve variação real entre a orientação das salas no conforto térmico dos usuários, com números de To muito próximos para as duas situações analisadas, orientação NE (maior insolação pela manhã) e orientação NO (maior insolação no período da tarde). Vale lembrar que nessa unidade os ambientes eram equipados com equipamentos de ar condicionado e, portanto, deveriam apresentar mais horas de conforto.

Na unidade Sant'Ana a situação não é diferente, como pode ser analisado na Figura 4.15, em que se observa a grande quantidade de dados de desconforto para as temperaturas externas abaixo de 25°C.

Figura 4.15: Análise da Temperatura Operativa para a unidade Sant'Ana.



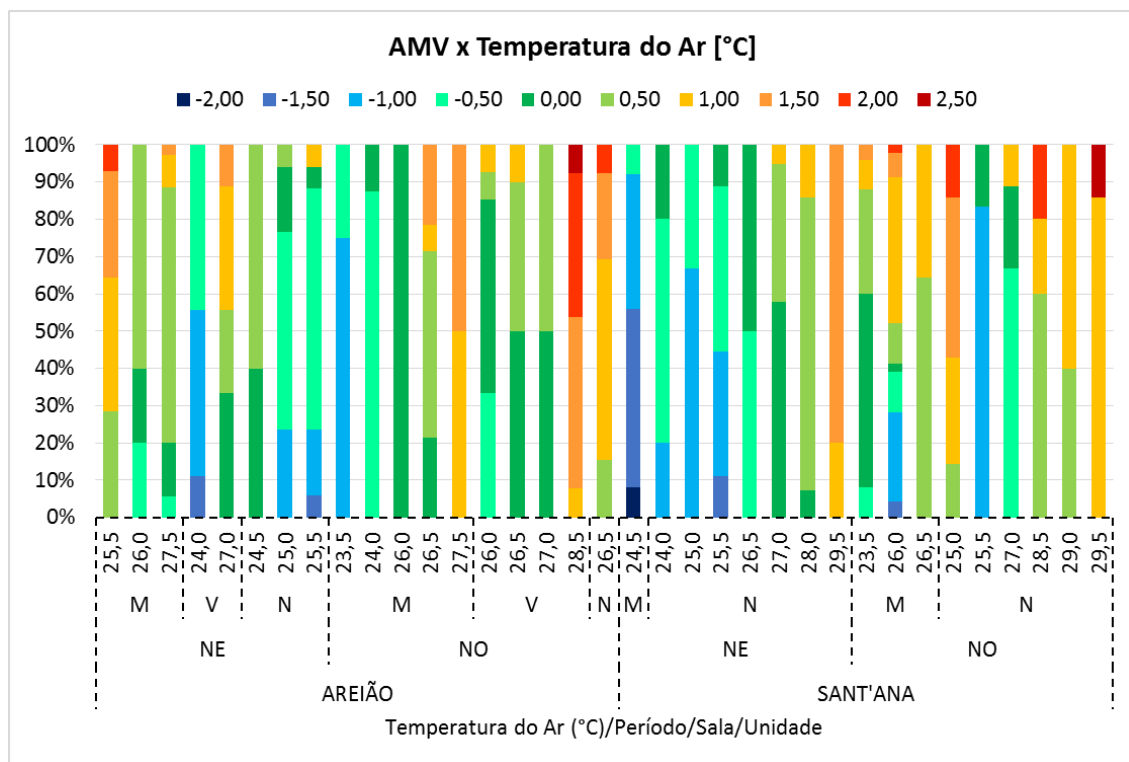
A dispersão dos dados se mantém homogênea nos diferentes períodos do dia, com um aumento no conforto térmico com o aumento da temperatura externa. Novamente, a orientação da sala não influencia na dispersão dos dados de To, porém vale ressaltar que os valores mais elevados são na sala de orientação NE. Nesta unidade as salas são dotadas de equipamentos de ventilação

mecânica (ventiladores de parede) e a análise com os dados das salas que contam com AC permite constatar que os equipamentos, nas duas situações, são ineficazes.

#### 4.4.2. Voto Médio Real – AMV

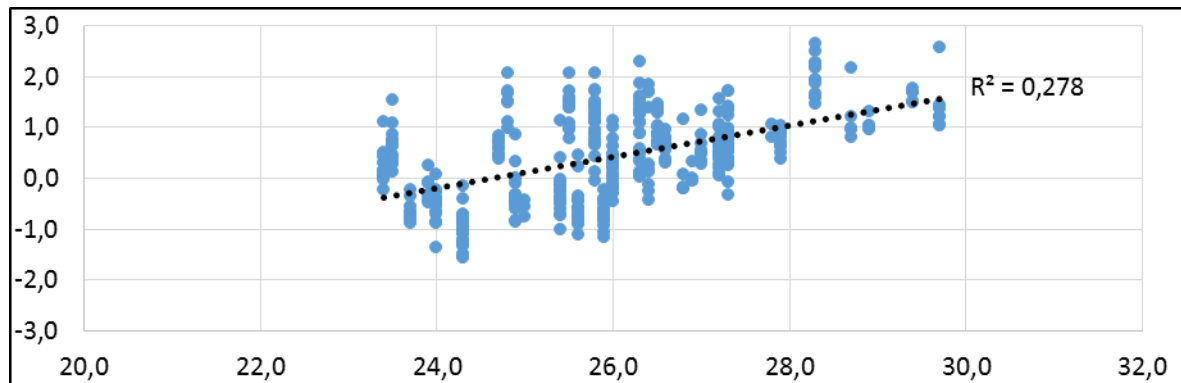
De acordo com as variáveis climáticas e os dados coletados com os questionários, foi calculado o Voto Médio Real (do inglês, *Actual Mean Vote – AMV*) para cada resposta, o que gerou as análises a seguir. Na Figura 4.16 estão relacionados os dados de AMV com a Temperatura do Ar (°C) com grande percentual de conforto térmico (entre -0,5 e +0,5). Embora o AMV seja calculado com base na  $T_a$ , há alguns dados discrepantes em temperaturas abaixo de 26°C, em que se registra um percentual elevado de desconforto por calor. 26°C é, segundo a ASHRAE é o limite superior para conforto.

Figura 4.16: Relação entre o AMV e a Temperatura do Ar.



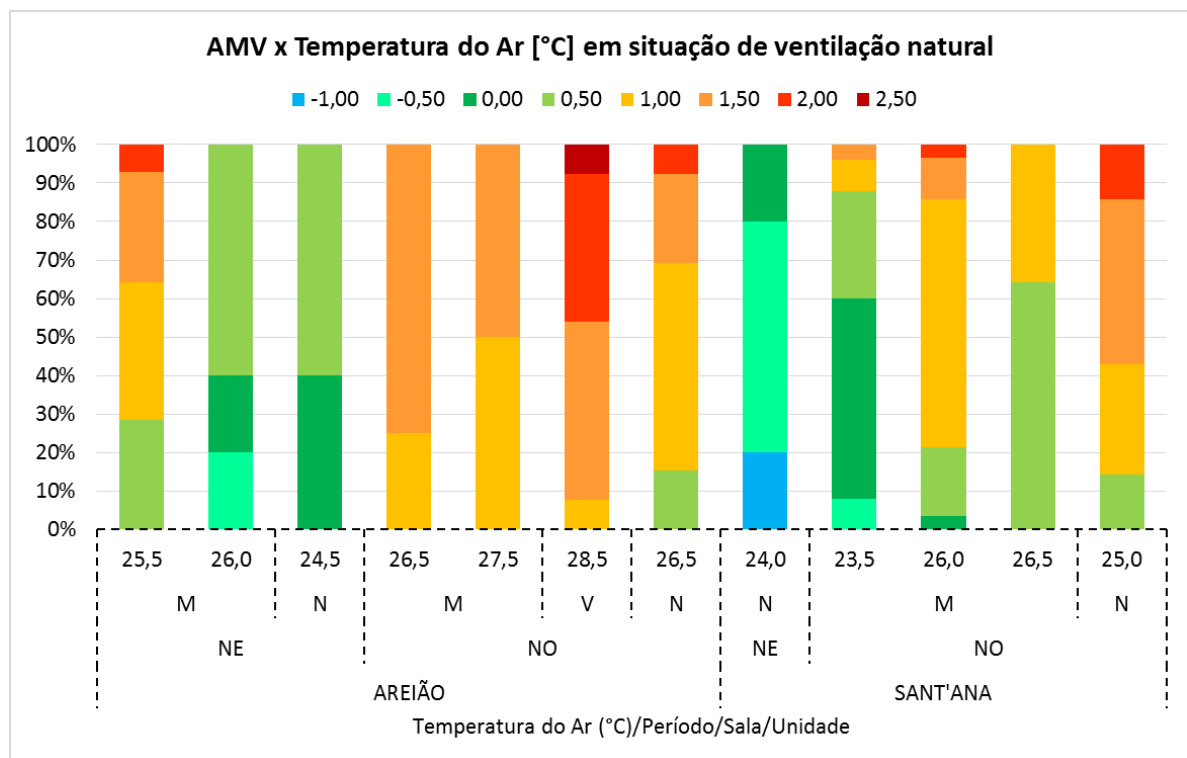
A Figura 4.17 apresenta a análise de correlação entre o AMV calculado e a temperatura do ar medida no momento da aplicação dos questionários. Como dito anteriormente, embora  $T_a$  seja um dos dados de entrada do AMV, não estabeleceu correlação considerável, com  $R^2 = 0,278$ .

Figura 4.17: Correlação entre o AMV e a Temperatura do Ar.



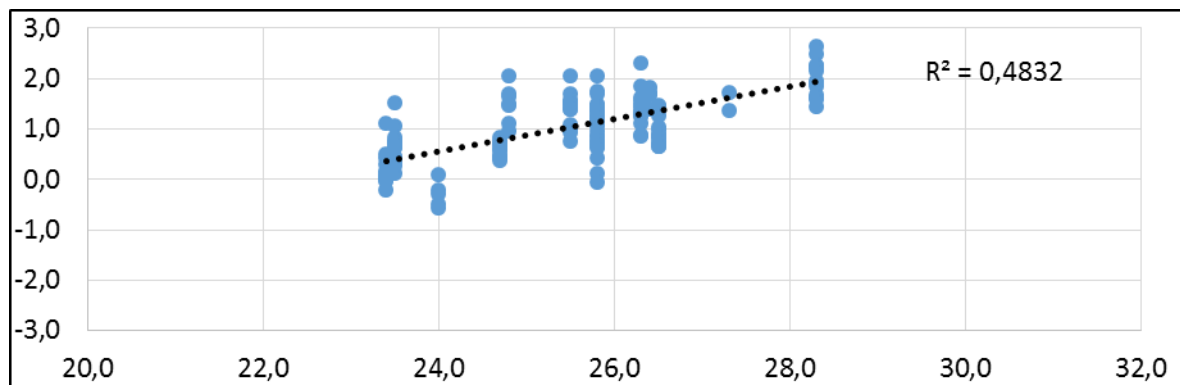
Ao analisar a relação entre o AMV e temperatura do ar para os momentos em que as salas estavam em condições de ventilação natural, isto é, ar condicionado e ventiladores desligados (Figura 4.18), fica claro o aumento do desconforto por calor conforme a temperatura aumenta. Destaque para a sala NE, que no período matutino apresentou grande percentual de desconforto por calor para  $T_a = 25,5^\circ\text{C}$ .

Figura 4.18: Relação entre o AMV e a Temperatura do Ar para ambientes naturalmente ventilados.



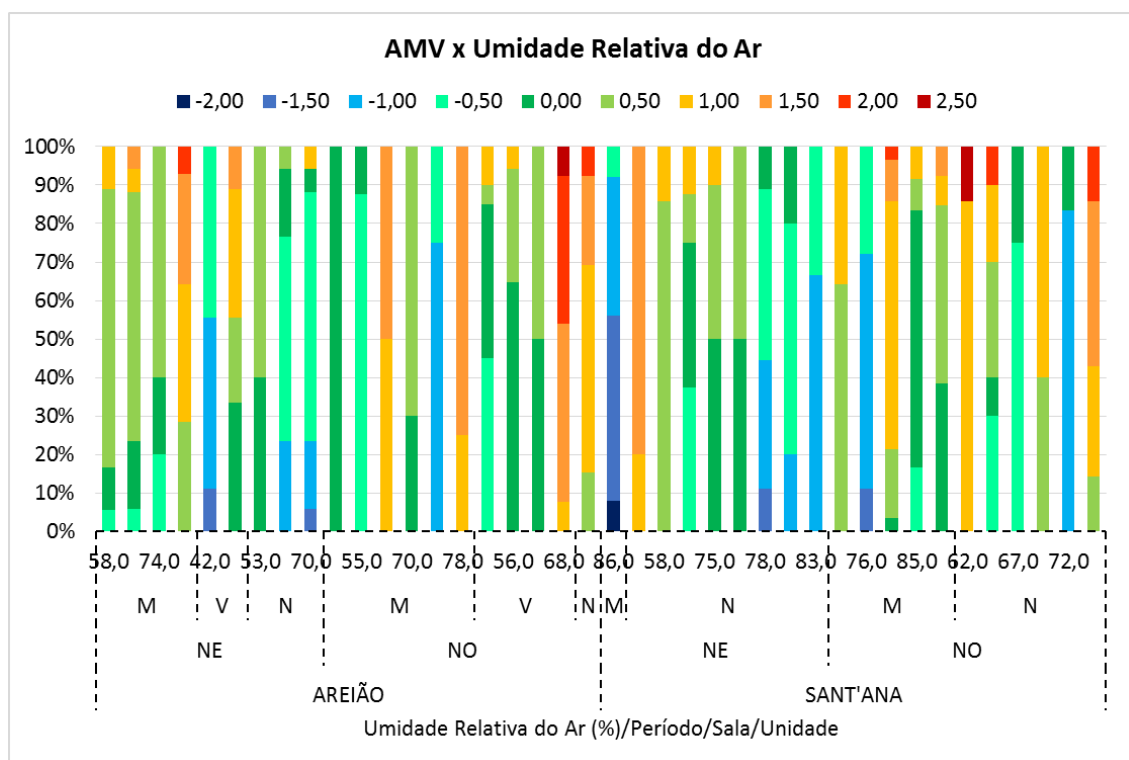
De modo a aprofundar a análise sobre a relação entre a Temperatura do Ar e o AMV em ambientes naturalmente ventilados, foi elaborada a análise de correlação pela dispersão de dados, apresentada na Figura 4.17.

Figura 4.19: Correlação entre o AMV e a Temperatura do Ar para ambientes naturalmente ventilados.



Embora o coeficiente de correlação entre  $T_a$  e AMV tenha sido mais elevado que na análise para ambientes com diferentes tipos de climatização, o valor de  $R^2$  foi baixo, de 0,4832, ressaltando a importância de que, para a avaliação de conforto, a variável  $T_a$  não é suficiente.

Figura 4.20: Relação entre o AMV e a Umidade Relativa do Ar.

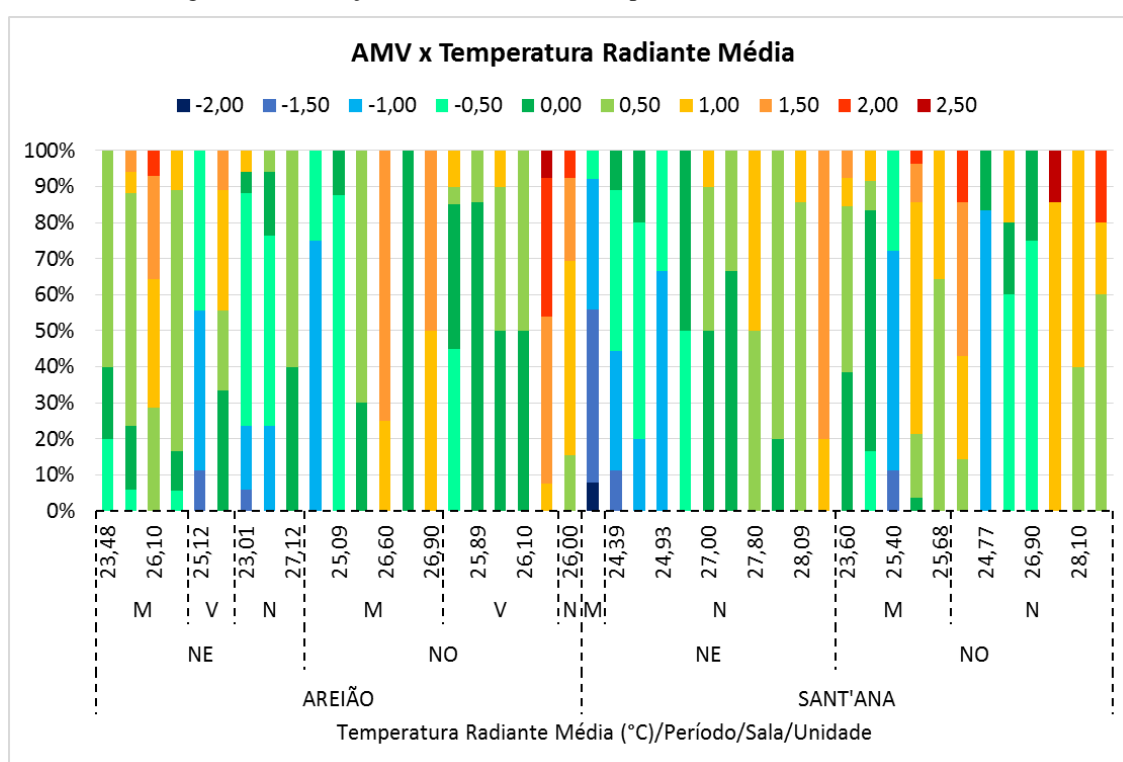


A Figura 4.20 apresenta a relação entre o AMV e a Umidade Relativa do Ar – UR. A UR ficou acima de 50% em quase todos os momentos de medição, com exceção da sala NE da unidade Areião no período Vespertino (V). O maior percentual de desconforto por calor foi registrado em momentos em que a UR estava acima de 60%, como indica a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010). Contudo, em situações em que a UR estava acima de 60% foi observado também um

aumento do desconforto por frio, o que mostra que para UR acima de 60% têm-se uma redução do percentual de indivíduos confortáveis.

A análise da Temperatura Radiante Média (Figura 4.21), que considera a radiação emitida por corpos e objetos no ambiente, permite constatar que para TRM acima de 26°C têm um aumento do percentual de desconforto dos usuários. O desconforto por frio é maior em TRM abaixo de 25°C. Os resultados de AMV e Velocidade do ar não foram expostos uma vez que a relação entre eles não foi significativa, isso porque mesmo nas salas com ventiladores a velocidade do ar era muito baixa, da ordem de 0,3 m/s.

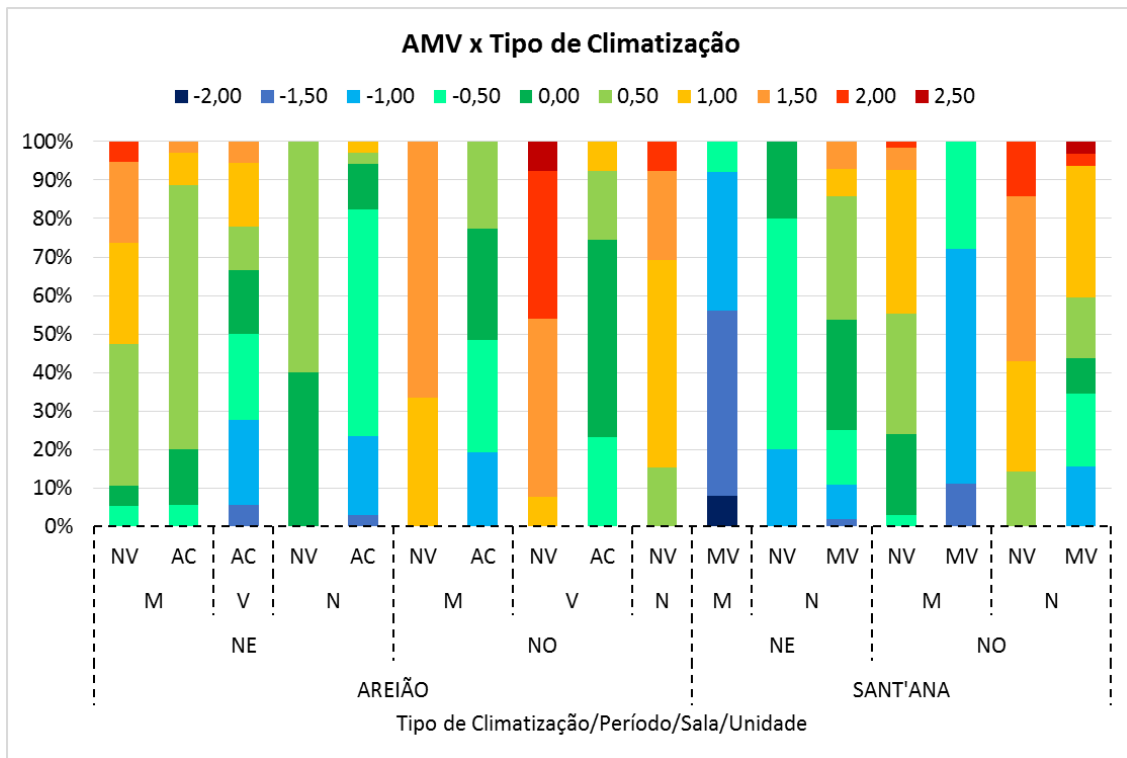
Figura 4.21: Relação entre o AMV e a Temperatura Radiante Média - TRM.



A relação entre o AMV e o tipo de climatização utilizado no momento da medição, expresso na Figura 4.22, deixa claro que a ventilação natural não é suficiente para deixar o ambiente confortável para os usuários.

Na sala NO da unidade Areião o desconforto por calor na situação de NV (Ventilação Natural, do inglês *Natural Ventilation*) foi extremo no período vespertino, momento em que o ambiente está mais exposto à radiação solar. Nesta unidade, o sistema de climatização adotado, AC, foi capaz de reduzir significativamente o desconforto por calor dos indivíduos. Contudo, com a utilização do AC, foram registrados dados de desconforto por frio, o que indica que os equipamentos estão mal dimensionados ou estão sendo mal programados.

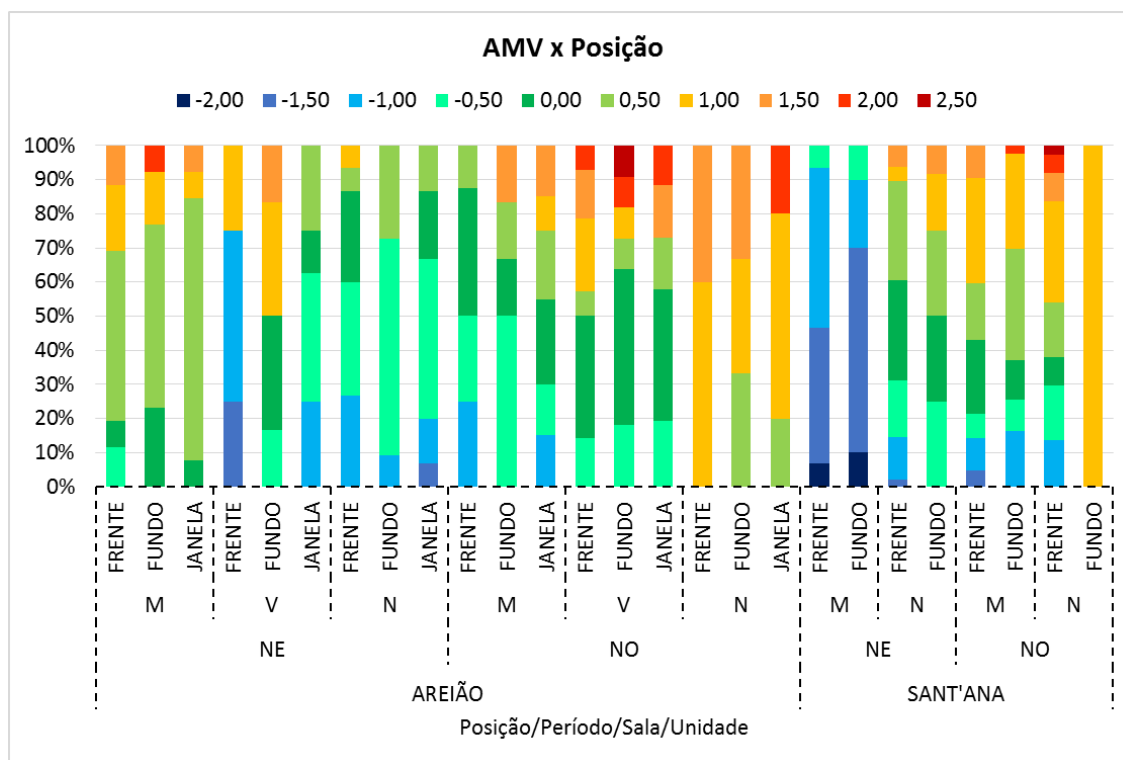
Figura 4.22: Relação entre o AMV e o tipo de climatização.



Na unidade Sant'Ana há um grande percentual de desconforto por frio, sobretudo na sala NE durante o período matutino, o que pode ser explicado pela massa térmica da edificação. A sala NO apresentou desconforto por calor, mesmo no período matutino. O percentual de desconforto por calor aumenta significativamente na sala NO, o que acontece em menor grau na sala NE. O uso do ventilador (MV) se mostrou ineficaz no período matutino, com aumento considerável do desconforto por frio, porém é possível que a alteração na posição dos ventiladores seja capaz de solucionar esse problema.

A análise da posição do indivíduo e do AMV (Figura 4.23), isto é, em que local da sala o estudante está sentado, auxiliou a compreensão do desconforto causado pelos equipamentos de climatização (AC e MV) quando comparados com a situação de ventilação natural (NV). Os dados apresentados na Figura 4.23 mostram que, nas duas unidades, o fundo da sala é o pior local quanto ao desconforto por calor. Para indivíduos que frequentam a unidade Areião, sentar à janela durante o dia pode ser uma solução para o desconforto por frio, porém na sala NE a janela e o fundo são os locais mais desconfortáveis, por calor. No fundo da sala as estratégias de ventilação são ineficazes em circular o ar, enquanto na janela o indivíduo está exposto à radiação solar direta.

Figura 4.23: Relação entre o AMV e a posição do usuário.



Na unidade Sant'Ana as salas possuem aberturas em duas paredes e o ventilador fica instalado na frente da sala, em cima do quadro. Por isso foram consideradas somente a posição de frente e fundo. Contudo, esse aspecto poderia ter sido melhor explorado com a definição de zonas dentro do ambiente, com análise mais detalhada, uma vez que a posição é uma das adaptações no ambiente térmico que o indivíduo consegue fazer mais facilmente.

Outra adaptação, de caráter pessoal, é a adição ou remoção de peças de vestimenta, bem como o uso de roupas adequadas ao ambiente, que já é conhecido dos indivíduos. A análise entre o nível de vestimenta e o AMV dos indivíduos está exposta na Figura 4.24.

De acordo com os dados apontados, o desconforto por calor ocorre tanto em pessoas que estão com pouca vestimenta como as que estão usando muitas peças de roupa. Isso pode ser explicado pela TRM elevada, que faz com que indivíduos com mais partes do corpo nu fiquem diretamente expostos à radiação, sobretudo por que esse fato é melhor observado no período noturno, quando as paredes estão transmitindo o calor absorvido durante o dia.

Figura 4.24: Relação entre o AMV e o nível de vestimenta dos indivíduos.

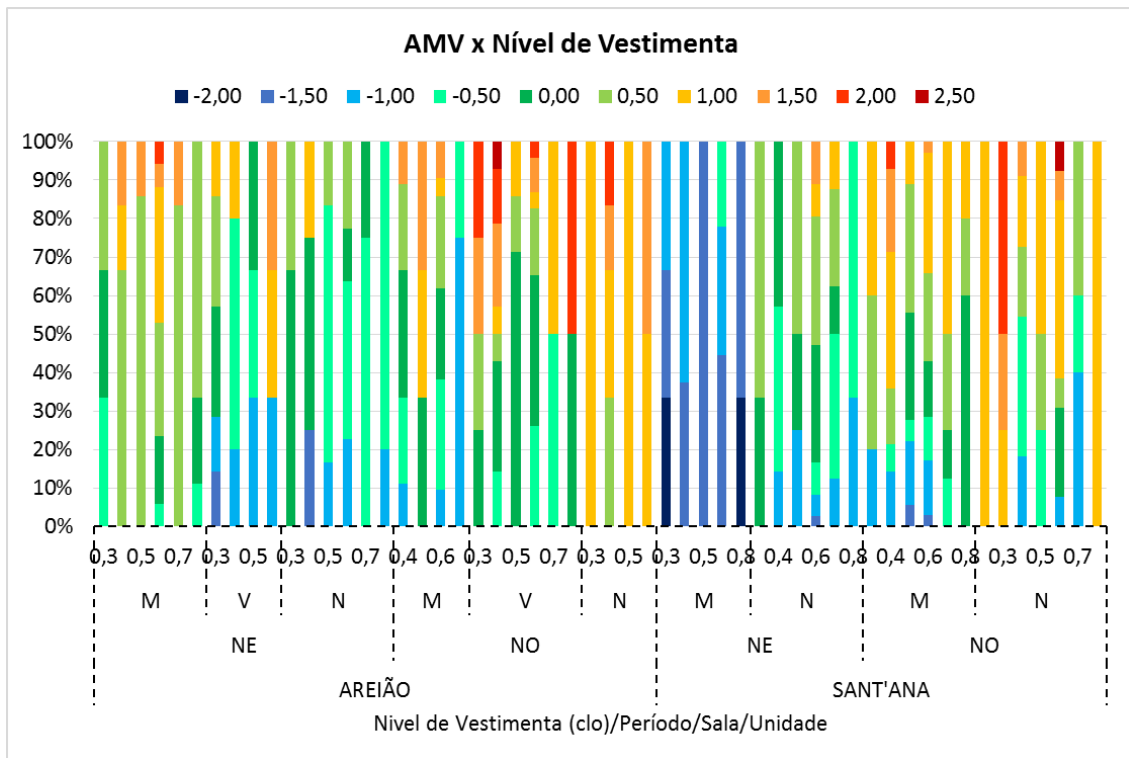
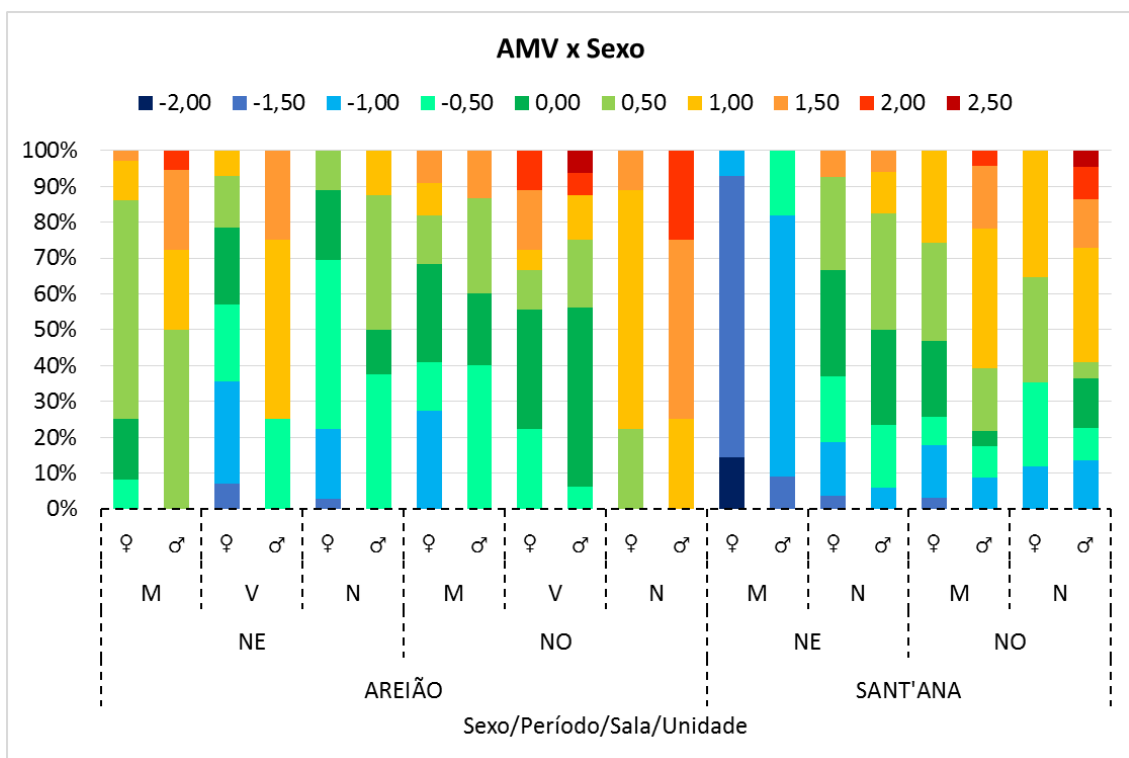


Figura 4.25: Relação entre o AMV e o sexo dos indivíduos.

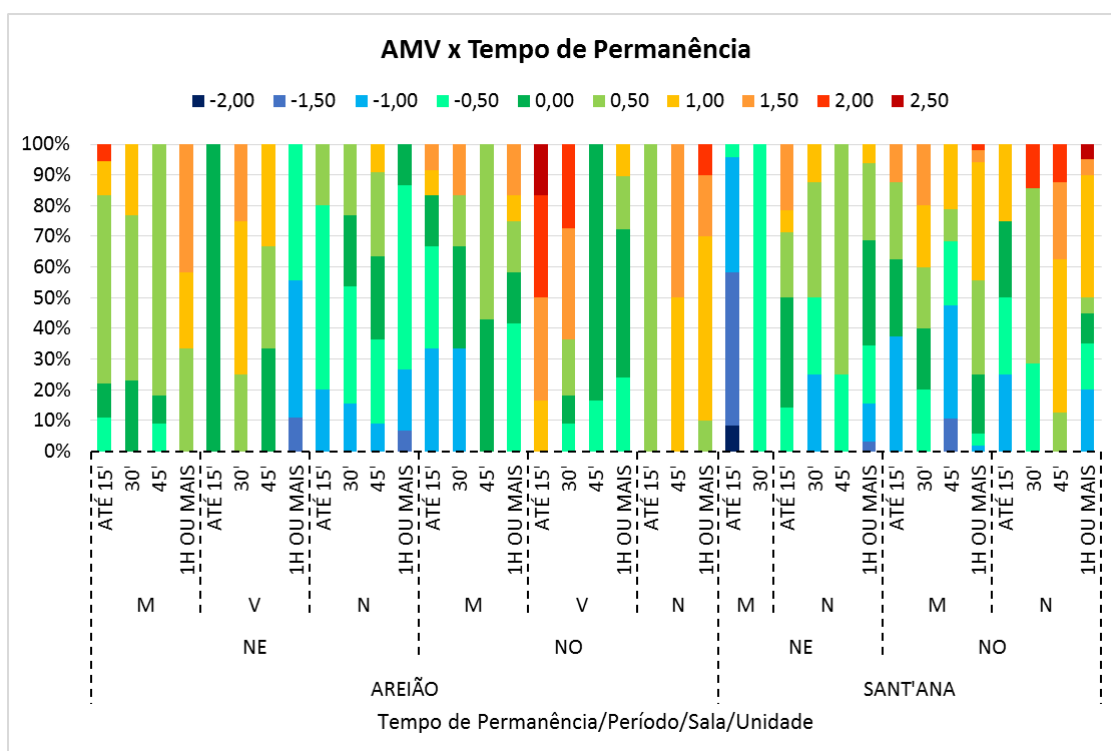


A sala nordeste (NE) da unidade Sant'Ana apresentou grande percentual de desconforto por frio no período matutino, porém os valores de -2 foram apresentados por indivíduos com 0,3 e 0,8 clo, ou seja, tanto pessoas com muito corpo descoberto quanto com muito corpo coberto

sentiram frio nesta situação. A relação entre o AMV e o sexo dos indivíduos está apresentada na Figura 4.25.

De acordo com os dados apresentados, os indivíduos do sexo masculino possuem maior adaptabilidade ao frio que os do sexo feminino, enquanto para situações em que o ambiente estava quente, foram semelhantes os níveis de desconforto por calor, sendo ligeiramente maior para indivíduos do sexo masculino. A Figura 4.26 apresenta as relações entre o tempo de permanência no ambiente e o AMV.

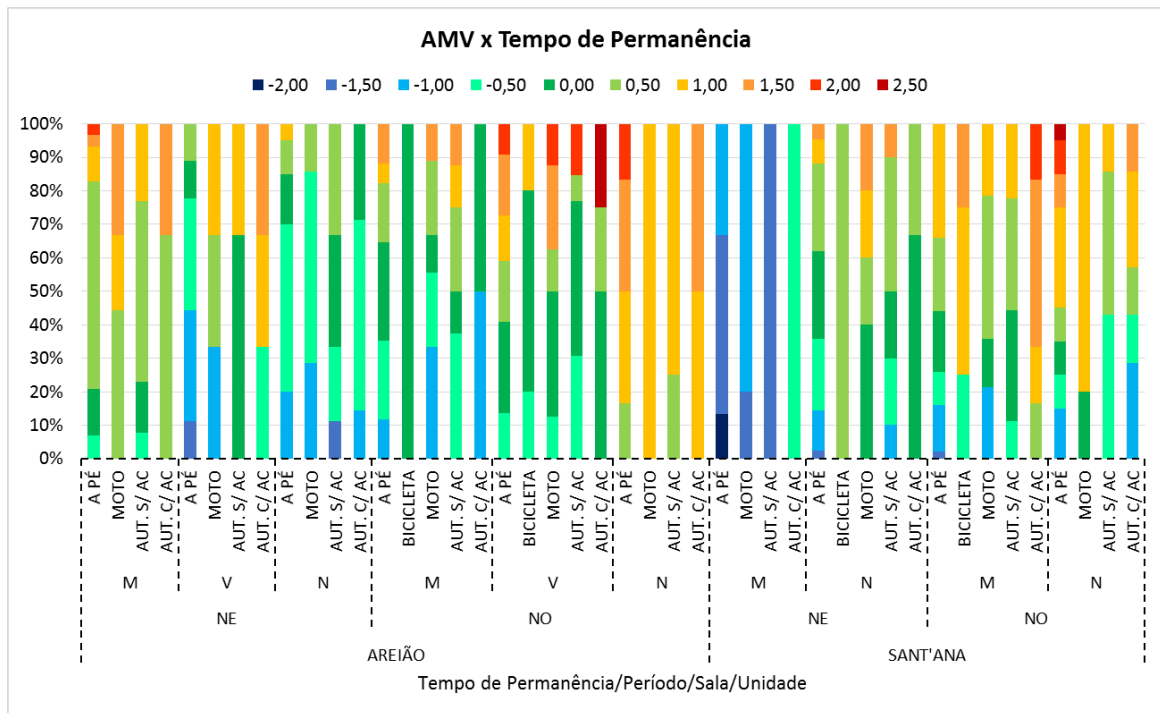
Figura 4.26: Relação entre o AMV e o tempo de permanência no ambiente.



A análise do gráfico permite apontar que o momento de aclimação ocorre entre 30 e 45 minutos dentro do ambiente, sendo que nos primeiros 15 minutos os indivíduos reagem de maneira diferente ao ambiente térmico das salas de aula. Após esse tempo começam a se aclimatar, porém após uma hora de permanência o percentual de desconforto cresce.

A Figura 4.27 apresenta as relações entre o AMV e o meio de transporte utilizado pelos indivíduos para chegar até o local de realização das aulas, unidade Areião ou Sant'Ana. A análise dos dados mostra que os estudantes que caminham, vão de bicicleta ou de moto até a unidade sentem mais desconforto que aqueles que vão de veículo automotor (carro, ônibus), com ou sem ar condicionado.

Figura 4.27: Relação entre o AMV e o meio de transporte utilizado.



A análise das variáveis ambientais e pessoais, da maneira como foi conduzida, deixa claro que não há correlação expressiva entre uma variável e o AMV dos usuários, contudo, ressalta-se a necessidade de que sejam coletadas o máximo de informações de cunho ambiental e pessoal. Essas informações devem ser analisadas conjuntamente de maneira que tornem possível a compreensão do conforto térmico dos indivíduos e do grau de influência que as adaptações realizadas têm sobre as sensações térmicas. A seguir, as análises das Sensações Térmicas – ST, registrada pelos questionários, complementam a análise do AMV.

#### 4.4.3. Sensação Térmica – ST

As Sensações Térmicas – ST – dos usuários foram analisadas frente às variáveis de ordem ambiental (Temperatura, Umidade Relativa e Velocidade do Ar e Temperatura Radiante Média) e as de ordem pessoal (sexo, idade, metabolismo, nível de vestimenta, tempo de permanência e meio de transporte até o ambiente e posição relativa na sala). Os resultados foram tratados de maneira a permitir o melhor entendimento de como as variáveis influenciam nas sensações de conforto e estão expressos a seguir.

A comparação entre os dados de sensação térmica dos usuários com os dados de temperatura do ar coletados no momento da aplicação dos questionários mostra que na edificação com ar condicionado (Areião) há um maior percentual de usuários que relataram estar satisfeitos com

o ambiente térmico, mesmo quando comparamos as mesmas faixas de temperatura. A análise do gráfico aponta para sensações térmicas semelhantes para as duas edificações para  $T_a$  abaixo de  $25^\circ\text{C}$ . Acima de  $25^\circ\text{C}$ , a edificação com ar condicionado (Areião) apresenta maior quantidade de indivíduos em conforto térmico que na edificação com ventilação natural. Há uma dificuldade, todavia, em relacionar a temperatura com o voto na unidade Areião, enquanto na unidade Sant'Ana há uma clara redução dos percentuais de conforto à medida que a temperatura do ar aumenta. De igual maneira, a sala com incidência nordeste apresenta maior número de dados abaixo dos  $25^\circ\text{C}$ , com grande percentual de desconforto por frio nessas situações. A Figura 4.29 apresenta a correlação entre os dados de  $T_a$  e a sensação térmica dos usuários, que é muito baixa.

Figura 4.28: Relação entre a sensação térmica e a temperatura do ar.

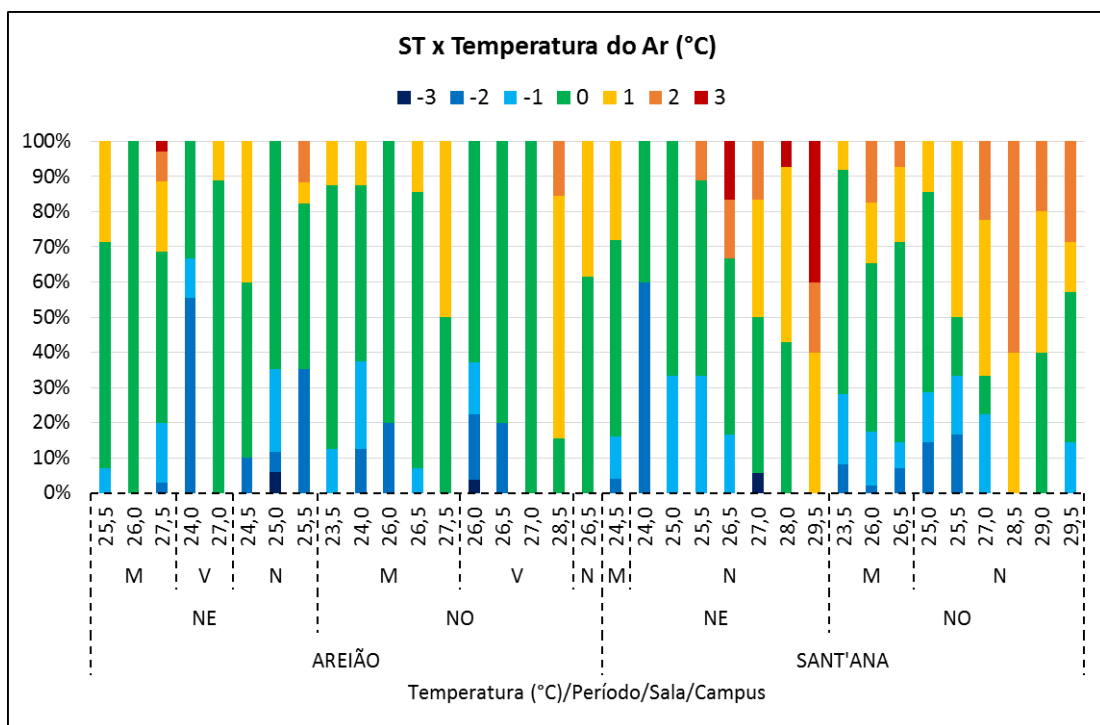
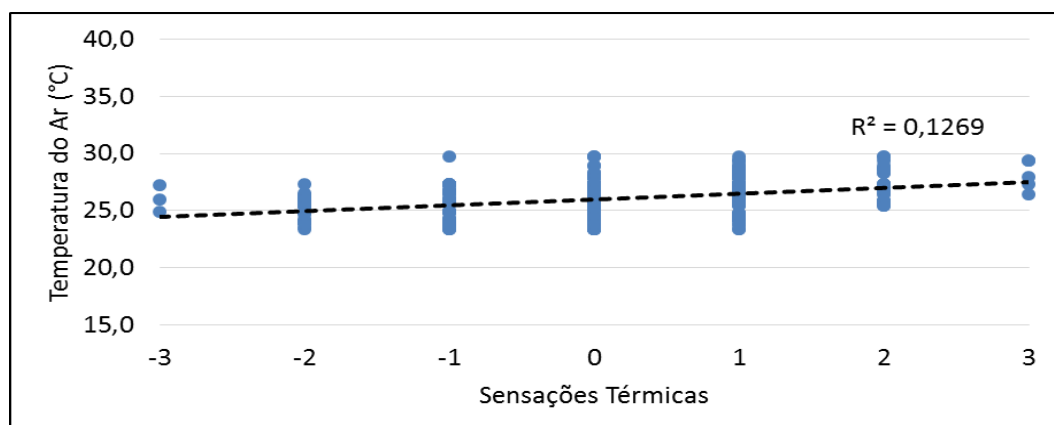
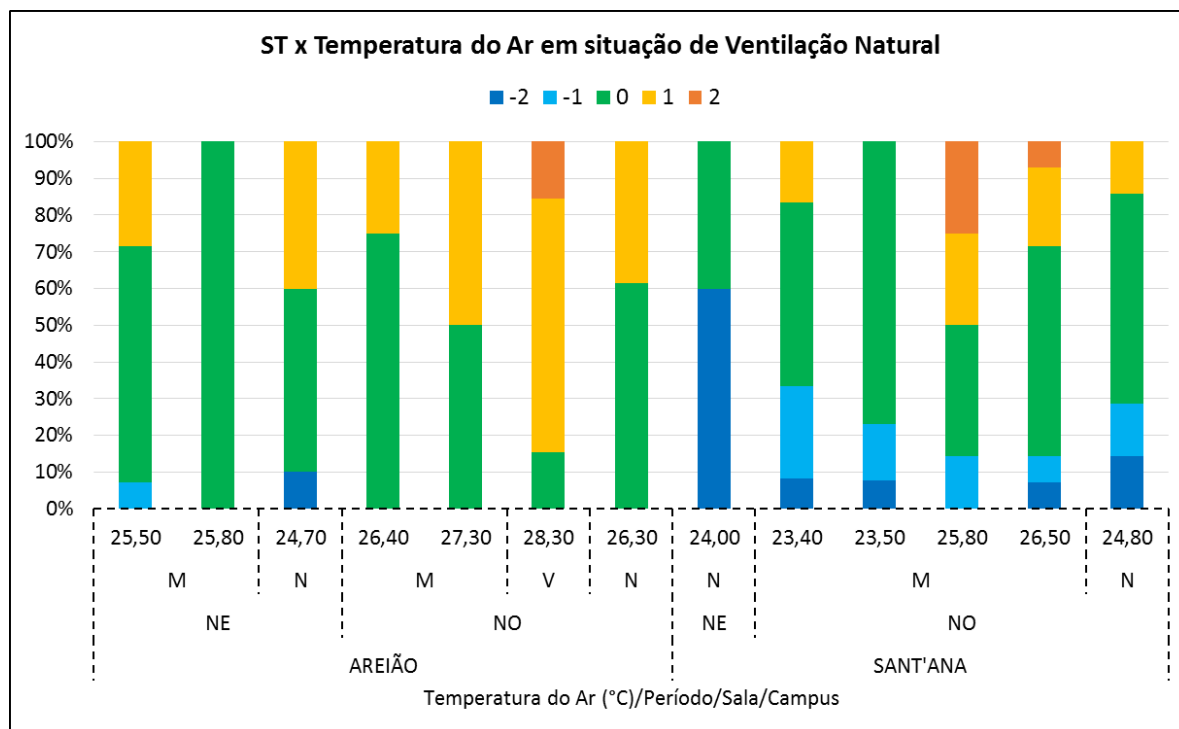


Figura 4.29: Correlação entre dados de  $T_a$  ( $^\circ\text{C}$ ) e ST.



O desconforto por calor extremo ocorre principalmente na unidade Sant'Ana. A Figura 4.30 traz a relação entre a sensação térmica e a temperatura do ar para as condições de ventilação natural. Nesse caso, fica evidente que a unidade Sant'Ana registra, no período de medições, temperaturas mais baixas que as registradas na unidade Areião, sobretudo durante a manhã.

Figura 4.30: Relação entre a sensação térmica e temperatura do ar para condição de ventilação natural.



Nessa análise, destaca-se que a unidade Areião registra maior percentual de indivíduos em conforto, porém maior número de dados de desconforto por calor, sobretudo na sala de orientação Noroeste (NE). A sala NO da unidade Sant'Ana também registrou maior número de indivíduos desconfortáveis com o ambiente térmico, quando comparada com a sala NE da mesma unidade para condição de ventilação natural.

A Figura 4.31 relaciona os dados de ST com a umidade relativa do ambiente no momento da aplicação do questionário. A análise não permite estabelecer relação entre os dados de umidade relativa do ar com a sensação de conforto dos indivíduos o que, aliado à análise anterior, de temperatura do ar, deixa evidente que apenas essas duas variáveis não são suficientes para a análise do conforto, devendo ser levadas em considerações as variáveis pessoais.

Nota-se que há grande quantidade de indivíduos em desconforto, sobretudo por calor, em qualquer faixa de umidade. Além disso, os dados registrados contrastam com os valores limite sugeridos pela ASHRAE, entre 45 e 60%, já que a maior parte dos dados foi registrado acima desse limite, e não houve correlação, conforme apresentado pela Figura 4.32

Figura 4.31: Relação entre a sensação térmica e a umidade relativa do ar.

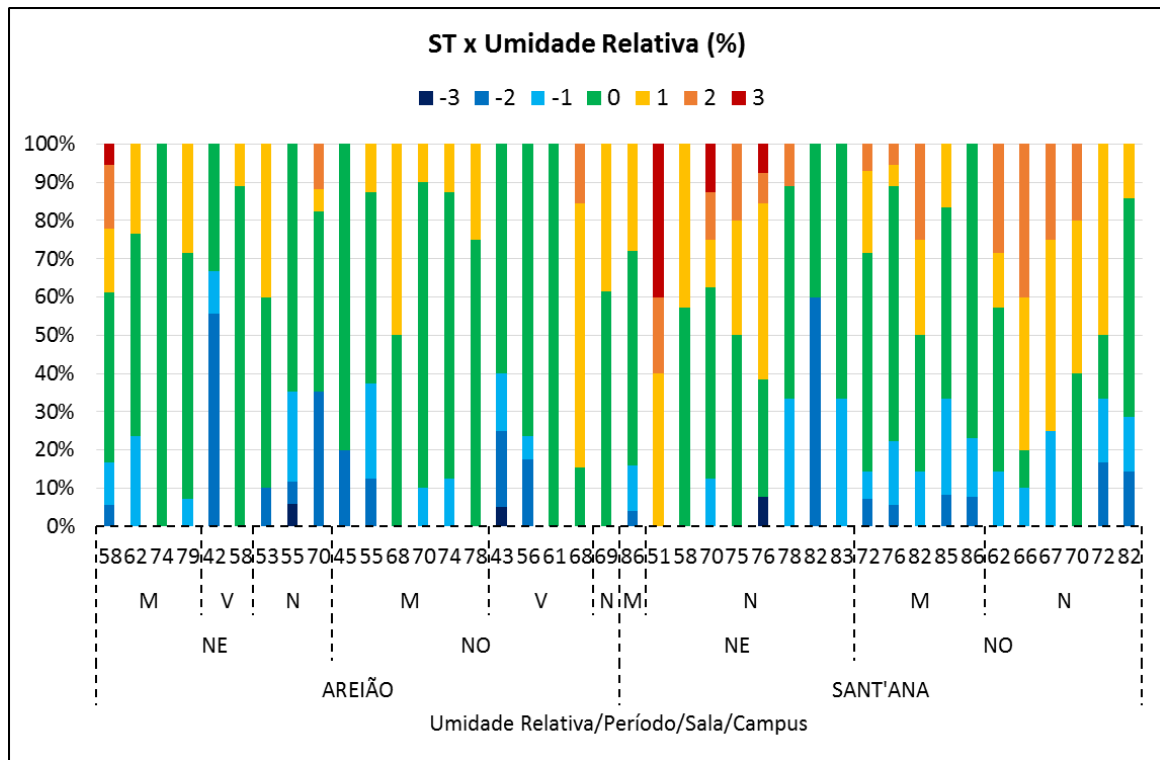
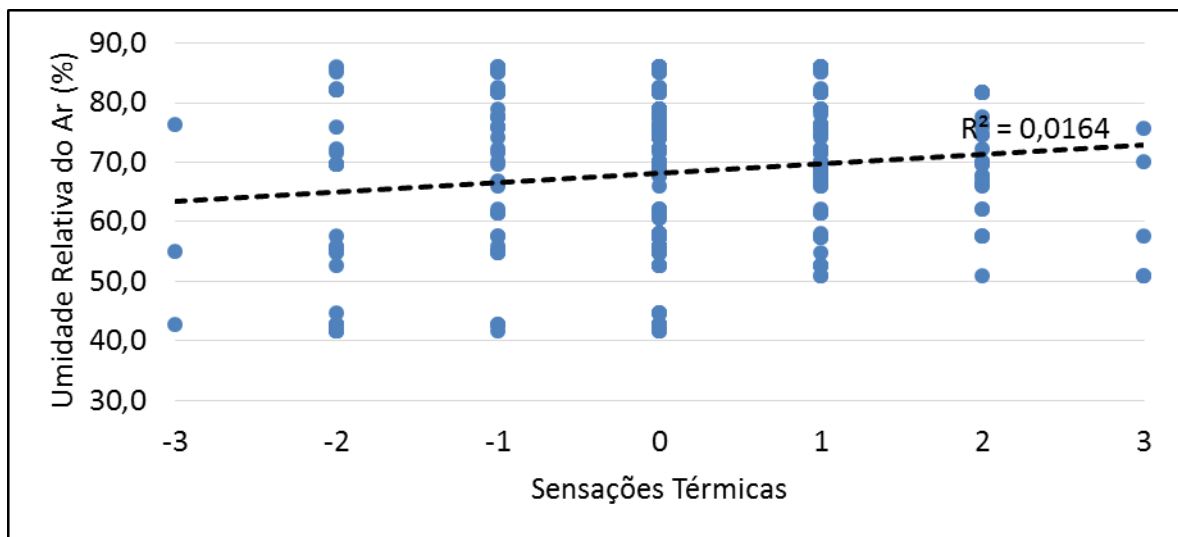
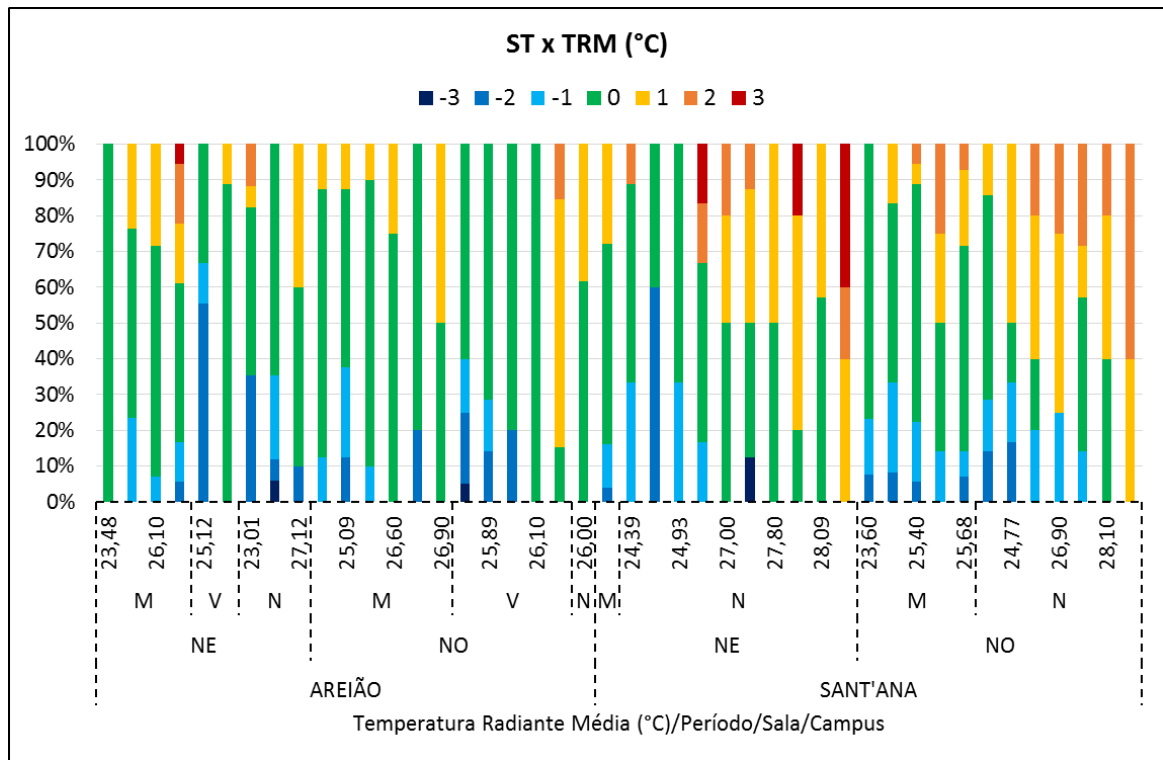


Figura 4.32: Correlação entre dados de UR e ST.



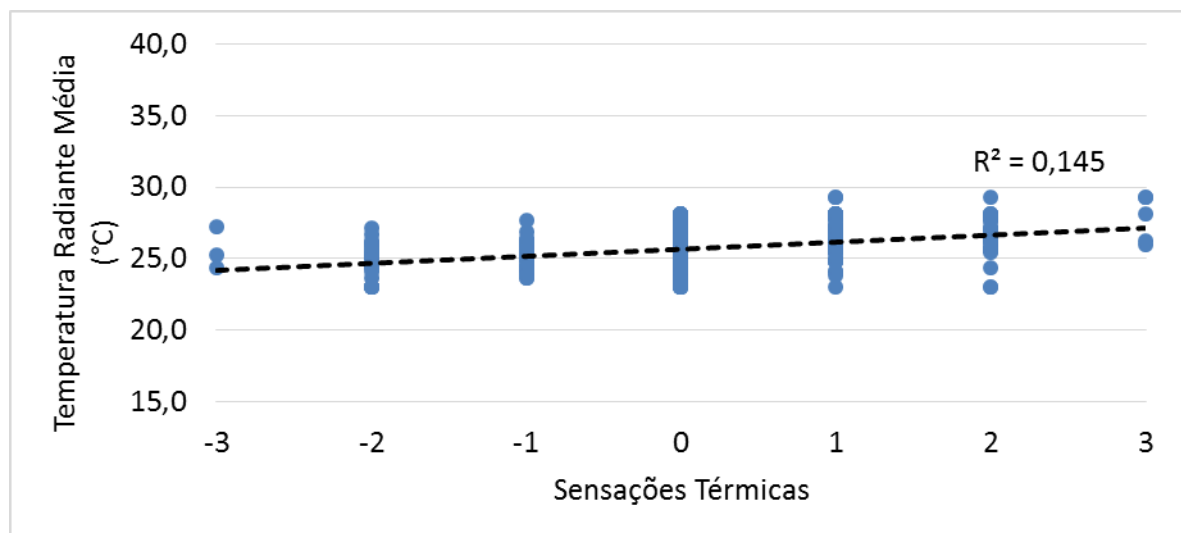
Analisou-se também a relação entre as sensações térmicas relatadas pelos usuários e a Temperatura Radiante Média – TRM –, que é uma variável ambiental calculada. O gráfico dessa relação está exposto na Figura 4.33.

Figura 4.33: Relação entre a sensação térmica temperatura radiante média (TRM).



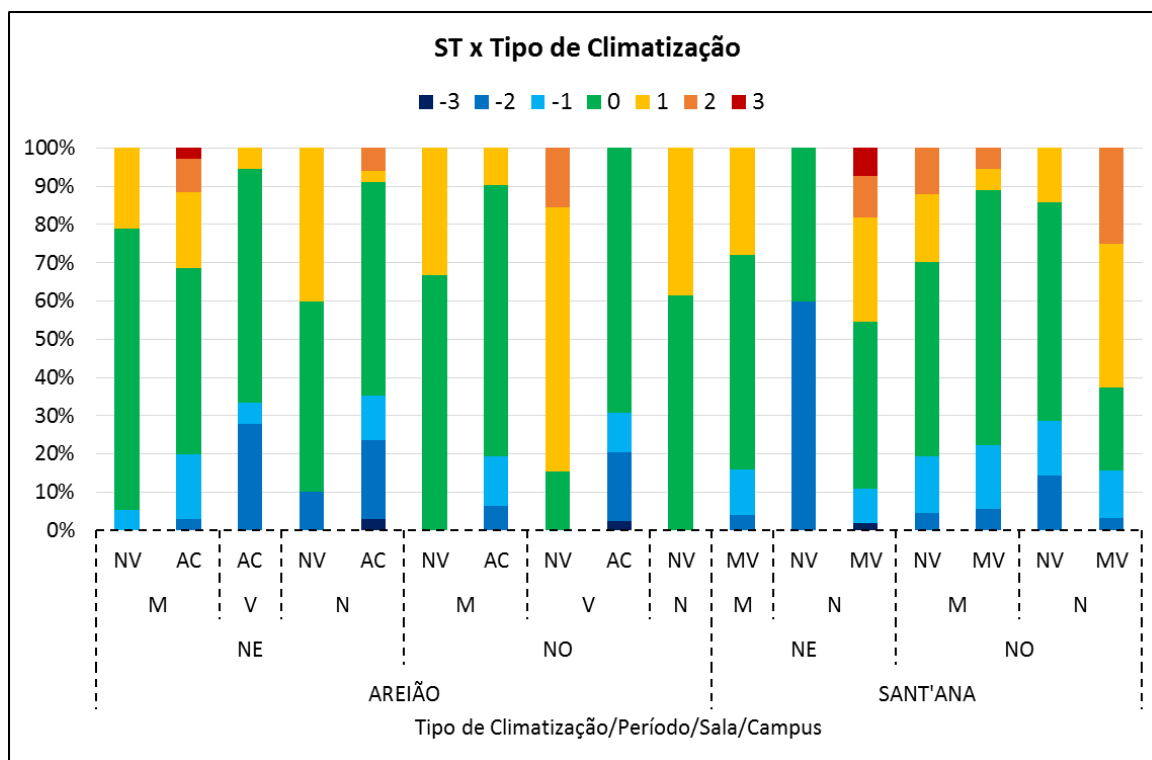
A análise da TRM mostra que há uma preferência dos usuários da unidade Areião por valores de TRM acima de 25°C, situação que apresenta maior número de indivíduos em conforto. Já na unidade Sant'Ana, em que não há ar condicionado, a preferência dos usuários é por TRM abaixo de 25°C. Contudo, novamente os dados apresentaram correlação baixa, conforme Figura 4.34.

Figura 4.34: Correlação entre dados de TRM (°C) e ST.



A análise entre as sensações térmicas dos usuários e o tipo de climatização, Figura 4.35 demonstrou que o uso do ar condicionado (AC) não está adequado ao uso da edificação.

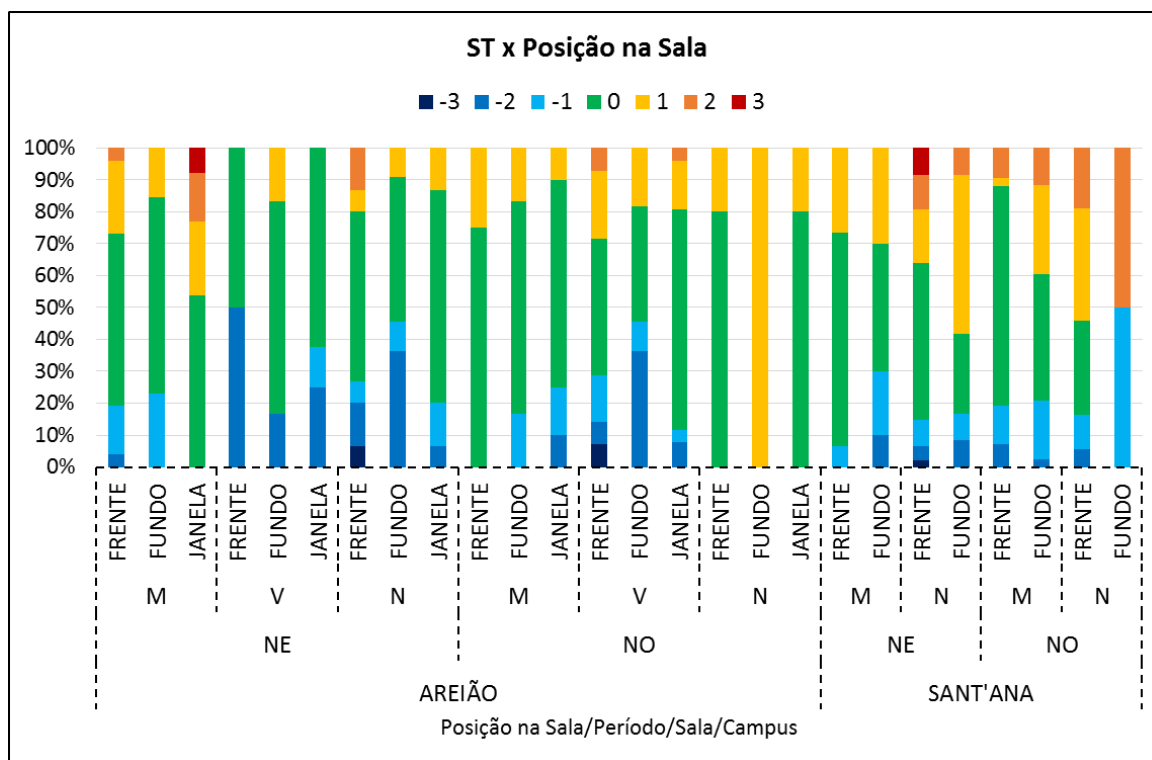
Figura 4.35: Relação entre a sensação térmica e o tipo de climatização no momento da coleta.



Embora a unidade Areião possua todas as salas climatizadas com ar condicionado, este equipamento foi incapaz de elevar o número de indivíduos confortáveis quando comparado com a situação de ventilação natural (NV) no mesmo ambiente e período. De maneira geral, para todas as situações, há uma média de 50% de indivíduos em conforto. Ressalta-se que a edificação Sant'Ana, que possui massa térmica, possui número mais elevados de indivíduos em desconforto no período noturno. Porém, os dados do Sant'Ana demonstram que o uso do ventilador (MV) foi capaz de proporcionar conforto a mais indivíduos quando comparado com os dados de ventilação natural para o mesmo período. Ressalta-se que os ventiladores instalados são muito ruidosos e incapazes de ventilar a sala toda, o que pode ter contribuído para maior número de indivíduos desconfortáveis com a situação.

Em relação à incapacidade dos equipamentos de climatização em ventilar ou climatizar todo o ambiente analisado, foram estabelecidas relações entre a sensação térmica e a posição dos indivíduos no momento em que respondiam aos questionários, exposto na Figura 4.36.

Figura 4.36: Relação entre a sensação térmica e o tipo de climatização no momento da coleta.



Nesta análise percebe-se claramente que os indivíduos que sentam à frente e próximos da janela estão mais confortáveis, sobretudo quando comparados com indivíduos que se sentam no fundo da sala de aula. Na unidade Sant'Ana as salas possuem aberturas em duas paredes e o ventilador fica instalado na frente da sala, em cima do quadro. Por isso foram consideradas somente a posição de frente e fundo. Contudo, esse aspecto poderia ter sido melhor explorado com a definição de mais zonas de análise. A sala Noroeste da unidade Sant'Ana possui uma ocupação central e muitas janelas do tipo basculante que se abrem a no máximo 45°, o que faz com que todos recebam a radiação solar, mas que a sala não tenha circulação adequada do ar. A posição adotada na sala pode ser considerada uma estratégia de aclimação com o ambiente, bem como o nível de vestimenta dos usuários, observado na Figura 4.37.

A análise do nível de vestimenta com a sensação térmica dos indivíduos permite perceber claramente que os usuários procuram se adaptar ao ambiente. O percentual de desconforto por calor é maior em indivíduos que estão com menor quantidade de peças de roupa, que pode ser explicado pelo fato de que os alunos se vestem na tentativa de que a roupa mitigue os efeitos adversos da variação climática.

Figura 4.37: Relação entre a sensação térmica e o nível de vestimenta dos usuários.

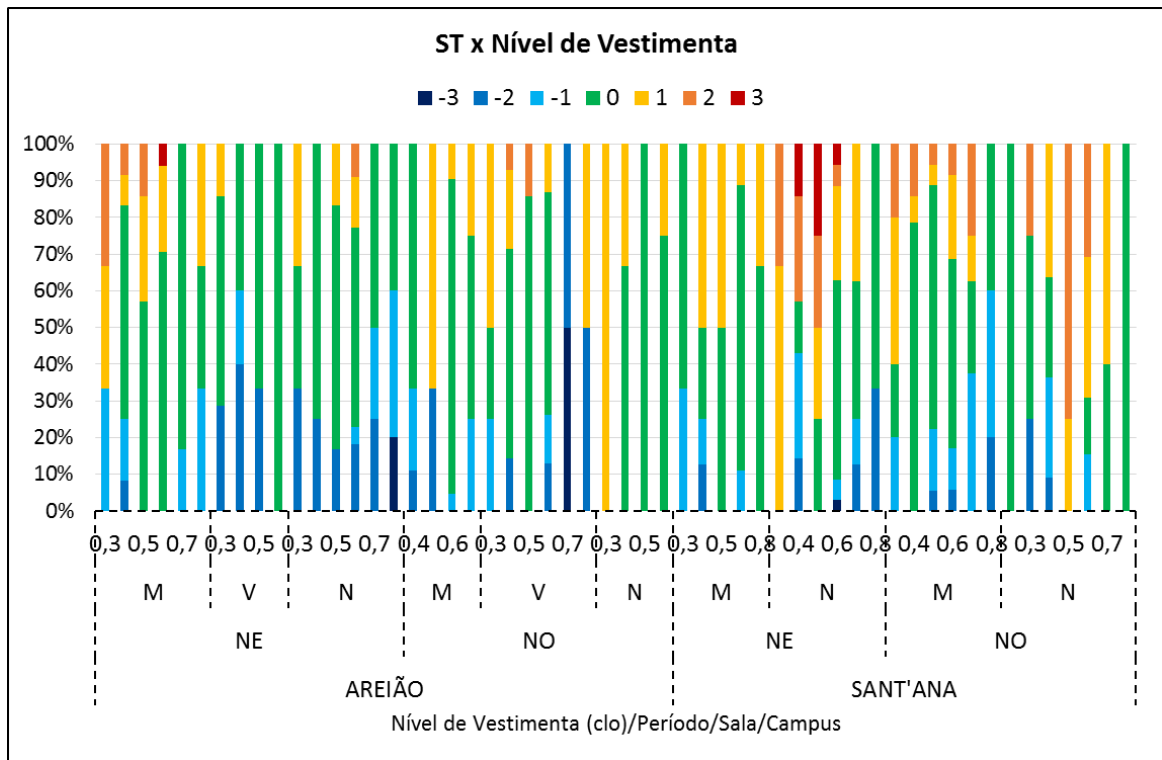
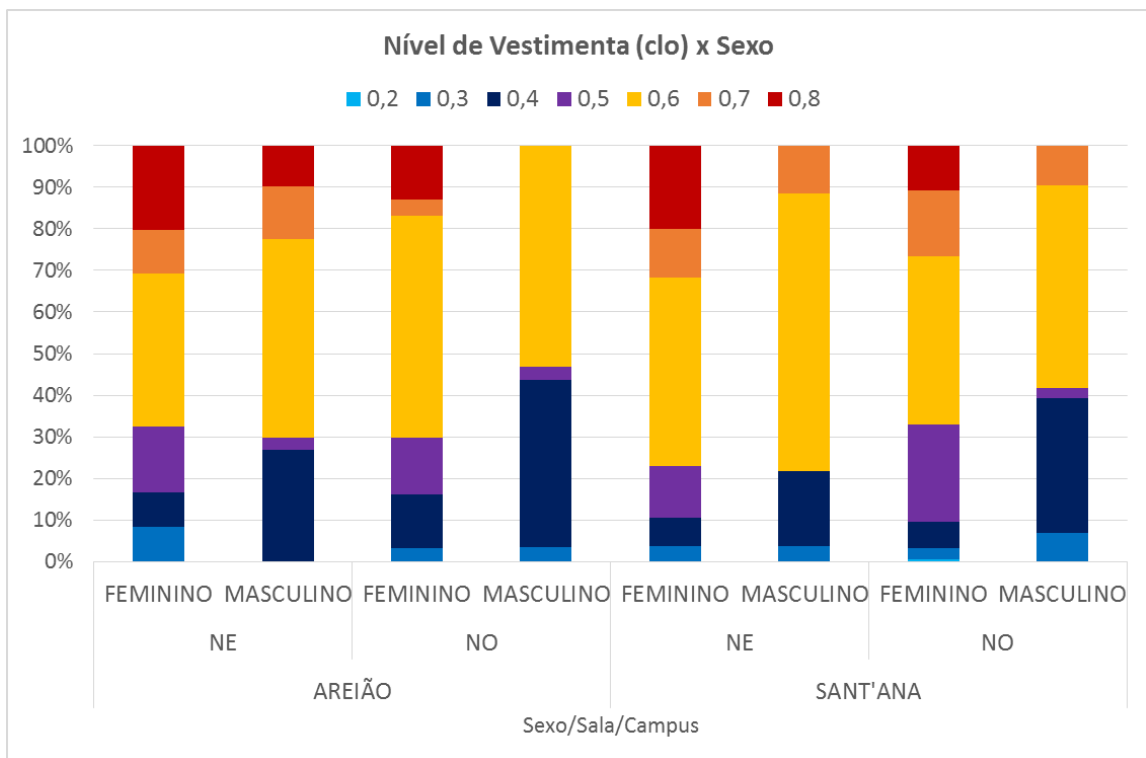


Figura 4.38: Relação entre o nível de vestimenta e o sexo dos usuários.

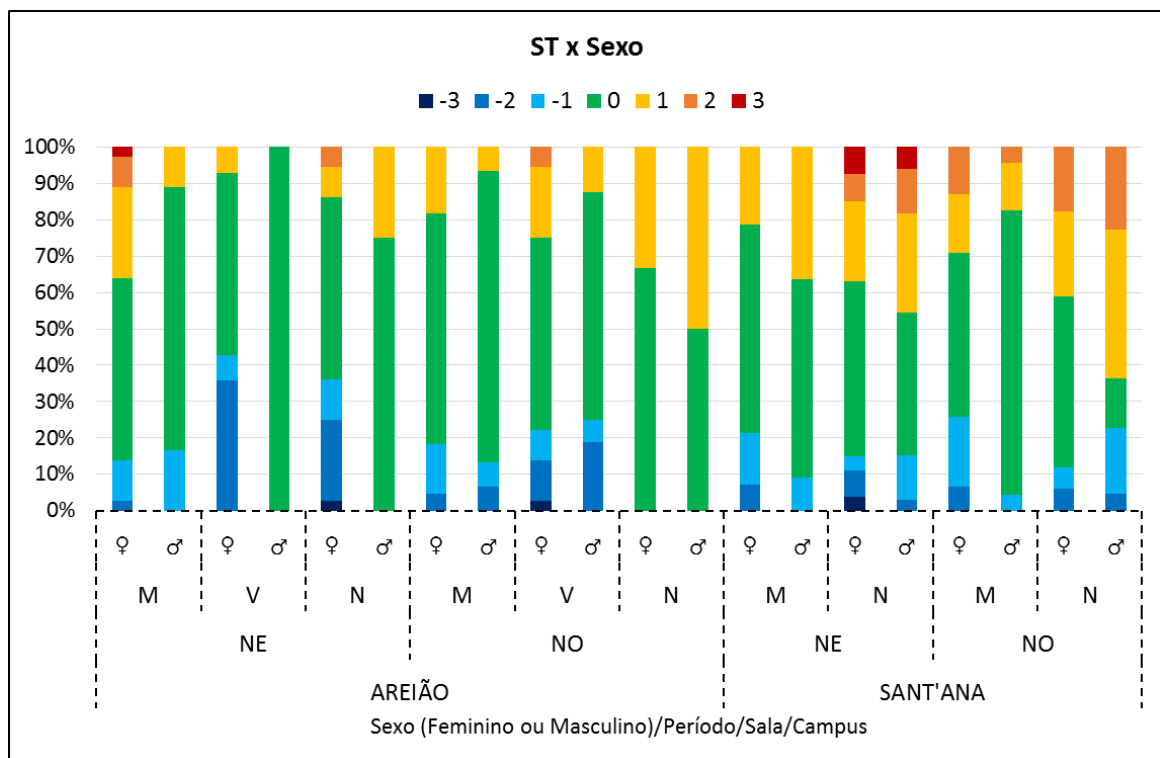


Esse tipo de situação impossibilitou o estabelecimento de uma correlação entre o nível de vestimenta e a sensação térmica relatada pelos usuários. Na tentativa de aprofundar as análises, relacionou-se o nível de vestimenta com o sexo<sup>3</sup> dos indivíduos, demonstrado na Figura 4.38.

Ao analisar-se os dados de nível de vestimenta frente ao sexo dos usuários, percebe-se que na unidade Areião os indivíduos do sexo feminino estão com maior percentual do corpo coberto que os indivíduos do sexo masculino, o que pode explicar por que há maior percentual de desconforto entre os indivíduos do sexo feminino nesta unidade.

Quando analisadas as relações entre o sexo biológico e a sensação térmica dos usuários (Figura 4.39), fica claro o maior nível de tolerância ao frio dos indivíduos do sexo masculino que os do sexo feminino em temperaturas mais baixas. Essa constatação fica ainda mais evidente quando analisados os dados de nível de vestimenta e sexo, em que se observa que os usuários do sexo masculino usam menos roupa que os do sexo feminino.

Figura 4.39: Relação entre o sexo e a sensação térmica.

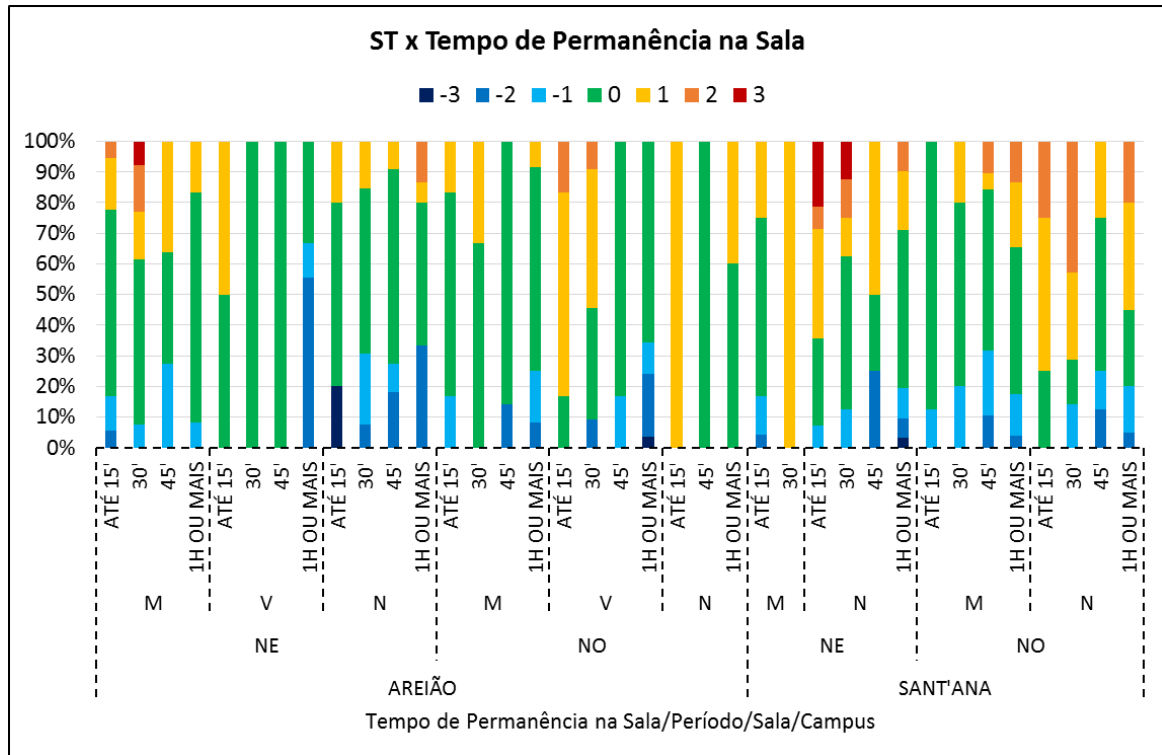


Além dessas análises, de cunho pessoal, levantou-se a sensação térmica dos usuários de acordo com os critérios de aclimatação, tempo de permanência na sala e como chegou até a instituição.

<sup>3</sup> De acordo com *Gênero: uma categoria útil de análise histórica* (SCOTT, J., 1995)

A relação entre o tempo de permanência e a sensação térmica dos indivíduos pode ser conferida na Figura 4.40.

Figura 4.40: Relação entre a sensação térmica e o tempo de permanência na sala de aula.

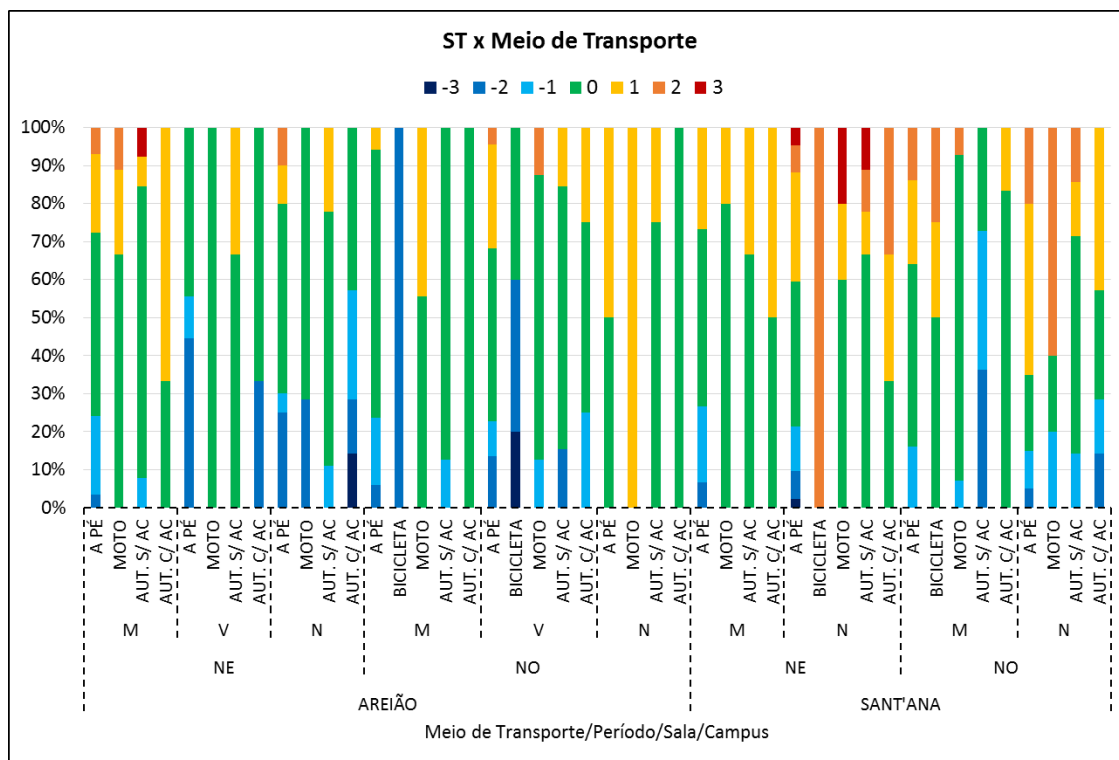


De acordo com o exposto na Figura 4.40, no período matutino (M) o percentual de indivíduos em desconforto por calor aumenta com o passar do tempo, sobretudo nas salas de orientação NE. Nas salas da unidade Sant'Ana, não climatizada, mesmo na sala NO há um aumento no percentual de insatisfeitos com o passar do tempo. Esta mesma sala, no período noturno (N), é responsável por grande percentual de indivíduos em desconforto por calor não sendo registrados, contudo, dados de stress térmico (+3) como ocorreu na sala NE da unidade Sant'Ana no período noturno.

Na unidade Areião o maior percentual de indivíduos confortáveis ocorre após 45 minutos de permanência na sala, sendo que para uma hora ou mais de permanência já se registra desconforto por frio. Nesta mesma unidade os estudantes recém-chegados apresentaram o maior desconforto por calor, o que pode ser explicado pela Figura 4.41, que relaciona a sensação térmica com o tipo de transporte utilizado para se chegar à instituição. Indivíduos que foram para a aula caminhando ou de bicicleta apresentam elevados índices de desconforto por frio nos ambientes que contam com ar condicionado, possivelmente devido à diferença entre a

temperatura do ar e a da pele desses indivíduos, elevada em função da atividade física e insolação recentes.

Figura 4.41: Relação entre a sensação térmica e o meio de transporte.



Na unidade Sant'Ana os indivíduos que chegaram a pé ou de bicicleta apresentam desconforto por calor. Os indivíduos que vão para a aula em automóveis – carros e ônibus – com ou sem ar condicionado apresentam o maior percentual de conforto, mostrando que a ausência de atividade recente e de exposição à radiação solar contribuiu para o nível de conforto dos usuários, o que reforça a necessidade de tempo adequado de aclimação.

A análise da idade dos usuários foi inócua, uma vez que por se tratar de uma instituição de ensino, houve uma padronização muito grande neste dado, o que não permitiu estabelecer qualquer relação, e por isso não foi apresentada. Novamente, nota-se que as variáveis ambientais e pessoais possuem grande relação com o conforto do usuário e, embora a análise individual não produza coeficientes de correlação elevados, analisa-las conjuntamente auxilia no entendimento das condições em que os indivíduos se sentem confortáveis ou não.

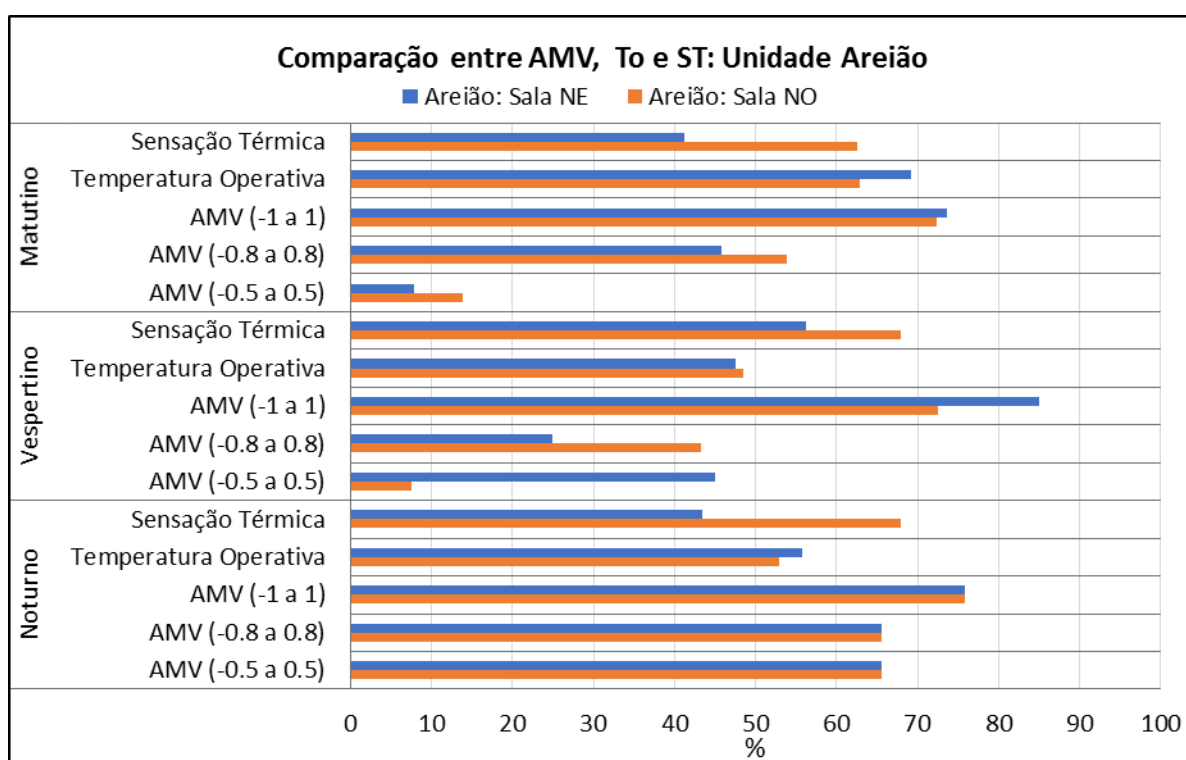
A seguir, apresenta-se a relação entre o índice Temperatura Operativa, o modelo do Voto Médio Real e as Sensações Térmicas coletadas com a aplicação de questionários.

#### 4.4.4. Comparação entre $T_o$ x AMV x ST

Anteriormente foram expostos os diversos índices de conforto analisados nesta pesquisa e sua relação com as variáveis de cunho ambiental e pessoal. Estas análises mostraram que, embora individualmente as variáveis não apresentam correlação expressiva com o percentual de conforto térmico dos indivíduos, a avaliação deve considerar todas as variáveis possíveis, de modo a construir um entendimento mais consolidado sobre a situação ambiental e individual em que ocorre o desconforto. A elaboração dessas análises buscou responder qual a influência das variáveis ambientais e pessoais e qual o melhor índice para avaliação de conforto térmico de indivíduos na Zona Bioclimática 7.

A Figura 4.42 apresenta o percentual de indivíduos confortáveis nas salas de aula da unidade Areião nos três períodos (Matutino, Vespertino e Noturno) durante os ciclos de medição 04 e 05 (realizado entre novembro e dezembro de 2017). Para a sala NO no período Matutino, a Temperatura Operativa ( $T_o$ ) apresentou números semelhantes às sensações térmicas relatadas pelos usuários. O AMV, dentro do intervalo de -0,5 a +0,5, apresentou menos de 15% de indivíduos confortáveis para o período matutino, nas duas salas, muito diferente do apresentado pela Sensação Térmica (ST) e pela Temperatura Operativa ( $T_o$ ). Nos outros períodos analisados, os índices AMV e  $T_o$  foram muito discrepantes da ST relatada.

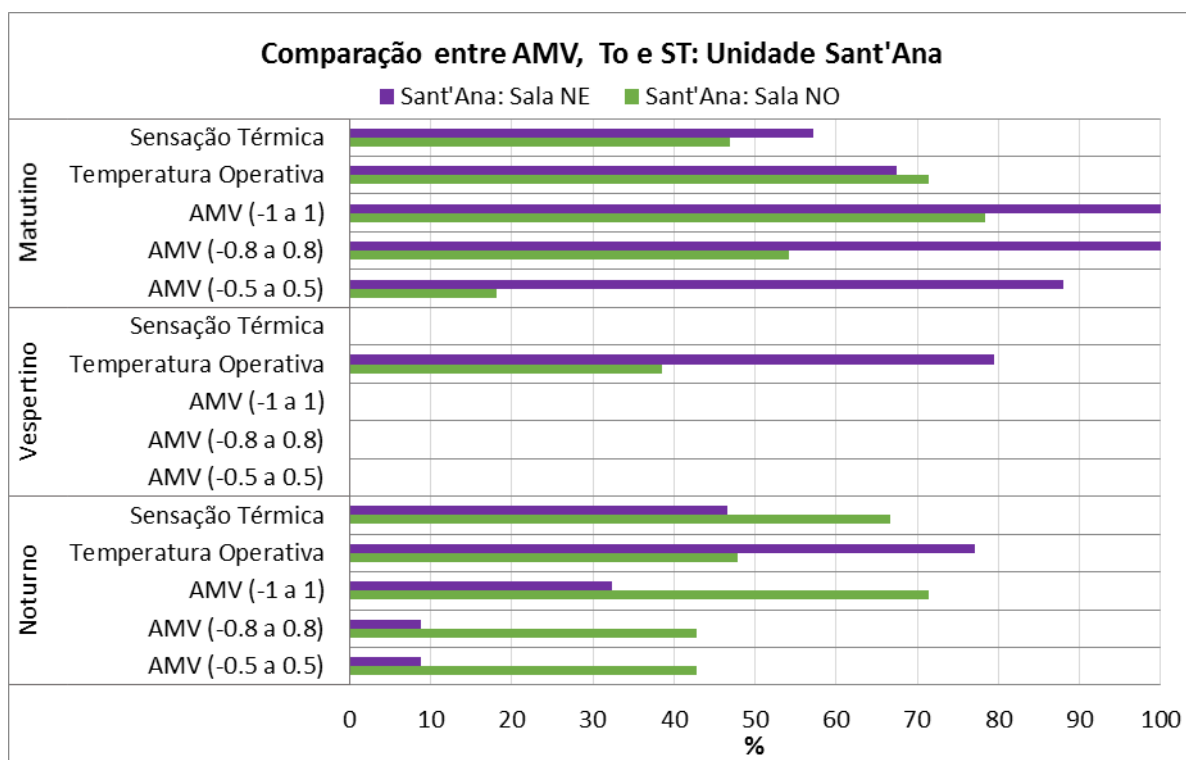
Figura 4.42: Relação entre a sensação térmica e o meio de transporte.



De acordo com os dados de Sensação Térmica, a sala Nordeste é pior em oferecer conforto aos seus usuários que a sala NO. Porém, ambas apresentaram resultados muito ruins em relação ao conforto térmico, uma vez que em todas as situações o percentual de indivíduos confortáveis ficou abaixo de 90%. Isso mostra que a edificação não apresenta desempenho térmico satisfatório e, considerando que os ambientes são climatizados com equipamentos de Ar Condicionado, fica evidente que há um problema no dimensionamento dos equipamentos ou na programação dos mesmos.

Na unidade Sant'Ana índices de conforto também apontaram para um desempenho térmico da edificação inadequado para os usos e ocupações em questão. O percentual de conforto segundo o AMV (-0,5 a +0,5) para o período matutino na sala NE foi próximo a 90% e se considerarmos a adaptação de -0,8 a +0,8 o conforto foi de 100%. Contudo, esses números não refletem as sensações relatadas, em que para este mesmo ambiente e horário o valor foi inferior a 60%.

Figura 4.43: Relação entre a sensação térmica e o meio de transporte.



Segundo a administração, a unidade não é utilizada durante o período vespertino devido ao calor excessivo. Contudo, os números de To que foram calculados para a sala NE neste período apresentam resultados melhores que as salas da unidade Areião, no mesmo horário. No período noturno a sala NO apresentou melhores condições de conforto térmico aos usuários segundo a ST e o AMV. A To apresentou resultados discrepantes da ST em todas as situações analisadas

e, da maneira como a pesquisa foi conduzida, ela foi ineficiente para a avaliação de conforto térmico.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES**

Nos últimos anos as pesquisas referentes ao conforto térmico dos usuários e ao desempenho térmico das edificações têm permitido que a qualidade do ambiente construído seja posta a prova, contribuindo para a melhora do panorama da construção civil no Brasil. Esta pesquisa se destaca por ter avaliado o conforto e o desempenho térmico em quatro ambientes escolares, localizados na ZB-7 e em uma cidade com menos de 20.000 habitantes, com a coleta de dados climáticos e da sensação térmica dos usuários. Além disso, uma das edificações analisadas é histórica e tombada, o que faz com que os resultados aqui apresentados auxiliem a elaboração de diretrizes de uso e ocupação para este tipo de construção.

As pesquisas de conforto optam por aplicar o questionário após a aclimação do usuário, coletando as informações após um determinado período que o indivíduo já se encontra no ambiente. Nesta pesquisa os estudantes foram entrevistados trinta minutos após o início e 30 minutos antes do final das aulas.

A unidade Sant'Ana não sediava atividades de ensino durante o período vespertino por ser muito desconfortável. Fica claro que o calor que é absorvido e transmitido durante o dia, é também transmitido durante a noite, o que pode ser justificado por que, embora a edificação tenha massa térmica nas paredes, a cobertura é ineficiente.

Ressalta-se que a edificação Sant'Ana, que possui inércia alta térmica nas paredes, possui número mais elevado de indivíduos em desconforto por calor no período noturno. Embora a unidade Sant'Ana possua paredes espessas capazes de retardar o aquecimento do ambiente interno, a baixa capacidade térmica e a elevada transmitância térmica de seu sistema de cobertura foi a responsável por fazer com que a maioria de seus usuários se sentissem desconfortáveis, sobretudo à noite no pavimento superior.

Há uma série de variáveis não analisadas cientificamente que podem influenciar estes resultados. Contudo, durante a aplicação dos questionários ficou claro que a posição do aluno é uma delimitação pessoal do espaço público da sala de aula, com a grande maioria dos estudantes permanecendo em lugares inalterados ao decorrer dos dias. As posições próximas da janela na unidade Areião eram ocupadas principalmente por indivíduos do sexo feminino,

que buscavam se proteger do vento direto do aparelho de ar condicionado, localizado acima das janelas. Se essa posição era capaz de trazer conforto em momentos que o AC estava ligado, a radiação solar aumentava o desconforto durante os períodos em que este aparelho estava desligado e os estudantes optavam por manter a posição. Com a análise das situações reais, ficou claro que a utilização do ar condicionado não foi capaz de garantir percentuais elevados de indivíduos em conforto. De maneira geral, para todas as situações, há uma média de 50% de indivíduos em conforto.

Vale ressaltar que os ambientes não possuem uniformidade na ocupação. Existem turmas que possuem 5 alunos, enquanto outras apresentam mais de 40 alunos, e as aulas podem ocorrer nas mesmas salas. Uma vez que o número de ocupantes no ambiente pode ser determinante para a temperatura radiante média, pesquisas futuras podem abordar a o desenvolvimento de modelos para a simulação dos ambientes com a coleta de dados com grupos fechados em ambientes controlados, tanto quanto ao tipo de climatização quanto ao número e dispersão dos ocupantes no espaço.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações**Rio de JaneiroAssociação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** Rio de JaneiroAssociação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575: Edifícios habitacionais - Desempenho**Rio de Janeiro, BrasilAssociação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ALMEIDA, R. M. S. F.; RAMOS, N. M. M.; FREITAS, V. P. DE. Thermal comfort models and pupils' perception in free-running school buildings of a mild climate country. **Energy and Buildings**, v. 111, p. 64–75, 1 jan. 2016.

ALWETAISHI, M. S. Impact of Building Function on Thermal Comfort: A Review Paper. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**, 2016.

ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C. Thermal Acceptability assessment in buildings located in Hot Humid regions in Brazil. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 1225–1232, 2010.

ARAÚJO, A. P. R. DE. **O Conforto Ambiental No Planejamento Da Qualidade Dos Ambientes Escolares : Estudo De Caso Do Colégio Sagrado Coração De Maria.** V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Fortaleza - CE: 1999

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** ANSI, v. 2017, p. 42, 2017.

ASSIS, E. S. DE et al. **Elaboração De Mapas Climáticos Urbanos : Variáveis E Resultados Preliminares Para Belo Horizonte , Mg.** XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**2015

AULICIEMS, A. Towards a psycho-physiological model of thermal perception. **Journal of Biometeorology**, v. 25, p. 109–122, 1981.

BOGO, A. J. Reflexões Críticas Quanto As Limitações Do Texto Das Normas Brasileiras De Desempenho Nbr 15220-3 E Nbr 15575. **Holos**, v. 7, p. 290, 2016.

\_\_\_\_\_. Limitações quanto aos parâmetros de desempenho térmico e estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma brasileira de desempenho térmico de habitações de interesse social. **Nutau.** São Paulo. 2008.

BURATTI, C.; RICCIARDI, P. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 674–687, abr. 2009.

CÂNDIDO, C. et al. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010.

CHAVES, V. L. A. **Análise de estratégias para melhoria do conforto térmico em salas de aula**. Dissertação (Mestrado). UFG, Goiânia, 2016.

COELHO, G. N. **O Espaço urbano em Vila Boa: entre o erudito e o vernacular**. 1ª ed. Goiânia: Ed. da UCG, 2001.

CORGNATI, S. P.; ANSALDI, R.; FILIPPI, M. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 785–792, abr. 2009.

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 951–959, fev. 2007.

DE ABREU-HARBICH, L. V.; CHAVES, V. L. A.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Evaluation of strategies that improve the thermal comfort and energy saving of a classroom of an institutional building in a tropical climate. **Building and Environment**, 2018.

DE DEAR, R. et al. Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms. **Building Research and Information**, v. 43, n. 3, p. 383–398, 2015.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 189–202, 2013.

DE VECCHI, R.; LAMBERTS, R.; CANDIDO, C. M. The role of clothing in thermal comfort: how people dress in a temperate and humid climate in Brazil. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 69–81, 2017.

DELGADO, A. F. GOIÁS: A INVENÇÃO DA CIDADE “ PATRIMÔNIO DA HUMANIDADE ”. **Horizontes Antropológicos**, v. 11, n. 23, p. 113–143, 2005.

DORNELLES, K. A. **ESTUDO DE CASOS SOBRE A INÉRCIA TÉRMICA DE EDIFICAÇÕES NA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP**. Dissertação (Mestrado). UFSCar, São Carlos, 2004.

DORNELLES, K.; CARAM, R.; SICHIERI, E. Natural weathering of cool coatings and its effect on solar reflectance of roof surfaces. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1587–1592, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Design Science Research**. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2015.

EPE, E. DE P. E. **Balanco energético nacional 2017: ano base 2016**. Brasília: [s.n.].

\_\_\_\_\_. **Nota técnica DEA 001/2017: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Brasília: [s.n.].

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN ISO 7730 - Ergonomics

of the Thermal Environment: Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. **Eesti Standard**, 2005.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. 1. ed. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. DE; ASSIS, E. S. DE. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 183–200, 2017.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy & Buildings**, v. 1, p. 11–23, 1992.

GOUGH, D.; THOMAS, J.; OLIVER, S. Clarifying differences between review designs and methods. **Systematic Reviews**, v. 1, n. 1, p. 1, 2012.

HAMZAH, B. et al. Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms. **Structural Survey**, v. 34, n. 4/5, p. 427–445, 2016.

HUANG, K. et al. Implementation of green building specification credits for better thermal conditions in naturally ventilated school buildings. **Building and Environment**, v. 86, n. December 2013, p. 141–150, 2015.

HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. **Building Services Engineer**, v. 44, p. 5–27, 1976.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, F.; ROAF, S. **Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis**. London: Routledge, 2016.

HWANG, R. L.; LIN, T. P.; KUO, N. J. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 1, p. 53–62, 2006.

IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>>. Acesso em: 1 maio. 2017.

INMETRO. **RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**Rio de Janeiro Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, , 2013.

International Organization for Standardization. **10551: Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. Genebra: International Organization for Standardization, 1995.

\_\_\_\_\_. **8996: Ergonomics of the thermal environment - determination of metabolic rate**. Genebra: International Organization for Standardization, 2004.

\_\_\_\_\_. **7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra: International Organization for Standardization, 2005.

JUNG, G. J. et al. Experimental research on thermal comfort in the university classroom of regular semesters in Korea. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 25, n. 2, p. 503–512, 2011.

KATAFYGIOTOU, M. C.; SERGHIDES, D. K. Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. **Sustainable Cities and Society**, v. 13, p. 303–312, 2014.

KATZSCHNER, L. Urban Climate in Dense Cities. In: [s.l.: s.n.]. p. 71–83.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. **Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares na região de campinas**. V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...Fortaleza - CE: ANTAC**, 1999

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C.; PINA, S. A. M. G. Conforto e ambiente escolar. **Cadernos de Arquitetura UNESP**, v. 3, n. 1, p. 1–26, 2001.

KRAWCZYK, D. A.; GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK, K.; RODERO, A. The analysis of microclimate parameters in the classrooms located in different climate zones. **Applied Thermal Engineering**, v. 113, p. 1088–1096, 25 fev. 2017.

KRUGER, E. L.; ZANNIN, P. H. T. Acoustic , thermal and luminous comfort in classrooms. **Building and Environment**, v. 39, p. 1055–1063, 2004.

KWOK, A. G.; CHUN, C. Thermal comfort in Japanese schools. **Solar Energy**, v. 74, n. 3, p. 245–252, 2003.

LABAKI, L. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E LUMINOSO DE PRÉDIOS ESCOLARES DA REDE PÚBLICA, CAMPINAS-SP**. ENCAC - ELACAC. **Anais...São Pedro - SP: 2001**

LIANG, H.-H.; LIN, T.-P.; HWANG, R.-L. Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings. **Applied Energy**, v. 94, p. 355–363, jun. 2012.

MARTINEZ-MOLINA, A. et al. Post-occupancy evaluation of a historic primary school in Spain: Comparing PMV, TSV and PD for teachers' and pupils' thermal comfort. **Building and Environment**, v. 117, p. 248–259, 15 maio 2017.

MATTHEWS, J.; NICOL, F. Standards for Thermal Comfort. In: NICOL, J. F. et al. (Eds.). . **Standards for Thermal Comfort**. Londres: Chapman & Hall, 1995.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 84, p. 181–188, 2015a.

\_\_\_\_\_. A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. **Building and Environment**, v. 92, p. 396–406, out. 2015b.

MONTAZAMI, A. et al. Developing an algorithm to illustrate the likelihood of the dissatisfaction rate with relation to the indoor temperature in naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 111, p. 61–71, jan. 2017.

MORS, S. TER et al. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2454–2461, dez. 2011.

MUMOVIC, D. et al. Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England. **Building and Environment**, v. 44, n. 7, p. 1466–1477, jul. 2009.

NAM, I. et al. A study on the thermal comfort and clothing insulation characteristics of preschool children in Korea. **Building and Environment**, v. 92, p. 724–733, out. 2015.

NEMATCHOUA, M. K.; TCHINDA, R.; OROSA, J. A. Adaptation and comparative study of thermal comfort in naturally ventilated classrooms and buildings in the wet tropical zones. **Energy & Buildings**, v. 85, p. 321–328, 2014.

NICO, M. A.; LIUZZI, S.; STEFANIZZI, P. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. **Applied Ergonomics**, v. 48, p. 111–120, maio 2015.

OCHOA, J. H. **Análise do Conforto Ambiental em salas de aula da Universidade Federal de Goiás**. Dissertação (Mestrado) UFG, Goiânia, 2010.

OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTTLER, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 91–114, 2012.

PAULSE, P. et al. **Desempenho térmico do sistema de vedação vertical e emissões de co 2 : estudo de caso para uma edificação escolar localizada em Goiânia – GO**. ENTAC. **Anais...**São Paulo: 2016

PEREIRA, L. D. et al. Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results. **Building and Environment**, v. 81, p. 69–80, 2014.

PEREIRA, L. D.; CARDOSO, E.; SILVA, M. G. DA. Indoor air quality audit and evaluation on thermal comfort in a school in Portugal. **Indoor and Built Environment**, v. 24, n. 2, p. 256–268, 2015.

PERILLO, P. J. L. et al. Análise do clima urbano do centro histórico da cidade de Goiás por meio da realização de transectos diurnos. In: KALLAS, L. M. E.; GUILLÁN-SALAS, J. C. (Eds.). **Anais do I Seminário da Paisagem Urbana e Sustentabilidade**. 1. ed. Goiânia: Gráfica UF, 2017. p. 482–491.

PERILLO, P. J. L.; CAMPOS, M. A. S.; ABREU-HARBICH, L. V. DE. Conforto térmico em salas de aula: Revisão. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, v. 8, n. 4, p. 236–248, 2017.

ROMERO, M. A. B. (UNB). **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. 3. ed. Brasília: Editora UnB, 2013.

RORIZ, M. **ZBBR** São Carlos - SP, UFSCar, 2004.

RUAS, Á. C. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. 1. ed. Brasília - DF: MTE, 1999. v. 1

RUBER, F.; KOTTEK, M. Comments on: “The thermal zones of the Earth” by Wladimir Köppen (1884). **Meteorologische Zeitschrift**, v. 20, n. 3, p. 361–365, 2011.

RUIZ, J. D. A.; GRANJA, A. D. **Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção**. SIBRAGEC - Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Inovação e Sustentabilidade. **Anais...2013**

RUPP, R. F. et al. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178–205, 2015.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E. DE; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ**, v. 20, p. 116–136, 2014.

SANTOS, K. P.; COSTA, G. M. DA; BARROS, B. R. **Conforto Ambiental Em Instituições De Ensino : Análise Do Campus Do Sertão Da UFAL**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais do SIBRAGEG**. Maceió - AL: 2014

SILVA, A. S. et al. Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 102–117, 2014.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 213–230, 2014.

STEWART, I.; OKE, T. **Classifying Urban Climate Field Sites By “ Local Climate Zones ”: The Case Of Nagano , Japan**. International Conference on Urban Climate. **Anais International Conference on Urban Climate**. Yokohama - JP: 2009

TAMASO, I. A expansão do patrimônio : novos olhares sobre velhos objetos , outros desafios **Sociedade e cultura**, v. 8, n. 2, p. 13–36, 2005.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. B. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 166–182, out. 2012.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. B. The role of a building’s thermal properties on pupils’ thermal comfort in junior school classrooms as determined in field studies. **Building and Environment**, v. 82, p. 640–654, dez. 2014.

TOFTUM, J. et al. Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools. **Building & Environment**, v. 92, p. 494–503, 2015.

TREBILCOCK, M. et al. The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. **Building and Environment**, v. 114, p. 455–469, 2017.

VILCEKOVA, S. et al. Indoor environmental quality of classrooms and occupants’ comfort in a special education school in Slovak Republic. **Building and Environment**, v. 120, p. 29–40, 1 ago. 2017.

WANG, D. et al. Student responses to classroom thermal environments in rural primary and secondary schools in winter. **Building and Environment**, v. 115, p. 104–117, abr. 2017.

WANG, Z. et al. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 192–196, jul. 2014.

WHC/UNESCO. **Report of the WHC-01/CONF.208/24**. Paris: [s.n.]. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/archive/2001/whc-01-conf208-24e.pdf>>.

WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 4, p. 337–351, maio 2003.

XAVIER, A. A. D. P. Predição de Conforto Térmico em Ambientes Internos com Atividades Sedentárias – Teoria Física Aliada a Estudos de Campo. **Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Depto de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis**, p. 240, 2000a.

YANNAS, S. **Design of educational buildings. Book 2: Examples**. London: Environment & Energy Studies Programme, AA Graduate School, 1995.

YAO, R.; LIU, J.; LI, B. Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 1015–1022, 2010.

YATIM, S. R. M. et al. **Thermal comfort in air-conditioned learning environment**. 3rd ISESEE 2011 - International Symposium and Exhibition in Sustainable Energy and Environment. **Anais...2011**

YUN, H. et al. A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children. **Building and Environment**, v. 75, p. 182–189, maio 2014.

ZAKI, S. A. et al. Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. **Building and Environment**, v. 122, p. 294–306, 2017.

ZHANG, G. et al. Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a. **Indoor and Built Environment**, v. 16, n. 2, p. 148–158, 2007.

# APÊNDICES

Apêndice A-1: Modelo de questionário desenvolvido e aplicado nesta pesquisa.

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Hora: \_\_\_:\_\_\_ Sala/Local: \_\_\_/\_\_\_

**DADOS DO USUÁRIO:**  Masculino  
 Altura: \_\_\_ m Idade: \_\_\_ anos Peso: \_\_\_ kg Sexo:  Feminino

**1. Como você está vestido?**

Sapato/tênis cano baixo  
 Sapato/tênis cano médio/alto  
 Sandália/sapato aberto  
 Meia  
 Meia calça  
 Camisa/camiseta manga longa  
 Camisa/camiseta manga curta  
 Camiseta/blusa sem manga/regata

Calça comprida  
 Calça comprida de moletom/esportiva  
 Bermuda (abaixo do joelho)  
 Shorts (acima do joelho)  
 Saia curta  
 Saia comprida  
 Vestido leve  
 Vestido comprido  
 Blusa/moletom  
 Jaqueta

**2. Há aproximadamente quanto tempo está nesta sala?**

Até 15 minutos  30 minutos  45 minutos  1 hora ou mais

**3. Como chegou até o IFG/UFG?**

Caminhando  Carro, van ou ônibus sem ar condicionado  Moto  
 Bicicleta  Carro, van ou ônibus com ar condicionado

**4. Quanto tempo durou este percurso?**

Até 15 min.  15 a 30 min.  30 a 45 min  Mais de 45 min.

**EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DA SALA:**

**1. Você está se sentindo:**  Confortável  Desconfortável

**2. Para você a sala está:**

MUITO FRIA	FRIA	POUCO FRIA	AGRADÁVEL	POUCO QUENTE	QUENTE	MUITO QUENTE

**3. Você preferia estar:**  Mais resfriado  Assim mesmo  Mais aquecido

**4. Neste momento você classificaria a sala como:**

CONFORTÁVEL	POUCO CONFORTÁVEL	POUCO DESCONFORTÁVEL	DESCONFORTÁVEL	MUITO DESCONFORTÁVEL	EXTREMAMENTE DESCONFORTÁVEL

**5. Você acha que a sala poderia estar:**  Mais quente  Mais fria  NDA

**6. Marque sua posição na sala:**

LOUSA


**CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESQUISA**

Eu, \_\_\_\_\_, RG n.º \_\_\_\_\_, abaixo assinado, concordo em participar do estudo *INFLUÊNCIA DO SISTEMA CONSTRUTIVO DA ENVOLTÓRIA NO CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULA*. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador *PAULO JOSÉ LIMA PERILLO* sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data: \_\_\_\_\_

Nome e Assinatura: \_\_\_\_\_

Apêndice A-2: Formulário utilizado para as medições de campo (frente).



**UFG**

## Formulário de Medições

DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ HORA: \_\_\_:\_\_\_

**INFORMAÇÕES SOBRE O AMBIENTE**

SALA \_\_\_\_\_ AULA: \_\_\_\_\_

Número de alunos \_\_\_\_\_ UNIDADE  AREIÃO  SANT'ANA

PROFESSOR(A): \_\_\_\_\_

OUTRO: _____	DISPOSITIVO INSTALADO: <input type="checkbox"/> AR CONDICIONADO	<input type="checkbox"/> VENTILADOR
	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> OFF	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> OFF

AUTORIZAÇÃO PARA APLICAÇÃO/MEDIÇÃO:  SIM  NÃO

JUSTIFICATIVA: \_\_\_\_\_

---

**DADOS MEDIDOS**

HORA	TG	TAR	UR	V	OBSERVAÇÃO

**TEMPERATURA SUPERFICIAL DAS PAREDES**

<input type="checkbox"/> QUADRO	TS = _____	<input type="checkbox"/> JANELA	TS = _____
<input type="checkbox"/> PORTA	TS = _____	<input type="checkbox"/> FUNDOS	TS = _____
<input type="checkbox"/> PISO	TS = _____	<input type="checkbox"/> TETO	TS = _____

**PARA USO POSTERIOR**

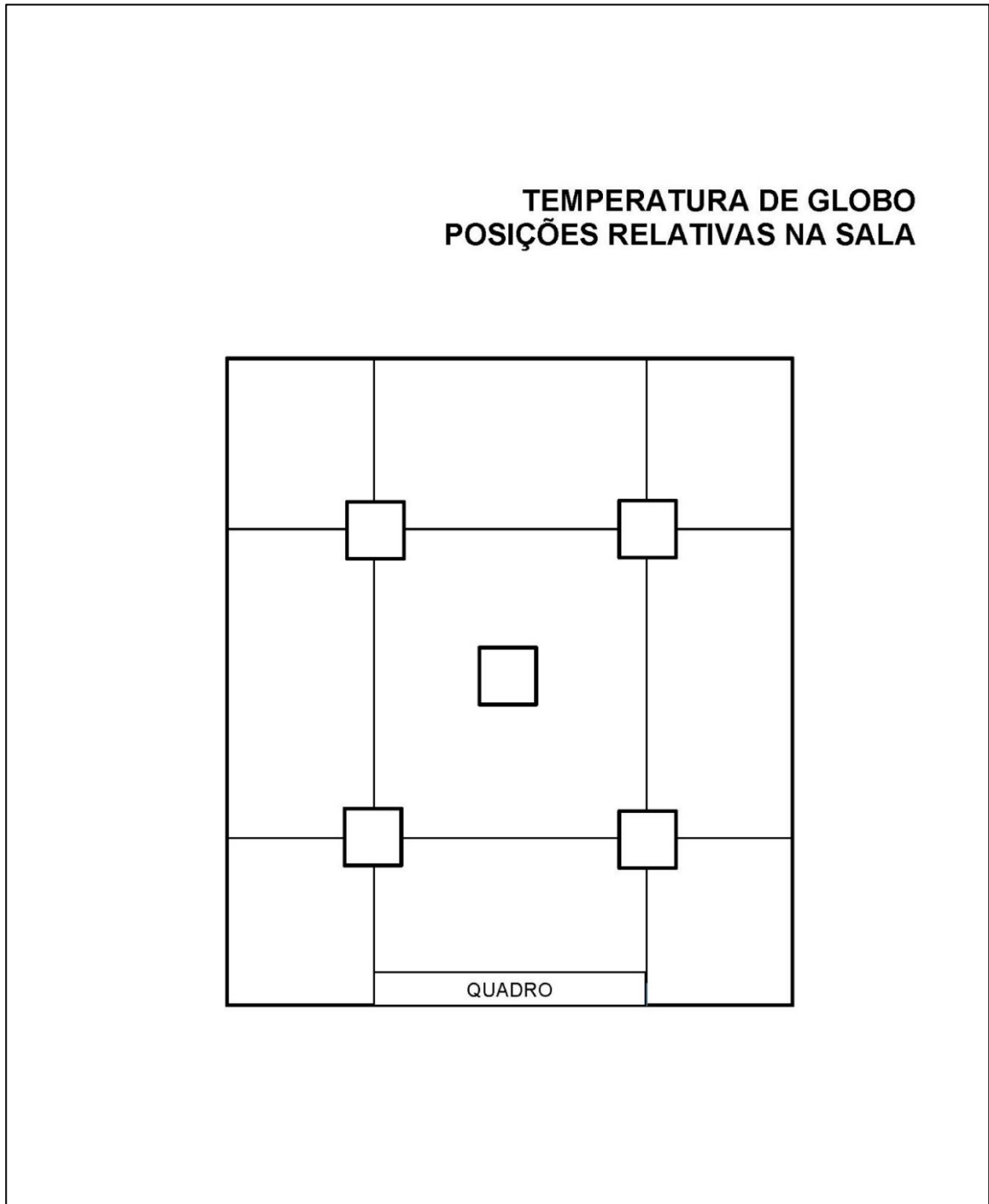
QUANTIDADE DE QUESTIONÁRIOS COLETADOS: \_\_\_\_\_

PROBLEMAS DURANTE A COLETA: \_\_\_\_\_

---

Assinatura \_\_\_\_\_
Data \_\_\_\_\_

Apêndice A-3: Formulário utilizado para as medições de campo (verso).



## **ANEXOS**

Anexo B-1: Parecer Consubstanciado do CEP - Aprovação (pág. 1 de 2).



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Influência do Sistema Construtivo da envoltória no Conforto Térmico em salas de aula

**Pesquisador:** PAULO JOSE LIMA PERILLO

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 86250418.0.0000.8058

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Goiás - UFG

**Patrocinador Principal:** Universidade Federal de Goiás - UFG

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 2.698.424

#### **Apresentação do Projeto:**

Trabalho versará sobre a Influência do Sistema Construtivo da envoltória no Conforto Térmico em salas de aula

#### **Objetivo da Pesquisa:**

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência de diferentes sistemas construtivos de envoltórias no desempenho térmico de edificações escolares

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

os benefícios foram descritos da maneira correta atendendo a resolução 466/12

#### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Pesquisador adequou as pendências sugeridas

#### **Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

todos os termos foram apresentados

#### **Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Aprovados sem pendência

#### **Considerações Finais a critério do CEP:**

Aprovado sem pendência

**Endereço:** EMILIO POVOA

**Bairro:** VILA REDENCAO

**UF:** GO

**Município:** GOIANIA

**Telefone:** (62)3956-8860

**CEP:** 74.845-250

**E-mail:** centrodeestudoshmdi@gmail.com

## Anexo B-2: Parecer Consubstanciado do CEP - Aprovação (pág. 2 de 2).



Continuação do Parecer: 2.698.424

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1027975.pdf	03/05/2018 10:21:22		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PP_01.pdf	22/03/2018 17:31:01	PAULO JOSE LIMA PERILLO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Quest_04.pdf	22/03/2018 17:29:34	PAULO JOSE LIMA PERILLO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Docs_02.pdf	22/03/2018 16:11:32	PAULO JOSE LIMA PERILLO	Aceito
Folha de Rosto	Folha_rosto.pdf	22/03/2018 16:10:30	PAULO JOSE LIMA PERILLO	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Anuencia.pdf	22/03/2018 16:07:54	PAULO JOSE LIMA PERILLO	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

GOIANIA, 07 de Junho de 2018

Assinado por:  
**Patrícia Gonçalves Evangelista Marçal**  
 (Coordenador)

**Endereço:** EMILIO POVOA  
**Bairro:** VILA REDENCAO **CEP:** 74.845-250  
**UF:** GO **Município:** GOIANIA  
**Telefone:** (62)3956-8860 **E-mail:** centrodeestudoshmdi@gmail.com

Página 02 de 02

