



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SALAS DE AULA DESTINADAS AO
ENSINO SUPERIOR**

CLARISSA BUSS

Foz do Iguaçu
2023



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SALAS DE AULA DESTINADAS AO
ENSINO SUPERIOR**

CLARISSA BUSS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Helenice Maria Sacht

Foz do Iguaçu
2023

CLARISSA BUSS

**CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SALAS DE AULA DESTINADAS AO
ENSINO SUPERIOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Helenice Maria Sacht

UNILA

Prof. Dr. Egon Vettorazzi

UNILA

Prof^a. Dr^a. Marieli Azoia Lukiantchuki

UEM

Foz do Iguaçu, 14 de março de 2023

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

B981

Buss, Clarissa.

Conforto térmico e eficiência energética de salas de aula destinadas ao ensino superior / Clarissa Buss. - Foz do Iguaçu, 2023.

307 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Foz do Iguaçu - PR, 2023.

Orientadora: Prof^a Dra. Helenice Maria Sacht

1. Conforto térmico. 2. Eficiência energética. 3. Estratégias projetuais. 4. Educação de qualidade. 5. Sala de aula. I. Sacht, Prof^a Dra. Helenice Maria. II. Título.

CDU 699.86:620.9

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo carinho, suporte e incentivo constantes.

À Professora Doutora Helenice Maria Sacht pela orientação, interesse no tema, disposição e apoio durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pelos ensinamentos transmitidos e aos colegas de curso, em especial à Karine Hilgenberg Martins, pelo companheirismo.

Ao Professor Doutor Eduardo Grala da Cunha por me despertar para a simulação computacional e ao Mestre Rodrigo Karini Leitzke pelo auxílio nos momentos de impasse.

Aos amigos da Secretaria de Implantação do Campus pelo encorajamento e contribuições.

À UNILA por me proporcionar dois anos dedicados ao estudo e aprimoramento pessoal e à comunidade acadêmica, fonte de inspiração para o meu trabalho como arquiteta dentro da universidade.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse propósito.

RESUMO

Nos espaços acadêmicos, a ausência de condições de conforto térmico prejudica a produtividade e o processo de ensino-aprendizagem de docentes e discentes. Apesar do crescente interesse em aspectos que possam potencializar o rendimento desses agentes da educação, são poucas as pesquisas que abordam a qualidade do ambiente universitário e discutem o consumo consciente de energia para alcançá-lo. À vista disso, este estudo procurou identificar e avaliar estratégias projetuais que contribuam para o conforto térmico e eficiência energética em edificações de salas de aula destinadas ao ensino superior para locais de clima subtropical úmido. Cartas bioclimáticas foram aproveitadas como ferramenta para seleção inicial de soluções passivas de projeto, posteriormente avaliadas, através de modelagem tridimensional e de simulações computacionais aplicadas a um estudo de caso da Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA. A metodologia incluiu a utilização dos programas *Climate Consultant*, *SketchUp*, do plugin *Euclid*, do *software EnergyPlus* e do componente auxiliar *EP-Launch*. Os resultados demonstraram a viabilidade de otimização do desempenho térmico e energético de salas de aula, a partir do uso integrado ou isolado de paredes externas com alto valor de refletância; de coberturas em materiais de baixa absorvância e alta emissividade; da maximização do sombreamento; de janelas com percentuais de abertura elevados, assim como de vidros de baixa transmissão solar e fator solar, com aplicabilidade no planejamento de projetos e em adequações de estruturas existentes. No Brasil há cerca de 590 instituições de educação superior em regiões temperadas úmidas com verão quente, sendo que 70 são públicas, assim, almeja-se que as estratégias tornem possível a qualificação e aperfeiçoamento desses e de outros locais de ensino, de forma que a arquitetura seja capaz de atuar em favor da formação de excelência, de fomentar a sustentabilidade, por meio de edificações mais eficientes, estimulando assim a conscientização ambiental da comunidade.

Palavras-chave: Conforto térmico. Eficiência energética. Estratégias projetuais. Educação de qualidade. Sala de aula.

ABSTRACT

In academic spaces, the absence of thermal comfort conditions impairs productivity and the teaching-learning process of professors and students. Despite the growing interest in aspects that can enhance the performance of these education agents, there are few studies that address the quality of the university environment and discuss the conscious consumption of energy to achieve it. In view of this, this study sought to identify and evaluate design strategies that contribute to thermal comfort and energy efficiency in classroom buildings for higher education in locations with a humid subtropical climate. Bioclimatic maps were used as a tool for the initial selection of passive design solutions, which were later evaluated through three-dimensional modeling and computer simulations applied to a case study at the Federal University of Latin American Integration - UNILA. The methodology included the use of the programs Climate Consultant, SketchUp, the Euclid plugin, the EnergyPlus software and the auxiliary component EP-Launch. The results demonstrated the feasibility of optimizing the thermal and energy performance of classrooms, based on the integrated or isolated use of external walls with a high reflectance value; coverings in low absorbance and high emissivity materials; shading maximization; of windows with high opening percentages, as well as glass with low solar transmission and solar factor, with applicability in project planning and adaptation of existing structures. In Brazil, there are approximately 590 higher education institutions in humid temperate regions with hot summers, 70 of which are public. architecture is able to act in favor of the formation of excellence, to promote sustainability, through more efficient buildings, thus stimulating the environmental awareness of the community

Key words: Thermal comfort. Energy efficiency. Project strategies. Quality education. Classroom.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Litografia do Colégio Jesuíta onde foi instalado o Curso Médico de Cirurgia	43
Figura 3.2. Aquarela do Hospital da Misericórdia que acomodou a Escola Anatômica, Cirúrgica e Médica	43
Figura 3.3. Escola Universitária Livre de Manáos, posteriormente denominada Universidade de Manaus	45
Figura 3.4. Sede da Universidade Livre de São Paulo	45
Figura 3.5. Universidade Livre do Paraná.....	45
Figura 3.6. Faculdade Nacional de Direito, uma das incorporadas à Universidade do Rio De Janeiro	46
Figura 3.7. Escola Livre de Engenharia, uma das incorporadas à Universidade de Minas Gerais.....	47
Figura 3.8. Vista da Cidade Universitária em 1953, após aterramento e união de nove ilhas para sua formação.....	48
Figura 3.9. Foto do início da década de 50, estrutura do Prédio da Reitoria da USP	48
Figura 3.10. Vista panorâmica ESAV	49
Figura 3.11. Casimiro e o projeto do CTA	51
Figura 3.12. Década de 60, Instituto Central de Ciências	52
Figura 3.13. Maquete eletrônica Campus Unila.....	54
Figura 3.14. Desenho Universidade de Constantine	54
Figura 3.15. Maquete física Campus UFABC	54
Figura 3.16. Fatores que influenciam o conforto térmico.....	70
Figura 3.17. Telhado verde do Colégio Estadual Erich Walter Heine	93
Figura 3.18. Vista aérea da instituição de ensino	93
Figura 3.19. Pátio central coberto	93
Figura 3.20. Jardim vertical instalado na fachada oeste.....	93
Figura 3.21. Colégio Positivo Internacional.....	94
Figura 3.22. Brises protegem as superfícies transparentes da absorção de calor solar excessivo.....	94
Figura 3.23. Painel metálico perfurado instalado na fachada da instituição.....	94
Figura 3.24. Fechamento do pátio interno por painel metálico perfurado	94
Figura 3.25. Perspectiva do Sesc CEDEI. Grande parte da cobertura é composta por vegetação.....	95
Figura 3.26. Fachada frontal da edificação. As paredes laterais abrigam jardins verticais	95

Figura 3.27. As aberturas das salas funcionam como mecanismos de sombreamento.....	95
Figura 3.28. O telhado verde da cobertura minimiza a absorção de calor e serve como espaço de recreação.....	95
Figura 3.29. Creche Municipal Hassis. Placas fotovoltaicas instaladas na cobertura são utilizadas para geração da energia consumida	96
Figura 3.30. Vista externa da instituição	96
Figura 3.31. Área da creche com telhado verde	96
Figura 3.32. Elementos vazados instalados logo abaixo da cobertura auxiliam a circulação de ar.....	96
Figura 3.33. <i>Manassas Park Elementary School</i>	100
Figura 3.34. Dispositivos de sombreamento protegem a janela na altura do observador.....	100
Figura 3.35. Vista interna da sala de aula. Teto inclinado e persianas de luz refletem a claridade ...	100
Figura 3.36. Sinalização permite aos usuários participação ativa na conservação de energia	100
Figura 3.37. <i>Yale School of Management Edward P. Evans Hall</i>	101
Figura 3.38. Vista do edifício a partir do pátio interno.....	101
Figura 3.39. A cobertura se projeta para além do fechamento e ajuda a minimizar o ganho de calor solar	101
Figura 3.40. Átrio coberto por fechamento translucido e favorecido por ventilação de efeito chaminé	101
Figura 3.41. Vista aérea da <i>Kathleen Grimm School</i> . Painéis fotovoltaicos cobrem a cobertura e a fachada sul	102
Figura 3.42. Claraboias trazem luz natural para as áreas de circulação.....	102
Figura 3.43. Molduras coloridas garantem proteção extra para as janelas da fachada norte.....	103
Figura 3.44. Painéis interativos expõem o sistema de funcionamento da edificação	103
Figura 3.45. <i>Austin Community College, Campus San Gabriel</i>	103
Figura 3.46. Geometria e materiais empregados refletem as construções tradicionais do Texas	103
Figura 3.47. Varandas protegem a edificação da radiação solar excessiva.....	104
Figura 3.48. Grandes aberturas cobertas por beirais favorecem a circulação de ar nas salas de aula	104
Figura 3.49. Vista aérea da <i>Alice West Fleet Elementary School</i>	105
Figura 3.50. Simulações computacionais foram utilizadas na fase projetual para reduzir o consumo energético da edificação em operação	105
Figura 3.51. Dispositivos de sombreamento fixo protegem os elementos transparentes da fachada	105

Figura 3.52. Os usuários podem acompanhar em tempo real o quanto a instituição gera e consome de energia.....	105
Figura 4.1. Fluxograma das etapas da pesquisa.....	108
Figura 4.2. Fluxograma das etapas compreendidas no primeiro item da Revisão Bibliográfica.....	111
Figura 4.3. Fluxograma das etapas compreendidas no segundo item da Revisão Bibliográfica.....	112
Figura 4.4. Fluxograma das etapas compreendidas no terceiro item da Revisão Bibliográfica.....	113
Figura 4.5. Planta esquemática com marcação dos locais de medição.....	119
Figura 4.6. Anemômetro Anself H4326 utilizado para medição <i>in loco</i>	120
Figura 4.7. Zonas Térmicas do Pavimento Térreo.....	121
Figura 4.8. Zonas Térmicas do Pavimento Superior.....	122
Figura 4.9. Zonas Térmicas da Cobertura.....	122
Figura 4.10. Elevação Sul.....	123
Figura 4.11. Elevação Norte.....	123
Figura 4.12. Elevação Leste.....	123
Figura 4.13. Elevação Oeste.....	123
Figura 4.14. Vista noroeste da geometria.....	123
Figura 4.15. Vista sudeste da geometria.....	123
Figura 4.16. Parede real heterogênea.....	125
Figura 4.17. Parede equivalente homogênea.....	125
Figura 4.18. Corte da laje nervurada real heterogênea.....	126
Figura 4.19. Laje nervurada equivalente homogênea.....	126
Figura 4.20. Vidro monolítico verde de 6mm.....	135
Figura 4.21. Vidro laminado de controle solar de 12mm.....	135
Figura 4.22. Brises horizontais de 8cm de largura e 0° de inclinação.....	137
Figura 4.23. Elevação Norte – Edificação contando com a inclusão de brises.....	137
Figura 5.1. Mapa com a localização de Foz do Iguaçu.....	142
Figura 5.2. Mapa climático de Köppen-Geiger.....	143
Figura 5.3. Carta psicrométrica para Foz do Iguaçu com base na abordagem adaptativa.....	146
Figura 5.4. Carta psicrométrica com base na abordagem estática.....	148
Figura 5.5. Zoneamento Bioclimático Brasileiro com destaque para Foz do Iguaçu.....	152

Figura 5.6. Situação	154
Figura 5.7. Implantação Geral do terreno da Av. Tancredo Neves	154
Figura 5.8. Terreno da Av. Tancredo Neves - Campus Integração	154
Figura 5.9. Planta Baixa do Pavimento Térreo - Edifício Multiuso.....	156
Figura 5.10. Planta Baixa do Pavimento Superior - Edifício Multiuso.....	156
Figura 5.11. Padrões de salas de aula.....	157
Figura 5.12. Detalhe das janelas e porta das salas de aula	158
Figura 5.13. Incidência de radiação solar ao longo do ano e vento predominante no terreno.....	161
Figura 5.14. Elevação Sul – Vista externa do Bloco De Aulas 01	163
Figura 5.15. Elevação Norte – Vista externa do Bloco De Aulas 02.....	163
Figura 5.16. Elevação Leste.....	163
Figura 5.17. Perspectiva do pátio entre blocos.....	163
Figura 5.18. Corte esquemático do Edifício Multiuso.....	164
Figura 5.19. Vista sudeste da fachada frontal.....	165
Figura 5.20. Vista sudoeste da fachada frontal.....	165
Figura 5.21. Vista sudoeste da fachada lateral.....	165
Figura 5.22. Vista sudeste da fachada lateral.....	165
Figura 5.23. Vista externa parcial do Bloco 01	166
Figura 5.24. Vista interna da sala de aula.....	166
Figura 5.25. Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	169
Figura 5.26. Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	170
Figura 5.27. Consumo de energia elétrica por dispositivo.....	170
Figura 5.28. Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	172
Figura 5.29. Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	173
Figura 5.30. Sala de Aula 01 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	174
Figura 5.31. Sala de Aula 02 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	175

Figura 5.32. Sala de Aula 03 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	176
Figura 5.33. Sala de Aula 04 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	177
Figura 5.34. Sala de Aula 05 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	178
Figura 5.35. Sala de Aula 06 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	179
Figura 5.36. Sala de Aula 07 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	180
Figura 5.37. Sala de Aula 08 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	181
Figura 5.38. Sala de Aula 09 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	182
Figura 5.39. Sala de Aula 10 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	183
Figura 5.40. Sala de Aula 11 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	184
Figura 5.41. Sala de Aula 12 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	185
Figura 5.42. Sala de Aula 13 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	186
Figura 5.43. Sala de Aula 14 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	187
Figura 5.44. Sala de Aula 15 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	188
Figura 5.45. Sala de Aula 16 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	189
Figura 5.46. Sala de Aula 17 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	190
Figura 5.47. Sala de Aula 18 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	191
Figura 5.48. Sala de Aula 19 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	192
Figura 5.49. Sala de Aula 20 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/-	

3,5°c	193
Figura 5.50. Sala de Aula 21 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	194
Figura 5.51. Sala de Aula 22 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	195
Figura 5.52. Sala de Aula 23 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	196
Figura 5.53. Sala de Aula 24 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	197
Figura 5.54. Sala de Aula 25 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	198
Figura 5.55. Sala de Aula 26 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°c	199
Figura 5.56. Compilação dos resultados de desempenho térmico de todas as salas de aula.....	200
Figura 5.57. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	205
Figura 5.58. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	205
Figura 5.59. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação da tinta cor palha nas paredes externas	206
Figura 5.60. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	208
Figura 5.61. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	209
Figura 5.62. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação da tinta cor palha nas paredes externas	210
Figura 5.63. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	212
Figura 5.64. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	213
Figura 5.65. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro verde de 6mm nas esquadrias	214
Figura 5.66. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e	

desconforto térmico	216
Figura 5.67. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	216
Figura 5.68. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro verde de 6mm nas esquadrias	217
Figura 5.69. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	220
Figura 5.70. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	220
Figura 5.71. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro de controle solar de 12mm nas esquadrias	221
Figura 5.72. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	223
Figura 5.73. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	224
Figura 5.74. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro de controle solar de 12mm nas esquadrias	225
Figura 5.75. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	227
Figura 5.76. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	228
Figura 5.77. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento de lã de rocha na cobertura	229
Figura 5.78. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	231
Figura 5.79. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	231
Figura 5.80. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento de lã de rocha na cobertura	232
Figura 5.81. Telha de fibrocimento pintada de branco - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	234
figura 5.82. telha de fibrocimento pintada de branco- planta baixa do pavimento superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	235

Figura 5.83. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de telha de fibrocimento na cobertura	236
Figura 5.84. Telha de fibrocimento pintada de branco - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	238
Figura 5.85. Telha de fibrocimento pintada de branco - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	238
Figura 5.86. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de telha de fibrocimento na cobertura	239
Figura 5.87. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	242
Figura 5.88. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	242
Figura 5.89. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento térmico de fachada	243
Figura 5.90. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	245
Figura 5.91. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	246
Figura 5.92. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento térmico de fachada	247
Figura 5.93. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	249
Figura 5.94. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	250
Figura 5.95. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de brise horizontal na fachada norte	251
Figura 5.96. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	253
Figura 5.97. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	253
Figura 5.98. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de brise horizontal na fachada norte	254
Figura 5.99. Modelo de janela - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	257
Figura 5.100. Modelo de janela - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e	

desconforto térmico	257
Figura 5.101. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a alteração do tipo de janela	258
Figura 5.102. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	261
Figura 5.103. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m ²	262
Figura 5.104. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a integração de diferentes estratégias projetuais.	263
Figura 5.105. Consumo total para condicionamento artificial do modelo de referência e dos modelos considerando a incorporação, alteração ou substituição de estratégias projetuais	264
Figura 5.106. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico	266
Figura 5.107. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico	266
Figura 5.108. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a integração de diferentes estratégias projetuais.....	267
Figura 5.109. Percentual de conforto térmico do modelo de referência e dos modelos considerando a incorporação, alteração ou substituição de estratégias projetuais	268

LISTA DE TABELAS

tabela 3.1. Universidades Federais até 1955.....	51
Tabela 3.2. Normalização e Regulamentações específicas de conforto térmico e relacionadas	72
Tabela 3.3. Instituições Educacionais com processo concluído e em andamento para selo LEED no Brasil.....	97
Tabela 3.4. Instituições Educacionais com selo LEED localizadas no exterior em áreas de clima subtropical com verões quentes.....	106
Tabela 4.1. Atributos das Zonas Térmicas	124
Tabela 4.2. Temperatura do solo	125
Tabela 4.3. Propriedades dos elementos construtivos empregados no Edifício Multiuso	127
Tabela 4.4. Propriedades do vidro do Edifício Multiuso	128

Tabela 4.5. Quantidade de indivíduos por ambiente.....	128
Tabela 4.6. Taxas de calor liberado por indivíduo	129
Tabela 4.7. Aspectos da iluminação artificial.....	129
Tabela 4.8. Ganhos unitários com equipamento.....	130
Tabela 4.9. Parâmetros da ventilação natural.....	130
Tabela 4.10. Padrão de uso	131
Tabela 4.11. Dias sem atividades previstos em calendário acadêmico	132
Tabela 4.12. Propriedades dos vidros monolítico verde e laminado de controle solar.....	135
Tabela 4.14. Propriedades dos elementos construtivos empregados nas variações do Edifício Multiuso	139
Tabela 5.1. Normais Climatológicos de Foz Do Iguaçu, 1961-1990	144
Tabela 5.2. Diretrizes para projetos não residenciais segundo a abordagem adaptativa	146
Tabela 5.3. Sugestões de projeto passivo em consonância com a abordagem adaptativa	147
Tabela 5.4. Diretrizes para projetos não residenciais segundo a abordagem estática.....	149
Tabela 5.5. Sugestões de projeto passivo em consonância com a abordagem estática	150
Tabela 5.6. Diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas segundo NBR 15220	152
Tabela 5.7. Acabamentos e cor das paredes externas e internas	157
Tabela 5.8. Relação de portas e janelas do Edifício Multiuso.....	159
Tabela 5.9. Relação entre superfície opaca e transparente da envoltória do Edifício Multiuso	160
Tabela 5.10. Levantamento de espécies arbóreas na área de implantação do Edifício Multiuso	162
Tabela 5.11. Caracterização dos materiais	162
Tabela 5.12. Propriedades térmicas de parede externa e cobertura	166
Tabela 5.13. Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula	168
Tabela 5.14. Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	171
Tabela 5.15. Tinta cor palha - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula	204
Tabela 5.16. Tinta cor palha - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	207
Tabela 5.17. Vidros verdes de 6mm - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula	211
Tabela 5.18. Vidros verdes de 6mm - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	214
Tabela 5.19. Vidros de controle solar de 12mm - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula.....	219

Tabela 5.20. Vidros de controle solar de 12mm - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	222
Tabela 5.21. Lã de rocha - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula	226
Tabela 5.22. Lã de rocha - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	229
Tabela 5.23. Telha de fibrocimento - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula...	233
Tabela 5.24. Telha de fibrocimento - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	236
Tabela 5.25. Isolamento térmico de fachada - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula.....	240
Tabela 5.26. Isolamento térmico de fachada - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	244
Tabela 5.27. Brise horizontal na fachada norte - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula.....	248
Tabela 5.28. Brise horizontal na fachada norte - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	251
Tabela 5.29. Modelo de janela - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	255
Tabela 5.30. Integração de estratégias projetuais - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula	260
Tabela 5.31. Integração de estratégias projetuais - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação	264

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	21
2. OBJETIVOS	25
2.1. OBJETIVO GERAL	25
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1. ESPAÇOS EDUCACIONAIS AO LONGO DA HISTÓRIA.....	26
3.1.1. Os Estudos que Tratam da História da Arquitetura Escolar	27
3.1.2. Origem e Evolução dos Espaços Destinados ao Ensino	37
3.2. CONFORTO TÉRMICO E SUA INFLUÊNCIA NO ENSINO E APRENDIZAGEM.....	56
3.2.1. As Pesquisas que abordam as Condições Térmicas e Rendimento Escolar	56
3.2.2. Sala de Aula, Observância do Conforto Térmico e Implicações.....	67
3.3. ESTRATÉGIAS PROJETAIS EM PROL DO CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS EDUCACIONAIS.....	76
3.3.1. Aspectos de Arquitetura Bioclimática e Conforto Térmico	77
3.3.2. Arquitetura Bioclimática e Soluções Passivas de Projeto.....	85
3.4. EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS NO CONTEXTO DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA ..	92
4. MÉTODO	108
4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	109
4.2. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	115
4.3. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	116
4.4. CONFIGURAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	120
4.4.1. Configuração dos Parâmetros Variáveis de Simulação Computacional	133
4.4.2. Forma de Análise dos Resultados	140
5. RESULTADOS.....	141
5.1. OBJETO DE ESTUDO	141
5.1.1. Localização e Clima	142
5.1.1.1. <i>Análise bioclimática</i>	145
5.1.1.2. <i>Área de implantação do empreendimento</i>	153
5.1.2. Descrição do Empreendimento	155
5.2. DIAGNÓSTICO TERMO ENERGÉTICO DO MODELO DE REFERÊNCIA.....	166
5.2.1. Propriedades Térmicas da Envoltória	166
5.2.2. Resultado das Simulações Computacionais.....	167
5.2.2.1. <i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	167
5.2.2.2. <i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	171
5.3. DIAGNÓSTICO CONSIDERANDO A APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PROJETAIS PARA OTIMIZAÇÃO TERMO ENERGÉTICA DO MODELO DE REFERÊNCIA.....	203

5.3.1.	Resultado das Simulações Computacionais - Tinta Cor Palha.....	203
5.3.1.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>203</i>
5.3.1.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>206</i>
5.3.2.	Resultado das Simulações Computacionais - Vidros Monolíticos Verdes de 6mm...211	
5.3.2.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>211</i>
5.3.2.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>214</i>
5.3.3.	Resultado das Simulações Computacionais - Vidros Laminados de Controle Solar de 12mm	218
5.3.3.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>218</i>
5.3.3.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>222</i>
5.3.4.	Resultado das Simulações Computacionais - Lã de Rocha.....	226
5.3.4.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>226</i>
5.3.4.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>229</i>
5.3.5.	Resultado das Simulações Computacionais - Telha de Fibrocimento Pintada de Branco	233
5.3.5.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>233</i>
5.3.5.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>236</i>
5.3.6.	Resultado das Simulações Computacionais - Isolamento Térmico de Fachada StoTherm	240
5.3.6.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>240</i>
5.3.6.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>243</i>
5.3.7.	Resultado das Simulações Computacionais - Brise Horizontal na Fachada Norte..	247
5.3.7.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>248</i>
5.3.7.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>251</i>
5.3.8.	Resultado das Simulações Computacionais - Modelo de Janela.....	255
5.3.8.1.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>255</i>
5.3.9.	Resultado das Simulações Computacionais - Integração de Estratégias Projetuais	259
5.3.9.1.	<i>Consumo energético com refrigeração e aquecimento</i>	<i>259</i>
5.3.9.2.	<i>Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente</i>	<i>264</i>
6.	CONCLUSÃO.....	269
6.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	273
	REFERÊNCIAS.....	274
	APÊNDICES.....	293

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Ao longo da história, múltiplos e diferentes acontecimentos transformaram a dinâmica de conformação dos ambientes de ensino, alternando e combinando desde projetos educativos e conceitos pedagógicos, até planos de governo e os vários sujeitos envolvidos no planejamento e tomada de decisões, para instituir uma estrutura física que compreendesse e simbolizasse os interesses do estado e as necessidades da população.

Entretanto, no Brasil, o campus universitário, como elemento arquitetônico, a tempos não reflete essas demandas. O que o retrata são ambientes modulados, repetitivos e pouco atrativos, sem manutenção e servidos por uma mínima infraestrutura de lazer e serviços. A habitabilidade do ambiente ficou em segundo plano e o que dita o ritmo é a disponibilidade orçamentária (PINTO; BUFFA, 2009).

Pode-se dizer que esse cenário é um tanto controverso, a medida em que a formação continuada é uma das poucas maneiras de manter-se atuante e ser capaz de se adaptar às rápidas e diversas mudanças de nossa sociedade contemporânea e competitiva. O estudante permanece até um terço do seu dia em uma sala de aula, espaço que poderia atuar como um potencializador da qualidade na educação, influenciando a formação e preparação do indivíduo para o trabalho e vida em comunidade.

Assim, o uso prolongado desses ambientes tem atraído a atenção de pesquisadores, interessados na saúde, qualidade de vida e produtividade dos ocupantes. No entanto, tendo como base a pesquisa realizada sobre o assunto, ainda há pouca bibliografia nacional sobre tipologias arquitetônicas destinadas à educação superior e uma parcela menor de trabalhos dedicados à função e importância da sala de aula universitária. Desse modo, este estudo centrou-se nesse ambiente de ensino, correlacionando o conforto térmico e a redução do consumo de energia a estratégias projetuais, como respostas para construções mais adequadas e eficientes.

A sensação de desconforto por calor ou frio, sobretudo, é capaz de provocar fadiga, sonolência, dificuldade de atenção e discernimento e, inclusive, pode restringir a capacidade de desempenhar tarefas corriqueiras, atingindo severamente aqueles que já possuem dificuldades (WARGOCKI; PORRAS-SALAZAR; CONTRERAS-ESPINOZA, 2019).

Para Givoni (1992), o conforto pode ser descrito como a condição climática na qual a maior parte das pessoas não reconhecesse um estado de desconforto térmico para o calor ou frio. Nesse sentido, ajustar e controlar a temperatura interna pode ser um artifício eficiente para melhores índices de bem-estar e rendimento estudantil (WANG et al., 2020). Entretanto, a utilização, cada vez maior, do condicionamento artificial acarretou um aumento significativo no gasto energético (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014), colocando em contrariedade essa tendência verificada em muitas instituições públicas de ensino do país. Em regiões quentes e úmidas, o

dispêndio de energia com o ar-condicionado é substancialmente maior do que nos demais climas (PEREZ; CAPELUTO, 2009).

É oportuno esclarecer que, como responsáveis por parcela considerável do consumo de energia elétrica nacional (46% daquele derivado de edificações residenciais, comerciais e públicas segundo o Balanço Energético Nacional de 2021) (EPE, 2021), o setor governamental tem por obrigação buscar a eficiência em suas obras, tanto em razão de sua natureza, quanto em virtude de exigências legais destinadas a suprir demandas porvir.

Seguramente existe uma preocupação crescente em relação às mudanças climáticas e seus desdobramentos e um interesse maior quanto à possíveis contribuições. Estima-se que o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa tenham um aumento exponencial até meados do século, duplicando ou até triplicando os montantes atuais, processo que poderia ser relativamente modificado com a disseminação de boas práticas e melhores tecnologias construtivas (BAREA et al., 2022).

Muitos pesquisadores têm percebido a arquitetura bioclimática como um meio assertivo de se alcançar o conforto térmico e a eficiência de edificações. Do ponto de vista ambiental e social, o resgate de tecnologias de energia passiva para regular o microclima talvez seja o procedimento mais adequado para muitos lugares (AULICIEMS; SZOKOLAY, 2007). As estratégias com esse viés resultam na redução do uso de mecanismos ativos e, por consequência, na atenuação do consumo e da emissão dos gases de efeito estufa, devendo ser prioridade para o enfrentamento de climas cada vez mais extremos.

Além disso, a recente crise pandêmica aumentou a preocupação com a habitabilidade do ambiente construído (AGUILAR et al., 2021) e despontou a consciência em relação à má qualidade do ar interno em recintos acadêmicos, fomentando o desenvolvimento de recomendações e protocolos no sentido de aperfeiçoar o aproveitamento da ventilação natural (MEISS et al., 2021). Como uma solução passiva de projeto, esse tipo de condicionamento aumenta as possibilidades de promoção do bem-estar térmico interno (CANDIDO; DEAR, 2012). Admite-se que a redução da dependência de sistemas ativos, oportunizaria uma sincronização mais equilibrada entre as condições ambientais externas e as funções psicofisiológicas dos indivíduos (AULICIEMS; SZOKOLAY, 2007).

Em consideração ao exposto, os elementos estruturais desejáveis em salas de aula e avaliados no decorrer da pesquisa, foram fundamentados, especialmente, nessa perspectiva projetual que, segundo Manzano-Agugliaro et al. (2015), une a função de proteção, inerente de uma edificação, ao anseio de obtenção do conforto térmico por meio da interação dinâmica entre o ambiente interno e externo, objetivando o menor consumo. Gallo (1994) por sua vez, expõe que arquitetura bioclimática não é abstrata, mas deve ser encarada como uma realidade posta e estreitamente conectada ao meio ambiente local. Beccali (2018), evidencia que mundialmente busca-se um resgate das soluções arquitetônicas tradicionais e que estas seriam capazes de

garantir o conforto térmico e a economia de energia ao edifício moderno.

A partir desses princípios, idealizou-se como objetivo principal deste trabalho identificar e avaliar estratégias projetuais que contribuam para o conforto térmico e eficiência energética em edificações de salas de aula destinadas ao ensino superior, para locais de clima subtropical úmido. Para isso, este trabalho propõe um estudo de caso, direcionado às primeiras salas de aulas projetadas e construídas pela Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), localizadas na cidade de Foz do Iguaçu-PR, onde serão avaliadas, através de simulações computacionais, soluções adequadas com base na arquitetura e no seu ambiente de inserção, condições climáticas, recursos disponíveis, minimização de impactos e conservação de energia.

Imerso nesse contexto, compreende-se que o projeto arquitetônico tem um papel fundamental na promoção de edificações salubres, confortáveis e sustentáveis que atendam às necessidades de futuros usuários. Quem o concebe deve ser capaz de encontrar uma gama de condições que favoreçam a proporcionalidade entre gasto energético e bem-estar térmico (TAYLOR; BROWN; RIM, 2021). Nesse propósito, as ferramentas de simulação são valiosos instrumentos, oportunizando o seu aprimoramento na etapa de planejamento ou, ainda, permitindo a busca de soluções para empreendimentos existentes. Porquanto, a sua principal vantagem está na possibilidade de analisar o desempenho térmico e energético de uma obra e comparar diversas alternativas (MIRANDA; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ; GONZÁLEZ-NAVA, 2021).

Mas a inexistência de normas ou padrões de referência centrados na configuração espacial da sala de aula conforme o período escolar, pode ser considerada um obstáculo (SINGH et al., 2019). A baixa qualidade ambiental interna de muitas edificações acadêmicas e o uso desmedido de alternativas ativas com repercussões em fatores econômicos, identificados por essa investigação, indicam a necessidade de análises mais cuidadosas, que abarquem estratégias passivas de projeto e estudos acerca dos diferentes climas. Nesse ponto é preciso reforçar que, em ambientes de ensino, as condições internas estão profundamente associadas à habilidade de abstração e a sensação de bem-estar dos usuários (CASTILLA et al., 2017).

Assim, a intenção de explorar soluções arquitetônicas, via simulação, para projetos de salas de aula situados em regiões de clima temperado úmido com verão quente, visando níveis adequados de conforto térmico e de eficiência energética, fundamenta-se na relevância desses requisitos no processo de transferência de conhecimento, aprendizagem e rendimento acadêmico.

Segundo Ferreira e Santos (2014), as condições físicas da edificação, os docentes e a didática são elementos que propiciam a estruturação da qualidade na educação. Dessa forma, o estudo de estratégias projetuais que objetivam proporcionar melhores infraestruturas acadêmicas é também uma forma de garantir esse direito social.

Concepções que buscam otimizar o desempenho da construção, para minimizar os impactos negativos sobre o ambiente e sobre os usuários ao longo de todo o ciclo de vida de

uma edificação, buscam ainda propiciar uma vida mais saudável e espaços melhores para quem os utiliza (MURTAGH; SCOTT; FAN, 2020). O conforto térmico, por exemplo, sugere a maneira como os usuários percebem o espaço, como reagem em contato com o meio e, ainda, influencia o consumo de energia diário (BAKMOHAMMADI; NOORZAI, 2020).

Práticas arquitetônicas consideradas sustentáveis, ou em outros termos, baseadas em conceitos bioclimáticos, empregadas na concepção de ambientes de ensino, objetivam diminuir o uso de recursos naturais não renováveis, melhoram as condições de bem-estar e de aprendizagem, diminuindo eventuais riscos à saúde, além de contribuir com o meio ambiente e terem efeito moral e educacional sobre a sociedade (BURGOS; GRIGOLETTI; PAIXÃO, 2015).

Sem dúvida alguma, um espaço sadio e confortável é essencial seja qual for a finalidade da construção, mas como visto, essa máxima se reforça em edifícios escolares em função dos seus efeitos na vivência acadêmica (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007). Isso posto, a relevância científica deste estudo está na possibilidade de orientar, através dos dados obtidos, projetos arquitetônicos de salas de aula pautados no conforto térmico e eficiência energética, auxiliando os profissionais do setor e os agentes envolvidos no planejamento dos espaços universitários para tomada de decisões conscientes, contribuindo assim no âmbito ambiental e educacional.

Cerca de 70 instituições públicas de educação superior estão localizadas em cidades brasileiras de clima temperado úmido com verão quente (INEP, 2022), e podem se valer, pelo menos parcialmente, dos resultados gerados por essa análise em projetos de reformas, adaptações e novos empreendimentos acadêmicos, para benefícios econômicos e de bem-estar de longa duração. Entretanto, é oportuno ressaltar que outros fatores, como o entorno urbano da edificação, por exemplo, devem ser considerados previamente à adoção indistinta das estratégias tratadas por essa pesquisa.

Os requisitos funcionais relativos às tipologias educacionais, a racionalização dos recursos, a diminuição dos custos de implantação e operação e a atenção para com o desenvolvimento sustentável e as questões ambientais, demandaram a elaboração de uma proposta capaz de atender múltiplos critérios. Assim, este trabalho resulta da estruturação de fundamentos teóricos, a partir da revisão bibliográfica existente, e práticos, através de um estudo de caso de uma edificação de salas de aula em construção na cidade de Foz do Iguaçu, contemplando as particularidades do clima subtropical úmido e similares.

As salas de aula possuem o papel fundamental de proporcionar bem-estar aos alunos, de facilitar o desenvolvimento de suas atividades e, acima de tudo, de influenciar positivamente no processo de aprendizagem (BERNARDES; VERGARA; MARTINS, 2020). Ao interpretar o espaço de ensino como elemento corresponsável pela excelência na formação do indivíduo, resta unicamente a responsabilidade de proporcionar estruturas adequadas para tal.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral dessa pesquisa é identificar e avaliar estratégias projetuais que contribuam para o conforto térmico e eficiência energética em edificações de salas de aula destinadas ao ensino superior para locais de clima subtropical úmido, especificamente, Foz do Iguaçu-PR.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, planeja-se:

- a) Estabelecer estratégias projetuais em prol do conforto térmico e eficiência energética em edifícios educacionais, de acordo com o clima subtropical úmido;
- b) Analisar comparativamente as soluções arquitetônicas adotadas pela UNILA em seu projeto de edificação acadêmica e as indicadas para o clima subtropical úmido de Foz do Iguaçu;
- c) Avaliar por meio de simulações computacionais, diferentes estratégias projetuais para salas de aulas em locais de clima subtropical úmido, visando melhores condições de conforto térmico e eficiência energética.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o propósito de fundamentar o levantamento de características arquitetônicas que contribuam para o conforto térmico e eficiência energética em salas de aula universitárias, serão retratados inicialmente, os espaços acadêmicos no decorrer da história, para em seguida abordar a importância do conforto térmico nessas tipologias e sua relação com os processos de ensino e aprendizagem. A revisão da literatura sobre esses temas, foi elaborada com o auxílio da fonte de dados *Web of Science* de tal modo que foram identificados, entre os trabalhos selecionados, os mais significativos em termos de conteúdo e abordagem, para integrar o conjunto bibliográfico - documental que serviu de substrato para a investigação.

Na sequência, serão apresentadas, mediante complementação através de estudos publicados na base de dados *Web of Science*, as principais estratégias projetuais que favorecem as questões de conforto térmico e eficiência energética, direcionadas ao clima subtropical úmido ou similares, considerando os espaços de educação, especialmente as salas de aula. Por fim, após essa observação, serão exploradas edificações educacionais de notoriedade nacional e internacional e as soluções arquitetônicas aplicadas por elas.

3.1. ESPAÇOS EDUCACIONAIS AO LONGO DA HISTÓRIA

Há múltiplas possibilidades de investigação que envolvem os espaços de ensino, considerando diversos olhares, perspectivas e abordagens. Esse recorte percorreu os principais fatos ligados à política, sociedade, cultura, educação e arquitetura escolar, os inter-relacionando e, assim, fornecendo recursos para a assimilação do universo retratado por esta pesquisa.

Este capítulo, em particular, abordará os espaços acadêmicos de maneira geral, mostrando a evolução dos edifícios e suas características ao longo do tempo, desde o seu planejamento, tendo em conta a influência das ideologias políticas, dos fatos históricos e das necessidades funcionais, passando pela preocupação com as questões estéticas e de bem-estar, e chegando às reflexões contemporâneas, quanto a teoria e realidade envolvendo essas edificações. Ao fim deste tópico, com o desenvolvimento da temática, espera-se fornecer informações para as discussões subseqüentes a respeito da importância do conforto térmico nessas tipologias construtivas.

3.1.1. Os Estudos que Tratam da História da Arquitetura Escolar

Por meio de pesquisa realizada na plataforma *Web of Science*, observou-se que as contribuições sobre a história da arquitetura escolar advêm principalmente das áreas de educação, seguidas por arquitetura e engenharia, bem como artes humanidades e tópicos correlacionados. Ao reunir os resultados da investigação inicial, notou-se uma tendência de aprofundamento em torno das peculiaridades que envolvem o ensino básico. A apuração revelou uma rede diversificada e multidisciplinar de pesquisadores, composta por educadores, arquitetos, historiadores e tantos outros, dedicados a retratar o universo emaranhado do qual os ambientes de ensino fazem parte.

Da área de pesquisa educacional deriva o maior número de estudos que compõem esse recorte. Neste grupo, parte considerável dos trabalhos tratam especificamente do Brasil. Bencostta (2019) debruçou-se sobre pesquisas realizadas no país entre os anos de 1999 e 2018 com foco na história da arquitetura e espaço escolar, identificando a preponderância de estudos voltados às instituições públicas e de ensino primário. Relevante destacar que a conclusão do autor corrobora o constatado por esta exploração, ainda que, neste caso, tenham sido utilizados artigos que englobam a realidade de outras nações.

Em outro estudo, Bencostta (2021) analisou os regulamentos voltados às construções de edifícios escolares infantis no Paraná, na primeira década do século XX. Seu artigo traz detalhes sobre o Ato nº 287, de 1884. Desta lei cabe ressaltar o Art. 4º por tratar-se especificamente da estrutura física dos prédios, com especificidades sobre o local de instalação, cômodos necessários e exigências sobre a metragem e configuração da sala de aula. O autor esclarece que as normas para concepção de escolas foram alteradas vagarosamente, impactando na adoção de novas tipologias arquitetônicas no decurso da reorganização do ensino primário e complementar, relatando o quão tardio foi a discussão brasileira no tocante ao universo escolar.

Silva e Muzardo (2015) igualmente se dedicaram à temática e exploraram a história da criação das primeiras escolas no Paraná até o ano de 1920, correlacionando as alterações sofridas no edifício com a qualidade do ensino. Os autores, ao estudarem o Ginásio Paranaense e a Escola Normal, expuseram contradições do sistema educacional no período republicano e afirmaram que, além do discurso em prol da educação, observaram inicialmente condições precárias de ensino, citando casas alugadas e em péssimas condições, com salas diminutas, sem assoalho ou forro, paredes com sujidades, com mobiliários escassos e inadequados, que serviam concomitantemente de moradia dos professores e de escola. Somente após a mudança de local e construção de prédio próprio é que houve avanços em termos de infraestrutura disponível. No entanto, apesar do caráter monumental, improvisos ainda podiam ser verificados através da tardia ligação da rede de água e esgoto e reformas necessárias pouco depois da

inauguração. Logo, apesar dos melhoramentos estéticos, a qualidade e funcionalidade dos edifícios contrariavam as manifestações políticas.

Ainda, seguindo nessa mesma linha de investigação, Ermel e Bencostta (2019) se propuseram a analisar comparativamente a arquitetura escolar do Paraná e Rio Grande do Sul nas três primeiras décadas do século XX, escolhendo, para isso, seis edificações. Os autores apontaram para uma grande diversidade nas construções escolares, e alegaram que essas diferenças expõem a complexidade dos programas e elementos simbólicos incorporados durante a Primeira República. As instituições analisadas tinham como características similares, a simetria volumétrica, a arquitetura eclética, a adaptação ao local de implantação e o cuidado para com as condições higiênicas. Atributos como monumentalidade e abundância de ornamentações eram aspectos de divergência frente a necessidade de disseminação rápida do ensino e podiam ser apreciados especialmente nos prédios localizados em áreas centrais. Em síntese, os autores concluíram que os edifícios, apesar de apresentarem uma espacialidade regional, invariavelmente carregavam significados e mensagens que os tornavam atrativos aos olhos do governo e usuários.

Em outro estudo, Ermel (2018), apurou a construção e história da edificação denominada “Aula Isolada Campo da Redenção”, primeira escola urbana de Porto Alegre. O autor listou detalhes do prédio, a citar a sua capacidade para 60 alunos distribuídos em duas salas de aula, a existência de um gabinete de professor, de uma sala de espera e local para intervalo dos alunos em dias chuvosos, relatou ainda, particularidades como a fachada simples, bem como a inexistência de sanitários internos. Ermel findou o artigo com a percepção da importância desse estabelecimento para o cenário da cidade ao longo do século XX, e relevância de sua arquitetura, com elementos significativos da cultura escolar do período.

Grimaldi e Almeida (2020), por meio das narrativas de estudantes, investigaram a percepção do usuário em relação a quatro instituições de ensino de Porto Alegre no período de 1940 a 1980, compreendendo o espaço físico como elemento de destaque nas memórias geradas durante o tempo de escolarização. Os autores concluíram que o ato de habitar o prédio escolar é imerso em sensações de confinamento, isolamento e restrição, mas também desencadeia sentimentos de acolhimento, proteção e referência.

Camargo (2019) examinou a produção acadêmica e o desenvolvimento das diversas trajetórias de pesquisa voltadas à arquitetura escolar do estado de São Paulo no século XIX, e observou que, apesar da desvalorização das construções desenvolvidas nesse período, sobretudo pela área de pesquisa focada na arquitetura, alguns estudos direcionados à educação expuseram uma variedade de empreendimentos escolares e apontaram a relevância das escolas estabelecidas entre 1870 e 1889.

Tal qual, Lima (2005) analisou dois períodos marcantes da história da arquitetura escolar de São Paulo traduzidos no trabalho do arquiteto, Francisco de Paula Ramos de Azevedo,

durante a Primeira República, e do arquiteto Hélio Duarte, no decorrer de 1930 a 1964, anos que foram marcados pela forte industrialização do país. O autor relata que as obras de Ramos de Azevedo demonstram um profissional em sintonia com o cenário internacional, porém, atento às especificidades de São Paulo. Detalha que as instituições de ensino projetadas por ele, eram compostas por salas de aula e administrativas ordenadas simetricamente por um eixo de circulação, com alas distintas para meninos e meninas, e incluíam, além desses ambientes, espaço para atividades físicas. Os prédios possuíam estética monumental, ornamentos neoclássicos e ecléticos, e foram construídos a partir de técnicas construtivas modernas para a época, representando a imagem que o governo desejava transmitir com as suas propriedades.

Lima (2005) menciona ainda que os projetos concebidos por Hélio Duarte refletem uma oposição assumida à tipologia arquitetônica anterior, nominalmente a produzida por Ramos de Azevedo, e uma transição em direção à arquitetura moderna. Descreve que os edifícios desenvolvidos por ele não eram padronizados, no entanto, contavam sempre com uma solução comum, ao incorporar as funções básicas de ensino, recreação e administração, setorizadas em blocos distintos e unidos por uma circulação ortogonal. Outros recursos empregados por Hélio Duarte e detalhados no artigo, foram as estruturas de concreto, que permitiram aberturas generosas na fachada; os telhados de amianto, por vezes escondidos por platibandas; os blocos de concreto vazados; os brises horizontais em concreto; os tubos em ferro, procurando dar ritmo a composição; e os fechamentos com orifícios circulares. Ao fim, o artigo retrata que o valor de ambas as experiências foi corresponder aos anseios do estado e demandas da sociedade por oportunidades igualitárias de educação, representadas por um número significativo de novas escolas.

Por último, ainda se tratando de Brasil, Paulilo (2019) identificou que a cultura material da escola se juntou à história das disciplinas para auxiliar o entendimento do que ocorre dentro do universo escolar, contribuindo inclusive para transformar o modo de se fazer e pensar a história da educação.

Prosseguindo, dentro dessa mesma área de pesquisa, outra parcela dos trabalhos ocupou-se da arquitetura escolar relativa aos países europeus e da América do Norte. Coeur (2003) retratou as relações, por vezes conflituosas e outras colaborativas, estabelecidas entre os liceus e a cidade de Paris. Por um longo período, essas edificações de ensino, assim como outros equipamentos comunitários, mantiveram-se completamente apartadas da vida urbana parisiense, com suas construções concebidas de modo a garantir esse afastamento. As próprias famílias tinham acesso a poucos ambientes próximos à rua, além de uma entrada exclusiva para fornecedores, limitada ao pátio de serviços. Mas o desenvolvimento da instituição estava atrelado aos recursos proporcionados pela pólis e, aos poucos, essa difícil relação foi se tornando pacífica e houve a abertura progressiva dos colégios. De fato, esse convívio tumultuado teve idas e vindas, dividido entre o fácil acesso proporcionado pela cidade e o desejo de isolamento.

Rasmussen (2021), através do estudo de uma escola dinamarquesa construída em 1970, explorou os diferentes modos de ocupação de um novo ambiente de ensino, sustentando que o surgimento da arquitetura escolar é um processo contínuo, que compreende particularidades materiais e imateriais. A instituição analisada foi fortemente influenciada pela escola de plano aberto originada nos Estados Unidos e Reino Unido. O projeto inicial, posteriormente modificado, era composto por blocos com salas de aula sem portas e seus respectivos jardins, onde as crianças aproveitavam os horários de intervalo. O *layout* também contemplava banheiros compartilhados e alas com ambientes para disciplinas especiais dispostas ao longo de um amplo corredor utilizado para ensino e horários de recreio. A autora comenta que, embora o modelo tenha sido alterado, essa tipologia com forte ligação entre o método pedagógico e a arquitetura alcançou grande parte desse sistema de ensino dinamarquês.

Grosvenor e Gorp (2018), focaram no papel dos arquitetos europeus de vanguarda na construção de uma nova sociedade na Inglaterra após a Primeira Guerra Mundial, onde o *design* da escola era tido como agente de mudança social. O artigo relata que as crianças, naquele momento, simbolizavam o futuro e eram consideradas propulsoras da modernidade. Assim, as edificações de ensino pós-guerra passaram a refletir a transformação pretendida através de uma arquitetura simples, flexível, minimalista e com o emprego de materiais de construção de ponta, onde os alunos pudessem imprimir a sua própria individualidade perante os princípios tradicionais.

Helpfenberger (2018) examinou os sistemas de aquecimento e ventilação de instituições de ensino suíças durante os anos 1830 e 1930, partindo do surgimento do primeiro regulamento que trata dessas construções e explicando como eles moldaram o significado histórico dos edifícios educacionais. A autora narra que as normas para construção de escolas surgiram a partir da solicitação de autoridades locais que argumentavam a falta de conhecimento dos construtores da época. Os manuais publicados em Zurique e que datam de 1835 e 1836, discorriam tecnicamente como medir, quais materiais empregar e como executar os prédios, assim como tratavam da distribuição dos ambientes e das crianças nas salas e controle da temperatura interna. Indispensavelmente, o programa de necessidades incluía duas ou três salas de aula, instalações sanitárias e de calefação, para as quais eram exigidos os melhores padrões construtivos, além de um ou dois apartamentos para docentes. Segundo a autora, os documentos normativos transformaram o cantão em precursor na construção de escolas na Suíça e exterior e os prédios em indicadores de progresso.

Em outra oportunidade, Helpfenberger e Schreiber (2019), discutiram o papel do edifício escolar na construção de uma nação unificada em países multilíngues como Suíça e Luxemburgo. Revelaram que no ano de 1836, em Zurique, foram criados protótipos em estilo clássico a partir dos manuais normativos para construção de escolas. Nenhum dos regulamentos tratavam da estética do prédio, mas reformulações posteriores recomendavam concepções mais

equilibradas e modestas, o que não significou a abolição dos ornamentos que distinguiam as edificações escolares das fábricas. As normas favoreceram uma certa padronização de qualidade tecnológica e estética que, por sua vez, atuaram no delineamento de uma identidade nacional, vislumbrada na importância da educação para o estado suíço. Já em Luxemburgo, críticas quanto aos espaços de ensino improvisados nas décadas de 1870 e 1880 impulsionaram a construção de edifícios exclusivos. Uma grande expansão também ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, substituindo os prédios destruídos na batalha por outros de arquitetura e aspectos construtivos semelhantes, porém adaptados à cultura local, expressando uma ideia de igualdade e unificação para a nação. As autoras concluíram afirmando que os prédios, em ambos os locais, eram recursos usados para definir a identidade nacional, eram propulsores do enraizamento de cidadãos, produzindo unidade entre eles e diferenciando-os, conforme conveniências sociais.

Burke e Dudek (2010), por meio da análise das experiências educacionais vivenciadas pelos discentes no interior da *Prestolee School*, Reino Unido, entre os anos 1919 e 1952, revelaram como as noções de tempo e espaço estão introduzidas no *design* escolar. Segundo essa análise, as instituições de ensino desse período consideravam a criança como um aprendiz passivo, que necessitava de controle e disciplina. Dessa forma, a arquitetura da edificação e seus mobiliários traduziam esse entendimento. Assim, as fileiras entre as carteiras duplas parafusadas ao chão e o número de alunos em cada sala de aula, variando entre quarenta e sessenta, eram pensados para permitir o atendimento e vigilância do professor. A área frontal da classe era destinada apenas à explanação, apresentações e circulação principal, e no corredor, o relógio controlava o tempo. Vidraças internas possibilitavam a supervisão do diretor e os espaços externos não eram projetados especialmente para o lazer da criança e geralmente derivavam de áreas residuais, pavimentadas e sombreadas. De acordo com o artigo, *Prestolee* não fugia à regra, mas vivenciou novas formas de relação entre os usuários e o ambiente escolar através dos experimentos em educação implantados pelo professor titular Edward F. O'Neill.

Kemnitz (2005) abordou o projeto arquitetônico incomum de uma escola primária para meninas desenvolvido por Hans Scharoun para a cidade de *Luenen*, construção que inspirou muitas discussões sobre este tipo de arquitetura na Alemanha Ocidental após o fim da Segunda Guerra Mundial. Conforme explanado no estudo, o arquiteto não aspirava organizar o tempo e espaço escolar, através do seu projeto de formas poligonais, mas sim, buscava favorecer a aprendizagem da criança, onde o bem-estar e o sentimento de identificação se sobrepunham a eficácia organizacional e tecnológica do espaço.

Na análise, a autora detalhou que as salas de aula, orientadas para sudoeste e sudeste, eram agrupadas e diferenciadas por faixa etária e refletiam, para Scharoun, o nível de desenvolvimento e consciência do aluno. Cada uma delas, além da própria classe, possuía um vestiário, uma sala de grupo e uma área ao ar livre, igualmente utilizada para práticas pedagógicas.

O formato heptagonal da classe permitia diversas configurações de *layout*, que iam desde a organização convencional, com a explanação defronte, até a disposição circular das carteiras. Havia ainda particularidades na permeabilidade interna entre os ambientes, bem como do pátio interno com o exterior, conforme a idade dos discentes. O fechamento do artigo expôs que o edifício, alvo de severas críticas na Alemanha, não atendeu às demandas governamentais por construções racionais, baratas e seriadas, e somente em 1980, quando dos debates sobre a qualidade de vida nas escolas e a estética dessas tipologias construtivas, é que a proposta de Scharoun teve sua arquitetura redescoberta.

Töpper e Isensee (2021), combinando casos norte-americanos e prussianos e a dimensão transnacional das normas inerentes, interpretaram a história da construção de escolas durante o século XIX sob a ótica da implementação de objetivos pedagógicos-administrativos. Os autores narraram que na Prússia, após a instituição de uma administração educacional municipal, a arquitetura dos prédios escolares passou a ser moldada por esses propósitos, que seriam determinantes para a quantidade de salas de aula ao longo do tempo. Descreveram ainda que, como a Prússia e os Estados Unidos possuíam fortes vínculos, especialmente no campo da educação, o sistema público de instrução estadunidense observou e inspirou-se no parceiro. No entanto, o país recorreu inicialmente a outro modelo pedagógico, onde as crianças eram divididas em pequenos grupos e atendidas por um monitor, demandando apenas de uma generosa sala de aula. Com o tempo, novas abordagens didáticas transformaram o *layout* das edificações, sendo que a mudança mais significativa foi o surgimento da escola graduada, onde os alunos foram diferenciados pela idade escolar. Ao fim, a leitura do artigo possibilitou um olhar mais abrangente sobre a multiplicidade de agentes envolvidos e com influência sobre os processos de construção de uma escola.

De maneira mais abrangente, Roof (2017) examinou a inter-relação existente entre os arranjos espaciais e sociais de manicômios, considerados aparatos primários do poder estatal, e de escolas públicas do século XIX nos Estados Unidos. Enfatiza que estruturalmente as instituições de ensino imitaram a conformação dos asilos, que eram frequentemente formados por um setor administrativo central, de onde irradiavam simetricamente as salas de recreação, capela, salas de aula, salas de trabalho, dormitórios e refeitórios, com corredores planejados de forma a descontinuar o fluxo de pessoas, criando assim estabilidade através de pequenos grupos. O artigo expõe que tal organização espacial intencionava replicar os controles da vida social e com o tempo pôde ser correlacionada com a planificação da escola pública.

Fechando o grupo associado à área de pesquisa educacional, Calvo-Sotelo e Marquez (2016) trataram das mudanças necessárias na tipologia tradicional da sala de aula universitária em virtude da atual noção de aprendizagem ao longo da vida, formal e informal. Os autores sugeriram a diversificação e flexibilização dos ambientes, enriquecidas pela continuidade

espacial e visual, através de panos de vidro e exclusão de paredes, garantindo assim uma articulação entre o interior e contexto exterior, inclusive sociocultural, de modo que o espaço acompanhe essas inovações no ensino.

Da área de pesquisa direcionada à arquitetura e engenharia deriva o segundo maior número de estudos. Nesse conjunto, Espinoza (2017) estudou a arquitetura escolar da Argentina, seus problemas e fórmulas, com o objetivo de distinguir as tensões contemporâneas que envolvem a tradição projetual desses espaços. A autora afirmou que tanto os obstáculos, quanto as soluções, se reprisam e articulam, reconhecendo a arquitetura escolar e as políticas públicas como associadas umas às outras, concluindo ser necessário resgatar as análises em torno dessa relação.

Gúrpile e Llorca (2018) analisaram em detalhe o colégio *Cuestas Blancas*, construído em Madrid no ano de 1965 e projetado pelo arquiteto Miguel Fisac, distinguindo sua estrutura e organização inovadora que o tornaram um edifício de referência na arquitetura escolar espanhola do período. Os autores detalharam que Fisac trabalhou os espaços agrupados por curso, formando conjuntos compostos por um banheiro, uma sala de professor, uma grande área central comum e duas ou três classes. O arquiteto havia concebido o projeto de tal modo, que era possível a incorporação, através da abertura de divisórias móveis, de uma das salas de aula a esse salão coletivo. Segundo eles, a intenção era flexibilizar os ambientes, permitindo trabalhos individuais ou em equipes maiores, de modo que estivessem em consonância com a pedagogia ativa, novidade naquele momento.

Em outro trabalho, Gúrpile, Martín Gómez e Rabgel (2016) identificaram os valores, contribuições e importância da Escola *Nuestra Señora del Recuerdo*, projetada por Luis Laorga, para a história da arquitetura espanhola, concluindo que essa instituição serviu de inspiração para outras posteriores. O artigo pormenoriza o projeto e descreve que, sob parâmetros racionalistas, a edificação foi estruturada na área elevada do terreno e possuía uma planta baixa com organização do tipo espinha de peixe, eixo de circulação central norte-sul, separando as áreas tumultuadas das silenciosas, e bloco central destinado aos ambientes de recepção e administrativos.

No mesmo estudo, os autores observaram na ala acadêmica, a distribuição térrea facilitava a operacionalização e propiciava o maior contato com o exterior. Os autores narraram que as dimensões das salas de aula não atendiam o recomendado por instituições internacionais, no entanto, a concepção primava pelo conforto dos discentes, através do pé direito elevado, ventilação cruzada, orientação sul, enriquecida por uma fachada envidraçada protegida por cortinas externas móveis, e lado norte protegido por amplos corredores abertos. Segundo eles, a obra, inovadora, foi apontada como de grande relevância dentre as construídas nos anos 50 e 60 em Madri.

Aydinlik e Pulhan (2019), através de seu trabalho, concluíram que o sistema educacional e os edifícios escolares do Chipre tiveram um papel significativo no país, em

determinado período para a propagação do nacionalismo e, em outro, para divulgação do internacionalismo na metade do século XX. Conforme os autores, as características arquitetônicas das escolas foram utilizadas para estimular a construção de uma identidade nacional, onde os estilos neo-grego, georgiano ou inglês-gótico predominavam como padrão tradicional e histórico em nome do nacionalismo. Por volta de 1930 e com mais intensidade após a Segunda Guerra, as tendências internacionais ganharam todo o território e logo foram regionalizadas e adaptadas às escolas.

Prédios funcionais e de volume simples foram erguidos, novos materiais introduzidos, como o concreto e o vidro, dispositivos de sombreamento foram incorporados, e elementos locais, como o arenito e as pedras de rio, foram moderadamente empregados, reforçando a conexão entre obra e entorno. Entretanto, de acordo com o artigo, essa arquitetura escolar internacional igualmente não foi capaz de unir as comunidades, sendo derrotada por conflitos étnicos internos, o que culminou na divisão da ilha em 1974.

Lee (2013) avaliou os primeiros exemplos de arquitetura escolar do ensino médio de Seul e seus desenhos padronizados lançados pelo Comitê de Educação no ano de 1975. Sua pesquisa possibilitou constatar que, nessa época, as salas de aula passaram a ter um formato mais retangular, propiciando um melhor aproveitamento da luz solar; que o número de pavimentos, a altura dos ambientes e o peitoril das janelas foram padronizados; e que os volumes e exterior do prédio assumiram uma estética mais funcional, privilegiando as condições de iluminação. Através de sua análise, o autor almejou impactar positivamente a história de futuras instalações de ensino na Coreia.

Novamente, concluindo esse grupo, Lee (2014) revisou com o auxílio dos arquivos nacionais da Coreia, as características das salas de aula especializadas das escolas secundárias governamentais no período da Era Colonial. Segundo ele, sob influência japonesa, salas para a disciplina de ciências, com ambientes específicos de preparação, maquinário, amostras e teorias e demonstrações, foram caracterizadas como essenciais nas escolas para meninos. Salas especiais para assuntos domésticos receberam tratamento similar nos colégios para meninas. E, além dessas, a disciplina de artes igualmente recebeu salas especiais para pintura, incorporadas nas instituições de ambos os gêneros. O autor descreveu que essas aulas especializadas foram as primeiras introduzidas na arquitetura escolar do país.

Na coleção que compreende os estudos voltados às artes humanidades e tópicos correlacionados, uma matéria do site *In Situ - Revue de Patrimoines* (2021) abordou os estudos dedicados aos liceus franceses do século XIX a XXI. A publicação descreveu serem edificações ainda mal conhecidas, identificadas e, algumas vezes, mal compreendidas, embora o número crescente de pesquisas recentes. Dentro dessa mesma área de pesquisa e temática, Dejob e Bessot (2021), debruçaram-se sobre os conjuntos documentais regionais e afirmaram sua

importância para estudo do patrimônio arquitetônico dessas escolas secundárias. Segundo as autoras, tais documentos gráficos estão mais presentes nas comunicações institucionais e são variados. Reportagens audiovisuais, desenhos feitos por arquitetos, brochuras e fotografias, eventualmente publicados para celebrar inaugurações, cerimônias e pedras fundamentais, fazem parte desse rol. Além deles, exposições com vistas a valorização arquitetônica dos prédios e arquivos ligados à concursos e ao gerenciamento dos projetos, compõem essa listagem de relevância para o entendimento das contribuições deixadas pelos liceus. Maurer (2021), também explorou a arquitetura dos colégios de ensino médio da cidade de Metz, na França, entre os anos 1803 e 2020, buscando evidenciar sua história, o contexto social e político e sua evolução. O autor relatou que a adaptação dos espaços educacionais parece estar sempre em marcha para atender novos padrões e explicou que, atualmente, parte das escolas de Metz estão sob proteção patrimonial e parte não, ressaltando que o assunto ainda carece de reflexão para a devida valorização desses imóveis.

Ainda dentro da área artes humanidades e tópicos correlacionados, Karahmadi, Kiani e Sichani (2020), objetivaram determinar as condições históricas, políticas, culturais e sociais que influenciaram o surgimento de escolas modernas em estilo europeu na cidade de Isfahan - Irã, entre os séculos XIX e XX, de modo a assimilar e comparar a sua arquitetura. Encerram seu artigo relatando que, durante esse período, as instituições de ensino acabaram assumindo características heterogêneas, combinando o estilo primitivo almejado pelo governo, o ocidental trazido por missionários franceses e ingleses e o tradicional requerido por mestres nativos, em uma tipologia arquitetônica própria e integrada.

Khodabakhshi, Foroutan e Samiei (2016), por meio do estudo de três instituições de ensino, *Sepahsalar School*, *Darolfunoon* e *Alborz High School*, procuraram reconhecer as transformações ocorridas na arquitetura escolar iraniana. A pesquisa apontou que o sistema educacional foi influenciado tanto pelo modelo político e social, quanto pelo fenômeno de globalização, tendo diversos marcos entre os períodos nomeados como tradicional, transitório e moderno. As escolas que possuíam no primeiro ciclo, espaços para cerimônias religiosas, grandes áreas multifuncionais e ambientes que contemplavam o viver, o ensinar e o aprender, iniciaram um processo de transmutação entre a tradição e a modernidade, momento em que surgem os primeiros indícios de alteração na tipologia arquitetônica, até a completa mudança, através de novos métodos de ensino, materiais e arquitetura contemporânea, onde o clássico pátio central foi completamente substituído por uma conformação linear. Em conclusão, os autores salientaram que diferentes sistemas educacionais sempre requerem novas configurações espaciais.

Terminando esse grupo, Fiorito (2012), ao tratar das escolas secundárias argentinas em três momentos distintos, afirmou que as edificações simbolizaram o esforço do governo em estabelecer uma percepção de cidadania social e uma sensação de pertencimento a

uma nação uniforme. De acordo com a autora, uma das maneiras empregadas para se galgar da ideologia à expansão do território foi a instituição do ensino médio nas terras colonizadas, utilizando-se da educação como fórmula para o crescimento, desenvolvimento e modernização do Estado.

Relativamente à área de pesquisa focada nas ciências sociais e tópicos correlacionados, Brasil e Silva (2018) tinham como objetivo explorar a arquitetura escolar e sua interferência nos usuários e, para isso, analisaram o processo de projeto arquitetônico escolar. Foi observado que, apesar de existirem recomendações governamentais quanto à metodologia para concepção de escolas, cada uma delas apresenta necessidades intrínsecas, imposições locais e sobretudo projetos pedagógicos diversos, concluindo que padrões construtivos não são os melhores recursos para sanar os obstáculos atinentes a essa tipologia arquitetônica.

Incluído na área de pesquisa dedicada à religião, o trabalho de Watters (2020) abordou os edifícios escolares católicos escoceses edificadas até 1872 e desafiou a narrativa de historiadores da educação, que afirmavam que tais construções eram rudimentares. Verificou-se que essas instituições foram eliminadas dos relatos que tratam da história da arquitetura, não em função de sua simplicidade, mas sim, em consequência da falta de arquitetos renomados e de doadores abastados envolvidos na execução das obras. Ela relata que as edificações católicas mais antigas iniciaram sim em espaços temporários e improvisados, até a construção das primeiras escolas personalizadas em 1817. Por último, menciona que os vestígios visuais desse período são limitados e que grande parte das edificações analisadas foram demolidas, decorrentes principalmente de um programa de substituição dos prédios antigos por novos em defesa do progresso educacional.

E em conclusão, inserida na área de pesquisa relacionada à ciência e tecnologia, último conjunto elencado nesta análise, a investigação de Oliveira e Chaves Junior (2020) objetivou alargar a compreensão em relação à produção relacionada ao ensino secundário paranaense durante os anos 1942 e 1961. Foi destacada a quantidade expressiva de pesquisas dedicadas à temática e as escolas públicas, em detrimento a outras categorias de ensino e outros modelos de administração, percebendo que estas, certamente, auxiliam a assimilação do assunto a partir de diversas perspectivas e contribuem para a formação da memória.

A síntese dessa apuração, respectiva a essas seis áreas de pesquisa (educacional; arquitetura e engenharia; artes humanidades e tópicos correlacionados; ciências sociais e tópicos correlacionados; religião; ciência e tecnologia), sinaliza para um interesse recente pela arquitetura escolar e sua história, mas igualmente escancara que as investigações que se ocupam das minúcias das tipologias universitárias são escassas. Dentre os resultados, evidencia-se a significativa parcela de estudos sobre o ensino básico e secundário relativamente às demais modalidades, da mesma maneira como observa-se uma predisposição para as instituições públicas, em comparação às outras categorias, corroborando, apesar do recorte distinto, as conclusões

apresentadas por Oliveira e Chaves Junior (2020). A compilação de todos os grupos comprova quão amplo e variado é esse campo de estudo e deixa claro um extenso horizonte inexplorado e intrigante disponível para novas abordagens.

Em termos de uma prévia sobre as características físicas e estéticas de tais tipologias, de maneira geral, percebe-se que, salvo tentativas isoladas, o *layout* da sala de aula manteve-se praticamente inalterado desde o seu surgimento. A conformação dos espaços tem se mostrado fator de relevante influência nas condições térmica internas, intervindo, por consequência, na percepção dos alunos (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015). Todavia, a configuração espacial das escolas permanece, simplesmente incorporando pequenas variações e adições contemporâneas, como uma receita de sucesso que contenta a todos.

Verifica-se ainda, que o espaço físico é sugestionado pela ação de diversos atores, muitas vezes apartados da vivência escolar, e que as instituições de ensino foram e continuam sendo empregadas na unificação e identificação de nações e governos, como um aparato administrativo. Com esse apanhado e conforme apresentado adiante, nota-se que a importância da educação para evolução da sociedade, em certos momentos, vai ser colocada em segundo plano. A questão do espaço físico, funcionalidade, características estéticas e outros aspectos, diretamente relacionados ao projeto de tipologias destinadas ao ensino universitário carece de uma análise mais aprofundada em termos de evolução histórica, chegando assim à diretrizes que sejam mais adequadas ao presente, à realidade educacional e pedagógica atual, conforme o que será apresentado no próximo item.

3.1.2. Origem e Evolução dos Espaços Destinados ao Ensino

Em todos os povos, a aprendizagem se inicia dentro do ambiente familiar. São do Egito e datam do século XXVII a.C. os primeiros registros históricos sobre ensinamentos, referindo-se a princípios morais e comportamentais que, em forma de conselhos dirigidos do pai ao filho ou do mestre ao discípulo, tratavam do modo de vida próprio das castas dominantes e versavam sobre a transferência do conhecimento entre as gerações. No período compreendido entre os séculos XVI a XI a.C., despontam relatos sobre a instrução intelectual e a propagação das escolas, destinadas exclusivamente às principais famílias, nobres e funcionários egípcios.

Apesar disso, os testemunhos escritos mais precisos sobre o surgimento da escola do alfabeto, considerada uma das grandes mudanças na história da Humanidade, são da Grécia e remontam do início do século V a.C.. O desenvolvimento da democracia daquele período proporcionou que a educação, até então exclusiva à elite, se abrisse a todos os cidadãos livres, resultando na rápida difusão da escrita e em uma profunda alteração dos ideais educativos. As

escolas até aquela fase eram privadas e evoluíram por intermédio dos subsídios financeiros de particulares, de soberanos e de cidades, mas pouco a pouco, se transformaram em instituições do Estado e passaram a atingir, para além das crianças livres, meninas, pobres e até mesmo os escravos (MANACORDA, 1992).

Os métodos de ensino seguiram evoluindo, novos conteúdos foram lentamente incorporados e nesse ínterim despontam duas iniciativas que, para alguns historiadores, são as progenitoras do que viriam a ser as universidades. Em 387 a.C., o filósofo Platão instituiu em Atenas o que chamaria de “academia”, onde ensinava Dialética, Geometria, Política, Metafísica e Ginástica. Anos depois, em 335 a.C., o também filósofo Aristóteles fundou o *Lykeion*, onde explanava sobre Lógica, Física, Metafísica, Retórica, Política e Literatura (MAHLER, 2015).

Com o advento do Cristianismo no século I, a contemplação à Deus passou a integrar o processo de instrução. Monastérios, seguidos por escolas paroquiais, presbiterianas, monásticas, monacais e outras que as sucederam, se dedicavam principalmente a formação de eclesiásticos, mas não se limitando a estes. Com a religião, surgiu a necessidade de controlar o saber para com isso favorecer e multiplicar a doutrina, mas o grande volume de novos conhecimentos e campos de estudos acabou se estendendo para além das estruturas da Igreja. É neste contexto que, de forma incipiente, se regulamenta a profissão de mestre (MAHLER, 2015).

Por conseguinte, o progresso econômico, social e cultural advindo do renascimento urbano, transformou as relações de trabalho e fomentou a criação de corporações de ofício denominadas *universitas*, onde pessoas com a mesma atividade agrupavam-se e, desta forma, procuravam defender seus direitos. Uma dessas unidades produtivas era formada por mestres e estudantes que se valiam da associação para afirmar sua força e alcançar alguma autonomia ante às autoridades religiosa e civil (BUFFA; PINTO, 2016). Com o tempo, renomados professores atraíram um número crescente de alunos e, desta maneira, impulsionaram interesses recíprocos. A relação intensa entre esses dois atores, própria das corporações de ofício, organizou fundamentalmente a universidade medieval (MAHLER, 2015).

Os primeiros esforços para constituição e estruturação de uma universidade aconteceram na Europa. Bolonha em 1088, Paris em 1150, Oxford em 1167 e Cambridge em 1209, fazem parte de um período particular desse processo. Contudo, a iniciativa não implicou em sua existência como equipamento urbano e não houve qualquer associação física com o território, o que aconteceria somente mais tarde, com a ampliação das atividades (CALDERARI, 2017). Durante a Idade Média, a ênfase era dada à educação, sendo irrelevante o ambiente onde essas práticas aconteciam (FRANDOLOSO, 2001). Como não existiam imóveis com a finalidade exclusiva de abrigar essas atividades, os locais usados, geralmente improvisados, possuíam ventilação e iluminação insuficientes e tinham poucos e inadequados mobiliários (BUFFA; PINTO, 2016).

A criação de uma universidade acontecia de modo espontâneo, quando por vontade do poder local ou escola católica, e através da transferência de uma instituição precedente.

Nessa época, a Igreja implementou a concessão para ensinar e os salários, vinculando os mestres como funcionários eclesiásticos ou principescos, procurando novamente reter o controle sobre a instituição de ensino medieval. Assim, o conceito de universidade foi paulatinamente se estabelecendo com o apoio dessa entidade, que inclusive cedia suas estruturas para a realização de exames e assembleias (MAHLER, 2015).

Foi apenas no século XV, com o crescimento e urbanização das cidades, que os encarregados pelo ofício efetivamente passaram a almejar prédios próprios. Essa transformação mudou as características dos espaços de educação, com a substituição das simples salas alugadas por edificações com local e propósitos determinados (BUFFA; PINTO, 2016). As primeiras construções eram de baixa qualidade, resumiam-se a edifícios compactos, de volume único, pequenos e impróprios, espalhados pela cidade e, em consequência de sua precariedade, foram varridos da história que trata do advento dos edifícios educacionais (CALVO-SOTELO; MARQUEZ, 2016). Com o tempo, o novo ambiente passou a ser suntuoso e mudou não só as condições para a realização da atividade, mas também o próprio ato de ensinar e a relação entre professor e aluno (BUFFA; PINTO, 2016).

O Palácio de Archiginnasio de Bolonha, construído em 1563, foi representante da tipologia arquitetônica do edifício universitário. Projetado com visual imponente, dispunha de galerias, capela, salas de aula, salas de professores e auditórios acadêmicos. Era dividido em dois andares, sendo o superior destinado a dez salas de aula, de tamanho semelhante, distribuídas de forma linear, com outras duas salas maiores destinadas às aulas magnas em ambas as extremidades. Esses espaços eram conectados por um corredor estreito e longitudinal, cujo objetivo único era ligá-los ao pátio interno. A sala de aula possuía planta retangular e volume cúbico, era estruturada por paredes sólidas e opacas, promovendo um recinto delimitado, fechado física e visualmente e isolado do ambiente circundante imediato. Assim, a tipologia arquitetônica da sala de aula tradicional se solidificou com a construção dos primeiros espaços destinados ao ensino superior (CALVO-SOTELO; MARQUEZ, 2016).

A existência material da universidade deu origem a algumas formas de organização espacial. Em decorrência de um número crescente de alunos, os primeiros espaços adquiridos pelas instituições francesas foram aumentando progressivamente através da compra de novas propriedades, frequentemente adjacentes a igrejas, produzindo uma configuração semelhante a um bairro universitário (MAHLER, 2015).

Os típicos edifícios universitários europeus estavam entremeados na cidade, apresentavam uma planta baixa quadrangular combinada a um pátio central, comumente ladeado por arcadas, e seguiam o padrão de outras construções da urbe, incluindo, além disso, características como simetria, rigor estético e opulência. Na França, Espanha e Itália, havia ainda os palácios urbanos de formato quadrangular irregular ou regular enclausurado, que originalmente foram usados pelas escolas catedrais e que, com o tempo, foram adquiridos e passaram a abrigar

o ensino superior (MAHLER, 2015). Em praticamente todos os países da Europa, o território da universidade era definido por suas edificações e não por um pedaço de terra murado e afastado da dinâmica urbana (BUFFA; PINTO, 2016).

O fim do feudalismo também marcou a origem da universidade em sua concepção contemporânea. A laicização do ensino e aprendizagem obtiveram importância e a ciência não mais operava a favor da Teologia. A educação ganhava o reconhecimento, tanto do setor privado, quanto do serviço público (MAHLER, 2015). A universidade alcançava prestígio na sociedade e sua inserção física em escala monumental foi usada para que ela se tornasse proeminente dentro da malha urbana (CALDERARI, 2017).

A universidade foi se organizando em edifícios isolados em decorrência da localização do que adquiria ou construía. Necessitando afirmar-se, a instituição procurou respaldo no contexto civil que, percebendo a importância das relações que se iniciavam à volta desses prédios, a atribuiu predicados de nobreza, grandiosidade e tradição. Como desdobramento, houve a sucessiva relevância do entorno (MAHLER, 2015).

A partir do século XVI até o século XVIII, o pátio fechado foi se abrindo gradualmente e as exuberantes edificações de ensino passaram a dialogar com a cidade, através de uma arquitetura carregada de novas representações, simbolizando a substituição dos valores religiosos, mas ainda enraizadas a estes. As mudanças pedagógicas resultantes do novo paradigma, tornaram os programas arquitetônicos mais complexos com a inserção de novos recintos, como laboratórios científicos, espaços esportivos e observatórios astronômicos (MAHLER, 2015).

Com o início das grandes viagens marítimas e da colonização, as universidades ganharam também o Novo Mundo. Na América Espanhola são criados, em 1538, em São Domingos e, em 1551, em Lima e México, os primeiros estabelecimentos de ensino superior. Não obstante, essas instituições incipientes somente sublinharam a formação do Império hispânico e poderio da Igreja Católica. Nesses locais não se desenvolviam pesquisas e não era permitido preservar ou ocupar-se da cultura nativa, sendo que o objetivo era o ensino da Filosofia e Teologia à elite (MAHLER, 2015).

Na América do Norte, a colonização foi pautada pelo comprometimento com a educação, que podia ser percebido através da grandeza das edificações de ensino em comparação a outras estruturas civis (MAHLER, 2015). Na América Latina, o Brasil foi uma exceção, ficando limitado às longínquas universidades de Coimbra e Évora em Portugal (MENDONÇA, 2000).

No final do século XVIII, teóricos do Estado e da educação, políticos e indivíduos ativos aderiram a debates relacionados ao Estado, cidadania, cidadão e ensino e transformaram a maneira como a instrução era percebida em face da formação da sociedade almejada (HELFENBERGER; SCHREIBER, 2019). Nesse período, a Alemanha foi protagonista na idealização da universidade moderna *strictu sensu*, integrando ensino e pesquisa, e instaurando um

sistema vanguardista de produção científica e inovação pedagógica sob a forma de trabalhos em grupo por meio de seminários (MAHLER, 2015). E apesar de despontarem variações no arranjo espacial do edifício universitário, a configuração arquitetônica da sala de aula se manteve (CALVO-SOTELO; MARQUEZ, 2016).

A cidade prosperava, a demanda pela educação se intensificava e a difusão do conhecimento vivenciava mudanças. Mas a proximidade da universidade com a cidade fez florescer relações controversas. Em Paris, conforme o desenvolvimento da metrópole evoluía, as escolas ficavam cada vez mais cercadas pelos inconvenientes da dinâmica urbana. Aos poucos elas foram tragadas pela expansão da pólis e suas condições de salubridade tornaram-se insatisfatórias, posto que o barulho e a poluição começaram a interferir no processo de instrução. Além disso, os terrenos cada vez mais escassos e caros, tornaram impraticável atender a demanda crescente pela educação. O sonho era fugir para o campo, onde se teria ar puro e tranquilidade, contudo isolar-se igualmente era problemático, dispendioso e ainda era necessário renunciar às facilidades de acesso proporcionadas pela localização central (COEUR, 2003).

Em meio a isso, durante o período da Primeira Guerra Mundial, na Europa e Estados Unidos, houve um segundo experimento direcionado a remodelar a formação e estruturação do espaço universitário. As atividades passaram a ser concentradas em um local único, autossustentável, isolado e com regras próprias, protegido da rotina citadina. Nesse momento também ocorreu uma ruptura completa com a igreja, passando a predominar o emprego da ciência no ensino e pesquisa em detrimento à crença religiosa (CALDERARI, 2017).

As universidades estadunidenses foram pensadas para um ensino integral e idealizadas como microcidades independentes, por vezes extensas e fechadas, contendo tanto ambientes acadêmicos como dormitórios, refeitórios e áreas recreativas. Localizavam-se preferencialmente nos limites da cidade ou no campo, aspirando em todo caso uma paisagem campestre, mesmo que para isso tivessem que simulá-la quando eventualmente instaladas na urbe, e eram implementadas como verdadeiros laboratórios de planejamento urbano (BUFFA; PINTO, 2016). Esse traço fundamental das instituições como pequenas comunidades em si mesmas, inicialmente tinha como objetivos, a rápida ocupação das grandes áreas recém colonizadas e a criação de vilarejos impulsionados pela educação (MAHLER, 2015).

O território da universidade expandiu-se afora dos limites do prédio e passou a ser representado por uma grande área projetada, o campus (BUFFA; PINTO, 2016). Este reuniu todas as instalações em um espaço único, onde a natureza tinha papel fundamental, apartando o ambiente urbano do local destinado exclusivamente à rotina universitária. A nova configuração espacial conferiu identidade e ressignificou as inter-relações e os atributos culturais próprios da instituição (MAHLER, 2015). Todavia, o distanciamento intencional, característico nesse modelo de planejamento, iniciou também um processo de segregação física e social entre a universidade e a cidade (CALDERARI, 2017).

Mesmo assim, o conceito de campus norte-americano estava firmado e a ideia propagou-se pelo mundo (BUFFA; PINTO, 2016). Foi exportada para a Europa (MAHLER, 2015) e, a partir de seus centros econômicos e culturais, essas propostas foram gradativamente difundidas e implantadas em países emergentes, como o Brasil (FRANDOLOSO, 2001).

Consequente, a terceira investida com relação à concepção e configuração do espaço universitário despontou no cenário da América Latina durante a Segunda Guerra Mundial, onde explorou-se o compêndio do urbanismo moderno, colocado em prática nas denominadas cidades universitárias. A conformação do espaço pretendia a autossuficiência e era extremamente funcional, com a repetição ou correlação de características físicas gerais e setorização das áreas de conhecimento (CALDERARI, 2017). A replicação do modelo de campus norte-americano ajustou-se às individualidades de cada região e país, por meio de mudanças na linguagem arquitetônica, na distribuição dos prédios ou através da preservação de elementos genuínos (MAHLER, 2015). O processo de rompimento com o espaço social experimentou então seu auge (CALDERARI, 2017).

Mas para entender o contexto em que as cidades universitárias foram experienciadas nos países Latino-Americanos, notadamente no Brasil, é necessário iniciar essa reflexão na época da colonização. No país, as evidências incipientes de uma arquitetura escolar apareceram com a vinda da Companhia de Jesus em 1549. A intenção era transmitir a fé católica aos nativos e assim obter trabalhadores para a Coroa Portuguesa. A estrutura resumia-se a cômodos pequenos para até 25 alunos, dentre os quais estavam índios e filhos de colonos. (CARVALHO, 2009). Os jesuítas, com a anuência do Rei de Portugal, tiveram a incumbência de estabelecer os primeiros colégios por meio de missões no litoral e interior da Colônia, auxiliando o Estado com a catequização dos índios e exploração do território, e em troca receberam o direito de gerir as instituições por eles criadas bem como de administrar outros órgãos de relevância naquelas comunidades (DANTAS, 2020).

Os primeiros cursos de ensino superior foram igualmente fundados na Bahia em 1553 pelos membros da Companhia de Jesus (CUNHA, 2000). Tinham como objetivo um ensino humanista e não a preparação de profissionais, já que a sociedade do período se organizava em torno da agricultura e trabalho escravo (MAHLER, 2015). Era ofertada a formação em Artes e Teologia aos filhos de funcionários públicos, senhores de engenho, criadores de gado e artesãos (CUNHA, 2000).

Todavia, a criação de universidades não aconteceu de imediato, enfrentando a resistência, tanto de Portugal, em função de seu método de colonização, quanto da própria elite brasileira que mandava seus herdeiros estudarem na Europa e não enxergava propósito em sua constituição (FÁVERO, 2006). Os lusitanos desencorajavam e até proibiam a instalação dessas instituições no país, temendo os movimentos revolucionários e como recompensa, concediam bolsas de estudos, principalmente em Coimbra, para os descendentes de colonos (CUNHA, 2000).

Assim, a coroa mantinha intencionalmente a situação de dependência da colônia para com esta universidade (MENDONÇA, 2000).

Referencial na memória do ensino superior no Brasil, é relevante expor que a academia Portuguesa formou grande parte dos missionários jesuítas e da elite brasileira. A instituição foi conhecida por suas constantes transferências, com idas e vindas entre as cidades de Coimbra e Lisboa, fato que colaborou para que ela fosse desprestigiada na história das universidades da Idade Média (MAHLER, 2015).

Em terras tupiniquins, os primeiros cursos para formação de profissionais liberais surgiram somente no período em que o Brasil foi sede da Monarquia. Em 1808, por meio de Decreto, foram fundados o Curso Médico de Cirurgia na Bahia e a Escola Anatômica, Cirúrgica e Médica no Rio de Janeiro. Dois anos depois, após a institucionalização da Academia Real Militar e ligado a ela, foi criado o curso de Engenharia (FÁVERO, 2006). Abaixo, uma litografia e uma aquarela esboçam as fachadas dos prédios que abrigaram as duas primeiras iniciativas em ensino superior no país (Figuras 3.1 e 3.2).

Figura 3.1. Litografia do Colégio Jesuíta onde foi instalado o Curso Médico de Cirurgia



Fonte: Memória da Administração Pública Brasileira [18--?].

Figura 3.2. Aquarela do Hospital da Misericórdia que acomodou a Escola Anatômica, Cirúrgica e Médica



Fonte: Memória da Administração Pública Brasileira [18--?].

A origem dessas instituições, em geral, estava atrelada a preocupação com a defesa militar da colônia e estabelecimento de uma infraestrutura mínima para a então sede da coroa (MENDONÇA, 2000). Nesta época, os jesuítas já haviam sido expulsos do país, encerrando um capítulo na história da educação (CARVALHO, 2009).

As academias foram se multiplicando e surgiram cursos de Economia, Agricultura, Química e Desenho Técnico, na Bahia; o Laboratório de Química e o curso de Agricultura no Rio de Janeiro; e ainda, foram instituídos em Pernambuco, Matemática Superior; em Vila Rica, Desenho e História e em Paracatu, Retórica e Filosofia (MENDONÇA, 2000).

Esses cursos se configuravam como cátedras isoladas, de aspecto simples, contando apenas com um professor e funcionavam em locais improvisados, apesar da diversidade de instituições econômico-financeiras, administrativas e culturais criadas naquele momento.

(CUNHA, 2000). As aulas eram ministradas em paróquias, em ambientes fechados, em casas de professores ou em espaços cedidos e alugados, sem maiores cuidados com as condições de conforto, iluminação e circulação de ar (CARVALHO, 2009).

Posteriormente, o período após a Independência foi marcadamente um momento de estruturação do Estado Nacional (DANTAS, 2020). A educação, que era tida como solução para a ignorância e inexistência de bons costumes da população em crescimento, passou a fazer parte dos projetos do governo imperial (FRANÇA, 2019). Em 15 de outubro de 1827, Dom Pedro I promulga a chamada Lei Geral do Ensino, na qual ordenou a criação das escolas de primeiras letras em todas as cidades, vilas e lugares mais populosos do Império (BRASIL, 1827). Essa arquitetura escolar foi aplicada para unificação do território nacional (BRASIL; SILVA, 2018).

Nesse mesmo ano, são fundados cursos de Direito no Mosteiro de São Bento em Olinda e no Convento de São Francisco em São Paulo, arrematando, conjuntamente com Medicina e Engenharia, a trindade do ensino superior profissionalizante que predominou no Brasil por muito tempo (CUNHA, 2000). Mas ainda que houvesse um entusiasmo progressivo na educação e uma crescente de cursos, os pleitos pela estruturação de uma universidade no país foram invariavelmente rejeitados pelo governo e parlamento durante os dois períodos imperiais (MENDONÇA, 2000).

Anos mais tarde, as transformações econômicas e institucionais advindas da Proclamação da República, em 1889, fizeram aumentar a procura por um diploma. Os interesses da população eram diversos e iam desde a busca por um bom desempenho nas atividades políticas, o prestígio, a preocupação com a manutenção do poder, até o desejo de melhores condições de vida. Contudo, foi somente após a Constituição e as reformas educacionais de 1891, somados aos intensos debates acerca da educação superior, a facilitação das condições para ingresso e, principalmente, a maior demanda por um título, que houve um aumento expressivo no número de academias. De 1891 a 1910 foram criadas 27 unidades (CUNHA, 2000).

A valorização do ensino e as críticas feitas por higienistas da época nos primeiros anos da República quanto às condições precárias dos locais de ensino, fizeram emergir no governo uma preocupação com a construção de prédios específicos para esta finalidade (CARVALHO, 2009). Nesse período foram projetados os primeiros edifícios destinados exclusivamente à educação, com características neoclássicas e destacados na paisagem (BRASIL; SILVA, 2018).

Nessa época, a arquitetura escolar surgiu como uma tipologia específica a ser aperfeiçoada e vários regulamentos e normas foram amplamente divulgados pelos veículos especializados na área. Um deles, talvez o mais famoso, foi publicado na França em 1880 e versava sobre o arranjo das salas de aula, disposição e *design* ideal dos móveis, discorria sobre a ventilação e iluminação naturais, e se atinha a detalhes de como organizar a separação entre meninos e meninas em caso de salas mistas. O número crescente de leitores fez com que esses

conhecimentos fossem bastante expandidos, inclusive no Brasil e, sobretudo, em São Paulo. Desse modo, a arquitetura escolar do período republicano, quer na forma ou função, foi fortemente sugestionada pelas tendências europeias. O intuito da população brasileira era, de alguma forma, associar-se aos princípios educacionais disseminados por lá (LIMA, 2005).

Em 1911, foi instaurada a lei orgânica do Ensino Superior e do Fundamental na República, também conhecida como Reforma Rivadávia Corrêa, na qual estabeleceu-se o ensino livre e retirou-se da União o monopólio da criação de instituições de ensino superior, equiparando os cursos estaduais e privados aos dirigidos pelo Governo Federal (MAPA, 2019).

Como resultado do momento, foram então fundadas no início do século XX, as primeiras universidades particulares, reunindo faculdades dispersas já existentes e tendo em vista, principalmente, as necessidades do Estado relativas à formação dos seus quadros, de lideranças político-culturais e de profissionais liberais (BUFFA; PINTO, 2016). Surgem no âmbito estadual, por iniciativa de grupos privados, a Universidade de Manaus em 1909, a de São Paulo em 1911 e a do Paraná em 1912 (FÁVERO, 2006). Por diferentes motivos, essas entidades foram desfeitas, restando apenas algumas instituições isoladas (CUNHA, 2000). As Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 retratam algumas das edificações que compunham as três primeiras universidades livres do Brasil.

Figura 3.3. Escola Universitária Livre de Manáos, posteriormente denominada Universidade de Manaus



Fonte: Universidade Federal do Amazonas [19--?].

Figura 3.4. Sede da Universidade Livre de São Paulo



Fonte: Arquivo Público do estado de São Paulo [19--?].

Figura 3.5. Universidade Livre do Paraná



Fonte: Universidade Federal do Paraná [191-?].

Em termos de características físicas, essas instituições localizavam-se na malha urbana das cidades e apresentavam-se em edificações grandiosas. A arquitetura tradicional prevalecia, com monumentalidade, imponência e adornos. Os prédios e seus volumes eram delineados para transmitir segurança, em especial nos imóveis públicos (BUFFA; PINTO, 2016).

Em 1915, o governo federal apoiou e autorizou a criação da primeira universidade governamental no Brasil através do Decreto nº 11.530, o qual previa o agrupamento de três

tradicionais instituições do Rio de Janeiro com esse objetivo. No entanto, foi somente em 07 de setembro de 1920, que o Presidente Epitácio Pessoa considerou o momento oportuno e se fez valer do disposto anos antes, instituindo, por meio do Decreto nº 14.343, a Universidade do Rio de Janeiro (FÁVERO, 2006). Na sequência, a Figura 3.6 exibe uma vista do edifício sede da Faculdade Nacional de Direito que compôs embrionariamente, juntamente com a Escola Politécnica e a Faculdade de Medicina, a Universidade do Rio de Janeiro.

Figura 3.6. Faculdade Nacional de Direito, uma das incorporadas à Universidade do Rio de Janeiro



Fonte: Carlos Fioravanti (2020).

Em 1927, em Minas Gerais, foi criada a segunda universidade oficial do país, através da iniciativa do governo do estado e, seguindo o mesmo fundamento da antecessora, resultou da reunião de faculdades isoladas (CUNHA, 2000). A Figura 3.7 evidencia o imóvel ocupado pela Escola Livre de Engenharia de Belo Horizonte, incluída para formação da Universidade de Minas Gerais.

Figura 3.7. Escola Livre de Engenharia, uma das incorporadas à Universidade de Minas Gerais



Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais [191-?].

Assim como na Europa, os edifícios acadêmicos impulsionavam o estabelecimento de outras propriedades nas imediações, desenvolvendo regiões temáticas e até parcela de bairros qualificados como núcleos universitários. Nesse período, o conceito de campus despontou no cenário nacional. Em 1929, um plano de remodelação e embelezamento elaborado para o Rio de Janeiro já abordava a construção de um complexo universitário em local especialmente definido. Dois anos depois, mediante a ampliação da Universidade do Rio de Janeiro, determinou-se a criação de uma Cidade Universitária, de modo a comportar todas as suas unidades acadêmicas e, para tal, foi instituída uma comissão de professores e uma equipe de arquitetos, resultando em três propostas distintas. Todos os projetos foram concebidos sob a luz da arquitetura modernista, entretanto nenhum deles saiu do papel. Apesar do desenrolar dos fatos, a ideia de campus já estava consolidada no âmbito acadêmico (MAHLER, 2015). Na Figura 3.8 é possível observar uma vasta área aterrada, fruto da união de nove ilhas, que deram origem a uma gleba de aproximadamente 5 milhões de metros quadrados onde, muitos anos adiante, foi consolidada a almejada Cidade Universitária do Rio de Janeiro.

Figura 3.8. Vista da Cidade Universitária em 1953, após aterramento e união de nove ilhas para sua formação



Fonte: Acervo CoordCOM/UFRJ (2011).

Em 1930, a elite intelectual paulistana igualmente ansiava por fundar uma cidade universitária voltada à pesquisa e progresso do país (USP, 2012). Consequente, como parte do processo, em 1934 foi criada a Universidade de São Paulo – USP, assim como as demais, através da incorporação de instituições existentes (MENDONÇA, 2000). No ano seguinte uma comissão foi formada para analisar a localização do novo campus e, após um longo período de discussões, o terreno foi selecionado, sendo que em sua primeira fase de execução destaca-se a obra do prédio da Reitoria (PUSP-C, 1985) apresentado na Figura 3.9. Contudo, o conceito de espaço apartado da cidade não agradou a todos e se tornou motivo de discordância institucional, sendo que algumas unidades nunca migraram para lá. Em meio a falta de verbas, troca de gestões e pouco ou nenhum engajamento de alguns setores, no fim das contas o projeto integral jamais foi realizado (MAHLER, 2015).

Figura 3.9. Foto do início da década de 50, estrutura do Prédio da Reitoria da USP

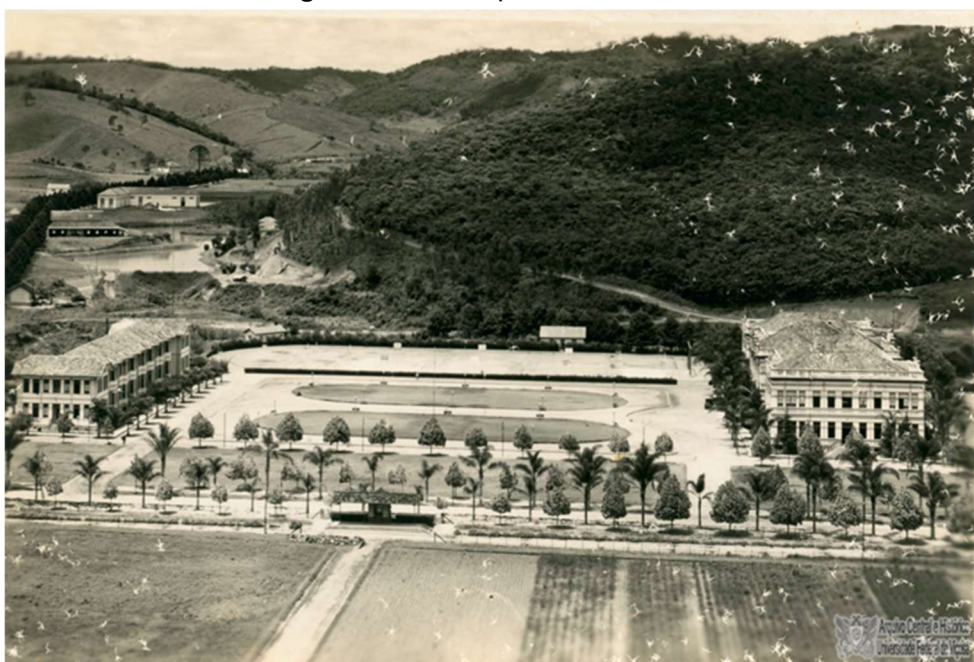


Fonte: PUSP-C (1985).

Mas a influência norte-americana ia além da ideia tangível de campus universitário. Descende desse encantamento, a antiga Escola Superior de Agricultura e Veterinária - ESAV, inaugurada em 1926, e que mais tarde, em 1948, daria origem à Universidade Rural do Estado de Minas Gerais – UREMG, atual Universidade Federal de Viçosa (UFV). Seu processo de criação contou com a coordenação de Peter Henry Rolfs, um professor da Universidade da Flórida, especialista em assuntos agrícolas, que logo a fez despontar como referência nessa área de estudo, inclusive internacionalmente. Através de um modelo pedagógico distinto e de convênios de assistência técnica firmados entre o Brasil e os Estados Unidos, a UREMG exerceu importante papel na modernização da agricultura do país (RIBEIRO, 2009).

Fisicamente, a instituição adotou características arquitetônicas em consonância com o momento e o seu local de instalação, mas também incorporou aspectos próprios do modelo de campus importado. Possuía edifício principal onde, em seu salão nobre, eram realizadas palestras sobre moral, civildade e higiene; instalações para aulas experimentais influenciadas pelo sistema “aprender-fazendo”; e alojamento para os estudantes, novidade naquele momento em terras brasileiras (SILVA; BORGES, 2008). Conforme arquivos institucionais, o complexo contava ainda com pista de atletismo e quadras para a prática de esportes; residência e biblioteca do diretor; residência do vice-diretor e moradias para professores (LOCUS, 2015). A Figura 3.10 exibe uma vista panorâmica do prédio principal, internato, ao fundo uma represa e a frente os campos de cultivo.

Figura 3.10. Vista panorâmica ESAV



Fonte: Arquivo Central e Histórico da UFV (2015).

Nesse período, em Minas Gerais e em outros estados, era delegada à educação a tarefa de estabelecer uma sociedade desenvolvida e democrática que remodelaria o Brasil. Os prédios escolares converteram-se em símbolos do avanço político, econômico e social do país, repercutindo, em 1934, na determinação de normas técnicas que introduziram regras para construção de estabelecimentos de ensino (BRASIL; SILVA, 2018). O desenvolvimento da cidade moderna e projetada estava atrelado ao estabelecimento físico e simbólico de uma escola, tratada como marca da mudança da população frente ao progresso urbano, mercantil e republicano vigentes, estabelecendo uma relação entre espaço, educação e programa de governo (VASCONCELOS; MAKNAMARA, 2020). A partir de 1940, os projetos de universidades brasileiras foram todos influenciados pelo Modernismo (ESTEVES; FALCOLSKI, 2012). Esse estilo arquitetônico se estendeu também para a maioria dos prédios escolares, onde frequentemente optou-se pelas formas simples, geométricas, sem ornamentação e marcadas pelo aspecto racionalista (BRASIL; SILVA, 2018).

Vale o adendo de que, após a Segunda Guerra Mundial, cenário análogo pôde ser visto em partes da Europa. Um exemplo veio da cidade de Luxemburgo, onde um número expressivo de escolas com desenho semelhante foi construído mediante apoio financeiro dos Estados Unidos. Essa ampliação atrelava-se a sentimentos de oportunidade de progresso e esperança no futuro. Os prédios atendiam a critérios de racionalidade e funcionalidade, mas também se adaptavam a necessidades culturais da comunidade em que se inseriam (HELFENBERGER; SCHREIBER, 2019).

Apesar de toda a atenção dada ao ensino, por volta de 1950, tornou-se claro para diversos setores da sociedade a precariedade vivenciada pelas universidades brasileiras (FÁVERO, 2006). O movimento para modernização do ensino foi acionado pelo segmento militar, através da criação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, em 1947 (MENDONÇA, 2000). Foi Casimiro Montenegro Filho, Subdiretor Técnico da Aeronáutica, quem trouxe dos Estados Unidos a ideia e apoio técnico para instalar no país um instituto semelhante ao estadunidense, de modo a formar engenheiros e desenvolver tecnologia aeronáutica em terras nacionais. Em explanação a um grupo de oficiais ele descreveu como e onde seriam as instalações, que compreenderiam aeroporto, laboratórios, edifícios escolares, casas e apartamentos para professores e pessoas ligadas ao administrativo, e alojamento para os alunos (ITA, 2022). Assim, habitando o campus, docentes e discentes deveriam concentrar-se integralmente em suas atividades de ensino e pesquisa (MENDONÇA, 2000). Organizacionalmente, a instituição de ensino representou um expressivo avanço assinalado por reestruturações acadêmicas e presença marcante de parâmetros estadunidenses (CUNHA, 2000). Em seguida, a Figura 3.11 exibe a maquete física do edifício projetado por Oscar Niemeyer para o Centro Técnico de Aeronáutica – CTA, onde estabeleceu-se o ITA.

Figura 3.11. Casimiro e o projeto do CTA

Fonte: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2022).

Conquanto, morosamente o panorama do ensino superior se alterou, sendo que em 1955, o Brasil contava com apenas sete instituições federais, apresentadas na Tabela 3.1, até a expansão vivenciada entre 1956 e 1961, onde foram criadas outras dez universidades na esfera nacional, dentre elas as decorrentes da federalização (MAHLER, 2015). Esse processo foi determinante para o aumento da oferta de cursos superiores públicos e gratuitos (CUNHA, 2000).

Tabela 3.1. Universidades Federais até 1955

Universidades Federais	Data de criação
Universidade do Rio de Janeiro	1920
Universidade do Distrito Federal	1935
Universidade Federal de Minas Gerais	1949
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	1950
Universidade Federal da Bahia	1950
Universidade Federal do Paraná	1950
Universidade Federal do Ceará	1955

A dinâmica em prol da modernização do ensino superior alcançou seu apogeu com a criação da Universidade de Brasília - UNB em 1961 que, de maneira paradigmática, representou a renovação das finalidades e forma de organização institucional (FÁVERO, 2006). A arquitetura escolar da época adotou novos métodos construtivos, incorporando elementos pré-fabricados e reforçando, ainda mais, o caráter modernista das edificações (BRASIL; SILVA, 2018).

A UNB foi estabelecida rapidamente, atraindo os melhores docentes do país mediante a mística que a envolvia (MENDONÇA, 2000). Assim como Brasília, o campus da universidade revestiu-se das características arquitetônicas e urbanísticas modernas, agregando em seu desenho as funções essenciais de uma cidade manifestadas em seus diversos setores, como administrativo, acadêmico, de habitação e de esportes (BUFFA; PINTO, 2016). O arquiteto Lucio Costa foi quem definiu o seu primeiro plano diretor, concebendo os espaços universitários como um amplo parque de acesso livre, com edifícios dispersos à volta de uma área central na qual ficariam

os prédios comuns a todos os usuários. Entretanto, pouco desse planejamento inicial foi colocado em prática. O projeto arquitetônico de Oscar Niemeyer e João Filgueiras para uma das edificações, o Instituto Central de Ciências – ICC, transformou a disposição original ao torná-la o componente articulador do campus (MAHLER, 2015). Na Figura 3.12 é possível observar o prédio do ICC, também apelidado de Minhocão, que abrigava de maneira transfigurada quatro dos oito institutos existentes.

Figura 3.12. Década de 60, Instituto Central de Ciências



Fonte: UnB (2016).

Não obstante, a conjuntura era de mobilização estudantil pela democratização do ensino superior, com movimentações intensas e visível em manifestações de rua, pressionando o governo a buscar soluções para os principais problemas educacionais (FÁVERO, 2006). Então, tendo como pano de fundo dois relatórios que pregavam a racionalidade, eficiência, produtividade e disciplina para modernização do ensino superior brasileiro (BUFFA; PINTO, 2016), em 1968 foi aprovada a Reforma Universitária, que recomendou, dentre outras coisas, a organização departamental da academia através do agrupamento ou fundação de faculdades que formariam as cidades universitárias (ESTEVES; FALCOLSKI, 2012). Um território específico, onde as múltiplas funções da universidade poderiam ser desenvolvidas com eficiência e independência, conferindo identidade à instituição por meio do seu espaço (MAHLER, 2015).

Após esses fatos, é aprovado no Conselho de Reitores das Universidades Brasileiras o “Manual sôbre o planejamento integral do campus universitário”, idealizado por Rudolf Atcon, de modo a orientar a incorporação das regras estabelecidas na reforma e o delineamento das estruturas físicas existentes ou a serem construídas. O guia propunha uma planificação infraestrutural detalhada e racional e pautava-se em critérios como baixo investimento para

construção, administração e controle do complexo, possuía disposições para aquisição de terrenos, projetos urbanísticos, de zoneamento, assim como regras para a tipologia dos edifícios e definição de gabaritos. Nenhum campus foi edificado seguindo essa cartilha, apesar disso, várias abstrações foram introduzidas ao longo do tempo na concepção desses conjuntos educacionais (BUFFA; PINTO, 2016).

Em meados do século XX, o pós-modernismo proporcionou um reexame de algumas referências utilizadas na arquitetura de universidades. As críticas evidenciavam a necessidade da construção de ambientes mais humanos e gradualmente a escala monumental foi sendo repensada, abrindo caminho para estruturas mais compactas (MAHLER, 2015). Foi também nesse período que surgiram pequenas variações na configuração da sala de aula, como alternâncias na quantidade, tamanho e formato, como forma de abrigar o expressivo aumento no número de alunos (CALVO-SOTELO; MARQUEZ, 2016). Assim, o ambiente escolar já estabelecido como tal, continuou se alterando em função do desenvolvimento das diretrizes pedagógicas, sendo influenciado por tendências arquitetônicas vigentes (FRANDOLOSO, 2001).

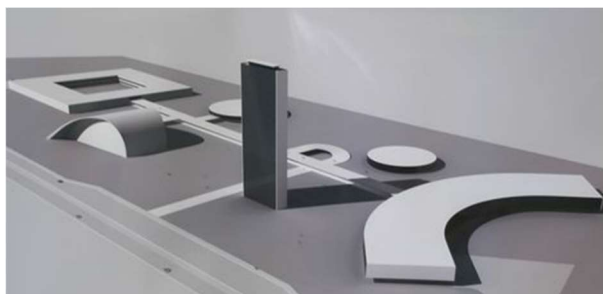
No Brasil e Europa a ideia de instalação de campus universitários foi sempre sedutora, fruto dos espaços grandiosos que poderiam ser disponibilizados, mas, em proporções semelhantes, produziu obstáculos financeiros e outros tantos, que colocaram em dúvida o modelo (BUFFA; PINTO, 2016). A concentração das estruturas físicas trouxe consequências para os dias atuais, como escassez e supervalorização das habitações no entorno, bem como problemas relacionados à oferta de serviços à comunidade universitária. Por isso, no momento, o estabelecimento de novos complexos educativos passa por questionamentos, ponderações e adversidades, sendo ainda influenciado pelas novas formas de produção da cidade e pelo mercado (CALDERARI, 2017).

Não obstante, o planejamento do campus contemporâneo continua descendendo, em partes, das práticas vivenciadas no século XIX e segue representando, tanto as particularidades físicas, quanto os ideais educacionais e sociais (MAHLER, 2015). Um exemplo próximo e emblemático é o espaço idealizado por Oscar Niemeyer para a instalação da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA).

É possível observar nas Figuras 3.13 e 3.14, que o projeto da UNILA faz alusão ao plano elaborado pelo arquiteto para a Universidade de Constantine, localizada na Argélia, e ainda recria o mesmo traço do Instituto Central de Ciências da UnB. O aspecto modernista, tão característico do profissional, é predominante em todos os elementos (MAHLER, 2015). Muito concreto, vidro, passarelas suspensas, espelhos d'água e grandes áreas de estacionamento e descampadas estavam previstos para este complexo de caráter monumental. No entanto, a obra, renomada e imponente, nunca foi concluída e a instituição funciona até hoje em sedes dispersas e alugadas.

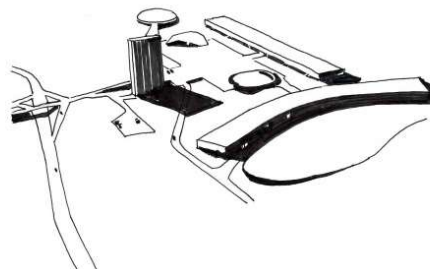
Outra referência recente de delineamento de campus é a Universidade Federal do ABC (UFABC). O projeto desenvolvido pelo escritório Libeskind Llovet Arquitetos, (Figura 3.15), apresenta linhas retas, uso expressivo de concreto, vidro e zinco, e mescla edificações com finalidade acadêmica, cultural, esportiva, de moradia e de alimentação, além de praças externas que favorecem a convivência e integração com o entorno (LIBESKIND et al., 2019). Diferentemente da menção anterior, a UFABC concluiu a construção dos seus prédios e sem demora trabalhou com a expansão física de suas estruturas. Além do campus de Santo André, predecessor, a universidade conta ainda com uma sede em São Bernardo do Campo, com projeto desenvolvido pelo escritório Benno Perelmutter Arquitetura e Planejamento Ltda igualmente caracterizado por linhas retas, emprego de vidro, elementos de sombreamento e grandes áreas de convívio.

Figura 3.13. Maquete eletrônica Campus UNILA



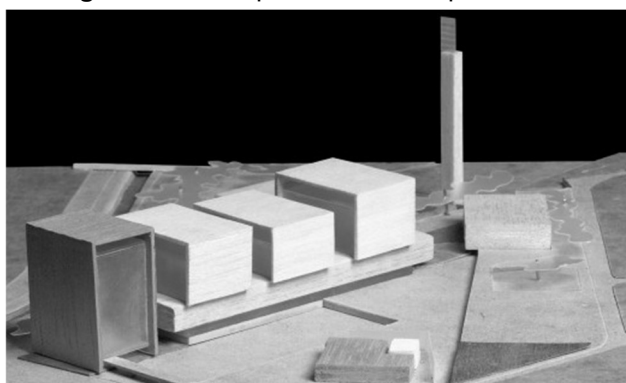
Fonte: Secretaria de Implantação do Campus – UNILA (2008).

Figura 3.14. Desenho Universidade de Constantine



Fonte: Marcio Cotrim (2010).

Figura 3.15. Maquete física Campus UFABC



Fonte: Ucha Aratangy (apud LIBESKIND et al., 2019).

Admite-se que, de fato, a concepção do espaço escolar é imersa em desafios, que partem da elaboração de projetos que atendam às demandas pedagógicas, programa de necessidades, especificidades do local de implantação e que contemplem os agentes educacionais envolvidos, findando com a entrega efetiva de um edifício que satisfaça a comunidade impactada (BRASIL; SILVA, 2018).

Na universidade, a sala de aula continua sendo o recinto mais comum e poucas mudanças podem ser vistas em sua tipologia arquitetônica. A disposição dos discentes e docentes, adequada às aulas teóricas, predispôs as plantas em formato retangular ou quadrangular, e o isolamento, tão característico, se manteve, justificado pela necessidade de concentração do aluno. Porém, a aprendizagem não formal vem fomentando espaços alternativos e, progressivamente, o processo de instrução vai deixando de lado a rigidez da sala de aula convencional, exigindo dos ambientes versatilidade para absorver métodos mais inovadores de ensino (CALVO-SOTELO; MARQUEZ, 2016).

Mas, independentemente da configuração espacial, a qualquer tempo os edifícios escolares podem ser entendidos como educadores silenciosos e co-constructores da cidadania, à medida que expressam as expectativas quanto a nação desejada nos âmbitos cultural, moral e político (HELFENBERGER; SCHREIBER, 2019). A arquitetura escolar é algo além da estrutura física, setorização, compatibilização e funcionalidade, ela também evidencia a construção de determinada sociedade. Assim, localização, aspecto, público a que se destina e finalidade político-pedagógica têm, ademais das questões técnicas, igualmente balizado o planejamento desses espaços (VASCONCELOS; MAKNAMARA, 2020).

Diferentes conjunturas históricas impulsionaram manifestações e intervenções em torno dos ambientes de ensino, mesclando projetos educativos, conceitos pedagógicos, planos de governo, reformas políticas, reivindicações de grupos e os vários indivíduos que idealizaram e transformaram o prédio escolar (ERMEL; BENCOSTTA, 2019). No processo de formação da escola brasileira, foram as edificações que diferenciaram as várias estratégias de constituição de métodos pedagógicos e de adaptação do ensino aos princípios de ordem, higiene e civilidade. Diversos estudos que se ocuparam da materialidade escolar reconheceram a extrema importância da arquitetura na expressão cultural que a educação desempenha e identificaram numerosas relações entre o prédio, sua estética e as políticas públicas de determinado período (PAULILO, 2019). A arquitetura escolar revela, acima de tudo, o que está sendo idealizado e efetivado para formação da sociedade e cidadãos (VASCONCELOS; MAKNAMARA, 2020).

Ao longo dessa exploração historiográfica, notou-se que a arquitetura escolar carrega em seu âmago investimentos e interesses políticos, sendo que por vezes representa a propaganda de um governo, que por meio do edifício imprime sua marca e atende aos anseios e necessidades da população. Essas edificações têm influência na formação do indivíduo, o preparando para o trabalho e vida em comunidade, sendo essenciais para a qualidade na educação. O edifício educacional participa e estimula o desenvolvimento de uma cidade, região ou sociedade.

3.2. CONFORTO TÉRMICO E SUA INFLUÊNCIA NO ENSINO E APRENDIZAGEM

Sendo o ambiente escolar corresponsável pela qualidade na educação e seus desdobramentos, muitos outros pesquisadores têm igualmente se dedicado a entender a importância do espaço físico e quais condições mais influenciam no rendimento acadêmico, sejam elas relacionadas aos seus aspectos ambientais, atributos espaciais ou elementos tecnológicos. Diante do vasto universo, esse recorte explorará a instigante relação de causa e efeito ligada às condições de conforto térmico, principalmente a temperatura interna da sala de aula.

Neste item serão apresentadas noções de bem-estar, assim como os principais conceitos de conforto térmico e sua influência no processo de transferência e absorção de conhecimento, observando as normas aplicáveis e legislações existentes, tanto a nível municipal, como nacional e internacional. Após a conclusão dessa leitura, almeja-se possibilitar uma apreciação fundamentada dos exemplos de edificações educacionais e suas características, expostos na sequência.

3.2.1. As Pesquisas que abordam as Condições Térmicas e Rendimento Escolar

As publicações direcionadas às condições ambientais da sala de aula e sua repercussão na performance estudantil são abundantes. A busca revelou que, embora alguns trabalhos tenham como objetivo análises de múltiplas variáveis, grande parte dos estudos perquiridos explorou especialmente a influência dos parâmetros de conforto térmico, sendo os resultados aqui apresentados de maneira a reproduzir essa faceta. Os dados recolhidos também mostraram que as áreas de pesquisa com maior número de estudos são a engenharia e tecnologia da construção, ainda que as áreas relacionadas à eficiência energética, ecologia e educação, também tenham porcentagens representativas. A apuração incipiente expôs que a qualidade dos edifícios acadêmicos está longe do ideal e que essa situação é capaz de afetar negativamente o processo de ensino e aprendizagem.

Das produções que tratam exclusivamente das condições térmicas e suas implicações, nesse delineamento, além de outras, foram incluídas aquelas que desenvolveram uma revisão da literatura. Singh et al. (2019) analisaram as pesquisas produzidas nos últimos cinquenta anos a respeito do conforto térmico em salas de aula, objetivando verificar seu progresso. O estudo permitiu aos autores depreenderem o quão urgente é a implementação de índices de conforto e diretrizes projetuais especialmente voltados para os espaços acadêmicos.

Kwong, Adam e Sahari (2014), através de uma extensa revisão sobre o conforto térmico, elencaram ações com potencial para redução do consumo e a favor da eficiência

energética. A pesquisa apontou que, em países tropicais, seria possível aumentar a temperatura do ambiente climatizado em 2°C, sem que houvesse comprometimento do bem-estar térmico dos ocupantes. Os autores entenderam que um ajuste na temperatura combinado a um *set-point* fixo, seria uma estratégia sem custo extra, capaz de reduzir os gastos com energia em aproximadamente 7%.

Por fim, Wargocki, Porras-Salazar e Contreras-Espinoza (2019) selecionaram dez estudos publicados entre 1967 e 2018 para estabelecer uma relação, entre a performance de estudantes do ensino fundamental e o ambiente térmico da sala de aula. As pesquisas utilizadas foram desenvolvidas em locais com temperatura externa moderada e níveis de umidade proporcionais, em classes convencionais já utilizadas, ou especialmente operadas para o experimento, ou ainda em câmaras climáticas. Os trabalhos elegidos expunham o impacto do microclima térmico nos resultados em aprendizagem, mediante testes psicológicos e tarefas escolares. A análise de dependência entre os fatores revelou que o desempenho médio dos discentes, em climas temperados, pode melhorar em 20%, quando a temperatura interna da sala de aula é reduzida de 30°C para 20°C. Os autores concluíram que as implicações são maiores no âmbito escolar, em comparação ao impacto potencial na produtividade de adultos em ambientes de escritório, sugerindo que o motivo pode estar nas possibilidades de ações adaptativas e nas diferenças físicas relativas à idade. Os resultados foram considerados por eles uma estimativa conservadora de simples efeito e causa.

Dentro desse mesmo grupo, além de artigos de revisão, foram abarcadas as principais publicações que debateram o conforto térmico, a partir de dados objetivos e subjetivos. Nessa linha, Jiang et al. (2021) tinham o propósito de fornecer novas diretrizes para a temperatura em sala de aula que aliassem conforto térmico e desempenho dos alunos e fossem aplicáveis às instituições de ensino primárias e secundárias do nordeste da China, durante o período de inverno frio. Para isso propuseram um método no qual estabeleceram relações quantitativas entre temperatura e conforto térmico e entre temperatura e desempenho discente, visando uma abordagem holística da problemática.

A primeira etapa da pesquisa verificou o nível de conforto térmico dos ambientes escolares e foi realizada em nove estabelecimentos de ensino localizados em áreas rurais de três cidades, incluindo a coleta de dados, por meio de medição de campo e aplicação de questionários. Já a segunda fase foi executada em um ambiente controlado com uma amostra representativa de doze crianças chinesas daquela região, expostas a seis diferentes temperaturas entre 10°C e 20°C, de modo a observar o seu rendimento e nível de aprendizagem sob efeito de cada uma das circunstâncias. Constatou-se que, naquele caso, a faixa de temperatura interna para conforto térmico e bom desempenho em classe seria de 13° a 15°C, indicando uma grande possibilidade de redução no consumo energético com aquecimento durante o inverno. Os valores encontrados divergiram consideravelmente dos indicados pelas normas vigentes, mas foram justificados pelos

autores em função da metodologia distinta baseada no indivíduo infantil, distinguindo características sociais e considerando possíveis aclimações.

Jowkar et al. (2020) buscaram identificar as faixas de conforto térmico para salas de aula, estúdios e laboratórios de informática, ou seja, três diferentes tipos de espaços de ensino, através de medições ambientais nos modos de funcionamento livre, resfriamento e aquecimento, além de observações em campo e aplicação de questionários. O estudo foi realizado em oito edifícios acadêmicos localizados em Coventry, na Inglaterra, e em Edimburgo, na Escócia, com 3.511 estudantes universitários e permitiu aos pesquisadores constatarem que, devido ao tipo de atividade desenvolvida e duração da exposição a cada espaço, as condições térmicas ideais eram distintas. Os autores concluíram ainda que um mesmo microclima térmico não apenas causaria superaquecimento/sobreaquecimento, como também desconforto, consumo desnecessário de energia e emissões despropositadas relacionadas aos edifícios.

Além desses dois primeiros estudos, Xia et al. (2020) abordaram as condições de conforto térmico de salas de aula primárias de Kunming, na China, local sob o clima subtropical de monções. Com o auxílio de medições dos parâmetros ambientais internos de uma classe teste e das condições externas, assim como de questionários aplicados a um total representativo de 20 alunos, os autores depreenderam que a ventilação natural, neste caso, poderia ser uma grande aliada para o bem-estar térmico dos ocupantes e que o senso de abrir e fechar portas e janelas seria importante nesse processo. Por fim, enfatizaram o papel das análises subjetivas, a partir das informações repassadas pelos próprios usuários, para verificação da temperatura de conforto térmico interno.

Mishra e Ramgopal (2015) investigaram por dois anos o rendimento em aprendizagem de dois grupos de alunos de turmas diferentes acomodados distintamente em salas de aula naturalmente ventiladas e com ar-condicionado, de tal modo que o efeito do conforto térmico foi examinado seguindo os conceitos estático e adaptativo. As notas finais obtidas foram utilizadas para aferição do desempenho e, além disso, foram empregados questionários subjetivos e medições *in loco* para análise das condições térmicas internas. Os dados finais confirmam que os discentes atingiram níveis análogos à satisfação para com a qualidade do ambiente térmico em ambos os tipos de classe. Ainda, os autores não constataram diferenças expressivas de aproveitamento acadêmico entre as turmas, concluindo que as oportunidades e a capacidade de adaptação humana são capazes de auxiliar a manutenção da performance de longo prazo.

Ainda, a fim de avaliar o conforto térmico e performance acadêmica sob diferentes velocidades do ar, durante as férias de verão Wang et al. (2020) conduziram uma pesquisa em uma sala de aula experimental montada em uma escola estatal da cidade de Changge, na China. A investigação incluiu medições quantitativas do desempenho do aluno, questionários subjetivos sobre sensações térmicas e medições dos parâmetros fisiológicos dos testados, empregando aparelhos de ar-condicionado para controle da temperatura interna e dois ventiladores para

regulagem da velocidade do ar. Os resultados demonstraram que quanto mais acelerado o fluxo do ar, menor era a produtividade dos ocupantes, sendo que o melhor aproveitamento discente foi alcançado quando a percepção térmica era de um ambiente ligeiramente quente. Por essa área rural do país normalmente se valer do condicionamento mecânico através de ventiladores, o estudo forneceu parâmetros para ajustes operacionais do ambiente de sala de aula propícios à aprendizagem.

Dois anos antes, Wang et al. (2018) haviam publicado um artigo com metodologia semelhante, focado na inter-relação entre ambiente térmico e desempenho acadêmico. Na oportunidade, os autores concluíram que o microclima térmico teve repercussões diferentes nos testes aplicados, sendo que o rendimento estudantil apresentou uma tendência de variação no formato de U invertido à medida que a temperatura era aumentada. Os dados apontaram que a melhor performance foi atingida aos 28°C, quando os participantes se sentiram levemente quentes. Por conseguinte, o experimento revelou que o desconforto para frio foi mais negativo para o processo de aprendizagem do que a condição contrária. Da mesma forma, o estudo disponibilizou elementos de suporte para projetos de salas de aula mais eficientes durante o verão.

Já Corgnati, Filippi e Viazzo (2007) tinham como propósito apurar os índices de conforto térmico, através de levantamentos subjetivos e objetivos em quatro salas de aula de ensino médio e outras quatro universitárias. Os autores deram ênfase à abordagem adaptativa e concluíram que recintos ligeiramente quentes são os preferidos das pessoas que vivem em climas mais frios.

Com o intuito de verificar as condições de conforto térmico em ambientes com três tipos distintos de ventilação, durante os anos de 2015 a 2017 Lau, Zhang e Tan (2019) analisaram a percepção de discentes e fizeram medições em nove espaços de ensino de um campus universitário em Cingapura, cidade-estado de clima quente e úmido. Os autores constataram que os locais que associavam ventilação natural e mecânica eram mais vantajosos, com maiores porcentagens de sensação térmica neutra, melhores níveis de contentamento com a temperatura e maior índice geral de conforto térmico. Ainda, apuraram que os alunos acomodados nos ambientes naturalmente ventilados e híbridos toleravam um conjunto mais abrangente de temperaturas admissíveis e eram menos sugestionáveis às alterações térmicas. Em síntese, consideraram que os dados resultantes eram indicativos que respaldavam a promoção de espaços acadêmicos com esses dois tipos de ventilação em regiões de clima semelhante, dado que proporcionariam condições adequadas de conforto térmico e auxiliariam a redução do consumo energético e as emissões de dióxido de carbono.

Nico, Liuzzi e Stefanizzi (2015) analisaram e correlacionaram as percepções dos alunos e as condições de conforto térmico referentes a duas salas de aula universitárias de Bari na Itália, durante o início da primavera. O estudo compreendeu inicialmente um paralelo entre o modelo de Fanger e a abordagem adaptativa, bem como uma comparação destes com a sensação

manifestada pelos discentes em resposta ao questionário aplicado durante a investigação. Posteriormente, a exploração abrangeu a percepção dos usuários quanto às condições térmicas e uma observação da correspondência entre esta e a possibilidade de ações adaptativas individuais. Os autores inferiram que os valores do voto médio previsto e do percentual previsto de insatisfeitos, base do modelo desenvolvido por Fanger, foram similares aos dados comunicados no questionário, sendo verificada apenas uma breve superestimação da média de votos, ou seja, supondo uma percepção de frio mais intensa que a real. Ao comparar a Temperatura Operativa ótima, derivada do modelo adaptativo, e a temperatura factualmente preferida, notaram que houve uma propensão individual para um ambiente térmico mais quente. Ainda, constataram que homens e mulheres divergiram quanto às respostas térmicas, sendo que elas tenderam a sentir mais frio e a utilizar vestimentas mais quentes. Por fim, observaram que quanto maior o grau de liberdade para intervenções sobre o microclima, melhor é o nível de contentamento para com as condições ambientais.

Observar como a redução de temperatura interna de uma sala de aula impactaria o bem-estar térmico e rendimento escolar foi o principal intuito do experimento realizado por Porras-Salazar et al. (2018). O estudo de intervenção foi executado em duas classes de uma escola primária da Costa Rica, região tropical, onde foram instalados aparelhos de ar-condicionado para resfriamento de um ambiente, com redução da temperatura de 30°C para 25°C, e ventilação de outro, durante uma semana, sendo na semana seguinte invertida a condição entre salas de tal modo que o ambiente anteriormente refrigerado passou a ser somente ventilado e vice-versa. Durante cada período foram aplicados testes que mediram o desempenho dos participantes e os resultados revelaram uma melhora em raciocínio lógico, leitura e compreensão de todos os alunos a partir da diminuição da temperatura. Além disso, a 25°, os alunos menos capazes alcançaram mais benefícios e se mostraram mais eficientes em todas as tarefas. Nessas circunstâncias, a sensação térmica relatada pelos discentes era neutra a levemente fria. Assim, esse artigo finaliza o subgrupo que examinou notadamente o conforto térmico com base em levantamentos objetivos e subjetivos.

Sem embargo, também foram adicionados estudos relevantes concentrados apenas em aspectos subjetivos de discentes e docentes com relação ao conforto térmico. Nessa mescla, estão os dois únicos conteúdos divulgados em conferências e considerados nesse apanhado. Puteh et al. (2012) relataram os resultados de uma pesquisa preliminar que analisou a percepção dos alunos quanto às condições de conforto térmico em salas de aula da Malacca, na Malásia, local de clima quente e úmido, onde o condicionamento das escolas tradicionalmente advém de uma combinação entre ventilação cruzada e mecânica por ventiladores. Durante a abordagem, os discentes se declararam satisfeitos com as instalações de ensino, entretanto, quase metade dos entrevistados disseram estar descontentes com a temperatura interna, considerando o ambiente quente. Ademais, parte do grupo mencionou problemas como pele seca, dificuldade para respirar, tosse, infecção ocular, asma e, em maior grau, distúrbios emocionais e estresse. À vista

disso, ao fim, os autores alertaram para a necessidade de avaliações constantes das condições de edificações acadêmicas e, especialmente, dos níveis de conforto térmico interno.

Em continuidade, Puteh et al. (2014) seguiram investigando a percepção dos alunos em relação ao conforto térmico em sala de aula de escolas secundárias ventiladas mecanicamente e imediações. Desta vez, a pesquisa foi realizada com 918 indivíduos de três instituições de ensino da cidade de Malacca, na Malásia, através da aplicação de questionários que abordaram os temas mudanças climáticas, sala de aula e seu conforto térmico, ambiente acadêmico confortável, e interferência das mudanças ambientais nas áreas urbanas para a saúde e bem-estar dos habitantes. Os resultados apresentados no estudo revelaram uma elevada compreensão dos discentes acerca das alterações climáticas, poluição ambiental e elevação da temperatura, e uma consciência moderada sobre a influência do conforto térmico em locais de ensino. As respostas igualmente mostraram que os espaços de sala de aula eram adequados, mas indicaram que o nível de conforto interno era mediano, evidenciando ainda que os efeitos de temperaturas elevadas na saúde e no ambiente foram considerados amenos pelos alunos. Em conclusão, os autores novamente julgaram pertinente a execução de avaliações sistemáticas em edificações acadêmicas para melhores resultados escolares.

Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) tinham como propósito estudar e comparar a percepção e preferência térmica de alunos de três diferentes regiões climáticas no Equador, acomodados em construções escolares com materiais e propriedades semelhantes. Ainda, pretendiam distinguir as diferenças nas escolhas subjetivas feitas por discentes aclimatados em períodos curtos e longos. Para essa pesquisa é importante destacar que, após a verificação de 415 questionários válidos, os autores concluíram que alunos estabelecidos em climas quentes e úmidos optam por ambientes ligeiramente mais frios. Constataram que, nessa zona térmica, são poucas as alternativas de ações adaptativas para restauração do conforto térmico, assinalando que o acionamento do ar-condicionado é uma das estratégias mais utilizadas. Contudo, alertaram que a falta de controle do condicionamento mecânico também pode provocar o desconforto entre os ocupantes. Além disso, indicaram que os participantes acostumados a essas condições climáticas são mais sensíveis ao movimento do ar do que àqueles aclimatados em curto período. No final, a pesquisa chama a atenção para a importância de mais estudos nessa área, visando edifícios mais eficientes e o conforto e rendimento discente.

E para fechar esse subconjunto, Fabozzi e Dama (2019) analisaram as condições de conforto térmico considerando o modelo de Fanger e modelos adaptativos de acordo com as normas ANSI/ASHRAE *Standard* 55 e EN 15251, comparando os resultados com a percepção dos usuários e verificando possíveis efeitos decorrentes do gênero. A pesquisa de campo foi realizada com 985 universitários do *Politecnico di Milano* em Milão, Itália, acomodados em ambientes naturalmente ventilados e climatizados, localizados em uma região de clima temperado, durante o mês de junho. Os números certificaram que, para ambientes climatizados, o modelo de Fanger é

adequado, assim como comprovaram que o modelo adaptativo baseado na ASHRAE é apropriado para estudos que buscam calcular a zona de conforto de alunos em ambientes naturalmente ventilados. Diferentemente dos dois primeiros, as temperaturas de conforto adaptativas descritas pelo modelo amparado pela EN 15251 (2007) foram julgadas inaceitáveis para um número considerável de discentes. Além disso, nenhuma eventual implicação significativa derivada de gênero foi observada.

Finalmente, arrematando o grupo dedicado unicamente aos parâmetros de conforto térmico e seus efeitos positivos e negativos, foram incorporados os trabalhos que utilizaram a simulação computacional como ferramenta de análise. Dentro dessa temática, Taylor, Brown e Rim (2021) tinham como objetivo determinar indicadores para configuração do projeto e operação do sistema de climatização de uma sala de aula típica, visando diminuir o consumo energético e melhorar os níveis de conforto em três diferentes climas. Para tal, utilizaram um algoritmo de aperfeiçoamento multiobjetivo e variaram os parâmetros ambientais temperatura do ar interno, velocidade do ar e umidade, de modo combinado, criando assim um procedimento holístico de otimização. Os autores realizaram simulações com o *software EnergyPlus* recorrendo ao componente *ClimateStudio* para *Rhino* e chegaram a valores significativos de economia em energia, principalmente para climas quentes e úmidos, que poderiam ser aplicados a escolas secundárias típicas, aspirando, com isso, melhorar processos de projeto e desempenho de edificações escolares.

Por último, dentro desse mesmo subgrupo, Kükrer e Eskin (2021) se valeram de simulações computacionais, desenvolvidas com o auxílio dos programas *DesignBuilder* e *EnergyPlus*, para aferir e melhorar os índices de conforto térmico e produtividade dos usuários de uma edificação multiuso da Universidade Técnica de Istambul, verificando ainda o impacto das diversas estratégias de projeto e operacionais testadas no consumo energético. Para as salas de aula, as variações analisadas foram o pré-aquecimento do ambiente e a alteração do *set-point* do ar-condicionado central, dado a sensação térmica fria dos ocupantes. Os resultados obtidos evidenciaram ser possível uma redução geral de 17,6% das horas de desconforto anual e um aumento de 46% no rendimento, mas igualmente mostraram que isso implicaria um aumento de 11,7% no consumo de energia durante igual período. Os autores findaram afirmando que os impactos das especificações projetuais não poderiam ser negligenciados na análise de alternativas para os sistemas operacionais e térmicos de edifícios.

No conjunto dos artigos que abrangem, além do conforto térmico, parte ou todos os demais fatores ambientais e até mesmo outros aspectos de impacto no rendimento escolar foram acrescentadas as demais revisões de literatura incluídas. Entre elas está o trabalho desenvolvido por Bluysen (2017), que tinha como propósito inventariar estudos que tratassem do ambiente da sala de aula e sua conexão com doenças e distúrbios em crianças do ensino fundamental e secundário, para então debater os conteúdos mais relevantes e suas divergências, sugerindo novos

rumos para pesquisas na área. A autora propôs abordagens com foco em todos os parâmetros de forma holística, aconselhou o uso de maquetes como alternativa para observação subjetiva da criança e recomendou que produções futuras enfatizassem o usuário, analisando suas percepções individualmente e envolvendo-o em problemas e soluções.

Manca et al. (2020) produziram uma revisão sistemática da literatura voltada para as implicações do *design* escolar na performance, bem-estar e satisfação de discentes e docentes. Com a intenção de proporcionar uma visão ampla sobre as últimas descobertas e lacunas de pesquisas, utilizaram publicações de 2008 a 2017 dirigidas à educação infantil e ensino médio, fracionando o trabalho em projeto arquitetônico e aspectos estéticos, condições ambientais internas, projeto de sala de aula e espaços verdes externos. Os autores procuraram analisar a associação entre a seção e suas possíveis implicações, de modo a identificar o fator de maior repercussão em cada uma delas. A pesquisa possibilitou a eles observar que o autorrelato do usuário é utilizado por praticamente todas as áreas, com exceção dos trabalhos que se ocupam das condições ambientais, que ainda estão sobretudo embasados em medições objetivas. Ademais, permitiu concluir que estudos futuros deveriam mesclar métodos quantitativos e qualitativos, aprofundando, com isso, a análise sobre o contentamento ou conforto dos ocupantes. Destaca-se que, nesse artigo, o conforto térmico foi descrito como positivo para melhores níveis de concentração e de desempenho de curto prazo.

Concluindo essa subseção, Brink et al. (2021) realizaram uma revisão sistemática da literatura objetivando precisar a intervenção de fatores ambientais internos na qualidade do ensino, aprendizagem e no rendimento acadêmico universitário. As condições do ar interno, térmicas, acústicas e de iluminação foram o foco da pesquisa que, ao fim, trouxe uma visão geral de 21 estudos considerados de alto nível e relevância. Os autores inferiram que as melhores condições ambientais internas para um desempenho ótimo dos alunos dependem da tarefa a ser executada, havendo uma inclinação para espaços relativamente frios, silenciosos, claros e com baixas concentrações de CO₂. Além disso, identificaram poucos métodos para avaliar a repercussão da qualidade ambiental interna a longo prazo, bem como poucos estudos em que a influência dos quatro parâmetros combinados foi avaliada.

Outrossim, nesse mesmo agrupamento, foram incluídas as pesquisas restantes que discutiram a influência de diferentes fatores, incluindo a temperatura, através de dados objetivos e subjetivos. Dentro desse contexto, Lee et al. (2012), por meio de avaliação subjetiva e medições *in loco*, averiguaram uma possível associação entre a qualidade do ambiente interno e o rendimento autorrelatado pelos alunos em salas de aula universitárias climatizadas de Hong Kong. A análise focou em parâmetros ambientais e observou que todos interferem similarmente no processo de aprendizagem. Os autores constataram ainda, que o número de reclamações dos discentes quanto às condições ambientais e a perda de desempenho estavam correlacionadas.

O artigo de Montiel et al. (2020) é um recorte de uma pesquisa mais ampla sobre possíveis influências dos espaços de ensino no bem-estar e no desempenho de discentes e docentes e na manutenção das estruturas prediais. Os dados utilizados foram extraídos de questionários aplicados em dezesseis escolas secundárias da província de Alicante, na Espanha, bem como de entrevistas, observações no local e análise de documentos. Os autores focaram em temas como a eficiência energética e a qualidade ambiental dos prédios acadêmicos, especialmente o conforto térmico e visual, buscando ainda facilitar a correlação entre a infraestrutura e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em locais de ensino. Um aspecto significativo abordado pelo estudo diz respeito ao *design* de edificações com excesso de áreas abertas em função da falta de proteção contra correntes de ar, chuvas e mudanças abruptas de temperatura. Em suma, os autores afirmaram que esse tipo de configuração dificulta o deslocamento entre os ambientes, causando desconforto térmico para os usuários. Por fim, entenderam que o conhecimento propiciado pela pesquisa poderia ser de grande valia para os envolvidos no processo de planejamento do espaço escolar.

Noda et al. (2020) realizaram uma pesquisa de campo com crianças de 9 a 11 anos acomodadas em seis salas de aula de três escolas públicas localizadas em João Pessoa, cidade litorânea do Nordeste brasileiro, de clima quente e úmido. O objetivo consistia em avaliar, a partir da percepção dos usuários, as condições térmicas e lumínicas desses ambientes de projeto padronizado. Em relação aos parâmetros térmicos, o sistema de ar-condicionado foi utilizado para controlar a temperatura média do ar em aproximadamente 26°C, resultando em sensações controversas entre os testados. Os resultados demonstraram que, apesar de parte dos alunos terem relatado desconforto para frio, houve uma preferência por temperaturas internas mais baixas.

Em se tratando de múltiplos parâmetros, similarmente foram anexadas as investigações estritamente baseadas no autorrelato dos usuários. Nesse universo, cabe mencionar a análise elaborada por Yang, Becerik-Gerber e Mino (2013) que, através de uma pesquisa on-line de duas etapas, investigaram a percepção de estudantes universitários sobre características físicas da sala de aula, correlacionando-a com a satisfação e desempenho. Os autores perceberam que as opiniões dos alunos dependiam sobremaneira de atributos espaciais, como mobiliários e layout, e de atributos ambientais, como qualidade do ar e temperatura, sendo esse último o de maior interferência, recomendando avaliações e monitoramento constantes.

Castilla et al. (2017), através de um estudo de campo com universitários, identificaram entre os componentes de *design* aqueles com efeitos positivos nas impressões afetivas dos participantes para um resultado geral profícuo. Num primeiro momento, os autores determinaram as manifestações mais relevantes no julgamento do espaço de sala de aula, para em seguida distinguir os elementos com maior impacto na percepção dos discentes. A partir de uma amostra de 918 alunos distribuídos em 30 classes de 11 prédios diferentes, aplicou-se uma técnica baseada no método do Diferencial Semântico, que possibilitou detectar e quantificar a sensação

dos entrevistados sobre o ambiente, utilizando a sua própria linguagem através de adjetivos e expressões. Em conclusão, os pesquisadores observaram que o componente espaço de trabalho individual foi considerado o elemento de maior importância para a melhoria da funcionalidade e *layout* da sala de aula, seguidos pelas condições ambientais internas, pela conexão do espaço interior com o exterior, essencialmente associada a sensação de boa iluminação natural e conexão com a paisagem, e pelo acabamento do ambiente, ligado a um *design* moderno e sensação de aconchego.

López-Chao et al. (2020) exploraram a relação entre o espaço físico de ensino e o desempenho do aluno em matemática e artes, duas disciplinas díspares e com requisitos variados. Os autores utilizaram dados autorrelatados dos usuários de 27 salas de aula do ensino fundamental da *Galiza*, na Espanha, concluindo pela existência de conexões diretas e inversas entre a qualidade do ambiente e a atuação em matemática, e constatando uma dependência menor entre a performance artística e o local de aprendizagem, possivelmente pela dificuldade associada à avaliação das Artes.

No ano anterior, López-Chao, Lorenzo e Martin-Gutierrez (2019) já haviam avaliado os espaços internos de aprendizagem e sua influência no desempenho estudantil, através de uma abordagem holística. Dados autorrelatados de 796 alunos e 5 professores da Faculdade de Coruña, na Espanha, foram utilizados nessa pesquisa quantitativa e qualitativa. Os autores depreenderam que as variáveis iluminação artificial e conforto térmico foram os aspectos que mais influenciaram a sensação de bem-estar dos ocupantes, correlacionando temperaturas elevadas com média de notas menores. Ainda, concluíram que a ventilação foi a variável que mais interferiu no rendimento dos alunos, sendo que a falta de possibilidade de controle térmico se mostrou inversamente proporcional à performance acadêmica.

Para terminar esse grupo, foram acrescentados os artigos que se valeram da simulação computacional para análises de conforto do ambiente interno. Perez e Capeluto (2009) objetivavam estabelecer diretrizes de projeto para salas de aula em climas quentes e úmidos, determinando a importância desses múltiplos aspectos projetivos nos gastos energéticos. Para tal utilizaram a simulação computacional, aplicada a um modelo elaborado com base nas características recorrentes dessa tipologia arquitetônica em Israel e passaram a testar diferentes variáveis, visando um consumo de energia menor sem que houvesse o comprometimento do conforto térmico e lumínico. Os autores determinaram que o controle da iluminação, o sombreamento, a infiltração, a ventilação noturna e o tamanho da janela foram variáveis importantes e que deveriam ser ajustadas para um nível de desempenho elevado. Igualmente concluíram que a orientação e o isolamento de parede e cobertura dependiam de outras diretrizes, expondo uma correlação complexa entre os elementos, e perceberam que a exposição e cor do telhado e o tipo de vidro usado nas janelas possuíam pouca influência no consumo de energia.

Encerrando, Bakmohammadi e Noorzai (2020) desenvolveram uma pesquisa com a intenção de buscar soluções otimizadas e demonstrar como um projeto de sala de aula para escolas primárias do Teerã, no Irã, poderia ser aperfeiçoado, respeitando critérios de conforto e eficiência energética. Com o auxílio dos programas *Grasshopper*, *Honeybee* e *Ladybug*, compararam aproximadamente 2800 concepções entre si, selecionando 10 como soluções ótimas para atender às condições de conforto lumínico, térmico e desempenho energético do ambiente. Os resultados atestaram que dividir o espaço em diferentes zonas, controlando a iluminância de cada uma para níveis adequados de luz, possibilitaria a melhora do conforto visual e reduziria o consumo de energia em até 48%; revelaram que janelas de vidro triplo igualmente auxiliariam na contenção de despesas e ainda contribuiriam para o melhoramento do conforto térmico, mas conjuntamente acarretariam uma pequena demanda por incremento na iluminação elétrica; e comprovaram que a relação entre as dimensões da janela e parede seria capaz de afetar significativamente a quantidade de energia utilizada para resfriamento, aquecimento e iluminação, e de impactar as métricas atinentes à luz do dia, ao passo que a orientação da edificação interferiria nas porcentagem de exposição solar anual e no conforto térmico dos usuários. Com o estudo, os autores procuraram expor, através de orientações úteis aos profissionais da área, o quão importante são esses requisitos para um *design* sustentável e os resultados positivos que podem ser produzidos na sociedade e meio ambiente.

A compilação desses dois grandes grupos, focados ora no conforto térmico ora em múltiplas variáveis, e suas correlações com o desempenho estudantil, ilustrou o volume de estudos, dedicados a investigar e buscar soluções para as condições físicas da edificação escolar, do mesmo modo que aponta para o crescente interesse em aspectos que possam potencializar o rendimento acadêmico.

Ao retomar os resultados do item que trata da história da arquitetura escolar, aqui, novamente, notou-se uma inclinação para pesquisas direcionadas ao ensino básico e secundário, assim como para as escolas públicas. Embora, as análises dirigidas ao ensino superior tenham ocorrido em maior número.

Entretanto, ficou evidente que, apesar das pesquisas sobre o tema estarem em ascensão, uma parcela menor de estudos dedica-se especificamente à função e importância do ambiente das salas de aula, principalmente àquele reservado às universidades, faculdades e afins, configurando-se como uma lacuna de pesquisa.

Essa preparatória, de maneira geral, refletiu a baixa qualidade ambiental interna das edificações acadêmicas e evidencia o quanto a performance do aluno está atrelada às condições do espaço físico. Mostrou ainda, que o uso do ar-condicionado está sendo adotado por muitos como estratégia principal para alcançar condições de temperatura interna adequadas, revelando a necessidade de reflexões mais acuradas, que incluam estratégias passivas e estudos acerca dos diferentes climas, na busca de melhores índices de conforto térmico.

A síntese apresentada incluiu a descrição das principais características dos trabalhos elencados para esse reconhecimento introdutório. Notados os potenciais efeitos do microclima no aproveitamento discente e as implicações geradas pela falta de diretrizes específicas, tornou-se essencial o aprofundamento do conteúdo conforme será explanado a seguir.

3.2.2. Sala de Aula, Observância do Conforto Térmico e Implicações

Seja qual for sua finalidade, uma edificação tem sempre como atribuição elementar oferecer ao usuário abrigo e conforto para o exercício de suas atividades. Desse modo, é oportuno iniciar essa exposição assimilando o conforto a uma sensação de bem-estar, sendo que seus índices indicam as condições mínimas suportáveis pela coletividade, porquanto é subjetivo e sugestionado por uma gama de variáveis (MAIA, 2002).

Com efeito, um espaço sadio e confortável é vital em qualquer tipo de construção. Na atualidade, os recintos fechados são cada vez mais requisitados, chegando a abrigar seus ocupantes por períodos significativos do dia, transformando a qualidade ambiental interna em requisito valoroso (TAYLOR; BROWN; RIM, 2021). Pesquisas feitas com adultos demonstram que a deficiência das condições internas pode trazer consequências para os sistemas nervoso, endócrino e imunológico a curto e longo prazo (BLUYSSSEN, 2017). Ainda assim, essa máxima se reforça em edifícios escolares em função dos seus efeitos na vivência acadêmica (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007).

O estado de conforto aumenta a satisfação do aluno, provocando percepções favoráveis sobre o ambiente acadêmico que, associadas ao espaço de qualidade e correlacionadas às oportunidades de instrução, promovem avanços na sua performance (YANG; BECERIK-GERBER; MINO, 2013). Ainda, um local confortável contribui para que os alunos sejam alegres, dinâmicos, favorecendo sua criatividade e auxiliando a evolução acadêmica, sendo o desconforto ambiental considerado, até certo ponto, um entrave ao progresso saudável de discentes (JIANG et al., 2021).

Em sala de aula, as condições internas estão profundamente associadas à habilidade de abstração e a sensação de bem-estar dos usuários (CASTILLA et al., 2017). Microclimas excelentes em instituições de ensino são capazes de elevar os níveis de atenção, concentração, audição e outros (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007).

Em consequência, a arquitetura escolar precisa prover estruturas adequadas, para que os estudantes desempenhem suas atividades e adquiram conhecimentos de diversas disciplinas (LÓPEZ-CHAO et al., 2020). Logo, presume-se que a criação desses locais capazes de favorecer e aperfeiçoar a performance do discente dependem essencialmente de um bom projeto de edifício acadêmico (MANCA et al., 2020).

Prédios escolares reúnem características ambientais, propriedades espaciais e aspectos tecnológicos, e todos esses atributos físicos estão conectados e estreitamente relacionados à conduta e aos níveis de aprendizagem dos discentes (YANG; BECERIK-GERBER; MINO, 2013).

Dentre as características ambientais, a que mais sugestiona o julgamento do usuário sobre a sala de aula é a temperatura (YANG; BECERIK-GERBER; MINO, 2013). À vista disso, essa pesquisa foca nas condições térmicas da edificação, posto que a relevância de estudos de conforto térmico está também fundamentada na satisfação e bem-estar do indivíduo, na sua performance, bem como na conservação da energia (LAMBERTS et al., 2011). De fato, essa modalidade de conforto se sobressai como o indicador mais importante entre os elementos que compõem a qualidade ambiental (MONTIEL et al., 2020).

Foi em meados de 1950 que despontaram as primeiras investigações relacionando o desempenho acadêmico e as condições do ambiente térmico das salas de aula (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007). Estudos diversos sustentam que o microclima térmico impacta a produtividade dos alunos (SINGH et al., 2019).

Temperaturas elevadas em espaços acadêmicos podem suscitar dores de cabeça, interferindo negativamente no bem-estar dos usuários e no seu rendimento (BLUYSSSEN, 2017). O desconforto térmico é capaz de promover reações estressantes, de afetar a aptidão para resolução de problemas e de prejudicar a concentração, influenciando, por sua vez, o processo de instrução (LÓPEZ-CHAO et al., 2020). O efeito térmico negativo pode provocar fadiga, sonolência, dificuldade de atenção e discernimento e, inclusive, pode restringir a capacidade de desempenhar tarefas corriqueiras, atingindo severamente aqueles que já possuem dificuldades (WARGOCKI; PORRAS-SALAZAR; CONTRERAS-ESPINOZA, 2019).

O conforto térmico sugestiona a maneira como os usuários percebem o espaço, como reagem em contato com o meio e, ainda, influencia o consumo de energia diário (BAKMOHAMMADI; NOORZAI, 2020). Todavia, embora não restem dúvidas de que o microclima térmico tenha repercussões no aproveitamento escolar, a natureza desse impacto não é direta, dado que o tipo de tarefa, o tempo de exposição, antecedentes dos indivíduos e ações adaptativas disponíveis, são todos elementos de uma mesma engrenagem com diferentes níveis de contribuição para o resultado global (MISHRA; RAMGOPAL, 2015).

Em definição, o conforto térmico está associado ao contentamento físico e psíquico manifestado diante do ambiente térmico circundante (LabEEE, 2021). Pode ser descrito como a condição climática na qual a maior parte das pessoas não reconhecesse um estado de desconforto térmico para o calor ou frio (GIVONI, 1992). De acordo com a ASHRAE, o conforto térmico é o estado da mente que reflete a satisfação com a ambiência térmica (ASHRAE, 2020), ou uma situação mental de contentamento (ISO, 2005). Não estar satisfeito com o ambiente térmico pode ter como origem uma sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, ou seja, quando o

balanço térmico não é estável e há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

Em tempo, para interpretar apropriadamente essa sensação de bem-estar do indivíduo é conveniente relembrar alguns princípios fisiológicos. O funcionamento do corpo humano pode ser comparado ao de uma máquina que requer determinada quantidade de calor para sua operação, a qual resulta primordialmente do metabolismo dos alimentos consumidos. No entanto, o homem é homeotérmico e necessita que sua temperatura se mantenha praticamente constante. Para isso, dispõe de um mecanismo termorregulador que efetua trocas térmicas com o entorno por meio das funções fisiológicas de modo a manter o equilíbrio térmico do corpo (LAMBERTS et al., 2011).

Cada pessoa dispõe de uma temperatura corporal neutra e, essa neutralidade térmica, ou seja, quando não há acúmulo ou eliminação demasiada de calor pelo organismo, é condição indispensável, mas não única, para que ela esteja em conforto térmico. Ademais, o sujeito precisa estar resguardado de possíveis desconfortos localizados e a temperatura da pele e respectiva taxa de secreção por suor devem estar em harmonia com a atividade realizada, totalizando assim, os três requisitos para se alcançar a satisfação com o ambiente térmico circundante (LAMBERTS et al., 2011).

O estabelecimento das condições de conforto térmico, correntemente, deriva da análise das sensações expressas pelos indivíduos, suas inclinações e as oscilações entre os índices de conforto físico e o conforto individual, confrontados estatisticamente de modo a alcançar um estado satisfatório para no mínimo 80% do grupo observado (SINGH et al., 2019).

Na atualidade, há duas abordagens possíveis para mensuração do conforto térmico envolvendo os conceitos estático e adaptativo. Eles diferem quanto às disposições utilizadas para delimitação da zona de conforto (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014).

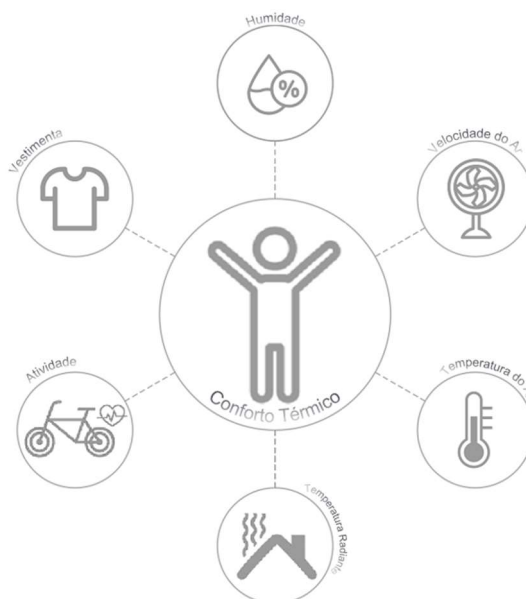
O primeiro deles considera o indivíduo passivo ante aos estímulos térmicos e condições do microclima imediato, apoiando-se, para isso, em diversos modelos de balanço de calor, como o elaborado por Fanger (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014).

O modelo de Fanger, desenvolvido pela primeira vez durante a década de 1970, na Dinamarca, fundamentou-se em testes promovidos em uma câmara climática com uma amostra de mais de mil discentes (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015). Sua pesquisa, originalmente voltada à aplicação pela indústria de aquecimento, refrigeração e ventilação, apresentou uma estrutura capaz de estabelecer temperaturas de projeto para ambientes internos controlados mecanicamente (CANDIDO; DEAR, 2012). O autor constituiu o método Voto Médio Previsto e Percentual Previsto de Insatisfeitos (PMV-PPD) baseando-se, para isso, no balanço de calor (SINGH et al., 2019). O PMV possibilitou avaliar o nível de conforto de um ambiente por meio dos desvios em relação a uma condição ideal de bem-estar térmico e, em conjunto com o PPD, o modelo possibilitou o estabelecimento dos *setpoints* para neutralidade térmica (CANDIDO; DEAR, 2012).

No PMV-PPD, basicamente assume-se que a sensação térmica é uma resposta fisiológica derivada do equilíbrio térmico do corpo, logo, todas as pessoas responderão de forma igual ou semelhante, independente de região, clima ou edificação. As normas ANSI/ASHRAE *Standard 55* e ISO 7730/2005 resultam principalmente dessa perspectiva de Fanger (SINGH et al., 2019). O modelo estático, desprezando os comportamentos adaptativos, calcula os efeitos do microclima térmico integralmente, por meio do conceito de transferência de calor (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014).

Nesse caso, parte dos fatores que influenciam o conforto térmico são ambientais, tais como temperatura, velocidade do ar, temperatura radiante média, umidade do ar, e outros critérios são de cunho pessoal, ou subjetivos, por exemplo, a taxa metabólica em função da atividade desempenhada ou o isolamento térmico da vestimenta utilizada por cada sujeito (LAMBERTS et al., 2011). A Figura 3.16 ilustra essa dinâmica.

Figura 3.16. Fatores que influenciam o conforto térmico



Fonte: Adaptado de Sandip Jadhav et al. (2021).

Essa interpretação propicia resultados muito fidedignos em ambientes totalmente climatizados e onde os usuários mantêm uma conduta passiva diante do ambiente térmico imediato (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015).

A segunda abordagem assume que o indivíduo não é indiferente às condições inerentes ao ambiente periférico, e passa a considerá-lo um sujeito ativo, operando, conscientemente ou não, no processo de instauração do microclima térmico desejado (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007).

A concepção advém de estudos de campo iniciados em meados de 1970 (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015) e, segundo ela, o ocupante age ou se ajusta mediante a adaptação

comportamental, fisiológica e psicológica, de modo concomitante, procurando restabelecer sua condição de bem-estar, sendo difícil mensurar o impacto individual dessa aclimação (SINGH et al., 2019).

Especificamente a nível comportamental, o ajuste está relacionado ao balanço energético do corpo e aos parâmetros que o regulam, classificado como individual, tecnológico e cultural. A nível fisiológico está associado a uma longa exposição a determinada condição ambiental, fazendo com que haja uma redução do estresse térmico e aumento da tolerância. Já a nível psicológico, está ligado a experiências predecessoras, expectativas e ao entendimento de controle individual do microclima (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015).

Comparativamente, mesmo que o balanço de calor, essência do conceito estático, abarque algum nível de adaptação comportamental, a exemplo da escolha da roupa, os aspectos psicológicos de ajuste são ignorados, fato que pode ser relevante em situações em que as interações pessoais e experiências térmicas anteriores arriscam alterar as expectativas e por consequência a sensação e contentamento com o microclima térmico (CANDIDO; DEAR, 2012).

Assim, em edificações onde não há controle mecânico das condições internas, a abordagem adaptativa mostra-se mais apropriada, exatamente por considerar a capacidade humana de se ajustar ao ambiente (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014). Ensaios experimentais confirmaram que essa abordagem realmente proporciona conclusões mais realistas em espaços naturalmente condicionados nos quais o indivíduo tem liberdade para ações adaptativas (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015).

Esse modelo empregado em análise de edifícios naturalmente condicionados introduziu um novo entendimento desatrelado tão-somente de trocas de calor entre o indivíduo e o meio (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014). Ele demonstrou que flutuações de temperatura podem ser consideradas admissíveis pelos usuários, maximizando a viabilidade de aplicação da ventilação natural como estratégia projetual a favor da eficiência energética (CANDIDO; DEAR, 2012).

Nesse contexto, o sujeito tende a adaptar-se ao clima, atingindo o conforto térmico quando a temperatura interna da edificação é semelhante à temperatura média mensal (BAKMOHAMMADI; NOORZAI, 2020). Dessa forma, sinteticamente, esse abordagem propõem uma simples correlação entre a temperatura operativa ótima e a temperatura externa (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015). Versões da ANSI/ASHRAE *Standard* 55 e ISO 7730 passaram a agregar a definição de conforto adaptativo para qualificação do conforto térmico de locais naturalmente condicionados controlados pelos usuários (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007).

Em se tratando de edificações escolares, pesquisadores sustentam que, quanto maior o nível de gerenciamento das condições microclimáticas e de flexibilidade nas intervenções adaptativas, melhor é o índice de satisfação dos discentes acerca do ambiente térmico interno (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015).

No entanto, ainda que o aluno universitário possa expressar de forma mais adequada sua sensação térmica e possua maior liberdade para ações adaptativas sobre o microclima, modificando ou controlando suas condições térmicas internas, em uma sala de aula as possibilidades para adequação do ambiente térmico são restritas (SINGH et al., 2019). Atitudes como acrescentar ou retirar peças de roupas, abrir ou fechar janelas ou movimentar as cortinas são alguns dos recursos disponíveis (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007). Em salas condicionadas por sistemas centrais a escolha da roupa e atividade predominam como ações adaptativas (LEE et al., 2012).

Assim, supõem-se que estudos realizados em laboratórios arriscam eliminar as percepções dos ocupantes, essência do modelo adaptativo (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014) mas, por outro lado, eles são eficazes ao proporcionar condições ambientais constantes, favorecendo a análise distinta de cada um dos fatores (FANGER, 1970). Há atualmente uma tendência a dar maior importância e analisar em maiores detalhes, a percepção dos usuários dos espaços nas avaliações de conforto térmico.

Em ambientes controlados, os parâmetros empregados para avaliação do conforto térmico fundamentam-se no indivíduo adulto, o que distorce os resultados de análises centradas na criança (BLUYSSSEN, 2017). Contudo, em função da idade, da autonomia e da flexibilidade para ações adaptativas, os universitários manifestam predisposição equivalente aos indicadores utilizados pela ANSI/ASHRAE *Standard 55* (SINGH et al., 2019). A Tabela 3.2 apresenta as principais normas e guias de referência.

Tabela 3.2. Normalização e Regulamentações específicas de conforto térmico e relacionadas

Norma	Ano	Origem	Título	Assunto Abordado
ISO 7726	1998	Internacional	<i>Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities.</i>	Entre outros, apresenta métodos para medição das variáveis físicas.
ISO 7730	2005	Internacional	<i>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.</i>	Entre outros, especifica as condições térmicas aceitáveis para que haja conforto.
ASHRAE Standard 55	2020	Estados Unidos	<i>Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.</i>	Entre outros, discrimina os fatores ambientais térmicos internos e pessoais para condições térmicas aceitáveis pela maioria.
ASHRAE Handbook - Fundamentals	2021	Estados Unidos	<i>Cap. 8 - Thermal Comfort.</i>	Entre outros, apresenta de maneira abreviada princípios da termorregulação humana e conforto.

ISO 8996	2021	Internacional	<i>Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate.</i>	Entre outros, define diferentes métodos para especificação da taxa metabólica na condição da ergonomia do ambiente de trabalho térmico.
ISO 9920	2007	Internacional	<i>Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble.</i>	Entre outros, apresenta métodos para calcular as características térmicas em situação de estado estacionário para uma gama de roupas.
EN 15251	2012	União Européia	<i>Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.</i>	Entre outros, fornece parâmetros para projetos de edificações, condicionamento mecânico, ventilação e sistemas de iluminação, bem como aponta metodologias para cálculos de desempenho energético, para avaliação de longo prazo do ambiente interno, além de especificar critérios para medições em caso de inspeções.
RCCTE	2006	Portugal	<i>Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.</i>	Entre outros, estabelece regras para projetos de habitação e de serviços não climatizados por sistema central de forma a manter o conforto térmico sem gastos excessivos de energia, minimizando ainda problemas de durabilidade da edificação e qualidade do ar derivados de condensação.
RTQ-C	2014	Brasil	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.	Entre outros, especifica requisitos técnicos e métodos para classificação dessas edificações quanto à eficiência energética.
INI-C	2021	Brasil	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.	Entre outros, aperfeiçoa o RTQ-C, especificando requisitos técnicos e métodos para a classificação dessas edificações quanto à sua eficiência energética.
NBR 15220	2022/ 2005	Brasil	Desempenho térmico de edificações.	Entre outros, institui metodologia para cálculo das propriedades térmicas de componentes das edificações, assim como um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, incluindo prescrições e estratégias voltadas às habitações de interesse social, além de procedimentos para medição da resistência térmica.
NBR 15575	2021	Brasil	Edificações habitacionais – Desempenho.	Entre outros, estabelece requisitos e critérios de desempenho direcionados às edificações habitacionais, como um todo integrado ou como um ou mais sistemas específicos isolados.

NBR 16401	2008	Brasil	Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários.	Entre outros, estabelece parâmetros e requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar-condicionado centrais e unitários, bem como para instalações especiais nos dispositivos que não conflitem com a norma específica.
-----------	------	--------	---	---

As pesquisas de conforto térmico direcionadas ao espaço de ensino estão em ascensão, não obstante, ainda são ínfimas diante do resultado global acerca da temática (SINGH et al., 2019). Esses estudos são motivados invariavelmente pelo bem-estar, saúde, progresso discente ou pela possibilidade de redução do consumo energético (GUEVARA; SORIANO; MINO-RODRIGUEZ, 2021).

Mensurar a qualidade do ambiente interno tornou-se um procedimento elementar para edifícios mais sustentáveis e fez-se ainda mais significativo em instituições acadêmicas (NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015). Como os alunos, de qualquer estágio, passam grande parte de seu tempo em sala de aula, é inquestionável a importância de um microclima térmico adequado e saudável, que possa potencializar a obtenção e processamento de informações (FABOZZI; DAMA, 2019).

Ajustar e controlar a temperatura interna podem ser operações eficientes para melhores índices de conforto e rendimento estudantil, mas não são procedimentos viáveis em todas as regiões do globo, seja pelas condições econômicas, seja por questões sociais (WANG et al., 2020). Apesar disso, nesse contexto escolar e em outros, o ar-condicionado a muito tempo é tido como um valioso artifício para boas condições de temperatura interna (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014).

Dessa maneira, melhorar o microclima térmico pode exigir um incremento de energia com o condicionamento mecânico (TAYLOR; BROWN; RIM, 2021). Sua utilização, cada vez maior, acarretou um aumento significativo no consumo energético, chegando a representar de 30 a 60% do montante global (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014). Em climas quentes e úmidos o dispêndio com esse aparelho é significativamente superior quando comparado aos demais (PEREZ; CAPELUTO, 2009). Logo, manter os índices de conforto e eficiência energética em equilíbrio nunca é uma tarefa fácil dentro da indústria da construção civil (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014).

Essa situação desencadeia oportunidades pois, sendo esse sistema um importante consumidor de energia, igualmente constitui um item com grande potencial para análises focadas na diminuição das despesas (PEREZ; CAPELUTO, 2009). A redução do consumo energético derivada do ar-condicionado está geralmente atrelada ao aumento da faixa de temperatura interna. Todavia, é muito difícil alterá-la e, ainda assim, manter a satisfação do usuário, dado a diferentes climas, bem como percepções, preferências e aceitação do ambiente térmico resultante (GUEVARA; SORIANO; MINO-RODRIGUEZ, 2021).

De mais a mais, apesar dessa estratégia estar em ascensão em regiões quentes, seu emprego indiscriminado não assegura que melhores condições de conforto sejam atingidas (NODA et al., 2020). Depois, ações descomedidas como essas, contrariam os princípios da sustentabilidade e, pior, podem levar a entendimentos equivocados do ar-condicionado como norma a ser seguida, prenúncio da banalização das estratégias passivas de projeto (HUANG et al., 2015).

No contexto escolar, a inexistência de normas ou padrões de referência voltados para a configuração espacial da sala de aula e dirigidos aos diferentes estágios educacionais piora a situação (SINGH et al., 2019). Profissionais de diversas áreas vem tentando caracterizar os requisitos físicos de ambientes de ensino ideais conforme idade escolar, mas ainda não há consenso (YANG; BECERIK-GERBER; MINO, 2013).

A recente crise pandêmica aumentou a preocupação com a qualidade do ambiente interno, em especial dos educacionais, visto ser este um fator indispensável no combate a transmissão do vírus em recintos fechados (AGUILAR et al., 2021). Um sistema de ventilação eficiente é primordial em espaços com concentração de pessoas por períodos prolongados (CHILLON et al., 2021). A percepção de má qualidade do ar interno em ambientes acadêmicos foi ampliada pelo cenário pós-covid-19, estimulando o desenvolvimento de recomendações e protocolos por diversas organizações no sentido de melhorar a ventilação em sala de aula (MEISS et al., 2021).

A implantação desses protocolos foi crucial para espaços de ensino seguros e saudáveis, mas os impactos foram significativos no tocante ao conforto térmico e acústico. O desafio está agora em estabelecer estratégias de ventilação natural para qualidade do ar interior sem que haja redução de outros níveis desempenho (AGUILAR et al., 2021).

Assim, o projeto arquitetônico passa a ter um papel fundamental na promoção de edificações salubres, confortáveis e sustentáveis que atendam as demandas de futuros usuários. Por esse motivo, é considerado um processo complexo que necessita de muita atenção, principalmente quando dedicados às instituições acadêmicas onde o resultado pode influenciar o desenvolvimento do estudante (BAKMOHAMMADI; NOORZAI, 2020). Quem o concebe deve ser capaz de encontrar uma gama de condições que favoreçam a proporcionalidade entre consumo energético e conforto térmico (TAYLOR; BROWN; RIM, 2021). Programas de simulação são ferramentas importantes nessa análise do desempenho ambiental e permitem que alternativas sejam exploradas antecipadamente, direcionando o projeto para soluções otimizadas já nas etapas iniciais (BAKMOHAMMADI; NOORZAI, 2020).

Como visto, o ambiente térmico interno deve ser capaz de proporcionar condições de conforto térmico e ainda de atender os requisitos de rendimento acadêmico (JIANG et al., 2021). É preciso ponderar que diferentes climas, locais, arquiteturas e pessoas atuam sobre o estado de conforto térmico admissível em tais circunstâncias (SINGH et al., 2019).

As regiões quentes e úmidas constituem verdadeiros desafios para projetos que visam ambientes termicamente confortáveis (LAU; ZHANG; TAN, 2019). Nesse clima, as estratégias passivas de *design* não são somente importantes como igualmente indispensáveis (LAU; ZHANG; TAN, 2019). E sendo prédios escolares componentes dinâmicos e ativos dentro do processo de ensino e aprendizagem, existe a responsabilidade de fazer com que os espaços físicos transmitam os princípios que se deseja irradiar (MONTIEL et al., 2020).

O reavivar de pesquisas com o tema ventilação natural demonstra a relevância dessa estratégia na promoção de espaços estimulantes, com grande potencial para colaborar com a problemática do melhor uso de energia na esfera da construção civil. Em climas quentes e úmidos o condicionamento natural exerce uma função relevante no equilíbrio da qualidade do ar e temperatura interna (CANDIDO; DEAR, 2012).

Com base nessas informações pesquisadas, foi possível compreender a importância da estrutura física para a qualidade na educação. O rendimento escolar está visceralmente associado às condições internas da sala de aula, ficando evidente a influência e efeitos do desconforto térmico na rotina acadêmica de alunos e professores. Ao interpretar o espaço de ensino como elemento corresponsável pela excelência na formação do indivíduo, resta unicamente a responsabilidade de proporcionar estruturas adequadas para tal.

3.3. ESTRATÉGIAS PROJETUAIS EM PROL DO CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS EDUCACIONAIS

Dando importância aos reflexos de ambientes inadequados e consequências atreladas, parte dos estudiosos têm buscado respostas em práticas tradicionais e soluções projetuais passivas, procurando revisitá-las e adaptá-las a favor do conforto térmico e eficiência energética da edificação. Face à indistinção quanto à tipologia propícia para incorporar tais estratégias, esse delineamento ocupou-se, para além dos espaços acadêmicos, de toda e qualquer investigação focada na arquitetura bioclimática e bem-estar térmico.

Neste item serão abordados, essencialmente, os benefícios viabilizados por projetos atentos ao clima, expondo tanto noções de arquitetura vernacular, quanto conceitos de arquitetura bioclimática, e serão apresentadas algumas das principais estratégias passivas de projeto, bem como o modo de identificá-las segundo o contexto climático. Com essa preparação, almejou-se propiciar uma apreciação criteriosa das proposições debatidas por esta pesquisa para regiões de clima temperado úmido com verão quente ou semelhantes.

3.3.1. Aspectos de Arquitetura Bioclimática e Conforto Térmico

Ao buscar publicações referentes à arquitetura bioclimática e sua correlação com o conforto térmico, constatou-se um número abundante de pesquisas dedicadas aos países do continente Sul-Americano, em especial ao Brasil, seguido por investigações direcionadas ao continente Africano, Europeu, Asiático e, em menor número, aquelas pertencentes a América do Norte. Somente um trabalho abordou o tema de maneira mais abrangente, incluindo conceito, estratégias e principais tendências de estudos científicos. Além disso, notou-se que as pesquisas são, em maioria, recentes, principalmente de 2017 a 2022, mas foi possível observar uma análise com essa abordagem ainda em 2014. A consulta evidenciou os resultados positivos que poderiam ser atingidos, mediante a implementação dessa perspectiva projetual.

Responsáveis pelo único artigo com enfoque geral, Manzano-Agugliaro et al. (2015) realizaram uma abrangente revisão acerca do progresso de estratégias bioclimáticas e tendências relacionadas às pesquisas que abarcam essa temática. Os autores constataram que a arquitetura vernacular consiste em uma base para a promoção desses princípios, devendo ser enfatizada como área de estudo. Por fim, concluíram que as estratégias bioclimáticas podem ser expandidas para diferentes partes do globo com climas semelhantes, sendo desejáveis e necessárias para diminuição do consumo energético.

Já a maior contribuição acerca da arquitetura bioclimática e soluções projetuais correlacionadas deriva do grupo que engloba as produções concentradas nos países da América do Sul, sendo inesperado, mas também satisfatório perceber que o Brasil lidera esse ranking. Nesse país, Guarda et al. (2021) compararam o desempenho alcançado por dois tipos de edificações em três cidades brasileiras com diferentes climas, Cuiabá, Manaus e São Paulo, simulando um padrão construtivo convencional e posteriormente incorporando medidas de eficiência energética nos fechamentos verticais, com a aplicação de isolamento térmico por lã de rocha nas paredes externas, e nas paredes internas, com o uso de tijolo de barro perfurado. Comparativamente, as mudanças melhoraram as condições de conforto e temperatura interna, entretanto, ambos os modelos apresentaram um percentual significativo de horas em situação de desconforto por calor, inferindo serem necessárias ações mais eficientes para resultados realmente expressivos. Os autores constataram que, em climas quentes, estratégias de sombreamento, ventilação e climatização artificial são necessárias quando o objetivo é atenuar tais condições.

Rincon et al. (2016), através de um estudo de caso, procuraram melhorar as condições de conforto térmico de edificações localizadas em clima tropical, valendo-se de sistemas passivos provenientes da arquitetura vernacular. O projeto, analisado por meio de simulações computacionais, onde foram quantificadas e comparadas soluções bioclimáticas, refere-se a um protótipo de edifício modelo, com conceito NZEB. Precisamente, foi aferido o desempenho da

edificação com paredes externas de painel de concreto e de alvenaria comum, com e sem brises horizontais para proteção solar de janelas; com e sem ventilação noturna; com e sem renovação de ar por infiltração através de janelas; com e sem o uso de sais absorventes para desumidificação dos ambientes e, ainda, com e sem isolamento térmico na cobertura. Os autores constataram que resultados mais relevantes foram atingidos com o arrefecimento por meio da renovação noturna do ar e através dos painéis externos em concreto, mediante a proteção solar da fachada norte e por intermédio do isolamento da cobertura.

Ainda se tratando de Brasil, Celuppi et al. (2019), com o auxílio de questionários subjetivos fundamentados na ISO 10551 e apurações baseadas em um modelo adaptativo proposto para o Sudeste Asiático, buscaram examinar as condições de conforto térmico proporcionadas por moradias ribeirinhas localizadas na zona bioclimática 8, típicas do Amazonas. Os resultados revelaram que os moradores consideravam os ambientes termicamente desconfortáveis, preferindo outros mais frescos, no entanto, igualmente apontaram que tal condição climática era admitida por todos. Segundo os autores, as casas analisadas, em palafitas ou flutuantes, desde logo incorporam a cultura cabocla, a estética e os materiais locais, assim como consideram a variação sazonal do curso d'água, adequando-se ao sol, chuva e altas umidades, contudo, a introdução de medidas simples à arquitetura vernacular da região, como grandes beirais, orientação favorável dos ambientes e ventilação cruzada, poderia promover um incremento na condição de conforto térmico.

Costa, Freire e Kiperstok (2019) buscaram analisar a razão para a crescente instalação de aparelhos de ar-condicionado, mesmo em edificações que incorporem conceitos bioclimáticos e apesar de esse sistema repercutir negativamente nos âmbitos econômico e ambiental. Para tal, escolheram quatro salas condicionadas naturalmente da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia como objeto de estudo, realizando medições *in loco*, além de avaliações subjetivas e verificação das condições de funcionamento e manutenção dos ambientes. Os pesquisadores averiguaram que a falta de conservação das esquadrias e o bloqueio de algumas janelas comprometeram a ventilação natural e eficiência térmica da edificação, mas que, ainda assim, mais da metade dos usuários relataram estarem satisfeitos com as condições térmicas internas. Por fim, os resultados alertaram para a necessidade de aperfeiçoar e intensificar a manutenção das edificações acadêmicas e despertaram para as vantagens de maiores investimentos em projetos bioclimáticos, no sentido de minimizar o uso do condicionamento mecânico.

Gallardo et al. (2018), através de estudos experimentais, avaliaram o comportamento de fachadas e telhados verdes. Foram construídos quatro protótipos na cidade de Itirapina-SP, no Brasil, região de clima quente com invernos secos; sendo um deles construção convencional, outro com as fachadas norte e oeste cobertas por vegetação, um terceiro com telhado verde e um modelo com a combinação de ambas as estratégias; e aferidas as temperaturas da

superfície e ar interno de cada um deles durante um dia frio crítico, para na sequência compará-las entre si. Os autores concluíram que a vegetação reduz as perdas de calor, funcionando como isolante, verificando, por exemplo, que enquanto a amplitude da temperatura externa é de 17°C, a interna é de aproximadamente 7°C, mostrando-se uma estratégia viável, com uma gama de aplicações possíveis para o clima analisado, trazendo benefícios ambientais e térmicos internos.

Seguindo no grupo dedicado à América do Sul, Wieser, Rodríguez-Larrain e Onnis (2021) analisaram os ganhos em termos de conforto térmico e qualidade do ar obtidos pela implementação de melhorias passivas, durante a segunda etapa de um projeto que englobou a construção de um protótipo na comunidade de Orduña, sul do Peru, caracterizada pelo clima extremo de noites muito frias, temperaturas diurnas moderadas e radiação solar extremamente alta. Já na fase inicial, o modelo havia apresentado resultados superiores aos alcançados pelas construções típicas da região, entretanto, ainda aquém das condições mínimas de bem-estar térmico. Assim, as primeiras conclusões suscitaram ajustes para aperfeiçoamento do protótipo, como maior estanqueidade das aberturas e seu acionamento adequado ao longo do dia, reforço do isolamento da cobertura e ampliação da claraboia, que, após implementados e medidos, apontaram a otimização do desempenho térmico da edificação. Por fim, os autores salientaram a viabilidade das estratégias passivas e do uso de materiais locais e naturais para obtenção de conforto, mesmo em regiões de frio extremo, como a estudada, destacando o uso potencial da radiação solar.

Wieser, Onnis e Meli (2020) exploraram o desempenho da terra leve, substância composta por massa de terra e significativa parcela de agregados leves, em especial fibras naturais, para edificações localizadas em diferentes regiões climáticas do Peru. O comportamento dos principais materiais utilizados no país, precisamente o tijolo cerâmico e o adobe, foi comparado com o auxílio de simulações computacionais com o exibido pela terra leve com 12 cm e 22 cm, fundamentando a análise. Foi considerado um dia típico de verão para as três cidades selecionadas de clima quente e temperado e um dia típico de inverno para as outras três localidades escolhidas, altas e frias. Constatou-se que todos os elementos construtivos, associados às estratégias passivas recomendadas, apresentaram um bom desempenho em regiões de clima quente e temperado, o que não se repetiu nas áreas de clima frio, onde apenas a versão de terra leve com 22 cm obteve um desempenho térmico satisfatório. De acordo com os pesquisadores, o material alcançou resultados superiores em todas as simulações, sobretudo nas regiões de clima mais rigoroso, sendo que tal fato deve-se principalmente ao equilíbrio entre as propriedades de massa térmica média e condutividade térmica parcialmente baixa. Por fim, ressaltaram o caráter sustentável do material e seu potencial como alternativa construtiva.

Barea et al. (2022), por sua vez, objetivaram avaliar o desempenho atual e prever o comportamento futuro mediante as mudanças climáticas de uma edificação pública localizada em Victorica, na Argentina. O imóvel, projetado segundo preceitos da arquitetura bioclimática, foi

escolhido como estudo de caso visando explorar estratégias adequadas para regiões de clima árido e otimizar o desempenho de construções similares. O modelo foi calibrado no *software EnergyPlus*, após medições dos dados térmicos e energéticos *in loco*. Na sequência foram realizadas novas simulações, considerando a rotação da edificação em 180° de modo a reduzir o ganho solar direto, favorecer a incidência dos ventos predominantes no verão e equalizar a luz diurna e, por fim, foram recriados possíveis cenários climáticos, com o intuito de estimar o consumo energético futuro. Foi verificada uma redução dos efeitos positivos da ventilação noturna devido ao potencial aumento das temperaturas neste período do dia, mas, ainda assim, concluíram que a alteração proposta, um simples redirecionamento da edificação, poderia gerar uma economia energética total de 51,82%. Por último, recomendaram a criação de legislações nacionais adequadas, nas quais a eficiência energética e o *design* bioclimático convertam-se em obrigatórios.

Luciani-Mejia, Velasco-Gomez e Hudson (2018) analisaram diferentes modelos de fachada para locais de clima tropical úmido, explorando os padrões de fachada com dupla camada não ventilada associada à massa térmica externa; fachada em PVC ventilada; e fachada com dupla camada não ventilada associada à massa térmica interna; ademais, variando o uso de proteção solar superior e lateral. Os pesquisadores valeram-se de simulações computacionais para estudo preliminar das soluções, de protótipo edificado para medição do comportamento real e calibração dos parâmetros computacionais e, finalmente, de novas simulações, visando gerar dados e indicações para construções daquela região. Os autores expuseram que quando duplas e ventiladas, as fachadas exigiram proteção solar adicional nas laterais de maior incidência de radiação para melhorar seu desempenho. Ainda, inferiram que as áreas de abertura deveriam ser inferiores a 5% do total, de forma a evitar ganhos térmicos nos momentos de temperaturas mais elevadas, sendo a ventilação noturna a mais apropriada. Por fim, concluíram que as fachadas ventiladas se mostraram viáveis, apenas quando associadas a estratégias passivas, especialmente inércia térmica, proteção solar e ventilação noturna e que os modelos com câmara de ar exibiram os melhores resultados gerais.

Toala-Zambrano et al. (2022) investigaram a sensação de conforto térmico dos moradores de um conjunto habitacional de Portoviejo, no Equador, buscando ainda identificar elementos arquitetônicos favoráveis à melhores condições climáticas internas. Segundo os autores, esse tipo de moradia cresceu consideravelmente na cidade e seus ocupantes desconheciam os potenciais problemas de bem-estar térmico interno das casas, até os experienciarem. Os resultados obtidos através de pesquisas, entrevistas e observação direta, mostraram que 99% dos residentes utilizavam o condicionamento mecânico como alternativa para melhores níveis de conforto térmico, apontando a relevância da aplicação de estratégias bioclimáticas na habitabilidade dos espaços e no desenvolvimento de programas habitacionais sustentáveis. O artigo relaciona algumas medidas que deveriam ser adotadas, dentre as quais interessa notabilizar a importância da ventilação

cruzada, de altura piso-forro avantajada, de beirais para proteção das janelas e a relevância da divulgação das estratégias no campo da construção civil.

Outra expressiva parcela de estudos sobre estratégias passivas de projeto e conteúdos análogos advém dos países Africanos. Widera (2021), por exemplo, aferiu as condições de conforto térmico de seis edifícios típicos de baixa tecnologia e vernaculares da África subsaariana ocidental, abrangendo seis países de clima tropical de savana, objetivando determinar um eixo para habitações contemporâneas sustentáveis e bioclimáticas, baseando-se para isso em estratégias tradicionalmente utilizadas. O trabalho envolveu inspeções visuais, medições *in loco* e pesquisa da satisfação dos habitantes e a partir de questões não abordadas pelas soluções implementadas, foram enumeradas outras que poderiam ser incluídas para otimização dos modelos, ligadas principalmente aos relatos de superaquecimento, má qualidade do ar interno e iluminação natural, tais como a associação de paredes grossas, pequenas aberturas na parte mais alta da construção, componentes de sombreamento, cores claras e materiais reflexivos. Interessante relatar que ao mesmo tempo que a autora menciona uma tendência de importação de soluções arquitetônicas de países mais desenvolvidos, comumente inapropriadas para o clima local, os resultados de seus estudos apontam para um maior nível de satisfação dos moradores de edificações com tipologias tradicionais em comparação àquelas tidas como modernas.

Bassoud et al. (2021) avaliaram de forma objetiva e subjetiva as condições de conforto térmico proporcionadas por edificações tradicionais localizadas no sudoeste da Argélia, região com temperaturas extremas no verão e inverno, baixa umidade e precipitações raras. Chamadas de Ksar, as moradias locais estão expostas a temperaturas externas que chegam a atingir 50°C em agosto e 0°C em janeiro. Os dados coletados a partir de medições e de entrevistas com uma amostra de 442 habitantes, permitiram aos pesquisadores concluir que as construções típicas, assinaladas por uma arquitetura bioclimática e feitas a partir de materiais locais, especificamente adobe, troncos e extratos de palmeiras, foram capazes de garantir um alto isolamento térmico e uma temperatura interna quase invariável, criando uma defasagem superior a 4 horas entre interior e exterior, propiciando, com isso, conforto térmico aos usuários. Por fim, os autores expõem a necessidade de revisão dos padrões arquitetônicos contemporâneos, com desempenho comparativamente inferior, com foco nas diferentes áreas e climas do país.

Por meio de simulações computacionais, Belkacem et al. (2017) mediram o desempenho energético de uma residência bioclimática modelo localizada na Argélia, região de clima temperado, confrontando ainda os resultados que seriam alcançados caso fossem utilizados materiais convencionais na construção das paredes e a partir do protótipo melhorado, incluindo a ampliação das janelas da fachada sul, o emprego de ventilação noturna, dispositivos de sombreamento móveis e incorporação de sistema de aquecimento solar. Rapidamente, averiguou-se que o consumo energético da casa piloto era substancialmente inferior ao da construção

convencional. Ademais, o aumento em 50% da área transparente da fachada sul seria capaz de reduzir por volta de 49% a necessidade por aquecimento e as estratégias de resfriamento noturno e sombreamento diminuiriam a necessidade de arrefecimento durante os períodos mais quentes. O sistema de aquecimento testado, em função de seu modo de funcionamento, seria capaz de garantir 68% da demanda de aquecimento, sendo que o conjunto das técnicas empregadas para otimização do protótipo mostrou-se efetivo para redução do consumo e promoção do conforto térmico interno.

Ainda atinente à África e a partir da perspectiva adaptativa, Becalli et al. (2018) revisaram métodos para análise do conforto termohigrométrico em edifícios naturalmente ventilados e aplicaram a um estudo de caso de estabelecimento de saúde, no qual utilizaram técnicas construtivas tradicionais de Moçambique, com a intenção de torná-lo autossuficiente quanto ao consumo energético. O artigo traz uma discussão sobre as implicações entre os diferentes métodos para diagnóstico do conforto térmico em climas quentes e úmidos e os preceitos vernaculares e bioclimáticos. Os resultados apontaram a possibilidade de diminuição do consumo e aumento do conforto térmico interno, mas também indicaram a necessidade de harmonização dos vários procedimentos. Ademais, os autores constataram que a aplicação de normas consolidadas como a ANSI/ASHRAE *Standard* 55 e EN 15251 se mostrou adequada para avaliações do desempenho energético e redução do uso de sistemas de condicionamento mecânico.

Mandy e Nikolopoulou (2014) avaliaram a repercussão de três variáveis recomendadas pelo Código Egípcio de Energia Residencial; nomeadamente a razão entre a dimensão da janela e área de fachada, tipos de vidro e mecanismos de sombreamento; no conforto térmico, consumo de energia e seu custo-benefício correspondente, de modo a identificar a melhor combinação. Um edifício residencial típico foi selecionado para estudo através de simulação computacional com auxílio do *software DesignBuilder*, abrangendo três diferentes zonas térmicas do Egito, alternando materiais construtivos compatíveis segundo o código, em quatro cenários climáticos, um atual e três futuros. Conforme a região estudada, foram encontrados diferentes resultados para a correlação entre área de fachada transparente e opaca, no entanto, concluiu-se que o vidro refletivo único 6.4mm apresentou, de maneira comum, a melhor resposta em termos de conforto térmico interno, menor gasto energético, emissões mínimas e benefícios financeiros a longo prazo.

Do continente europeu provém mais alguns artigos relacionados com o tema. Bugenings e Kamari (2022) buscaram identificar estratégias passivas adaptadas à realidade da Dinamarca, através de uma revisão sistemática da literatura complementada pela análise de 25 projetos dinamarqueses baseados na arquitetura bioclimática. Por meio da pesquisa, os autores identificaram que são várias as soluções estudadas e aplicadas, dentre as quais destacam-se os ganhos solares, isolamento térmico e massa térmica para aquecimento, e ventilação natural e sombreamento para arrefecimento, não havendo uma diretriz a nível nacional. No que concerne a

essa pesquisa, importante mencionar os resultados positivos verificados com a aplicação de sombreamento solar quanto a redução das horas de desconforto por calor e do consumo energético da edificação, bem como os observados com o emprego do condicionamento natural quanto ao aumento do conforto térmico durante os períodos de temperatura elevada e redução da demanda por condicionamento mecânico. Em função do aumento da temperatura global, os pesquisadores ainda chamaram a atenção para a possibilidade de popularização no país das estratégias para arrefecimento, apesar de constatarem a predominância de estratégias de aquecimento passivo.

Murtagh, Gatersleben e Fine-Schaw (2019) realizaram uma pesquisa on-line com 1007 habitantes do sul da Inglaterra, visando identificar quão motivados estavam para modificar e proteger sua moradia do superaquecimento decorrente do clima e quais aspectos os sugestionavam. A investigação baseou-se na Teoria da Motivação da Proteção, largamente aplicada no contexto das inundações, considerando que compreender a motivação dos indivíduos era fundamental para desenvolver habitações mais resilientes. Os dados revelaram que os fatores psicológicos foram julgados mais relevantes, se sobrepondo aos socioeconômicos; que experiências anteriores interferiram no julgamento sobre a ameaça, mas não estimularam diretamente a proteção; e que o conhecimento de medidas mitigadoras se mostrou favorável, incentivando ações de enfrentamento. Os resultados demonstraram a urgência de iniciativas políticas e do setor da construção civil, visto que o custo financeiro não se mostrou determinante para os moradores e a falta de interesse pessoal pareceu limitar quaisquer ações para precaução. Em conclusão, os autores pontuaram que quanto maior a informação sobre práticas mitigadoras e a compreensão sobre a capacidade e eficácia de ações individuais, mais engajados seriam os moradores, esforçando-se para combater o aumento das temperaturas.

Para mais, De Angelis et al. (2017), por meio de simulações computacionais envolvendo uma sala de aula padrão, compararam seis diferentes estratégias projetuais para a envoltória da edificação, aplicando soluções, tanto nas porções opacas quanto nas transparentes, e analisaram suas repercussões no consumo energético e na temperatura interna como critério para o conforto térmico. Embora mais cara, a combinação de isolamento e janelas otimizados seria capaz de proporcionar grande economia de energia. Os autores ponderaram ainda que o uso de películas nas esquadrias poderia ser uma alternativa de baixo custo para as áreas transparentes e que esse controle representaria uma estratégia eficiente especialmente durante os períodos mais quentes.

E encerrando o grupo com uma pesquisa procedente de um país euro-asiático, Varolgunes (2019), com base na percepção dos usuários, comparou o nível de conforto térmico e visual proporcionado por edificações vernaculares e contemporâneas construídas na província de Bigöl, na Turquia, região de clima frio e constantes movimentações sísmicas. Os elementos e características arquitetônicas originais; como a planta compacta de um ou dois andares com orientação sul, composta por paredes espessas de pedra, vigas de madeira e janelas pequenas;

foram gradualmente substituídos, principalmente após um terremoto ocorrido em 2003, dando lugar a residências multifamiliares de cinco a oito andares dispostas aleatoriamente e de maneira contígua, construídas em concreto armado. Os resultados da pesquisa apontaram que, apesar de estarem desaparecendo, as moradias típicas viabilizaram melhores condições climáticas aos seus habitantes, com desempenho térmico superior, tanto no verão quanto no inverno, bem como maior conforto visual, enquanto os novos projetos mostraram-se dependentes dos sistemas mecânicos, aumentando, com isso, o consumo energético e prejudicando a salubridade dos ambientes.

Duas das pesquisas selecionadas para este trabalho concentraram-se nas particularidades dos países asiáticos. Com o objetivo de estabelecer estratégias projetuais para construção de edificações ecológicas em Lhasa, na China, Zhang e Lian (2015), por exemplo, retrataram a arquitetura tradicional da região e simularam, com o auxílio do *software* Ecotect, distintos aspectos climáticos da cidade, abrangendo temperatura, radiação, umidade relativa e velocidade do ar. A análise permitiu identificar os principais desafios de projeto, considerando o clima singular de planalto serrano, com grandes diferenças de temperatura diurna e noturna e intensa radiação solar, e possibilitou apontar os parâmetros ventilação natural no inverno com fechamento automático da claraboia, paredes solares ou janelas com dispositivo automático de sombra suficientemente dimensionadas ao sul e paredes com capacidade térmica a serem ponderados para um *design* passivo respeitando as diferentes estações.

Já Purushothaman e Thirumaran (2021) investigaram a arquitetura, estratégias de *design* e condições de conforto de residências vernaculares da vila de Konearirajapuram, um assentamento agrário estabelecido no ano de 1750 em Nagappattinam, na Índia, região de clima tropical. Empregando a tabela Mahoney, usada para avaliar o clima e potenciais sugestões de projeto, utilizando a carta bioclimática de Olgay, bem como questionários subjetivos sobre o nível de bem-estar térmico, os autores concluíram que as soluções arquitetônicas adotadas pelas edificações tradicionais eram capazes de garantir alto nível de conforto sem qualquer sistema ativo, consumindo menos energia do que as construções contemporâneas. As características elencadas como benéficas foram os espaços abertos para entrada de ar frio, aberturas de tamanho médio, coberturas leves e isoladas e orientação norte-sul, devendo, segundo os pesquisadores, serem incorporadas nas concepções contemporâneas para climas similares.

Por último, notadamente centrados na América do Norte, Rodríguez-Miranda, Martínez-Álvarez e González-Nava (2021), através de simulação computacional, avaliaram o comportamento térmico de um projeto de moradia de interesse social a ser edificada na cidade de Guanajuato, no México, após a implementação de estratégias bioclimáticas. Buscando minimizar as influências negativas do clima temperado seco da região e alcançar condições de conforto térmico adequadas foram testadas melhorias, notadamente alterações na inércia térmica dos materiais, alargando as paredes e teto de concreto de 10cm para 20cm; na absorção e emissividade

das superfícies, pintando o exterior de branco; e com uma reorganização das superfícies transparentes, invertendo a posição da janela de um dos dormitórios. O desempenho da residência melhorou significativamente, com uma redução de 77% do consumo energético com condicionamento mecânico, além de temperaturas internas mais constantes e equilibradas entre os ambientes. No artigo, relata-se os impactos positivos, em especial no dispêndio com energia e redução do desconforto térmico, obtidos a partir da arquitetura bioclimática e a importância da simulação para avaliar previamente o desempenho de uma construção.

Concluindo, não obstante a presença marcante dos países Sul-Americanos, nessa exploração dividida por continentes (América do Sul; África; Europa, Ásia; América do Norte), constatou-se o volume reduzido de análises focadas em concepções atentas ao clima, técnicas tradicionais e materiais locais, bem como em soluções passivas de projeto, com o propósito de melhorar o desempenho de ambientes internos. Por outro lado, a verificação de tais pesquisas revelou, no geral, uma atenção e tensão crescente em relação às mudanças climáticas e quanto à possíveis contribuições para reversão, mas também proteção contra climas cada vez mais extremos. Muitos pesquisadores têm enxergado na arquitetura bioclimática uma maneira de atuar assertivamente a favor do conforto térmico e eficiência energética das edificações.

Ainda, resgatando o conteúdo tratado nos itens predecessores, essa apuração evidenciou, sobretudo, o número acanhado de estudos relativos às temáticas sala de aula, arquitetura bioclimática, conforto térmico e suas respectivas expressões congêneres. Por fim, ressalta-se que o exposto foi um apanhado das pesquisas selecionadas para esse diagnóstico preparatório. Na sequência, o conteúdo será esmiuçado, apresentando definições e acentuando as soluções projetuais propícias ao clima subtropical úmido, foco principal do presente estudo.

3.3.2. Arquitetura Bioclimática e Soluções Passivas de Projeto

As leituras anteriores evidenciaram que a saúde e o bem-estar do usuário são os fatores mais significativos na qualificação de ambientes internos (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Em tempos de pouca tecnologia, a habitabilidade desses espaços era garantida mediante o aproveitamento eficiente de fontes naturais (VAROLGUNES, 2019), mas um novo ciclo se iniciou a partir da Revolução Industrial, quando o conforto da edificação achou-se subordinado ao uso de equipamentos mecânicos (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

A urbanização acelerada e os conceitos da arquitetura moderna deixaram as técnicas e práticas construtivas tradicionais no passado (PURUSHOTHAMAN; THIRUMARAN, 2021) e as novas edificações, mesmo que alheias às tradições e condições climáticas de uma

região, ganharam espaço e tornaram-se sinônimo de status, inclusive no presente (VAROLGUNES, 2019).

Em 1980 os prejuízos ambientais produzidos pela indústria da construção civil foram assumidos, despertando a ideia da sustentabilidade (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). A crescente preocupação com os impactos produzidos pelo adensamento populacional e suas implicações, ampliou o interesse por soluções arquitetônicas com esse viés (GALLARDO et al., 2018).

Atualmente, o número abundante de novas construções, a problemática envolvendo o consumo energético e o surgimento de novas políticas de proteção ambiental assinalam a indispensabilidade de projetos e edificações mais coerentes (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Estima-se que o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa tenham um aumento exponencial até meados do século, duplicando ou até triplicando os montantes atuais, tendência que poderia ser relativamente modificada com a disseminação de boas práticas e melhores tecnologias construtivas (BAREA et al., 2022).

A introdução inadiável de medidas de mitigação tem impulsionado a publicação de estudos sobre as consequências das alterações climáticas no consumo de energia proveniente das edificações (BAREA et al., 2022). Ainda assim, o que se vê é uma arquitetura contemporânea que pouco tem se preocupado com a adaptação ao clima e local de inserção (RINCON et al., 2016).

Com o objetivo de que demandas futuras sejam supridas e atentando para a relevância da eficiência energética nesse contexto, o governo brasileiro criou o Plano Nacional de Energia, adotou o Programa Nacional de Conservação Elétrica e lançou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019). Em 2014 publicou a Instrução Normativa nº 2, na qual institui, entre outros, que o projeto de obras públicas federais novas deve ser concebido objetivando a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, a nível Geral classe “A” (BRASIL, 2014).

Voltando no tempo, observa-se que os artifícios passivos empregados no passado, a favor do bem-estar em ambiente interno poderiam ser a solução de algumas contrariedades contemporâneas (PURUSHOTHAMAN; THIRUMARAN, 2021). A chamada arquitetura vernacular era praticada por construtores sem qualquer qualificação formal, mas profundos conhecedores das imposições climáticas locais (PURUSHOTHAMAN; THIRUMARAN, 2021). Logo, foi o conhecimento prático que fundamentou suas técnicas e características (VAROLGUNES, 2019).

A arquitetura vernacular refere-se às evoluções arquitetônicas ao longo da história, com o objetivo de lograr melhores níveis de conforto. Incorporou sabedorias sociais, culturais, econômicas, tecnológicas, climáticas e até mesmo religiosas, representativas de determinada região, a fim de conceber projetos únicos (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Os

conceitos abarcados por ela são capazes de exercer uma função crucial na estruturação de edificações ajustadas às condições climáticas locais (PURUSHOTHAMAN; THIRUMARAN, 2021).

Na atualidade, alicerçada nessas noções e práticas vernaculares, a arquitetura bioclimática procura explorar as soluções projetuais e construtivas tradicionais (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Sem uma definição exata, seu conceito ora foca no clima local, ora na eficiência energética ou conforto térmico (BUGENINGS; KAMARI, 2022). A arquitetura bioclimática compreende projetos que buscam respeitar o clima local, valendo-se de estratégias passivas para melhores condições de conforto interno (BUGENINGS; KAMARI, 2022). Como consequência, as estratégias auxiliam a redução do consumo energético e constituem substrato para novos parâmetros adaptados ao contexto social da arquitetura contemporânea (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

As soluções projetuais passivas abrangem a disposição do imóvel no terreno, atentando para sol, vento, proporção e espaço; incluem ainda o movimento do ar e sua correlação com as aberturas, considerando dimensão, posição e proteções; compreendem também as características da envoltória, dando importância às paredes, seus materiais e espessuras; e integram particularidades da cobertura (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Ainda, têm relação com sistemas de resfriamento evaporativo e aquecimento solar (BECALLI et al., 2018). Podem englobar o aquecimento e resfriamento passivo, por meio da retenção e admissão ou exclusão e dissipação do calor, nessa ordem (BUGENINGS; KAMARI, 2022).

Abordando os pormenores de algumas estratégias, percebe-se que a orientação solar da edificação, talvez seja o parâmetro mais importante do projeto solar passivo, capaz de reduzir a demanda por aquecimento ou arrefecimento e de melhorar outras estratégias passivas de projeto (BUGENINGS; KAMARI, 2022). Dentro das especificidades, ela mostra-se relevante, uma vez que o dispêndio com energia está proporcionalmente relacionado ao desempenho térmico da envoltória, sendo as superfícies transparentes as áreas com maior absorção de calor através da radiação solar (MANDY; NIKOLOPOULOU, 2014), ou seja, dispor os edifícios de forma adequada, principalmente os planos envidraçados, implicará em menor consumo energético.

De maneira geral, deduz-se que o isolamento térmico da envoltória apropriado e janelas de vidro duplo, minimizarão as perdas de calor no inverno e a necessidade de refrigeração no verão, convertendo-se em diminuição do consumo (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Uma alternativa distinta pode ser a proteção de parte da edificação pelo solo que, da mesma forma, tem potencial para reduzir os ganhos de calor solar e convectivo, diminuir a infiltração do ar externo e proporcionar um incremento de resistência térmica, representando uma estratégia para resfriamento ou aquecimento da edificação (BUGENINGS; KAMARI, 2022).

No que interessa à presente pesquisa, uma boa orientação da edificação, evitando a radiação solar excessiva durante o verão, contribuirá com a economia de energia com

resfriamento. Outrossim, cores claras para fechamentos externos e coberturas, refletirão o sol e evitarão o aquecimento excessivo do envelope em locais de clima quente (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Para mais, observa-se que diversas pesquisas apontam a inércia térmica como importante parâmetro a ser trabalhado em favor da eficiência energética e melhores níveis de conforto térmico em locais de temperatura amena e elevada (DE ANGELIS et al., 2017). Vale complementar que a inércia térmica está relacionada ao amortecimento e ao atraso da onda de calor em consequência da densidade, condutibilidade e capacidade calorífica dos materiais. Quanto maior esta for, mais acentuados serão o amortecimento e atraso (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Somando benefícios, o conhecimento acerca dos mecanismos de sombreamento associados à razão entre a área opaca e transparente da fachada podem auxiliar no combate do superaquecimento (MANDY; NIKOLOPOULOU, 2014). Sistemas de sombreamento solar, a própria geometria da edificação, vegetações e dispositivos dedicados, fixos ou móveis, podem impedir esses efeitos negativos (BUGENINGS; KAMARI, 2022).

Em especial, o uso da vegetação como estratégia passiva de projeto pode gerar benefícios ambientais, favorecer o conforto térmico interno e, por consequência, promover a eficiência energética. As fachadas verdes protegem a edificação do frio e do vento impedindo perdas de calor, além de reduzir a temperatura interna do ambiente, graças ao sombreamento que propiciam (GALLARDO et al., 2018).

Relativamente a essa análise, em regiões de clima quente e úmido, tanto o sombreamento, quanto a ventilação natural são apontados como estratégias essenciais em benefício do bem-estar térmico (COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019). O condicionamento natural tem como finalidade o arrefecimento do ar interior, da estrutura física da edificação, bem como o resfriamento do organismo humano por convecção e evaporação (COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019). A ventilação natural, seja ela unilateral, cruzada ou por meio de torres eólicas, auxilia o movimento do ar quente melhorando a condição térmica do ambiente interno (BUGENINGS; KAMARI, 2022). Mas essa estratégia deve ser utilizada com cautela, sendo recomendada apenas quando as temperaturas externas forem menores do que as máximas para conforto, caso contrário, a ventilação noturna pode ser uma variação eficaz, dado o clima geralmente mais ameno (RINCON et al., 2016). Sem dúvida, a falta de informação sobre os níveis de conforto térmico de ambientes ventilados naturalmente, prejudica a concepção de projetos arquitetônicos que privilegiem essa estratégia (COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019). De qualquer maneira, estudos apontam que o seu favorecimento em espaços acadêmicos pode reduzir significativamente o consumo de energia.

Apesar disso, nas instituições públicas de ensino do Brasil, observa-se uma propensão para o condicionamento mecânico dos espaços, em detrimento do uso de estratégias passivas, como a ventilação natural. Os motivos podem estar associados ao desconhecimento

sobre a arquitetura bioclimática, à carência de profissionais comprometidos com o conceito e, ainda, à dificuldade de acesso a programas computacionais apropriados. De forma geral, no setor educacional, os investimentos iniciais reduzidos se sobressaem aos custos de manutenção futura, mesmo que o dispêndio com energia aumente significativamente devido a climatização dos ambientes (COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019).

Nesse ponto, vale reiterar que a aplicação de soluções bioclimáticas pode otimizar o desempenho térmico da edificação, minimizar o consumo energético e concomitantemente melhorar as condições de bem-estar térmico dos usuários (GUARDA et al., 2021) e são vários os recursos utilizados para indicar o nível de conforto dos ambientes internos. O diagrama bioclimático é um exemplo, sendo o de Baruch Givoni um dos mais aplicados (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

As cartas psicrométricas de Givoni, populares no Brasil, podem também ser um instrumento eficaz na busca de soluções bioclimáticas para edificações, especialmente em climas quentes e úmidos. Esse autor fundamentou sua pesquisa na relação linear entre pressão de vapor e amplitude da temperatura do ar, permitindo a interpretação gráfica dos dados climáticos com o objetivo de levantar a estratégia apropriada (GUARDA et al., 2021).

No diagrama são utilizados os dados de umidade do ar, localizados no eixo x, e temperatura de bulbo seco, dispostos no eixo y, sendo as curvas psicrométricas do gráfico referentes à umidade relativa. Ele apresenta quatorze setores distintos, cada qual apontando estratégias específicas em benefício do conforto em ambiente interno, sendo que as zonas de número um e dois são consideradas ideais para o bem-estar do usuário. A primeira é confortável para 70% da coletividade, não havendo gastos energéticos para manutenção da sensação de conforto, dispensando, dessa forma, a implementação de estratégias projetuais. Na segunda, também chamada de zona permissível, o gasto energético para que o indivíduo se adapte é mínimo, sendo que 80% da população sente-se confortável (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Assim, definindo o contexto climático do local de implantação da obra, ou seja, a zona a qual ele se enquadra, e as soluções projetuais associadas, preferencialmente passivas, é possível melhorar as condições ambientais da edificação (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Conquanto, a carta psicrométrica representa tão somente um pontapé inicial no processo de seleção de estratégias passivas de projeto e deve ser associada a outros recursos, a exemplo da simulação computacional, a fim de pormenorizar o comportamento térmico da edificação (MIRANDA; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ; GONZÁLEZ-NAVA, 2021).

Nos últimos anos, as simulações energéticas têm sido paulatinamente incorporadas ao processo projetual (BAREA et al., 2022), permitindo analisar o desempenho de uma obra e contrapor diversas alternativas, sendo essas funcionalidades as suas principais vantagens (MIRANDA; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ; GONZÁLEZ-NAVA, 2021).

A relação entre elementos ambientais e físicos, e destes com os usuários, deve ser examinada sob todos os ângulos de modo a satisfazê-la, promovendo qualidade de vida e mitigando o descontentamento térmico e a busca por alternativas ativas que afetam fatores econômicos (TOALA-ZAMBRANO et al., 2022) e a simulação do comportamento da edificação em uso possibilita que esse balanço seja feito previamente.

Porém, não há escapatória, quando os recursos passivos não forem suficientes para que a zona de conforto seja atingida, devem ser acrescentadas soluções tecnológicas, como o condicionamento mecânico (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015), sem perder de vista que a necessidade de sistemas ativos pode ser minimizada à medida que as condições climáticas locais forem aproveitadas (MIRANDA; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ; GONZÁLEZ-NAVA, 2021).

O emprego de sistemas passivos e a utilização de concepções bioclimáticas tem, de fato, potencial para reduzir a demanda energética derivada da construção civil (RINCON et al., 2016). Uma boa notícia é que, atualmente, a arquitetura bioclimática encontra-se em expansão, propondo-se a retomar valores construtivos para salvaguarda da edificação contra climas extremos em harmonia com o consumo mínimo. Brasil, Itália e Espanha ocupam posição de vanguarda quando o assunto é incorporar a tendência em novas obras, ampliações ou reabilitações (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

O setor da construção civil, ao aproveitar dos recursos naturais, deve ter uma conduta responsável, empregando, preferencialmente, materiais locais, técnicas construtivas tradicionais, bem como estratégias de condicionamento passivo e de baixo gasto energético (BECALLI et al., 2018). Ainda que determinadas medidas com o objetivo de economia de energia revertam-se em altos custos e longos períodos para retorno, a incorporação de estratégias bioclimáticas indubitavelmente oferece benefícios (DE ANGELIS et al., 2017).

Havendo a conscientização da repercussão nas mudanças climáticas, a sociedade deve seguir implementando políticas de uso que efetivamente regulem os gastos, favoreçam e incentivem a economia de energia (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Um projeto arquitetônico atento ao clima, em especial os extremamente quentes, é fundamental, inclusive, para formar usuários com costumes e práticas conscientes (WIDERA, 2021). Indivíduos informados sobre o potencial de suas ações mitigadoras, possivelmente se sentirão aptos a enfrentar os problemas relacionados ao superaquecimento (MURTAGH; GATERSLEBEN; FINE-SCHAW, 2019).

Consequente, depreende-se que a arquitetura bioclimática exercerá progressivamente uma função mais relevante rumo ao desenvolvimento sustentável (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Nesse caso, as tipologias vernaculares devem servir de referência para as novas construções em função de seu caráter passivo, assim como por sua preocupação para com a cultura, estrutura social, modo de vida e viabilidade econômica local (VAROLGUNES, 2019).

Soluções baseadas nesses preceitos representam uma alternativa mais assertiva para a promoção da sustentabilidade, até mesmo em nações desenvolvidas (BECALLI et al., 2018).

Lamentavelmente, nos países emergentes, a arquitetura bioclimática, embora indiscutivelmente benéfica, ainda se mantém menosprezada e vagamente assimilada (WIDERA, 2021). Nesse contexto, as universidades exercem um papel relevante no fomento de projetos mais eficientes, com ambientes termicamente confortáveis, que se utilizem de soluções passivas para tal e, assim, cumpram com as metas de desempenho ambiental (COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019). A conscientização dos usuários quanto ao seu comportamento, talvez seja a maneira barata de implementar a eficiência energética (DE ANGELIS et al., 2017).

Essa expressão, tão trivial atualmente, está conceitualmente relacionada às condições ambientais desejadas associadas à minimização do consumo de energia (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015) e para que ambos sejam atingidos, deve-se considerar a relevância dos fatores climáticos e ambientais no processo projetual (ZHANG; LIAN, 2015). Tal como visto, a implementação de estratégias passivas decorre de iniciativas, logo na etapa inicial da concepção do projeto, demandando, além de tudo, conhecimento técnico do profissional responsável (RINCON et al., 2016).

Diversos países se esforçam para neutralizar os efeitos negativos decorrentes de temperaturas cada vez mais elevadas e um caminho viável, como mencionado, pode estar na arquitetura bioclimática (BUGENINGS; KAMARI, 2022). Além disso, em razão de sua ênfase ambiental, social e cultural, materiais e técnicas construtivas tradicionais tem potencial para assegurar melhores condições de conforto interno (BECALLI et al., 2018).

Essas informações chamaram a atenção para a urgência de medidas firmes e para a necessidade de comprometimento dos profissionais da área, diante das mudanças climáticas globais. Mostra a responsabilidade do setor, mas também da sociedade, de arcar com o problema e trabalhar para remediá-lo. O desenvolvimento do projeto arquitetônico tem potencial para operar nesse sentido, entretanto, precisa ser concebido de modo a proporcionar conforto ao usuário, valorizar as condições climáticas, implicando uma coerência com o meio ambiente, buscar a eficiência energética, empregar métodos e materiais locais e procurar aproximar a edificação do seu entorno. Quando baseada em conceitos bioclimáticos, a arquitetura reflete esse propósito.

É oportuno reforçar que, dentro de um ambiente escolar, a consideração de todos esses aspectos pode ainda contribuir para a produtividade e aprendizagem de alunos e influenciar positivamente a conduta e a percepção da comunidade. As estratégias bioclimáticas, à medida que revertidas para o bem-estar térmico e desempenho da edificação, levam à redução do uso de mecanismos ativos, restando o consumo energético e a geração dos gases de efeito estufa. Concepções com essa perspectiva devem ser prioridade para o enfrentamento de climas cada vez mais extremos, tendo em vista as perspectivas das mudanças climáticas.

3.4. EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS NO CONTEXTO DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Os recursos naturais podem ser aproveitados para potencializar as condições de habitabilidade dos edifícios, respondendo ao contexto climático local e promovendo níveis adequados de conforto térmico aos ocupantes. Todos os elementos que compõem o ambiente construído, inclusive a sua área de implantação e microclima, assim como finalidade e padrões de uso, devem ser ponderados de maneira holística. Em caso de restrições ou impossibilidade, além das soluções passivas de projeto, estratégias ativas podem ser incorporadas e são desejáveis, quando o objetivo é melhorar os níveis de bem-estar e alcançar a utilização racional da energia.

Tendo isso em vista, foram examinados projetos nacionais e internacionais de edificações educacionais que incorporam critérios da arquitetura bioclimática ou, ainda, que integraram outros recursos para otimização da eficiência energética, de forma a fornecer as bases iniciais para a análise e indicação de estratégias projetuais, em especial passivas, para o edifício, objeto de estudo da presente pesquisa. Como base para essa análise projetual, foram identificados empreendimentos acadêmicos presentes na plataforma *ArchDaily*, considerando preferencialmente a implantação em climas do tipo Cfa, segundo a classificação climática de Köppen. Embora em alguns casos não se trate do mesmo tipo de clima, conhecer os aspectos principais relacionados à concepção e análise de empreendimentos acadêmicos é o primeiro passo para a determinação e indicação de tais soluções.

Segundo o *US Green Building Council (USGBC)*, atualmente existem no Brasil quatro instituições educacionais com certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), sendo uma no Rio de Janeiro, uma no Paraná, uma em Santa Catarina (USGBC, 2022a), e outra no mesmo estado contando também com a certificação LEED Energia Zero (USGBC, 2022b).

O Colégio Estadual Erich Walter Heine é uma dessas instituições certificadas. Construído a partir de uma parceria público privada, foi a primeira escola na América Latina a obter o selo *Silver do LEED-SCHOOL New Constructions*. O projeto, de responsabilidade dos arquitetos Rafael Tavares e Maria José de Mello, sócios do escritório Arktos Arquitetura Sustentável (ALBUQUERQUE, 2014), também recebeu, em 2012, o prêmio Greenvana Greenbest na categoria Projetos de Arquitetura e Construção (GALERIA DA ARQUITETURA, 2022).

Ao todo, foram incorporados aproximadamente cinquenta e dois recursos, visando a redução do consumo energético e a otimização dos recursos naturais empregados. Voltado ao conforto térmico interno, destaca-se o telhado verde (Figuras 3.17 e 3.18) e seu potencial para diminuir a absorção de calor solar (BARATTO, 2014). A escola também conta com um pátio central coberto por uma claraboia de vidro favorecida por aberturas que possibilitam a retirada do ar quente através do efeito chaminé (Figura 3.19), auxiliando a sensação de bem-estar térmico, bem como

com esquadrias bem-posicionadas que proporcionam a ventilação cruzada (ALBUQUERQUE; LACERDA; KRAUSE, 2013).

Além disso, um jardim vertical cobre parte da fachada oeste do prédio (Figura 3.20), auxiliando na qualidade do ar e funcionando como um isolante térmico. Ademais, foram empregados vidros acústicos de 4mm do tipo reflexivo, reduzindo a incidência solar no interior dos ambientes e aumentando o desempenho energético; foram utilizados tijolos deitados, aumentando a inércia térmica; e a quadra de esportes teve a cobertura pintada na cor branco, de modo a reduzir o ganho de calor (ALBUQUERQUE, 2014).

Figura 3.17. Telhado verde do Colégio Estadual Erich Walter Heine



Fonte: Márcia Costa (2014).

Figura 3.18. Vista aérea da instituição de ensino



Fonte: Arktectus (2022).

Figura 3.19. Pátio central coberto



Fonte: Arktectus (2022).

Figura 3.20. Jardim vertical instalado na fachada oeste



Fonte: Rafael Tavares De Albuquerque (2012).

Outra edificação educacional certificada é o Colégio Positivo Internacional (Figura 3.21), primeiro a receber o selo *Gold do LEED-SCHOOL New Constructions*. Dentre as soluções passivas a favor do conforto térmico e eficiência energética, adotadas pelo escritório Manoel Coelho Arquitetura e *Design*, estão a orientação do prédio, com as salas de aula voltadas para o norte; e

dispositivos de sombreamento, com brises e painéis metálicos perfurados (Figuras 3.22, 3.23 e 3.24) que potencializam a iluminação e ventilação natural (MCA, 2021).

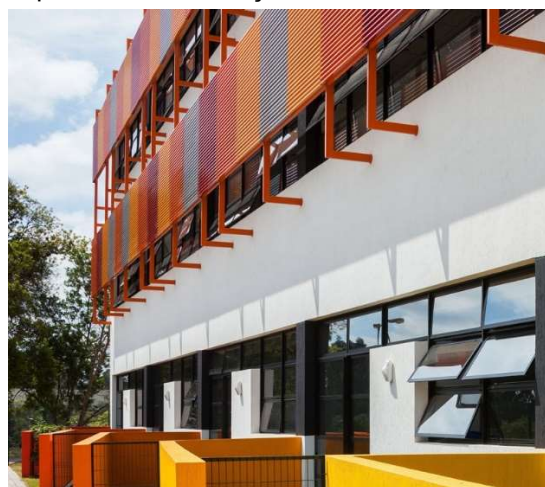
O projeto incorporou ainda paredes mais pesadas, auxiliando o amortecimento e o atraso da onda de calor; ventilação cruzada nas salas de aula, contribuindo com o movimento do ar quente e diminuindo a temperatura interna; e telhados pintados na cor branco, atenuando o ganho de calor solar (SECOVI SP, [2014?]).

Figura 3.21. Colégio Positivo Internacional



Fonte: Nelson Kon (2022).

Figura 3.22. Brises protegem as superfícies transparentes da absorção de calor solar excessivo



Fonte: Nelson Kon (2022).

Figura 3.23. Painel metálico perfurado instalado na fachada da instituição



Fonte: Nelson Kon (2022).

Figura 3.24. Fechamento do pátio interno por painel metálico perfurado



Fonte: Nelson Kon (2022).

O Sesc CEDEI (Centro de Desenvolvimento Infantil) igualmente deu entrada no processo de certificação para o *LEED-SCHOOL New Construction*, optando posteriormente pela paralisação dos trâmites para obtenção do selo. O projeto (Figura 3.25), desenvolvido pelo escritório +K, favoreceu a formação de pátios internos, alguns acessados por portas do tipo basculante que,

quando abertas, criam áreas externas sombreadas (Figura 3.26). Ademais, o uso da vegetação mostrou-se uma estratégia bastante valorizada nesse empreendimento educacional. Um telhado verde abrange boa parte da cobertura (FURUTO, 2012), melhorando as condições de conforto térmico interno por meio da absorção de calor solar (Figura 3.27). Observando-se as imagens e projeto arquitetônico, também é possível identificar a incorporação de brise na fachada frontal e de jardins verticais que isolam a edificação das construções adjacentes, reduzindo a temperatura interna do ambiente e melhorando a qualidade do ar (Figura 3.28).

As salas de aula possuem cobertura em lanternim, melhorando a iluminação natural nesses espaços. É interessante indicar que o projeto foi ainda selecionado para a Mostra Internacional de Arquitetura da Bienal de Veneza 2012 (+K, 2022).

Figura 3.25. Perspectiva do Sesc CEDEI. Grande parte da cobertura é composta por vegetação



Fonte: Damien Murat (2022).

Figura 3.26. Fachada frontal da edificação. As paredes laterais abrigam jardins verticais



Fonte: Damien Murat (2022).

Figura 3.27. As aberturas das salas funcionam como mecanismos de sombreamento



Fonte: Damien Murat (2022).

Figura 3.28. O telhado verde da cobertura minimiza a absorção de calor e serve como espaço de recreação



Fonte: Damien Murat (2022).

Precursora, a Creche Municipal Hassis (Figura 3.29) foi além e conquistou a certificação *LEED Platinum* e a *LEED Zero Energy* (USGBC, 2022b). Na edificação, a ventilação cruzada minimiza a necessidade de condicionamento mecânico, deixando os espaços mais arejados. A iluminação natural foi outro recurso valorizado pelo projeto e o controle de presença e intensidade da luz artificial por fotossensores minimizam os gastos energéticos.

Grande parte da cobertura foi pintada na cor branco, diminuindo a absorção de calor solar, mas há ambientes no qual optou-se pelo uso do telhado verde (Figuras 3.30 e 3.31) (NOGUEIRA, 2015). Além disso, visando o conforto térmico, foram utilizados isolamento na subcobertura e forro termoacústico nas áreas de circulação e pátio central (SME, 2015). Elementos vazados instalados logo abaixo da cobertura (Figura 3.32) auxiliam a circulação de ar entre as telhas e o forro (WENSING; ANSELMO, 2020).

A creche, projetada pela arquiteta Rachel Braga, possui geração de energia por sistema fotovoltaico e aquecimento de água por placas solares (BARATTO, 2019). O terreno conta ainda com dois bosques com plantas nativas e uma horta (SME, 2015), abrandando as condições do microclima local.

Figura 3.29. Creche Municipal Hassis. Placas fotovoltaicas instaladas na cobertura são utilizadas para geração da energia consumida



Fonte: Engie (2022).

Figura 3.30. Vista externa da instituição



Fonte: Haus (2019).

Figura 3.31. Área da creche com telhado verde



Fonte: Gabriela da Sila Wensing e Laryssa Bitencourt Anselmo (2020).

Figura 3.32. Elementos vazados instalados logo abaixo da cobertura auxiliam a circulação de ar



Fonte: Haus (2019).

De modo geral, conforme explanado, além de estratégias passivas, é possível observar em todos os projetos, a incorporação de estratégias ativas a favor do conforto térmico e eficiência energética, foco da presente pesquisa. A Tabela 3.3 apresenta resumidamente as instituições educacionais em processo de certificação, bem como as detentoras do selo LEED no país e suas principais características.

Tabela 3.3. Instituições Educacionais com processo concluído e em andamento para selo LEED no Brasil

Instituição Educacional	Cidade Estado	Pública Privada	Ano Registro e Certific.	Área (m ²)	Estratégias empregadas	Certific.
Colégio Cruzeiro	Rio de Janeiro RJ	Privada	2005 -	571.741	-	LEED NC
Colégio Estadual Erich Walter Heine	Rio de Janeiro RJ	Pública	2010 2013	27.368	Cobertura verde; jardim vertical na fachada oeste; ventilação cruzada; ventilação de efeito chaminé; vidros acústicos de 4mm do tipo reflexivo; tijolos deitados; parte da cobertura pintada na cor branco.	LEED BD+C: Schools v3 LEED 2009 Silver
Colégio Positivo Internacional	Curitiba PR	Privada	2013 2014	4.933	Orientação da edificação com salas de aula para norte e sul; ventilação cruzada; dispositivos de sombreamento (brises, painéis metálicos perfurados); envoltente de alto desempenho; cobertura pintada na cor branco.	LEED BD+C: Schools v3 LEED 2009 Gold
Sesc CEDEI	São Paulo SP	Privada	2013 -	2.425	Cobertura verde; jardim vertical; pátios internos; dispositivos de sombreamento (brises, grandes beirais formados por portas basculantes).	LEED BD+C: Schools v3 LEED 2009
Sede do INBEC	Fortaleza CE	Privada	2013 -	985	-	LEED BD+C: Schools v3 LEED 2009
Creche Municipal Hassis	Florianópolis SC	Pública	2014 2016	1.182	Cobertura verde; ventilação cruzada; sensor de ocupação para controle da iluminação artificial; cobertura pintada na	LEED NC v3 Platinum

						cor branco; isolamento na subcobertura; ventilação entre forro e cobertura; forro termoacústico na circulação; painel fotovoltaico; placas solares; área de bosque.	
Colégio Anchieta	Salvador BA	Privada	2014 -	4.645	-	LEED BD+C: <i>Schools</i> v3 LEED 2009	
UNIESP Campus Sustentável	Ribeirão Preto SP	Privada	2014 -	1.484.358	-	LEED NC	
UNIFEI Ed. Aprendizagem 01	Itabira MG	Pública	2014 -	1.084.512	-	LEED NC	
UNIFEI Ed. Aprendizagem 02	Itabira MG	Pública	2014 -	1.022.676	-	LEED NC	
UNIFEI Ed. Aprendizagem 03	Itabira MG	Pública	2014 -	1.022.676	-	LEED NC	
UNIFEI Ed. Aprendizagem 04	Itabira MG	Pública	2014 -	1.022.676	-	LEED NC	
UNIFEI Ed. Aprendizagem 05	Itabira MG	Pública	2014 -	1.022.676	-	LEED NC	
UNIFEI Ed. Aprendizagem 06	Itabira MG	Pública	2014 -	1.022.676	-	LEED NC	
FMUSP	São Paulo SP	Pública	2015 -	396.361	-	LEED NC	
Colégio Anchieta Horto Bela Vista	Salvador BA	Privada	2015 -	4.645	-	LEED BD+C: <i>Schools</i> v3 LEED 2009	
Escola Técnica Pojuca	São Paulo SP	Privada	2016 -	10.000	-	LEED BD+C: <i>Schools</i> v3 LEED 2009	
Green School Moema	São Paulo SP	Privada	2017 -	3.500	-	LEED BD+C: <i>Schools</i> v4	
Escola Internacional Coree-e	Joinville SC	Privada	2020 2021	9.413	-	LEED BD+C: <i>Schools</i> v4 <i>Gold</i>	
São Judas Tadeu Campus Unimonte	Santos SP	Privada	- -	-	-	LEED BD+C: <i>Schools</i> v4.1	

É relevante mencionar que, no Brasil, há pouca divulgação especializada em torno das certificações para empreendimentos acadêmicos. Outro dado interessante apresentado na Tabela 3.3, especificamente o ano de registro e o ano de certificação, expõe a falta de continuidade no processo de certificação. Tais constatações apontam, possivelmente, para a falta de políticas públicas e incentivos fiscais direcionados que promovam o envolvimento do setor na aplicação de medidas de eficiência energética e visando a qualidade do ambiente escolar.

Assim, além dessas referências nacionais com certificação LEED, as quais representam uma possibilidade de aplicação de soluções bioclimáticas, outros empreendimentos acadêmicos merecem destaque.—Em outras partes do mundo, igualmente em áreas de clima subtropical com verões quentes, soluções de projeto visando a otimização do conforto térmico e eficiência energética também foram incorporadas por edificações acadêmicas como a *Manassas Park Elementary School*, a *Yale School of Management Edward P. Evans Hall*, a *Kathleen Grimm School*, o primeiro edifício acadêmico da *Austin Community College*, Campus San Gabriel e a *Alice West Fleet Elementary School*.

Ainda em 2009, a *Manassas Park Elementary School* (Figura 3.33), projeto de autoria do VMDO Architects, foi idealizada como ferramenta de ensino, desmistificando e chamando atenção dos alunos para o *design* sustentável. A escola incorporou soluções passivas, como orientação das salas de aula para norte ou sul, vegetação caducifólia a oeste e superfície opaca na extremidade leste da edificação (AIA, 2022).

Nas fachadas voltadas para o Sul (Figura 3.34), as esquadrias na altura do observador receberam ainda dispositivos de sombreamento (AIA, 2022). Além disso, claraboias e persianas de luz que refletem a claridade no teto branco e inclinado, potencializando a iluminação natural (Figura 3.35). Sensores de luz também controlam a iluminação interna das salas de aula conforme condições externas, diminuindo-a ou ativando-a quando necessário (2RW, 2022).

No empreendimento, dutos de ventilação vertical atuam a favor do efeito chaminé. Ademais, um sistema automatizado controla as condições climáticas externas e, através de um dispositivo acomodado no corredor interno (Figura 3.36), avisa os ocupantes quando essas são favoráveis à abertura das janelas, transformando-os em participantes ativos (AIA, 2022).

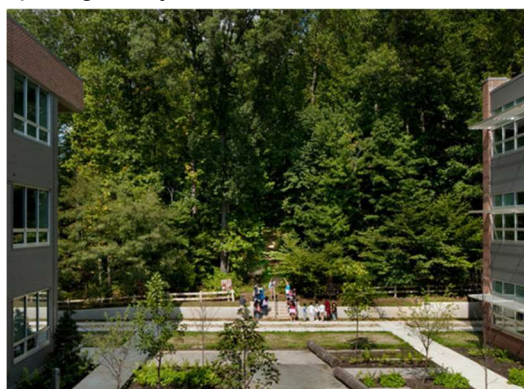
Outrossim, para otimizar o desempenho do envelope, foram incorporados vidros com seleção solar, isolamento com espuma de poliuretano em spray e sistema individualizado de bomba de calor geotérmico (AIA, 2022). Todos os elementos passivos e ativos garantiram à edificação o selo LEED *Gold* e renderam vários prêmios aos profissionais responsáveis pela concepção arquitetônica (2RW, 2022).

Figura 3.33. *Manassas Park Elementary School*



Fonte: VMDO (2022b).

Figura 3.34. Dispositivos de sombreamento protegem a janela na altura do observador



Fonte: VMDO e Prakash Patel (2022).

Figura 3.35. Vista interna da sala de aula. Teto inclinado e persianas de luz refletem a claridade



Fonte: VMDO (2022b).

Figura 3.36. Sinalização permite aos usuários participação ativa na conservação de energia



Fonte: VMDO (2022b).

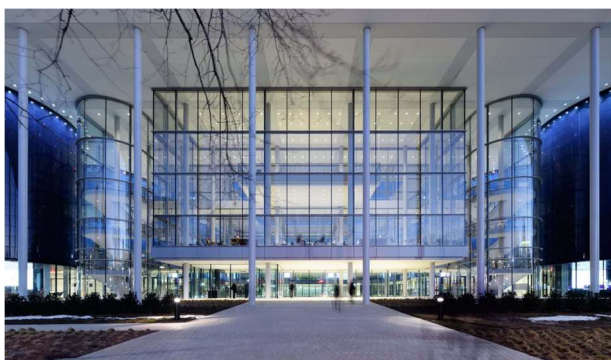
O escritório Foster+Partners abusou da tecnologia no projeto da *Yale School of Management Edward P. Evans Hall* (Figura 3.37). A edificação, certificada com o selo *Gold* do programa LEED, é condicionada por meio do fluxo de ar convectivo, utilizando vigas refrigeradas, piso radiante e ventilação por deslocamento para otimização da eficiência. Esquadrias de alto desempenho, teto branco refletivo e isolamento extra auxiliam na redução do consumo com o condicionamento mecânico. Sensores de dióxido de carbono distribuídos pelo prédio administram individualmente a circulação de ar fresco, de acordo com a quantidade de indivíduos em cada ambiente (YALE, 2018). Acionamentos de controle de frequência variável regulam as bombas e ventiladores reduzindo o uso de energia (YALE, 2022).

O projeto, que buscou privilegiar a integração dos ambientes internos com o pátio central aberto (Figura 3.38), valeu-se de grandes panos de vidro para proporcionar a permeabilidade visual e do sombreamento das superfícies e envoltória de alto rendimento para combater a consequente incidência de radiação (FOSTER+PARTNERS, 2014). De fato, o prédio chama a

atenção por suas colunas altas e estreitas, que sustentam a cobertura que se projeta para além do fechamento externo (Figura 3.39) (ARCHI-EUROPE, 2017).

Ainda, por meio das imagens e projeto, na porção direita do prédio, observa-se que a circulação interna se desenvolve em torno de um átrio de pé direito amplo (Figura 3.40). O ambiente, coberto por material translúcido e favorecido pela ventilação de efeito chaminé, denota aspectos das estratégias adotadas para o condicionamento natural dos espaços.

Figura 3.37. Yale School of Management Edward P. Evans Hall



Fonte: Foster+Partners (2022).

Figura 3.38. Vista do edifício a partir do pátio interno



Fonte: Foster+Partners (2022).

Figura 3.39. A cobertura se projeta para além do fechamento e ajuda a minimizar o ganho de calor solar



Fonte: Yale (2018).

Figura 3.40. Átrio coberto por fechamento translúcido e favorecido por ventilação de efeito chaminé



Fonte: Foster+Partners (2022).

A *Kathleen Grimm School* (Figura 3.41), idealizada pelo escritório Skidmore, Owings & Merrill (SOM), foi a primeira instituição acadêmica *Net-Zero Energy* de Nova Iorque (SOM, 2016). Para otimização da eficiência energética e conforto, a orientação da edificação foi levemente deslocada do eixo norte-sul, de modo a maximizar o aproveitamento da luz solar, em especial nas salas de aula (SOM, 2022). A disposição e altura do empreendimento, o pátio central, corredores

com claraboias (Figura 3.42), janelas na porção superior das paredes, forros inclinados e superfícies refletivas foram as estratégias utilizadas para potencializar o aproveitamento desse recurso natural (SOM,2016).

Os sistemas de ventilação por deslocamento, pré-tratamento do ar externo e controle de demanda igualmente auxiliaram na redução do consumo energético e bem-estar térmico das salas de aula (ASHRAE, 2016). Ademais, foram instalados na cobertura da edificação e fachada sul painéis fotovoltaicos em diferentes ângulos e configurações; sistema de condicionamento geotérmico; e privilegiou-se um envelope de alto rendimento, ultra isolado, minimizando infiltrações de ar (SOM, 2022). Com relação a esse último ponto, vale destacar que, para proporcionar esses ambientes bastante herméticos, foram utilizados painéis de concreto pré-moldado em todo o exterior do prédio, abrangendo da fundação à cobertura (PCI, 2017).

Ao longo da fachada, janelas de vidro triplo, protegidas com molduras coloridas (Figura 3.43), por vezes interrompem o material predominante (PCI, 2017). As placas solares também oferecem sombreamento para as áreas com maior incidência de radiação (ASHRAE, 2016). Por fim, interessante mencionar a inclusão de painéis em diversos pontos da edificação, que demonstram o seu sistema de funcionamento (Figura 3.44) e auxiliam no engajamento da comunidade acadêmica para com as questões de eficiência energética (ASHRAE, 2016).

Figura 3.41. Vista aérea da *Kathleen Grimm School*. Painéis fotovoltaicos cobrem a cobertura e a fachada Sul



Fonte: James Ewing (2022).

Figura 3.42. Claraboias trazem luz natural para as áreas de circulação



Fonte: James Ewing (2022).

Figura 3.43. Molduras coloridas garantem proteção extra para as janelas da fachada norte



Fonte: The Plan (2017).

Figura 3.44. Painéis interativos expõem o sistema de funcionamento da edificação



Fonte: James Ewing (2022).

O primeiro edifício acadêmico da *Austin Community College*, Campus San Gabriel (Figuras 3.45 e 3.46), reflete os materiais, como calcário, metal e madeira, e formas construtivas, como a geometria simples, tradicionais do Texas Central (KRANZ, 2019).

O projeto, de autoria do *SmithGroup* e *Pfluger Architects*, explorou sobretudo diversos dispositivos de sombreamento. Varandas, persianas automatizadas e brises são utilizados para mitigar os efeitos severos do sol (Figuras 3.47 e 3.48). A edificação, que possui certificação *LEED Gold*, incorporou ainda painéis fotovoltaicos em toda a área de cobertura, equipamentos de alta eficiência, iluminação em LED, entre outras estratégias para um menor consumo energético (MARRO, 2019).

Figura 3.45. *Austin Community College*, Campus San Gabriel



Fonte: Matt Winquist (2019).

Figura 3.46. Geometria e materiais empregados refletem as construções tradicionais do Texas



Fonte: Matt Winquist (2019).

Figura 3.47. Varandas protegem a edificação da radiação solar excessiva



Fonte: Matt Winquist (2019).

Figura 3.48. Grandes aberturas cobertas por beirais favorecem a circulação de ar nas salas de aula



Fonte: Pfluger Associates (2022).

O mesmo escritório que desenvolveu a *Manassas Park Elementary School* em 2009, VMDO Architects, também projetou a *Alice West Fleet Elementary School* (Figura 3.49), empreendimento que compõem a lista do *US Green Building Council* como um dos dez melhores em 2021. A edificação, *Net-Zero Energy*, obteve a certificação *LEED Gold*, incorporando diversas estratégias para reduzir a pegada de carbono e outras para potencializar a economia de energia, como a instalação de placas fotovoltaicas e condicionamento geotérmico (USGBC, 2021). As bombas de calor geotérmico permitem que o edifício seja resfriado e aquecido apenas quando e onde necessário (VMDO, 2018).

A orientação da edificação foi uma das estratégias utilizadas no propósito de energia zero, assim como o volume e *design* do envelope, previamente estudados através de modelagens interativas (Figuras 3.50 e 3.51) (VMDO, 2022). Interessante destacar que uma coluna com luzes azuis e vermelhas (Figura 3.52) instalada no saguão da escola notifica em tempo real quanta energia está sendo gerada e usada para o seu funcionamento (TAUBE, 2021).

Figura 3.49. Vista aérea da *Alice West Fleet Elementary School*



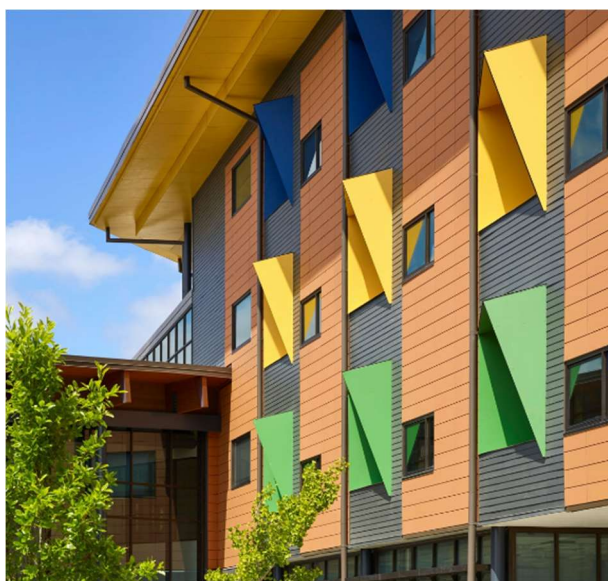
Fonte: VMDO (2022).

Figura 3.50. Simulações computacionais foram utilizadas na fase projetual para reduzir o consumo energético da edificação em operação



Fonte: VMDO (2022).

Figura 3.51. Dispositivos de sombreamento fixo protegem os elementos transparentes da fachada



Fonte: VMDO (2022).

Figura 3.52. Os usuários podem acompanhar em tempo real o quanto a instituição gera e consome de energia



Fonte: David Taube (2021).

Na sequência, a Tabela 3.4 sintetiza as principais particularidades apresentadas em relação às edificações destinados ao ensino, localizadas em outras partes do globo, em áreas de clima subtropical com verões quentes, com algumas ou várias soluções de projeto incorporadas, visando a otimização do conforto térmico e eficiência energética. Esclarece-se que os estabelecimentos acadêmicos foram ordenados por ano de conclusão.

Tabela 3.4. Instituições Educacionais com selo LEED localizadas no exterior em áreas de clima subtropical com verões quentes

Instituição Educacional	País	Cidade	Pública Privada	Escritório Responsável	Ano	Área (m ²)	Estratégias empregadas	Premiação Certificação
<i>Manassas Park Elementary School</i>	Estados Unidos	Manassas Park	Pública	VMDO Architects	2009	12.235	Orientação das salas de aula para norte e sul; vegetação caducifólia a oeste; superfície opaca a leste; isolamento da envoltória; dispositivo de sombreamento ao sul; vidros com seleção solar; ventilação de efeito chaminé; sistema de condicionamento geotérmico; painéis informativos.	LEED-NC 2.2 Gold
<i>Yale School of Management Edward P. Evans Hall</i>	Estados Unidos	New Raven	Privada	Foster+Partners	2014	26.593	Sombreamento das superfícies; envelope de alto desempenho; esquadrias de alto desempenho; ventilação de efeito chaminé; condicionada por fluxo de ar convectivo; vigas refrigeradas; piso radiante; ventilação por deslocamento; sensor de dióxido de carbono; acionamento de controle de frequência.	LEED 2009 Schools Gold
<i>Kathleen Grimm</i>	Estados Unidos	Nova Iorque	Pública	Skidmore, Owings & Merrill	2015	6.300	Orientação da edificação eixo norte-sul; volume da edificação; ventilação por deslocamento; pré-tratamento do ar externo; painel fotovoltaico; sistema de condicionamento geotérmico; envelope ultra isolado; vidro triplo; dispositivos de sombreamento (molduras nas janelas, grandes beirais formados pelas placas solares); painéis informativos.	Nyc Green School Guide, Bd+C
<i>Austin Community College San Gabriel Campus</i>	Estados Unidos	Leander	Pública	SmithGroup e Pfluger Architects	2018	10.220	Materiais e geometria tradicionais da região; varandas, persianas automatizadas e brises; painel fotovoltaico, equipamentos de alta eficiência.	LEED Gold
<i>Alice West Fleet Elementary School</i>	Estados Unidos	Arlington	Pública	VMDO Architects	2019	10.372	Orientação da edificação; volume da edificação; condicionamento geotérmico; painel fotovoltaico; painéis informativos.	LEED v4 BD+C: Schools Gold

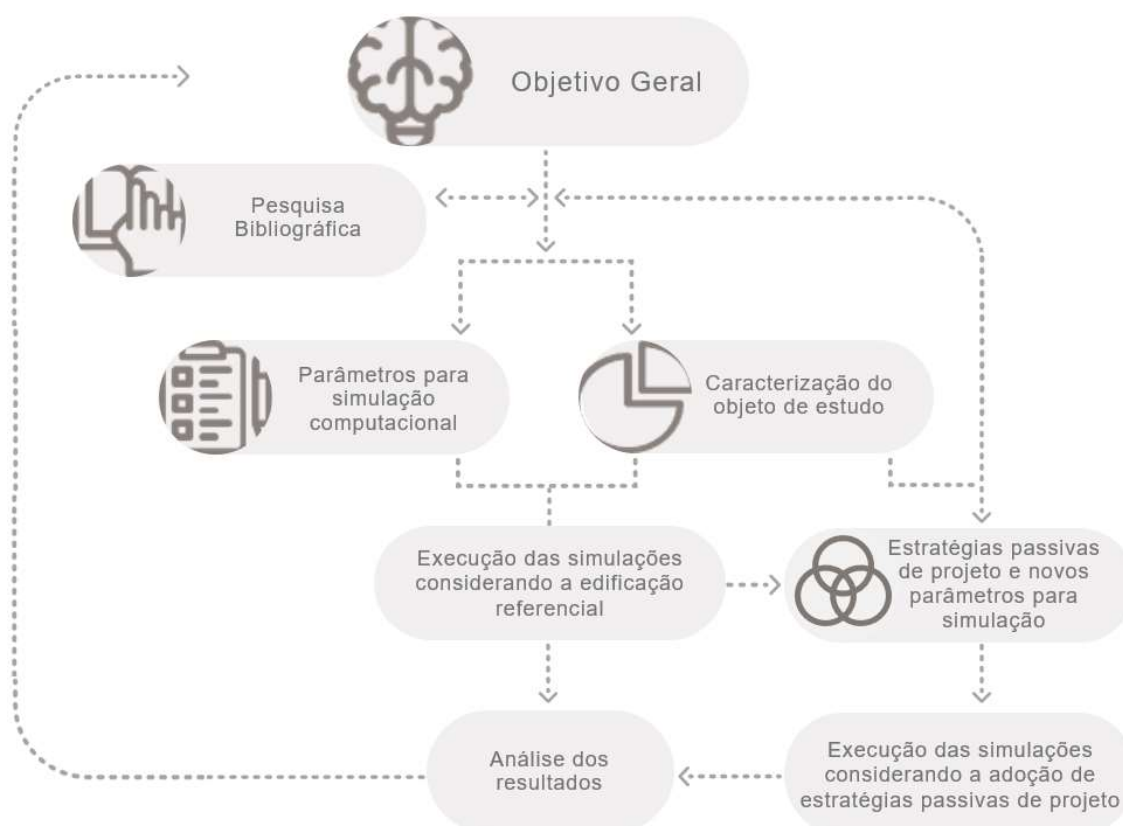
Apesar de constatada uma conscientização crescente quanto à relevância da qualidade espacial e eficiência energética em ambientes de ensino, o número reduzido de exemplos evidenciou que essas instituições, talvez pela falta de apelo comercial ou pelo moroso retorno financeiro, ainda investem pouco na modernização de suas estruturas e na obtenção de certificações que, na maioria dos casos, implica em adequação da edificação ao clima e aplicação de estratégias para tal. Esse movimento começou a ser mais intenso especialmente em países estrangeiros, como os Estados Unidos, sobretudo através de subsídio governamental, de olho no potencial e impacto positivo que esse tipo de empreendimento é capaz de gerar.

Reformas, adaptações e novos empreendimentos acadêmicos, conforme abordado no item 3.3 e nos exemplos acima, podem explorar soluções sem gastos adicionais ou de baixo custo, que tragam benefícios econômicos e de bem-estar de longa duração, a nível institucional, mas também a nível local e regional.

4. MÉTODO

O conforto ambiental, em função de seus aspectos subjetivos, é versátil e admite diferentes alternativas no sentido de assimilá-lo e alcançá-lo, devendo, por isso, ser trabalhado continuamente. Defronte das questões que envolvem especificamente o conforto térmico de alunos em salas de aula, vem sendo desenvolvidos estudos sobre o ambiente térmico desses locais, em diferentes regiões e países. A presente pesquisa, que semelhantemente aborda esse tema, tem como objetivo final identificar e avaliar estratégias projetuais adequadas ao clima subtropical úmido e direcionadas às edificações de salas de aula destinadas ao ensino superior que contribuam com o conforto térmico e eficiência energética, e compreendeu cinco etapas: I. Revisão bibliográfica; II. Caracterização do objeto de estudo (Estudo de Caso); III. Parâmetros para simulação computacional; IV. Execução das simulações computacionais; e V. Análise dos resultados. A seguir, a Figura 4.1 apresenta a descrição desse processo, por meio de uma representação esquemática.

Figura 4.1. Fluxograma das etapas da pesquisa



Dessa forma, quanto aos objetivos, este estudo pode ser descrito como exploratório, em consonância ao seu foco nas peculiaridades e implicações do conforto térmico em ambiente de sala de aula de nível superior, intencionando otimizá-lo com o auxílio de estratégias

projetuais. Explicita-se que as pesquisas exploratórias buscam a familiarização com o tema, de modo a torná-lo compreensível ou com o propósito de formular possibilidades, tendo ainda como finalidade o melhoramento de ideias ou a exploração de intuições (GIL, 2022). Dando sequência, ao desenvolvimento do trabalho, além de aspectos exploratórios, observam-se características de uma pesquisa experimental, na qual um objeto é determinado e variáveis são testadas intervindo em sua condição inicial, sendo possível verificar e controlar os efeitos (GIL, 2022). Nesse caso, tratando-se especificamente da aplicação de simulações computacionais ao objeto de estudo para avaliar as possibilidades de melhoramento.

A primeira etapa constituiu a parte teórica do estudo, embasada por pesquisa bibliográfica. Num segundo estágio, foram analisadas soluções arquitetônicas, por meio de simulações computacionais, para a definição das melhores estratégias projetuais, visando conforto térmico e eficiência energética. Este trabalho apresentou um estudo de caso, voltado às primeiras salas de aulas pertencentes à UNILA e localizadas na cidade de Foz do Iguaçu-PR.

Diante disso, em março de 2022 foram iniciadas a execução de simulações computacionais, para a análise da edificação objeto de estudo, de forma a verificar as condições de conforto térmico no interior, o nível de eficiência energética e, posteriormente, a influência da aplicação de elementos projetuais baseados em estratégias de projeto, preferencialmente passivas, em tais condições e no consumo de energia.

4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com relação aos procedimentos, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica apoiada em livros e artigos científicos (GIL, 2022). Nessa fase, conforme será apresentado ao longo do método, buscou-se um entendimento geral sobre o tema, abordando os espaços educacionais ao longo da história; o conforto térmico e sua influência nos processos de ensino e aprendizagem; as estratégias projetuais a favor do conforto térmico e eficiência energética; e, ainda, as edificações educacionais no contexto da arquitetura bioclimática, considerando o estudo de casos representativos que incorporaram estratégias passivas e, porventura, ativas de projeto. Essa etapa, embora não seja parte dos resultados principais da pesquisa, foi desenvolvida com o objetivo de tornar-se, com sua futura publicação, um referencial de análise para a tipologia estudada, pois observou-se ao longo do desenvolvimento do trabalho a escassez de publicações que abordam especificamente, estudos e análises, inclusive históricas, sobre a tipologia educacional destinada ao ensino superior.

No geral, para estruturação dos três primeiros capítulos, decidiu-se pela utilização da base de dados *Web of Science*, optando ainda pela pesquisa em todos os bancos de dados da plataforma, de 1945 até os dias atuais. Ressalta-se que tal base de referências bibliográficas foi

empregada como ferramenta de busca por incluir as publicações de diversos periódicos e editoras de maior impacto, abrangendo também dados de trabalhos apresentados em eventos acadêmicos, expandindo, dessa forma, a verificação.

O operador booleano, especialmente o “*and*”, foi utilizado em todos os casos para combinação de palavras-chave específicas para exploração de cada uma das temáticas, informando como a relação entre os termos foi determinada para rastreo. Em tempo, esclarece-se que o operador lógico selecionado procurou por publicações onde os diversos termos da pesquisa estavam presentes. As palavras-chaves principais utilizadas para a busca foram, em Português: “arquitetura escolar”; “aprendendo”; “arquitetura bioclimática”; “conforto térmico”; “história”; “sala de aula”, e em Inglês: “*school architecture*”; “*learning*”; “*bioclimatic architecture*”; “*thermal comfort*”; “*history*”; “*classroom*”.

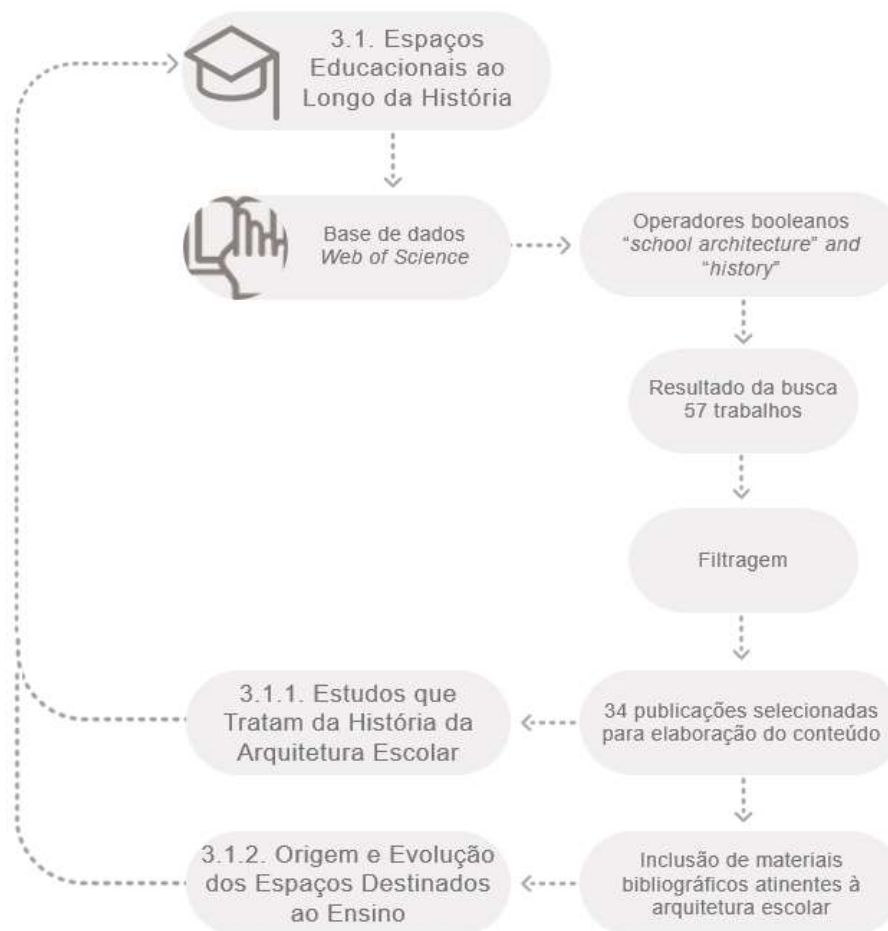
Não obstante, cada tópico da revisão bibliográfica igualmente compreendeu particularidades, explicitadas separadamente a seguir. Dentro da primeira etapa, no capítulo “3.1, Espaços Educacionais ao Longo da História”, por exemplo, decidiu-se pela subdivisão do conteúdo em dois tópicos, pretendendo, com isso, organizar os dados obtidos nessa exploração introdutória.

Assim, a composição sucedeu-se com a abordagem do item “3.1.1, Estudos que Tratam da História da Arquitetura Escolar”, onde todos os bancos de dados da plataforma *Web of Science* foram utilizados para busca de produções com títulos, resumos e palavras-chave que contemplassem ao mesmo tempo os termos “*school architecture*” and “*history*”. Foram identificados preliminarmente 57 trabalhos, que passaram pelo procedimento de leitura e averiguação dos elementos especificados para o rastreo e remoção das duplicatas, restando 34 publicações pré-selecionadas.

Posteriormente, estabeleceu-se a categorização dos estudos conforme as áreas de pesquisa, resultando, por conseguinte, em seis grupos (educacional; arquitetura e engenharia; artes humanidades e tópicos correlacionados; ciências sociais e tópicos correlacionados; religião; ciência e tecnologia), correspondentes ao apreciado anteriormente.

Para a construção do tópico “3.1.2, Origem e Evolução dos Espaços Destinados ao Ensino”, frente a ausência de algumas informações e após a obtenção deste resultado na base de dados *Web of Science*, optou-se por aproveitar de outros materiais bibliográficos atinentes à arquitetura escolar (Calderari, 2017; Cunha, 2000; Esteves e Falcolski, 2012; Fávero, 2006; Mahler, 2015). A escolha considerou a possibilidade de abranger publicações avulsas no âmbito das pesquisas bibliográficas, almejando não descartar estudos significativos para a estruturação da pesquisa, complementando, assim, os dados faltantes. Indiscutivelmente, esse panorama não aspirou o esgotamento ou exame completo das questões que envolvem os espaços educacionais e sua evolução, mas sim teve como intenção selecionar publicações relacionadas diretamente com a presente pesquisa. A Figura 4.2 apresenta esquematicamente como o processo foi realizado.

Figura 4.2. Fluxograma das etapas compreendidas no primeiro item da Revisão Bibliográfica



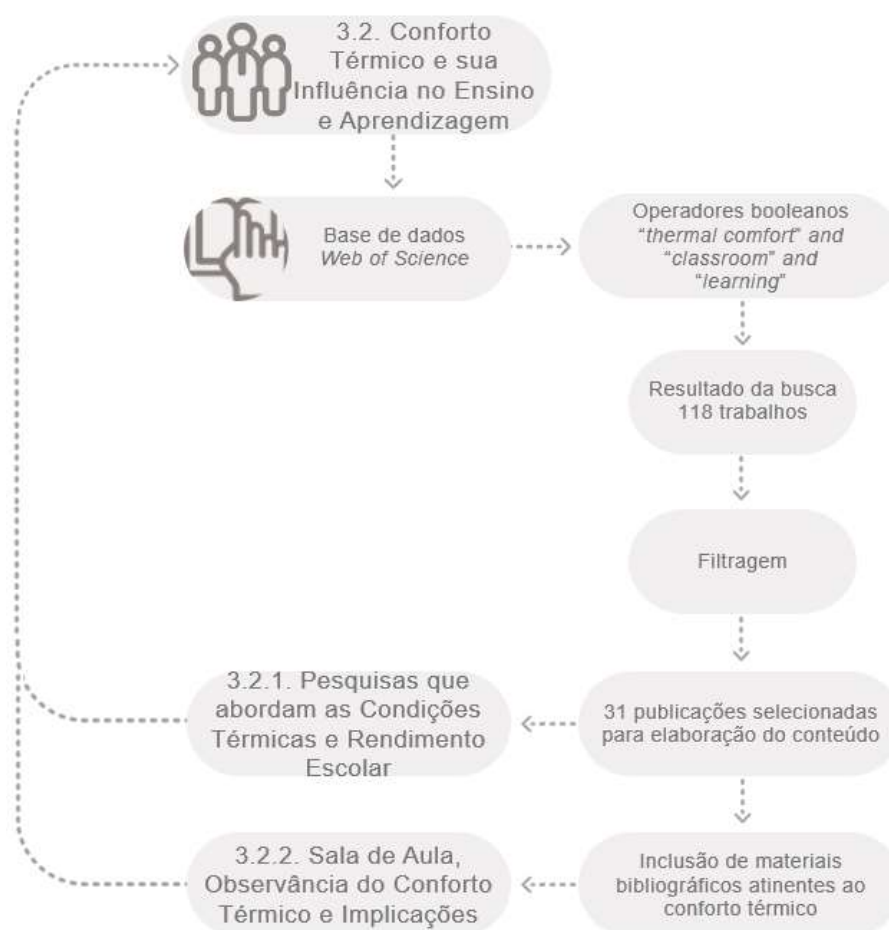
Na sequência, ainda na primeira etapa, para estruturação do capítulo “3.2, Conforto Térmico e sua Influência no Ensino e Aprendizagem”, seguiu-se o mesmo método anterior, subdividindo o conteúdo em dois tópicos, a fim de organizar sistematicamente os dados obtidos.

Isso posto, para constituição do item “3.2.1, Pesquisas que abordam as Condições Térmicas e Rendimento Escolar”, todos os bancos de dados da base *Web of Science*, foram novamente utilizados, intencionando averiguar as publicações com títulos, resumos e palavras-chave que contemplassem simultaneamente os termos “*thermal comfort*” and “*classroom*” and “*learning*”. A busca resultou em 118 trabalhos, que passaram por análise dos elementos arrolados para exploração, sendo excluídos aqueles sem qualquer indicação de que as condições térmicas internas haviam sido estudadas, convertendo-se logo após em 31 produções pré-selecionadas.

Em seguida, estipulou-se a separação das pesquisas em dois grandes grupos (condições térmicas e suas implicações; conforto térmico, parte ou todos os demais fatores ambientais e outros aspectos de impacto no rendimento escolar) e subgrupos relacionados a cada um deles, consonante ao observado.

O item “3.2.2, Sala de Aula, Observância do Conforto Térmico e Implicações”, foi construído majoritariamente a partir dos conhecimentos extraídos da pesquisa anterior, aproveitando ainda de outros materiais bibliográficos relacionados ao conforto térmico (Lamberts et al., 2011; Givoni, 1992; Candido e Dear, 2012), bem como aqueles atinentes à pandemia e à importância da ventilação natural (Aguilar et al., 2021; Chillon et al., 2021; Meiss et al., 2021). Mais uma vez, a opção resultou do intuito de não eliminar trabalhos importantes para a estruturação da pesquisa. Destaca-se que, da mesma forma, essa exposição não projetou esgotar os assuntos compreendidos pelo conforto térmico e seus efeitos positivos e negativos para alunos e professores. A Figura 4.3 exhibe esquematicamente como o item foi elaborado.

Figura 4.3. Fluxograma das etapas compreendidas no segundo item da Revisão Bibliográfica

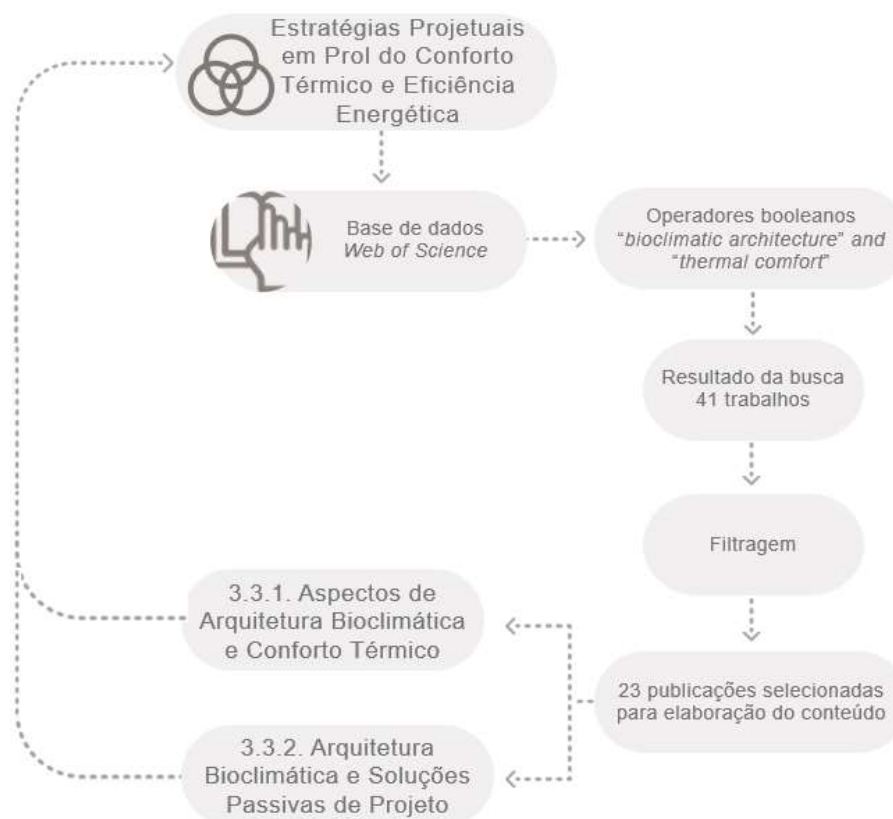


Em continuidade à primeira etapa, para composição do capítulo “3.3, Estratégias Projetuais em prol do Conforto Térmico e Eficiência Energética”, igualmente obedeceu-se ao método precedente, subdividindo o conteúdo em dois tópicos, com o intuito de estruturar os dados obtidos de modo acurado.

Por conseguinte, para constituição do item “3.3.1, Aspectos de Arquitetura Bioclimática e Conforto Térmico”, todos os bancos de dados da base *Web of Science*, foram outra vez empregados, objetivando apurar as publicações com títulos, resumos e palavras-chave que contemplassem concomitantemente os termos “*bioclimatic architecture*” and “*thermal comfort*”. A busca resultou em 41 estudos, que novamente passaram por verificação dos elementos especificados para rastreo, sendo excluídos aqueles que não discutiram a arquitetura bioclimática e, especificamente, o conforto térmico de ambiente interno, permanecendo 23 produções pré-selecionadas. Dando seguimento, os trabalhos foram categorizados de acordo com a procedência da pesquisa, sendo divididos em cinco grandes grupos consoante ao continente o qual pertencem (América do Sul; África; Europa; Ásia; América do Norte).

Já o item “3.3.2, Arquitetura Bioclimática e Soluções Passivas de Projeto”, foi produzido tão somente com base nas informações obtidas na pesquisa anterior. Destaca-se que, tal como definido anteriormente, essa descrição não cogitou encerrar a temática compreendida pela arquitetura bioclimática, estratégias passivas de projeto e correlações com o conforto térmico e eficiência energética. Da mesma forma, a Figura 4.4 mostra esquematicamente como o item foi elaborado.

Figura 4.4. Fluxograma das etapas compreendidas no terceiro item da Revisão Bibliográfica



Por fim, concluindo a etapa da revisão bibliográfica, para formação do capítulo “3.4, Edificações Educacionais no Contexto da Arquitetura Bioclimática”, optou-se por uma estruturação distinta, com a organização do conteúdo em apenas um subtópico. Os endereços eletrônicos do *U.S. Green Building Council* (USGBC, 2022) e do *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil, 2022) foram utilizados para rastreamento de edificações educacionais nacionais certificadas com o selo LEED. A busca resultou, respectivamente, em 11 e 22 empreendimentos registrados, desses últimos, 03 confidenciais. Notabiliza-se que a procura por referências com certificação LEED, deve-se à perspectiva de aplicação de soluções bioclimáticas nessas edificações.

Na sequência, a plataforma *ArchDaily Brasil* (ARCHDAILY, 2023) foi empregada, objetivando apurar detalhes de projeto e execução dessas obras. Novamente, frente a ausência de algumas informações e/ou dados de determinados empreendimentos, optou-se por aproveitar de outros materiais bibliográficos relativos a cada edificação acadêmica, incluindo, a título de exemplo, publicações dos próprios autores dos projetos. Por conseguinte, a pesquisa resultou em 04 escolas selecionadas, categorizadas de acordo com a data de início do processo de certificação.

Em razão do número reduzido de edificações educacionais nacionais certificadas e da escassez de informações relativas a elas, a página *ArchDaily Brasil* (ARCHDAILY, 2023) mais uma vez foi utilizada para pesquisa, com o intuito de levantar outros projetos, dentro da categoria Arquitetura Educacional, que contemplassem a temática sustentabilidade. A busca resultou em 158 publicações, que passaram por verificação da localização da obra e enquadramento desta em clima Cfa, sendo posteriormente e igualmente excluídos aqueles que não discutiram estratégias projetuais para o conforto térmico, para eficiência energética, ou a arquitetura bioclimática, permanecendo assim 5 produções pré-selecionadas. Esclarece-se que outras palavras foram utilizadas nas buscas (Arquitetura Bioclimática; Conforto Térmico; Estratégia Passiva; Cfa), sem, entretanto, apresentarem arrolamentos e repercussões proveitosas. A inclusão de empreendimentos acadêmicos de outros países com certificação LEED justifica-se pela introdução de estratégias passivas e, eventualmente, ativas em seus projetos.

Salienta-se que, de início, a base *Web of Science* foi empregada objetivando apurar as publicações com títulos, resumos e palavras-chave que contemplassem concomitantemente os termos “*bioclimatic architecture*” and “*school*”, os termos “*bioclimatic architecture*” and “*classroom*” ou os termos “*passive strategy*” and “*school*”, contudo sem resultados profícuos.

Em tempo, com relação a composição desses tópicos de Revisão Bibliográfica, enfatiza-se que, apesar de testadas diversas expressões, esclarece-se que uma gama maior ou diferente de palavras-chaves, ou ainda o uso de outra base de dados, poderia ter angariado um número distinto de trabalhos científicos.

4.2. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O fator original considerado para definição da edificação referencial foi, antes de tudo, a opção por empreendimentos destinados ao funcionamento de instituições de ensino superior localizadas em região de clima temperado úmido com verão quente, ou Cfa, com base na classificação de Köppen. O motivo da seleção, de maneira geral, deve-se à relevância dessas organizações ao desenvolvimento, isto é, uma vez que influenciam diretamente no progresso da nação a nível local, regional e federal. Ademais, conforme o Censo da Educação Superior 2020 (INEP, 2022), na atualidade existem por volta de 588 instituições localizadas em cidades brasileiras com clima definido como Cfa. Dessas, 70 são públicas e gratuitas, representando 23% do total nacional (estão em atividade 2457 instituições de educação superior, sendo que dessas 304 são públicas; 118 a nível federal, 129 a nível estadual e 57 a nível municipal).

Atentando para essa informação, outro impulsionador dá-se em função do consumo de energia elétrica no Brasil derivado de edificações residenciais, comerciais e públicas, que, segundo o Balanço Energético Nacional de 2021, responde por aproximadamente 51% do dispêndio total, sendo que as públicas servem-se de 46% desse montante (EPE, 2021).

Outrossim, buscou-se por localidades com disponibilidade de dados climáticos em formato compatível com o *software EnergyPlus*, devido a execução de simulações computacionais demandar de arquivo com extensão *.epw (*EnergyPlus Weather Format*) para operar. E, além disso, averiguou-se a disponibilidade de informações relativamente ao projeto e execução da obra, uma vez que o processo de simulação de desempenho termo energético igualmente exige o conhecimento de detalhes da concepção e construção da edificação.

Posto isso, a cidade de Foz do Iguaçu-PR foi escolhida por estar localizada em região de clima Cfa e por dispor de dados climático em formato *.epw passíveis de serem usados nas simulações e ainda, apresentar dados de fácil acesso em relação à seleção de projetos e obtenção de informações da tipologia analisada.

Como exposto, as edificações públicas são responsáveis por parcela considerável do consumo de energia elétrica nacional e por efeito de sua natureza, bem como em função de exigências normativas e legislações que objetivam suprir demandas de energia elétrica futuras, devem buscar a eficiência em suas obras. Assim, o Edifício Multiuso da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) foi selecionado para realização do estudo de caso.

O empreendimento foi concebido em 2019 pela equipe técnica da própria universidade, da qual a pesquisadora do presente estudo faz parte, atuando como arquiteta, encarregada da conferência de aspectos relacionados ao detalhamento do projeto. As obras do Bloco de Aulas 01 foram iniciadas em janeiro de 2020 e liberadas para a comunidade universitária

no início de 2023. Não obstante, é pertinente explicitar o compromisso assumido ao longo de toda a pesquisa com a imparcialidade e rigor nas análises apresentadas.

O Edifício Multiuso tem seus projetos e cadernos de especificação disponibilizados no site da UNILA. Outros documentos relativos ao empreendimento e ao andamento da obra, como Estudo de Impacto de Vizinhança e fotografias, foram fornecidos pela Secretaria de Implantação do Campus, setor responsável pela execução da infraestrutura física da universidade.

Emblematicamente, outra informação que justifica o presente estudo, é o fato de que a edificação escolhida para análise será a primeira obra concluída e utilizada pela instituição para fins acadêmicos, sendo esse um dos motivos preponderantes no processo decisório, dado a oportunidade temporal para retroalimentação do projeto e para contribuição com sugestões de adequação ao empreendimento finalizado e em execução.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Posto isso, como parte do procedimento metodológico envolvendo esse estudo de caso, a edificação acadêmica da UNILA será descrita quanto à localização, características climáticas e bioclimáticas, projeto executivo, materiais e técnicas construtivas empregadas na obra. Sob essa perspectiva experimental, a pesquisa possui uma abordagem quali-quantitativa.

Para composição do item “5.1.1, Localização e Clima” e definição das características climáticas da cidade de Foz do Iguaçu, utilizou-se estudo referente à classificação de Köppen-Geiger, notadamente o de Silva, Chaves e Lima (2009) e pesquisa auxiliar relativa ao clima da cidade, especificamente a de Sacht et al. (2020). Adicionalmente, outros aspectos pertinentes ao contexto climático, foram auferidos na base *Weather Spark* (2022).

Além disso, foram aproveitadas as informações relativas às normais climatológicas, adquiridas no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), bem como as normais climatológicas obtidas no banco de dados do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Vale apontar que os relatórios fornecidos pelo primeiro órgão, com extensão *.xls (*Microsoft Excel*), referem-se ao período de 1961-1990, provendo informações sobre a temperatura mínima, média e máxima; insolação total; nebulosidade mensal; umidade relativa; precipitação acumulada; e intensidade do vento, com valores médios mensais e anual relativos a esse intervalo. Já os elementos meteorológicos disponibilizados pela segunda entidade, através de Atlas Climático, relacionam-se a dados atualizados até 2015, quanto às médias mensais e anuais de temperaturas mínima, média e máxima; média anual da umidade relativa do ar; e da precipitação acumulada.

Visando aprofundar os conhecimentos acerca das condições de conforto térmico oferecidas pelo município em função do clima e das principais soluções passivas de projeto, para

formação do item “5.1.1.1, Análise Bioclimática”, utilizou-se o programa computacional *Climate Consultant 6.0*. Inicialmente, gerou-se a carta psicrométrica para a cidade de Foz do Iguaçu, considerando a abordagem adaptativa baseada na norma ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010), versão utilizada pelo *software*, e um estado térmico satisfatório para 80% do grupo.

Quanto ao índice aplicado, vale acrescentar que a mesma faixa de aceitabilidade térmica foi empregada em etapas posteriores da pesquisa, priorizando-se, dessa forma, a regularidade na interpretação dos dados. Para o primeiro diagrama, aproveitou-se o arquivo climático cedido pelo INMET (2018) com extensão *.epw (*EnergyPlus Weather Format*), de forma a prover dados referentes à humidade relativa do ar e temperatura de bulbo seco local, informações equivalentes a anos meteorológicos típicos (TMY).

Adotou-se ainda a configuração padrão estipulada pelo programa. Assim, os ambientes foram classificados como ventilados naturalmente e os ocupantes encarados como tendo liberdade para ações adaptativas, a exemplo de abrir e fechar janelas. Outrossim, pressupôs-se a inexistência de sistema de resfriamento mecânico, bem como admitiu-se que os indivíduos adequem suas roupas às condições térmicas e sejam sedentários (1,0 a 1,3 met). Ademais, optou-se por ponderar os intervalos das 08:00 às 23:00 horas e de fevereiro a dezembro, aproximando os resultados à utilização efetiva dos espaços universitários.

Após a produção e observação dos gráficos, em continuidade, foram relacionadas as diretrizes para projeto não residenciais vinculadas aos diagramas e fornecidas pelo próprio *software*. Além disso, de forma complementar, foram elencadas as estratégias de projeto sustentável integradas ao programa e apresentadas pela *2030 Palette* (2030 PALETTE, 2022).

Salienta-se que o *Climate Consultant* exibe um logotipo da *2030 Palette* anexo a algumas diretrizes que, ao ser acionado, direcionam o consultor para as sugestões de projeto passivo apresentadas na plataforma e correlatas a cada orientação.

Complementarmente, desenvolveu-se uma nova carta psicrométrica, dessa vez, atendendo ao conceito estático, mas igualmente fundamentada na ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010), assim como na norma ASHRAE *Handbook of Fundamentals Model* (ASHRAE, 2021).

Enfatiza-se que, nessa conformação, empregou-se o mesmo arquivo climático disponibilizado pelo INMET (2018) com extensão *.epw, a fim de fornecer dados relativos à temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, umidade e temperatura radiante média local. Ademais, conforme configuração padrão estipulada pelo programa, levou-se em conta um percentual previsto de pessoas satisfeitas de 90%, índice inalterável, bem como assumiu-se uma temperatura média radiante interna próxima da temperatura de bulbo seco, adotou-se uma zona de conforto calculada através do modelo PMV e admitiu-se que as pessoas adaptam vestimenta para adequar-se à estação. Mais uma vez foram adotados os intervalos das 08:00 às 23:00 horas e de fevereiro a dezembro.

Novamente, listou-se as diretrizes para projeto não residenciais vinculadas ao gráfico plotado e disponibilizadas pelo *software* e enumerou-se as estratégias de projeto sustentável integradas ao programa e descritas pela 2030 *Palette*.

Finalmente, encerrando o tópico, classificou-se a cidade de Foz do Iguaçu conforme o zoneamento bioclimático brasileiro fundamentado pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), arrolando, na sequência, as diretrizes construtivas e estratégias correlacionadas. O programa computacional ZBBR 1.1 (RORIZ, 2004) foi utilizado para ilustrar a classificação bioclimática.

Destaca-se que, embora trate de habitações unifamiliares de interesse social, tais recomendações podem ser aplicáveis a outros tipos de imóveis, por conseguinte, relevantes para essa pesquisa. Ademais, é importante ponderar que, apesar do entendimento coletivo da necessidade de revisão da norma, em especial, em consequência das diferentes condições climáticas apresentadas por uma mesma zona bioclimática, o documento encontra-se vigente e, por hora, considerado de interesse para esse trabalho.

Na sequência, para descrição do item “5.1.1.2, Área de Implantação do Empreendimento”, conteúdo complementar à caracterização da localização, utilizou-se os projetos executivos do Edifício Multiuso – Bloco de Aulas 01 e Bloco de Aulas 02, bem como o Estudo de Impacto de Vizinhança, aprovados na Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu e cedidos pela Secretaria de Implantação do Campus (SECIC) da UNILA, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Para elaboração do item “5.1.2, Descrição do Empreendimento”, mais uma vez contou-se com os projetos executivos do Edifício Multiuso. Ademais, para caracterização dos materiais empregados na obra, além dos projetos mencionados, aproveitou-se dos cadernos de especificação das diversas áreas envolvidas na concepção do Edifício Multiuso, semelhante a um memorial descritivo, porém, mais completos, utilizados no processo de licitação da obra, tal como arquitetura, engenharia civil, engenharia mecânica e elétrica.

Vale destacar que os cadernos de especificação são complementares aos projetos e compreendem determinações para realização dos serviços, equipamentos e definições de matérias-primas a serem empregados a depender da etapa da execução, a exemplo das fundações, acabamento, paisagismo, entre outros estágios da construção.

Enfatiza-se que todos os documentos citados; projetos, cadernos de especificação; embora disponibilizados pela SECIC, são igualmente de domínio público e podem ser obtidos através do site da instituição, na aba Acesso à Informação, seguido por Licitações e Contratos, Licitações da Instituição, por fim listados como Número 01; Ano 2019; Objeto Construção do Bloco de Aulas da UNILA; Modalidade RDC; Solicitante Secretaria de Implantação do Campus (UNILA, 2019). Saliencia-se que apenas o documento intitulado “Estudo de Impacto de Vizinhança” não é acessível pelo site e, para esse trabalho, foi cedido pela SECIC (UNILA, 2020).

Outrossim, compreendendo a natureza dinâmica de uma implantação com dimensão e prazos para conclusão consideráveis, para a descrição das técnicas empregadas

durante as atividades em canteiro, recorreu-se aos diários de obra e registros fotográficos igualmente cedidos pela instituição. Esses instrumentos são usados para controle da equipe de fiscalização, auxiliam na prestação de contas para com a UNILA e órgãos externos e no processo de pagamento da construtora contratada. Usualmente são atualizados diariamente, sendo compilados em um relatório mensal.

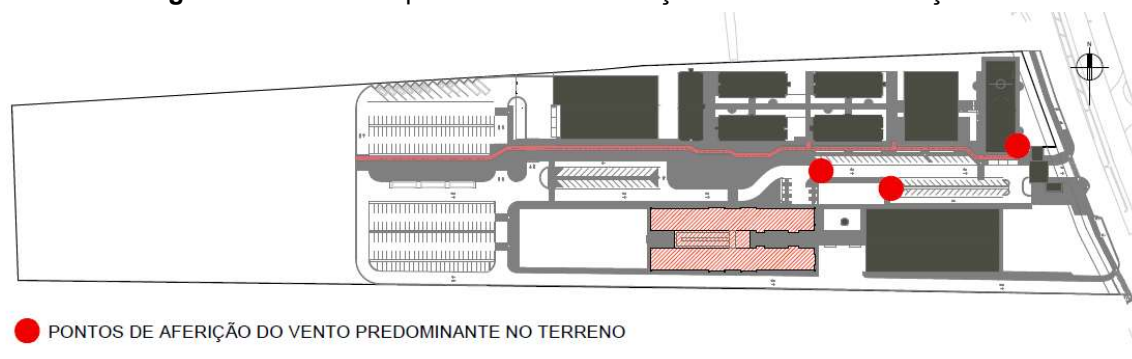
Esclarece-se que os documentos relatados foram selecionados em razão de oferecerem dados oficiais e confiáveis a respeito do Edifício Multiuso, assegurados pela UNILA e partes de processos licitatórios, logo caracterizados como informações públicas.

Ainda, para uma análise otimizada da edificação mediante a observação da incidência de radiação sobre as fachadas, aplicou-se à planta baixa a carta solar de latitude 26° , arquivo com extensão *.dwg (*DraWinG Format*) disponibilizado pela Universidade de São Paulo através do site e-disciplinas (USP, 2018). Evidencia-se que a escolha da carta obedeceu ao critério de equivalência quanto à coordenada de Foz do Iguaçu ($25,548^\circ\text{S}$).

Para determinação das porcentagens de horas de radiação solar consoante à orientação, recorreu-se ao mesmo arquivo, calculando a área total de abrangência da carta e a parcela correspondente a cada um dos principais pontos cardeais, com uso da regra de três simples.

Por fim, arrematando o tópico e pretendendo refinar a perspectiva com relação ao Edifício Multiuso e checar dado bibliográfico disponível, porém, a nível municipal, para avaliação do vento predominante no próprio local foram realizadas aferições aproximadas em três pontos do imóvel, em diferentes dias de abril e maio de 2022, com um anemômetro de marca Anself e modelo H4326 e precisão de $\pm 5\%$. Esclarece-se que as áreas selecionadas estavam em regiões do terreno de livre circulação e que, em função da obra em andamento, não foi possível acessar a parte posterior da propriedade. A Figura 4.5 apresenta os pontos selecionados para medição do vento predominante.

Figura 4.5. Planta esquemática com marcação dos locais de medição



Para a avaliação utilizou-se um anemômetro comum, conforme apresentado na Figura 4.6, orientando-se por meio do projeto executivo de implantação, bem como através da obra

em andamento. Subsequentemente, os resultados obtidos foram comparados aos constantes no item “5.1.1, Localização e Clima” e disponibilizados por Sacht et al. (2020).

Figura 4.6. Anemômetro Anself H4326 utilizado para medição *in loco*



Por último, ressalta-se que todos os recursos descritos ao longo do item 4.3 visam proporcionar a identificação e descrição da edificação objeto de estudo, conhecimentos aproveitados, inclusive, nas etapas subsequentes de modo parcial.

4.4. CONFIGURAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Dentre as diversas ferramentas disponíveis e acessíveis, nessa pesquisa a simulação termo energética do edifício foi feita mediante o uso do programa *EnergyPlus* v. 9.3.0, um *software* desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), validado pela ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2017), recomendado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2022) e que atende aos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C (INMETRO, 2014) e INI-C (INMETRO, 2021).

Com o propósito de facilitar a modelagem dos elementos geométricos, o *plug-in Euclid* v. 9.4.3 para *SketchUp* v. 2017, uma extensão gratuita e de código aberto, foi utilizado para criar e editar as entradas de geometria para concepção do modelo de energia.

O estabelecimento dos parâmetros apresentados neste item e utilizados na simulação computacional fundamentou-se em dados de normativas vigentes, especificações disponibilizadas por fabricantes e manuais de apoio elaborados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE).

Dando início ao colhimento de informações para a execução de simulações computacionais, foram levantadas no primeiro momento, informações relativas à distribuição espacial e dimensão dos espaços que compõe o Bloco de Aulas 01 e Bloco de Aulas 02 e detalhes como área, pé direito, características e posicionamento das aberturas, assim como dados da inclinação e outras especificidades da cobertura, através do projeto arquitetônico disponibilizado pela SECIC.

Seguindo o fluxo de trabalho, a edificação objeto desta análise foi então modelada no programa computacional *SketchUp v. 2017*, mediante o uso do plugin *Euclid v. 9.4.3*. Nessa etapa, o Bloco foi dividido em 83 zonas térmicas, onde cada uma delas representa um ambiente distinto, dos quais 26 referem-se às salas de aula e os demais aos espaços administrativos; de serviço; instalações sanitárias e vestiários; depósitos; áreas técnicas e cobertura; conforme ilustrado nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9. O programa *AutoCad v. 2020* foi a ferramenta utilizada para a delimitação dessas áreas no estágio preliminar do estudo, considerando para dimensionamento dos espaços, o eixo central no caso das paredes intermediárias e a face externa quando das paredes expostas.

Figura 4.7. Zonas Térmicas do Pavimento Térreo

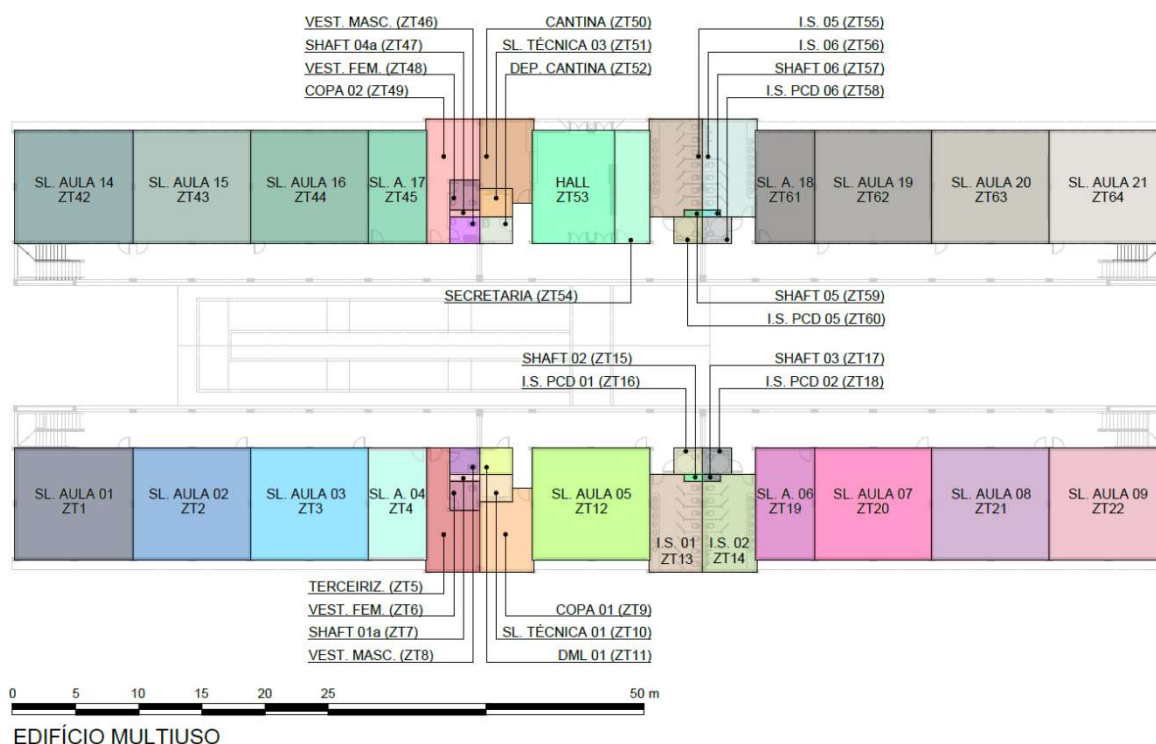


Figura 4.8. Zonas Térmicas do Pavimento Superior

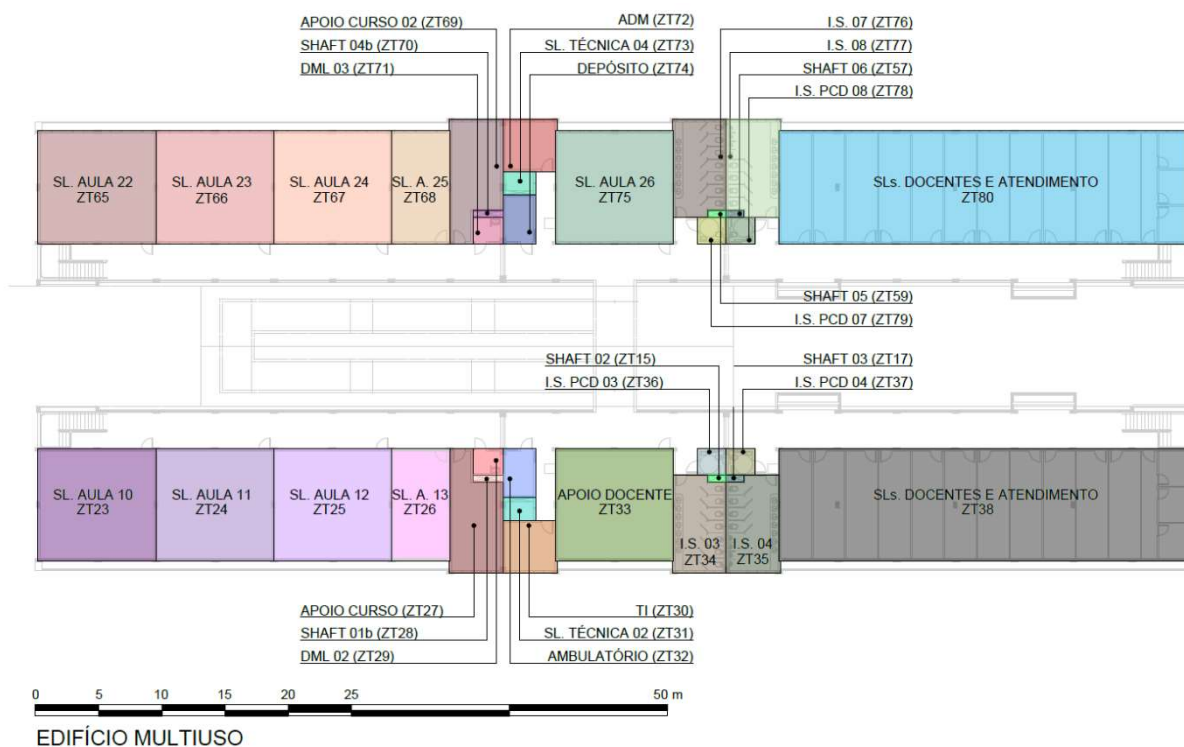
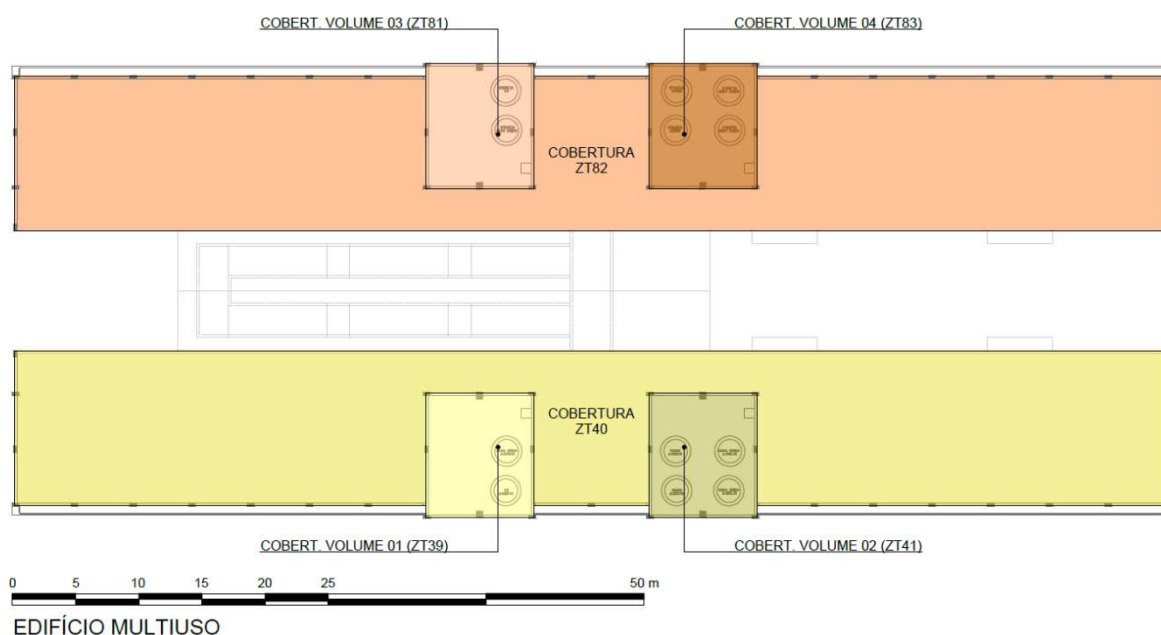


Figura 4.9. Zonas Térmicas da Cobertura



Destaca-se que, para a modelagem da edificação, optou-se por considerar as salas de professores e de atendimento individualizado, localizadas no pavimento superior, como um recinto único, ou seja, uma única zona térmica. A decisão fundamentou-se no caráter flexível intencional desses ambientes, definido em projeto arquitetônico e discutido em documentos auxiliares da instituição. Salienta-se que, conforme dados levantados, essas salas foram estruturadas com paredes de gesso acartonado visando propiciar a remodelação dos espaços,

conforme conveniência da administração. Além dessa alteração, algumas outras simplificações foram necessárias, de forma a possibilitar o desenvolvimento das simulações. Um pequeno número de encaixes entre paredes externas e internas, notadamente nos halls de circulação, precisou ser desprezado, para que o programa deixasse de apontar erros na geometria. Os gradis coloridos localizados sobre o guarda-corpo de alvenaria da circulação foram suprimidos. Ademais, a vegetação existente e prevista em projeto não foi considerada no processo.

É importante frisar que tratam-se de mudanças ordinárias e de ínfima interferência nos resultados. A variação mais significativa, por exemplo, refere-se à unificação de ambientes isolados na porção direita da edificação e, além disso, afastados das salas de aula e dos demais espaços por um conjunto de instalações sanitárias.

Ainda nessa fase, foram igualmente estabelecidos os constituintes fundamentais do modelo, tais como paredes, piso, teto, cobertura, aberturas e elementos de sombreamento, representados por diferentes cores. Nas Figuras 4.10 a 4.15 é possível observar a modelagem do Edifício Multiuso e seus elementos construtivos.

Figura 4.10. Elevação Sul

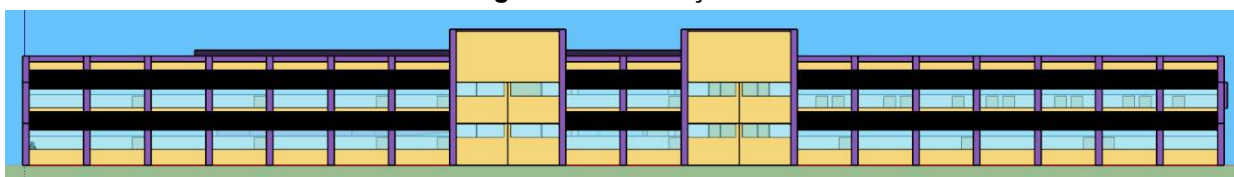


Figura 4.11. Elevação Norte



Figura 4.12. Elevação Leste

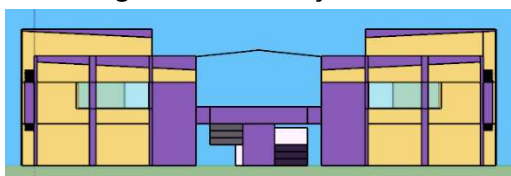


Figura 4.13. Elevação Oeste

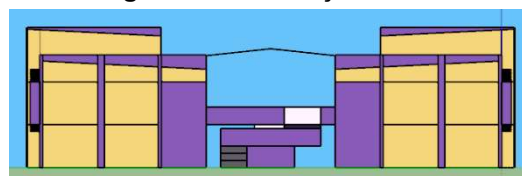


Figura 4.14. Vista noroeste da geometria

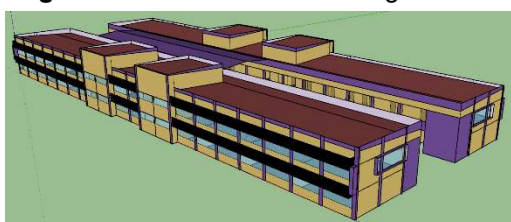
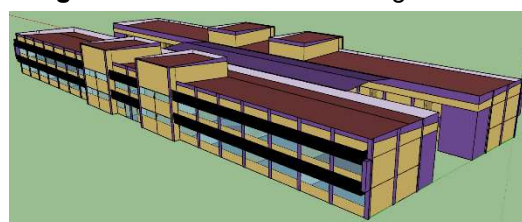


Figura 4.15. Vista sudeste da geometria



As zonas térmicas consideradas nas simulações computacionais equivalem às salas de aula, dado que são o foco desta análise, sendo suas características descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Atributos das Zonas Térmicas

Ambiente	Zona Térmica	Área (m ²)	Pé Direito (m)	Volume (m ³)
Bloco de Aulas 01				
Sl. Aula 01	ZT1	83,66	3,15	263,53
Sl. Aula 02	ZT2	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 03	ZT3	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 04	ZT4	41,39	3,15	130,38
Sl. Aula 05	ZT12	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 06	ZT19	41,38	3,15	130,38
Sl. Aula 07	ZT20	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 08	ZT21	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 09	ZT22	83,66	3,15	263,53
Sl. Aula 10	ZT23	83,66	3,15	263,53
Sl. Aula 11	ZT24	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 12	ZT25	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 13	ZT26	41,39	3,15	130,38
Bloco de Aulas 02				
Sl. Aula 14	ZT42	83,66	3,15	263,53
Sl. Aula 15	ZT43	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 16	ZT44	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 17	ZT45	41,39	3,15	130,38
Sl. Aula 18	ZT61	41,39	3,15	130,38
Sl. Aula 19	ZT62	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 20	ZT63	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 21	ZT64	83,66	3,15	263,53
Sl. Aula 22	ZT65	83,66	3,15	263,53
Sl. Aula 23	ZT66	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 24	ZT67	82,77	3,15	260,72
Sl. Aula 25	ZT68	41,39	3,15	130,38
Sl. Aula 26	ZT75	82,77	3,15	260,72

Na sequência, a modelagem da geometria foi então empregada para aferição do consumo energético e nível de conforto térmico das salas de aula, por meio do *software EnergyPlus* v. 9.3.0 e do componente auxiliar *EP-Launch* v. 2.14. Nessa etapa foram incorporados dados climáticos e outros relativos às propriedades dos materiais e demais configurações do modelo, como ocupação, iluminação, equipamentos, ventilação natural, condicionamento mecânico e uso dos ambientes.

Vale ressaltar mais uma vez que o arquivo climático utilizado, cedido pelo INMET (2018) e, neste caso, com extensão *.epw (*EnergyPlus Weather Format*), representou anos meteorológicos típicos (TMY), fornecendo informações ao programa relativas à umidade do ar, temperatura, velocidade e direção do vento, e pluviosidade local.

Para simulação das trocas de calor entre o solo e superfícies horizontais do edifício em contato com este, adotou-se o modelo de cálculo *FiniteDifference* através da configuração do objeto *Site:GroundDomain:Slab* com os parâmetros apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Temperatura do solo

Condutividade (W/m-K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg-K)
1	1250	1200

Fonte: Adaptado de LabEEE (2020).

Por intermédio do domínio do solo, atualizado a cada intervalo de tempo, esse modelo de cálculo simula a transferência de calor com as superfícies horizontais do imóvel em contato com o solo. Nessa conformação, por meio de uma simulação anual, o arquivo climático foi utilizado para obter-se um perfil de temperatura de solo com comportamento constante, ou seja, de equilíbrio, armazenado e empregado nos processos subsequentes da simulação (ELI, et al. 2019).

Ainda com relação a essa configuração, informa-se que, quanto ao modelo de cálculo adotado nas simulações, foram consideradas as recomendações contidas na NBR 15575 (ABNT, 2021), utilizando o exemplar disponibilizado pelo LabEEE. Em tempo, vale cientificar que buscou-se no *Input Output* do *EnergyPlus* por uma variável de saída com informações relativas à temperatura dinâmica do solo mensal, entretanto sem sucesso.

No tocante aos materiais, para que fosse possível o cálculo das trocas térmicas por condução durante a simulação, primeiramente foi necessária a configuração de uma parede homogênea, equivalente a real heterogênea, posto que o programa trabalha apenas com camadas, quando perpendiculares ao fluxo de calor, que sejam uniformes. As Figuras 4.16 e 4.17 ilustram respectivamente a parede real e a parede equivalente.

Figura 4.16. Parede real heterogênea

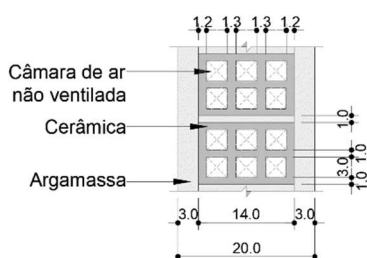
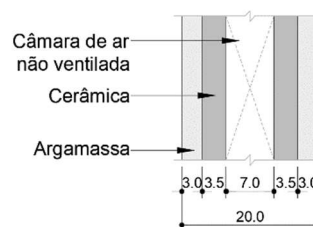


Figura 4.17. Parede equivalente homogênea



Com base na NBR 15220-2 (ABNT, 2022), no cálculo da parede equivalente, exposto detalhadamente no Apêndice I, adotou-se o valor de 0,16 m².K/W para a resistência da câmara de ar e aplicou-se os valores de 0,13 m².K/W e 0,04 m².K/W para a resistência térmica

superficial interna e externa respectivamente (ABNT, 2022). Os resultados alcançados foram de 3,5 cm para o bloco cerâmico e 7 cm para a câmara de ar.

Da mesma maneira, em função de sua característica, foi necessária a configuração de uma laje homogênea, equivalente a real heterogênea, representadas nas Figuras 4.18 e 4.19.

Figura 4.18. Corte da laje nervurada real heterogênea

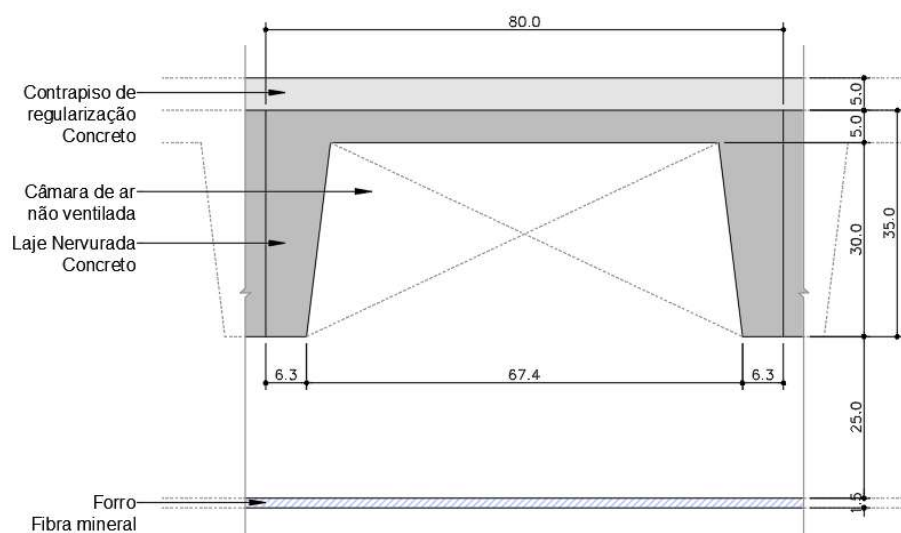
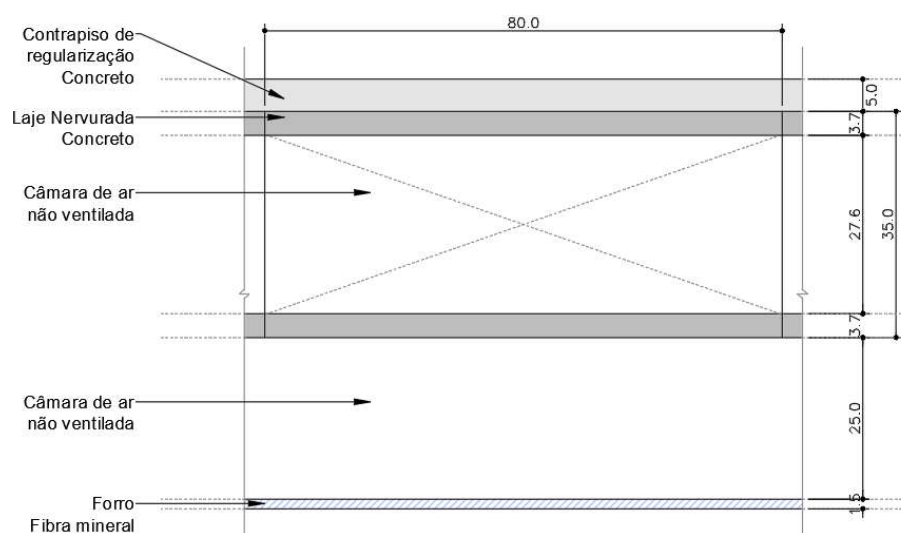


Figura 4.19. Laje nervurada equivalente homogênea



No cálculo da laje equivalente, descrito de maneira pormenorizada no Apêndice II, empregou-se o valor de 0,21 m².K/W para a resistência da câmara de ar e os valores de 0,17 m².K/W e 0,04 m².K/W para a resistência térmica superficial interna e externa respectivamente (ABNT, 2022). Os resultados foram de 3,7 cm para o concreto e 27,5 cm para a câmara de ar.

Salienta-se que, para ambos os procedimentos, foram utilizadas as referências fornecidas pela biblioteca de componentes construtivos brasileiros para uso no *EnergyPlus* (WEBER et al. 2017).

Outros detalhes das propriedades das composições e seus elementos construtivos do Edifício Multiuso, como resistência térmica total (R_T), transmitância térmica (U), capacidade térmica total (C_T), e absorvância para radiação solar (α) foram igualmente fundamentados na NBR 15220-2 (ABNT, 2022). Essas características são expostas resumidamente na Tabela 4.3 e detalhadamente no Apêndice III.

Tabela 4.3. Propriedades dos elementos construtivos empregados no Edifício Multiuso

Elementos Construtivos		R_T (m ² .K/W)	U (W/m ² .°C)	C_T (kJ/m ² .K)	α (adimens.)
Cobertura (sls. de aula, sls. ADM e de serviço)	Telha de Aço Galvanizado com isolante tipo EPS, Laje Nervurada e Forro Fibra Mineral	3,13	0,32	174,44	0,25
Cobertura (circ., IS, DML)	Telha de Aço Galvanizado com isolante tipo EPS e Laje Nervurada	2,45	0,41	171,56	0,25
Laje Térreo	Piso Granitina e Contrapiso	0,34	2,93	239,20	0,65
Laje Entrepisos (sls. de aula, sls. ADM e de serviço)	Piso Granitina, Contrapiso de Regularização, Laje Nervurada e Forro Fibra Mineral	1,32	0,76	298,82	0,65
Parede Externa	Parede de tijolos cerâmicos 9 x 14 x 19 cm de 6 furos com reboco nas duas faces	0,81	1,24	223,67	0,611
Parede Interna	Parede de tijolos cerâmicos 9 x 14 x 19 cm de 6 furos com reboco nas duas faces	0,81	1,24	223,67	0,396

A indicação dos dados de absorvância e emissividade para radiação dos elementos construtivos, baseou-se em índices medianos da NBR 15220-2 (ABNT, 2022). No caso das paredes, em função da cor e o tipo da tinta especificados em projeto, foi aplicado um valor distinto de absorvância de 0,611 para aquelas externas, correspondente à tinta acrílica semi-brilho cor cinza BR, e 0,396 para as internas, correspondente à tinta acrílica semi-brilho cor palha, seguindo o recomendado por Dornelles (2008).

Todos esses valores foram igualmente utilizados para cálculo das propriedades térmicas da parede externa e da cobertura da edificação de referência segundo NBR 15220-2

(ABNT, 2022), para fins de comparação posterior com os requisitos prescritos no RTQ-C para Zona Bioclimática 3 (INMETRO, 2014).

Ademais, para configuração das propriedades térmicas e luminosas do tipo de vidro foram utilizados os dados apresentados no manual técnico do vidro plano desenvolvido pela Associação Brasileira das Indústrias de Vidro - ABIVIDRO (WESTPHAL, 2016), sendo considerado o vidro monolítico incolor 6mm, conforme apresentado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Propriedades do vidro do Edifício Multiuso

Propriedade	Vidro
Espessura (m)	0,006
Transmissão Solar	0,77
Reflexão Solar (externa)	0,07
Reflexão Solar (interna)	0,07
Transmissão Luminosa	0,88
Refletância Luminosa (externa)	0,08
Refletância Luminosa (interna)	0,08
Transmissão Infravermelha	0
Emissividade (externa)	0,84
Emissividade (interna)	0,84
Condutividade	1
Fator Solar	0,84

Fonte: Adaptado de Westphal (2016).

Relativamente aos ganhos internos, a densidade de ocupação de cada espaço foi definida de acordo com o projeto de segurança contra incêndio e pânico aprovado pelo Corpo de Bombeiros Militar do Paraná e documentos auxiliares disponibilizado pela SECIC, como mostra a Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Quantidade de indivíduos por ambiente

Ambiente	Zona Térmica	Número de pessoas
Bloco de Aulas 01		
Sl. Aula 01	ZT1	51
Sl. Aula 02	ZT2	51
Sl. Aula 03	ZT3	51
Sl. Aula 04	ZT4	25
Sl. Aula 05	ZT12	51
Sl. Aula 06	ZT19	25
Sl. Aula 07	ZT20	51
Sl. Aula 08	ZT21	51
Sl. Aula 09	ZT22	51
Sl. Aula 10	ZT23	51
Sl. Aula 11	ZT24	51
Sl. Aula 12	ZT25	51
Sl. Aula 13	ZT26	25
Bloco de Aulas 02		
Sl. Aula 14	ZT42	51
Sl. Aula 15	ZT43	51

Sl. Aula 16	ZT44	51
Sl. Aula 17	ZT45	25
Sl. Aula 18	ZT61	25
Sl. Aula 19	ZT62	51
Sl. Aula 20	ZT63	51
Sl. Aula 21	ZT64	51
Sl. Aula 22	ZT65	51
Sl. Aula 23	ZT66	51
Sl. Aula 24	ZT67	51
Sl. Aula 25	ZT68	25
Sl. Aula 26	ZT75	51

Para definição da taxa metabólica atinente à atividade desempenhada em sala de aula adaptou-se os valores contidos na NBR 16401-1 (ABNT, 2008), considerando o indivíduo sentado em trabalho leve, conforme apresentado na Tabela 4.6. Além disso, foi considerada a fração radiante de 0,3, consoante ao descrito na ASHRAE *Handbooks* (ASHRAE, 2021).

Tabela 4.6. Taxas de calor liberado por indivíduo

Ambiente (adaptado)	Atividade	Calor (W)
Sala de Aula	Sentado, trabalho leve	130

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

A configuração do sistema de iluminação artificial levou em conta a densidade de potência instalada (DPI) discriminada no projeto elétrico e características da luminária descritas no caderno de especificações disponibilizados pela SECIC. A Tabela 4.7 exibe essas informações e outras relacionadas à fração radiante e fração visível, com base no manual *Input Output Reference* (DOE, 2021).

Tabela 4.7. Aspectos da iluminação artificial

Ambiente	Tipo da luminária	DPI (W/m ²)	Fração radiante	Fração visível
Sala de Aula	Superfície apoiada	9,31	0,72	0,18
Sala de Aula	Superfície apoiada	7,73	0,72	0,18

Fonte: Adaptado de DOE (2021).

Para determinação da quantidade de calor derivada dos equipamentos, novamente adotou-se os valores definidos na NBR 16401-1 (ABNT, 2008) para tipologias comerciais, assumindo uma carga do tipo alta, pressupondo que 20% dos alunos fariam uso de *notebook*, conforme descrito na Tabela 4.8. Ainda, foi considerada a fração radiante de 0,5, consoante ao descrito na ASHRAE *Handbooks* (ASHRAE, 2021) para equipamentos com potência nominal superior a 1000 W.

Tabela 4.8. Ganhos unitários com equipamento

Ambiente	Carga	Densidade (W/m ²)
Sala de Aula	Alta	21,5

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

Quanto ao sistema de condicionamento de ar, para configuração do configuração do objeto *HVACT:Template:Zone:PThP*, foram adotados os valores de *setpoint* fornecidos pela NBR 16401-2 (ABNT, 2008), sendo iguais a 25,5°C para refrigeração e 21°C para aquecimento. Ainda, conforme orientação técnica anexada a Resolução-RE n°9 (BRASIL, 2003), empregou-se a taxa de renovação do ar de 27m³/h pessoa, ou seja, 0,0075 m³/s pessoa. Por fim, utilizou-se o valor de 3,24 para o coeficiente de performance, de acordo com dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2022) para aparelhos de ar-condicionado, com selo PROCEL classificação A, consoante ao discriminado no projeto de ar-condicionado e características do aparelho descritas no caderno de especificações disponibilizados pela SECIC. Em tempo, esclarece-se que o sistema de refrigeração e de aquecimento é acionado quando a temperatura de bulbo seco interna for igual ou superior a 25,5°C ou quando for igual ou inferior a 21°C, nessa ordem.

Com relação ao sistema de ventilação natural, considerou-se os parâmetros contidos na NBR 15575-1 (ABNT, 2021), quanto a infiltrações por frestas conforme apresentado na Tabela 4.9. Ressalta-se que o emprego de dados integrantes de norma destinada às edificações residenciais é devido ao fato de não haver normativas específicas para o tipo de edificação analisada no presente trabalho.

Tabela 4.9. Parâmetros da ventilação natural

Parâmetro	Portas	Janelas
Coefficiente de fluxo de ar por frestas	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas	0,59	0,63
Coefficiente de descarga	0,60	0,60

Fonte: Adaptado de ABNT (2021).

Ademais, a determinação da porcentagem de abertura das janelas e portas das salas de aula respaldou-se no Anexo II do RTQ-R (INMETRO, 2012) e detalhamento contido no projeto arquitetônico disponibilizado pela SECIC, sendo que para a esquadria localizada na área externa, em função de sua configuração, adotou-se o percentual de 38%, já para a esquadria posicionada na área de circulação o percentual de 80% e para a porta de acesso, igualmente na área de circulação, o percentual de 90%. Para os demais ambientes, contemplados por esquadrias de altura distinta, notadamente para àquelas localizadas nas áreas externas, como as empregadas

na sala dos funcionários terceirizados, copa, apoio aos cursos, TI e nas instalações sanitárias femininas e masculinas, adotou-se o percentual de abertura de 48%.

Salienta-se que as porcentagens foram embasadas nas características das aberturas das janelas presentes no projeto arquitetônico, considerando a dimensão do vidro móvel e fixo, quando existente, sistema de abertura do tipo maxim-ar, utilizando, na sequência, a regra de três simples. Assim, exemplificando, em caso de esquadrias com características heterogêneas, ponderou-se a porção de cada um dos tipos, chegando-se ao percentual específico para aquele modelo. Já para esquadrias com padrão homogêneo, utilizou-se o valor sugerido pelo documento.

Novamente, a utilização de dados contidos em regulamento destinado às edificações residenciais é consequência de as normativas aplicáveis às edificações destinadas ao ensino superior não trazerem essas referências. A abertura da janela acontecerá quando a temperatura de bulbo seco interna atingir 25,5°C e concomitantemente a temperatura de bulbo seco externa estiver entre 21°C e 25,5°C, conforme de valores de *setpoint* estabelecido na NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

No que se refere ao padrão de uso dos ambientes, a configuração dos dias úteis, de segunda-feira a sexta-feira e aos sábados, foi determinada pelo cronograma de aulas da graduação estabelecido pelo Boletim de Serviço n° 420, de 06 de fevereiro de 2019 (UNILA, 2019). A Tabela 4.10 traz esses dados relacionados à rotina de utilização dos espaços acadêmicos, observando os horários e o percentual de ocupação das salas de aula ao longo do dia. Esses mesmos dados foram utilizados para configuração do padrão de uso do sistema de iluminação, equipamentos, ventilação natural e climatização artificial.

Tabela 4.10. Padrão de uso

Hora	Segunda à Sexta (%)	Hora	Sábado (%)	Hora	Domingo (%)
00:01 às 08:00	0	00:00 às 08:00	0	00:00 às 24:00	0
08:01 às 09:40	100	08:01 às 09:40	100		
09:41 às 10:00	0	09:41 às 10:00	0		
10:01 às 11:40	100	10:01 às 13:20	100		
11:41 às 12:40	0	13:21 às 14:00	0		
12:41 às 14:20	100	14:01 às 15:40	100		
14:21 às 14:40	0	15:41 às 16:00	0		
14:41 às 18:00	100	16:01 às 19:20	100		
18:01 às 19:00	0	19:21 às 24:00	0		
19:01 às 20:40	100				
20:41 às 21:00	0				
21:01 às 22:40	100				
22:41 às 24:00	0				

Importante reforçar que as salas de aula 01, 02, 03, 05, 07, 08, 09, 10, 11 e 12 foram consideradas 100% ocupadas quando com 51 pessoas e as salas de aula 04, 06 e 13 quando com 25 pessoas, sendo todas elas tidas como 0% ocupadas quando com nenhuma pessoa.

A configuração dos feriados e dias especiais baseou-se no calendário acadêmico 2022 fornecido no site oficial da instituição e aprovado pela Resolução nº 18, de 01 de junho de 2021 (UNILA, 2021), conforme apresentado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11. Dias sem atividades previstos em calendário acadêmico

Feriados e dias especiais	Data	Quantidade de dias sem atividades
Férias acadêmicas ref. 2021	01/01/2022	29
Carnaval	28/02/2022	2
Quarta-feira de Cinzas	02/03/2022	1
Férias acadêmicas ref. 2022	02/04/2022	12
Paixão de Cristo	15/04/2022	1
Tiradentes	21/04/2022	1
Dia do Trabalho	01/05/2022	1
Aniversário de Foz do Iguaçu	10/06/2022	1
Corpus Christi	16/06/2022	1
Padroeiro de Foz do Iguaçu	24/06/2022	1
Independência	07/09/2022	1
Padroeira do Brasil	10/10/2022	1
Finados	01/11/2022	0
Proclamação da República	15/11/2022	1
Emancipação do Paraná	19/12/2022	1
Natal	24/12/2022	2
Recesso Acadêmico	26/12/2022	5
Ano Novo	31/12/2022	1

Desse modo, utilizando as configurações expostas até o momento, foram efetuadas duas simulações de referência, compreendendo o Edifício Multiuso em sua condição real, condicionado artificialmente e ventilado naturalmente, possibilitando a avaliação da edificação em contexto ativo e passivo de condicionamento térmico. As conformações permitiram análises distintas, sendo a primeira voltada sobretudo para o consumo energético com refrigeração e aquecimento e a segunda para o desempenho térmico da edificação.

É relevante cientificar que para análise financeira do consumo com condicionamento mecânico, empregou-se valores atualizados cobrados pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 2022) para unidades alimentadas em média tensão, caracterizadas como GRUPO A, subgrupo A4, modalidade tarifária Verde. Enfatiza-se que esse grupo tarifário tem valores distintos para períodos classificados como ponta (das 18:00 às 21:00 horas) e fora de ponta (das 0:00 às 17:59 horas e das 21:01 às 23:59 horas). Desta forma, ponderou-se o consumo dentro de cada uma das faixas, utilizando-se os arquivos de saída com extensão *.csv (*comma-separated values*) gerados a partir da simulação computacional, aplicando-se, na sequência, filtros com os quais foi possível perfazer o gasto energético dentro de cada faixa horária. Por último, multiplicou-se as somas aos respectivos valores com impostos de ponta, R\$ 1,80893, e fora de ponta, R\$ 0,45756, aditando ambos para totalizar os custos finais.

Ademais, cumpre esclarecer que para avaliação do nível de bem-estar térmico propiciado pelas salas de aula ventiladas naturalmente optou-se pelo modelo de conforto adaptativo baseado na ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2020), entendendo que, nessas condições, os ocupantes se adequam ao ambiente periférico por intermédio de ajustes comportamentais, fisiológicos e psicológicos. Segundo esse conceito, a temperatura neutra, ou temperatura de conforto, é obtida através da equação $T_N = 17,8^\circ + (0,31 \times T_{a_{ex\ m\ m}})$, sendo $T_{a_{ex\ m\ m}}$ a média aritmética da temperatura externa mensal. A aplicação do modelo adaptativo é factível quando $T_{a_{ex\ m\ m}}$ for igual ou superior a 10°C e igual ou inferior a $33,5^\circ\text{C}$. A partir da T_N são determinados limites para a temperatura máxima e mínima, com intervalo de 7°C , configurando uma faixa de aceitabilidade térmica para 80% do grupo (ASHRAE, 2020). A ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2020) foi adotada como referência nesse cálculo em função da confiabilidade em aferir a zona de conforto em ambientes condicionados naturalmente, conforme atestado por Fabozzi e Dama (2019), bem como em virtude de os universitários demonstrarem predisposição compatível às referências utilizadas pela norma, consoante ao observado por Singh et al. (2019), e ainda por não existir um parâmetro brasileiro específico para a tipologia educacional.

Por fim, informa-se que esse diagnóstico inicial serviu de base para comparação entre o modelo referência e os modelos com a aplicação de estratégias projetuais que contribuam para o conforto térmico e eficiência energética.

4.4.1. Configuração dos Parâmetros Variáveis de Simulação Computacional

As simulações objetivando a otimização termo energética do Edifício Multiuso foram realizadas mediante o uso do *software EnergyPlus* v. 9.3.0 e do componente auxiliar *EP-Launch* v. 2.14., contando ainda com o auxílio do *plug-in Euclid* v. 9.4.3 para *SketchUp* em alterações na configuração arquitetônica do modelo de referência.

Informa-se que, da mesma maneira, o estabelecimento dos parâmetros fundamentou-se em dados de normativas vigentes, especificações disponibilizadas por fabricantes e manuais de apoio elaborados pelo LabEEE. Esclarece-se que o arquivo climático empregado na segunda etapa de avaliação foi mantido como no modelo de referência, cedido pelo INMET (2018), com extensão *.epw (*EnergyPlus Weather Format*) e representando anos meteorológicos típicos (TMY). Ressalta-se ainda que, nessa fase, foram mantidas as configurações apresentadas no item anterior relativas à ocupação, iluminação, equipamentos, ventilação natural, condicionamento mecânico e uso dos ambientes.

A aferição do consumo energético e nível de conforto térmico das salas de aula foi realizada após a inclusão de cada uma das estratégias, com o objetivo de avaliar o impacto da alteração de forma isolada, comparando-o com o modelo de referência. Foram simuladas

substituições de cor da fachada externa, de vidro das esquadrias, de telhado da edificação, bem como alterações no modelo das janelas e incorporações de isolamento térmico na cobertura, de isolamento térmico na fachada externa e de brises na fachada norte do Edifício Multiuso.

A seleção das estratégias projetuais, como detalhado na sequência, fundamentou-se, em especial, nos resultados apresentados pelo item “5.1.1.1, Análise bioclimática”, ademais de avaliar os efeitos decorrentes do cumprimento de pré-requisito estabelecido pelo RTQ-C e não atendido pelo modelo de referência, conforme exposto no item “5.2.1, Propriedades Térmicas da Envoltória”. Evidencia-se que, preliminarmente, foram arroladas as estratégias projetuais adotadas pelo modelo de referência e constantes no item “5.1.1.1, Análise bioclimática” de forma a dispensar os aspectos desde logo contemplados pela edificação objeto de estudo; a citar as diretrizes segundo a abordagem adaptativa 33, 36, 65, 53, 17, 32 e a diretriz segundo a abordagem estática de número 46; para, na sequência, selecionar as soluções avaliadas. Além disso, a escolha considerou a demanda expressiva por arrefecimento e o percentual de horas em situação de desconforto por calor apresentadas pelo Edifício Multiuso em condições reais nas primeiras simulações, as quais indicaram a necessidade de alternativas, sobretudo passivas, para otimização do seu desempenho particularmente durante o período de temperaturas mais elevadas.

Precisamente com relação às paredes externas, a mudança da cor foi uma das alternativas avaliadas para otimização do Edifício Multiuso. Nessa configuração foi utilizado um valor de absorvância de 0,396, correspondente à tinta acrílica semi-brilho cor palha, conforme o recomendado por Dornelles (2008), sendo o mesmo padrão empregado nas paredes internas. A opção baseou-se na diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 43, apresentada no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”, na qual recomenda-se a utilização de materiais de construção de cores claras. Além disso, a variação apoiou-se nos resultados exibidos no item “5.2.1, Propriedades Térmicas da Envoltória” procurando adequar o valor de absorvância (α) das paredes externas do modelo aos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C e, assim, analisar o impacto dessa alteração nas condições de conforto térmico e consumo energético das salas de aula.

Outra substituição examinada diz respeito ao tipo de vidro especificado para as esquadrias da edificação. Foram simulados dois padrões distintos de material, notadamente o vidro monolítico cor verde de 6mm e o vidro laminado de controle solar 12mm, em outras palavras, vidro duplo em que uma das quatro superfícies possui revestimento metálico (Figura 4.20 e Figura 4.21). Ambas as alternativas procuraram explorar a diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 30, apresentada no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”, contrapondo custos e benefícios. Essa estratégia discorre que a utilização de vidros de alto desempenho em todas as orientações deve ser economicamente viável, em regiões com verões quentes e ensolarados, como é o caso de Foz do Iguaçu. Segundo os indicadores de mercado local, para janeiro de 2023, os custos por m² do vidro monolítico cor verde excedem os custos por m² do vidro monolítico translúcido em

aproximadamente 30%, já o vidro laminado de controle solar extrapola esse valor em torno de 210% (MILANI, 2023).

Figura 4.20. Vidro monolítico verde de 6mm

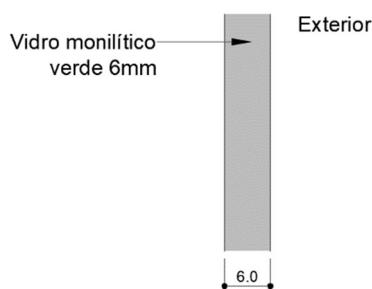
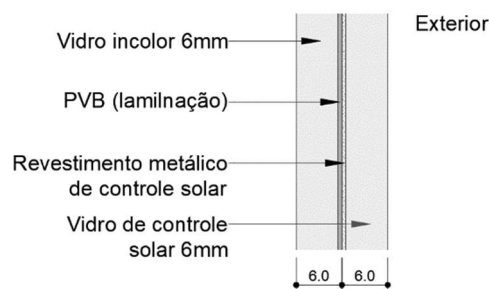


Figura 4.21. Vidro laminado de controle solar de 12mm



Para configuração das propriedades térmicas e luminosas do elemento construtivo vidro monolítico cor verde de 6mm e do elemento construtivo vidro laminado de controle solar de 12mm, o qual possui revestimento metálico em uma das superfícies, foram utilizados os dados apresentados no manual técnico do vidro plano desenvolvido pela ABIVIDRO (WESTPHAL, 2016) conforme apresentado na Tabela 4.12.

Tabela 4.12. Propriedades dos vidros monolítico verde e laminado de controle solar

Propriedade	Vidro cor verde 6mm	Vidro laminado de controle solar 12mm
Espessura (m)	0,006	0,012
Transmissão Solar	0,49	0,14
Reflexão Solar (externa)	0,06	0,11
Reflexão Solar (interna)	0,06	0,20
Transmissão Luminosa	0,75	0,30
Refletância Luminosa (externa)	0,07	0,17
Refletância Luminosa (interna)	0,07	0,12
Transmissão Infravermelha	0	0
Emissividade (externa)	0,84	0,84
Emissividade (interna)	0,84	0,84
Condutividade	1	1
Fator Solar	0,62	0,33

Fonte: Adaptado de Westphal (2016).

Além dessas substituições, foram simuladas as repercussões no consumo e condições de conforto térmico, derivadas da inclusão de isolamento extra de lã de rocha de 50mm imediatamente acima da laje de cobertura. No tocante às propriedades térmicas do material, reforça-se que estas foram fundamentadas na NBR 15220-2 (ABNT, 2022), assim como o valor de absorvância de 0,3 correspondente à sua tonalidade, cor amarelo (ABNT, 2022). A incorporação desse elemento construtivo respaldou-se na diretriz para projeto segundo a abordagem estática de

número 26, tratada no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”, na qual indica-se o uso de material isolante e reflexivo para reduzir o ganho de calor solar pela cobertura. Informa-se que, devido à preexistência de um tipo de telha com característica reflexiva, optou-se pelo isolamento de lã de rocha, devido as suas propriedades termoacústicas e de incombustibilidade.

Dando seguimento e em consequência dos resultados alcançados após a incorporação do isolamento extra na cobertura, considerou-se a modificação do tipo de telha empregado no modelo de referência, substituindo a de aço galvanizado com isolante tipo EPS por outra de fibrocimento pintada de branco de 8mm. Informa-se que os dados relativos às propriedades térmicas do material foram, novamente, baseados na NBR 15220-2 (ABNT, 2022). Ainda, esclarece-se que nessa configuração foi utilizado um valor de absorvância de 0,102, correspondente à tinta acrílica fosca cor branco neve, conforme o recomendado por Dornelles (2008). A opção por essa estratégia projetual fundamentou-se em sugestões de projeto adequadas à abordagem adaptativa e estática exibidas ao longo do item “5.1.1.1, Análise bioclimática”, especificamente as de número 25, 32, 43, 59, 68. Nelas, recomenda-se manter a cobertura em cor clara, bem como em material com refletância solar maior do que 0,7 e a emitância térmica maior do que 0,75.

Uma segunda incorporação ponderada refere-se à inclusão de isolamento na fachada com a tecnologia *Sto Therm Classic*, modelo PSP1026114 de 14mm (STOBRASIL, 2022). Seguindo orientação do fabricante, a configuração dos parâmetros atinentes às propriedades térmicas foi baseada nos índices para isolantes térmicos de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2022), notadamente o poliestireno expandido moldado. Em função da manutenção da cor especificada em projeto para as paredes externas da edificação, foi respeitado o valor de absorvância de 0,611, correspondente à tinta acrílica semi-brilho cor cinza BR, seguindo o recomendado por Dornelles (2008). A inclusão desse elemento construtivo teve como objetivo cessar as incertezas quanto à utilização de isolamento térmico em edificações acadêmicas de regiões com clima temperado úmido com verão quente, despertadas pelos resultados das simulações, considerando a incorporação de lã de rocha na área de cobertura e a substituição da telha utilizada no modelo de referência.

Na sequência, observou-se os efeitos decorrentes da inclusão de brises na fachada norte. Evidencia-se que a adição desse elemento se baseou nas sugestões de projeto passivo segundo a abordagem adaptativa e estática de número 37, 53, 57 e 58 contidas no item “5.1.1.1, Análise bioclimática”. Essas propostas sugerem incorporar estratégias de sombreamento de modo a minimizar ou impedir a incidência solar, especialmente sobre os elementos transparentes e, com isso, diminuir os ganhos de calor durante os períodos quentes e reduzir as cargas de resfriamento. Na Figura 4.22 observa-se, em detalhe, o dispositivo de sombreamento introduzido logo abaixo dos gradis coloridos existentes e na Figura 4.23 nota-se a modelagem do Bloco 02, já contando com a incorporação desse elemento construtivo, na imagem em preto.

Figura 4.22. Brises horizontais de 8cm de largura e 0° de inclinação

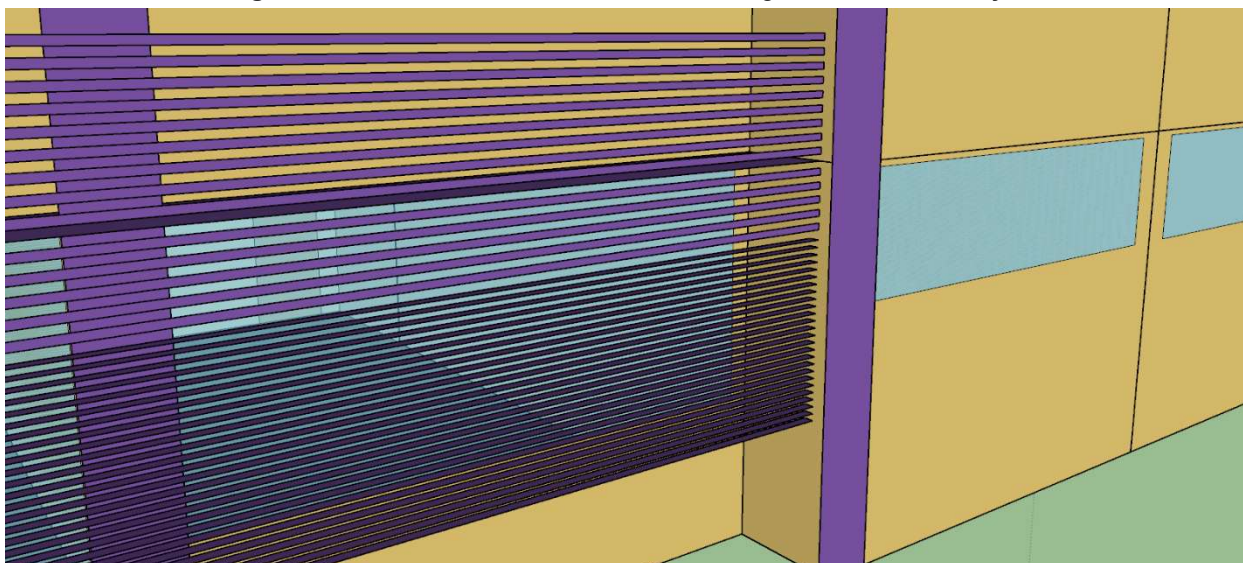
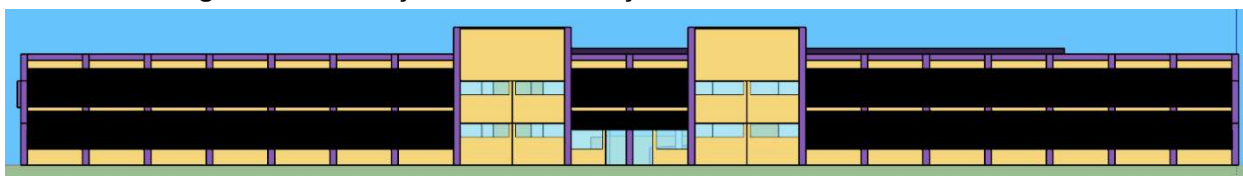


Figura 4.23. Elevação Norte – Edificação contando com a inclusão de brises



A inserção desse componente na modelagem da geometria fundamentou-se nos resultados obtidos por Langner (2020) para essa orientação solar, atendendo ao clima de Foz do Iguaçu, sendo as soluções mais indicadas, em ordem, o elemento complexo voronoi, a treliça e a veneziana horizontal. Não obstante, vale esclarecer que, devido a pequena diferença de desempenho apresentado pelas opções com maior performance, bem como em consequência da facilidade de obtenção do material no mercado, de acesso à mão de obra local especializada e de manutenção posterior, optou-se por seguir as recomendações descritas para a persiana horizontal, ou seja, largura da aleta de 8cm, aproximadamente 18 unidades de aleta por metro, no sentido vertical, e inclinação da aleta de 0°.

Outra alteração avaliada refere-se ao modelo das janelas, alterando os tipos vidro fixo + maxim-ar e maxim-ar para o tipo basculante com inclinação 90° e altura de abertura equivalente a altura total da superfície transparente. Uma vez mais, a determinação da porcentagem de abertura das janelas respaldou-se no Anexo II do RTQ-R (INMETRO, 2012), sendo que, em função da nova configuração, adotou-se o percentual de 90% para todas as dimensões. Ressalta-se que essa alteração buscou observar apenas os efeitos na condições de bem-estar térmico das salas de aula, visto que os dados decorrentes de uma eventual simulação para verificação do consumo energético, adotando a configuração do objeto *HVACT:Template:Zone:PTHP*, não revelariam nenhuma variação relativamente ao modelo de referência. A opção por essa estratégia

projetual respaldou-se na diretriz para projeto segundo a abordagem adaptativa de número 35, igualmente apresentada no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”, na qual aponta-se a importância de uma boa ventilação natural, devidamente sombreada e voltada para o vento predominante, para redução ou supressão do condicionamento mecânico dos espaços internos. Ademais, o modelo de janela selecionado resgata uma solução tradicional da arquitetura escolar, de forma a testar sua capacidade de garantir o conforto térmico e a economia de energia.

Em síntese, nos testes de simulação computacional, a comparação entre os resultados alcançados pelo modelo de referência e pelos modelos alterados permitiu listar, dentre as estratégias avaliadas, aquelas com maior potencial para contribuir com o conforto térmico e eficiência energética em edificações de salas de aula destinadas ao ensino superior para locais de clima subtropical úmido, como é o caso de Foz do Iguaçu-PR. Assim, foram agrupadas em um único modelo as alterações relativas à nova cor de fachada externa, ao vidro monolítico cor verde de 6mm, à telha de fibrocimento pintada de branco, ao brise na fachada norte e ao novo padrão de janela. Enfatiza-se que, nessa simulação computacional, foram agregados e mantidos os parâmetros relativos a cada uma das estratégias projetuais selecionadas e anteriormente descritos. Ainda, esclarece-se que, apesar dos resultados superiores propiciados pelo vidro laminado de controle solar de 12mm, optou-se pela utilização do vidro monolítico cor verde de 6mm em consequência da maior viabilidade financeira, tanto para aquisição do produto quanto relacionada à dispensabilidade de troca dos perfis de alumínio da esquadria, por conta do menor prazo de retorno do investimento e, mesmo que não abordado por essa pesquisa, em virtude do eventual prejuízo aos níveis de conforto visual. Relativamente aos modelos analisados, a Tabela 4.13 traz um compêndio das estratégias projetuais consideradas em cada variação.

Tabela 4.13. Estratégias projetuais avaliadas nas variações do Edifício Multiuso

Estratégia Projetual	Embasamento	Alteração demandada
Tinta cor palha aplicada nas paredes externas	Diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 43, e resultados em relação às propriedades térmicas da envoltória	Alteração do valor de absorvância do material no <i>EnergyPlus</i> e <i>EP-Launch</i>
Substituição do vidro incolor de 6mm por vidro cor verde de 6mm	Diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 30	Alteração das propriedades térmicas e luminosas no <i>EnergyPlus</i> e <i>EP-Launch</i>
Substituição do vidro incolor de 6mm por vidro laminado de controle solar de 12mm	Diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 30	Alteração das propriedades térmicas e luminosas no <i>EnergyPlus</i> e <i>EP-Launch</i>
Inclusão de isolamento extra de lã de rocha de 50mm imediatamente acima da laje de cobertura	Diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 26	Incorporação das propriedades do material e alteração da construção no <i>EnergyPlus</i> e <i>EP-Launch</i>
Substituição da telha de aço galvanizado com isolante tipo EPS por telha de fibrocimento pintada de branco de 8mm	Resultados alcançados após a incorporação do isolamento extra na cobertura e sugestões de projeto segundo a abordagem	Alteração das propriedades do material no <i>EnergyPlus</i> e <i>EP-Launch</i>

	adaptativa e estática de número 25, 32, 43, 59, 68	
Inclusão de isolamento na fachada com a tecnologia Sto Therm Classic, modelo PSP1026114 de 14mm	Resultados alcançados após a incorporação do isolamento extra na cobertura e pós substituição da telha utilizada no modelo de referência	Incorporação das propriedades do material e alteração da construção no <i>EnergyPlus</i> e <i>EP-Launch</i>
Inclusão de brises horizontais na fachada norte, largura da aleta de 8cm, inclinação de 0° e aproximadamente 18 unidades por metro, no sentido vertical	Sugestões de projeto segundo a abordagem adaptativa e estática de número 37, 53, 57 e 58	Alteração da geometria no <i>SketchUp</i> e <i>plug-in Euclid</i>
Alteração do modelo das janelas, de vidro fixo + maxim-ar e maxim-ar para basculante com inclinação 90° e altura de abertura igual a altura total da superfície transparente	Diretriz para projeto segundo a abordagem adaptativa de número 35	Alteração das propriedades do elemento construtivo no <i>EnergyPlus</i> e <i>EP-Launch</i>
Modelo Integrado contemplando a tinta cor palha, o vidro cor verde de 6mm, a telha de fibrocimento pintada de branco, o brise horizontal na fachada norte e o novo modelo de janela	Comparação entre os resultados alcançados pelo modelo de referência e pelos modelos alterados	Alterações previstas nas estratégias projetuais correspondentes no <i>EnergyPlus</i> , <i>EP-Launch</i> , <i>SketchUp</i> e <i>plug-in Euclid</i>

Complementando as informações, a Tabela 4.14 apresenta resumidamente as propriedades das composições com variação nos elementos construtivos, descrevendo a resistência térmica total (R_T), transmitância térmica (U), capacidade térmica total (C_T), e absorvância para radiação solar (α). Maiores detalhes podem ser observados no Apêndice III.

Tabela 4.14. Propriedades dos elementos construtivos empregados nas variações do Edifício Multiuso

Elementos Construtivos		R_T ($m^2.K/W$)	U ($W/m^2.C$)	C_T ($kJ/m^2.K$)	α (adimens.)
Varição Cobertura Isolamento (sls. de aula, sls. ADM e de serviço)	Telha de Aço Galvanizado com isolante tipo EPS, Lã de Rocha, Laje Nervurada e Forro Fibra Mineral	4,46	0,22	181,56	0,25
Varição Cobertura Isolamento (circ., IS, DML)	Telha de Aço Galvanizado com isolante tipo EPS, Lã de Rocha e Laje Nervurada	3,77	0,27	175,68	0,25
Varição Cobertura Telha (sls. de aula, sls. ADM e de serviço)	Telha de Fibrocimento, Laje Nervurada e Forro Fibra Mineral	1,97	0,51	180,37	0,102
Varição Cobertura Isolamento (circ., IS, DML)	Telha de Fibrocimento e Laje Nervurada	1,29	0,77	174,49	0,102
Varição Parede Externa Isolamento	Parede de tijolos cerâmicos 9 x 14 x 19 cm de 6 furos com isolamento na face externa e reboco na face interna	1,13	0,88	163,97	0,611

Informa-se que para análise financeira do consumo com condicionamento mecânico, empregou-se, novamente, valores atualizados cobrados pela COPEL para unidades caracterizadas como GRUPO A. Da mesma forma, para aferição do nível de conforto térmico viabilizado pelas salas de aula ventiladas naturalmente, priorizou-se o modelo de conforto adaptativo baseado na ANSI/ASHRAE *Standard* 55 (ASHRAE, 2020), mantendo, assim, os preceitos adotados na avaliação de referência.

4.4.2. Forma de Análise dos Resultados

O tratamento dos dados gerados pelas simulações computacionais permitiu estabelecer o gasto energético total das salas de aula com condicionamento mecânico ao longo do ano e o percentual de horas ocupadas cuja temperatura operativa se encontrava dentro da faixa de conforto e desconforto para frio ou calor.

Os arquivos de saída com extensão *.csv produzidos com o auxílio do objeto *Output:Variable* possibilitaram estabelecer o consumo em kWh para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula, bem como o consumo dentro de cada faixa horária para estipulação do custos financeiros globais. Salienta-se que o *software Excel* v. 2211 foi utilizado durante todo o processo de análise dos resultados, objetivando facilitar os cálculos. Os dados referentes ao consumo de energia em kWh obtidos pelos modelos alterados e pelo modelo integrado foram comparados aos dados, igualmente em kWh, atingidos pela edificação em sua condição real. O diagnóstico incluiu ainda a confrontação entre os variados custos com energia elétrica, dado na moeda corrente, despendidos pela edificação de referência, pelos modelos alterados e pelo modelo integrado para condicionamento mecânico dos espaços.

Para determinação do nível de conforto térmico promovido pelas salas de aula ventiladas naturalmente foram, novamente, utilizados os arquivos de saída com extensão *.csv processados com o auxílio do objeto *Output:Variable*. Os valores de temperatura externa e temperatura operativa interna de cada zona térmica permitiram determinar a média aritmética da temperatura externa mensal, a temperatura neutra, bem como a máxima para calor e a máxima para frio. Destaca-se que, mais uma vez, o *software Excel* foi empregado no processo de análise dos resultados de modo a favorecer os cálculos, entre outros, valendo-se da função SE para abarcar somente as horas ocupadas. Nessa avaliação, os dados atinentes à porcentagem de horas ocupadas em situação de conforto, bem como em situação de desconforto por frio e calor, obtidos pelos modelos alterados e pelo modelo integrado foram comparados aos atingidos pelo modelo de referência.

5. RESULTADOS

Mesmo com um número crescente de estudos voltados ao papel do ambiente construído no bem-estar dos usuários, uma quantidade menor de pesquisas está direcionada especificamente para a sala de aula, principalmente destinada ao ensino superior. Os resultados apresentados na sequência referem-se à caracterização do objeto de estudo, trazendo informações quanto a localização e particularidades climáticas e bioclimáticas da cidade de Foz do Iguaçu, bem como dados relacionados à área de implantação e características do empreendimento.

Além disso, serão expostas as constatações relativas aos cálculos das propriedades térmicas de parede externa e cobertura da edificação referência com base na NBR 15220 (ABNT, 2022) e Dornelles (2008), e comparação desses valores com as recomendações contidas no regulamento RTQ-C (INMETRO, 2014).

Ademais, serão exibidos os resultados obtidos a partir das simulações computacionais realizadas com o *software EnergyPlus* e com o componente auxiliar *EP-Launch*, que envolveram a edificação em circunstância de projeto, ou seja, sem variações de material ou concepção arquitetônica, e a edificação após a aplicação de estratégias projetuais, considerando, em todos os casos, as trocas de calor das superfícies em contato o solo, o uso, os ganhos internos de calor decorrentes da ocupação, iluminação e equipamentos, atentando ainda para o clima subtropical úmido da região, orientação solar do edifício, bem como sua configuração, elementos construtivos e respectivo desempenho térmico. Esse diagnóstico abarcou exclusivamente as salas de aula, analisando o consumo de energia para aquecimento e refrigeração, quando condicionadas mecanicamente, e as temperaturas operativas de cada ambiente no decorrer de 8760 horas anuais, quando ventiladas naturalmente. Os números obtidos para os demais recintos da edificação, como administrativos; de serviço; instalações sanitárias e vestiários; depósitos; áreas técnicas e cobertura foram desconsiderados, bem como aqueles ocorridos fora dos horários de ocupação dos ambientes.

5.1. OBJETO DE ESTUDO

A Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) foi criada em 2010 por meio da Lei nº12.189 (BRASIL, 2010) e ficou por muitos anos refém de um projeto grandioso e inconcluso de campus universitário. A proposta original do complexo acadêmico foi contratada pela Itaipu Binacional e elaborada pelo Escritório Oscar Niemeyer entre 2009 e 2010, com a construção da primeira etapa iniciada em julho de 2011. Contudo, em consequência de fatores alheios à instituição, a obra foi paralisada em janeiro de 2015, situação na qual permanece até o presente (UNILA, 2020).

Em janeiro de 2020, em busca de soluções para seu problema de infraestrutura, a UNILA iniciou a construção do Bloco de Aulas 01, estrutura que integra o Edifício Multiuso e composta por salas de aulas, espaços administrativos e instalações de serviços. Esse bloco é o primeiro edifício concluído e utilizado pela universidade para fins acadêmicos e, mesmo antes de sua conclusão, internamente já se trabalhava sua reprodução no mesmo terreno. Desse modo, avaliações técnicas tornam-se extremamente importantes para a instituição, ainda que nessa fase, oportunizando a retroalimentação de seu planejamento e projeto, e visando adequações possíveis tanto para obras em andamento, quanto para empreendimentos futuros.

5.1.1. Localização e Clima

Foz do Iguaçu localiza-se na região sul do Brasil, extremo oeste do estado do Paraná, fazendo fronteira com o Paraguai e a Argentina. Abaixo, a Figura 5.1 apresenta a posição do Brasil no continente e da cidade no mapa.

Figura 5.1. Mapa com a localização de Foz do Iguaçu



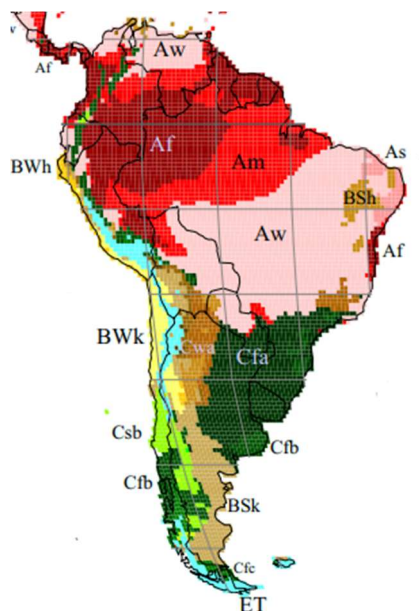
Fonte: Adaptado do Google Maps (2022).

O município tem uma população estimada de 258 mil pessoas e por volta de 618 Km² de extensão territorial (IBGE, 2022), está a 25,548°S de latitude e 54,588°W longitude e a 174 metros de altitude média acima do nível do mar (WEATHER SPARK, 2022). A cidade é considerada um dos mais importantes destinos turísticos do país e sua economia é, predominantemente, baseada no turismo.

Com base na classificação de Köppen, possui clima temperado úmido com verão quente, ou Cfa, sigla correspondente a essa configuração climática onde a primeira letra representa as particularidades gerais do clima, a segunda caracteriza a quantidade e distribuição da precipitação e a terceira denota a temperatura média mensal dos períodos mais quentes (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

Wladimir Köppen propôs no ano de 1900 um sistema de classificação global dos tipos climáticos, utilizando inicialmente um mapa de vegetação mundial, entendendo a vegetação natural como a melhor manifestação do clima local. Mais tarde, a classificação foi melhorada por ele com o auxílio de Rudolf Geiger e atualmente, incorpora a temperatura, chuva e características sazonais (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009). Na Figura 5.2 é possível observar as diferentes categorizações encontradas no país.

Figura 5.2. Mapa climático de Köppen-Geiger



Fonte: Adaptado de Climate Change & Infectious Diseases Group (2019).

Segundo essa classificação, as estações verão e inverno são bem definidas, a temperatura média durante o mês mais quente está acima de 22°C e entre -3°C e 18°C nos meses mais frios, a cidade registra ocorrência de precipitação durante todos os meses, inexistindo uma estação seca definida (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

Por certo, Foz do Iguaçu é marcada por verões quentes e chuvas constantes ao longo do ano, sendo outubro o mais chuvoso, com média de 220 milímetros. As temperaturas máximas excedem os 30°C e as mínimas aproximam-se dos 10°C, sendo que o município apresenta uma das mais significativas amplitudes térmicas anuais do Paraná, cerca de 10°C de diferença entre as temperaturas máximas e mínimas (SACHT et al., 2020). A Tabela 5.1 traz algumas das principais características climáticas da cidade.

Tabela 5.1. Normais climatológicas de Foz do Iguaçu, 1961-1990

Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T _{MÍN} (°C)	19,6	20,0	18,4	15,4	12,2	10,4	9,7	11,3	13,5	15,3	16,5	18,6
T _{MÉD} (°C)	25,5	25,4	23,8	20,8	17,7	15,8	15,7	17,5	19,0	21,4	23,1	25,1
T _{MÁX} (°C)	33,0	32,6	31,1	28,2	25,2	23,1	23,7	25,3	26,9	28,8	31,0	32,6
Insolação (h)	230,5	196,3	209,9	193,6	180,8	151,2	168,7	157,9	146,4	195,6	231,4	232,3
Nebulosidade (décimos)	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5
UR (%)	77,0	80,0	82,0	85,0	86,0	85,0	83,0	80,0	79,0	78,0	75,0	74,0
Precipitação (mm)	196,0	180,1	174,8	151,0	127,6	138,3	84,4	107,4	146,6	219,8	153,7	189,0
V _A (m/s ⁻¹)	1,06	0,96	0,93	1,06	1,02	1,15	1,11	1,25	1,36	1,25	1,25	1,09

Fonte: Adaptado de INMET (2022).

Conforme as normais climatológicas de 1961-1990 (INMET, 2022), as médias anuais das temperaturas mínima, média e máxima ficaram em 15,1°C; 20,9°C; e 28,5°C respectivamente. A média anual da umidade relativa do ar ficou em 80,3% e a precipitação acumulada anual ficou em 1868,7mm.

Os dados atualizados até 2015, disponibilizados pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, demonstram mudanças sutis no clima de Foz do Iguaçu. As médias anuais das temperaturas mínima, média e máxima ficaram entre 17,1°C e 18°C; 21,1°C e 22°C; e 28,1°C e 29°C nessa ordem. A média anual da umidade relativa do ar ficou entre 70,1% e 75% e a precipitação acumulada anual ficou entre 1600,1mm e 1800mm (NITSCHKE, 2019).

Ainda, de acordo com as normais climatológicas apresentadas no novo Atlas Climático do Estado do Paraná, é possível observar que a média da temperatura máxima mensal ficou entre 32,1°C e 33°C em janeiro, mantendo-se muito próxima disso nos meses de fevereiro, março, novembro e dezembro. Em maio as temperaturas começam a diminuir, com média mínima mensal entre 24,1°C e 25°C e ficam em torno de 1°C menores nos meses de junho e julho (NITSCHKE, 2019).

Na região predominam os ventos continentais norte e nordeste. Quentes e eventualmente secos ou úmidos, provocam o aquecimento da superfície por períodos prolongados, suscitando o desconforto térmico dos habitantes. A sensação de descontentamento com a temperatura é afetada ainda pela combinação dessas características climáticas continentais e das elevadas taxas de umidade em função do contexto hídrico local (SACHT et al., 2020).

Todas essas informações prenunciam o quão complexo é o processo de projeto de edificações considerando a análise do clima. Em regiões tropicais úmidas, a alta temperatura associada à umidade e baixa velocidade do vento dificultam o atendimento em relação ao conforto térmico (GUEVARA; SORIANO; MINO-RODRIGUEZ, 2021). Para mais, alguns estudos apontam que os profissionais da área estão tratando a concepção de ambientes de ensino como o planejamento de qualquer outro espaço (SINGH et al., 2019).

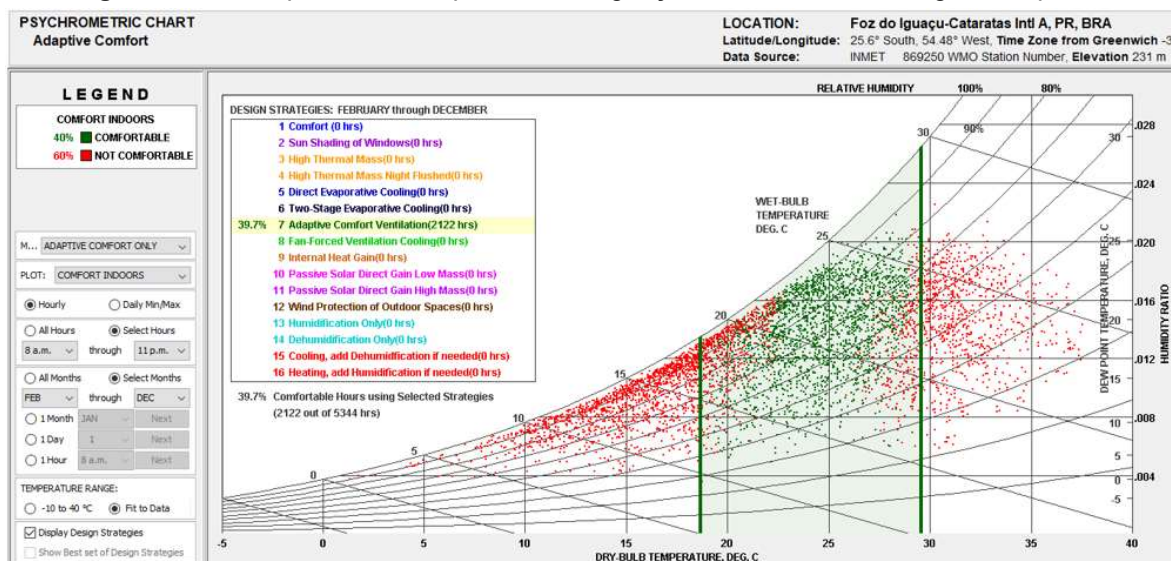
5.1.1.1. *Análise bioclimática*

Tendo em vista as vantagens de utilização apresentadas ao longo do item 3.3, a carta psicrométrica foi oportunamente aplicada para a cidade de Foz do Iguaçu como ferramenta para seleção inicial de estratégias, bem como objetivando averiguar as condições de conforto térmico e levantar as principais soluções passivas de projeto que favoreceriam alcançá-lo. Para a análise inicial empregou-se o modelo de conforto adaptativo segundo a norma ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010), considerando, um estado térmico satisfatório para 80% do grupo.

No diagrama, a condição de bem-estar e de desconforto é representada, respectivamente, pelos pontos verdes e pontos vermelhos. As faixas verticais, em destaque, marcam as temperaturas operativas mínima e máxima, 18,7°C e 29,6°C, facilitando a observação da interação entre esses parâmetros e os dados climáticos.

A carta psicrométrica para Foz do Iguaçu, exibida na Figura 5.3, indica uma porcentagem de horas em situação de conforto térmico de apenas 40%, adotando-se exclusivamente a estratégia de condicionamento natural dos espaços e considerando o regime de ocupação dos estabelecimentos de ensino superior, que usualmente operam das 08:00 às 23:00 horas e de fevereiro a dezembro, com maior ocupação durante manhãs e tardes.

Figura 5.3. Carta psicrométrica para Foz do Iguaçu com base na abordagem adaptativa



Fonte: *Climate Consultant 6.0* (2022).

A partir das informações plotadas nos gráficos, é possível prever estratégias passivas iniciais, com o propósito de maximizar as condições térmicas internas. As recomendações projetuais compatíveis com o contexto são listadas na Tabela 5.2 por ordem de relevância.

Tabela 5.2. Diretrizes para projetos não residenciais segundo a abordagem adaptativa

Estratégia	Diretrizes
35	Uma boa ventilação natural pode reduzir ou eliminar o uso do ar-condicionado em climas quentes, se as janelas estiverem bem sombreadas e orientadas para as brisas predominantes.
34	Para capturar a ventilação natural, a direção do vento pode ser alterada em até 45° em direção ao edifício, através de paredes externas de contenção ou de vegetação.
33	Projetos que privilegiem uma planta baixa longa e estreita podem ajudar a maximizar a ventilação cruzada em climas temperados, bem como em climas quentes e úmidos.
36	Para facilitar a ventilação cruzada, as aberturas das portas e janelas devem estar localizadas em lados opostos do edifício, se possível, com as aberturas maiores voltadas para o vento predominante.
56	Em climas quentes, áreas externas e pátios telados podem fornecer o resfriamento passivo dos ambientes através da ventilação, evitando ainda problemas com insetos.
42	Em dias quentes, o uso de ventiladores de teto ou o movimento do ar interno podem diminuir a sensação térmica em 2,8°C ou mais, reduzindo a demanda por ar-condicionado.
47	Para favorecer a ventilação cruzada natural, utilizar planos abertos, ou portas com persianas ou, ainda, dutos de ventilação, quando a privacidade for necessária.
49	Mesmo quando a velocidade do vento é baixa, é possível produzir a ventilação com efeito chaminé, maximizando a altura vertical entre a entrada e a saída de ar. Escadas abertas, espaços de dois andares e monitores de teto são algumas opções.
39	O resfriamento noturno, seja ele natural ou por meio de um sistema central, pode ser maximizado por meio do armazenamento dessas temperaturas mais baixas em superfícies internas de alta massa térmica, reduzindo ou até eliminando a necessidade de ar-condicionado.
58	Durante o verão, o uso da brisa e da sombra evitam o superaquecimento. Já no inverno sugere-se o aproveitamento do ganho solar passivo.
62	Em climas temperados, edifícios tradicionais sensíveis ao clima valem-se de construções

	leves com lajes flutuantes, ou radier, paredes móveis e espaços ao ar livre sombreados.
65	Em climas quentes e úmidos, edifícios tradicionais sensíveis ao clima valiam-se de tetos altos e janelas altas operáveis protegidas por saliências profundas e/ou varandas.
53	Varandas, pátios orientados para a brisa predominante podem funcionar como “zonas externas atenuantes” e estender os espaços de ocupação em clima quente ou úmido.
54	Na fachada sul, recomenda-se o uso de áreas envidraçadas suficientes para equilibrar a iluminação natural (cerca de 5% da área útil).
55	Telhados de baixa inclinação com amplas saliências funcionam bem em climas temperados.
17	Se as chuvas de verão favorecerem o crescimento da vegetação, o plantio de arbustos, árvores, e as paredes cobertas de hera, especialmente a oeste, podem minimizar o ganho de calor.
25	Em climas úmidos, os telhados inclinados bem ventilados funcionam bem e podem ser estendidos para proteger entradas, varandas e áreas de trabalho externas.
27	Em caso de solo úmido, sugere-se a elevação do edifício, para minimizar a umidade e maximizar a ventilação natural sob ele.
32	Na fachada oeste, recomenda-se minimizar ou eliminar as áreas transparentes para reduzir o ganho de calor vespertino no verão e no outono.
37	Saliências em janelas (projetadas para esta latitude) ou guarda-sóis operáveis (toldos que se estendem no verão) podem reduzir ou eliminar a demanda por ar-condicionado.

Fonte: Adaptado *Climate Consultant 6.0* (2022).

Na sequência, complementando as diretrizes projetuais elencadas, a Tabela 5.3 relaciona ainda algumas sugestões de projeto passivo, vinculadas às estratégias e específicas para esse clima.

Tabela 5.3. Sugestões de projeto passivo em consonância com a abordagem adaptativa

Estratégia	Sugestões de projeto passivo
33, 35, 36, 47	A ventilação cruzada adequada removerá o calor de um espaço e manterá a temperatura interna aproximadamente 1,5°C mais baixa do que a externa. As aberturas de entrada devem estar perpendiculares ao vento predominante, ou no máximo a mais ou menos 45°. Já as aberturas de saída devem localizar-se no lado oposto das de entrada, mantendo o caminho desobstruído para um fluxo de ar adequado. Ainda, devem ter dimensão igual ou maior do que estas.
49	Aberturas localizadas na parte inferior e superior de paredes opostas, criam o chamado “efeito chaminé”, que induzirá uma corrente removendo o ar quente de um espaço. Sucintamente, o ar interno quente sai através das aberturas altas, puxando o ar externo mais frio através das aberturas baixas. Quanto maior a altura entre as aberturas, maior o movimento do ar. Sugere-se localizar as aberturas de entrada entre 0,76 m e 1,37 m acima do piso acabado. Em edificações comerciais a distância recomendada entre elas é de no mínimo 4,6 m.
39	Tanto a ventilação cruzada quanto o efeito chaminé, podem ser utilizados durante a noite para liberar o calor de um espaço e para resfriamento da superfície de alta massa térmica. O espaço permanecerá fresco ao longo do dia. Sugere-se uma superfície com no mínimo 10,2 cm de espessura e dimensão variando entre uma e três vezes a área do piso.
37, 53, 58, 65	Durante os meses quentes de verão, as saliências bloqueiam a luz solar direta indesejada nas superfícies transparentes, reduzindo as cargas de resfriamento. Em climas quentes, sugere-se prolongar as saliências, beirais ou dispositivos de sombreamento, de modo a cobrir toda a fachada solar e espaços exteriores adjacentes.
54	Ambientes favorecidos por luz natural proveniente de vários lados fornecem uma iluminação mais uniforme e produzem menos brilho ao redor de pessoas e objetos. Quando tal estratégia não for possível, fazer paredes e teto na cor branca e incorporar tetos altos e janelas com prateleiras de luz, de forma a direcionar a luz solar mais profundamente em um espaço.

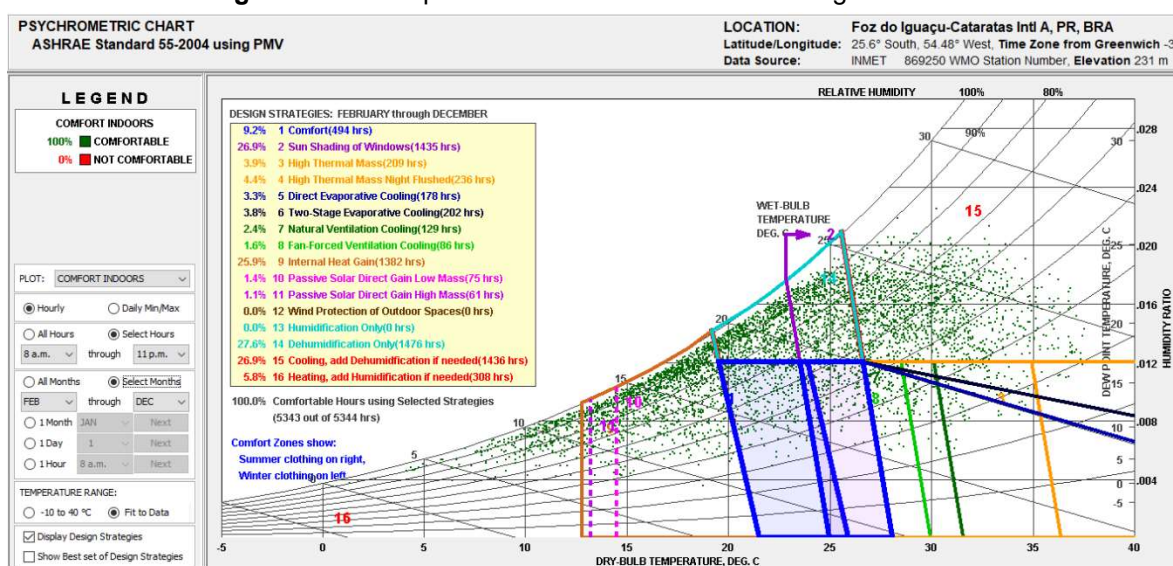
17	Paredes e superfícies sombreadas podem ser de 11°C a 25°C mais frias do que superfícies não sombreadas. Sugere-se a sua disposição a leste, oeste, nordeste e noroeste da edificação. Além disso, a cobertura do solo com vegetação em torno da edificação reduz a temperatura do ar e a luz solar refletida.
25, 32	Uma edificação alongada, orientada no eixo leste/oeste, minimiza os ganhos de calor durante o período vespertino nos meses quentes, pois as fachadas com maiores áreas ficarão à norte e sul. Sugere-se ainda incorporar a ventilação cruzada ou de efeito chaminé; sombrear as fachadas leste, oeste e as áreas transparentes, bem como manter a cobertura em cor clara. Ademais, em climas quentes e úmidos, recomenda-se criar coberturas que sombreiem as paredes externas e os espaços ao ar livre ao mesmo tempo que os protejam da chuva.

Fonte: Adaptado de 2030 *Palette* (2022).

Dentre as diretrizes e sugestões de projeto, nota-se a valorização da ventilação natural, principalmente a cruzada, assim como o enfoque no sombreamento, em especial das janelas, configurando-se, acima de tudo, como estratégias para melhores condições de conforto térmico, durante os períodos de sobreaquecimento dos ambientes. Ainda assim, apesar das altas temperaturas registradas em Foz do Iguaçu e da clara necessidade de estratégias para resfriamento da edificação, é oportuno prever determinadas soluções passivas para proteção dos espaços internos durante os meses mais frios.

A investigação subsequente admitiu a abordagem estática para mensuração do conforto térmico, utilizando, para isso, o modelo PMV segundo a norma ANSI/ASHRAE *Standard* 55 (ASHRAE, 2010). Ressalta-se que, nessa situação, os fatores temperatura de bulbo seco, nível de roupa, atividade metabólica, velocidade do ar, umidade e temperatura radiante média tem influência no conforto térmico.

Figura 5.4. Carta psicrométrica com base na abordagem estática



Fonte: *Climate Consultant* 6.0 (2022).

Na Figura 5.4, a condição de bem-estar é representada pelos pontos verdes, considerando que a partir das estratégias seria possível alcançar uma porcentagem de horas em situação de conforto térmico de 100%. As linhas, em evidência no gráfico, marcam as estratégias de projeto, de acordo com a cor e número descritos à esquerda, sendo que a marcação em azul refere-se a zona de conforto térmico. Se abdicando de qualquer solução projetual, a carta psicrométrica indica uma porcentagem de tempo em situação de conforto térmico de 9,2%.

Outrossim, o gráfico aponta as principais estratégias de projeto para driblar os efeitos negativos decorrentes de tais condições ambientais, listando apenas desumidificação; resfriamento, com adição de desumidificação se necessário; proteção solar das janelas; ganho de calor interno; aquecimento, com adição de umidificação se necessário; alta massa térmica e ventilação noturna para dissipação do calor interno nos dias mais quentes; alta massa térmica, ou seja, através da capacidade de absorção e armazenamento de energia térmica do material; resfriamento evaporativo de dois estágios; resfriamento evaporativo direto; resfriamento por ventilação natural; resfriamento por ventilação forçada por ventilador; ganho direto solar passivo por meio de baixa massa térmica e, por fim, ganho direto solar passivo por meio de alta massa térmica. Novamente, tendo em vista as informações plotadas no gráfico, é possível prever estratégias com a finalidade de melhorar as condições térmicas internas. As recomendações projetuais são ordenadas na Tabela 5.4 segundo importância.

Tabela 5.4. Diretrizes para projetos não residenciais segundo a abordagem estática

Estratégia	Diretrizes
30	Vidros de alto desempenho, com baixa emissividade ou insulado, em todas as orientações solares devem ser economicamente viáveis em verões quentes e ensolarados ou invernos escuros e nublados.
37	Saliências em janelas (projetadas para esta latitude) ou guarda-sóis operáveis (toldos que se estendem no verão) podem reduzir ou eliminar a demanda por ar-condicionado. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
59	Nesse clima o ar-condicionado sempre será necessário, mas pode ser reduzido se o projeto do edifício minimizar o superaquecimento.
32	Na fachada oeste, recomenda-se minimizar ou eliminar as áreas transparentes para reduzir o ganho de calor vespertino no verão e no outono. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
65	Em climas quentes e úmidos, edifícios tradicionais sensíveis ao clima valiam-se de tetos altos e janelas altas operáveis protegidas por saliências profundas e/ou varandas. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
56	Em climas quentes, áreas externas e pátios telados podem fornecer o resfriamento passivo dos ambientes através da ventilação, evitando ainda problemas com insetos. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
68	Em climas quentes e úmidos, edifícios tradicionais sensíveis ao clima favoreciam-se de construções leves, com paredes eventualmente abertas e áreas externas sombreadas, elevadas acima do solo.
17	Se as chuvas de verão favorecerem o crescimento da vegetação, o plantio de arbustos, árvores, e as paredes cobertas de hera, especialmente a oeste, podem minimizar o ganho de calor. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
42	Em dias quentes, o uso de ventiladores de teto ou o movimento do ar interno podem diminuir

	a sensação térmica em 2,8°C ou mais, reduzindo a demanda por ar-condicionado. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
35	Uma boa ventilação natural pode reduzir ou eliminar o uso do ar-condicionado em climas quentes, se as janelas estiverem bem sombreadas e orientadas para as brisas predominantes. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
43	Recomenda-se utilizar materiais de construção de cores claras e telhados frios (com alta emissividade), para minimizar o ganho de calor.
38	Sugere-se aumentar o ponto de ajuste do termostato para conforto interno, visando reduzir o consumo de energia do ar-condicionado, especialmente se os ocupantes usarem roupas sazonais apropriadas.
57	Em climas muito quentes, aconselha-se orientar a maior parte do vidro para o sul, sombreado por aletas verticais, porque essencialmente não há necessidades solares passivas.
26	Em climas quentes, o uso de um material isolante e reflexivo ajudará a reduzir o ganho de calor irradiado através do telhado.
33	Projetos que privilegiem uma planta baixa longa e estreita podem ajudar a maximizar a ventilação cruzada em climas temperados, bem como em climas quentes e úmidos. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
46	Neste clima, recomenda-se utilizar equipamentos, como ar-condicionado ou bomba de calor, de alta eficiência.
11	O ganho de calor devido à iluminação artificial, ocupantes e equipamentos, reduz bastante as necessidades de aquecimento, à vista disso recomenda-se manter os edifícios próximos e bem isolados, a fim de diminuir a temperatura do ponto de equilíbrio.
25	Em climas úmidos, os telhados inclinados bem ventilados funcionam bem e podem ser estendidos para proteger entradas, varandas e áreas de trabalho externas. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
53	Varandas, pátios orientados para a brisa predominante podem funcionar como “zonas externas atenuantes” e estender os espaços de ocupação em clima quente ou úmido. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.
47	Para favorecer a ventilação cruzada natural, utilizar planos abertos, ou portas com persianas ou, ainda, dutos de ventilação, quando a privacidade for necessária. A mesma diretriz indicada na abordagem adaptativa.

Fonte: Adaptado *Climate Consultant 6.0* (2022).

Em continuidade, a Tabela 5.5 exibe ainda algumas propostas de projeto passivo complementares às diretrizes projetuais relacionadas acima.

Tabela 5.5. Sugestões de projeto passivo em consonância com a abordagem estática

Estratégia	Sugestões de projeto passivo
37, 53, 65	Durante os meses quentes de verão, as saliências bloqueiam a luz solar direta indesejada nas superfícies transparentes, reduzindo as cargas de resfriamento. Em climas quentes, sugere-se prolongar as saliências, beirais ou dispositivos de sombreamento, de modo a cobrir toda a fachada solar e espaços exteriores adjacentes. A mesma sugestão de projeto indicada na abordagem adaptativa.
25, 32, 59, 68	Uma edificação alongada, orientada no eixo leste/oeste, minimiza os ganhos de calor durante o período vespertino nos meses quentes, pois as fachadas com maiores áreas ficarão à norte e sul. Sugere-se ainda incorporar a ventilação cruzada ou de efeito chaminé; sombrear as fachadas leste, oeste e as áreas transparentes, bem como manter a cobertura em cor clara. Ademais, em climas quentes e úmidos, recomenda-se criar coberturas que sombreiem as paredes externas e os espaços ao ar livre ao mesmo tempo que os protejam da chuva. A mesma sugestão de projeto indicada na abordagem adaptativa.
17	Paredes e superfícies sombreadas podem ser de 11°C a 25°C mais frias do que superfícies não sombreadas. Sugere-se sua disposição a leste, oeste, nordeste e noroeste da edificação. Além disso, a cobertura do solo com vegetação em torno da edificação reduz a temperatura do ar e a luz solar refletida. A mesma sugestão de projeto indicada na abordagem adaptativa.

33, 35, 47	A ventilação cruzada adequada removerá o calor de um espaço e manterá a temperatura interna aproximadamente 1,5°C mais baixa do que a externa. As aberturas de entrada devem estar perpendiculares ao vento predominante, ou no máximo a mais ou menos 45°. Já as aberturas de saída devem localizar-se no lado oposto das de entrada, mantendo o caminho desobstruído para um fluxo de ar adequado. Ainda, devem ter dimensão igual ou maior do que estas. A mesma sugestão de projeto indicada na abordagem adaptativa.
43	Em climas quentes e regiões com verões quentes, um telhado de cor clara reflete a luz do sol, reduzindo a quantidade de calor transferida para o interior de um edifício. As duas propriedades da superfície que determinam a temperatura de um telhado são a refletância solar e a emitância térmica, sendo que quanto maiores forem os dois valores, mais frio será o telhado. Sugere-se utilizar materiais com refletância solar maior do que 0,7 e a emitância térmica maior do que 0,75.
57	Interceptar a luz do sol, antes que ela atinja as paredes e os envidraçados de um edifício, reduz drasticamente o ganho de calor solar. Tal estratégia pode diminuir a absorção de calor através dos vidros em até 80%. Ao projetar dispositivos de sombreamento de acordo com o caminho sazonal do sol, tanto o sombreamento de verão, quanto o ganho solar de inverno, podem ser alcançados. Dispositivos de sombreamento ajustáveis podem ser reposicionados, para permitir variações sazonais de temperatura ou o controle do usuário durante períodos excepcionalmente quentes ou frios. Saliências horizontais ou persianas para orientação solar norte e aletas verticais e <i>designs</i> de caixas de ovos para outras orientações.

Fonte: Adaptado de 2030 *Palette* (2022).

Nesse caso, as diretrizes e sugestões de projeto buscam evitar ganhos de calor solar desnecessários, em especial através da orientação da edificação, dispositivos de sombreamento e do uso de vidros eficientes. O ar-condicionado é tido como necessário, mas frisa-se a importância de minimizar os gastos energéticos através de soluções passivas, ajuste do *setpoint* do condicionamento artificial e equipamentos de alta eficiência.

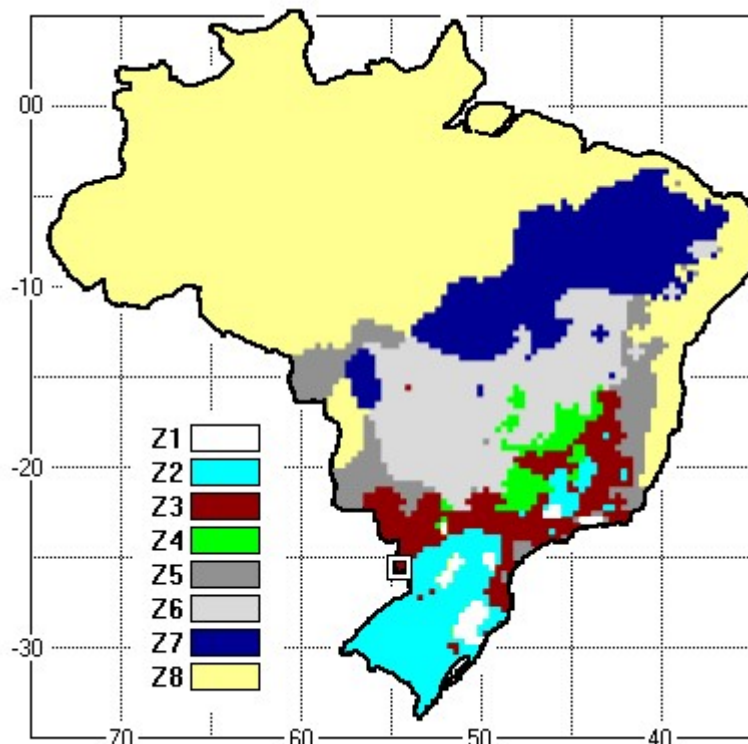
A fim de ampliar a discussão e complementando a análise bioclimática, buscou-se por recomendações contidas em norma nacional, a NBR 15220-3, que estabeleceu um zoneamento bioclimático para o Brasil, conforme semelhança climática, bem como diretrizes construtivas e estratégias associadas à divisão, com o objetivo de otimizar o desempenho térmico da edificação (ABNT, 2005). Em tempo, salienta-se que, apesar de tratar de habitações unifamiliares de interesse social, tais recomendações são aplicáveis a outras tipologias.

Ainda, ressalta-se que esse zoneamento foi recentemente abordado por Walsh, Cóstola e Labaki (2023) em um pormenorizado estudo que buscou oferecer subsídios para a atualização da respectiva norma, recorrendo, para isso, às simulações computacionais. A pesquisa compreendeu, principalmente, proposta de divisão do país em quatro grandes intervalos e suas subdivisões, que resultaram em dez novas zonas climáticas, contemplado, além disso, a diferenciação do nordeste e da região amazônica, entre outros aspectos.

Não obstante, embora haja propostas de revisão da norma, sobretudo por conta de discrepâncias entre as setorizações outrora definidas e as condições climáticas apresentadas em uma mesma zona (WALSH; CÓSTOLA; LABAKI, 2023), o documento está vigente até sua retificação. Assim, tendo a norma como referência (ABNT, 2005), Foz do Iguaçu é classificada como

pertencente à zona bioclimática 3 – Z3, conforme apresentado na Figura 5.5.

Figura 5.5. Zoneamento Bioclimático Brasileiro com destaque para Foz do Iguaçu



Fonte: ZBBR 1.1 (RORIZ, 2004).

Para essa área, recomenda-se o uso de aberturas médias para ventilação, tão somente de caráter higiênico; sombreamento sazonal das áreas envidraçadas, permitindo o sol durante o inverno; paredes leves e refletoras; coberturas leves e isoladas; ventilação cruzada durante o verão; aquecimento solar; e vedações internas pesadas para os períodos de baixa temperatura. Ademais, a norma traz detalhes sobre as diretrizes construtivas; com valores máximos admissíveis para transmitância térmica (U), atraso térmico (φ), e fator solar (FS_o); e sugestões de estratégias bioclimáticas, que podem ser verificadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6. Diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas segundo NBR 15220

Estratégia	Diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas		
Aberturas médias	$15\% < A < 25\%$ (sendo "A" a área do piso)		
Paredes leves e refletoras	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
Coberturas leves e isoladas	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
B	A forma, a orientação da implantação do edifício, bem como a melhor orientação de		

	superfícies transparentes, podem favorecer a otimização do aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor dos componentes igualmente influencia os ganhos de calor solar.
C	Paredes internas pesadas podem contribuir para manter o interior da edificação aquecido durante o inverno.
F	A desumidificação dos ambientes melhora as sensações térmicas. Sugere-se a renovação do ar interno, através da ventilação dos espaços.
I e J	Em ambientes com janelas em apenas uma fachada, sugere-se manter a porta aberta, para permitir a ventilação cruzada. Os ventos predominantes da região e entorno são igualmente importantes, dado que o local pode alterar significativamente a direção da corrente de ar.

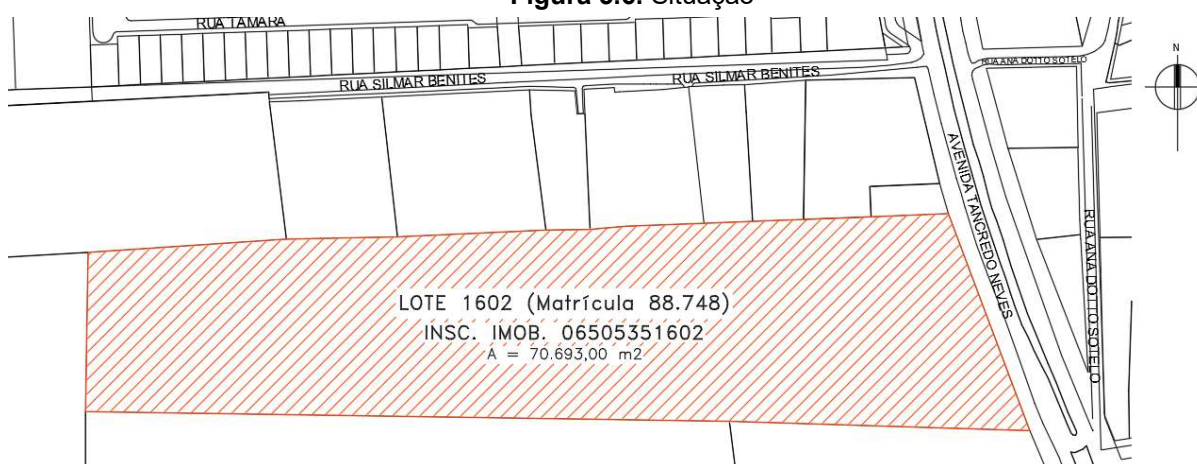
Fonte: Adaptado NBR 15220-3 (2005).

Como observado, o clima da cidade exige medidas diversificadas e essa heterogeneidade requer soluções conceptivas e materiais construtivos que reúnam respostas para esses vários contextos. As considerações explanadas com relação a habitabilidade das edificações e as condições climáticas que influenciam os requisitos de bem-estar térmico remetem ao valor de projetos atentos à orientação solar, ventos predominantes, sombreamento, características técnico-construtivas, entre tantos outros elementos, para que os benefícios da arquitetura bioclimática sejam de fato alcançados.

5.1.1.2. Área de implantação do empreendimento

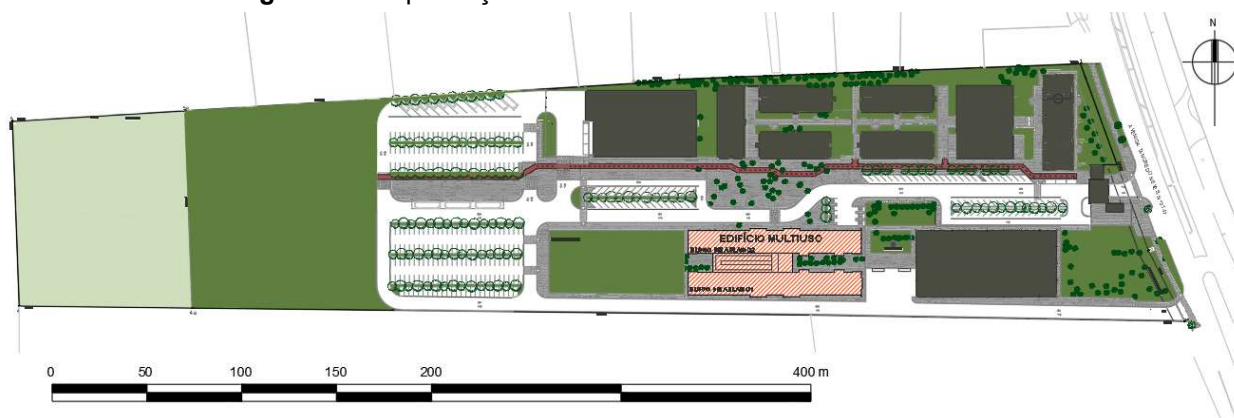
O Edifício Multiuso, atualmente em processo de construção, está localizado em terreno de propriedade da UNILA, sede do Campus Integração, situado na Avenida Tancredo Neves, nº 3147, nas proximidades do bairro Porto Belo. A avenida que o serve é, na verdade, uma rodovia federal com 6 km de extensão e está situada no perímetro urbano da cidade, sendo considerada importante via de acesso ao centro, à Itaipu Binacional e as demais sedes da universidade (PTI, Jardim Universitário, Almada e Vila A), atuando como corredor turístico e universitário, utilizada por alunos, trabalhadores e moradores dos bairros próximos e condomínios às margens da rodovia.

A edificação fica em um lote com área de 70.693,00 m² e contém uma área total de 4.884,01m². De acordo com a legislação e a última atualização do Plano Diretor de Foz do Iguaçu, o empreendimento está localizado em uma zona comercial e de serviços, denominada Zona Mista 4 (UNILA, 2020). Fazem divisa com o imóvel residências, hotel, garagem de transporte urbano do município e uma pedreira. A Figura 5.6 exhibe a planta de situação do terreno. A edificação está dividida em dois blocos distintos, identificados como Bloco de Aulas 01 e Bloco de Aulas 02, ambos com dois pavimentos, unidos por uma passarela entre os andares superiores e uma rampa de acesso central.

Figura 5.6. Situação

Fonte: SECIC (2019).

Na sequência, a Figura 5.7 e a Figura 5.8 ilustram respectivamente uma planta de implantação do terreno, com destaque para o Edifício Multiuso e uma imagem aérea do local, onde já é possível visualizar a obra do Bloco de Aulas 01.

Figura 5.7. Implantação Geral do terreno da Av. Tancredo Neves

Fonte: SECIC (2019).

Figura 5.8. Terreno da Av. Tancredo Neves - Campus Integração

Fonte: Adaptado de Google Maps (2022).

Vale apontar que nessa mesma área encontra-se em funcionamento o Alojamento Estudantil da universidade e, além disso, existe a previsão de instalação de outras edificações acadêmicas e administrativas.

5.1.2. Descrição do Empreendimento

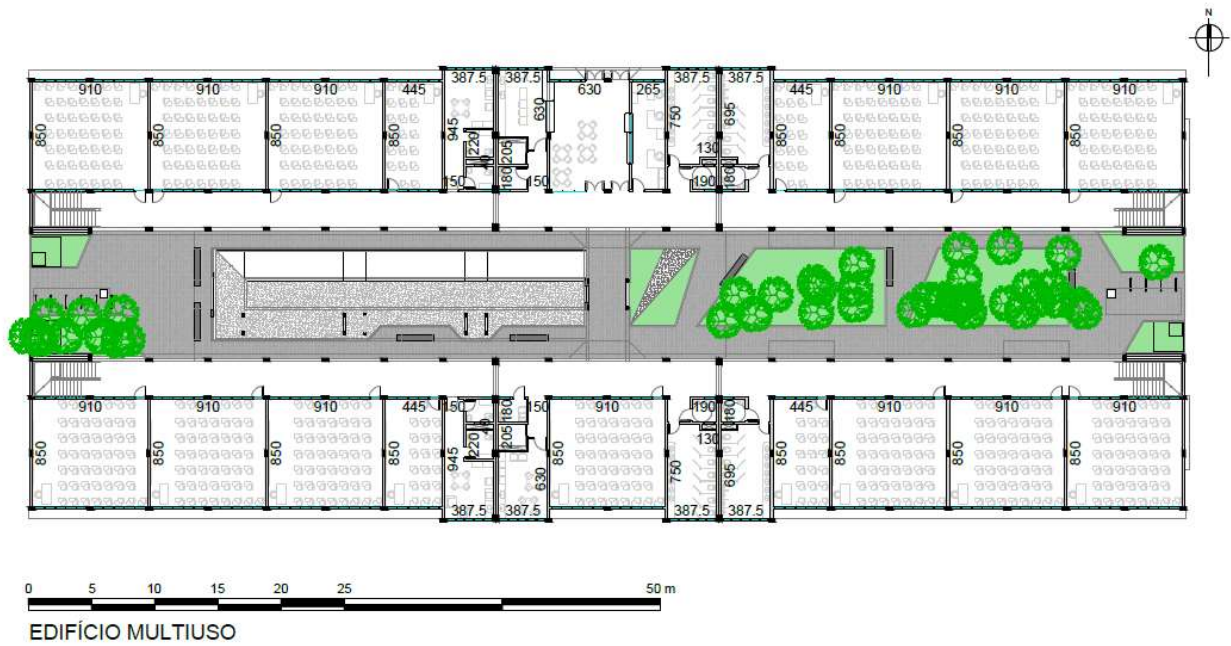
Com uma área total de 2.444,13m², o projeto do Bloco de Aulas 01 contempla, em seu pavimento térreo, cuja área é de 1.117,22m², sete salas de aula para cinquenta e uma pessoas e duas salas para vinte e cinco pessoas, além de instalações básicas, como sanitários, copa e depósito de materiais de limpeza e sala para terceirizados. O seu pavimento superior, com área de 1.127,87m², abrange três salas de aula para cinquenta e uma pessoas e uma sala para vinte e cinco pessoas, bem como espaços voltados às atividades administrativas, como sala de apoio aos cursos, sala de tecnologia da informação, ambulatório, sala de apoio aos docentes, onze salas para três professores, três salas para atendimento individualizado, instalações básicas sanitárias e de serviços.

O projeto do Bloco de Aulas 02 abarca uma área total de 2.439,88m² e compreende, em seu pavimento térreo, cuja área é de 1.111,04m², seis salas de aula para cinquenta e uma pessoas e duas salas para vinte e cinco pessoas, além de instalações básicas, como sanitários, copa, cantina, depósito, secretaria e hall de entrada. O seu pavimento superior, com área de 1.127,93m², engloba quatro salas de aula para cinquenta e uma pessoas e uma sala para vinte e cinco pessoas, assim como mais alguns espaços voltados às atividades administrativas, como sala de apoio aos cursos, sala administrativa, onze salas para três professores, três salas para atendimento individualizado, instalações básicas sanitárias e de serviços.

O acesso a esse edifício é livre pelo andar térreo, sendo o pavimento superior alcançado por meio de quatro escadas, uma em cada extremidade do Bloco de Aulas 01 e do Bloco de Aulas 02, ademais da rampa central, contemplada na primeira etapa de construção.

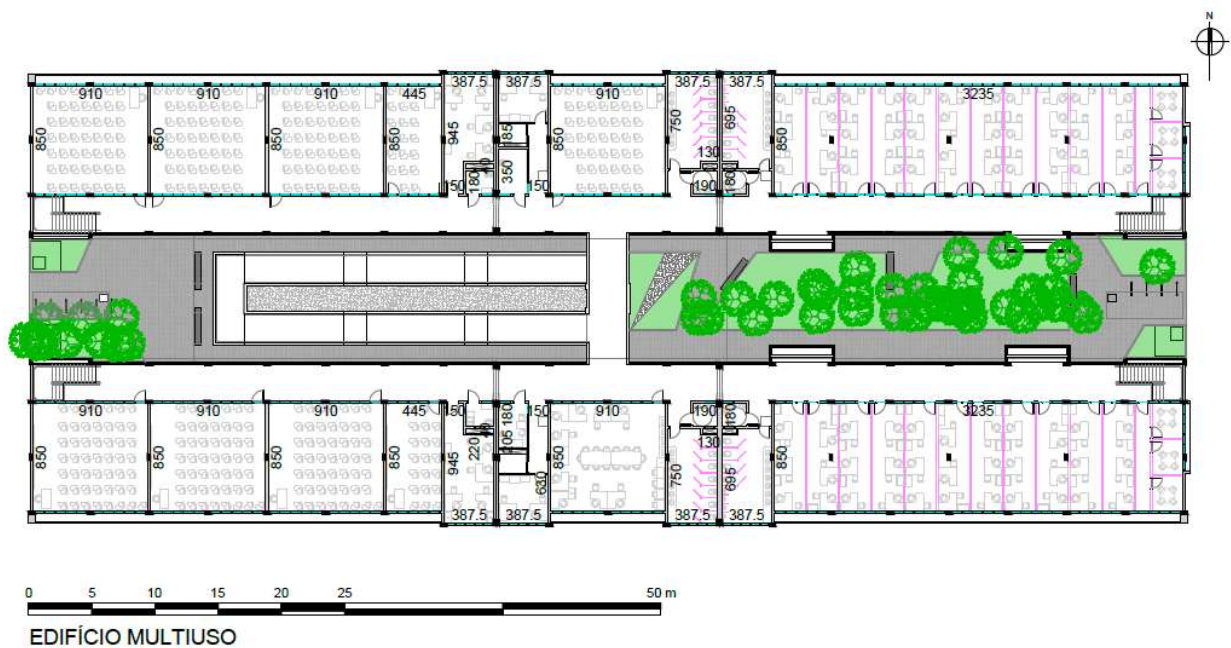
A população estimada para o Edifício Multiuso é de 1400 pessoas por turno, entre alunos, servidores técnicos, docentes e funcionários terceirizados. As plantas do pavimento térreo e superior da edificação podem ser verificadas nas Figuras 5.9 e 5.10, sendo que a porção inferior de cada imagem refere-se ao Bloco de Aulas 01 e a superior ao Bloco de Aulas 02.

Figura 5.9. Planta Baixa do Pavimento Térreo - Edifício Multiuso



Fonte: SECIC (2019).

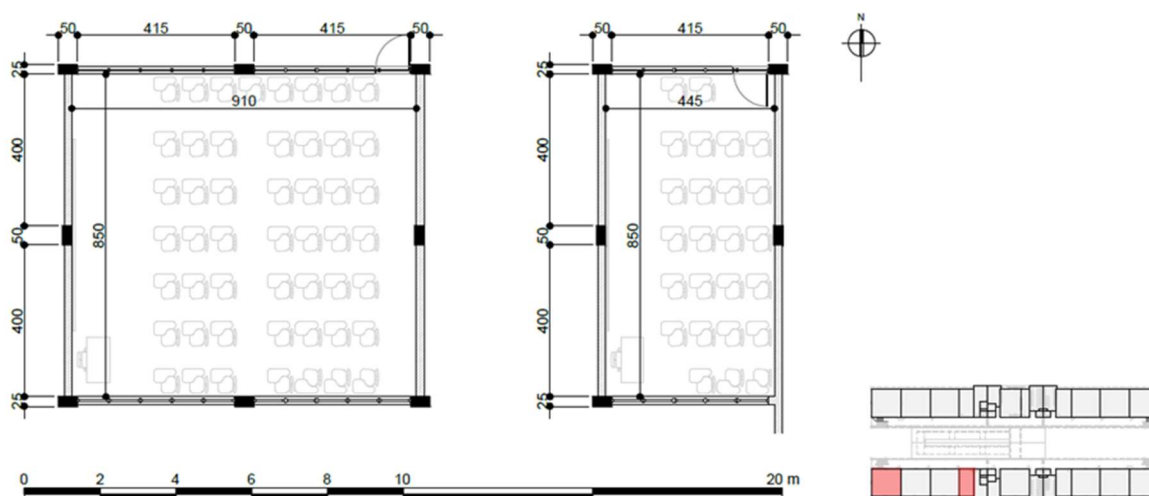
Figura 5.10. Planta Baixa do Pavimento Superior - Edifício Multiuso



Fonte: SECIC (2019).

Ao observar a planta baixa é possível notar uma modulação que se estende por todo o edifício, criando, com isso, um padrão de sala de aula com maior e menor capacidade, conforme Figura 5.11.

Figura 5.11. Padrões de salas de aula



Fonte: SECIC (2019).

O sistema construtivo empregado no Edifício Multiuso é do tipo convencional, com estruturas moldadas *in loco*, laje nervurada e fechamento externo em alvenaria de tijolos cerâmicos de 9 x 14 x 19 cm de 6 furos rebocados em ambos os lados, com acabamento externo em textura tipo grãos de areia e pintura acrílica semibrilho. As paredes internas das salas de aula são igualmente em alvenaria rebocada com pintura acrílica semibrilho. As salas de professores e de atendimento individualizado são separadas por divisórias de gesso acartonado, com estrutura guia em perfil de aço galvanizado, isolamento acústico em miolo em lã de vidro de 70 mm, totalizando 95 mm de espessura, fitadas, emassadas e com acabamento em tinta acrílica semibrilho. A seguir, a Tabela 5.7 traz as cores especificadas em projeto e respectivos locais de aplicação.

Tabela 5.7. Acabamentos e cor das paredes externas e internas

Local	Acabamento	Cor
Salas face interna	Pintura acrílica semibrilho	Trufa Cupuaçu (ref.:A143) da Suvnil ou similar equivalente
Corredores de circulação	Textura tipo grãos de areia e pintura acrílica semibrilho	Nó de Marinheiro (ref.:B144) da Suvnil ou similar equivalente
Paredes externas	Textura tipo grãos de areia e pintura acrílica semibrilho	Farol do Morro (ref.:E144) e Sacola de Lona (ref.:C144) da Suvnil ou similar equivalente
Passarela e rampa	Textura tipo grãos de areia e pintura acrílica semibrilho	Frevo (ref.:R135) da Suvnil ou similar equivalente

Fonte: Adaptado de SECIC (2019).

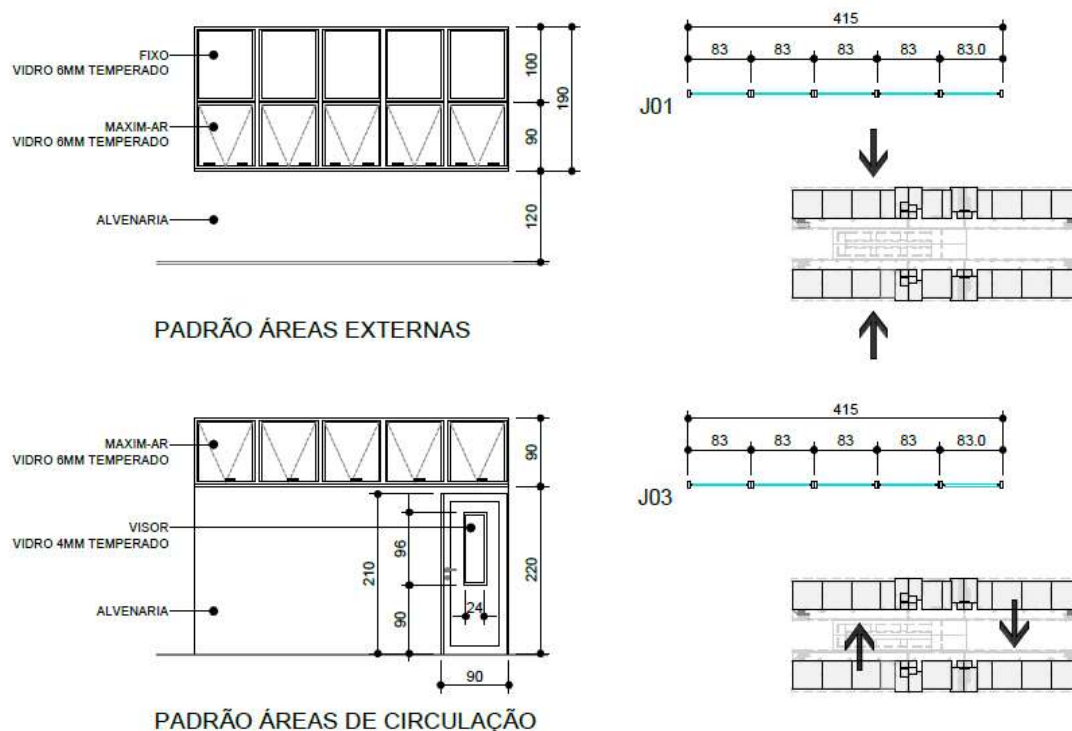
No interior da edificação, a área das salas de aula, administrativas e corredores, terá pisos, soleiras e rodapés em granitina com espessura mínima de 8 mm, na cor cinza claro (70% branco e 30% preto).

Com relação ao acabamento do teto, nas áreas acadêmicas e administrativas haverá forro modular acústico de fibra mineral removível, placas de 625 mm por 1250 mm e 15 mm de espessura, modelo Brillianto A, da marca Owa. As áreas de serviço e banheiros do pavimento térreo contarão com forro modular em placas de PVC, com dimensões de 625 mm por 1250 mm e 10 mm de espessura, na coloração branca. Já nas áreas de circulação de ambos os andares, serviços e banheiros do pavimento superior, a laje nervurada receberá apenas acabamento em verniz acrílico fosco.

Além disso, o edifício contará com uma cobertura protegida por platibanda em alvenaria, formada por telha metálica termoacústica tipo sanduíche, modelo trapezoidal em aço galvanizado, com isolante tipo EPS de 30 mm de espessura entre as chapas, apoiada em treliças metálicas de aço executada em perfis do tipo U.

Quanto às aberturas, especificamente com relação às salas de aula, as janelas serão em perfil de alumínio 32 mm e vidro temperado incolor 6 mm e a porta de entrada em perfil de alumínio 32 mm e visor de 90 cm por 24cm em vidro temperado incolor 4 mm, de acordo com o detalhe apresentado na Figura 5.12. Conforme projeto, as salas de aula terão janelas em ambas as laterais, uma voltada para a área de circulação e outra para a área externa, facilitando a ventilação cruzada do ambiente.

Figura 5.12. Detalhe das janelas e porta das salas de aula



Fonte: SECIC (2019).

A Tabela 5.8 exibe detalhes das características de todas as esquadrias do Edifício Multiuso, incluindo o ambiente a qual se destina, localização na edificação, modelo, dimensão e materiais componentes.

Tabela 5.8. Relação de portas e janelas do Edifício Multiuso

Ambientes	Local	Tipo	Modelo	Dimensão (cm)	Material
Sl. de Aula, Ap. Docente, Sl. Docente	Área Externa	Janela	Vidro fixo + Maxim-ar	415x190 total 415x100 fixo 415x90 móvel	Alumínio 32mm Vidro temperado 6mm
Terceirizados, Copas, Cantina, I.S. Masc., I.S. Fem., Apoios Curso, TI, ADM	Área Externa	Janela	Vidro fixo + Maxim-ar	367,5x100 total 367,5x40 fixo 367,5x60 móvel	Alumínio 32mm Vidro temperado 6mm
Hall, Secretaria	Área Externa	Janela	Vidro fixo + Maxim-ar	249x190 total 249x100 fixo 249x90 móvel	Alumínio 32mm Vidro temperado 6mm
Sl. Docente	Área Externa	Janela	Vidro fixo + Maxim-ar	400x190 total 400x100 fixo 400x90 móvel	Alumínio 32mm Vidro temperado 6mm
Sl. Docente	Área Externa	Janela	Vidro fixo + Maxim-ar	80x190 total 80x100 fixo 80x90 móvel	Alumínio 32mm Vidro temperado 6mm
Sl. de Aula, Ap. Docente, Sl. Docente	Circulação	Janela	Maxim-ar	415x90 total	Alumínio 32mm Vidro temperado 6mm
I.S. PCD, DML, Vest. Masc., Ambulatório, Depósitos	Circulação	Janela	Maxim-ar	90x90 total	Alumínio 32mm Vidro temperado 6mm
Sl. de Aula, Ap. Curso, TI, Secretaria, ADM, Ap. Docente, Sl. Docente	Circulação	Porta	Giro com visor	90x210 total	Alumínio 32mm Vidro temperado 4mm
Hall	Área Externa Circulação	Porta	Giro com vidro	150x310 total	Alumínio 32mm Vidro temperado 4mm
Hall	Circulação	Porta	Giro com vidro	415x310 total	Alumínio 32mm Vidro temperado 4mm
Terceirizados, Copas, I.S. PCD, DML, Sl. Técnica, Ambulatório, Cantina, Depósitos	Circulação	Porta	Giro	90x210 total	Alumínio 32mm
I.S., Vest. Masc., Vest. Fem.	Circulação	Porta	Giro	80x210 total	Alumínio 32mm

A respeito dos elementos transparentes, destaca-se que as superfícies da edificação voltadas para o norte e sul possuem o maior número de aberturas, representando, respectivamente, 28,25% e 28,73% da área bruta de parede nessas orientações. É importante evidenciar que beirais com 75 cm de profundidade e gradis coloridos localizados abaixo da platibanda e marquise possivelmente auxiliam no sombreamento das janelas localizadas nas fachadas norte e sul. Ademais, em ambos os blocos corredores internos com 2,85m de profundidade, ao que tudo indica, protegem as janelas e portas de entrada dos ambientes. Já a face oeste não possui esquadrias, evitando assim o aquecimento dos ambientes no período vespertino, considerado fator crítico nessa região, principalmente durante o verão. Na face leste, nas salas destinadas ao atendimento individualizado, verificam-se aberturas assistidas, mesmo que de forma limitada, por platibanda e marquise com 40cm de profundidade. A Tabela 5.9 apresenta a proporção entre superfície opaca e transparente, trazendo dados relativos ao envelope da edificação.

Tabela 5.9. Relação entre superfície opaca e transparente da envoltória do Edifício Multiuso

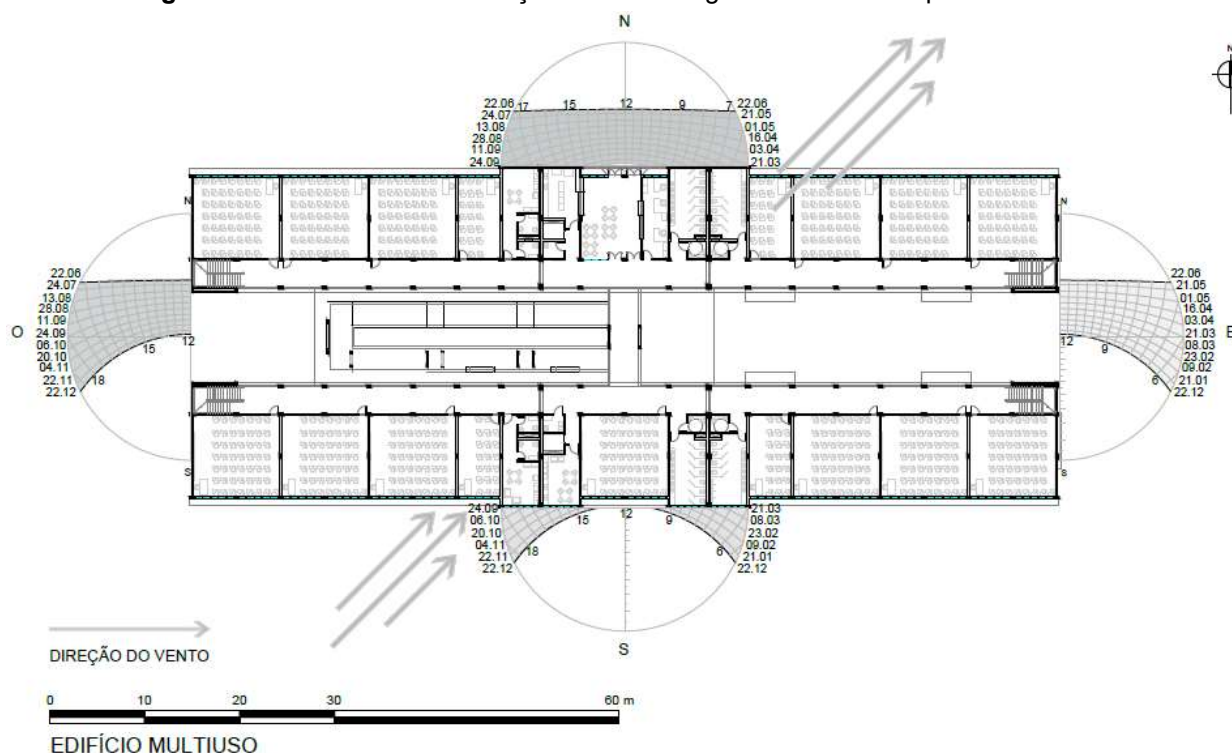
Características da envoltória	Norte	Sul	Leste	Oeste	Total
Área de parede (m ²)	1.454,01	1.454,01	399,69	399,69	3.707,41
Área opaca da fachada (m ²)	1.043,30	1.036,24	380,64	399,69	2.859,89
Percentual de área opaca (%)	71,75	71,27	95,23	100	77,14
Área transparente da fachada (m ²)	410,71	417,77	19,05	0,00	847,52
Percentual de área transparente (%)	28,25	28,73	4,77	0,00	22,86

No que se refere a implantação e configuração arquitetônica, por intermédio da carta solar, considerando a latitude de Foz do Iguaçu (Figura 5.13), observa-se que a incidência de radiação é mais intensa ao norte da edificação, notadamente no Bloco de Aulas 02, durante os períodos de clima frio e menos acentuada durante as épocas quentes do ano. Contrariamente, a radiação solar é menos acentuada ao sul, especificamente no Bloco de Aulas 01, durante os períodos de clima frio e mais intensa ao longo das estações quentes, resultando em ambientes mais frios e úmidos durante o inverno. Para as fachadas leste e oeste, o tempo de exposição à radiação solar ocorre de maneira equilibrada principalmente durante o verão, porém, pela manhã a temperatura do ar é mais amena e a edificação ainda não foi aquecida pela incidência do sol, diferentemente do que ocorre durante o período vespertino. Nesses locais, as paredes possuem área de fachada relativamente menor que o conjunto e apresentam um número reduzido de aberturas ou, ainda, são superfícies cegas. Sinteticamente, ao analisarmos a área de projeção da carta solar para essa latitude, nota-se que a porcentagem de horas de radiação solar é de 75,8% ao norte e 24,2% ao sul, sendo de 50% ao leste e oeste.

Ademais, através da disposição em planta do vento predominante aproximado no terreno, identificado por meio de medições *in loco* como sudoeste, é possível perceber que o cenário

proporcionaria boa ventilação cruzada nas salas de aula, dado que as aberturas estão posicionadas majoritariamente nas fachadas sul e norte. É relevante frisar que a nível municipal, os ventos predominantes são classificados como norte e nordeste (SACHT et al., 2020) e que, localmente, os dados obtidos não apresentaram o mesmo resultado. Tal fato pode estar relacionado às barreiras que podem influenciar o fluxo de ar do entorno ou, até mesmo, ao intervalo com que as medições foram feitas.

Figura 5.13. Incidência de radiação solar ao longo do ano e vento predominante no terreno



No tocante à vegetação de grande porte, está previsto na área central da edificação, entre os dois lances da rampa de acesso, o plantio de cinco palmeiras *Wodyetia Bifurcata*, bem como a preservação das espécies existentes nas imediações do prédio, descritas na Tabela 5.10. A presença de árvores nos arredores, conforme abordado no item 3.3.2 e, especificamente para Foz do Iguaçu, no item 5.1.1.1, pode abrandar a sensação de desconforto térmico, diminuindo a temperatura interna do ambiente ao proporcionar sombra, minimizando, ainda, o ganho de calor e reduzindo a luz solar refletida. Para maior precisão, seriam necessárias análises detalhadas sobre a vegetação e o seu impacto, até mesmo nas condições de iluminação natural, por exemplo, as quais não foram o foco principal do presente estudo.

Tabela 5.10. Levantamento de espécies arbóreas na área de implantação do Edifício Multiuso

Quantidade	Espécie	Classificação
4	Cajueiro	Exótica
1	Cedro	Nativa
1	Cinamomo	Exótica
4	Embaúba	Nativa
2	Farinha Seca	Nativa
1	Fruta-do-conde	Exótica
2	Gurucaia	Nativa
13	Ipê Amarelo	Nativa
4	Ipê Rosa	Nativa
1	Jamelão	Exótica
2	Jaqueira	Exótica
1	Jaracatiá	Nativa
1	Leiteiro	Nativa
1	Mexeriqueira	Exótica
1	Ornamental	Exótica
5	Pinus	Exótica
13	Sibipiruna	Exótica
1	Uvaia	Nativa

Fonte: Adaptado de SECIC (2011; 2018).

Um resumo dos principais materiais empregados na obra é apresentado na Tabela 5.11.

Tabela 5.11. Caracterização dos materiais

Tipologia	Material	Acabamento	Local
Parede	Tijolos cerâmicos (9 x 14 x 19 cm)	Chapisco + reboco + textura grão de areia + tinta semibrilho	Áreas externas
Parede	Tijolos cerâmicos (9 x 14 x 19 cm)	Chapisco + reboco + massa corrida acrílica + tinta semibrilho	Áreas internas
Parede	Divisórias de gesso acartonado com miolo em lâ de vidro 7,0 cm (9,5 cm)	Fitada + massa corrida PVA + tinta semibrilho	Entre salas de professores e de atendimento individualizado
Piso	Granitina (8 mm)	Polida + cera impermeabilizante	Áreas internas
Piso	Granito (2 cm)	Flameado	Escadas
Teto	Laje nervurada (35 cm)	Verniz acrílico fosco	Áreas de circulação, serviços e banheiros do andar superior
Teto	Laje nervurada (35 cm)	Forro modular acústico de fibra mineral removível (15 mm de espessura)	Salas de aula, professores, atendimento individualizado e espaços administrativos
Teto	Laje nervurada (35 cm)	Forro modular em placas de PVC (10 mm de espessura)	Salas de serviço e banheiros do pavimento térreo
Teto	Telha trapezoidal em aço galvanizado com isolante tipo EPS (30mm)	Nenhum	Cobertura

Esquadria	Janela em alumínio com vidro temperado (32 mm / 6 mm)	Pintura eletrostática	Salas de aula, professores, administrativas e de serviços
Esquadria	Janela em alumínio com vidro temperado (32 mm / 4 mm)	Pintura eletrostática	Salas de aula do térreo com parede fazendo divisa com a escada
Esquadria	Porta em alumínio com visor em vidro temperado (32 mm / 4 mm)	Pintura eletrostática	Salas de aula, professores e administrativas
Esquadria	Porta em madeira prensada com miolo de lã de vidro	“Eucaplac UV”	Salas de atendimento individualizado

Em continuidade, as Figuras 5.14 a 5.18 ilustram a fachada externa do Bloco de Aulas 01, a fachada externa do Bloco de Aulas 02, a elevação leste do Edifício Multiuso, uma perspectiva do pátio entre os Blocos de Aula 01 e 02 e um corte do empreendimento indicando as salas de aula no pavimento inferior e salas de atendimento individualizado no pavimento superior.

Figura 5.14. Elevação Sul – Vista externa do Bloco de Aulas 01



Fonte: SECIC (2019).

Figura 5.15. Elevação Norte – Vista externa do Bloco de Aulas 02



Fonte: SECIC (2019).

Figura 5.16. Elevação Leste



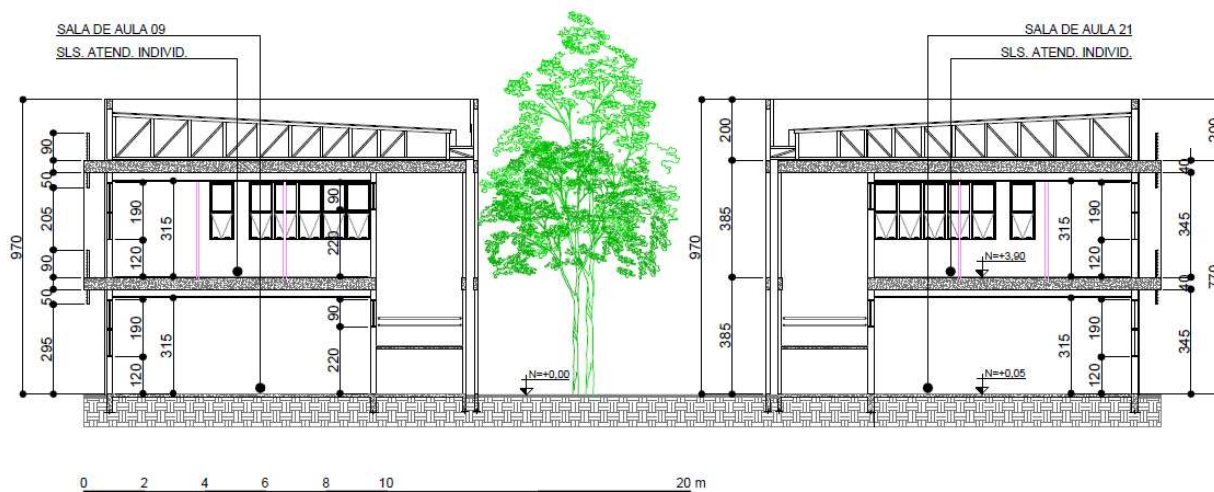
Fonte: SECIC (2019).

Figura 5.17. Perspectiva do pátio entre blocos



Fonte: SECIC (2019).

Figura 5.18. Corte esquemático do Edifício Multiuso



Fonte: SECIC (2019).

Enfatiza-se que, até o momento, apenas o Bloco de Aulas 01 encontra-se concluído, já o Bloco de Aulas 02, por sua vez, apresenta-se em estágio inicial de construção. Ademais, existe a expectativa de reprodução do empreendimento ao longo do terreno da Avenida Tancredo Neves, posto que, atualmente, tramita na Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu um pedido de aprovação do projeto arquitetônico do Bloco de Aulas 03, proposta que mantém a essência do Edifício Multiuso, mas que inclui alterações, devido ao declive do terreno e outras variações menos significativas, visando facilitar a execução do novo empreendimento.

Em seguida são apresentadas imagens da edificação na sua fase final de execução. As Figuras 5.19 e 5.20 exibem a fachada do Bloco de Aulas 01 a partir do pátio interno, onde é possível visualizar a circulação e acesso às salas de aula e demais ambientes, bem como a rampa central. Posteriormente, as Figuras 5.21 e 5.22 apresentam as laterais do edifício, sendo observado primeiramente a face leste, com enfoque para as aberturas das salas de atendimento individualizado, e a face oeste, com parede cega. Além disso, as Figuras 5.23 e 5.24 exibem registro parcial da fachada externa do Bloco de Aulas 01 e do interior de uma sala de aula, com destaque para as esquadrias.

Figura 5.19. Vista sudeste da fachada frontal



Fonte: SECIC (2022).

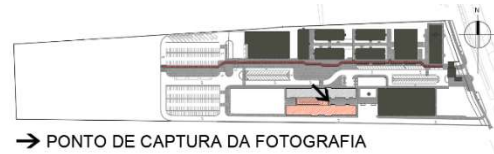


Figura 5.20. Vista sudoeste da fachada frontal



Fonte: SECIC (2022).



Figura 5.21. Vista sudoeste da fachada lateral



Fonte: SECIC (2022).

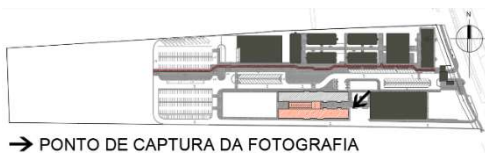


Figura 5.22. Vista sudeste da fachada lateral



Fonte: SECIC (2022).

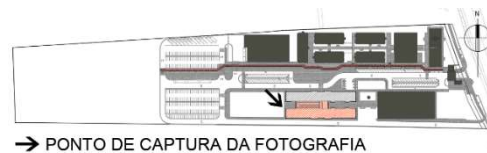


Figura 5.23. Vista externa parcial do Bloco 01

Fonte: SECIC (2022).

Figura 5.24. Vista interna da sala de aula

Fonte: SECIC (2022).

O Edifício Multiuso é o primeiro edifício próprio com finalidade acadêmica da UNILA. O Bloco de Aulas 01 passa a funcionar no início do semestre letivo de 2023, na medida em que a obra do Bloco de Aulas 02 segue em andamento.

5.2. DIAGNÓSTICO TERMO ENERGÉTICO DO MODELO DE REFERÊNCIA

5.2.1. Propriedades Térmicas da Envoltória

A partir dos dados expostos no item 4.4 da Metodologia, em especial àqueles descritos na Tabela 4.3, e com base nos procedimentos recomendados pela NBR 15220 (ABNT, 2022), foram calculadas a transmitância térmica (U), a resistência térmica (R_T) e a capacidade térmica total (C_T) da parede externa e cobertura do Edifício Multiuso. A Tabela 5.12 apresenta esses valores e outros relativos à absorvância (α), seguindo o recomendado por Dornelles (2008), correlacionando-os com os pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C (INMETRO, 2014).

Tabela 5.12. Propriedades térmicas de parede externa e cobertura

Elementos Construtivos		U ($W/m^2\text{°C}$)	α	R_T ($m^2.K/W$)	C_T ($kJ/m^2.K$)
Paredes Externas	Requisitos do RTQ-C	$\leq 3,70 W/m^2\text{°C}$	$\alpha < 0,50$	N/A	N/A
	Condição real	Atende	Não Atende	-	-
Cobertura		$\leq 1,00 W/m^2\text{°C}$ ambiente condicionado	$\alpha < 0,50$	N/A	N/A
		$\leq 2,00 W/m^2\text{°C}$ ambiente não condicionado			
	Requisitos do RTQ-C	Atende	Atende	-	-
	Condição real	Atende	Atende	-	-

Com base nos requisitos prescritos no RTQ-C para Zona Bioclimática 3 (INMETRO, 2014), constatou-se que a edificação não atendeu ao critério de absorvância para a parede externa. Com efeito, a cor especificada em projeto para a fachada dos blocos varia entre tons médios de cinza, o que determinou o valor de 0,611, correspondente à tinta cinza BR, conforme Dornelles (2008). Os demais critérios foram atendidos adequadamente.

Vale esclarecer que em centros urbanos, a tendência é que, com o tempo e envelhecimento, os índices de alta absorvância se elevem com o acúmulo de pó e outros detritos urbanos. O efeito dessa evolução é o aumento das temperaturas superficiais externas (DORNELLES, 2008) e, por conseguinte, a redução do desempenho termo energético da edificação. Entretanto, sob outra ótica, a opção por cores claras em ambientes de grande circulação e uso intenso, como as edificações universitárias, requerem um protocolo de manutenção que considere prazos mais enxutos, demandando, por vezes, um incremento de orçamento, em especial de mão de obra, que deve ser levado em consideração. Por outro lado, recorda-se que cores claras possibilitam retoques na pintura, subterfúgio inacessível no caso de cores vivas ou escuras, que requerem a recomposição de toda a superfície.

5.2.2. Resultado das Simulações Computacionais

Neste item serão apresentados os resultados obtidos pelo Edifício Multiuso em condições de projeto, condicionado artificialmente e ventilado naturalmente, permitindo analisar o seu consumo energético e o nível de conforto térmico em sala de aula durante as horas ocupadas. Posteriormente esses dados serão utilizados na comparação entre o modelo referência e os modelos com a aplicação de estratégias projetuais.

5.2.2.1. Consumo energético com refrigeração e aquecimento

A primeira simulação permitiu avaliar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente, equivalendo às salas de aula 01 a 26. Os dados obtidos revelaram o desempenho energético dos ambientes, retratado pela demanda por aquecimento e refrigeração apresentada na Tabela 5.13. Os valores destacados referem-se aos maiores e menores consumos observados por m². Em linhas gerais, a energia elétrica, aqui dada em Quilowatt-hora (kWh), é a quantidade de potência elétrica (kW) utilizada durante um certo tempo (h).

Tabela 5.13. Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente (m ²)	Consumo de energia para aquecer o ambiente (kWh)	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente (kWh)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo total de energia por m ² (kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	13,18	0,16	9272,44	110,83	110,99
Sl. Aula 02	82,77	8,30	0,10	9457,19	114,26	114,36
Sl. Aula 03	82,77	8,22	0,10	9429,84	113,93	114,03
Sl. Aula 04	41,39	4,29	0,10	4493,72	108,57	108,67
Sl. Aula 05	82,77	15,26	0,18	8682,96	104,90	105,08
Sl. Aula 06	41,38	6,44	0,16	4313,39	104,21	104,37
Sl. Aula 07	82,77	10,58	0,13	9182,49	110,94	111,07
Sl. Aula 08	82,77	10,62	0,13	9194,38	111,08	111,21
Sl. Aula 09	83,66	15,59	0,19	9103,07	108,81	109,00
Sl. Aula 10	83,66	22,01	0,26	10247,74	122,49	122,75
Sl. Aula 11	82,77	13,47	0,16	10596,46	128,02	128,18
Sl. Aula 12	82,77	13,21	0,16	10566,79	127,66	127,82
Sl. Aula 13	41,39	7,66	0,19	4941,63	119,39	119,58
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	11,84	0,14	9523,52	113,84	113,98
Sl. Aula 15	82,77	7,31	0,09	9727,90	117,53	117,62
Sl. Aula 16	82,77	7,19	0,09	9710,91	117,32	117,41
Sl. Aula 17	41,39	3,59	0,09	4670,86	112,85	112,94
Sl. Aula 18	41,39	5,69	0,14	4450,89	107,54	107,68
Sl. Aula 19	82,77	9,70	0,12	9397,18	113,53	113,65
Sl. Aula 20	82,77	9,75	0,12	9409,43	113,68	113,80
Sl. Aula 21	83,66	14,31	0,17	9310,23	111,29	111,46
Sl. Aula 22	83,66	18,17	0,22	10662,31	127,45	127,67
Sl. Aula 23	82,77	10,90	0,13	11061,58	133,64	133,77
Sl. Aula 24	82,77	10,52	0,13	11046,87	133,46	133,59
Sl. Aula 25	41,39	5,58	0,13	5265,36	127,21	127,34
Sl. Aula 26	82,77	23,09	0,28	9896,06	119,56	119,84

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

Observa-se que o menor consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu na sala de aula 15, 16 e 17, com 0,09 kWh/m², e maior na sala de aula 26, com 0,28 kWh/m². Já o consumo mais elevado para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 23, com 133,64 kWh/m², que conseqüentemente também apresentou o maior consumo total por m², ou seja, maior consumo para aquecimento e refrigeração por m². Já o menor consumo com refrigeração por m² foi constatado na sala de aula 06, com 104,21 kWh/m². O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 286,47 kWh e para arrefecimento de 223.615,20 kWh. O consumo energético total com condicionamento mecânico foi de 223.901,67 kWh, logo, considerando a área total condicionada de 1909,08 m², tem-se uma carga térmica total de 117,28 kWh/m². Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com o consumo em kWh/m² para aquecimento,

refrigeração e total de cada sala de aula é exibida nas Figuras 5.25 e 5.26, respectivamente. A representação gráfica mostra ainda os ambientes diferenciados por um degradê de cores correlacionando-as com os maiores e menores consumos para condicionamento mecânico, sendo indicados, logo acima da escala, o número das salas e sua respectiva tonalidade, permitindo uma rápida contraposição entre os resultados obtidos por todas elas.

Figura 5.25. Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

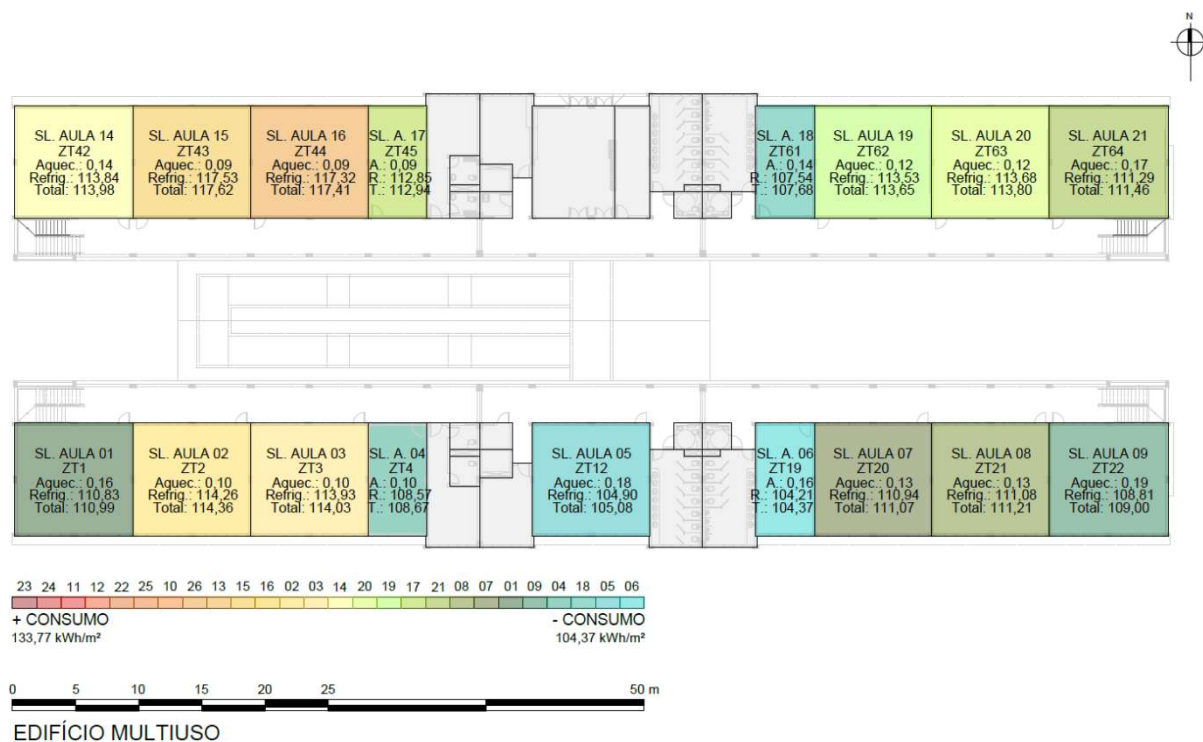
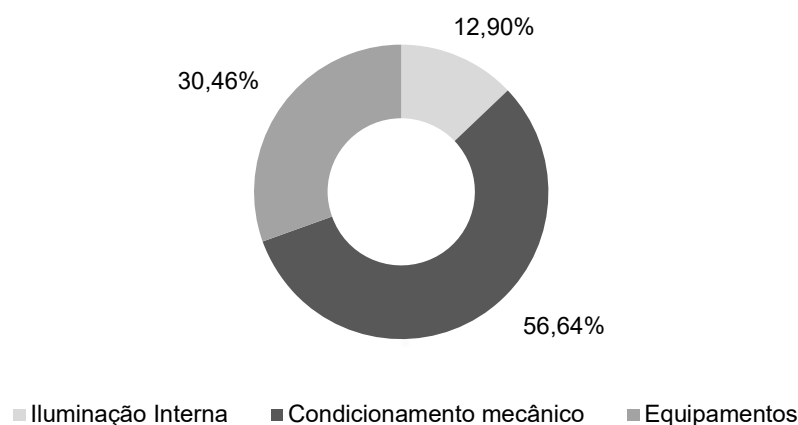


Figura 5.26. Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



De uma perspectiva global, o consumo de energia com o condicionamento mecânico representaria 56,64% do total gasto, complementado pelo derivado dos equipamentos internos, com 30,46%, e da iluminação interna, com 12,90%, conforme ilustrado na Figura 5.27.

Figura 5.27. Consumo de energia elétrica por dispositivo



Se explorado sob a ótica dos custos, tal demanda representaria um gasto financeiro de R\$ 207.822,60, com base nos valores atualizados cobrados pela COPEL (2022). De maneira sucinta, o menor consumo com condicionamento artificial por m² foi proporcionado pela sala de aula 06, 104,37 kWh/m², com capacidade para 25 ocupantes e situada no térreo, na porção

central do Bloco de Aulas 01. De modo oposto, o maior consumo por m² foi alcançado pela sala de aula 23, 133,77 kWh/m², com capacidade para 51 ocupantes e localizada no pavimento superior, mais ao oeste do Bloco de Aulas 02.

5.2.2.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

A segunda simulação permitiu avaliar o desempenho térmico de cada sala de aula ventilada naturalmente, discriminando a temperatura operativa mínima ($T_{o\text{mín}}$), temperatura operativa máxima ($T_{o\text{máx}}$), temperatura operativa média ($T_{o\text{méd}}$), a percentagem das horas ocupadas em situação de conforto térmico e em desconforto por frio ou por calor, conforme Tabela 5.14. Mais uma vez foram consideradas horas ocupadas o período de segunda a sexta das 8:00 às 23:00 horas e sábado das 8:00 às 19:00 horas.

Tabela 5.14. Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	$T_{o\text{mín}}$ (°C)	$T_{o\text{máx}}$ (°C)	$T_{o\text{méd}}$ (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,9	34,0	26,2	78,77%	1,92%	19,31%
Sl. Aula 02	17,5	33,8	26,3	79,67%	1,02%	19,31%
Sl. Aula 03	17,5	33,8	26,3	80,27%	1,02%	18,71%
Sl. Aula 04	17,5	33,4	26,1	83,58%	1,11%	15,31%
Sl. Aula 05	16,9	33,4	25,8	83,48%	2,37%	14,15%
Sl. Aula 06	17,1	33,3	25,9	84,46%	1,96%	13,58%
Sl. Aula 07	17,2	33,6	26,1	81,42%	1,69%	16,89%
Sl. Aula 08	17,2	33,7	26,1	81,13%	1,67%	17,21%
Sl. Aula 09	16,7	33,9	26,1	79,40%	2,33%	18,27%
Sl. Aula 10	14,6	36,5	26,7	63,27%	3,88%	32,85%
Sl. Aula 11	15,4	36,4	27,0	62,87%	2,17%	34,96%
Sl. Aula 12	15,5	36,2	27,0	63,41%	2,17%	34,42%
Sl. Aula 13	15,4	35,6	26,6	69,88%	2,54%	27,58%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	17,0	34,1	26,3	77,69%	1,44%	20,87%
Sl. Aula 15	17,6	33,8	26,4	78,21%	0,73%	21,06%
Sl. Aula 16	17,7	33,8	26,4	78,58%	0,71%	20,71%
Sl. Aula 17	17,7	33,5	26,2	82,02%	0,65%	17,33%
Sl. Aula 18	17,2	33,4	26,0	83,31%	1,58%	15,11%
Sl. Aula 19	17,3	33,7	26,2	80,48%	1,25%	18,27%
Sl. Aula 20	17,3	33,7	26,2	80,35%	1,27%	18,38%
Sl. Aula 21	16,8	34,0	26,2	78,40%	2,08%	19,52%
Sl. Aula 22	15,0	36,5	27,0	61,27%	3,06%	35,67%
Sl. Aula 23	16,0	36,4	27,3	59,46%	1,60%	38,94%
Sl. Aula 24	16,0	36,3	27,3	59,92%	1,52%	38,56%
Sl. Aula 25	16,2	35,7	26,9	65,71%	1,60%	32,69%
Sl. Aula 26	14,7	36,0	26,5	68,35%	3,92%	27,73%

Legenda: Menor conforto Maior conforto

O ambiente que apresentou a menor $To_{mín}$ foi a sala de aula 10, localizada no pavimento superior do Bloco de Aulas 01, com $14,6^{\circ}C$. A maior $To_{máx}$ foi verificada nas salas de aula 10 e 22, localizadas no pavimento superior, extremidade oeste, do Bloco de Aulas 01 e 02, com $36,5^{\circ}C$. A menor $To_{máx}$ foi de $33,3^{\circ}C$ na sala de aula 06. Observa-se que essa mesma sala, localizada no térreo do Bloco de Aulas 01, proporcionou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico, 84,46%. Contrariamente, a sala de aula 23, situada no pavimento superior do Bloco de Aula 02, promoveu o menor percentual, 59,46%. Da mesma maneira, o desconforto por calor foi maior nas salas de aula localizadas no pavimento superior dos dois blocos, em especial do Bloco de Aulas 02. O desconforto por frio, embora inexpressivo, foi maior nas salas de aula localizadas no pavimento superior, não obstante com valores significativos nas salas de aula localizadas no térreo, notadamente nas extremidades da edificação e ao centro. Relevante evidenciar o elevado índice de desconforto por calor observado nas salas 10, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 25 e 26. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é exibida nas Figuras 5.28 e 5.29, nessa ordem.

Figura 5.28. Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

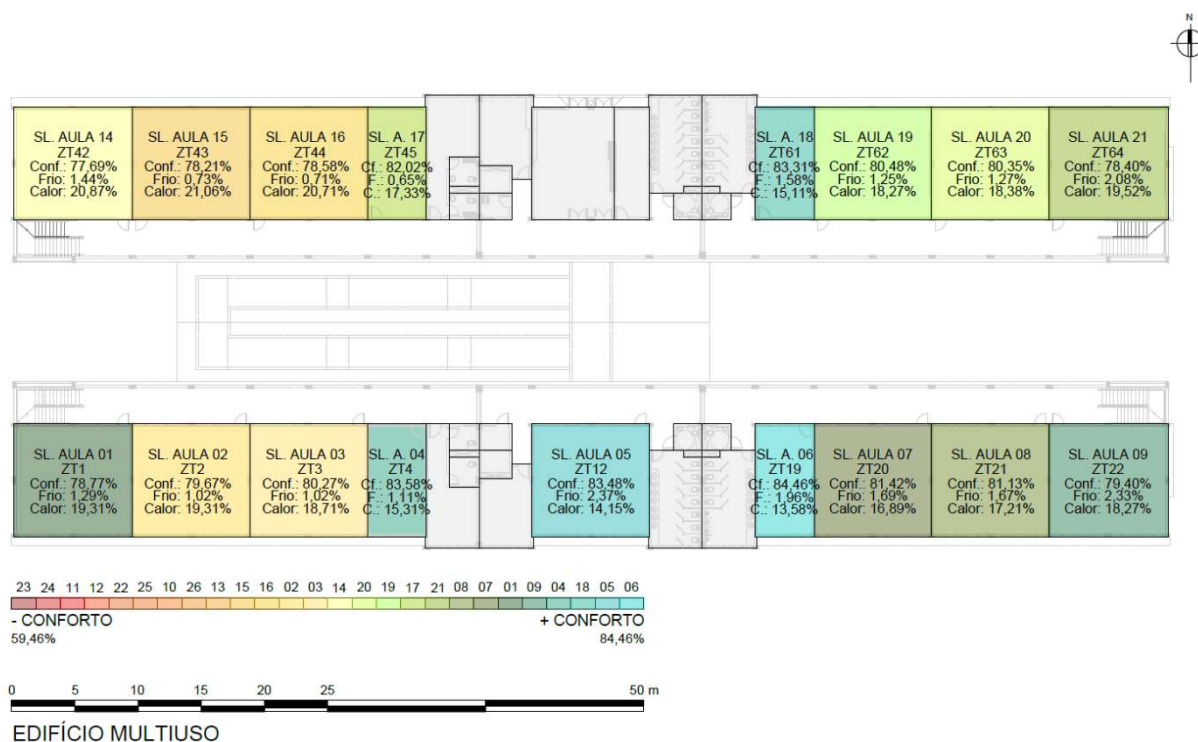
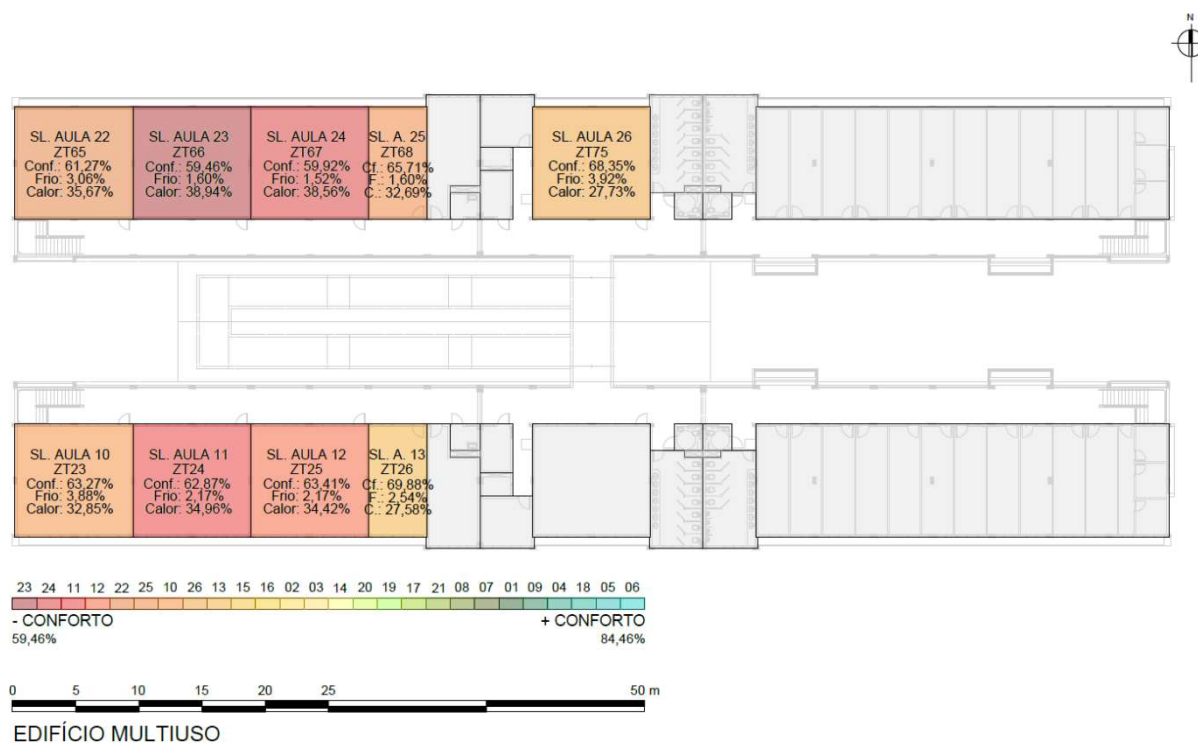
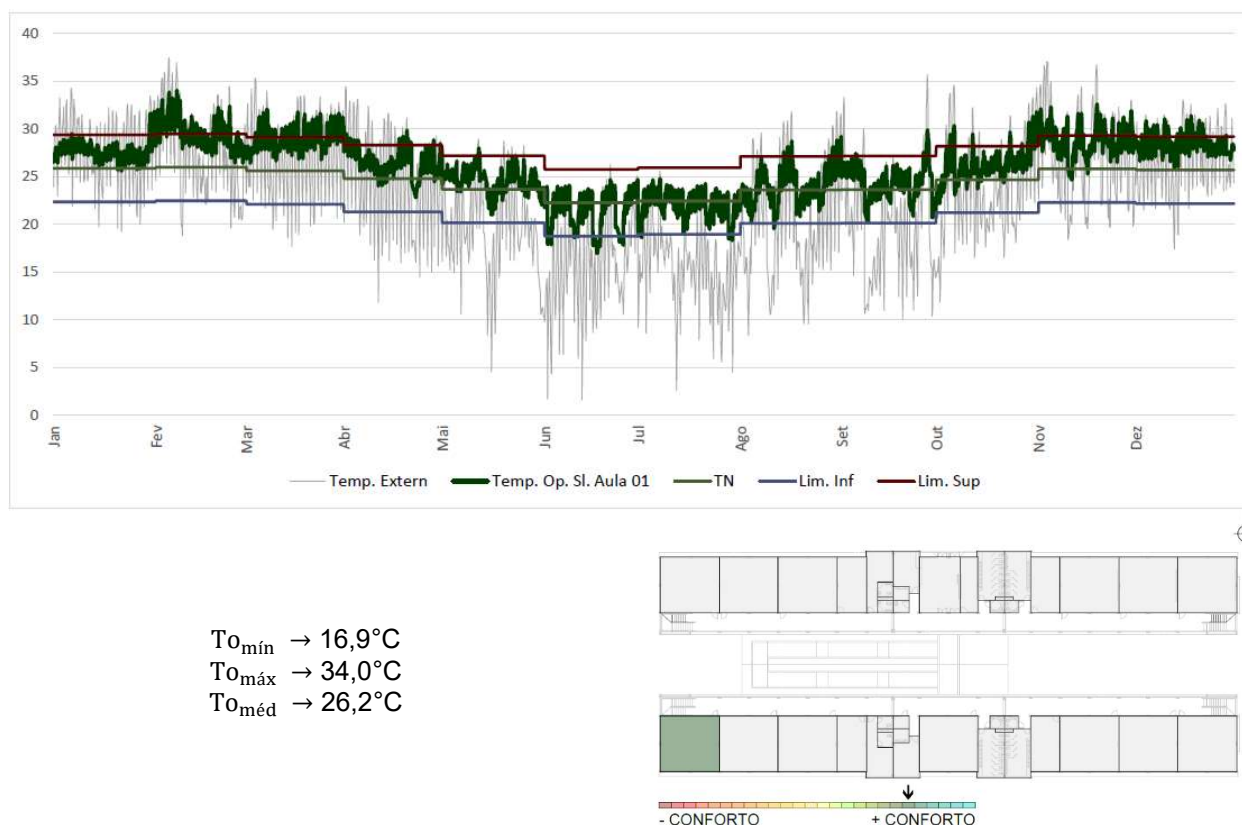


Figura 5.29. Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



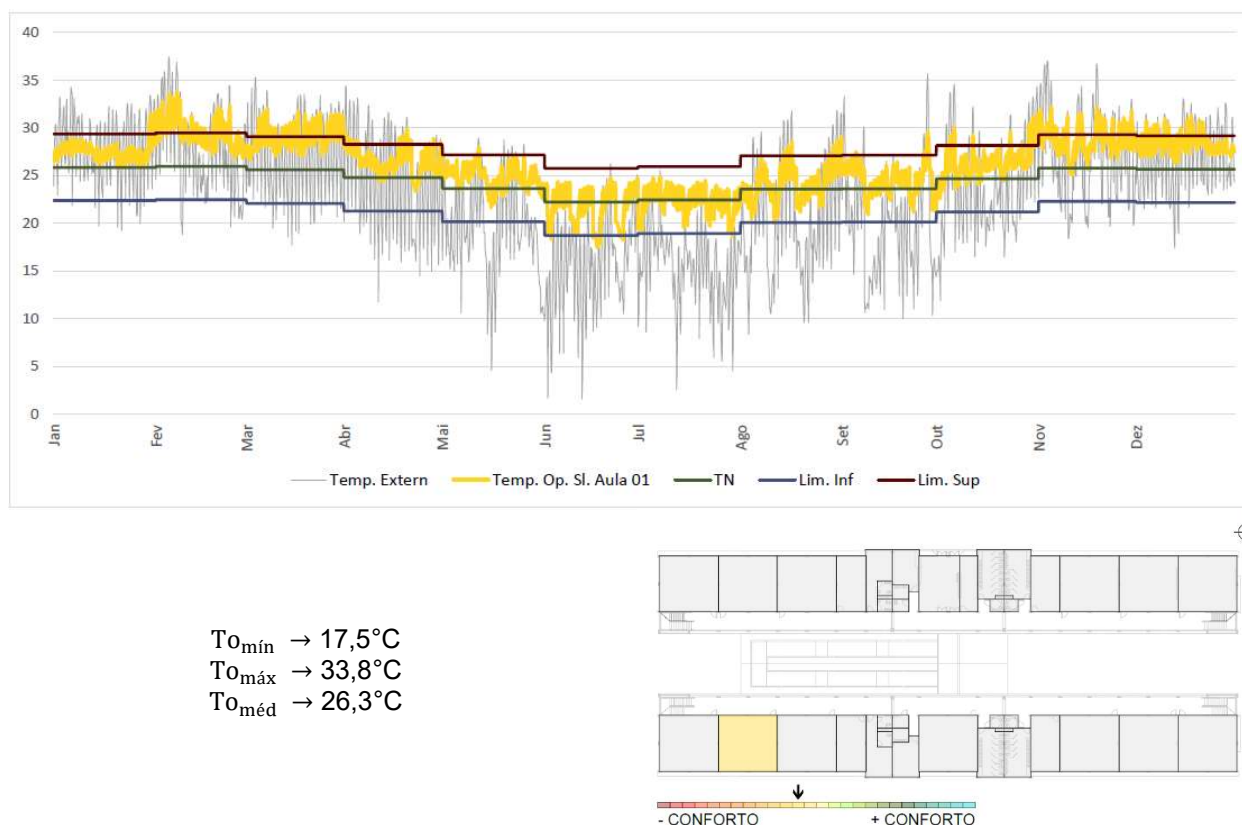
Na sequência, as Figura 5.30 a 5.55 apresentam a temperatura externa (T_{ext}) e o desempenho térmico das salas de aula durante período de ocupação, através da variação da temperatura operativa obtida por meio da simulação computacional, e a correlação desta com a temperatura neutra (T_N), máxima para calor ($T_N + 3,5^\circ\text{C}$) e máxima para frio ($T_N - 3,5^\circ\text{C}$), com base na ANSI/ASHRAE *Standard* 55 (ASHRAE, 2020). Vale lembrar que a temperatura neutra, ou temperatura de conforto, é obtida através da equação $T_N = 17,8^\circ + (0,31 \times T_{a\text{ex m m}})$, sendo $T_{a\text{ex m m}}$ a média aritmética da temperatura externa mensal. Por fim, a Figura 5.56 apresenta a compilação de todos os resultados obtidos para as salas de aula, desconsiderando os valores de T_{ext} .

Figura 5.30. Sala de Aula 01 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



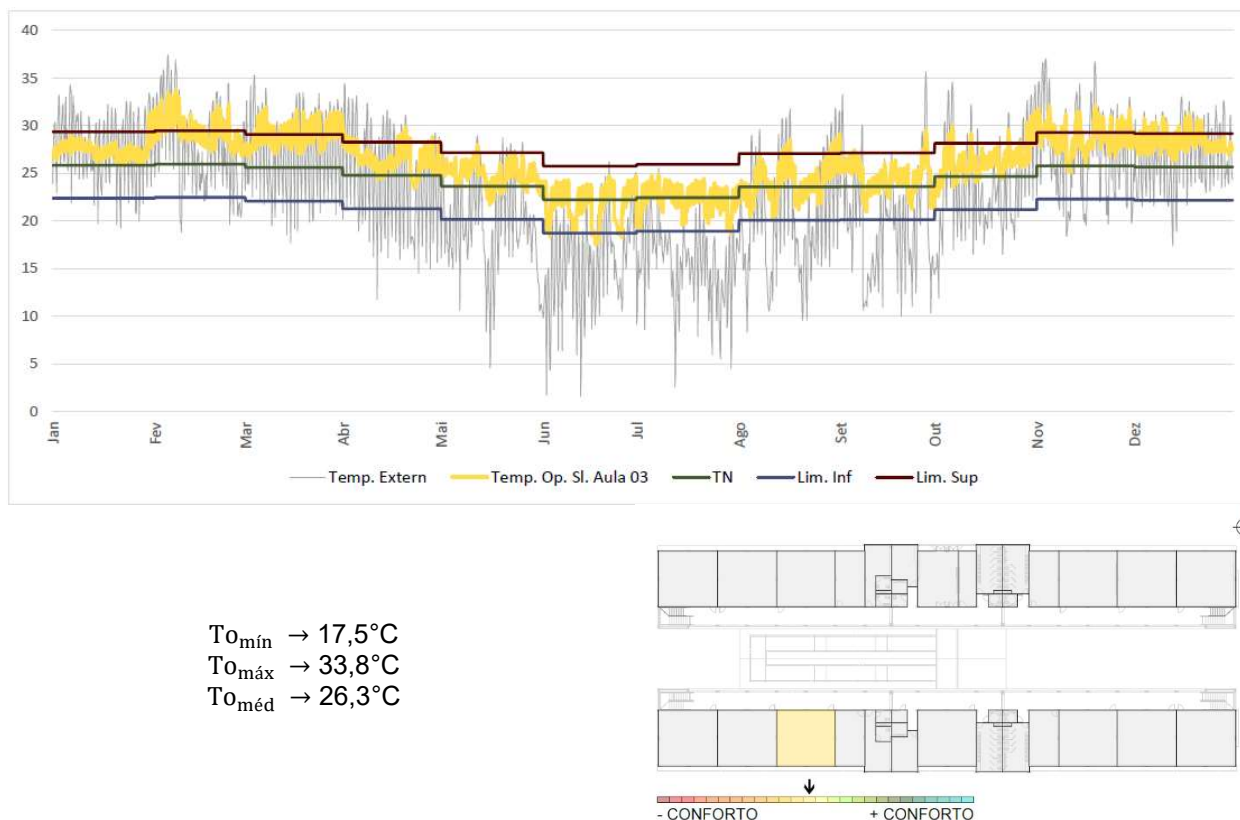
No gráfico apresentado na Figura 5.30 observa-se que a oscilação da temperatura operativa da sala de aula 01 extrapolou, em alguns períodos, a zona de conforto térmico, representadas pela linha de temperatura limite inferior, onde abaixo dela o estado é de desconforto por frio, e pela linha de temperatura limite superior, onde acima dela o estado é de desconforto por calor. O resultado revelou uma temperatura operativa interna parcialmente incompatível com o bem-estar térmico dos ocupantes e influenciada, dentre outros fatores, pela própria edificação, elemento tido como passível de controle durante a elaboração do projeto arquitetônico ou através de pequenas modificações e incrementos em uma estrutura física existente. A relação entre esses fatores apontou um percentual de horas ocupadas em situação de bem-estar térmico de 78,77%. Além disso, indicou um percentual de horas ocupadas em desconforto por calor de 19,31%, condição que ocorreu com mais frequência durante os meses de fevereiro e março e ao longo de novembro e dezembro, correspondentes a períodos comumente de temperaturas mais elevadas para o clima de Foz do Iguaçu. O percentual de desconforto por frio foi de 1,92%, com picos mais presentes nos meses de junho e julho. Essa condição de desconforto, ligeiramente mais elevada do que a verificada na classe contígua, pode estar associada à posição da sala, localizada na extremidade do edifício, face oeste, acarretando maiores trocas de calor com o meio externo.

Figura 5.31. Sala de Aula 02 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



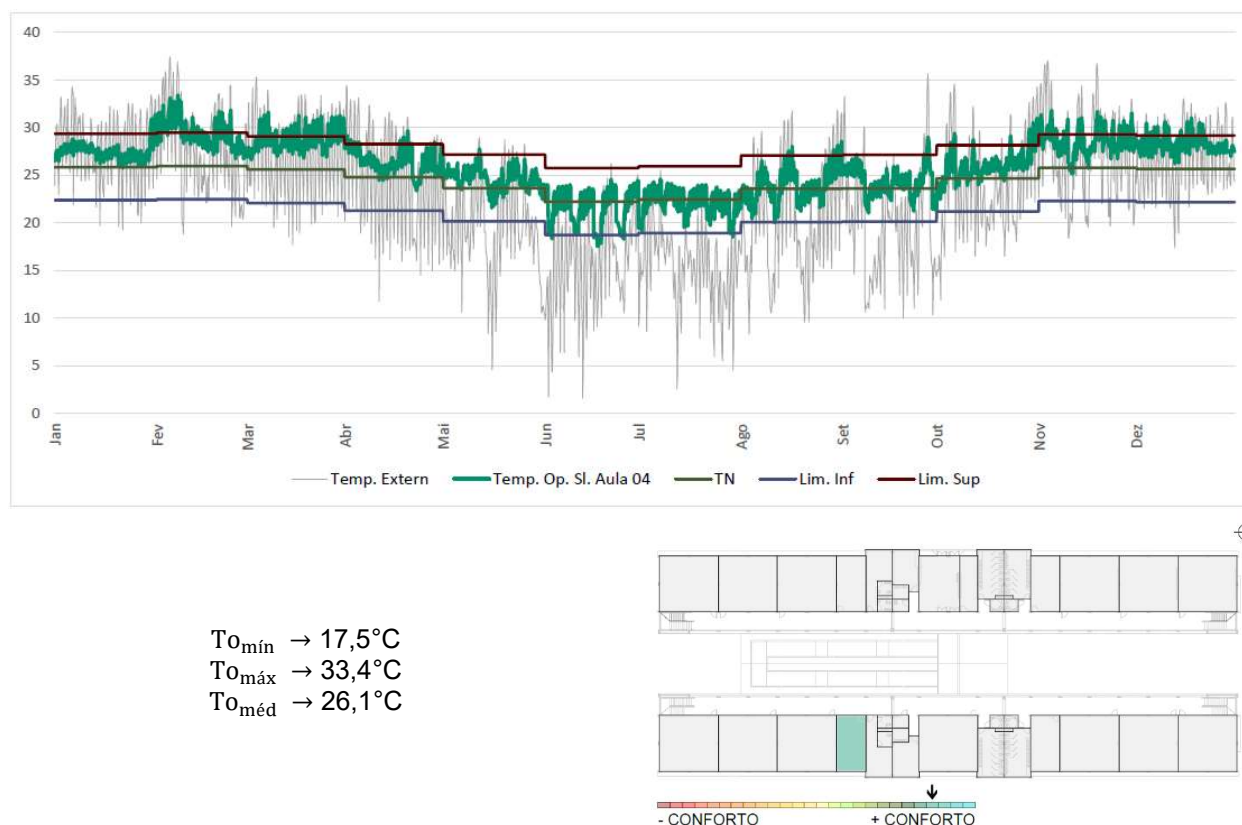
Similarmente, no gráfico referente à sala de aula 02, apresentado na Figura 5.31, percebe-se que o desconforto por calor ocorreu com mais frequência no decorrer dos meses de fevereiro, março, novembro e dezembro, atingindo o percentual de horas ocupadas nessa condição de 19,31%. O percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 79,67%. Já o percentual de horas ocupadas em desconforto por frio foi de 1,02%, novamente mais evidente nos meses de junho e julho. Nesse caso, conforme mencionado anteriormente, a diferença sutil em referência à sala de aula 01 (0,90%) pode ter relação com a redução das trocas de calor com o meio externo, ocasionada pela diminuição do número de superfícies exposta.

Figura 5.32. Sala de Aula 03 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



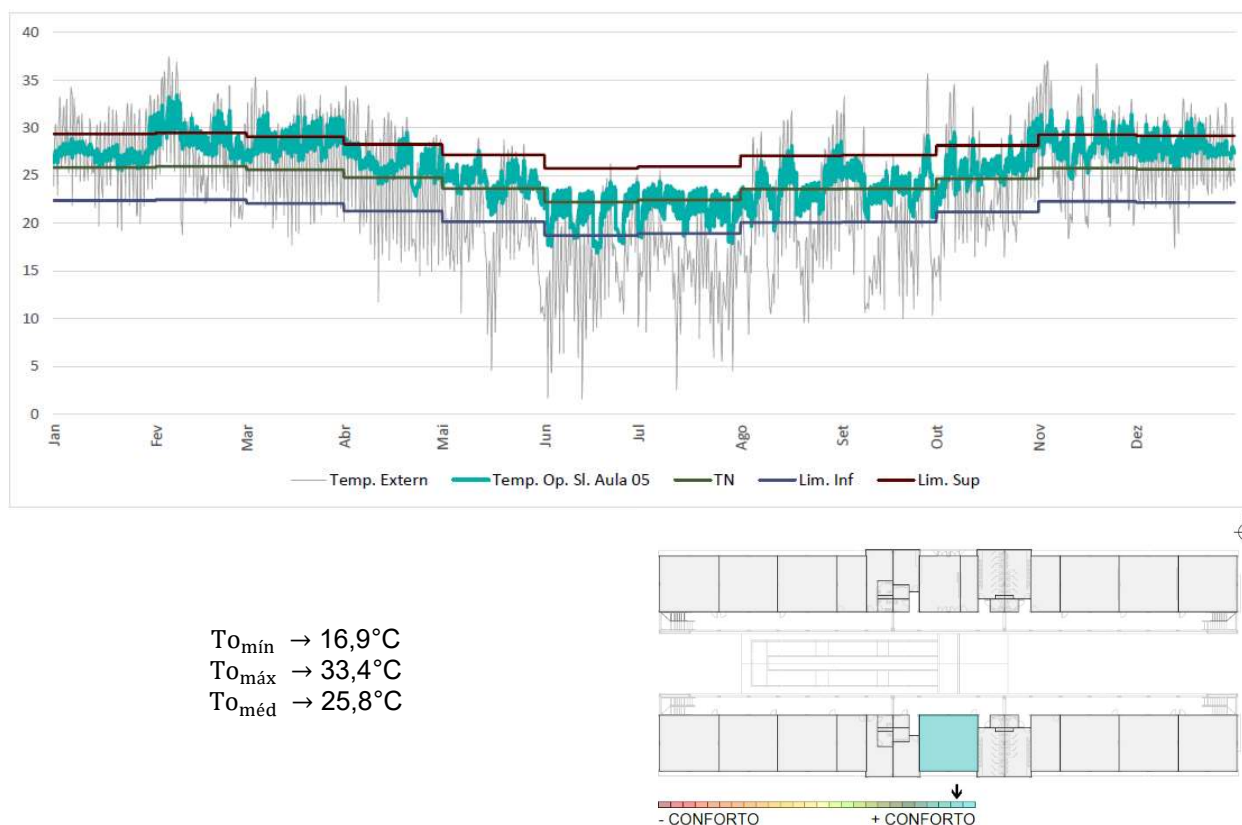
Os períodos em que se verificam condições de desconforto por sobreaquecimento ou por frio se repetem, ocorrendo apenas pequenas variações nos percentuais, conforme gráfico apresentado na Figura 5.32. A sala de aula 03, por exemplo, proporcionou um percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico de 80,27%, em desconforto por calor de 18,71% e por frio de 1,02%. Possivelmente, o resultado, muito similar à sala de aula 02, deve-se à localização e configuração do ambiente. Por certo, o posicionamento e dimensão equivalente de ambos os recintos, assim como o número, proporção e disposição idêntica de aberturas, suscitaram repercussões semelhantes.

Figura 5.33. Sala de Aula 04 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



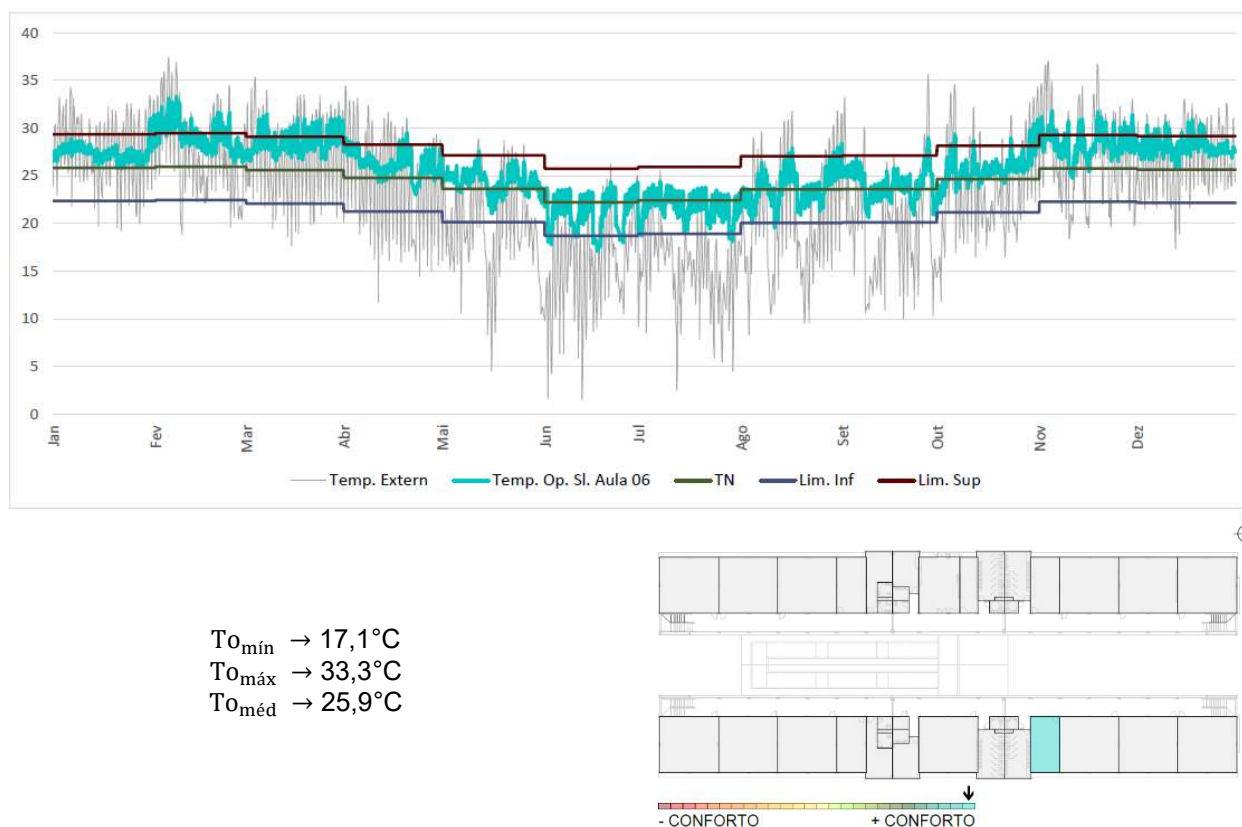
A sala de aula 04, mais ao centro da edificação, apresentou um percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico de 83,58%, em desconforto por calor de 15,31% e por frio de 1,11%. Ainda, foi um dos ambientes que apresentou, durante as horas ocupadas, um dos menores valores de temperatura operativa máxima, 33,4°C em fevereiro, conforme gráfico exibido na Figura 5.33. Os resultados apontam uma melhoria nas condições de bem-estar térmico em relação aos ambientes adjacentes. Presume-se que a posição do recinto, mais ao centro e orientado para o sul, assim como a existência de uma projeção externa na lateral esquerda da sala, notadamente a sala dos terceirizados, tiveram influência nos índices. Outro fator pode estar associado às trocas de calor por condução, pois esses espaços possuem ambientes adjacentes com padrão de uso e ocupação menos intenso.

Figura 5.34. Sala de Aula 05 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



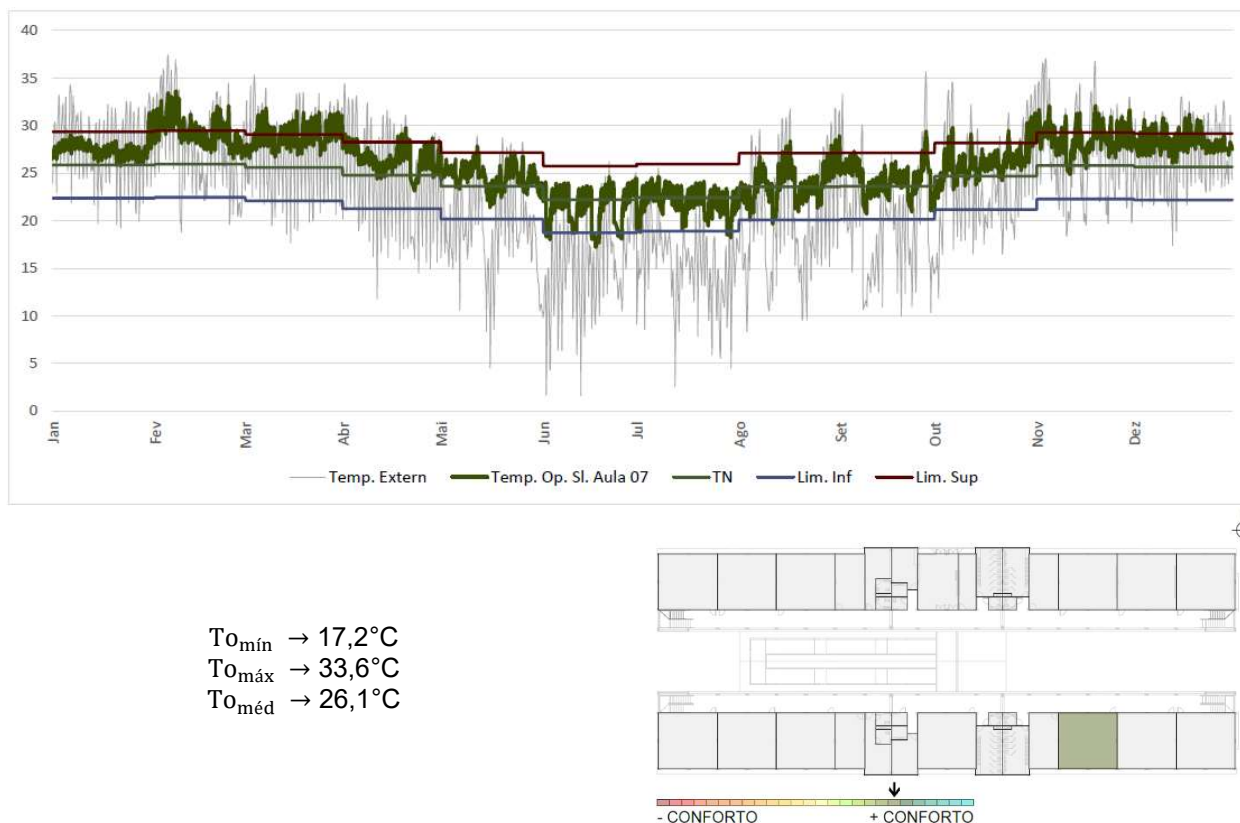
A sala de aula 05 assegurou um percentual de horas ocupadas em situação de bem-estar térmico de 83,48%, um percentual de desconforto por calor de 14,15% e de desconforto por frio de 2,37%. Novamente, observa-se um incremento nas condições de bem-estar térmico em referência às salas 01, 02 e 03. Acredita-se que a localização do recinto e a existência de projeções externas em ambas as laterais da sala interferiram nos resultados. Esses elementos construtivos, em função da configuração da copa 01 e instalação sanitária 01, podem ter influenciado ainda o percentual de desconforto por frio, ligeiramente mais elevado, na medida em que funcionam como elementos de sombreamento, bloqueando parte da absorção de calor do sol pela envoltória.

Figura 5.35. Sala de Aula 06 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



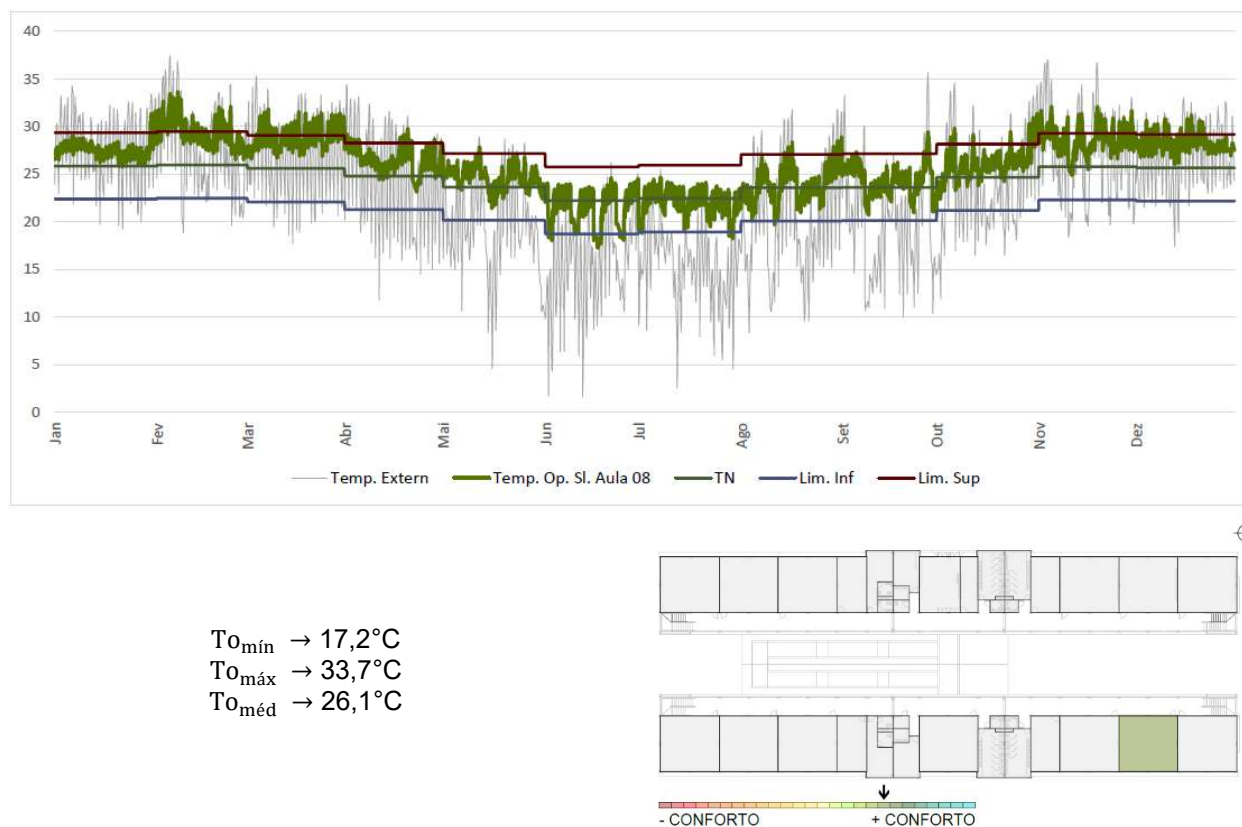
No geral, a sala de aula 06 propiciou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto, 84,46%. A posição do ambiente, mais ao centro, o elemento de sombreamento externo na lateral direita da sala, bloqueando parcialmente a incidência do sol vespertino, e a redução das trocas de calor por condução, possivelmente interferiram nos índices. Já o percentual de desconforto foi de 13,58% e 1,96%, por calor e por frio respectivamente. Esse ambiente apresentou, dentre todos os analisados, o menor valor de temperatura operativa máxima, 33,3°C em fevereiro, conforme gráfico exibido na Figura 5.35. Com efeito, o percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi maior no pavimento térreo, especialmente nos ambientes posicionados na área central do Bloco de Aulas 01 e 02. Foi determinante nesse resultado, ao que tudo indica, a própria configuração da edificação que propiciou o auto sombreamento parcial da envoltória, especialmente dos elementos transparentes das salas de aula 04, 05 e 06, bem como das salas 17 e 18. Ademais, acredita-se que o contato com o solo e a existência de um pavimento superior podem ter influenciado positivamente os resultados.

Figura 5.36. Sala de Aula 07 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



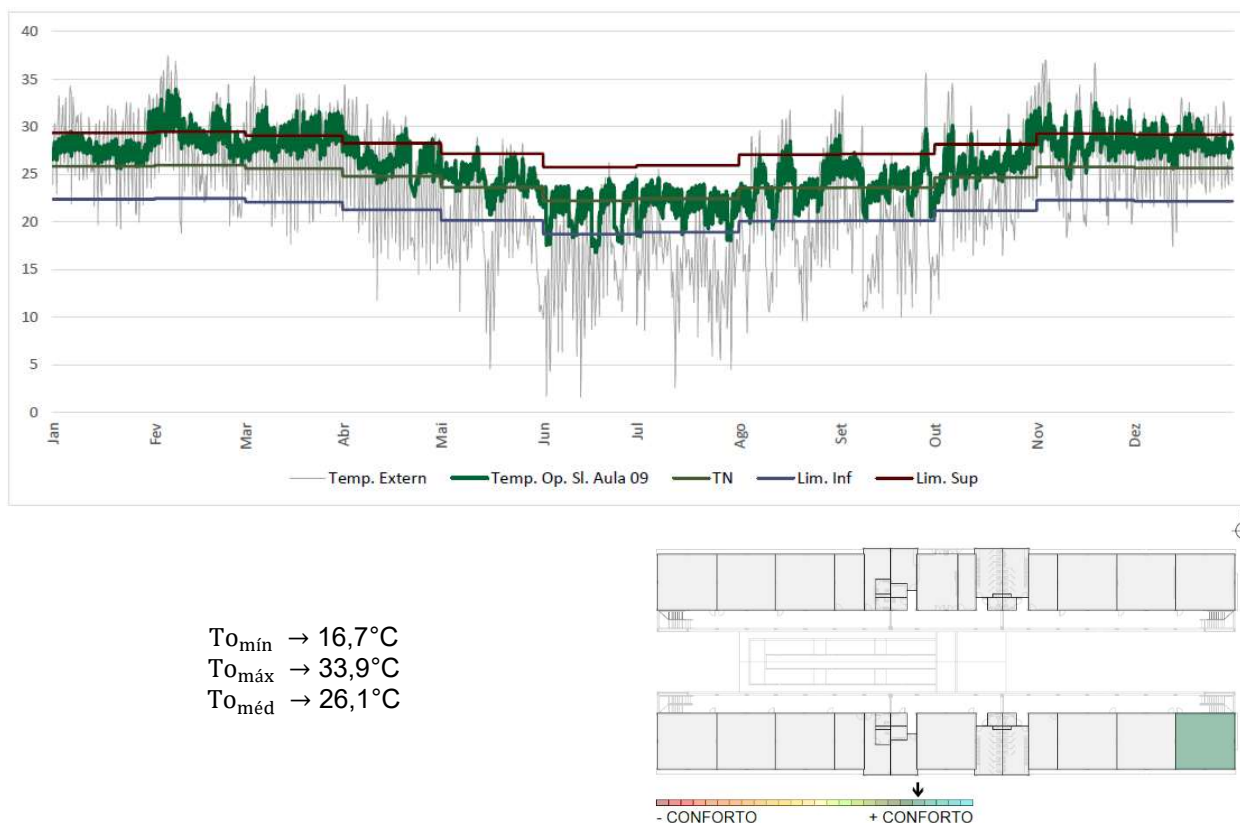
A sala de aula 07 assegurou um percentual de horas ocupadas em condição de bem-estar térmico de 81,42%. Ademais, os resultados da simulação computacional indicaram um percentual de desconforto por calor de 16,89% e de desconforto por frio de 1,69%. A partir desse ambiente nota-se, outra vez, uma redução gradativa na condição de bem-estar térmico interno, ainda que o índice seja superior ao resultado obtido pelas salas de aula 01, 02 e 03. Comparativamente, essa condição limitadamente vantajosa pode estar associada à maior incidência do sol matutino, e não do vespertino, nessa porção da edificação.

Figura 5.37. Sala de Aula 08 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



Na sala de aula 08 o percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 81,13%, em desconforto por calor de 17,21% e em desconforto por frio de 1,67%. Coerentemente, em função das considerações anteriores, observa-se o aumento crescente do desconforto térmico interno, à medida que os ambientes distanciam-se da área central do Bloco de Aulas 01. Mais uma vez, depreende-se que a similitude nos resultados proporcionados pela sala de aula 07 e 08 ocorre devido à localização em planta e configuração do ambiente.

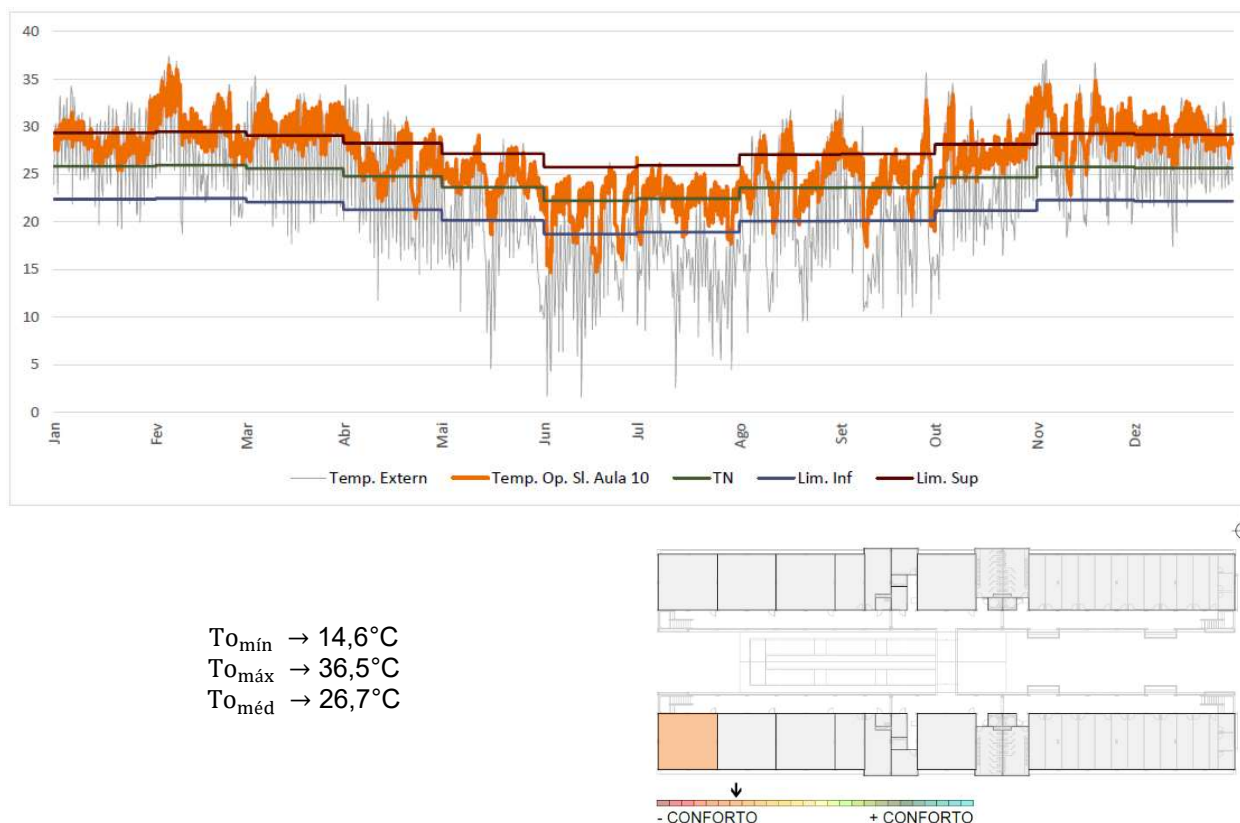
Figura 5.38. Sala de Aula 09 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



Na sala de aula 09 identificou-se um ligeiro aumento no percentual de horas ocupadas em situação de desconforto por frio em comparação ao recinto adjacente, 2,33%. De maneira semelhante à sala de aula 01, essa circunstância pode estar relacionada a posição do ambiente, localizado na extremidade da edificação, face leste, acarretando maiores trocas de calor com o meio externo. Ademais, em 79,40% das horas ocupadas a condição era de conforto térmico e em 18,27% de desconforto por calor.

A porcentagem média de bem-estar térmico assegurada por esses ambientes localizados no pavimento térreo do Bloco de Aulas 01 foi de 81,35%. Entretanto, os resultados obtidos para as salas de aula instaladas no pavimento superior desse bloco destoam dos expostos até aqui, com uma porcentagem média de bem-estar térmico de 64,86%, uma variação negativa de 16,86%. De modo geral, depreende-se que a localização da cobertura, imediatamente acima das salas, pode ter influenciado diretamente nas condições de conforto térmico desses espaços. Presume-se que a telha de aço galvanizado com isolante tipo EPS, pode ter dificultado a dissipação do calor e do frio absorvido por esses ambientes. Além disso, a existência de uma câmara de ar sem ventilação entre a telha e a laje pode ter intensificado o sobreaquecimento através da redução da resistência térmica e aumento da transmitância e da condução do calor absorvido para as salas.

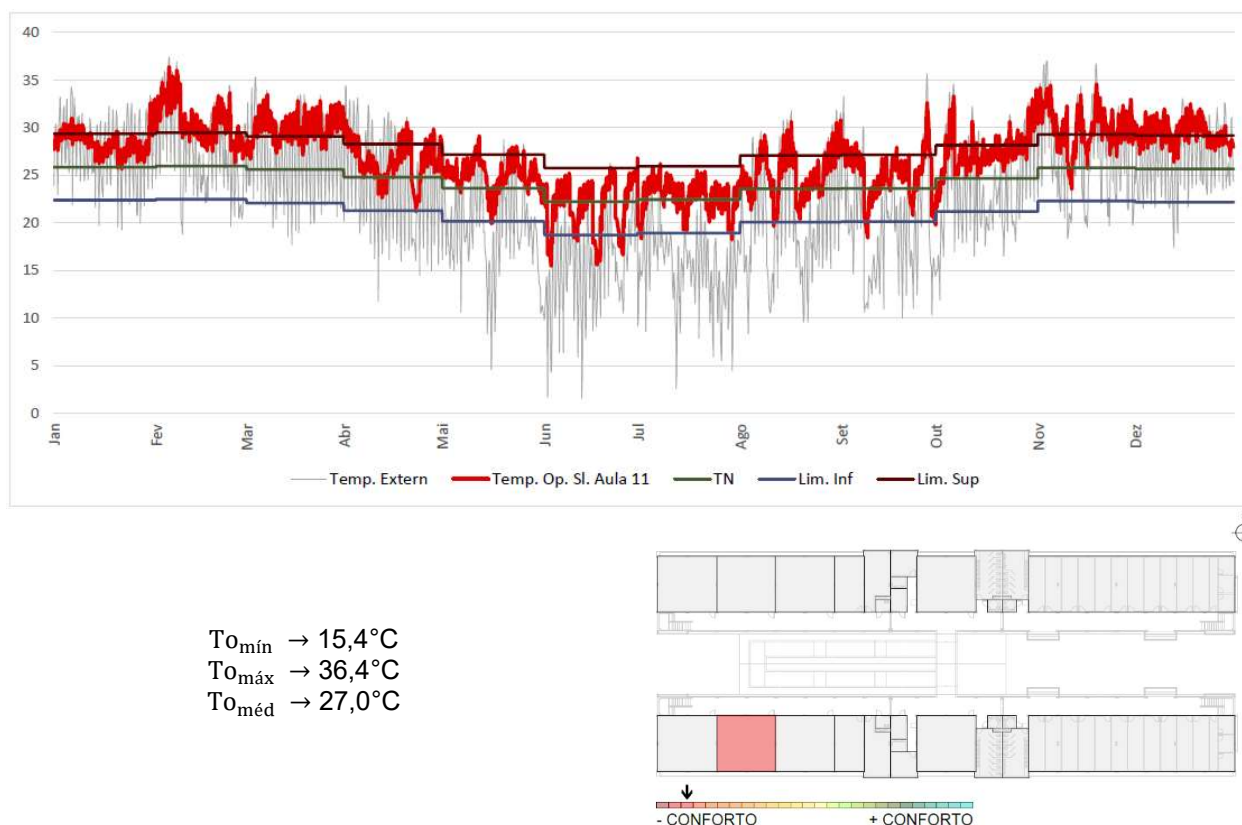
Figura 5.39. Sala de Aula 10 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



No gráfico apresentado na Figura 5.39 observa-se que a variação da temperatura operativa da sala de aula 10 excedeu de maneira mais acentuada a zona de conforto térmico. O resultado revelou um percentual de horas ocupadas em estado de conforto térmico bem menor, apenas 63,27%. É importante destacar que o percentual de horas ocupadas em desconforto por calor aumentou consideravelmente, chegando a 32,85%, condição que ocorreu com mais frequência durante os meses de fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, mas com picos também em janeiro, abril, maio, agosto e setembro. Conforme relato anterior, acredita-se que a influência da cobertura pode ter agravado a condição de sobreaquecimento do ambiente.

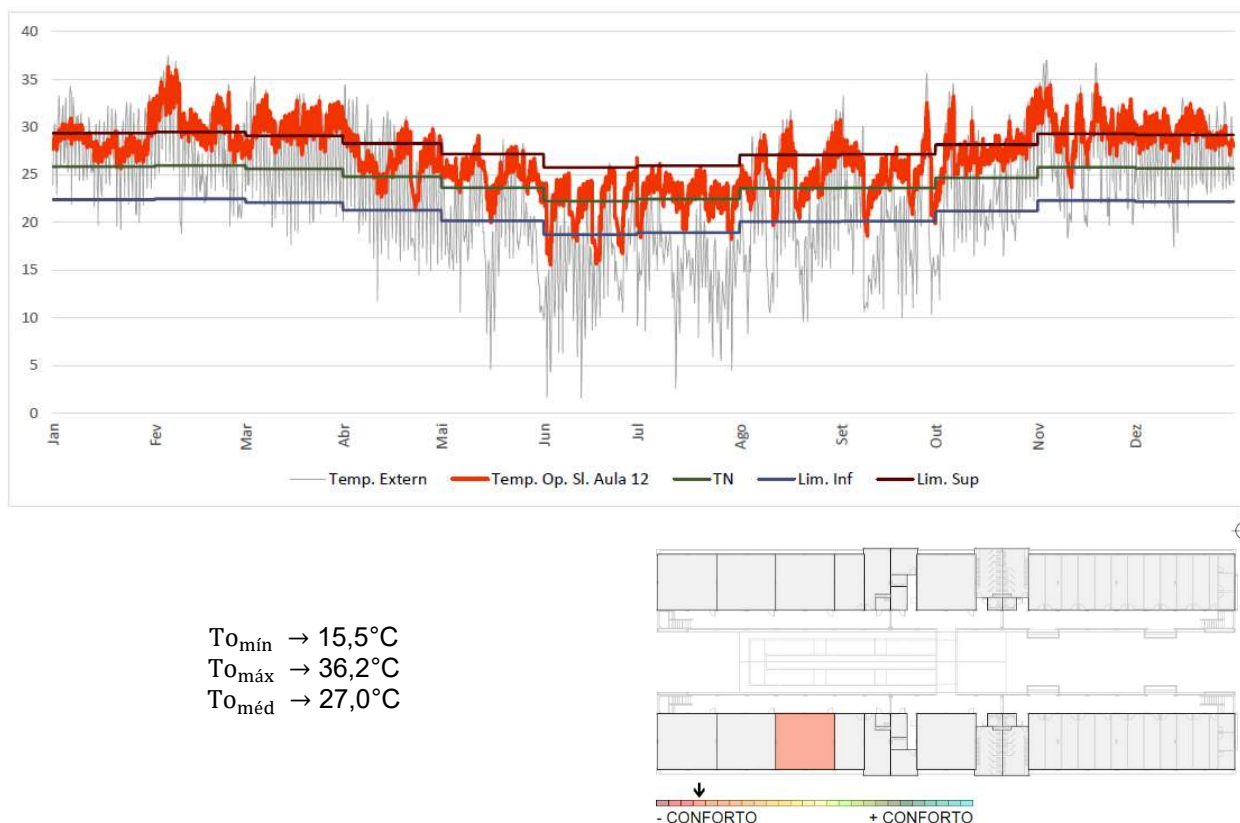
O percentual de desconforto por frio foi de 3,88%, um dos maiores índices verificados nas salas de aula do Edifício Multiuso. Esse resultado, assim como o proporcionado pelas salas 01 e 09, pode estar associado à posição do recinto, localizado na extremidade do edifício, e, nesse caso, junto à cobertura. A sala de aula 10, de uma perspectiva global, apresentou a menor temperatura operativa mínima durante as horas ocupadas, $14,6^{\circ}\text{C}$ em junho, e, ainda, a maior temperatura operativa máxima verificada nos blocos, $36,5^{\circ}\text{C}$ em fevereiro, mais uma vez, considera-se que em função de sua localização em planta. Entretanto, salienta-se que a temperatura operativa média desse ambiente foi ligeiramente menor, do que a observada no espaço contíguo, o que corrobora os índices obtidos pela sala de aula subsequente.

Figura 5.40. Sala de Aula 11 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



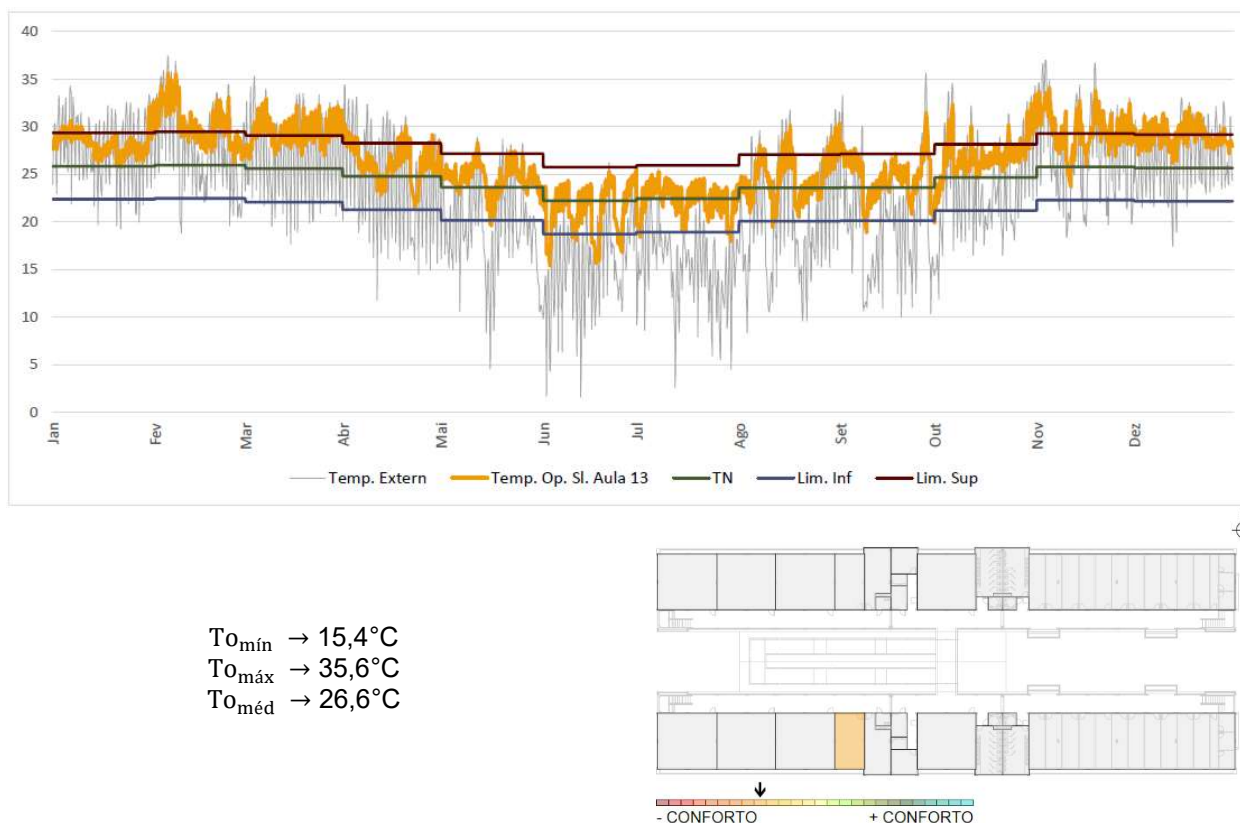
A sala de aula 11, apresentou um percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico de 62,87%, bem como um percentual de horas ocupadas em desconforto por calor de 34,96%, o pior índice entre todos os ambientes analisados no Bloco de Aulas 01. O percentual de desconforto por frio foi de 2,17%, sendo que esse resultado variou nas salas 10 e 11 de modo similar às salas 01 e 02, sofrendo, nessa situação, um incremento nos percentuais possivelmente em consequência da proximidade com a cobertura. Além disso, foi um dos espaços no Bloco de Aulas 01 que apresentou, durante as horas ocupadas, um dos valores mais elevados de temperatura operativa máxima, 36,4°C em fevereiro, segundo exposto no gráfico da Figura 5.40. Depreende-se que a incidência do sol vespertino em razão da posição do ambiente, a redução das trocas de calor com o meio externo e, novamente, a influência da cobertura podem explicar os resultados observados.

Figura 5.41. Sala de Aula 12 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



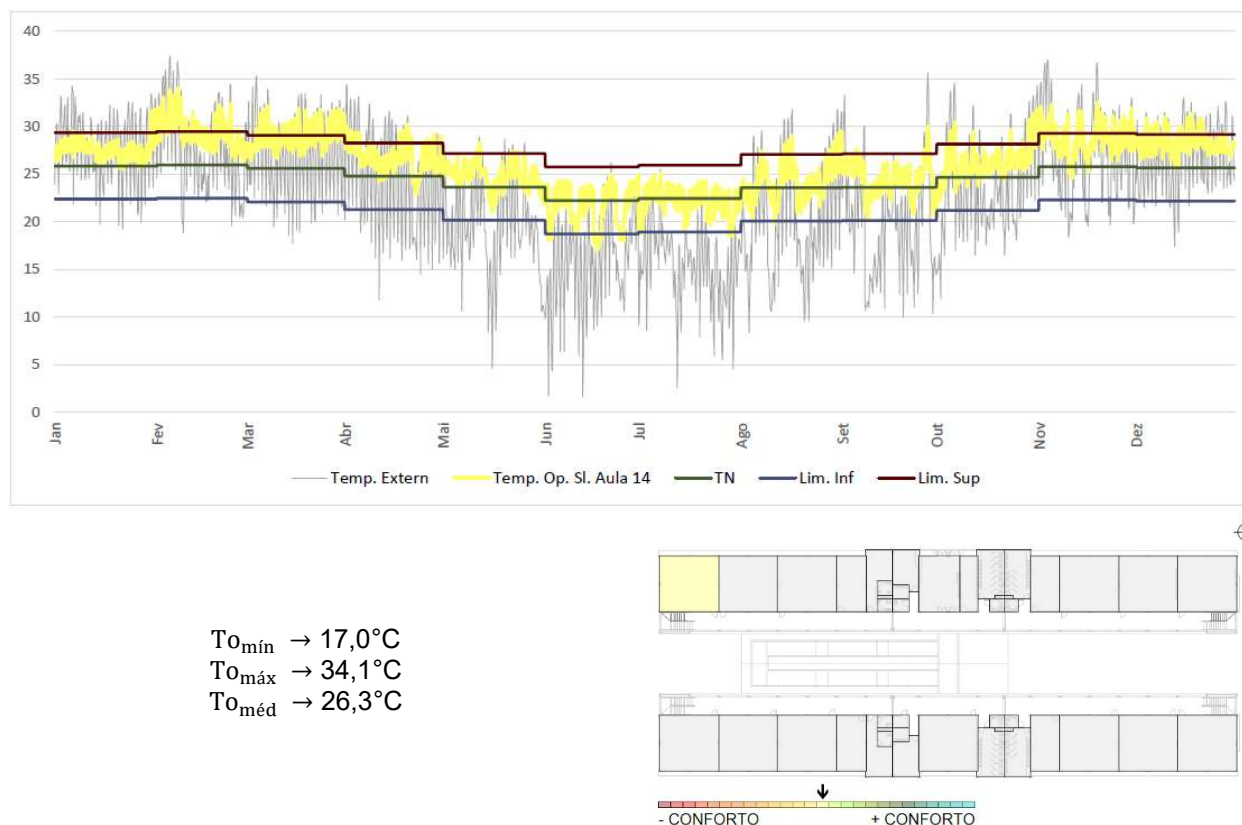
No gráfico referente à sala de aula 12, apresentado na Figura 5.41, percebe-se que o desconforto por calor ocorreu, da mesma forma, com mais frequência nos meses de fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, mas com picos em janeiro, abril, maio, agosto e setembro, atingindo o percentual de horas ocupadas nessa condição de 34,42%. O percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 63,41%. Já o percentual de horas ocupadas em desconforto por frio foi de 2,17%, com picos em maio, julho, agosto, setembro e início de outubro e mais frequente em junho. Outra vez, deduz-se que a semelhança nos resultados obtidos pelas salas de aula 11 e 12 ocorre devido à localização e configuração de ambos os recintos.

Figura 5.42. Sala de Aula 13 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



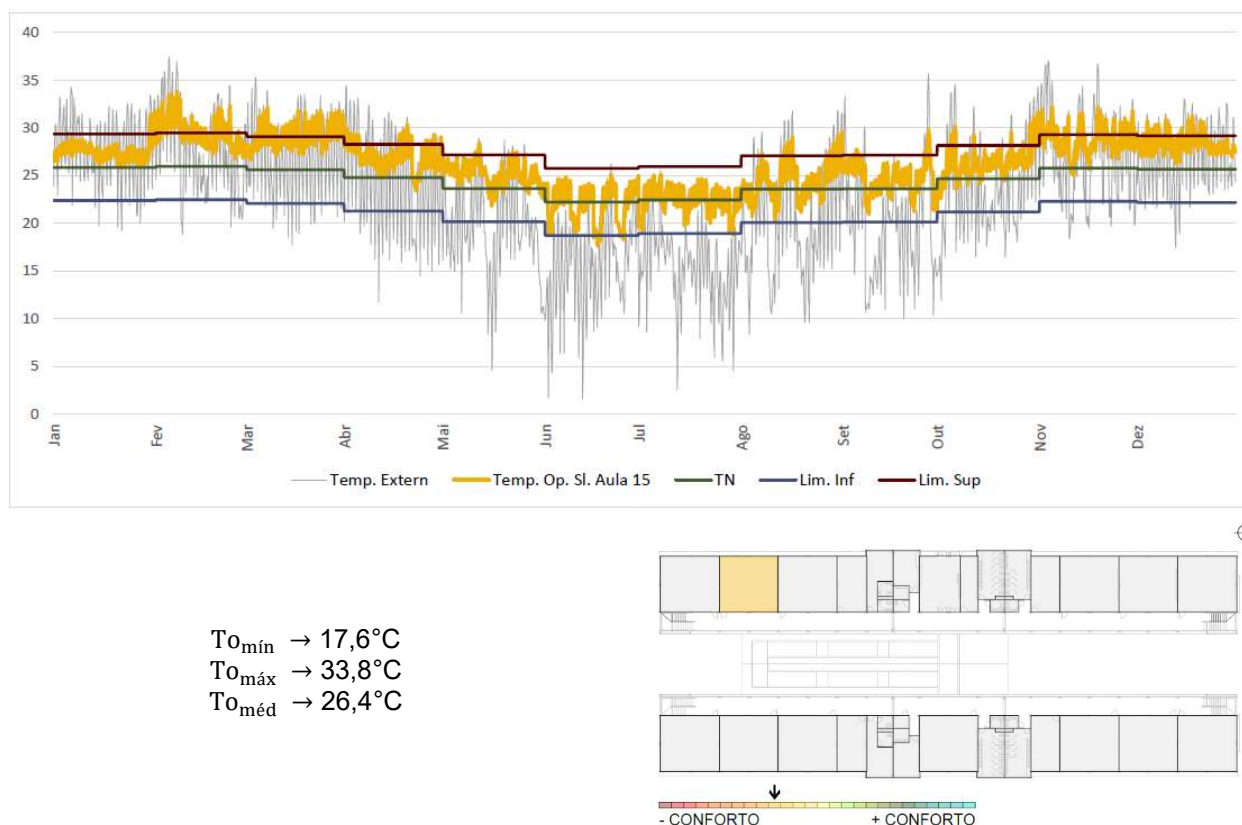
Na sala de aula 13 o percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 69,88%, uma melhora significativa em comparação aos demais ambientes analisados no pavimento superior do Bloco de Aulas 01. O percentual de desconforto por calor foi de 27,58%, ainda bem alto, e de desconforto por frio foi de 2,54%. Assim como na sala de aula 04, considera-se que a posição do ambiente, mais ao centro, juntamente à existência de uma projeção externa na lateral esquerda da sala e a redução das trocas de calor por condução tiveram influência nos resultados.

Figura 5.43. Sala de Aula 14 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



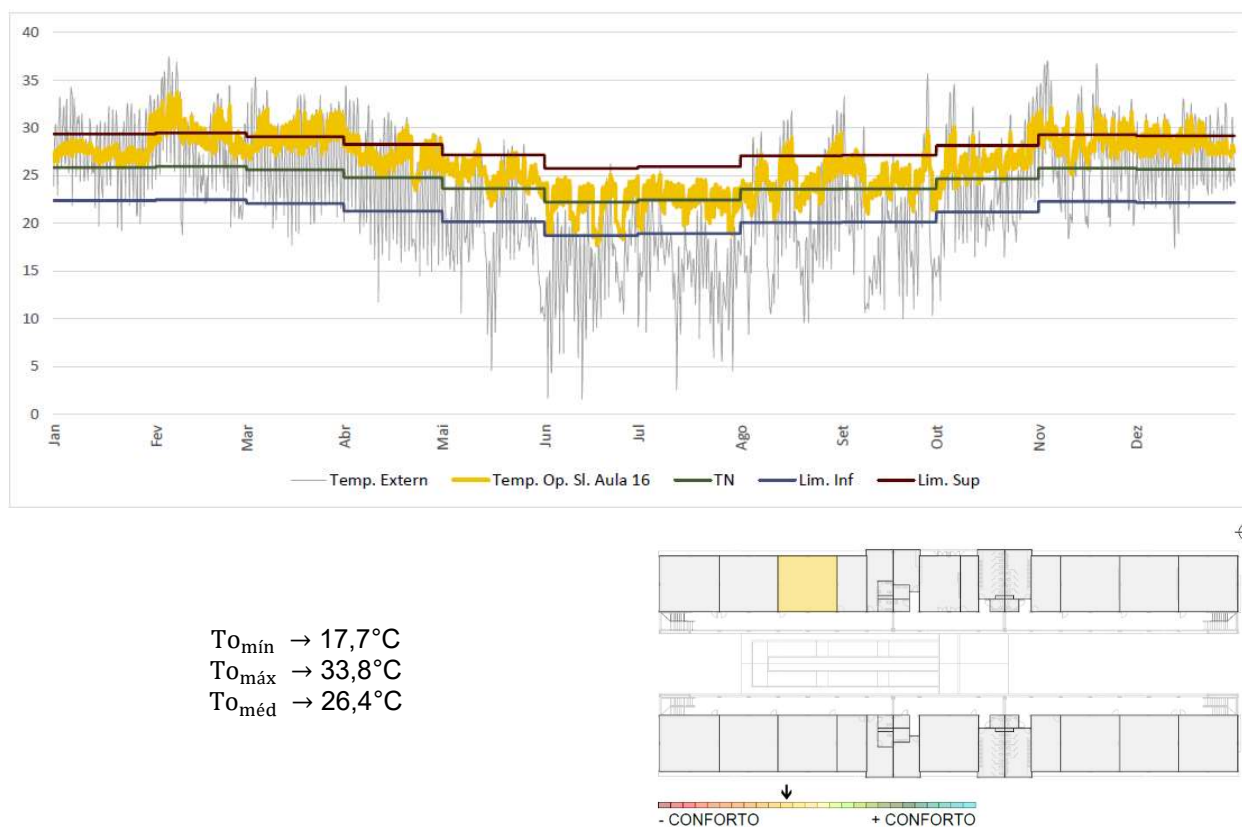
As condições de conforto térmico propiciadas pelo Bloco de Aulas 02 são moderadamente inferiores às viabilizadas pelo Bloco de Aulas 01. Tal circunstância pode ser constatada, a partir da observação da sala de aula 14. O percentual de horas ocupadas em desconforto por calor, por exemplo, foi de 20,87%, 1,56% acima daquele apresentado pela sala de aula em posição similar, localizada no outro bloco. O percentual de horas ocupadas em bem-estar térmico foi de 77,69%, uma redução proporcional. Já o percentual de desconforto por frio foi de 1,44%, ligeiramente inferior em comparação à sala de aula 01 e maior do que o verificado no ambiente adjacente. A influência da localização do recinto na extremidade do edifício, face oeste, se repete. Porém, observa-se uma possível atuação da radiação solar sobre a fachada exposta do Bloco de Aulas 02. Esse fator pode estar relacionado ao aumento do desconforto por calor.

Figura 5.44. Sala de Aula 15 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



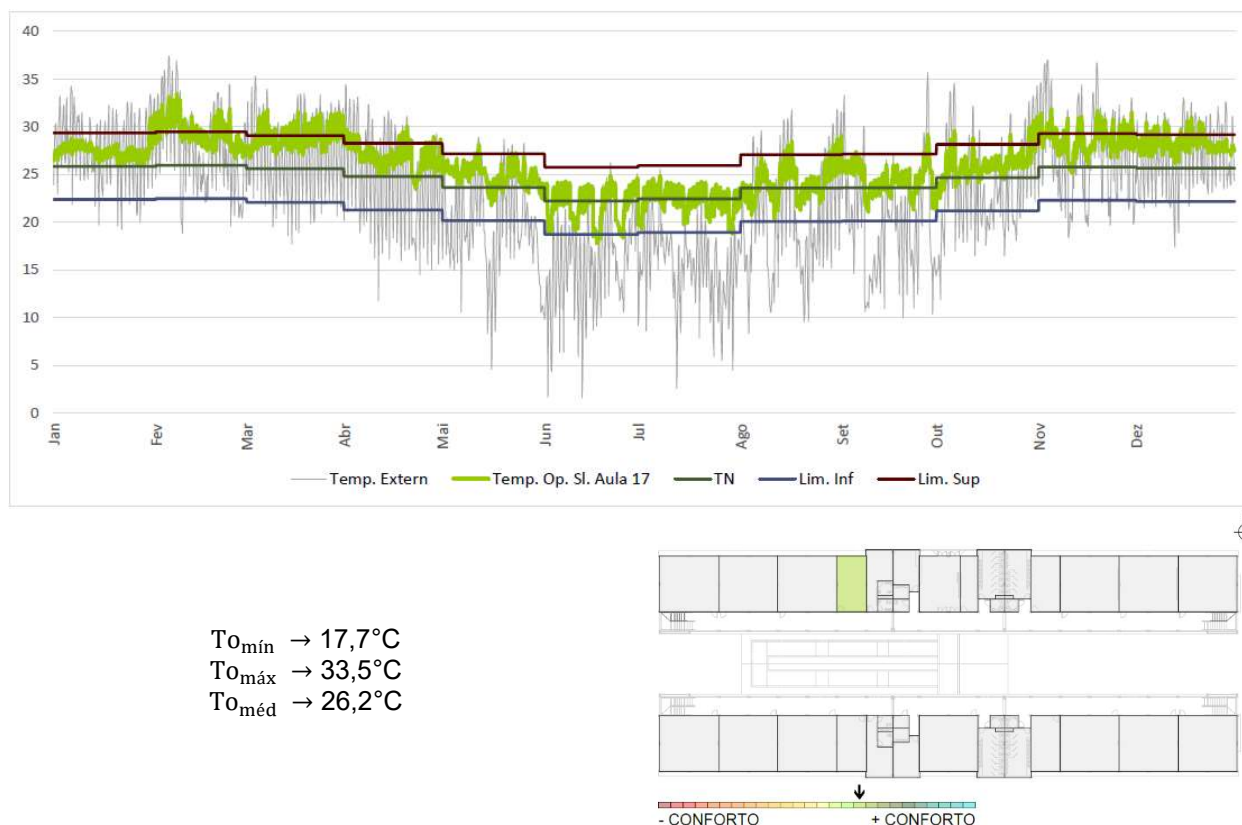
No gráfico referente à sala de aula 15, apresentado na Figura 5.44, percebe-se, novamente, um aumento no percentual de horas ocupadas em desconforto por calor relativamente ao espaço congênere no Bloco de Aulas 01, atingindo 21,06%. As razões para a intensificação do desconforto, presumivelmente, são as mesmas apontadas para os índices atingidos pela sala de aula 14. O sobreaquecimento foi mais frequente no decorrer dos meses de fevereiro, março, novembro e dezembro, mas com picos também em abril, maio, agosto, setembro e outubro. O percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 78,21% e em desconforto por frio foi de 0,73%, com picos nos meses de maio, junho e julho. Ressalta-se que a pequena alteração no índice de desconforto por frio pode, assim como nos demais casos, ter relação com a redução das trocas de calor com o meio externo. Relativamente a sala de aula subsequente, esses resultados foram, mais uma vez, muito similares. Ao que tudo indica, a localização e configuração do ambiente; com posicionamento e área equivalente, e com número, proporção e posição idêntica de aberturas; foram determinantes para tal.

Figura 5.45. Sala de Aula 16 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



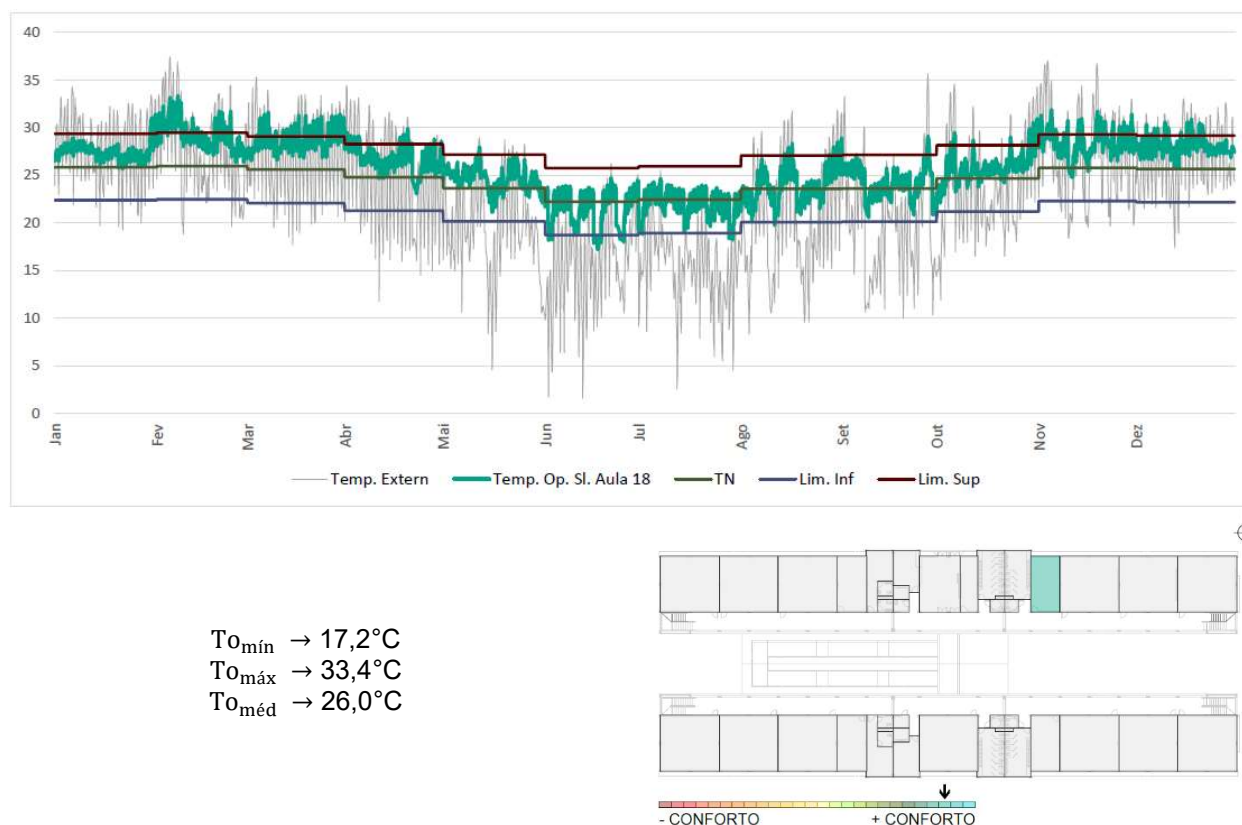
Do mesmo modo, os períodos em que se verificam condições de desconforto por aquecimento ou por frio se repetem no Bloco de Aulas 02, ocorrendo apenas variações nos percentuais, conforme gráfico apresentado na Figura 5.45. A sala de aula 16, tal como as anteriores no mesmo prédio, proporcionou um percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico de 78,58%, em desconforto por calor de 20,71% e por frio de 0,71%. Conforme mencionado, acredita-se que a semelhança nos resultados obtidos pelas salas de aula 15 e 16 ocorre devido à localização e configuração dos ambientes.

Figura 5.46. Sala de Aula 17 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



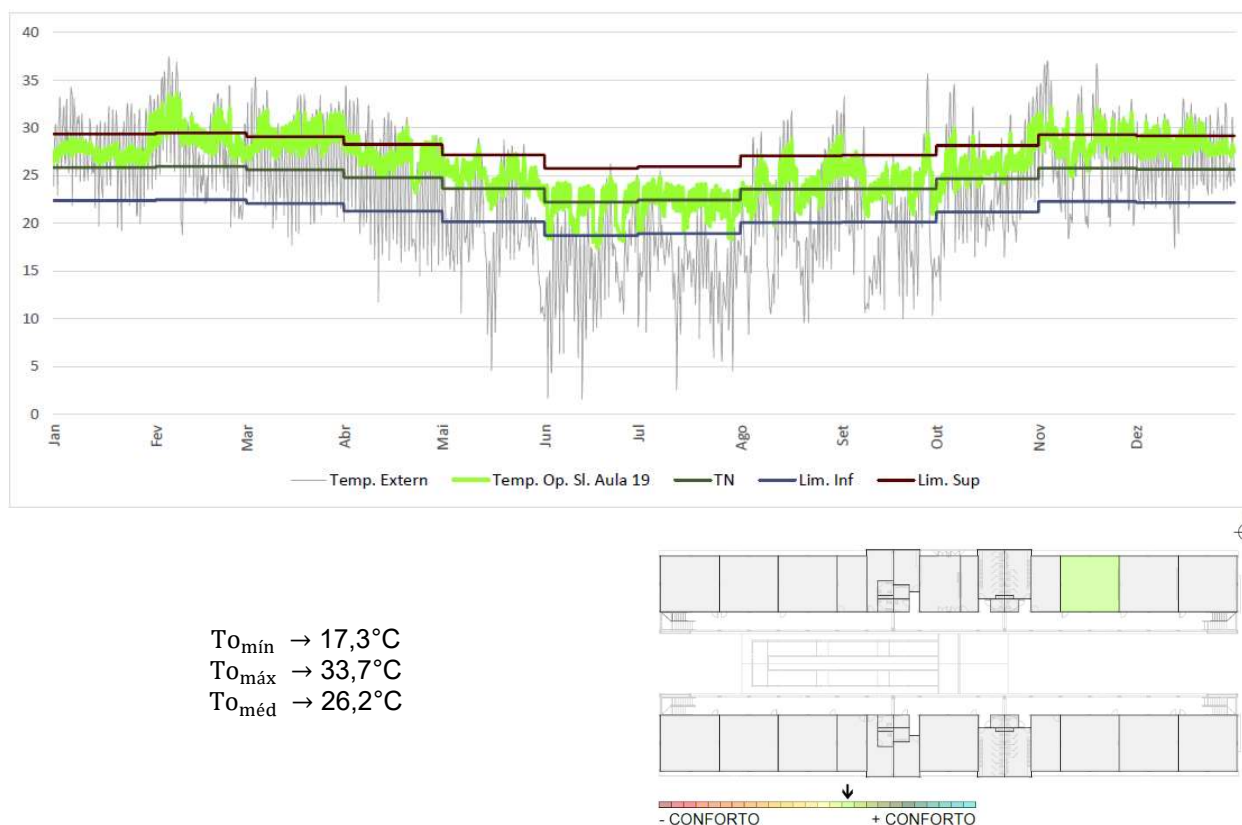
A sala de aula 17, menor e localizada mais ao centro da edificação, apresentou um percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico de 82,02%, em desconforto por calor de 17,33% e por frio de 0,65%. Percebe-se que, dentre todos os ambientes analisados, o valor de temperatura operativa máxima ficou entre um dos menores, 33,5°C em fevereiro. Já a temperatura operativa mínima foi a maior do Edifício Multiuso, 17,7°C em junho (Figura 5.46). Assim como na sala de aula 04, os resultados apontam uma melhora nas condições de bem-estar térmico em relação aos ambientes adjacentes, variando positivamente e de forma semelhante por volta de 4% em média. Identicamente, depreende-se que a posição do recinto, mais ao centro do bloco, a existência de uma projeção externa na lateral direita da sala e a redução das trocas de calor por condução tiveram influência nos índices.

Figura 5.47. Sala de Aula 18 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



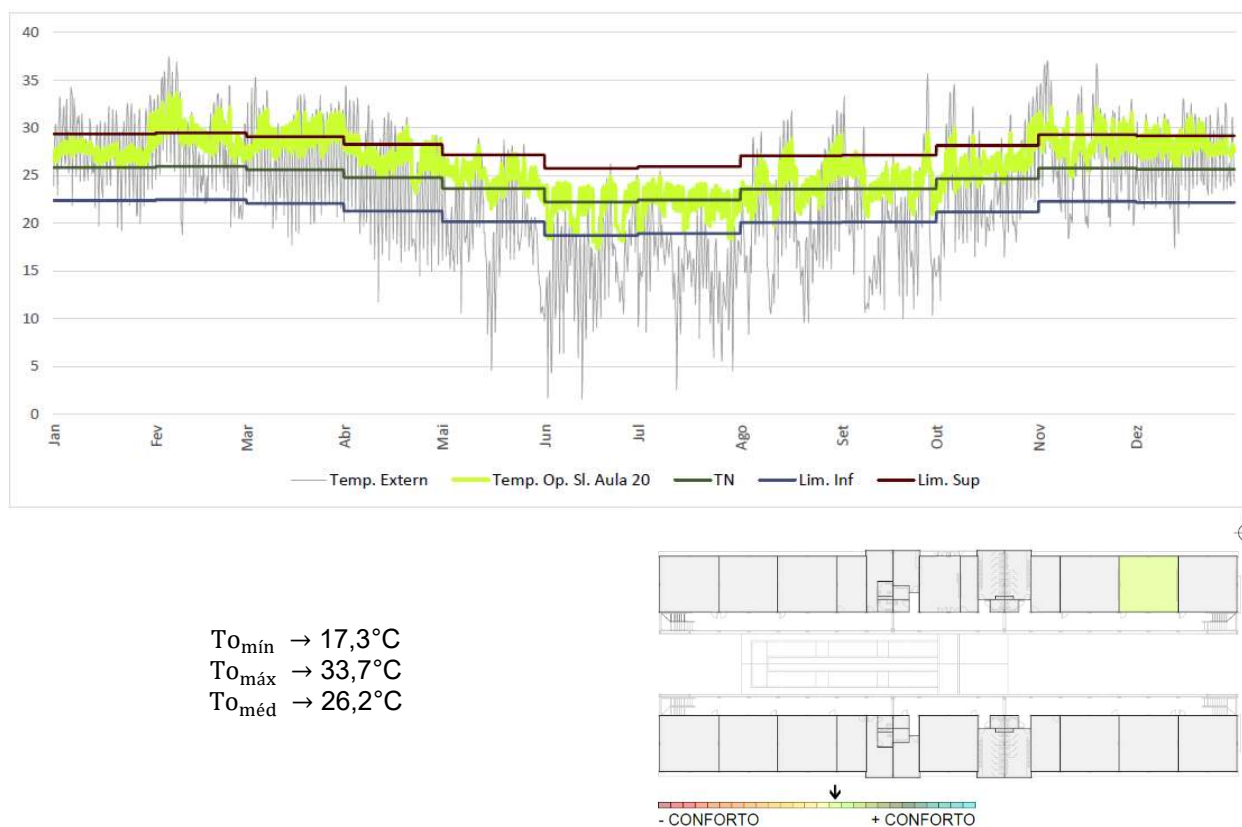
A sala de aula 18 propiciou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto no Bloco de Aulas 02, 83,31%. Similarmente, considera-se que a posição central do recinto e a projeção externa na lateral esquerda da sala, minimizando a incidência do sol vespertino, podem ter atuado positivamente sobre o resultado. Entretanto, de uma perspectiva global, o percentual foi 1,15% abaixo daquele observado para a sala de aula 06, ambiente localizado em posição semelhante no Bloco de Aulas 01. Já o percentual de desconforto foi de 15,11% e 1,58%, por calor e por frio respectivamente. Assim como a sala de aula 04, 05 e 06, esse ambiente apresentou um dos menores valores de temperatura operativa máxima, 33,4°C em fevereiro (Figura 5.47). Tal qual no Bloco de Aulas 01, no Bloco de Aulas 02 o percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi maior nos ambientes posicionados na área central do pavimento térreo, sendo supostamente decisório para isso o auto sombreamento parcial da envoltória, especialmente dos elementos transparentes das salas de aula 17 e 18, e a redução dos ganhos de calor por condução.

Figura 5.48. Sala de Aula 19 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



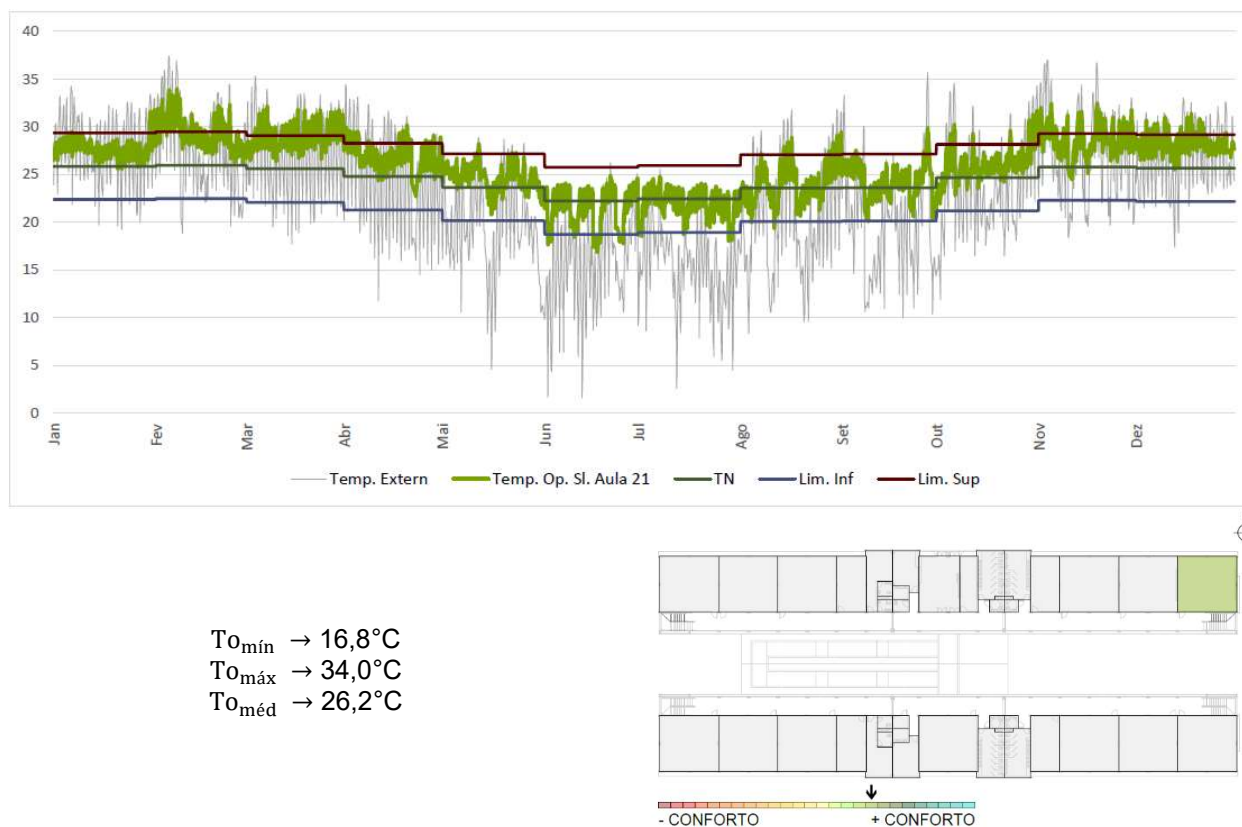
A sala de aula 19 assegurou um percentual de horas ocupadas em condição de bem-estar térmico de 80,48% e em desconforto por calor de 18,27%, índice que teve um aumento considerável em relação à sala de aula 18, possivelmente em função de sua configuração e localização mais próxima da extremidade da edificação. Já o percentual de desconforto por frio foi de 1,25%, com picos em junho e julho. É importante destacar que a partir desse ambiente observa-se uma variação recorrente, mediante a redução gradativa dos níveis de conforto térmico interno, embora os percentuais sejam melhores do que aqueles proporcionados pelas salas 14, 15 e 16. Invariavelmente, depreende-se que a diferença pode estar relacionada à menor incidência do sol vespertino nessa porção da edificação.

Figura 5.49. Sala de Aula 20 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



Na sala de aula 20, o percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 80,35%, em desconforto por calor de 18,38% e por frio de 1,27%, resultados bem semelhantes aos apresentados pela sala de aula 19. Os percentuais enfatizam o crescimento do desconforto térmico interno à medida que os ambientes se distanciam da área central do Bloco de Aulas 02, reafirmando as ponderações expostas na análise anterior. Em relação às salas localizadas em posição equivalente no Bloco de Aulas 01, observa-se uma diferença desfavorável girando em torno de 1% em média, supostamente devido à incidência da radiação solar sobre a fachada exposta do Bloco de Aulas 02.

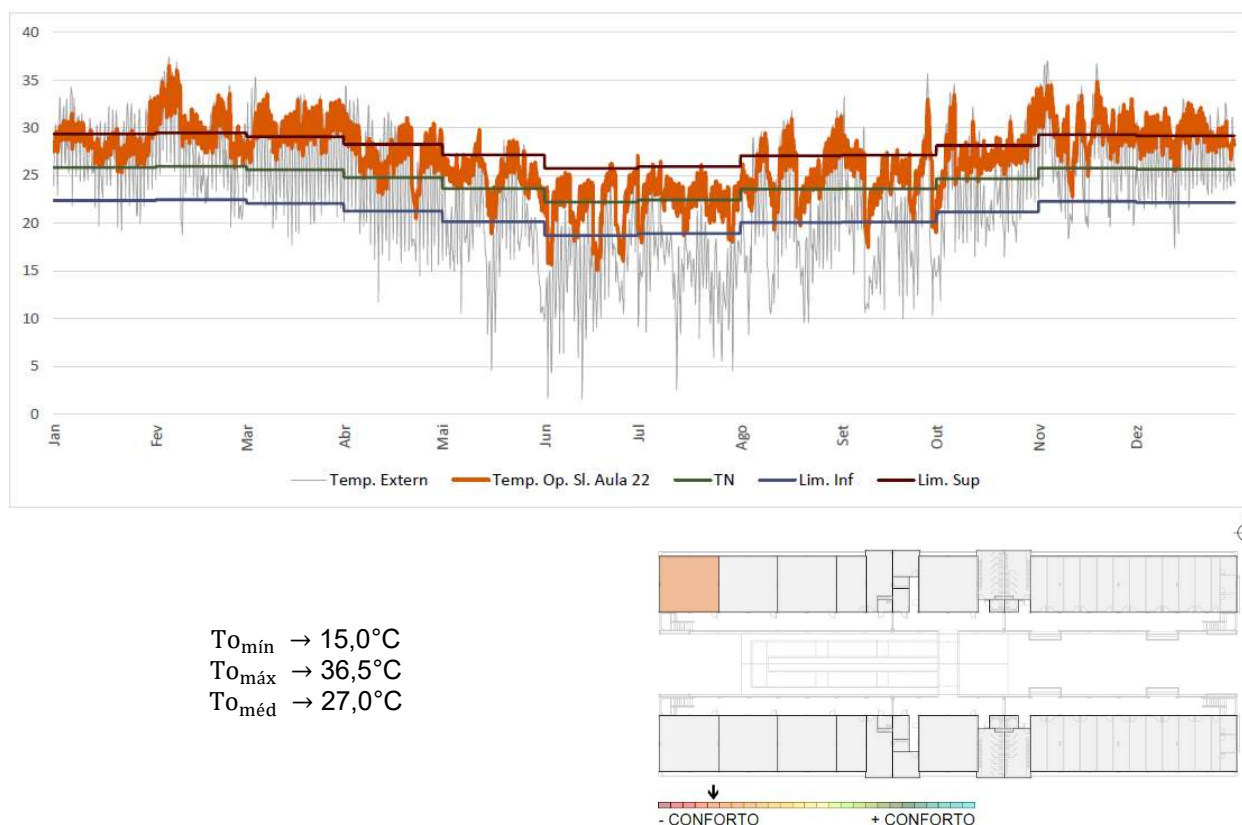
Figura 5.50. Sala de Aula 21 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



A sala de aula 21, de forma equivalente às salas de aula 01, 09 e 14, apresentou um ligeiro aumento no percentual de horas ocupadas em situação de desconforto por frio, em relação ao ambiente adjacente, 2,08%. Depreende-se que essa circunstância pode estar atrelada à posição do recinto, localizado na extremidade da edificação, face leste, acarretando maiores trocas de calor com o meio externo. O percentual de horas ocupadas em situação de desconforto por calor foi de 19,52% e em condição de conforto térmico de 78,40%.

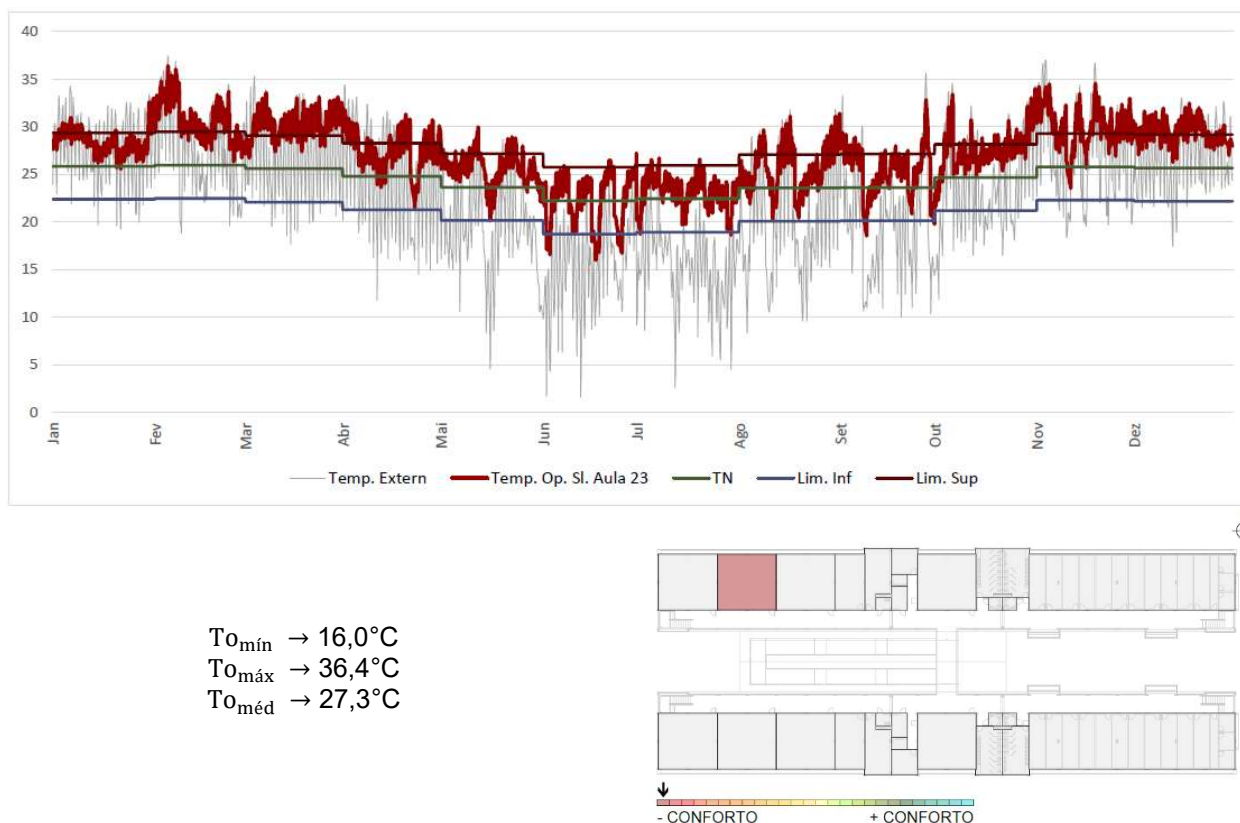
A porcentagem média de bem-estar térmico assegurada por esses ambientes localizados no pavimento térreo do Bloco de Aulas 02 foi de 79,88%, redução de aproximadamente 1,50%, em comparação ao Bloco de Aulas 01. Outra vez, conforme apresentado na sequência, os resultados obtidos para as salas de aula instaladas no pavimento superior desse bloco destoam dos expostos até aqui, com uma porcentagem média de bem-estar térmico de 62,94%, uma variação negativa de cerca de 17%. Em geral, considera-se que a localização da cobertura, imediatamente acima das salas, pode ter influenciado nas condições de conforto térmico desses espaços, reduzindo a temperatura interna, durante os períodos de temperatura baixa e aumentando durante os períodos de temperatura elevada, dificultando a dissipação do calor e do frio.

Figura 5.51. Sala de Aula 22 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



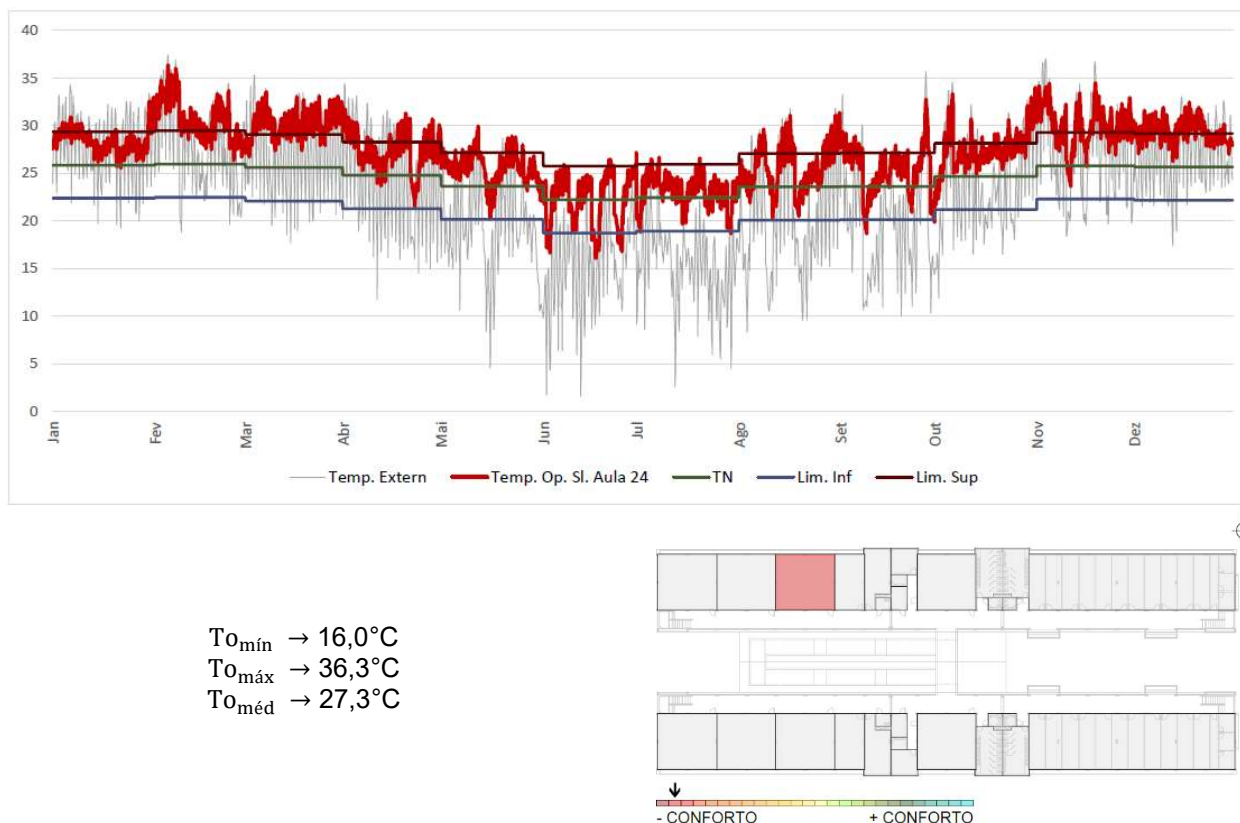
Na Figura 5.51 observa-se que a variação da temperatura operativa da sala de aula 22, assim como da sala de aula 10, excedeu de maneira mais acentuada aos limites da zona de conforto térmico. Relativamente às salas de aula do pavimento térreo, o resultado expõe um percentual de horas ocupadas em estado de bem-estar térmico bem menor, apenas 61,27%. Evidencia-se, ainda, que o percentual de horas ocupadas em desconforto por calor aumentou consideravelmente, chegando a 35,67%, condição que ocorreu com mais frequência durante os meses de fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, mas com picos em abril, maio, agosto e setembro. Conforme relato anterior, acredita-se que a influência da cobertura pode ter agravado a condição de sobreaquecimento do ambiente. Já o percentual de desconforto por frio foi de 3,06%, uma alteração relevante, em comparação aos demais ambientes desse bloco. Novamente, o resultado pode estar associado à posição do recinto, acomodado na extremidade do edifício, e, além disso, junto à cobertura. A sala de aula 22, assim como a 10, apresentou ainda a maior temperatura operativa máxima durante as horas ocupadas do Edifício Multiuso, 36,5°C em fevereiro, possivelmente por efeito de sua localização. Não obstante, a temperatura operativa média desse ambiente foi ligeiramente menor do que a observada na sala de aula adjacente, o que pode esclarecer a diferença nos percentuais proporcionados pela sala de aula 23.

Figura 5.52. Sala de Aula 23 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



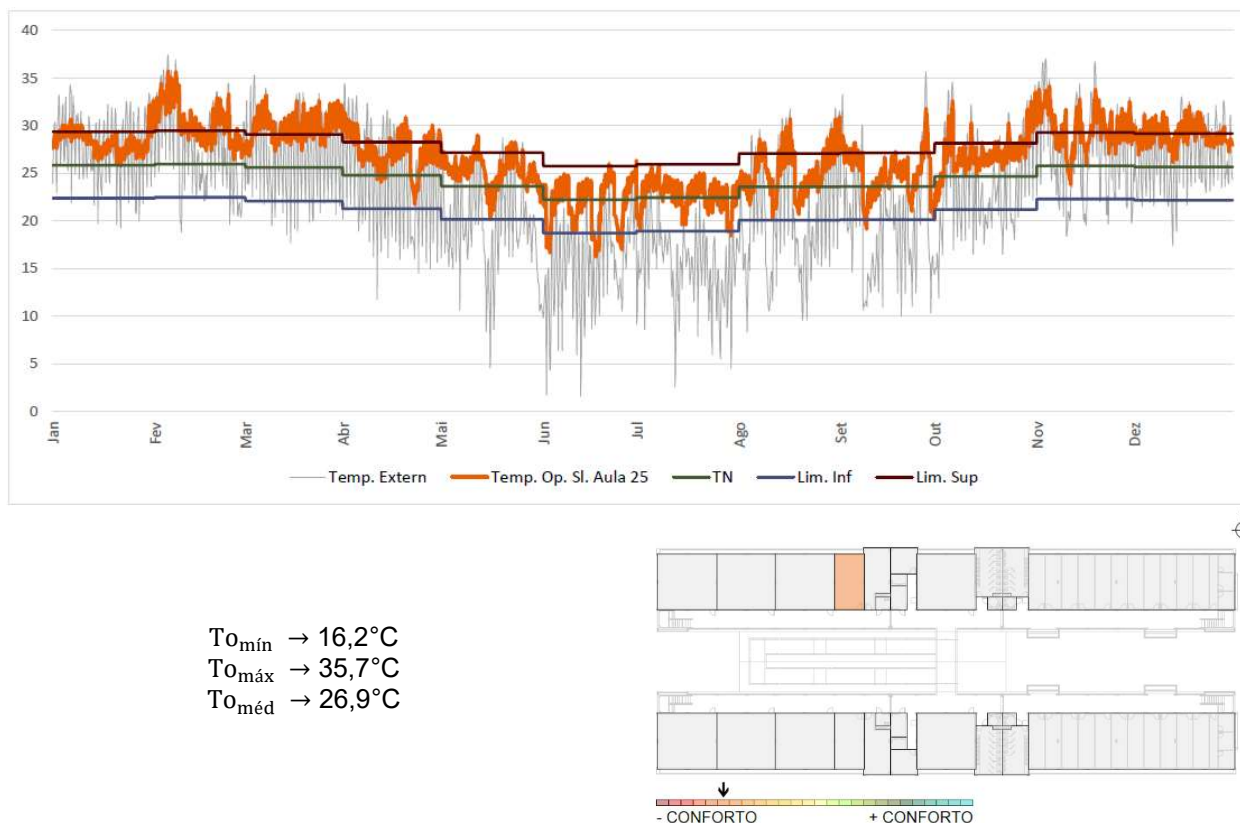
A sala de aula 23, assegurou um percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico de 59,46%, bem como um percentual de horas ocupadas em desconforto por calor de 38,94%, os piores índices entre todos os ambientes analisados no Bloco de Aulas 02, bem como no Edifício Multiuso. Repetidamente, os resultados variaram de modo similar nas salas 01, 02, 10 e 11, bem como nas salas 14, 15, 22 e 23. Relativamente aos ambientes posicionados no pavimento superior, deduz-se que o aumento do desconforto ocorre devido à proximidade com a cobertura. No que diz respeito ao Bloco de Aulas 02, depreende-se, conforme já esboçado, que a incidência da radiação solar sobre a fachada exposta da edificação pode ter influenciado o resultado. Já o percentual de desconforto por frio proporcionado pela sala de aula 23 foi de 1,60%, um valor mediano. Esse foi um dos espaços que apresentou, durante as horas ocupadas, um dos valores mais elevados de temperatura operativa máxima, 36,4°C em fevereiro (Figura 5.52). Ademais, foi uma das salas de aula que alcançou a maior temperatura operativa média do conjunto analisado, 27,3°C. Considera-se que a incidência do sol vespertino em razão da posição do ambiente e, novamente, a influência da cobertura podem explicar esses resultados.

Figura 5.53. Sala de Aula 24 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



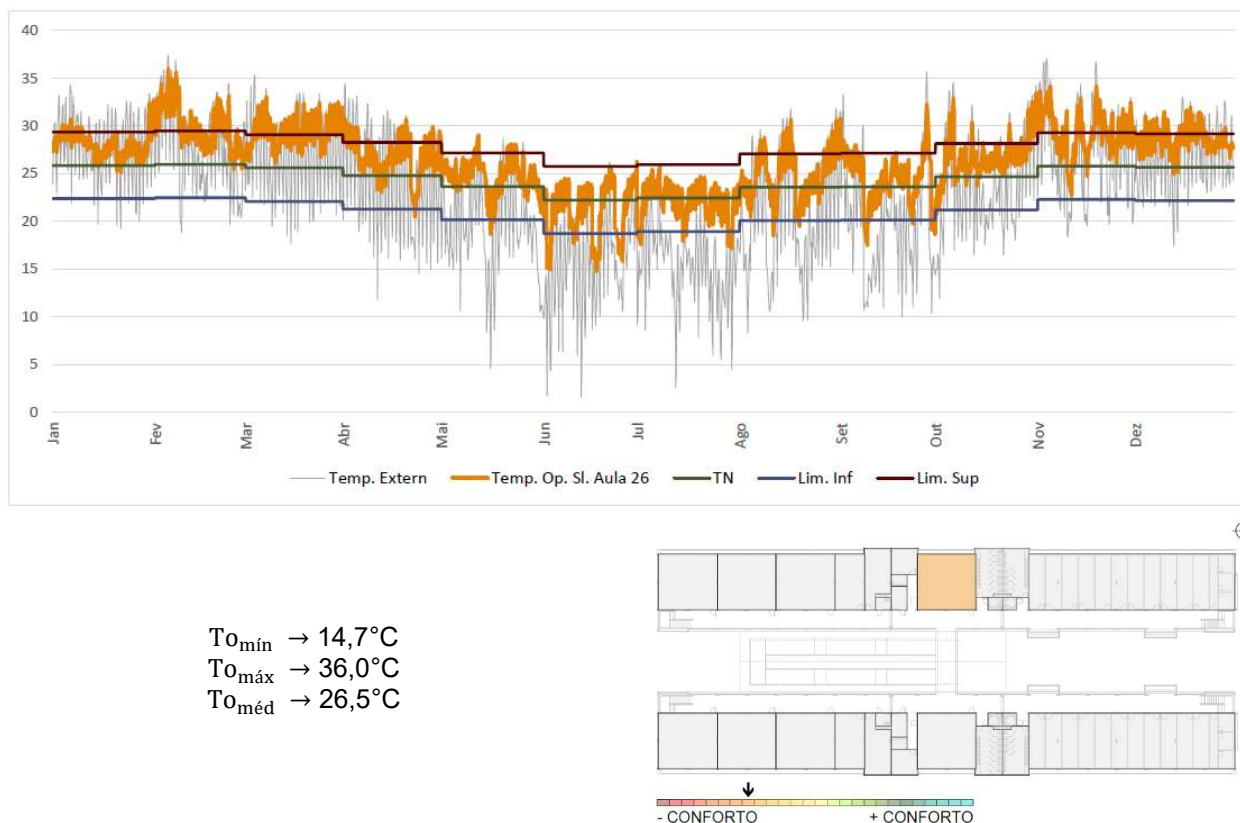
O gráfico apresentado na Figura 5.53, relativo à sala de aula 24, indica que o desconforto por calor ocorreu com mais frequência nos meses de fevereiro, março, novembro e dezembro, atingindo o percentual de horas ocupadas nessa condição de 38,56%, muito similar ao resultado obtido pela sala de aula 23. O percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 59,92%. Já o percentual de horas ocupadas em desconforto por frio foi de 1,52%, com picos mais frequentes em junho. A semelhança nos resultados obtidos pelas salas 23 e 24 possivelmente tem relação com a localização e configuração de ambos os recintos, bem como nas salas 2 e 3, 07 e 08, 11 e 12, 15 e 16, e 19 e 20.

Figura 5.54. Sala de Aula 25 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



Na sala de aula 25 o percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi de 65,71%, uma melhoria importante em comparação aos ambientes contíguos no pavimento superior do Bloco de Aulas 02, mas ainda com problemas sob a ótica do bem-estar térmico. O percentual de desconforto por calor foi de 32,69%, e de desconforto por frio foi de 1,60%. A posição central do ambiente, a existência de uma projeção externa na lateral direita da sala e a redução dos ganhos de calor por condução podem ter interferido nos resultados, do mesmo modo que nas salas 06 e 17.

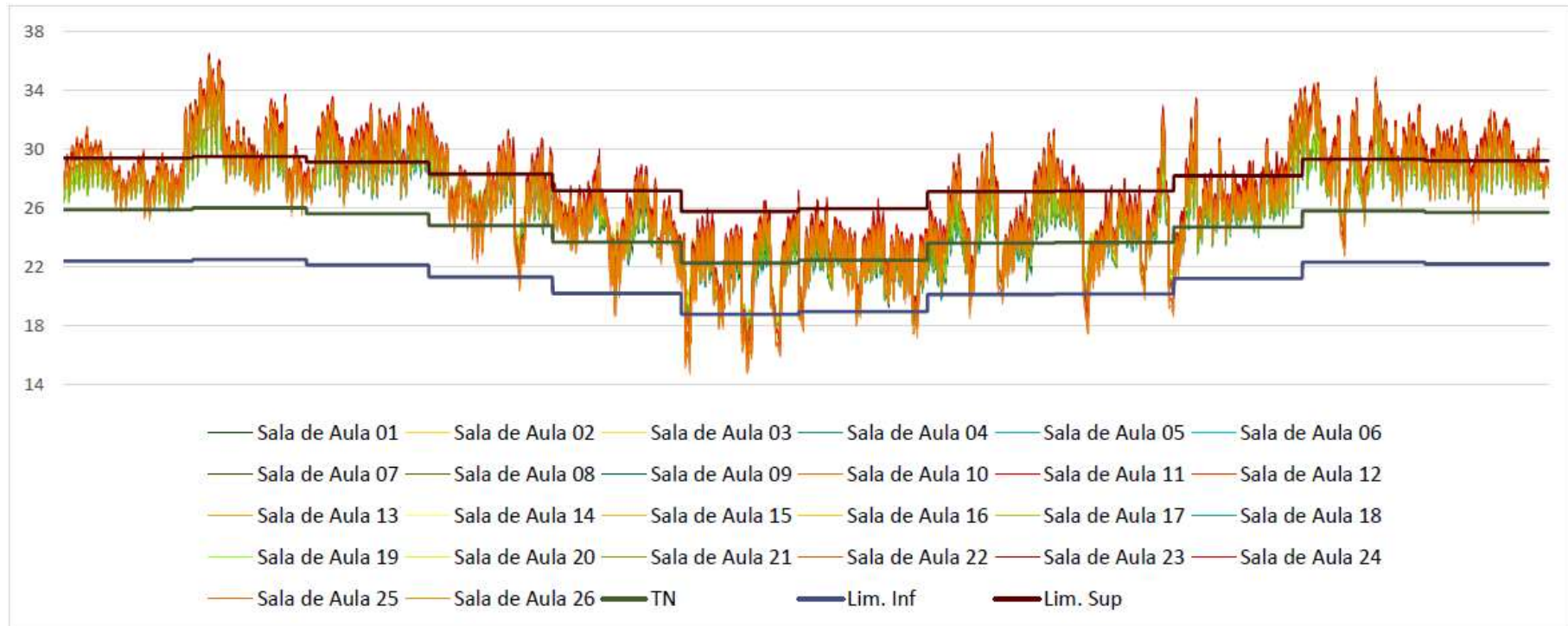
Figura 5.55. Sala de Aula 26 - Variação da temperatura operativa em relação a temperatura neutra, +/- 3,5°C



A análise dos resultados da sala de aula 26 (Figura 5.55), aponta para uma melhora nas condições de conforto térmico relativamente às salas localizadas no pavimento superior do Bloco de Aulas 02. Esse ambiente assegurou um percentual de horas ocupadas em situação de bem-estar térmico de 68,35%, um percentual de desconforto por calor de 27,73% e de desconforto por frio de 3,92%, sendo esse último o maior índice do Edifício Multiuso. Depreende-se que a localização do ambiente e a existência de projeções externas em ambas as laterais do recinto, tal como na sala de aula 5, interferiram nos resultados, agravados pela proximidade com a cobertura.

Por certo, o percentual de desconforto térmico foi maior no pavimento superior de ambos os blocos, sendo mais expressivo nas salas 10, 11, 12, 22, 23, 24 e 25, com índices maiores do que 30%. O gráfico da Figura 5.56 traz a variação da temperatura operativa de todas as salas de aula do Edifício Multiuso, mostrando sua correlação com a temperatura neutra, máxima para calor e máxima frio, faixa de aceitabilidade térmica para 80% do grupo (ASHRAE, 2020).

Figura 5.56. Compilação dos resultados de desempenho térmico de todas as salas de aula



Em síntese, nenhuma das salas de aula analisadas garantiu a porcentagem de horas ocupadas em situação de conforto térmico maior ou igual a 90%. Vale complementar que a INI-C (INMETRO, 2021) determina que quando o percentual de horas ocupadas em desconforto por calor for superior à 10%, é necessária a apresentação de projeto para condicionamento artificial da edificação, visando o atendimento do período em que a ventilação natural não for suficiente. Salienta-se que a UNILA possui o projeto de ar-condicionado para o Edifício Multiuso, sem, entretanto, correlacioná-lo ao condicionamento natural dos espaços.

O ambiente que proporcionou os melhores níveis de conforto térmico foi a sala de aula 06, localizada no térreo e ao centro do Bloco de Aulas 01, sendo que os piores níveis, quando comparados aos demais, foram alcançados na sala de aula 23, posicionada mais a oeste no pavimento superior do Bloco de Aulas 02. Em relação à sala 06, entende-se que a posição do recinto, mais ao centro e orientado para o sul, a configuração da edificação, notadamente o volume acarretado pelo formato do ambiente que acomoda as instalações sanitárias, e o auto sombreamento decorrente disso, assim como o contato com o solo, a existência de um pavimento superior e o padrão de uso e ocupação menos intenso de sala adjacente podem explicar o resultado. Quanto à sala 23, considera-se que a influência da incidência do sol vespertino, em razão da orientação da edificação e posição do ambiente, juntamente com a influência da cobertura pode explicar esse fato. É importante destacar que esses resultados foram semelhantes aos verificados nos ambientes condicionados artificialmente.

A partir dos percentuais de conforto e desconforto obtidos para o Edifício Multiuso, de modo geral, depreende-se que as salas de aula acomodadas no térreo da edificação, proporcionaram as melhores condições de conforto térmico. Supostamente, o contato com o solo e a existência de um pavimento superior podem ter atuado para esse resultado. Ademais, observa-se que as condições de conforto térmico são melhores nos ambientes posicionados na orientação leste de cada edificação.

Em ambos os blocos, verifica-se uma variação regular no percentual de desconforto por frio entre as salas de aula localizadas na extremidade leste ou oeste da edificação, notadamente as classes 01, 09, 10, 14, 21 e 22, e as imediatamente contíguas. Essa condição desfavorável apresentada pelos ambientes posicionados nas laterais, ligeiramente mais elevada, pode estar associada à posição da sala, acarretando maiores trocas de calor com o meio externo, visto terem uma maior área de elemento externo exposto.

Vale evidenciar que embora notados percentuais de desconforto por frio, estes podem ser considerados inexpressivos. Possivelmente, o período de uso das salas de aula pode ajudar a explicar esse dado, tendo em vista que as temperaturas mais baixas não são predominantes nos horários de funcionamento da instituição.

A semelhança nos resultados obtidos pelas salas 02 e 03, 07 e 08, 11 e 12, 15 e 16, 19 e 20, e 23 e 24, possivelmente tem relação com a localização e configuração de ambos os

recintos. Ao que parece, a posição, dimensão equivalente desses ambientes, o número, proporção e posição idêntica de aberturas suscitaram repercussões semelhantes. Além disso, os ambientes imediatamente contíguos possuem o mesmo padrão de uso e ocupação, influenciando de forma equivalente as trocas de calor por condução sofridas pelo conjunto de salas.

Comparativamente, observa-se que as salas situadas no lado oeste da edificação possuem condições menos favoráveis em relação às posicionadas no lado leste do imóvel. Nesse caso, admite-se que a maior influência da incidência do sol vespertino sobre essa parcela da construção pode explicar o resultado.

Os resultados alcançados pelas salas de aula 04, 06, 13, 17, 18 e 25 apontam uma melhora nas condições de conforto térmico em relação aos ambientes contíguos analisados. Presume-se que a posição desses recintos, mais ao centro, e a existência de projeção externa em uma das laterais de cada sala, promovendo o auto sombreamento da superfície externa, tiveram influência nos índices obtidos. Outro fator que pode estar associado às trocas de calor por condução, pois esses espaços possuem ambientes adjacentes com padrão de uso e ocupação menos intenso.

Da mesma forma, acredita-se que a localização e a existência de projeções externas interferiram nos resultados das salas 05 e 26. Esses elementos construtivos, decorrentes da configuração das salas adjacentes, podem ainda ter influenciado no percentual de desconforto por frio, na medida em que funcionam como elementos de sombreamento, bloqueando parte da absorção de calor do sol pela envoltória.

Fazendo uma relação entre os blocos, verifica-se uma discrepância moderada entre os percentuais assegurados pelo Bloco de Aulas 01 e os viabilizados pelo Bloco de Aulas 02. Ao que tudo indica, a diferença de aproximadamente 3% deve-se a uma possível atuação da radiação solar sobre a fachada exposta do Bloco de Aulas 02, superfície com uma das maiores porcentagens de elementos transparentes.

Observando cada bloco de forma isolada, percebe-se uma variação negativa substancial entre os percentuais de conforto e desconforto por calor proporcionados pelas salas de aula localizadas no pavimento térreo e no pavimento superior. Acredita-se que a localização da cobertura, imediatamente acima das salas, pode ter relação com essa oscilação. Aparentemente, a telha de aço galvanizado com isolante tipo EPS especificada em projeto dificulta a dissipação do calor absorvido por esses ambientes, em especial através dos elementos transparentes. Esse fator pode, similarmente, ter contribuído para a redução da temperatura interna dos ambientes nos períodos de clima frio. Ademais, a existência de uma câmara de ar sem ventilação entre a telha e a laje pode ter agravado a situação, intensificando o sobreaquecimento interno, através da redução da resistência térmica e lenta transferência, para as salas de aula, do calor absorvido durante os períodos de temperatura elevada.

Sinteticamente, os resultados apontaram que algumas especificações e elementos construtivos utilizados no Edifício Multiuso, passíveis de controle durante a elaboração do projeto arquitetônico, possivelmente contribuíram para a redução dos níveis de conforto térmico das salas de aula.

5.3. DIAGNÓSTICO CONSIDERANDO A APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PROJETUAIS PARA OTIMIZAÇÃO TERMO ENERGÉTICA DO MODELO DE REFERÊNCIA

5.3.1. Resultado das Simulações Computacionais - Tinta Cor Palha

Neste item serão exibidos os resultados obtidos para a edificação, com a substituição de cor da fachada externa por outra de tonalidade mais clara, considerando o material tinta acrílica semibrilho cor palha, mesmo padrão utilizado nas paredes internas. A mudança baseou-se na diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 43, apresentada no item “5.1.1.1, Análise bioclimática” e, ainda, destina-se a adequar o valor de absorvância (α) da envoltória aos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C conforme exposto no tópico “5.2.1, Propriedades Térmicas da Envoltória”, de modo a analisar o impacto dessa opção nas condições de conforto térmico e consumo energético das salas de aula.

5.3.1.1. *Consumo energético com refrigeração e aquecimento*

A simulação utilizando os parâmetros estabelecidos para a nova cor de fachada permitiu reavaliar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente. Os dados obtidos, mais uma vez, revelaram o desempenho energético dos ambientes de ambos os pavimentos e blocos, representado pela demanda por aquecimento e refrigeração (Tabela 5.15). Reitera-se que os valores destacados se referem aos maiores e menores consumos por m².

Tabela 5.15. Tinta cor palha - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente (m ²)	Consumo de energia para aquecer o ambiente (kWh)	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente (kWh)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo total de energia por m ² (kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	14,07	0,17	9017,96	107,79	107,96
Sl. Aula 02	82,77	8,81	0,11	9293,05	112,28	112,39
Sl. Aula 03	82,77	8,69	0,10	9273,55	112,04	112,14
Sl. Aula 04	41,39	4,52	0,11	4405,91	106,45	106,56
Sl. Aula 05	82,77	15,87	0,19	8521,18	102,95	103,14
Sl. Aula 06	41,38	6,69	0,16	4215,67	101,85	102,01
Sl. Aula 07	82,77	11,11	0,13	9001,89	108,76	108,89
Sl. Aula 08	82,77	11,16	0,13	9010,71	108,86	108,99
Sl. Aula 09	83,66	16,50	0,20	8820,99	105,44	105,64
Sl. Aula 10	83,66	22,87	0,27	10022,71	119,80	120,07
Sl. Aula 11	82,77	13,69	0,17	10487,12	126,70	126,87
Sl. Aula 12	82,77	13,38	0,16	10468,90	126,48	126,64
Sl. Aula 13	41,39	7,76	0,19	4881,06	117,93	118,12
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	12,64	0,15	9248,03	110,54	110,69
Sl. Aula 15	82,77	7,84	0,09	9541,23	115,27	115,36
Sl. Aula 16	82,77	7,69	0,09	9529,56	115,13	115,22
Sl. Aula 17	41,39	3,83	0,09	4562,33	110,23	110,32
Sl. Aula 18	41,39	5,91	0,14	4344,44	104,96	105,10
Sl. Aula 19	82,77	10,15	0,12	9204,95	111,21	111,33
Sl. Aula 20	82,77	10,21	0,12	9213,86	111,32	111,44
Sl. Aula 21	83,66	15,05	0,18	9015,46	107,76	107,94
Sl. Aula 22	83,66	18,83	0,23	10407,63	124,40	124,63
Sl. Aula 23	82,77	11,30	0,14	10919,51	131,93	132,07
Sl. Aula 24	82,77	10,92	0,13	10913,86	131,86	131,99
Sl. Aula 25	41,39	5,75	0,14	5177,64	125,09	125,23
Sl. Aula 26	82,77	23,81	0,29	9751,37	117,81	118,10

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

Constata-se que para o Edifício Multiuso, o menor e maior consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu, respectivamente, nas salas de aula 15, 16 e 17, com 0,09 kWh/m², localizadas no térreo do Bloco de Aulas 02, e na sala de aula 26, com 0,29 kWh/m², posicionada no pavimento superior do Bloco de Aulas 02. O maior e menor consumo para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 23, com 131,93 kWh/m², localizada no pavimento superior do Bloco de Aulas 02, e na sala de aula 06, com 101,85 kWh/m², situada no pavimento térreo do Bloco de Aulas 01, conforme apresentado nas Figuras 5.57 e 5.58. O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 299,05 kWh e para arrefecimento de 219.250,57 kWh, sendo que o consumo energético total com condicionamento artificial foi de 219.549,62 kWh, traduzindo-se em uma carga térmica total de 115,00 kWh/m².

Figura 5.57. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

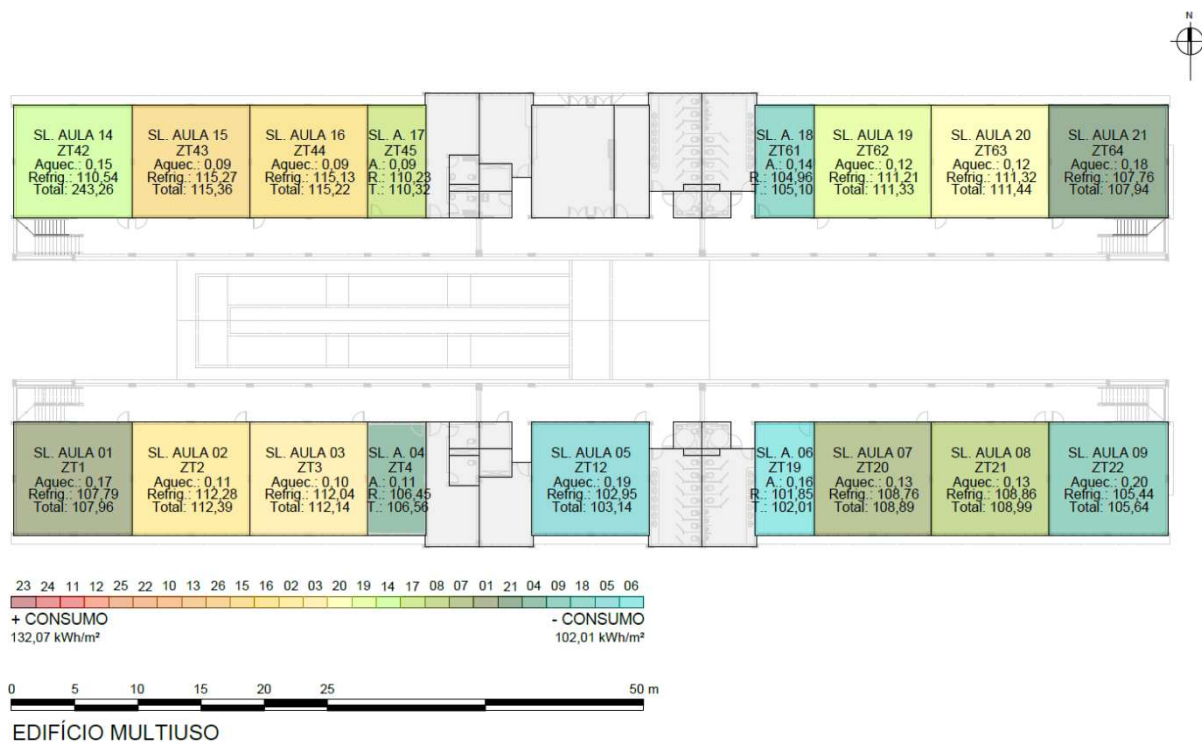


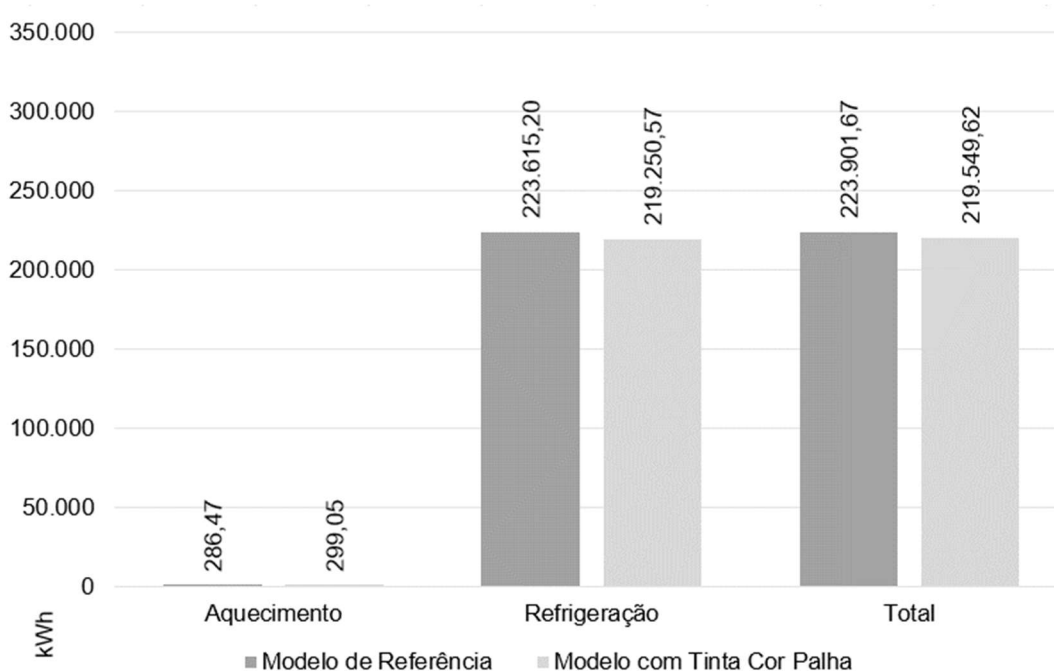
Figura 5.58. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



A demanda energética, atentando para a variação da cor empregada na fachada, representaria para a universidade um custo de R\$ 203.666,10, com base nos valores atualizados cobrados pela COPEL (2022). O menor e maior consumo com condicionamento artificial por m² foi alcançado, novamente, pelas salas de aula 06 e 23, com 102,01 kWh/m² e 132,07 kWh/m², nessa ordem.

Em comparação ao modelo de referência, o Edifício Multiuso considerando o uso de uma cor mais clara nas paredes externas alcançaria uma redução de 1,25% no consumo total de energia para condicionamento artificial dos espaços, o que representaria uma economia anual de R\$ 5.155,41. A Figura 5.59 contrapõe esses resultados.

Figura 5.59. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação da tinta cor palha nas paredes externas



5.3.1.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

A simulação do desempenho térmico do Edifício Multiuso, considerando os parâmetros estabelecidos para a nova cor de fachada possibilitou reexaminar a porcentagem das horas ocupadas em situação de conforto térmico e em desconforto por frio ou por calor de cada sala de aula ventilada naturalmente (Tabela 5.16).

Tabela 5.16. Tinta cor palha - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{mín} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,8	33,8	26,0	81,44%	2,17%	16,39%
Sl. Aula 02	17,4	33,7	26,2	81,23%	1,27%	17,50%
Sl. Aula 03	17,4	33,6	26,2	81,58%	1,23%	17,19%
Sl. Aula 04	17,4	33,3	26,0	84,77%	1,31%	13,92%
Sl. Aula 05	16,8	33,3	25,7	84,77%	2,48%	12,75%
Sl. Aula 06	17,0	33,2	25,8	85,59%	2,08%	12,33%
Sl. Aula 07	17,1	33,5	26,0	82,71%	1,90%	15,39%
Sl. Aula 08	17,1	33,5	26,0	82,50%	1,90%	15,60%
Sl. Aula 09	16,6	33,7	25,9	81,83%	2,54%	15,63%
Sl. Aula 10	14,4	36,3	26,6	65,98%	4,10%	29,92%
Sl. Aula 11	15,3	36,2	26,9	64,31%	2,29%	33,40%
Sl. Aula 12	15,4	36,2	26,9	64,77%	2,21%	33,02%
Sl. Aula 13	15,3	35,5	26,5	71,10%	2,69%	26,21%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	16,9	33,8	26,1	80,50%	1,71%	17,79%
Sl. Aula 15	17,5	33,7	26,3	80,15%	0,81%	19,04%
Sl. Aula 16	17,5	33,7	26,3	80,42%	0,81%	18,77%
Sl. Aula 17	17,6	33,3	26,1	83,58%	0,96%	15,46%
Sl. Aula 18	17,1	33,2	25,9	84,79%	1,73%	13,48%
Sl. Aula 19	17,2	33,5	26,1	81,77%	1,46%	16,77%
Sl. Aula 20	17,2	33,5	26,1	81,60%	1,50%	16,90%
Sl. Aula 21	16,7	33,7	26,0	81,27%	2,25%	16,48%
Sl. Aula 22	14,9	36,3	26,8	64,27%	3,31%	32,42%
Sl. Aula 23	15,9	36,3	27,2	61,48%	1,79%	36,73%
Sl. Aula 24	16,0	36,2	27,2	61,83%	1,65%	36,52%
Sl. Aula 25	16,1	35,6	26,8	67,69%	1,81%	30,50%
Sl. Aula 26	14,6	36,0	26,4	69,96%	4,02%	26,02%

Legenda: Menor conforto Maior conforto

O ambiente que apresentou a menor To_{mín} foi a sala de aula 10, 14,4°C, localizada na extremidade oeste do pavimento superior do Bloco de Aulas 01. A maior To_{máx} ocorreu, de forma semelhante, nas salas de aula 10, e 22 e 23, com 36,3°C, ambientes instalados no pavimento superior do Bloco de Aulas 01 e 02. Já a menor To_{máx} foi registrada, uma vez mais, na sala de aula 06, localizada no térreo do Bloco de Aulas 01, e na sala de aula 18, situada em posição semelhante no térreo do Bloco de Aulas 02, ambas com 33,2°C. A sala 06 igualmente proporcionou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico, 85,59%. A sala de aula 23, contrariamente, permaneceu com o menor percentual, 61,48%.

O desconforto por calor, assim como no modelo de referência, se manteve maior nas salas de aula localizadas no pavimento superior dos dois blocos, sendo ainda mais intenso no Bloco de Aulas 02. A explicação pode estar, em especial, na proximidade desses ambientes com a cobertura e devido a uma possível atuação da radiação solar sobre a fachada exposta do Bloco de Aulas 02. O desconforto por frio também foi mais presente no pavimento superior de ambos os

blocos, ainda assim com valores significativos nas salas de aula localizadas no térreo, notadamente nas extremidades da edificação e ao centro. Depreende-se que a proximidade das salas de aula com a cobertura pode ter influenciado inclusive na temperatura interna desses espaços durante os períodos de clima frio. Ademais, a posição das salas 01, 09, 10, 14, 21 e 22 e a existência de projeções externas em ambas as laterais das salas 05 e 26, possivelmente interferiram nos percentuais.

Mesmo com os resultados positivos alcançados pela alteração da cor das paredes externas, evidencia-se que as salas de aula 11,12, 22, 23, 24 e 25 mantiveram os percentuais de desconforto maiores do que 30%. Tal repercussão indica que a solução projetual proposta, quando aplicada de forma isolada, não seria suficiente para um aumento significativo, relativamente ao modelo de referência, dos níveis de conforto das salas de aula, localizadas no pavimento superior de ambos os blocos. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.60 e 5.61, respectivamente.

Figura 5.60. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

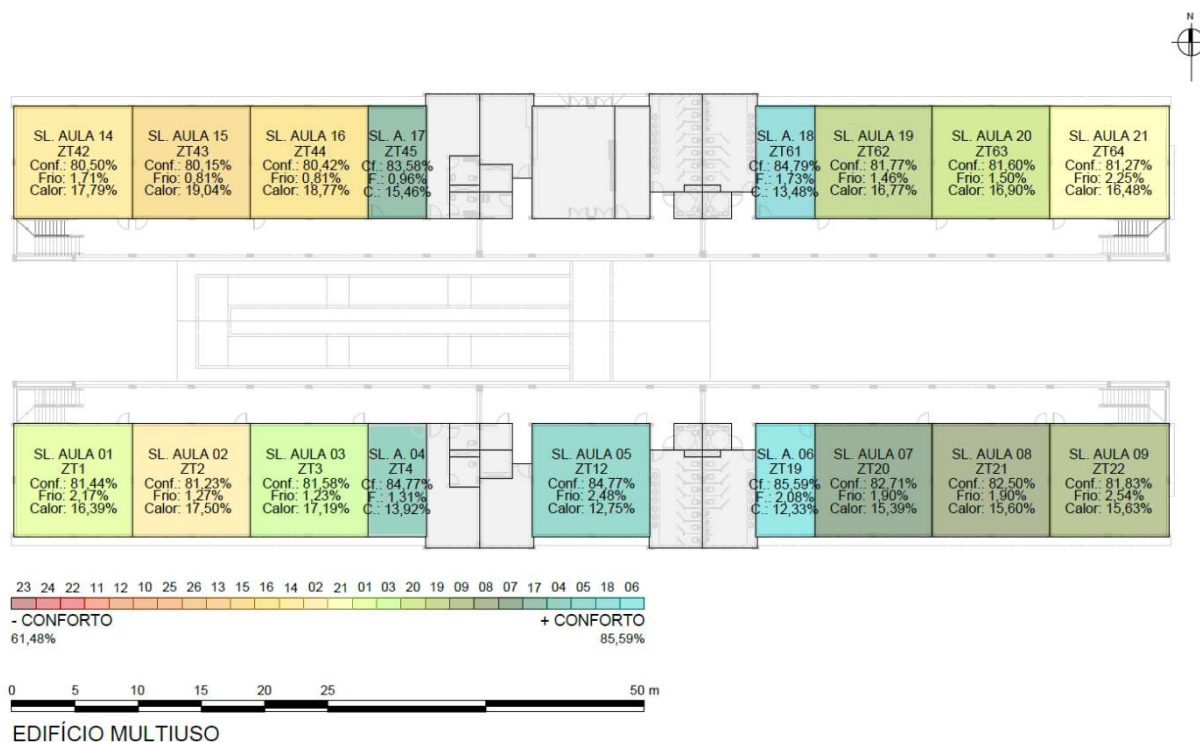
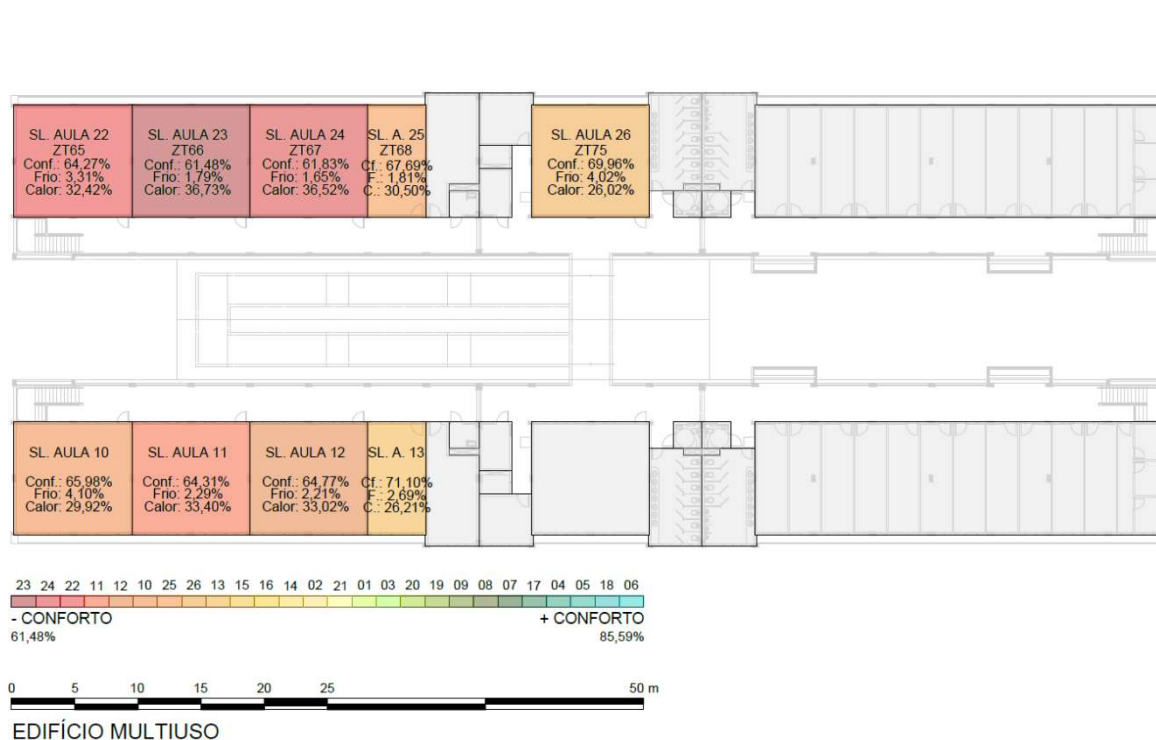
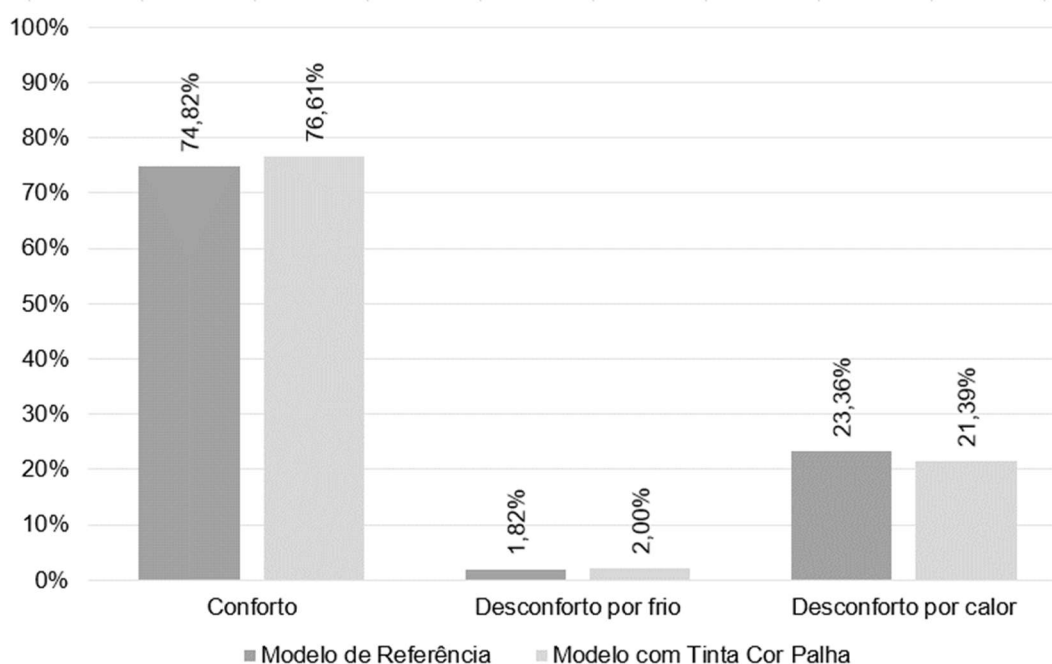


Figura 5.61. Tinta cor palha - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



Na sequência, a Figura 5.62 apresenta os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo, considerando a cor mais clara na fachada para fins de comparação. A alteração promoveria um ganho médio de 1,79% no percentual de bem-estar térmico viabilizado pelas salas de aula.

Figura 5.62. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação da tinta cor palha nas paredes externas



Conforme o esperado, a incorporação da estratégia projetual tinta cor palha proporcionou um aumento do desempenho termo energético do modelo. A diminuição do valor de absorvância, atinente a alteração da cor das paredes externas, possibilitou que uma maior fração de radiação solar incidente fosse refletida pela superfície exposta da edificação. Em regiões de clima quente, como o caso de Foz do Iguaçu, as cores claras, ou seja, de alta refletância, são desejáveis como forma de reduzir o ganho de calor solar pela envoltória e, conseqüentemente, otimizar seu desempenho, corroborando o requisito vinculado ao RTQ-C para Zona Bioclimática 3.

Em concordância ao exposto no item “5.2.1, Propriedades Térmicas da Envoltória”, faz-se necessário refletir sobre a necessidade de protocolos de manutenção com prazos mais enxutos e sobre o desembolso financeiro envolvido nesse processo, como o relacionados à mão de obra e correções.

Ainda assim, em virtude do menor custo para implementação da solução analisada, inclusive inferior ao correlato no modelo de referência, depreende-se que a opção se mostrou vantajosa para reformas substanciais no Edifício Multiuso, retroalimentação do projeto ou edificações acadêmicas novas, podendo contribuir com o conforto térmico e eficiência energética das salas de aula em locais de clima subtropical úmido.

5.3.2. Resultado das Simulações Computacionais - Vidros Monolíticos Verdes de 6mm

Este item detalha os resultados alcançados pelo Edifício Multiuso, especificamente pelas salas de aula, tendo em conta a substituição, nas esquadrias, do componente vidro monolítico incolor de 6mm por outro monolítico de mesma espessura e tonalidade verde, explorando a diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 30, apresentada ao longo do tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”.

5.3.2.1. Consumo energético com refrigeração e aquecimento

A simulação utilizando os parâmetros estabelecidos para o vidro verde permitiu apreciar novamente a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente para efeitos de posterior comparação. A Tabela 5.17 apresenta o consumo de cada sala de aula para aquecimento e refrigeração do ambiente considerando essa alteração no modelo de referência.

Tabela 5.17. Vidros verdes de 6mm - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ²	Consumo de energia para refrigerar o ambiente	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ²	Consumo total de energia por m ²
	(m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	13,68	0,16	9097,65	108,75	108,91
Sl. Aula 02	82,77	8,89	0,11	9270,67	112,01	112,12
Sl. Aula 03	82,77	8,80	0,11	9242,75	111,67	111,78
Sl. Aula 04	41,39	4,57	0,11	4380,89	105,84	105,95
Sl. Aula 05	82,77	15,77	0,19	8492,57	102,60	102,79
Sl. Aula 06	41,38	6,64	0,16	4192,54	101,29	101,45
Sl. Aula 07	82,77	11,20	0,14	8976,74	108,45	108,59
Sl. Aula 08	82,77	11,23	0,14	8988,76	108,60	108,74
Sl. Aula 09	83,66	16,01	0,19	8909,53	106,50	106,69
Sl. Aula 10	83,66	21,76	0,26	10118,75	120,95	121,21
Sl. Aula 11	82,77	13,53	0,16	10447,44	126,22	126,38
Sl. Aula 12	82,77	13,28	0,16	10418,79	125,88	126,04
Sl. Aula 13	41,39	7,66	0,19	4858,37	117,38	117,57
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	12,39	0,15	9346,16	111,72	111,87
Sl. Aula 15	82,77	7,97	0,10	9537,27	115,23	115,33
Sl. Aula 16	82,77	7,85	0,09	9518,78	115,00	115,09
Sl. Aula 17	41,39	3,89	0,09	4544,20	109,79	109,88
Sl. Aula 18	41,39	5,89	0,14	4327,01	104,54	104,68
Sl. Aula 19	82,77	10,30	0,12	9194,77	111,09	111,21

Sl. Aula 20	82,77	10,35	0,13	9207,41	111,24	111,37
Sl. Aula 21	83,66	14,67	0,18	9121,11	109,03	109,21
Sl. Aula 22	83,66	18,29	0,22	10489,21	125,38	125,60
Sl. Aula 23	82,77	11,43	0,14	10861,85	131,23	131,37
Sl. Aula 24	82,77	11,11	0,13	10846,51	131,04	131,17
Sl. Aula 25	41,39	5,80	0,14	5141,89	124,23	124,37
Sl. Aula 26	82,77	23,39	0,28	9708,79	117,30	117,58

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

Os resultados obtidos após a substituição do vidro incolor por vidro verde de mesma espessura indicam que o menor consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu na sala de aula 16 e 17, com 0,09 kWh/m², sendo que o maior aconteceu na sala de aula 26, com 0,28 kWh/m². Sistemáticamente, o maior consumo para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 23, com 131,23 kWh/m², bem como o maior consumo total por m². O menor consumo com refrigeração por m² foi constatado na sala de aula 06, com 101,29 kWh/m², do mesmo modo que o menor consumo total por m². Observou-se que o consumo total para aquecimento das salas de aula de 296,35 kWh e para arrefecimento de 219.240,41 kWh, logo, o consumo energético total com condicionamento artificial foi de 219.536,76 kWh, uma carga térmica total de 115,00 kWh/m². As Figuras 5.63 e 5.64 exibem, respectivamente, uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com o consumo em kWh/m² para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula.

Figura 5.63. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

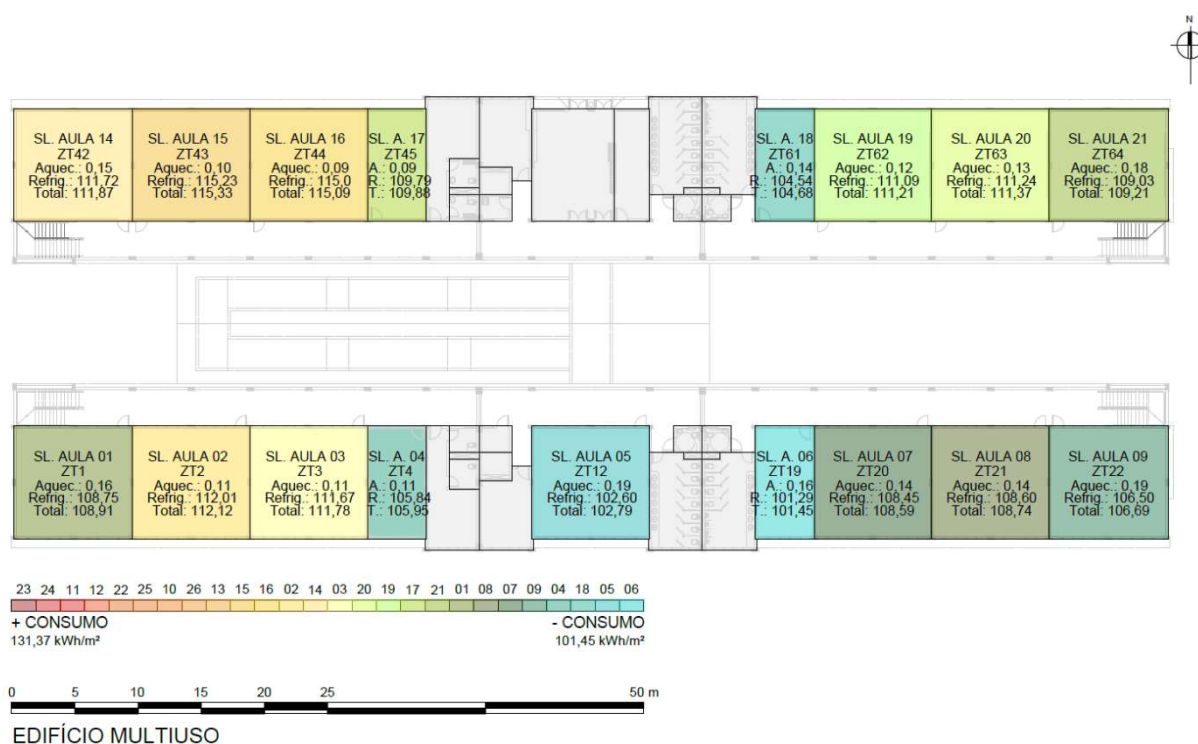
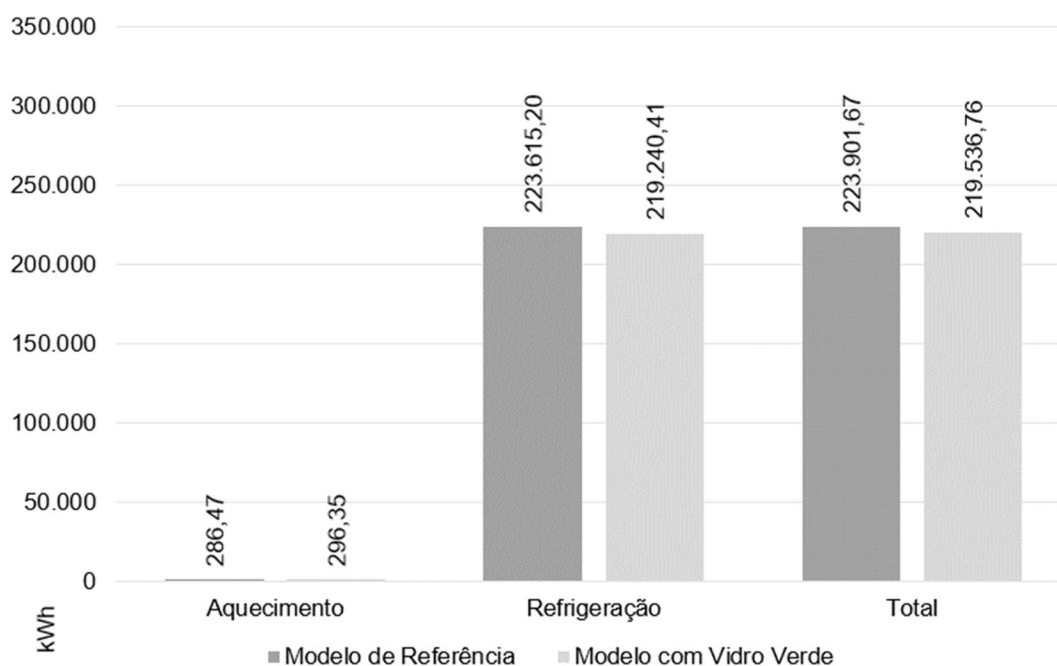


Figura 5.64. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



Mais uma vez, se examinado sob a ótica dos custos e considerando a variação do vidro a ser empregado nas esquadrias, tal demanda energética representaria um gasto de R\$ 203.387,40, com base nos valores atualizados cobrados pela COPEL (2022). Comparativamente, a edificação contando com os vidros verdes alcançaria uma redução de 1,95% no consumo total de energia para aquecimento e arrefecimento dos espaços, significando uma economia de R\$ 4.435,17. A Figura 5.65 correlaciona os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo incluindo a solução analisada.

Figura 5.65. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro verde de 6mm nas esquadrias





5.3.2.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

A segunda alternativa, visando a otimização da edificação de referência empregou os parâmetros estabelecidos para o vidro monolítico cor verde de 6mm, permitindo reavaliar o desempenho térmico de cada sala de aula ventilada naturalmente durante as horas ocupadas (Tabela 5.18).

Tabela 5.18. Vidros verdes de 6mm - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{min} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,8	33,8	26,1	80,46%	2,15%	17,39%
Sl. Aula 02	17,4	33,6	26,2	81,42%	1,27%	17,31%
Sl. Aula 03	17,4	33,6	26,1	81,90%	1,25%	16,85%
Sl. Aula 04	17,4	33,2	25,9	85,23%	1,33%	13,44%
Sl. Aula 05	16,8	33,2	25,7	85,04%	2,54%	12,42%
Sl. Aula 06	16,9	33,1	25,7	85,89%	2,17%	11,94%
Sl. Aula 07	17,1	33,4	26,0	82,81%	1,90%	15,29%
Sl. Aula 08	17,1	33,4	26,0	82,54%	1,90%	15,56%
Sl. Aula 09	16,6	33,7	26,0	81,04%	2,52%	16,44%
Sl. Aula 10	14,5	36,3	26,6	64,94%	4,00%	31,06%
Sl. Aula 11	15,3	36,1	26,9	64,92%	2,35%	32,73%

Sl. Aula 12	15,4	36,1	26,9	65,46%	2,33%	32,21%
Sl. Aula 13	15,3	35,3	26,5	71,56%	2,77%	25,67%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	16,9	33,9	26,2	79,35%	1,67%	18,98%
Sl. Aula 15	17,5	33,6	26,3	80,19%	0,85%	18,96%
Sl. Aula 16	17,5	33,6	26,3	80,54%	0,81%	18,65%
Sl. Aula 17	17,6	33,3	26,1	83,96%	0,92%	15,12%
Sl. Aula 18	17,1	33,1	25,9	85,02%	1,77%	13,21%
Sl. Aula 19	17,2	33,4	26,1	81,73%	1,50%	16,77%
Sl. Aula 20	17,2	33,5	26,1	81,71%	1,50%	16,79%
Sl. Aula 21	16,7	33,8	26,1	80,25%	2,27%	17,48%
Sl. Aula 22	14,9	36,3	26,9	63,15%	3,21%	33,64%
Sl. Aula 23	15,9	36,1	27,1	62,31%	1,83%	35,86%
Sl. Aula 24	15,9	36,1	27,1	62,79%	1,75%	35,46%
Sl. Aula 25	16,1	35,4	26,8	68,56%	1,86%	29,58%
Sl. Aula 26	14,6	35,7	26,4	70,27%	4,13%	25,60%

Legenda:  Menor conforto  Maior conforto

O ambiente que apresentou a menor To_{\min} foi a sala de aula 10, localizada no pavimento superior do Bloco de Aulas 01, com 14,5°C. A maior To_{\max} foi verificada nas salas de aula 10 e 22, localizadas no pavimento superior do Bloco de Aulas 01 e 02, com 36,3°C. A menor To_{\max} foi de 33,1°C, nas salas 06 e 18, localizadas no térreo do Bloco de Aulas 01 e 02, respectivamente. A sala de aula 06, também proporcionou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico, 85,89%. Já a sala de aula 23, situada no pavimento superior do Bloco de Aula 02, promoveu o menor percentual, 62,31%.

O desconforto por calor se manteve maior nas salas de aula localizadas no pavimento superior dos dois blocos, entretanto mais expressivo no Bloco de Aulas 02. De modo semelhante, o desconforto por frio ocorreu com maior intensidade no pavimento superior de ambos os blocos, mas com valores significativos nas salas de aula localizadas no térreo, em especial nas extremidades da edificação e ao centro.

Mais uma vez as salas de aula 10, 11, 12, 22, 23 e 24 apresentaram um percentual de desconforto maior do que 30%, apesar dos ganhos proporcionados pela incorporação do vidro verde. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.66 e 5.67, respectivamente.

Em tempo, salienta-se que os dados obtidos pelo modelo em análise refletem um comportamento térmico muito semelhante à edificação em condição real, salvo variações no percentual de conforto e nas temperaturas operativas. Dessa maneira, admite-se que os mesmos pressupostos apresentados no item “5.2.2.2, Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente”, para o modelo de referência (influência da cobertura; do auto sombreamento; das trocas de calor com o ambiente externo; da atuação da radiação solar; da posição do recinto; entre outros), podem também explicitar esses resultados.

Figura 5.66. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

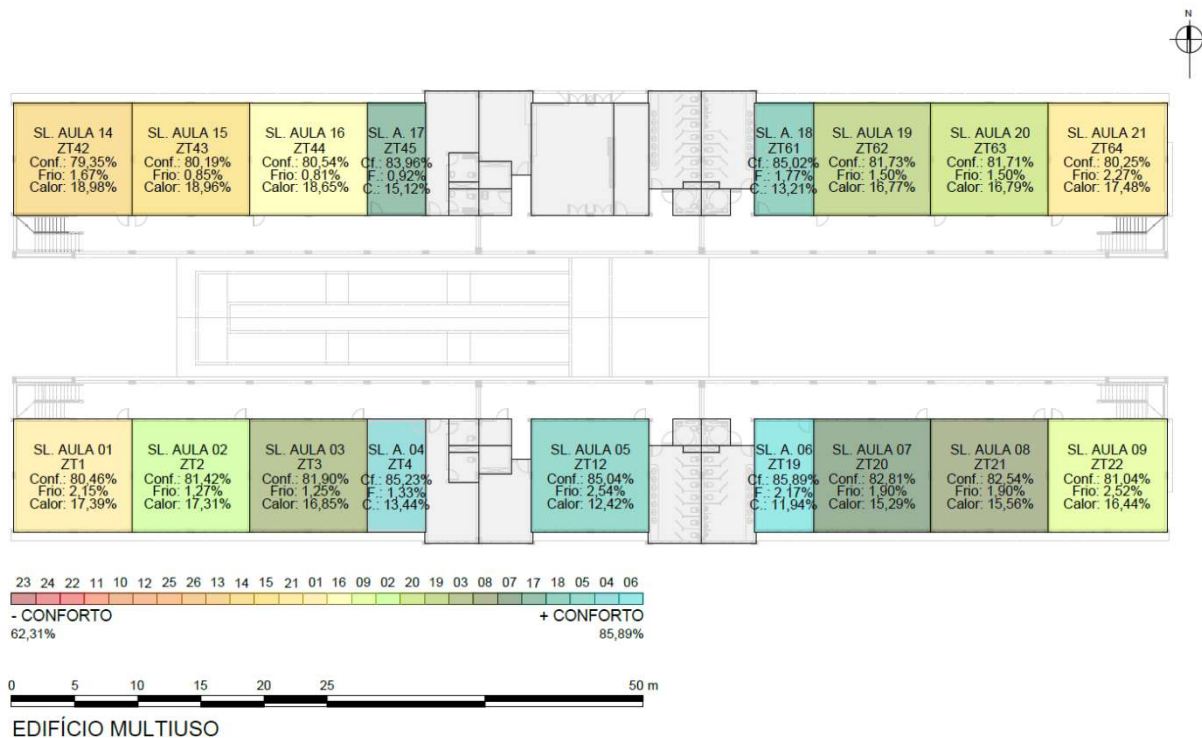
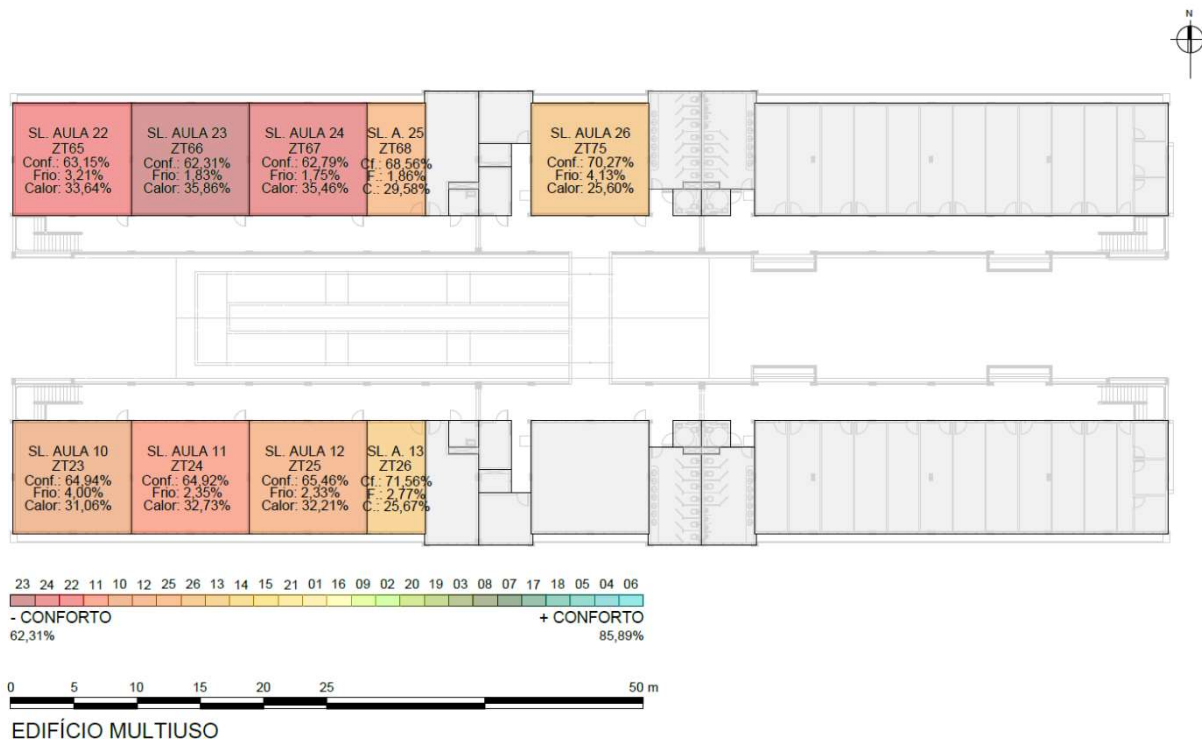
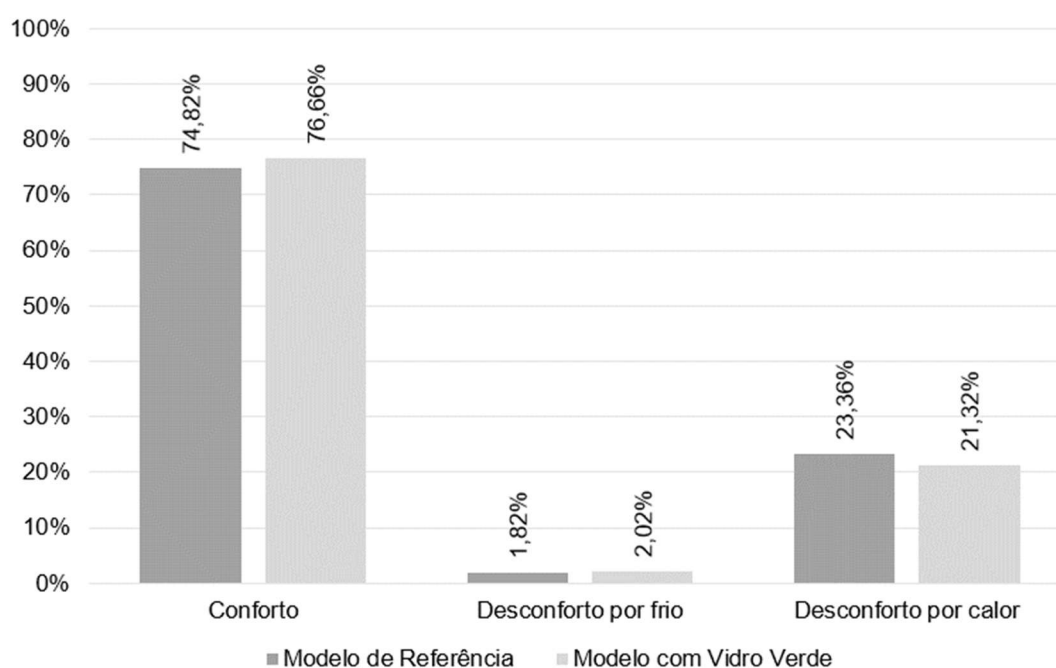


Figura 5.67. Vidros verdes de 6mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



A Figura 5.68 apresenta uma correlação entre os resultados obtidos pelo modelo de referência e considerando a substituição do vidro especificado em projeto por outro de coloração verde. A mudança representaria um ganho médio de 1,84% no percentual de conforto térmico propiciado pelas salas de aula, índice próximo ao alcançado pelo modelo considerando aplicação da tinta cor palha nas paredes externas.

Figura 5.68. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro verde de 6mm nas esquadrias



De acordo com o previsto, a troca do vidro incolor de 6mm por outro de coloração verde e mesma espessura, como estratégia projetual, otimizou o desempenho termo energético do modelo em relação à edificação de referência. A atenuação dos valores de transmissão solar e fator solar, inerentes às características do material, propiciou a redução da transferência de calor por condução do ambiente mais quente para o mais frio e favoreceu a diminuição do ganho de calor solar através da superfície transparente. Em regiões de clima quente, vidros com essas propriedades, em outras palavras, de baixa transmissão solar e fator solar, são interessantes no sentido de manter a temperatura interna mais branda do que a externa e, conseqüentemente, melhorar as condições de conforto térmico e eficiência energética.

Todavia, retomando reflexões anteriores, torna-se fundamental considerar o custo de implementação dessa solução e, mesmo que não abordado por essa pesquisa, eventual prejuízo ocasionado pela alteração dos valores de reflexão e transmissão luminosa relacionados ao material e com desdobramento nas condições de iluminação natural, pois o vidro verde oferece menor

transmissão na região do visível se comparado ao vidro incolor, interferindo, por consequência, nos níveis de conforto lumínico. Além disso, é adequado mencionar o fator estético que pode, em alguns casos, influenciar a adoção dessa estratégia.

Diante dessas reflexões, mesmo com a diferença de valor entre o vidro cor verde de 6mm e o vidro incolor de 6mm, admite-se que a opção se mostrou conveniente em retroalimentação do projeto ou em edificações acadêmicas novas, novamente com potencial para contribuir com o conforto térmico e eficiência energética das salas de aula, porém, sempre observando as características do vidro que influenciam nas condições de iluminação natural, tendo em vista a tipologia analisada.

5.3.3. Resultado das Simulações Computacionais - Vidros Laminados de Controle Solar de 12mm

Os dados apresentados em seguida referem-se ao consumo energético e ao conforto térmico decorrentes da substituição do vidro monolítico incolor de 6mm por vidro laminado de controle solar de 12mm de espessura, material esse que contém revestimento metálico em uma das quatro superfícies. A estratégia, assim como no caso anterior, procurou explorar a diretriz para projeto segundo a abordagem estática de número 30 apresentada no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”.

5.3.3.1. *Consumo energético com refrigeração e aquecimento*

A simulação utilizando os parâmetros estabelecidos para o vidro laminado de controle solar permitiu reexaminar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente. A Tabela 5.19 apresenta o consumo das salas de aula de ambos os blocos para aquecimento e refrigeração do ambiente.

Tabela 5.19. Vidros de controle solar de 12mm - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente (m ²)	Consumo de energia para aquecer o ambiente (kWh)	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente (kWh)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo total de energia por m ² (kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	14,66	0,18	8894,74	106,32	106,50
Sl. Aula 02	82,77	9,53	0,12	9055,48	109,41	109,53
Sl. Aula 03	82,77	9,44	0,11	9027,96	109,07	109,18
Sl. Aula 04	41,39	4,92	0,12	4252,56	102,74	102,86
Sl. Aula 05	82,77	16,95	0,20	8272,90	99,95	100,15
Sl. Aula 06	41,38	7,25	0,18	4060,24	98,10	98,28
Sl. Aula 07	82,77	12,07	0,15	8749,02	105,70	105,85
Sl. Aula 08	82,77	12,10	0,15	8760,80	105,85	106,00
Sl. Aula 09	83,66	17,19	0,21	8694,00	103,92	104,13
Sl. Aula 10	83,66	22,24	0,27	9969,76	119,17	119,44
Sl. Aula 11	82,77	13,81	0,17	10277,19	124,17	124,34
Sl. Aula 12	82,77	13,54	0,16	10250,06	123,84	124,00
Sl. Aula 13	41,39	7,84	0,19	4764,67	115,12	115,31
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	13,28	0,16	9127,23	109,10	109,26
Sl. Aula 15	82,77	8,65	0,10	9304,36	112,41	112,51
Sl. Aula 16	82,77	8,52	0,10	9285,88	112,19	112,29
Sl. Aula 17	41,39	4,28	0,10	4401,18	106,33	106,43
Sl. Aula 18	41,39	6,43	0,16	4177,47	100,93	101,09
Sl. Aula 19	82,77	11,22	0,14	8944,72	108,07	108,21
Sl. Aula 20	82,77	11,25	0,14	8957,40	108,22	108,36
Sl. Aula 21	83,66	15,89	0,19	8885,58	106,21	106,40
Sl. Aula 22	83,66	19,05	0,23	10276,94	122,84	123,07
Sl. Aula 23	82,77	12,03	0,15	10620,21	128,31	128,46
Sl. Aula 24	82,77	11,70	0,14	10605,03	128,13	128,27
Sl. Aula 25	41,39	6,20	0,15	4998,48	120,77	120,92
Sl. Aula 26	82,77	24,75	0,30	9468,95	114,40	114,70

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

Os dados apresentados mostram que o menor consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu nas salas de aula 15, 16 e 17, com 0,10 kWh/m², localizadas no térreo do Bloco de Aulas 02, e o maior dispêndio na sala de aula 26, com 0,30 kWh/m², instalada no segundo pavimento do mesmo bloco. Mais uma vez, o consumo mais elevado para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 23, com 128,31 kWh/m², e o menor foi constatado na sala de aula 06, com 201,67 kWh/m². O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 314,79 kWh e para arrefecimento de 214.082,81 kWh. O consumo energético total com condicionamento artificial foi de 214.397,60 kWh, uma carga térmica total de 112,30 kWh/m². Uma nova planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com o consumo em kWh/m² para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula é exibida nas Figuras 5.69 e 5.70, respectivamente.

Figura 5.69. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

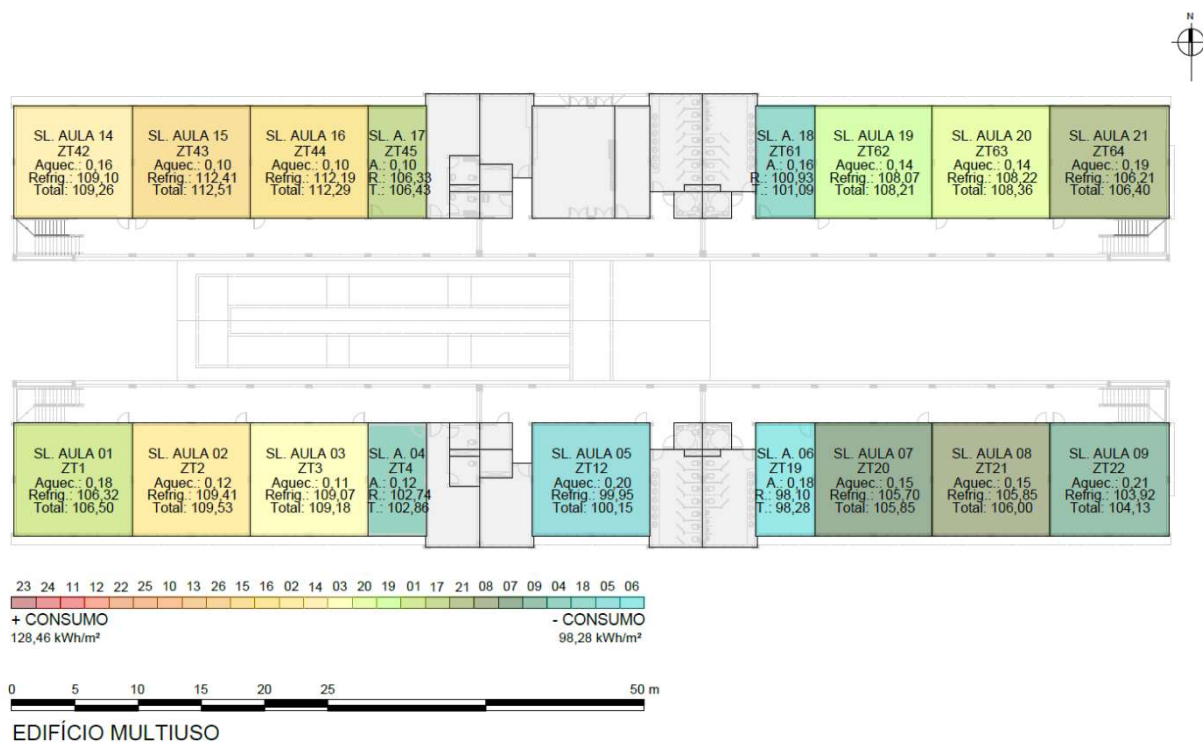


Figura 5.70. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



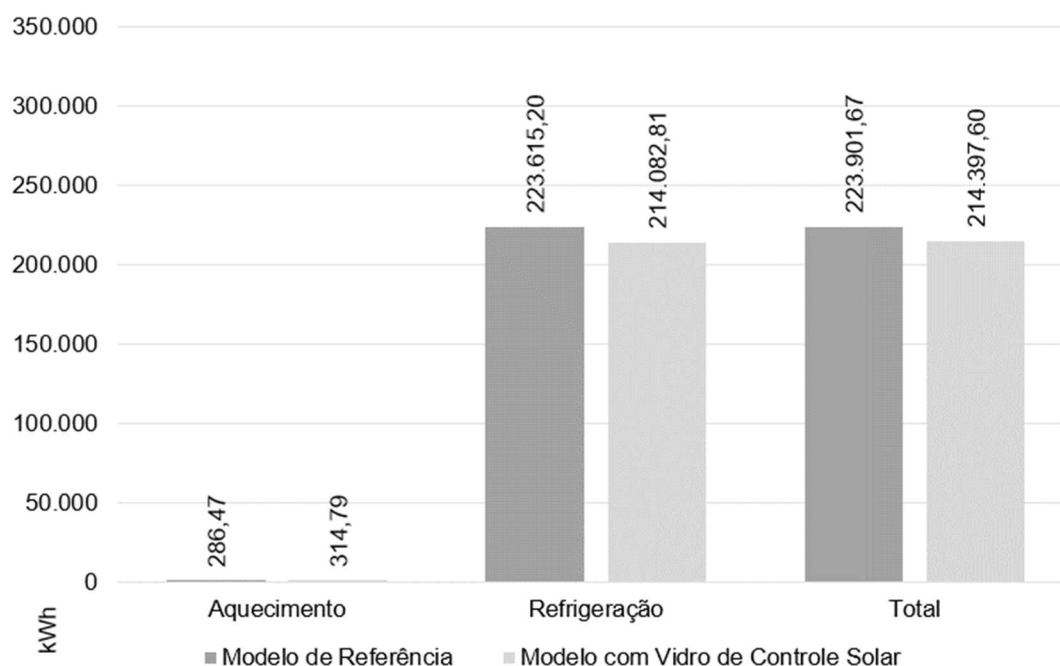
Novamente, se examinado sob a ótica dos custos e considerando a variação do vidro a ser empregado nas esquadrias, tal demanda energética representaria um gasto de R\$

198.385,30, com base nos valores atualizados cobrados pela COPEL (2022). Repetindo os resultados obtidos pelo modelo de referência, o menor consumo com condicionamento artificial por m² foi proporcionado pela sala de aula 06, 98,28 kWh/m², com capacidade para 25 ocupantes e situada no térreo, na porção central do Bloco de Aulas 01. O maior consumo por m² foi alcançado pela sala de aula 23, 128,46 kWh/m², com capacidade para 51 ocupantes e localizada no pavimento superior, mais ao oeste do Bloco de Aulas 02.

Comparativamente, a edificação contando com os vidros laminados de controle solar de 12mm alcançaria uma redução de 4,24% no consumo total de energia para condicionamento mecânico dos espaços, acarretando uma economia de R\$ 9.437,30. A Figura 5.71 correlaciona os resultados atingidos pelo modelo de referência e pelo modelo incluindo a solução analisada.

Ainda, relativamente ao vidro cor verde de 6mm, o desempenho do vidro laminado de controle solar foi 2,29% superior, entretanto, faz-se necessário considerar o custo de implementação dessa solução projetual, uma vez que haveria um incremento relativo ao insumo em si e outro relacionado a estrutura da esquadria, especificamente a necessidade de troca dos perfis de alumínio.

Figura 5.71. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro de controle solar de 12mm nas esquadrias



5.3.3.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

A simulação do desempenho térmico do Edifício Multiuso, considerando os parâmetros estabelecidos para o vidro laminado de controle solar de 12mm, possibilitou reexaminar a porcentagem das horas ocupadas em situação de conforto térmico e em desconforto por frio ou por calor de cada sala de aula ventilada naturalmente (Tabela 5.20).

Tabela 5.20. Vidros de controle solar de 12mm - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{mín} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,7	33,6	25,9	82,14%	2,42%	15,44%
Sl. Aula 02	17,2	33,3	26,0	83,52%	1,54%	14,94%
Sl. Aula 03	17,3	33,3	26,0	83,77%	1,54%	14,69%
Sl. Aula 04	17,3	32,9	25,8	87,21%	1,60%	11,19%
Sl. Aula 05	16,6	33,0	25,6	86,39%	2,92%	10,69%
Sl. Aula 06	16,8	32,8	25,6	87,31%	2,48%	10,21%
Sl. Aula 07	17,0	33,1	25,8	84,86%	2,06%	13,08%
Sl. Aula 08	17,0	33,2	25,8	84,65%	2,10%	13,25%
Sl. Aula 09	16,5	33,5	25,8	82,67%	2,73%	14,60%
Sl. Aula 10	14,4	36,1	26,5	67,02%	4,17%	28,81%
Sl. Aula 11	15,2	35,8	26,7	67,50%	2,46%	30,04%
Sl. Aula 12	15,3	35,8	26,7	68,19%	2,39%	29,42%
Sl. Aula 13	15,2	35,1	26,3	73,98%	3,00%	23,02%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	16,8	33,6	26,0	81,31%	1,94%	16,75%
Sl. Aula 15	17,4	33,4	26,1	82,50%	1,04%	16,46%
Sl. Aula 16	17,4	33,3	26,1	82,71%	0,98%	16,31%
Sl. Aula 17	17,4	33,0	25,9	85,91%	1,17%	12,92%
Sl. Aula 18	16,9	32,9	25,7	86,58%	2,06%	11,36%
Sl. Aula 19	17,0	33,2	25,9	84,04%	1,75%	14,21%
Sl. Aula 20	17,0	33,2	25,9	83,81%	1,77%	14,42%
Sl. Aula 21	16,5	33,5	25,9	81,87%	2,44%	15,69%
Sl. Aula 22	14,8	36,1	26,7	65,79%	3,44%	30,77%
Sl. Aula 23	15,7	35,8	26,9	65,48%	2,00%	32,52%
Sl. Aula 24	15,8	35,8	26,9	65,92%	1,96%	32,12%
Sl. Aula 25	15,9	35,2	26,6	71,73%	2,08%	26,19%
Sl. Aula 26	14,4	35,3	26,2	72,75%	4,42%	22,83%

Legenda: Menor conforto Maior conforto

Os espaços que apresentaram a menor To_{mín} e a maior To_{máx} foram as salas de aula 26 e 22, 14,4°C e 36,1°C, respectivamente, ambas localizadas no pavimento superior do Bloco de Aulas 02. A menor To_{máx} foi registrada, mais uma vez, na sala de aula 06, 32,8°C, ambiente situado no térreo do Bloco de Aulas 01, e que também proporcionou o maior percentual de horas

ocupadas em situação de conforto térmico, 87,31%. Já a sala de aula 23, instalada no pavimento superior do Bloco de Aulas 02, promoveu o menor percentual, 65,48%, mantendo a classificação da edificação de referência e modelos anteriores.

Repetidamente, o desconforto por calor permaneceu maior nas salas de aula localizadas no pavimento superior dos dois blocos e mais acentuado no Bloco de Aulas 02, à semelhança do desconforto por frio, mais presente no pavimento superior, mantendo valores significativos nas salas de aula localizadas no térreo, em especial nas extremidades da edificação e ao centro.

É importante ressaltar que, com esse modelo de vidro, houve uma redução no número de salas com percentuais de desconforto por calor maiores do que 30%, restando, nessa situação, a sala 11 e as salas 22, 23 e 24, situadas no pavimento superior do Bloco de Aulas 01 e Bloco de Aulas 02, nessa ordem.

Reitera-se que os dados obtidos pelo modelo em análise retratam um comportamento térmico similar à edificação em condição real, exceto por variações no percentual de conforto e nas temperaturas operativas. Por consequência, presume-se que as mesmas alegações apresentadas para o modelo de referência no item “5.2.2.2, Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente” são igualmente admissíveis para esclarecer esses resultados. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.72 e 5.73, respectivamente.

Figura 5.72. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

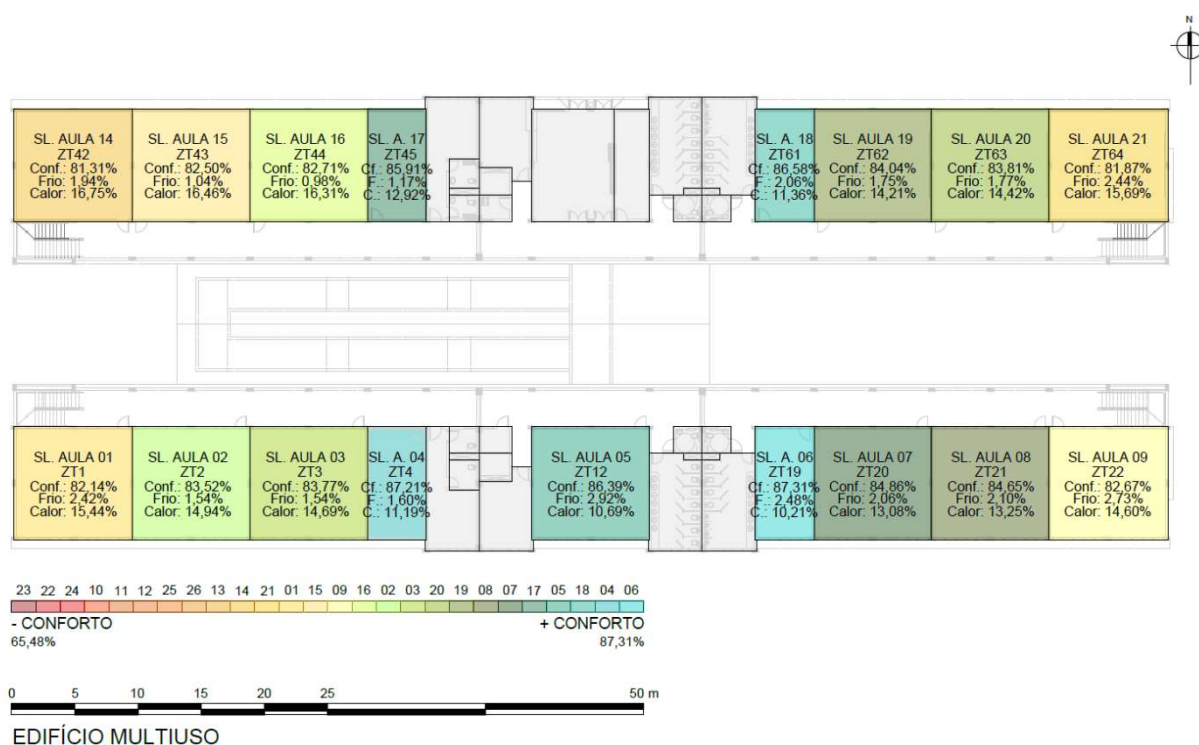
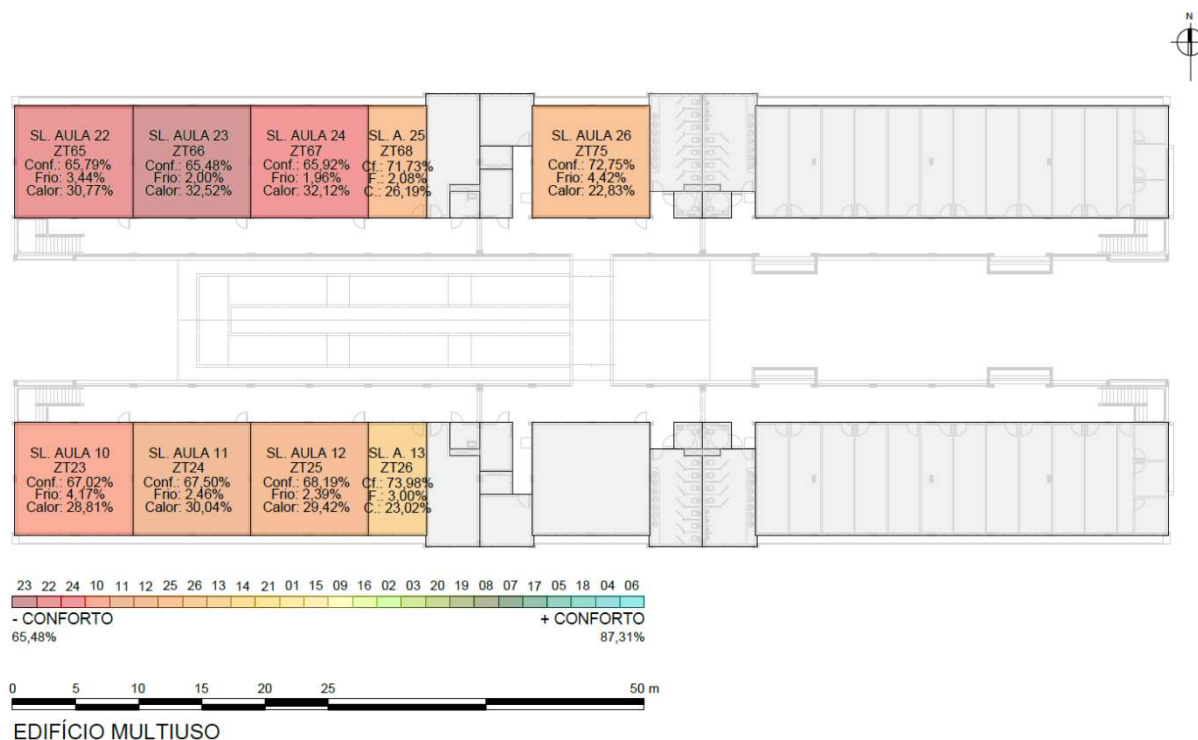
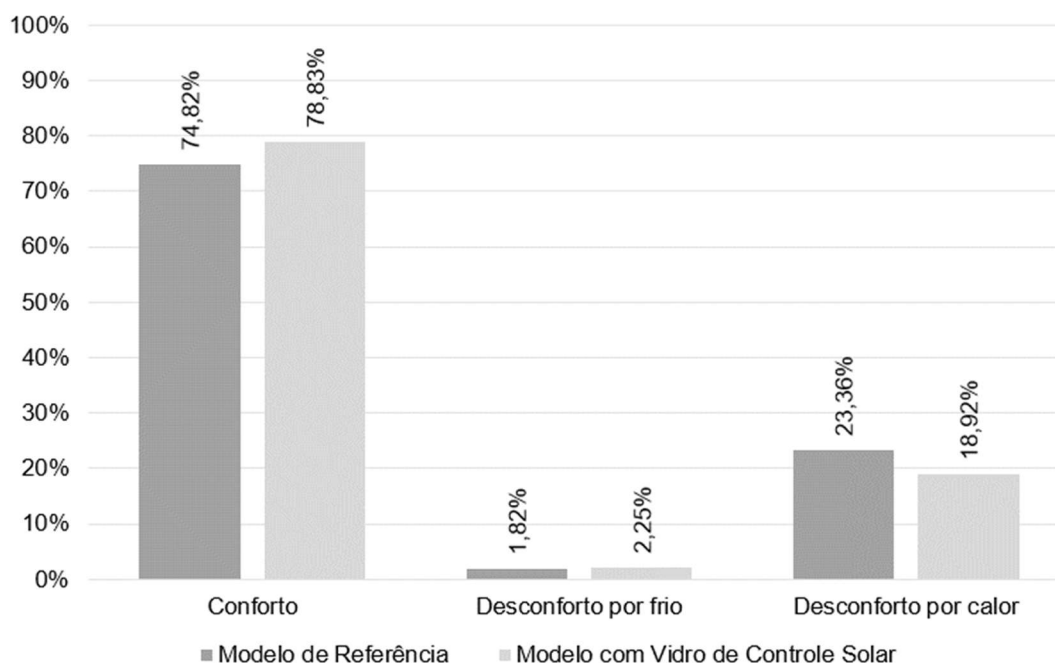


Figura 5.73. Vidros de controle solar de 12mm - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



Uma comparação entre os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a substituição do vidro monolítico incolor de 6mm por vidro laminado de controle solar de 12mm é exibida na Figura 5.74. A mudança representaria um ganho médio de 4,01% no percentual de conforto térmico propiciado pelas salas de aula, conferindo melhores condições de uso para esses ambientes acadêmicos. Adicionalmente, informa-se que o desempenho térmico do modelo em análise foi 2,17% superior em relação ao vidro monolítico cor verde de 6mm.

Figura 5.74. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de vidro de controle solar de 12mm nas esquadrias



Consoante ao esperado, a substituição do vidro monolítico incolor de 6mm pelo vidro laminado de controle solar de 12mm, o qual possui revestimento metálico em uma das superfícies, indicou um desempenho termo energético superior, em relação à edificação de referência e ao modelo considerando a aplicação do vidro cor verde de 6mm. A atenuação dos valores de transmissão solar e fator solar, ligadas às propriedades do material, novamente ocasionou a redução da transferência de calor por condução e do ganho de calor solar através da superfície transparente

Porém, da mesma maneira como exposto no fechamento do item 5.3.2, faz-se necessário considerar o custo de implementação dessa solução que, nesse caso, além da aquisição do produto, envolve a troca dos perfis de alumínio da esquadria. Para mais, apesar de não discutido por esse estudo, é importante atentar para eventuais prejuízos aos níveis de conforto visual interno ocasionados pela alteração mais acentuada dos valores de reflexão e transmissão luminosa próprios desse tipo de vidro. A especificação da reflexão do material deve considerar ainda possíveis decorrências ao entorno, como o ofuscamento e a reirradiação. Outrossim, é oportuno avaliar comparativamente os efeitos e dispêndios decorrentes da aplicação do vidro laminado de controle solar de 12mm e do vidro monolítico cor verde de 6mm, que apresentaram diferença média de desempenho termo energético de 2,23%, mas que possuem uma discrepância de custo.

Posto isso, acredita-se que a opção se mostrou oportuna para novos empreendimentos sem limitação de investimento financeiro, circunstância por vezes distante da realidade vivenciada pela educação pública superior.

5.3.4. Resultado das Simulações Computacionais - Lã de Rocha

Adiante, serão apresentados os resultados obtidos para a edificação considerando a incorporação de isolamento extra de lã de rocha imediatamente acima da laje de cobertura. A mudança baseou-se em uma das diretrizes para projetos, segundo a abordagem estática, notadamente a 26, tratada no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”.

5.3.4.1. Consumo energético com refrigeração e aquecimento

A simulação utilizando os parâmetros estabelecidos para o isolamento da cobertura com manta de lã de rocha permitiu reexaminar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente. A Tabela 5.21 apresenta o consumo das salas de aula de ambos os blocos para aquecimento e refrigeração do ambiente.

Tabela 5.21. Lã de rocha - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ²	Consumo de energia para refrigerar o ambiente	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ²	Consumo total de energia por m ²
	(m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	12,62	0,15	9257,63	110,66	110,81
Sl. Aula 02	82,77	7,98	0,10	9446,88	114,13	114,23
Sl. Aula 03	82,77	7,88	0,10	9420,28	113,81	113,91
Sl. Aula 04	41,39	4,05	0,10	4490,15	108,48	108,58
Sl. Aula 05	82,77	14,44	0,17	8662,92	104,66	104,83
Sl. Aula 06	41,38	6,07	0,15	4294,07	103,75	103,90
Sl. Aula 07	82,77	10,13	0,12	9146,37	110,50	110,62
Sl. Aula 08	82,77	10,17	0,12	9158,23	110,65	110,77
Sl. Aula 09	83,66	14,70	0,18	9068,48	108,40	108,58
Sl. Aula 10	83,66	24,88	0,30	11140,46	133,16	133,46
Sl. Aula 11	82,77	15,65	0,19	11472,57	138,61	138,80
Sl. Aula 12	82,77	15,19	0,18	11448,37	138,32	138,50
Sl. Aula 13	41,39	7,77	0,19	5298,47	128,01	128,20
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	11,28	0,13	9508,79	113,66	113,79
Sl. Aula 15	82,77	6,94	0,08	9718,11	117,41	117,49
Sl. Aula 16	82,77	6,82	0,08	9701,69	117,21	117,29
Sl. Aula 17	41,39	3,29	0,08	4663,29	112,67	112,75
Sl. Aula 18	41,39	5,30	0,13	4435,09	107,15	107,28
Sl. Aula 19	82,77	9,21	0,11	9367,69	113,18	113,29
Sl. Aula 20	82,77	9,26	0,11	9379,93	113,33	113,44
Sl. Aula 21	83,66	13,35	0,16	9281,87	110,95	111,11

Sl. Aula 22	83,66	21,71	0,26	11556,97	138,14	138,40
Sl. Aula 23	82,77	13,39	0,16	11938,68	144,24	144,40
Sl. Aula 24	82,77	12,89	0,16	11930,72	144,14	144,30
Sl. Aula 25	41,39	5,68	0,14	5629,99	136,02	136,16
Sl. Aula 26	82,77	27,08	0,33	10767,30	130,09	130,42

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

É possível observar que o menor consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu nas salas de aula 15, 16 e 17, com 0,08 kWh/m², localizadas no térreo do Bloco de Aulas 02, e o maior na sala de aula 26, com 0,33 kWh/m², situada no pavimento superior do mesmo bloco. Reiteradamente, o consumo mais elevado para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 23, com 144,24 kWh/m², instalada na extremidade oeste do pavimento superior do Bloco de Aulas 02, e o menor foi observado na sala de aula 06, com 103,75 kWh/m², posicionada no térreo do Bloco de Aulas 01. No geral, o consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 297,73 kWh, para arrefecimento de 230.185,00 kWh e, por consequência, para condicionamento artificial dos espaços foi de 230.482,73 kWh, uma carga térmica total de 120,73 kWh/m². As Figuras 5.75 e 5.76 exibem plantas esquemáticas com o consumo em kWh/m² para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula.

Figura 5.75. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

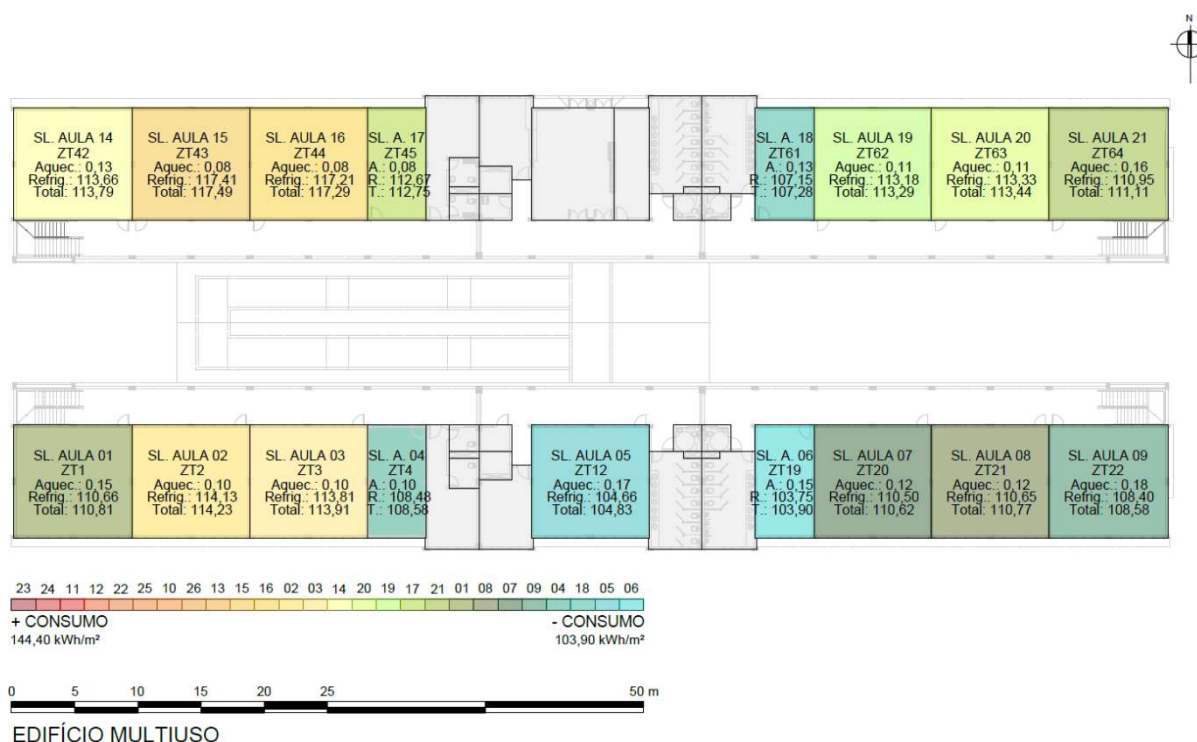
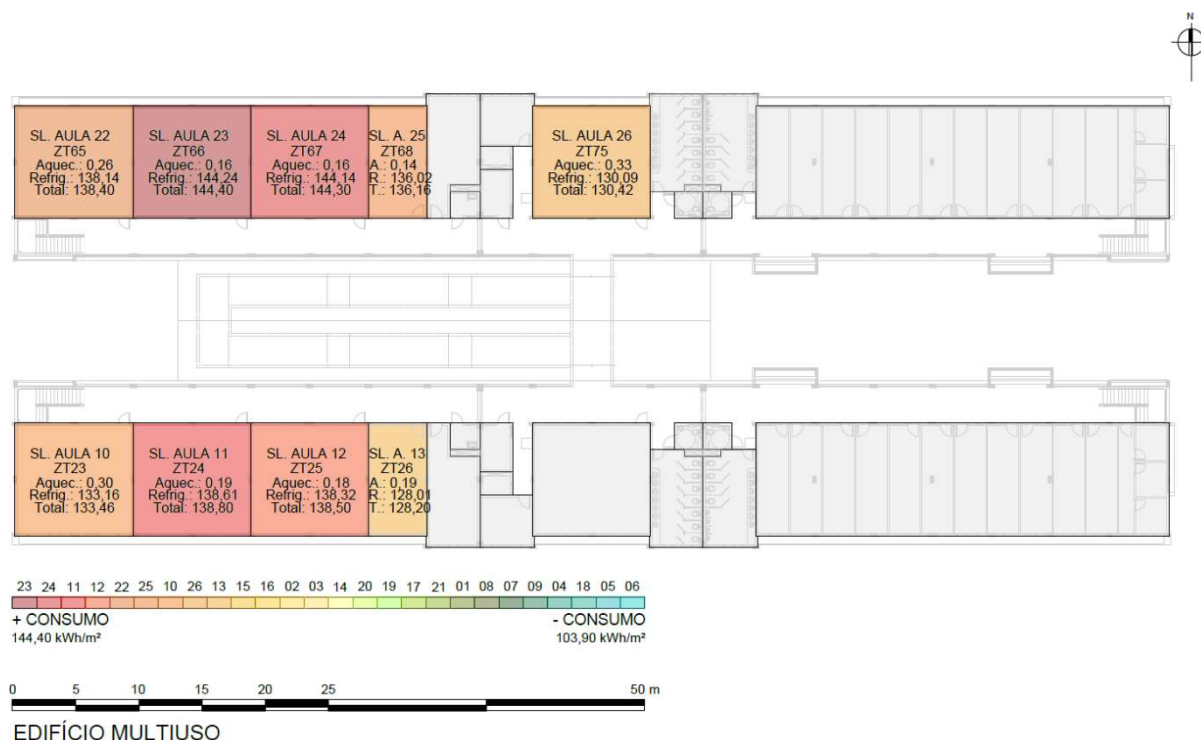


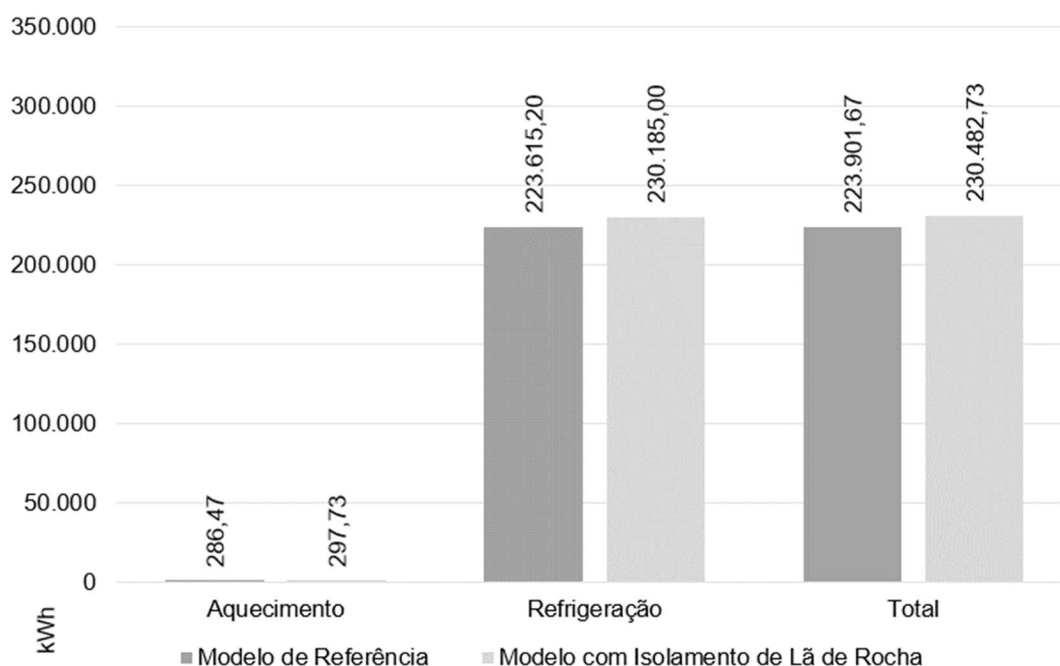
Figura 5.76. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



A inclusão do isolamento de lã de rocha empregado sobre a última laje representaria um custo para aquecimento e arrefecimento dos espaços de R\$ 213.926,10, com base nos valores atualizados cobrados pela COPEL (2022), um aumento de 2,93% no consumo total para condicionamento artificial dos espaços e um acréscimo anual de R\$ 6.103,57 nos valores despendidos com energia, em comparação ao modelo de referência. A Figura 5.77 faz uma confrontação entre os resultados de um e outro.

O menor e o maior consumo por m² foi proporcionado pelas salas de aula 06 e 23, com 103,90 kWh/m² e 144,40 kWh/m², respectivamente, mantendo o comportamento energético apresentado pelos modelos anteriores apesar da redução do desempenho acerca desse quesito.

Figura 5.77. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento de lã de rocha na cobertura



5.3.4.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

Objetivando melhorar o desempenho térmico do Edifício Multiuso, uma nova simulação, considerando os parâmetros estabelecidos para o isolamento extra da cobertura com lã de rocha foi realizada. Os resultados permitiram reconsiderar a porcentagem das horas ocupadas em situação de conforto térmico e em desconforto por frio ou por calor de cada sala de aula ventilada naturalmente (Tabela 5.22).

Tabela 5.22. Lã de rocha - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{mín} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,9	34,0	26,2	78,77%	1,94%	19,29%
Sl. Aula 02	17,4	33,8	26,3	79,75%	1,00%	19,25%
Sl. Aula 03	17,4	33,7	26,3	80,25%	1,00%	18,75%
Sl. Aula 04	17,5	33,4	26,1	83,75%	1,02%	15,23%
Sl. Aula 05	16,9	33,4	25,8	83,60%	2,36%	14,04%
Sl. Aula 06	17,1	33,3	25,9	84,60%	1,90%	13,50%
Sl. Aula 07	17,2	33,6	26,1	81,49%	1,63%	16,88%
Sl. Aula 08	17,2	33,6	26,1	81,19%	1,67%	17,14%
Sl. Aula 09	16,2	33,9	26,1	79,35%	2,35%	18,29%

Sl. Aula 10	13,6	37,3	27,0	56,85%	4,73%	38,42%
Sl. Aula 11	14,4	37,1	27,3	54,65%	3,62%	41,73%
Sl. Aula 12	14,5	37,1	27,3	55,33%	3,48%	41,19%
Sl. Aula 13	14,7	36,5	26,8	65,21%	3,50%	31,29%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	17,0	34,0	26,3	77,73%	1,44%	20,83%
Sl. Aula 15	17,6	33,8	26,5	78,02%	0,73%	21,25%
Sl. Aula 16	17,6	33,8	26,4	78,35%	0,73%	20,92%
Sl. Aula 17	17,7	33,5	26,3	81,77%	0,73%	17,50%
Sl. Aula 18	17,2	33,3	26,0	83,44%	1,50%	15,06%
Sl. Aula 19	17,3	33,6	26,2	80,63%	1,24%	18,13%
Sl. Aula 20	17,3	33,6	26,2	80,35%	1,27%	18,38%
Sl. Aula 21	16,8	33,9	26,2	78,35%	2,00%	19,65%
Sl. Aula 22	14,0	37,3	27,3	53,63%	4,02%	42,35%
Sl. Aula 23	15,0	37,1	27,6	50,40%	2,87%	46,73%
Sl. Aula 24	15,2	37,1	27,6	50,85%	2,69%	46,46%
Sl. Aula 25	15,6	36,6	27,2	60,71%	2,31%	36,98%
Sl. Aula 26	13,3	36,9	26,8	62,48%	4,71%	32,81%

Legenda:  Menor conforto  Maior conforto

Os espaços que apresentaram a menor To_{\min} e a maior To_{\max} foram, respectivamente, a sala de aula 26, com 13,3°C, instalada no pavimento superior do Bloco de Aulas 02, bem como as salas 10 e 22, com 37,3°C, localizadas no pavimento superior, na extremidade oeste do Bloco de Aulas 01 e 02, nessa ordem. A menor To_{\max} foi registrada nas salas de aulas 06 e 18, 33,3°C, situadas no térreo, na porção central do Bloco de Aulas 01 e 02. A sala 06 também proporcionou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico, 84,60%, e a sala de aula 23 promoveu o menor percentual, 50,40%, repetindo os resultados das simulações anteriores. O desconforto por calor e por frio ocorreu com mais frequência nos ambientes do pavimento superior de ambos os blocos.

Tal como nas variações anteriores, depreende-se que as mesmas ponderações apresentadas para o modelo de referência no item 5.2.2.2 podem esclarecer esses dados ligados ao comportamento térmico da edificação. Por outro lado, a inclusão do isolamento de lã de rocha, diminuiu moderadamente os percentuais de conforto térmico das salas de aula localizadas no pavimento superior em relação aos mesmos ambientes em condições de projeto, mantendo semelhantes os índices das demais salas. Possivelmente, o isolamento prejudicou ainda mais a dissipação do calor e do frio absorvidos por esses espaços próximos à cobertura.

Salienta-se que o uso dessa estratégia não só manteve a situação das salas de aula 10, 11, 12, 22, 23, 24 e 25, onde o percentual de desconforto por calor foi maior do que 30%, como agravou a condição da sala de aula 13 e 26, incluindo-as nesse grupo. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.78 e 5.79, respectivamente.

Figura 5.78. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

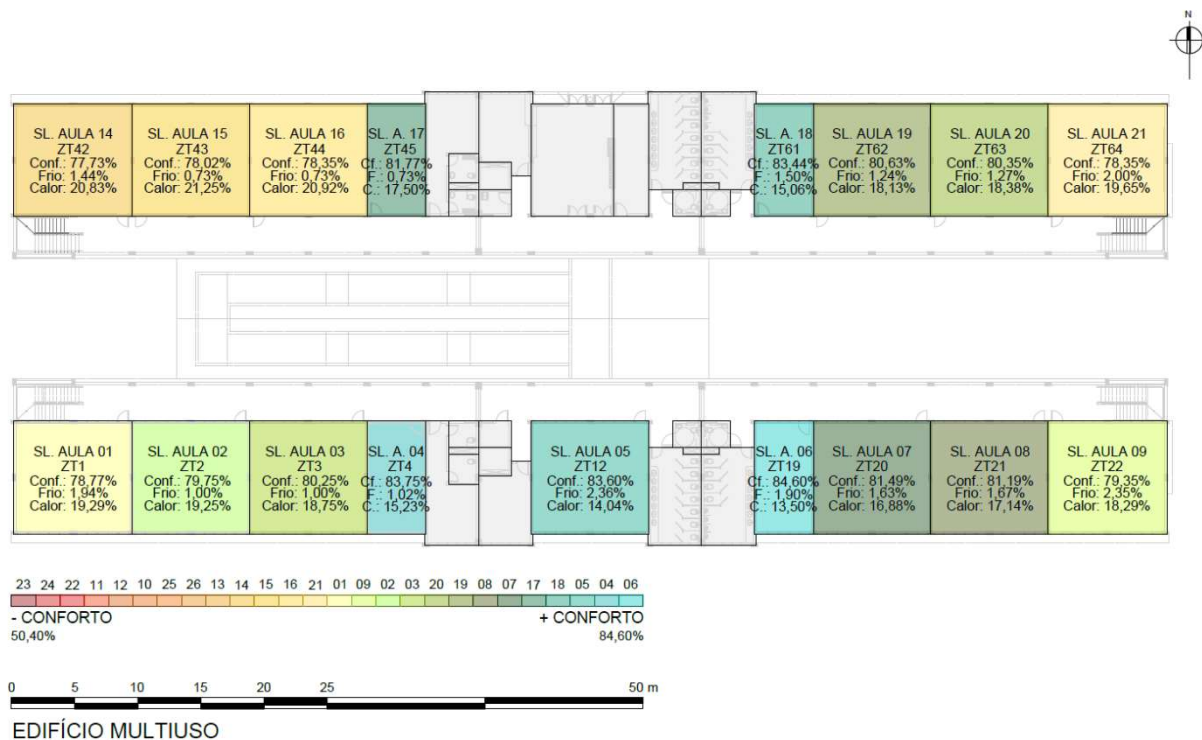
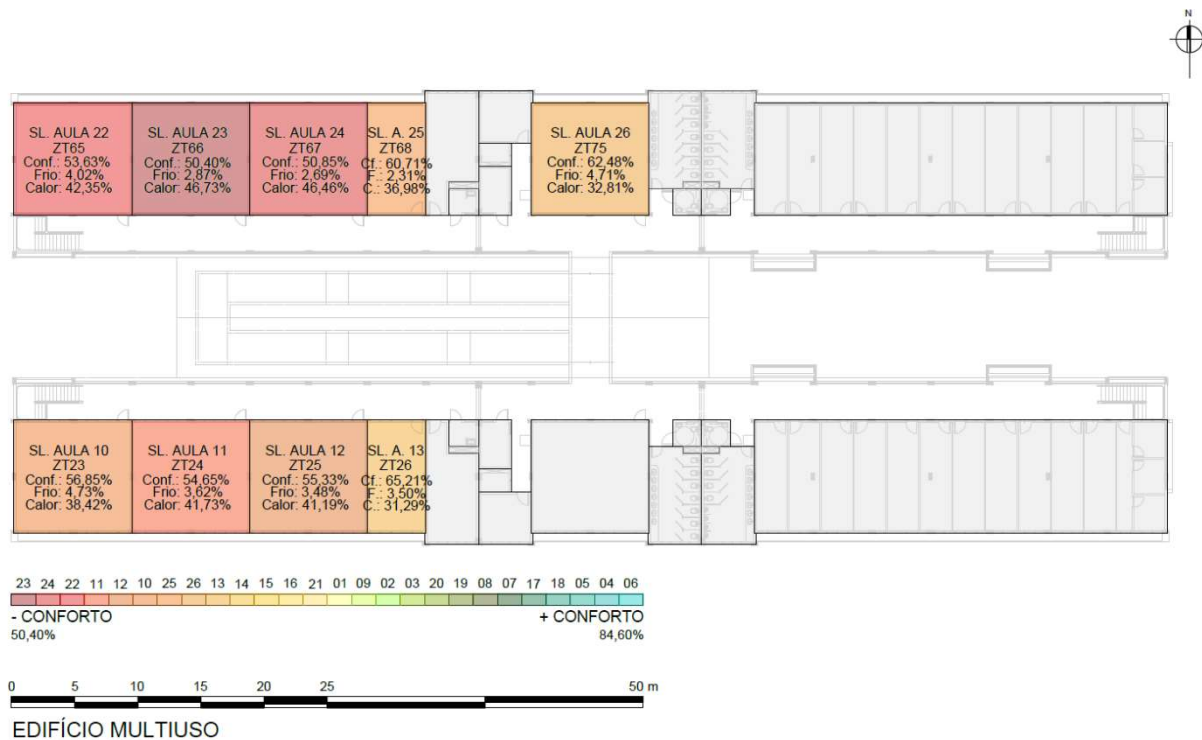
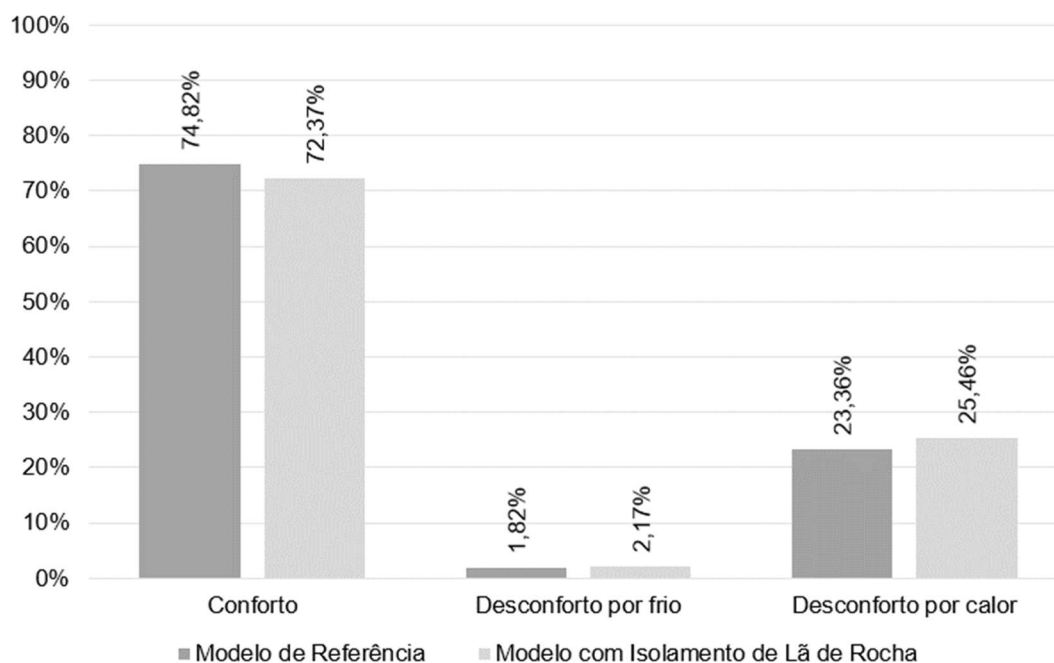


Figura 5.79. Lã de rocha - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



Dando continuidade, a Figura 5.80 apresenta os resultados alcançados pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a inclusão de isolamento de lã de rocha na cobertura para fins de comparação. A alteração acarretaria uma redução média de 2,45% no percentual de conforto térmico propiciado pelas salas de aula.

Figura 5.80. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento de lã de rocha na cobertura



A incorporação de isolamento de lã de rocha imediatamente acima da laje de cobertura com o objetivo de otimizar o modelo em relação à edificação de referência se mostrou uma estratégia projetual ineficaz. Acredita-se que o material atuou como uma barreira extra à dissipação do calor e frio absorvidos pelas salas de aula localizadas no pavimento superior de ambos os blocos e intensificou seus índices de desconforto, reforçando os pressupostos outrora apresentados quanto à interferência da cobertura no desempenho termo energético do Edifício Multiuso.

A partir dos resultados, percebe-se que a solução, aplicada ao contexto climático e ao padrão de uso da edificação e ocupação, influenciou negativamente os níveis de conforto térmico, dando origem a incertezas quanto à efetividade da adição de isolamento térmico extra na envoltória nessas circunstâncias e clima.

5.3.5. Resultado das Simulações Computacionais - Telha de Fibrocimento Pintada de Branco

Os resultados anteriores, considerando a inclusão de um isolamento extra de lã de rocha, impulsionaram a realização de uma nova simulação alterando componentes da cobertura. Assim, as informações apresentadas em seguida dizem respeito ao consumo energético e conforto térmico decorrentes da substituição da telha de aço galvanizado com isolante tipo EPS pela telha de fibrocimento pintada de branco. A opção por essa estratégia projetual baseou-se em sugestões de projeto adequadas à abordagem adaptativa e estática, especificamente as de número 25, 32, 43, 59, 68, exibidas no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”.

5.3.5.1. Consumo energético com refrigeração e aquecimento

A simulação utilizando os parâmetros estabelecidos para a telha de fibrocimento oportunizou reanalisar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente. A Tabela 5.23 apresenta o consumo energético para aquecimento e refrigeração de cada sala de aula.

Tabela 5.23. Telha de fibrocimento - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ²	Consumo de energia para refrigerar o ambiente	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ²	Consumo total de energia por m ²
	(m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	15,14	0,18	9052,59	108,21	108,39
Sl. Aula 02	82,77	9,37	0,11	9224,20	111,44	111,55
Sl. Aula 03	82,77	9,28	0,11	9196,12	111,10	111,21
Sl. Aula 04	41,39	4,98	0,12	4363,59	105,43	105,55
Sl. Aula 05	82,77	17,42	0,21	8435,09	101,91	102,12
Sl. Aula 06	41,38	7,53	0,18	4169,28	100,73	100,91
Sl. Aula 07	82,77	11,96	0,14	8926,23	107,84	107,98
Sl. Aula 08	82,77	11,99	0,14	8938,63	107,99	108,13
Sl. Aula 09	83,66	17,73	0,21	8859,79	105,90	106,11
Sl. Aula 10	83,66	31,41	0,38	9550,89	114,16	114,54
Sl. Aula 11	82,77	20,91	0,25	9835,67	118,83	119,08
Sl. Aula 12	82,77	20,54	0,25	9802,87	118,44	118,69
Sl. Aula 13	41,39	11,89	0,29	4531,61	109,49	109,78
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	13,29	0,16	9303,07	111,20	111,36
Sl. Aula 15	82,77	8,24	0,10	9494,53	114,71	114,81
Sl. Aula 16	82,77	8,11	0,10	9475,92	114,48	114,58
Sl. Aula 17	41,39	4,11	0,10	4532,23	109,50	109,60
Sl. Aula 18	41,39	6,48	0,16	4310,09	104,13	104,29

Sl. Aula 19	82,77	10,74	0,13	9149,65	110,54	110,67
Sl. Aula 20	82,77	10,79	0,13	9162,45	110,70	110,83
Sl. Aula 21	83,66	15,90	0,19	9074,93	108,47	108,66
Sl. Aula 22	83,66	26,58	0,32	9946,29	118,89	119,21
Sl. Aula 23	82,77	16,79	0,20	10282,93	124,23	124,43
Sl. Aula 24	82,77	16,29	0,20	10263,09	124,00	124,20
Sl. Aula 25	41,39	8,83	0,21	4824,63	116,57	116,78
Sl. Aula 26	82,77	33,83	0,41	9135,02	110,37	110,78

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

Novamente, o menor e maior consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu, respectivamente, na sala de aula 15, 16 e 17, com 0,10 kWh/m², localizadas no térreo do Bloco de Aulas 02, e na sala de aula 26, com 0,41 kWh/m², situada no pavimento superior desse mesmo bloco. Assim como nas outras simulações, o consumo mais elevado para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 23, com 124,23 kWh/m², instalada no pavimento superior do Bloco de Aulas 02, e o menor consumo por m² foi observado na sala de aula 06, com 100,73 kWh/m², localizada no térreo do Bloco de Aulas 02. O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 370,13 kWh e para arrefecimento de 214.211,52 kWh. O consumo energético total com condicionamento mecânico foi de 214.211,52 kWh, uma carga térmica total de 112,21 kWh/m². As Figuras 5.81 e 5.82 exibem o consumo de cada sala de aula em kWh/m² para aquecimento, refrigeração e total.

Figura 5.81. Telha de fibrocimento pintada de branco - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



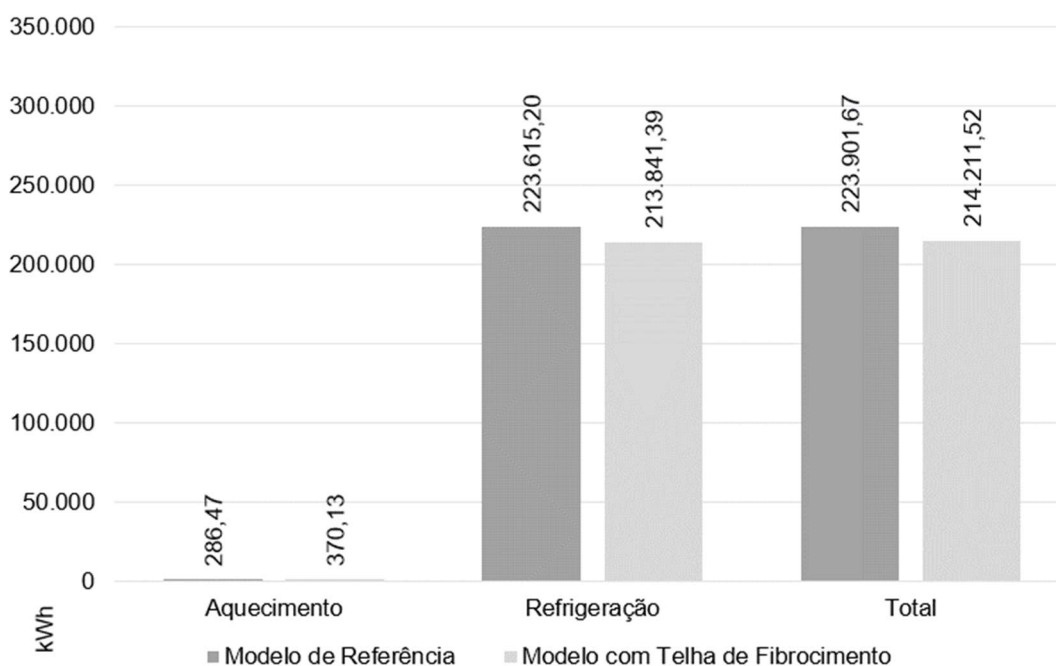
Figura 5.82. Telha de fibrocimento pintada de branco- Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



Com relação aos custos, tendo em conta a variação da telha a ser empregada na cobertura, tal demanda energética representaria um custo de R\$ 199.055,80, de acordo com os valores atualizados cobrados pela COPEL (2022). Mantendo os resultados anteriores acerca do condicionamento artificial, o menor e o maior consumo por m² foi proporcionado pelas salas de aula 06 e 23, com 100,91 kWh/m² e 124,43 kWh/m², respectivamente.

Relativamente ao modelo de referência, a edificação considerando a alteração na cobertura, alcançaria uma redução de 4,33% no consumo total de energia para aquecimento e arrefecimento das salas de aula, convertendo-se em uma economia anual de R\$ 8.766,75. A Figura 5.83 correlaciona os resultados obtidos por ambos os modelos. No que diz respeito ao isolamento extra na cobertura, o desempenho energético da telha de fibrocimento pintada de branco foi 7,06% superior.

Figura 5.83. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de telha de fibrocimento na cobertura



5.3.5.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

Os resultados alcançados utilizando os parâmetros estabelecidos para a telha de fibrocimento pintada de branco também permitiram reavaliar a porcentagem das horas ocupadas em situação de conforto e de desconforto térmico em cada sala de aula ventilada naturalmente (Tabela 5.24).

Tabela 5.24. Telha de fibrocimento - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{mín} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,7	33,9	26,0	80,38%	2,31%	17,31%
Sl. Aula 02	17,3	33,7	26,1	81,42%	1,39%	17,19%
Sl. Aula 03	17,3	33,6	26,1	81,83%	1,42%	16,75%
Sl. Aula 04	17,3	33,3	25,9	85,04%	1,52%	13,44%
Sl. Aula 05	16,7	33,3	25,7	85,02%	2,67%	12,31%
Sl. Aula 06	16,9	33,2	25,7	85,65%	2,35%	12,00%
Sl. Aula 07	17,0	33,5	26,0	82,81%	1,98%	15,21%
Sl. Aula 08	17,0	33,5	26,0	82,69%	1,98%	15,33%
Sl. Aula 09	16,5	33,8	25,9	81,04%	2,60%	16,36%
Sl. Aula 10	13,7	36,1	26,2	69,56%	5,04%	25,40%
Sl. Aula 11	14,4	35,9	26,4	69,54%	3,92%	26,54%

Sl. Aula 12	14,5	25,8	26,4	70,23%	3,87%	25,90%
Sl. Aula 13	14,4	35,0	26,0	75,69%	4,27%	20,04%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	16,8	33,9	26,2	79,29%	1,79%	18,92%
Sl. Aula 15	17,4	33,7	26,3	80,02%	1,00%	18,98%
Sl. Aula 16	17,4	33,7	26,3	80,35%	0,98%	18,67%
Sl. Aula 17	17,5	33,3	26,1	83,73%	1,04%	15,23%
Sl. Aula 18	17,0	33,2	25,8	84,81%	1,90%	13,29%
Sl. Aula 19	17,1	33,5	26,1	81,90%	1,60%	16,50%
Sl. Aula 20	17,1	33,5	26,1	81,74%	1,63%	16,63%
Sl. Aula 21	16,6	33,8	26,0	80,19%	2,31%	17,50%
Sl. Aula 22	14,3	36,1	26,4	67,81%	4,25%	27,94%
Sl. Aula 23	15,1	35,9	26,7	67,37%	2,98%	29,65%
Sl. Aula 24	15,2	35,9	26,7	67,85%	2,88%	29,27%
Sl. Aula 25	15,4	35,1	26,4	72,90%	3,02%	24,08%
Sl. Aula 26	13,9	35,4	25,9	73,44%	5,33%	21,23%

Legenda:  Menor conforto  Maior conforto

O espaço que apresentou a menor $T_{o_{mín}}$ foi a sala de aula 10, 13,7°C, localizada na extremidade oeste do pavimento superior do Bloco de Aulas 01. A maior $T_{o_{máx}}$ foi verificada nas salas de aula 10 e 22, 36,1°C, situadas em posição semelhante do pavimento superior de cada bloco. A menor $T_{o_{máx}}$ foi registrada nas salas 06 e 18, 33,2°C, igualmente em posição semelhante do pavimento térreo de cada bloco. A sala de aula 06 viabilizou ainda o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico, 85,65%. Já a sala de aula 23 proporcionou o menor percentual, 67,37%.

Novamente, o desconforto por calor ocorreu com mais frequência nos ambientes do pavimento superior, da mesma maneira que o desconforto por frio, neste caso, com índices ligeiramente maiores do que nos demais modelos simulados. Tal como ocorrido nos modelos já analisados, deduz-se que as mesmas alegações apresentadas para a edificação de referência no item 5.2.2.2 podem esclarecer esses dados ligados ao comportamento térmico da edificação.

É importante salientar que a alteração proposta para o telhado otimizou o desempenho térmico da edificação em relação ao modelo de referência. Frisa-se, entretanto, que as salas de aula 23 e 24 ainda apresentaram um percentual de desconforto próximo dos 30%. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.84 e 5.85, respectivamente.

Figura 5.84. Telha de fibrocimento pintada de branco - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

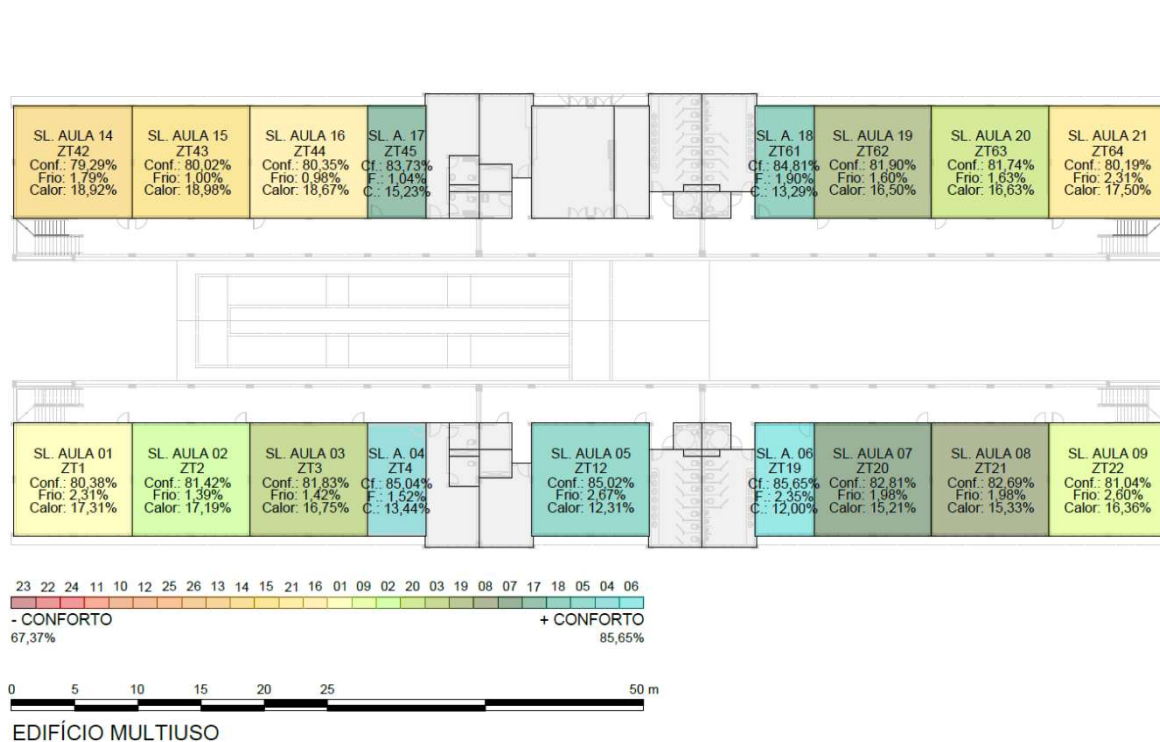
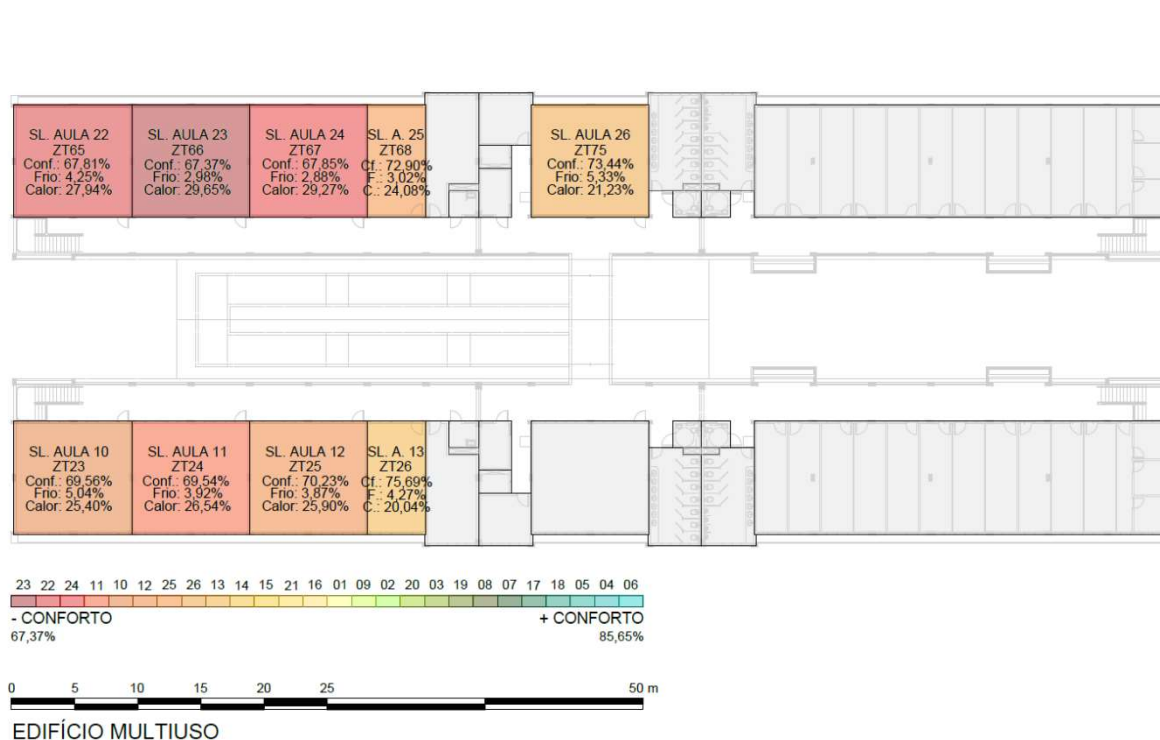


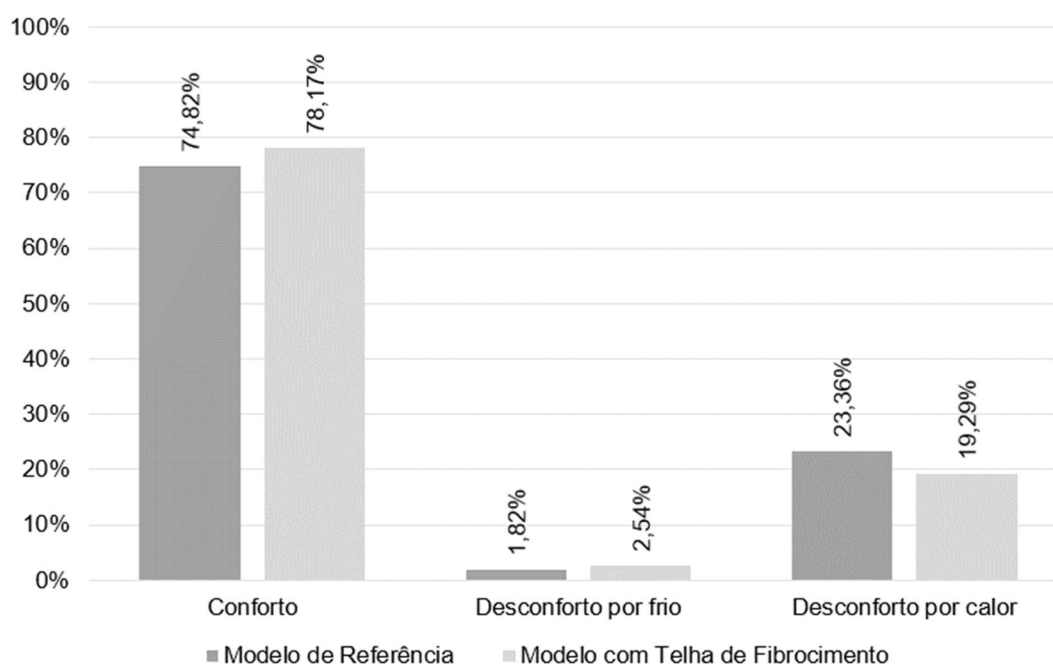
Figura 5.85. Telha de fibrocimento pintada de branco - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



Uma comparação entre os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a substituição da telha de aço galvanizado com isolante tipo EPS pela telha de fibrocimento pintada de branco é apresentada na Figura 5.86. A mudança representaria um

ganho médio de 3,35% no percentual de conforto térmico viabilizado pelas salas de aula, uma melhora igualmente relevante para o melhor uso dos ambientes acadêmicos. Em relação ao isolamento extra na cobertura, o desempenho térmico do modelo em análise foi 5,80% superior.

Figura 5.86. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de telha de fibrocimento na cobertura



A alteração do tipo de telha como estratégia projetual otimizou o desempenho termo energético da edificação em relação ao modelo de referência, contrapondo os impactos suscitados pela aplicação de isolamento extra na cobertura. Seguindo o mesmo raciocínio utilizado na análise relativa à substituição da cor das paredes externas, nesse caso, a diminuição do valor de absorvância, atinente a alteração da cor da telha, também possibilitou que uma maior fração de radiação solar incidente fosse refletida pela cobertura. Soma-se a isso, a elevação do valor de emissividade, que propiciou que o calor retido pelo material fosse dissipado com mais facilidade, favorecendo assim o efeito de resfriamento. Ambas as propriedades se mostraram favoráveis para regiões de clima quente, ratificando as sugestões de projeto adequadas à abordagem adaptativa e estática, em especial a de número 43.

Para mais, apesar de ter uma durabilidade inferior, é relevante atentar que a telha de fibrocimento pintada de branco tem um custo de implementação menor, comparativamente à solução empregada na edificação em condição real, quesito que também deve ser considerado no diagnóstico sobre a efetividade do isolamento térmico para edificações com esse padrão de uso em climas semelhante ao analisado. Devido à cor, para que tal comportamento seja mantido, a

aplicação dessa solução deve considerar condições adequadas de manutenção e limpeza

Em consequência do exposto, entende-se que a opção se mostrou apropriada e com potencial para contribuir com o conforto térmico e eficiência energética apenas em retroalimentação do projeto ou em edificações acadêmicas novas, tendo em vista a inviabilidade de substituição da cobertura do Edifício Multiuso.

5.3.6. Resultado das Simulações Computacionais - Isolamento Térmico de Fachada *StoTherm*

Dando seguimento, esse item apresentará os resultados de consumo energético e nível de conforto térmico obtidos pelas salas de aula considerando a inclusão do material *StoTherm Classic* na fachada da edificação. Salienta-se que a opção por essa estratégia projetual buscou cessar qualquer incerteza relacionada à utilização de isolamento térmico em edificações de ensino. Destaca-se que essa estratégia projetual não se mostrou uma solução benéfica para ambientes acadêmicos, acredita-se que em função do seu período de uso, embora tenha um papel interessante em algumas condições específicas, como, por exemplo, para diminuir um percentual de desconforto por frio muito intenso durante as horas ocupadas em determinado cômodo.



5.3.6.1. Consumo energético com refrigeração e aquecimento

A simulação utilizando os parâmetros estabelecidos para o isolamento térmico de fachada proporcionou reexaminar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente. A Tabela 5.25 apresenta o consumo para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula.

Tabela 5.25. Isolamento térmico de fachada - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ²	Consumo de energia para refrigerar o ambiente	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ²	Consumo total de energia por m ²
	(m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh)	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	6,46	0,08	9816,72	117,34	117,42
Sl. Aula 02	82,77	4,35	0,05	9911,99	119,75	119,80
Sl. Aula 03	82,77	4,33	0,05	9881,48	119,38	119,43
Sl. Aula 04	41,39	2,16	0,05	4735,80	114,42	114,47
Sl. Aula 05	82,77	8,37	0,10	9214,92	111,33	111,43
Sl. Aula 06	41,39	3,32	0,08	4569,91	110,41	110,49

Sl. Aula 07	82,77	6,01	0,07	9606,21	116,06	116,13
Sl. Aula 08	82,77	6,02	0,07	9620,35	116,23	116,30
Sl. Aula 09	83,66	8,11	0,10	9576,80	114,47	114,57
Sl. Aula 10	83,66	12,42	0,15	10829,89	129,45	129,60
Sl. Aula 11	82,77	8,67	0,10	11054,29	133,55	133,65
Sl. Aula 12	82,77	8,61	0,10	11012,58	133,05	133,15
Sl. Aula 13	41,39	4,84	0,12	5169,23	124,89	125,01
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	5,74	0,07	10048,68	120,11	120,18
Sl. Aula 15	82,77	3,72	0,04	10155,92	122,70	122,74
Sl. Aula 16	82,77	3,68	0,04	10132,97	122,42	122,46
Sl. Aula 17	41,39	1,76	0,04	4892,18	118,20	118,24
Sl. Aula 18	41,39	2,86	0,07	4699,93	113,55	113,62
Sl. Aula 19	82,77	5,42	0,07	9803,62	118,44	118,51
Sl. Aula 20	82,77	5,44	0,07	9817,66	118,61	118,68
Sl. Aula 21	83,66	7,51	0,09	9770,88	116,79	116,88
Sl. Aula 22	83,66	10,20	0,12	11245,93	134,42	134,54
Sl. Aula 23	82,77	6,86	0,08	11502,79	138,97	139,05
Sl. Aula 24	82,77	6,74	0,08	11472,93	138,61	138,69
Sl. Aula 25	41,39	3,51	0,08	5476,82	132,32	132,40
Sl. Aula 26	82,77	14,01	0,17	10479,21	126,61	126,78

Legenda:  Maior consumo total  Menor consumo total

O menor consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu, uma vez mais, na sala de aula 15, 16 e 17, com 0,04 kWh/m², situadas no pavimento térreo do Bloco de Aulas 02. Já o maior consumo para aquecimento por m² foi observado na sala de aula 26, com 0,17 kWh/m², localizada no pavimento superior desse mesmo bloco. Reiteradamente, o consumo mais elevado para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 23, com 138,97 kWh/m², e o menor consumo por m² foi observado na sala de aula 06, com 110,41 kWh/m², ambientes instalados no pavimento superior do Bloco de Aulas 02 e no térreo do Bloco de Aulas 01, nessa ordem. O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 161,12 kWh e para arrefecimento de 234.499,69 kWh. O consumo energético total com condicionamento mecânico foi de 234.660,81 kWh, uma carga térmica total de 122,92 kWh/m². Novamente, as Figuras 5.87 e 5.88 exibem uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com o consumo em kWh/m² para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula.

Figura 5.87. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

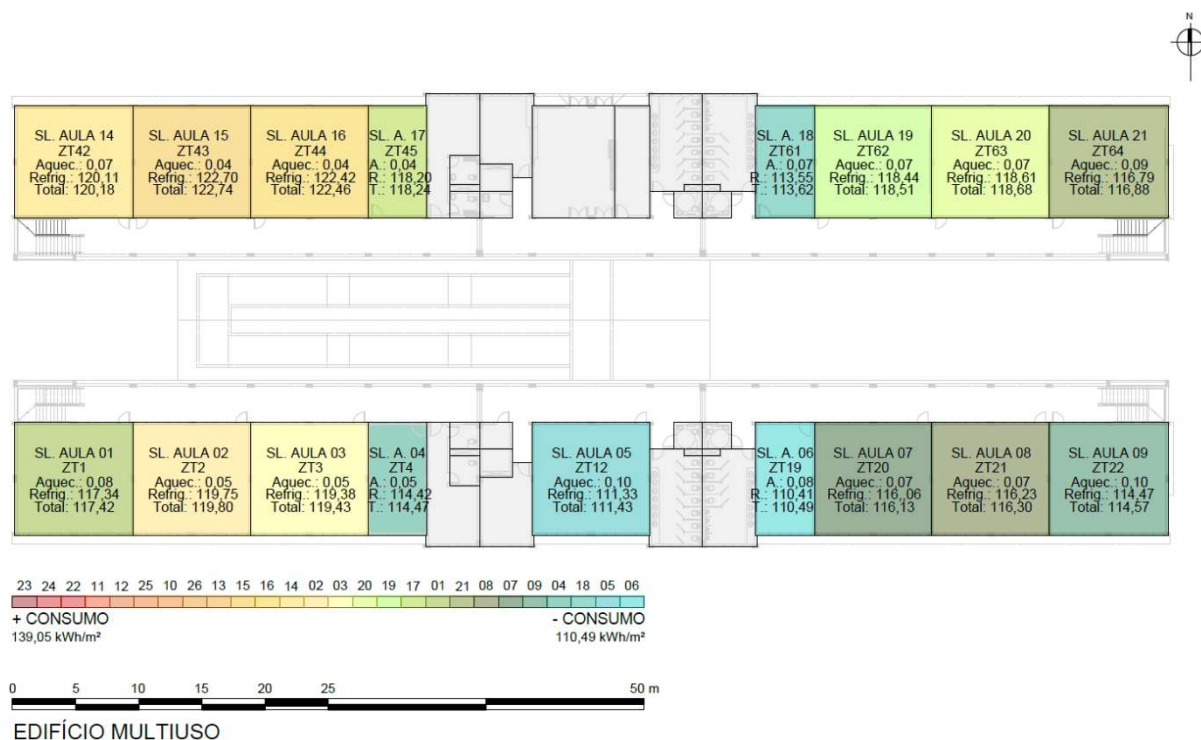
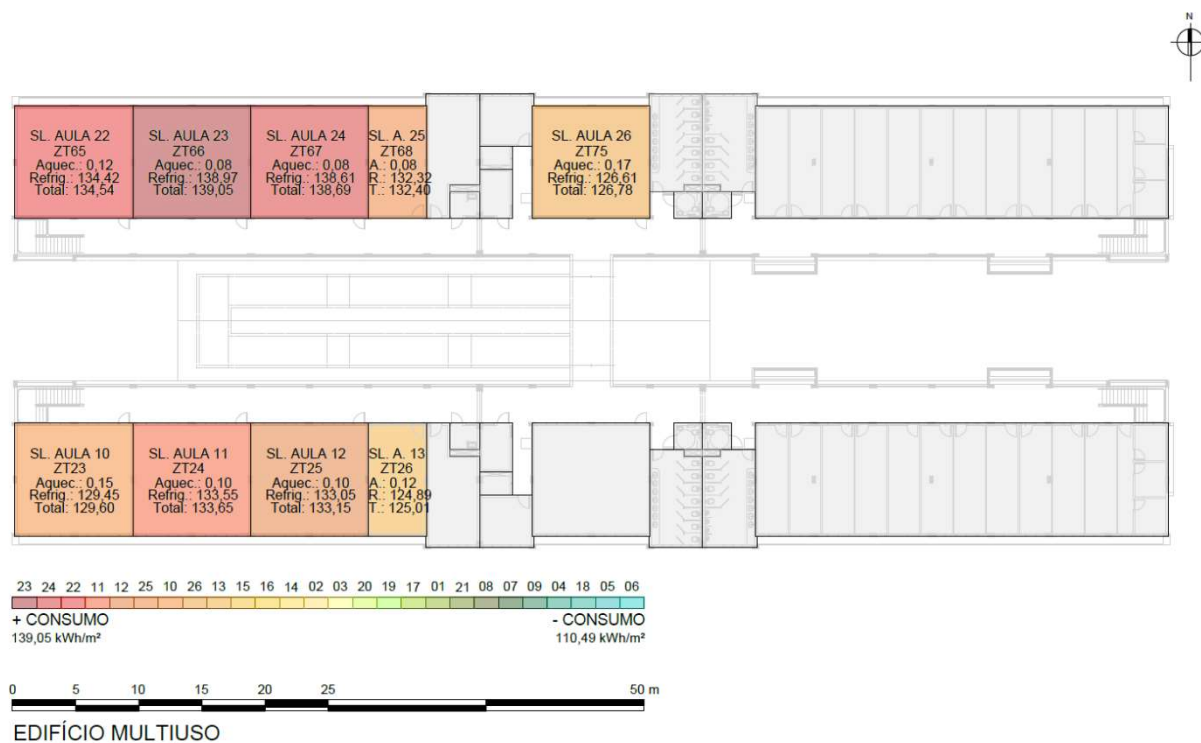


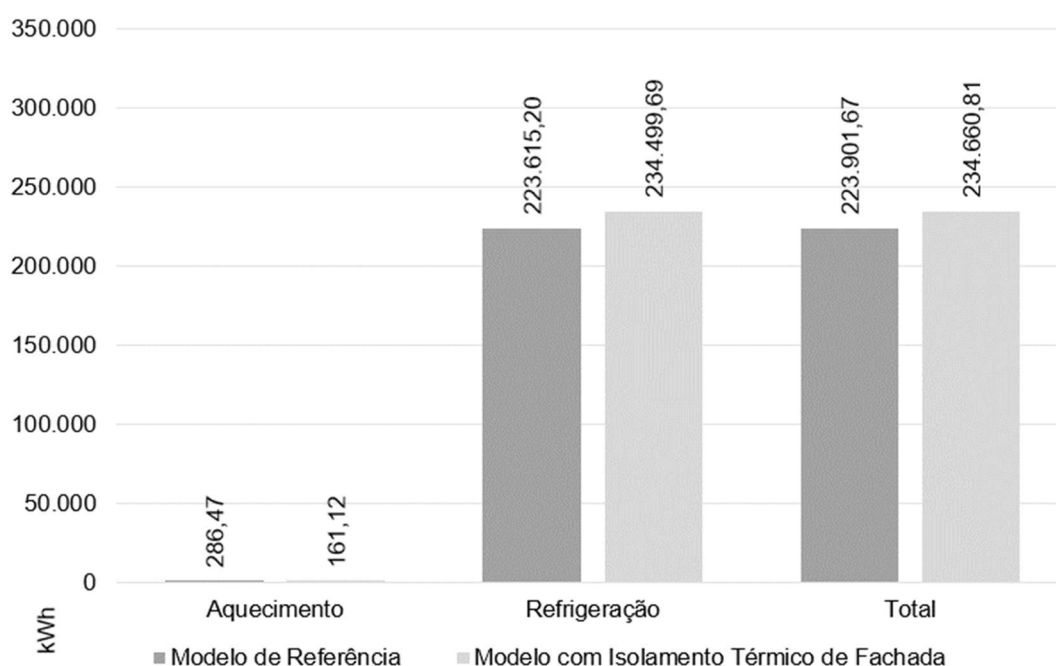
Figura 5.88. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²



A inclusão do isolamento térmico de fachada representaria um incremento de 4,80% no consumo total de energia para aquecimento e arrefecimento dos espaços em relação ao

modelo de referência, traduzindo-se em um custo total de R\$ 216.961,30, de acordo com os valores atualizados cobrados pela COPEL (2022), ou seja, um gasto extra de R\$ 9.138,78 com energia. Os resultados se repetem quanto ao consumo com o condicionamento artificial, sendo o menor e o maior consumo por m² proporcionados pelas salas de aula 06 e 23, com 110,49 kWh/m² e 139,05 kWh/m², respectivamente, um comportamento energético que se mantém, ainda que observada a redução do desempenho quanto a esse quesito. A Figura 5.89 correlaciona os resultados obtidos por ambos os modelos.

Figura 5.89. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento térmico de fachada



5.3.6.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

Os índices obtidos após a inclusão de um isolamento na fachada viabilizaram rever as condições de conforto e de desconforto térmico proporcionadas por cada sala de aula ventilada naturalmente durante as horas ocupadas, conforme Tabela 5.26.

Tabela 5.26. Isolamento térmico de fachada - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{mín} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	17,9	33,9	26,5	78,06%	0,36%	21,58%
Sl. Aula 02	18,3	33,8	26,6	77,81%	0,15%	22,04%
Sl. Aula 03	18,3	33,7	26,5	78,19%	0,14%	21,67%
Sl. Aula 04	18,2	33,4	26,3	82,64%	0,17%	17,19%
Sl. Aula 05	17,7	33,4	26,1	83,06%	0,94%	16,00%
Sl. Aula 06	17,9	33,3	26,1	84,17%	0,50%	15,33%
Sl. Aula 07	18,0	33,6	26,4	80,65%	0,35%	19,00%
Sl. Aula 08	18,0	33,6	26,4	80,40%	0,35%	19,25%
Sl. Aula 09	17,6	33,7	26,3	79,62%	0,94%	19,44%
Sl. Aula 10	15,7	33,6	27,1	61,00%	1,98%	37,02%
Sl. Aula 11	16,3	36,4	27,3	58,88%	1,29%	39,83%
Sl. Aula 12	16,3	36,4	27,3	59,58%	1,29%	39,13%
Sl. Aula 13	16,2	35,7	26,9	67,10%	1,50%	31,40%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	18,0	33,9	26,6	76,87%	0,21%	22,92%
Sl. Aula 15	18,4	33,8	26,7	76,13%	0,08%	23,79%
Sl. Aula 16	18,4	33,8	26,7	76,52%	0,08%	23,40%
Sl. Aula 17	18,4	33,4	26,5	80,86%	0,08%	19,06%
Sl. Aula 18	18,0	33,3	26,3	82,81%	0,36%	16,83%
Sl. Aula 19	18,1	33,6	26,5	79,48%	0,23%	20,29%
Sl. Aula 20	18,1	33,6	26,5	79,27%	0,25%	20,48%
Sl. Aula 21	17,7	33,7	26,4	78,54%	0,69%	20,77%
Sl. Aula 22	16,2	36,5	27,4	57,98%	1,42%	40,60%
Sl. Aula 23	16,8	36,5	27,6	54,77%	1,00%	44,23%
Sl. Aula 24	16,9	36,4	27,6	55,62%	0,98%	43,40%
Sl. Aula 25	17,0	35,8	27,2	63,06%	0,98%	35,96%
Sl. Aula 26	15,7	36,0	26,9	65,63%	2,38%	31,99%

Legenda: Menor conforto Maior conforto

Os espaços que apresentaram a menor To_{mín} e a maior To_{máx} foram, respectivamente, as salas 10 e 26, com 15,7°C, instaladas no pavimento superior do Bloco de Aulas 01 e 02, e as salas 22 e 23, com 36,5°C, localizadas no pavimento superior do Bloco de Aulas 02. A menor To_{máx} foi registrada nas salas de aula 06 e 18, 33,3°C, situadas em posição semelhante em blocos opostos. Proporcionaram o maior e menor percentual de bem-estar térmico as salas 06 e 23, com 84,17% e 54,77%, respectivamente.

Novamente, conclui-se que as ponderações outrora expostas para o modelo de referência podem igualmente esclarecer esses dados ligados ao comportamento térmico da edificação. Contudo, é importante ressaltar que após a incorporação do isolamento de fachada, houve uma breve redução no desconforto por frio e um aumento moderado no desconforto por calor relativamente ao edifício em condições de projeto. Supostamente, o isolamento aplicado às paredes externas dificultou a dissipação do calor absorvido, provocando o sobreaquecimento desses espaços, mas também os protegendo durante os períodos de temperatura mais baixa. Por isso, a

determinação de seu uso deve considerar o clima durante todo o ano, ou ser verificada a possibilidade de aplicação em fachadas específicas.

Destaca-se que, no geral, a solução piorou o desempenho térmico da edificação. É importante salientar que, nessa simulação, nas salas de aula 10, 11, 12, 13, 25 e 26 o percentual de desconforto por calor foi maior do que 30%, e nas salas 22, 23 e 24, esse índice ultrapassou a faixa dos 40%. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.90 e 5.91, respectivamente.

Figura 5.90. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

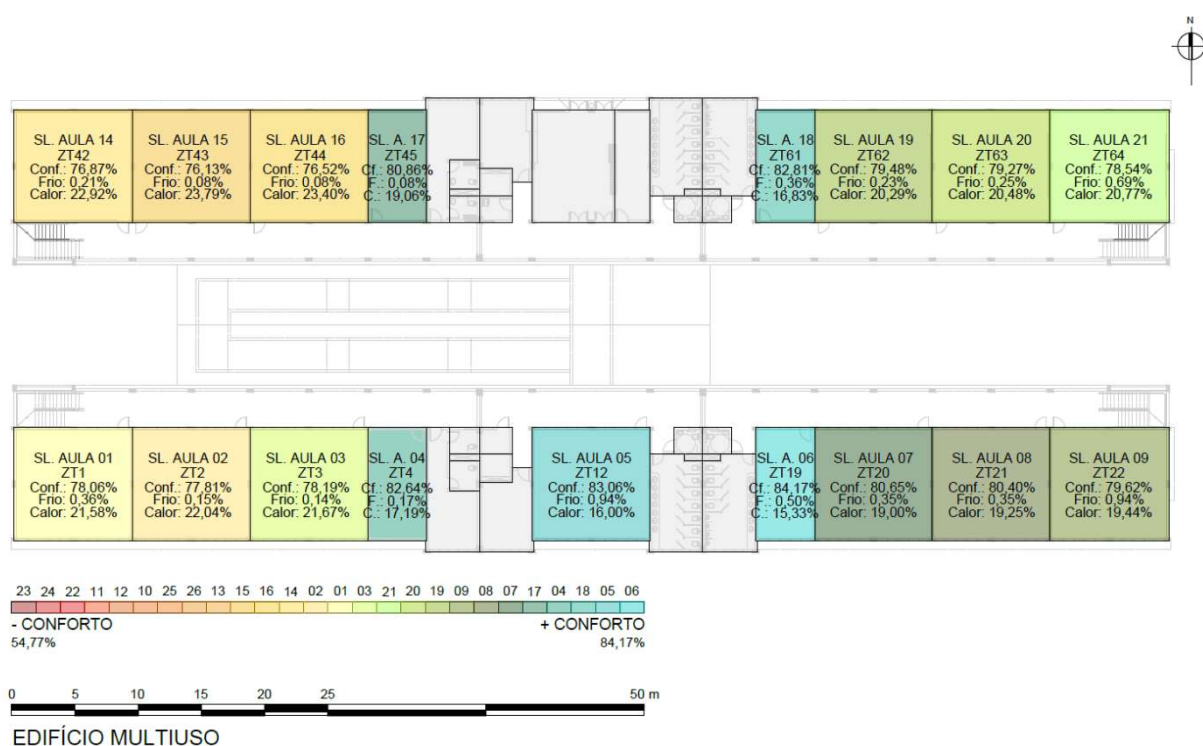
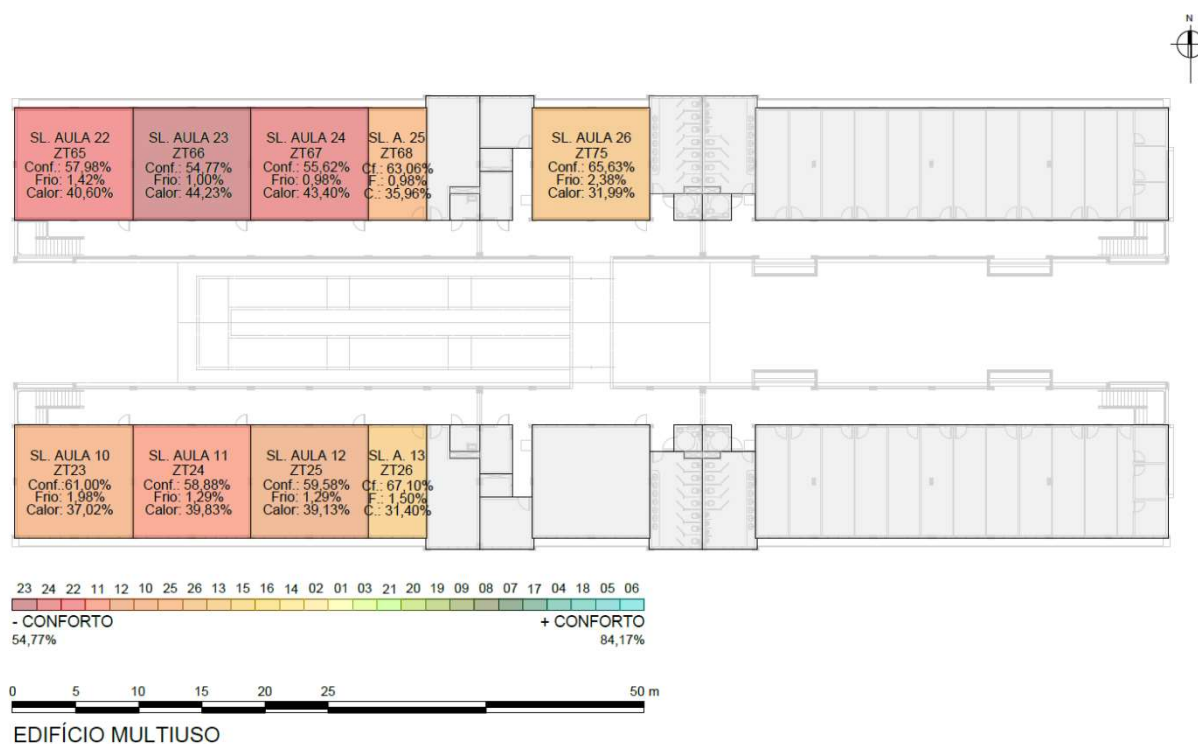
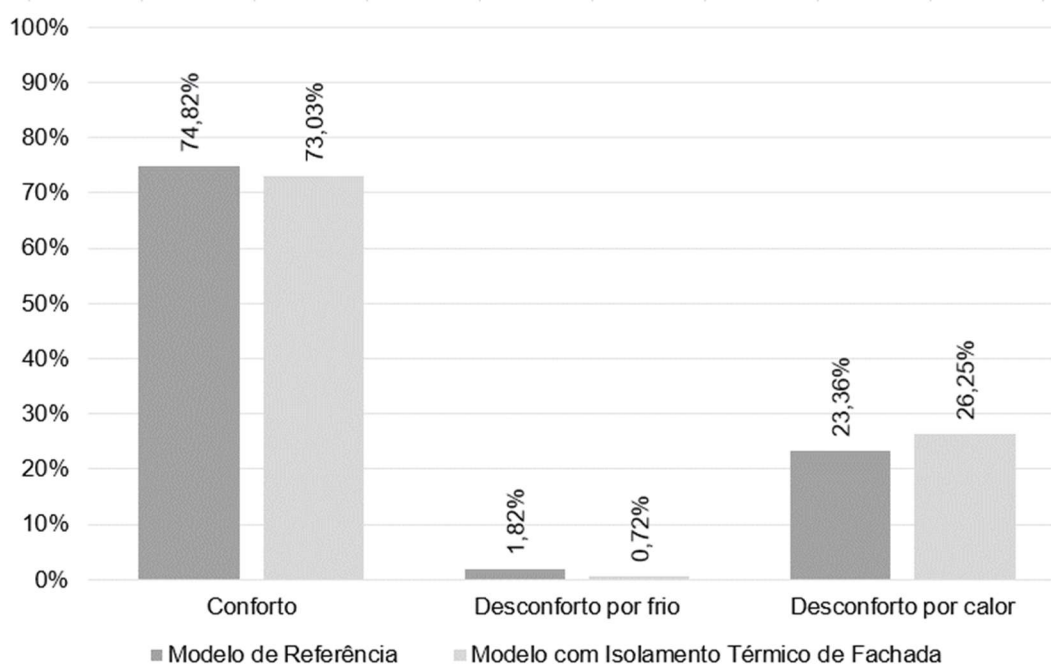


Figura 5.91. Isolamento térmico de fachada - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



Na Figura 5.92 é possível comparar os resultados alcançados pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a inclusão de isolamento térmico *StoTherm* na fachada do Edifício Multiuso. A modificação resultaria em uma redução média de 1,79% no percentual de conforto térmico assegurado pelas salas de aula.

Figura 5.92. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a inclusão de isolamento térmico de fachada



Tal como a utilização de isolamento extra na cobertura, a incorporação do material *Sto Therm Classic* na fachada da edificação revelou-se uma estratégia ineficaz para otimização do modelo em relação à edificação de referência. Similarmente, considera-se que o material dificultou a dissipação do calor, principal fonte de desconforto, absorvido pelas salas de aula de ambos os blocos, reduzindo seus índices de conforto térmico. Os resultados dessas simulações, associados aos dados obtidos pelo modelo com a inclusão de lã de rocha, contribuiram para dirimir as incertezas relacionadas à utilização de isolamento térmico nesse contexto de uso e ocupação.

A partir das ponderações apresentadas e considerando o custo de implementação de soluções equivalentes, compreende-se que o isolamento extra da envoltória se mostrou uma opção inapropriada ao modelo e, eventualmente, aos empreendimentos acadêmicos em função do seu período de funcionamento e padrão de ocupação, atuando negativamente no aumento do superaquecimento dos ambientes.

5.3.7. Resultado das Simulações Computacionais - Brise Horizontal na Fachada Norte

Nesse item serão apresentados os resultados obtidos pela edificação, considerando a incorporação de brises horizontais na fachada norte de forma a favorecer, especialmente, as janelas das salas de aula localizadas no Bloco de Aulas 02. A adição desse

elemento de sombreamento baseou-se nas sugestões de projeto passivo de número 37, 53 e 58 e ativo de número 57 contidas no item “5.1.1.1, Análise bioclimática”.

5.3.7.1. Consumo energético com refrigeração e aquecimento

A simulação considerando a alteração da configuração arquitetônica do modelo de referência, notadamente a inclusão de brises, proporcionou reavaliar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente. A Tabela 5.27 apresenta o consumo de cada sala de aula para aquecimento, refrigeração e total.

Tabela 5.27. Brise horizontal na fachada norte - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente (m ²)	Consumo de energia para aquecer o ambiente (kWh)	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente (kWh)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo total de energia por m ² (kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	13,57	0,16	9188,73	109,83	109,99
Sl. Aula 02	82,77	8,63	0,10	9370,48	113,21	113,31
Sl. Aula 03	82,77	8,55	0,10	9342,98	112,88	112,98
Sl. Aula 04	41,39	4,43	0,11	4444,78	107,39	107,50
Sl. Aula 05	82,77	15,59	0,19	8594,62	103,84	104,03
Sl. Aula 06	41,38	6,52	0,16	4258,95	102,90	103,06
Sl. Aula 07	82,77	10,89	0,13	9083,28	109,74	109,87
Sl. Aula 08	82,77	10,92	0,13	9095,17	109,88	110,01
Sl. Aula 09	83,66	15,89	0,19	9008,47	107,68	107,87
Sl. Aula 10	83,66	21,76	0,26	10230,34	122,28	122,54
Sl. Aula 11	82,77	13,32	0,16	10577,82	127,80	127,96
Sl. Aula 12	82,77	13,07	0,16	10548,13	127,44	127,60
Sl. Aula 13	41,39	7,47	0,18	4931,47	119,15	119,33
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	13,15	0,16	9131,26	109,15	109,31
Sl. Aula 15	82,77	8,28	0,10	9319,24	112,59	112,69
Sl. Aula 16	82,77	8,14	0,10	9304,11	112,41	112,51
Sl. Aula 17	41,39	4,04	0,10	4458,48	107,72	107,82
Sl. Aula 18	41,39	6,27	0,15	4233,11	102,27	102,42
Sl. Aula 19	82,77	10,72	0,13	8977,26	108,46	108,59
Sl. Aula 20	82,77	10,77	0,13	8987,69	108,59	108,72
Sl. Aula 21	83,66	15,75	0,19	8904,86	106,44	106,63
Sl. Aula 22	83,66	21,12	0,25	10088,04	120,58	120,83
Sl. Aula 23	82,77	12,93	0,16	10427,71	125,98	126,14
Sl. Aula 24	82,77	12,55	0,15	10417,98	125,87	126,02
Sl. Aula 25	41,39	6,49	0,16	4969,98	120,08	120,24
Sl. Aula 26	82,77	26,29	0,32	9420,48	113,82	114,14

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

A incorporação do brise provocou uma alteração no comportamento do edifício em relação ao consumo energético com ar-condicionado. De forma diferente, o menor consumo de energia para aquecimento por m^2 ocorreu nas salas de aula 02, 03, 15, 16, 17, com $0,10 \text{ kWh}/m^2$, localizadas no pavimento térreo de ambos os blocos. Já o maior consumo para aquecimento por m^2 se manteve na sala de aula 26, com $0,32 \text{ kWh}/m^2$, instalada no pavimento superior do Bloco de Aulas 02. O consumo mais elevado para refrigeração por m^2 foi verificado na sala de aula 11, com $127,80 \text{ kWh}/m^2$, e o menor consumo foi observado na sala de aula 18, com $102,27 \text{ kWh}/m^2$.

O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de $307,11 \text{ kWh}$ e para arrefecimento de $217.315,42 \text{ kWh}$. O consumo energético total com condicionamento artificial foi de $217.622,53 \text{ kWh}$, ou $113,99 \text{ kWh}/m^2$. As Figuras 5.93 e 5.94 exibem uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com o consumo em kWh/m^2 para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula.

Figura 5.93. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m^2



Figura 5.94. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

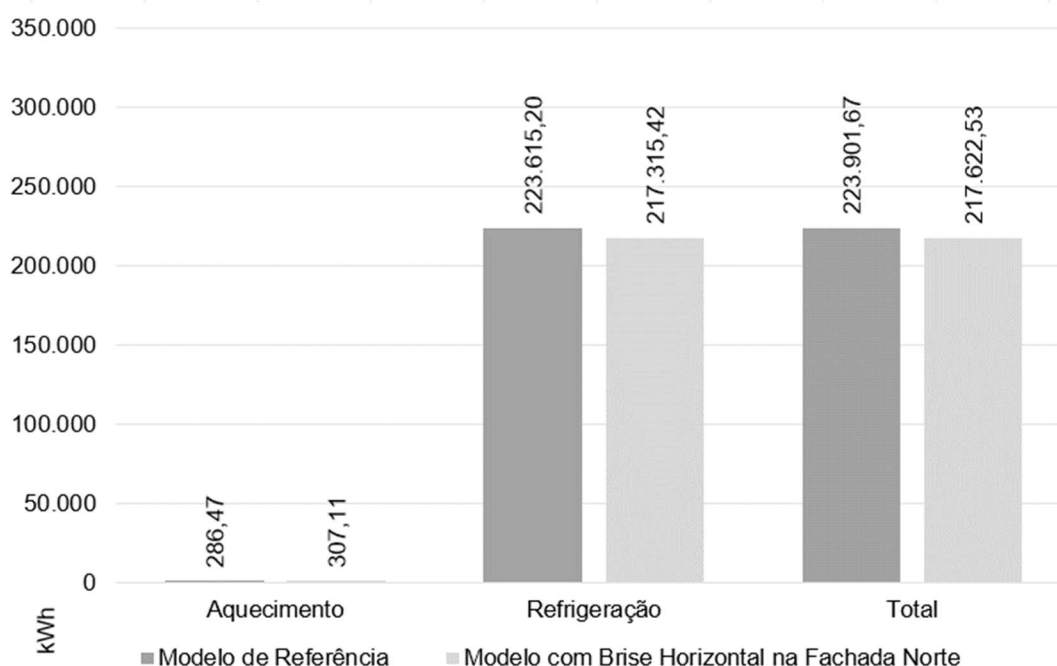


No que diz respeito aos custos, considerando a incorporação desse elemento de sombreamento, tal demanda energética representaria um montante de R\$ 202.150,50, de acordo com os valores atualizados cobrados pela COPEL (2022).

Os dados acerca do condicionamento artificial divergem do verificado anteriormente, sendo o menor consumo por m² para aquecimento e arrefecimento dos espaços proporcionados, respectivamente, pela sala de aula 18, com 102,42 kWh/m², espaço para 25 pessoas localizado no térreo do Bloco de Aulas 02, posição similar à sala 06, e pela sala de aula e 11, com 127,96 kWh/m², ambiente projetado para 51 usuários, localizado mais a oeste do pavimento superior do Bloco de Aulas 01, posição similar à sala 23. É interessante destacar essa inversão dos resultados até então obtidos por ambientes congêneres de blocos opostos. Acredita-se que a inclusão dessa estratégia projetual tenha atuado positivamente para diminuição do calor absorvido pelas salas de aula ao promover o sombreamento, sobretudo dos elementos transparentes, da fachada norte da edificação.

Relativamente ao modelo de referência, o modelo contando com o brise, alcançaria uma redução média de 2,80% no consumo total de energia para condicionamento artificial dos espaços, ou seja, uma economia de R\$ 5.672,11. Na Figura 5.95 observa-se os resultados obtidos por ambos os modelos.

Figura 5.95. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de brise horizontal na fachada norte



5.3.7.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

Os índices obtidos após a inclusão de brises horizontais na fachada norte viabilizaram rever as condições de conforto e de desconforto térmico proporcionadas por cada sala de aula ventilada naturalmente durante as horas ocupadas (Tabela 5.28).

Tabela 5.28. Brise horizontal na fachada norte - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{min} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,9	34,0	26,1	79,37%	1,94%	18,69%
Sl. Aula 02	17,4	33,8	26,2	80,42%	1,10%	18,48%
Sl. Aula 03	17,4	33,7	26,2	80,92%	1,08%	18,00%
Sl. Aula 04	17,4	33,4	26,0	84,06%	1,25%	14,69%
Sl. Aula 05	16,8	33,4	25,8	83,98%	2,44%	13,58%
Sl. Aula 06	17,0	33,3	25,8	84,88%	1,99%	13,13%
Sl. Aula 07	17,2	33,6	26,1	81,83%	1,75%	16,42%
Sl. Aula 08	17,2	33,6	26,1	81,69%	1,79%	16,52%
Sl. Aula 09	16,7	33,9	26,0	79,89%	2,44%	17,67%
Sl. Aula 10	14,6	36,5	26,7	63,50%	3,85%	32,65%
Sl. Aula 11	15,4	36,4	27,0	62,92%	2,21%	34,87%

Sl. Aula 12	15,5	36,3	27,0	63,58%	2,19%	34,23%
Sl. Aula 13	15,4	35,6	26,6	69,94%	2,54%	27,52%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	16,9	33,8	26,1	80,90%	1,89%	17,21%
Sl. Aula 15	17,5	33,6	26,2	81,73%	1,04%	17,23%
Sl. Aula 16	17,5	33,5	26,2	82,04%	1,04%	16,92%
Sl. Aula 17	17,5	33,2	26,0	84,50%	1,10%	14,40%
Sl. Aula 18	17,0	33,1	25,8	85,67%	1,94%	12,39%
Sl. Aula 19	17,2	33,4	26,0	82,98%	1,85%	15,17%
Sl. Aula 20	17,1	33,4	26,0	82,85%	1,88%	15,27%
Sl. Aula 21	16,7	33,7	25,9	81,62%	2,44%	15,94%
Sl. Aula 22	14,7	36,1	26,6	67,00%	3,75%	29,25%
Sl. Aula 23	15,6	35,9	26,8	66,94%	2,31%	30,75%
Sl. Aula 24	15,7	35,9	26,8	67,39%	2,19%	30,42%
Sl. Aula 25	15,9	35,3	26,6	71,52%	2,21%	26,27%
Sl. Aula 26	14,3	35,6	26,1	72,54%	4,63%	22,83%

Legenda:  Menor conforto  Maior conforto

Nessa simulação, a sala de aula 10, instalada na extremidade oeste do pavimento superior do Bloco de Aulas 01, apresentou a menor $To_{\text{mín}}$ e a maior $To_{\text{máx}}$, 14,3°C e 36,5°C, nessa ordem. A menor $To_{\text{máx}}$ foi proporcionada pela sala 18, 33,1°C, ambiente situado na porção central do térreo do Bloco de Aulas 02. Diferente dos resultados anteriores, o maior e menor percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi registrado na sala de aula 18, 85,67%, e na sala de aula 11, 62,92%, esta última localizada no pavimento superior do Bloco de Aulas 01. Supõe-se que essa inversão dos resultados até então obtidos pelas salas de aula 06 e 23 deve-se à inclusão dos brises e a decorrente diminuição do calor absorvido pelas salas de aula.

No que diz respeito especificamente ao Bloco de Aulas 02, os resultados demonstraram uma melhoria moderada nas condições de conforto térmico em relação ao modelo de referência, um incremento médio 4,15%. Ainda assim, as salas de aula 10, 11, 12, 23 e 24 mantiveram um percentual de desconforto por calor maior do que 30%. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.96 e 5.97, respectivamente.

Figura 5.96. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

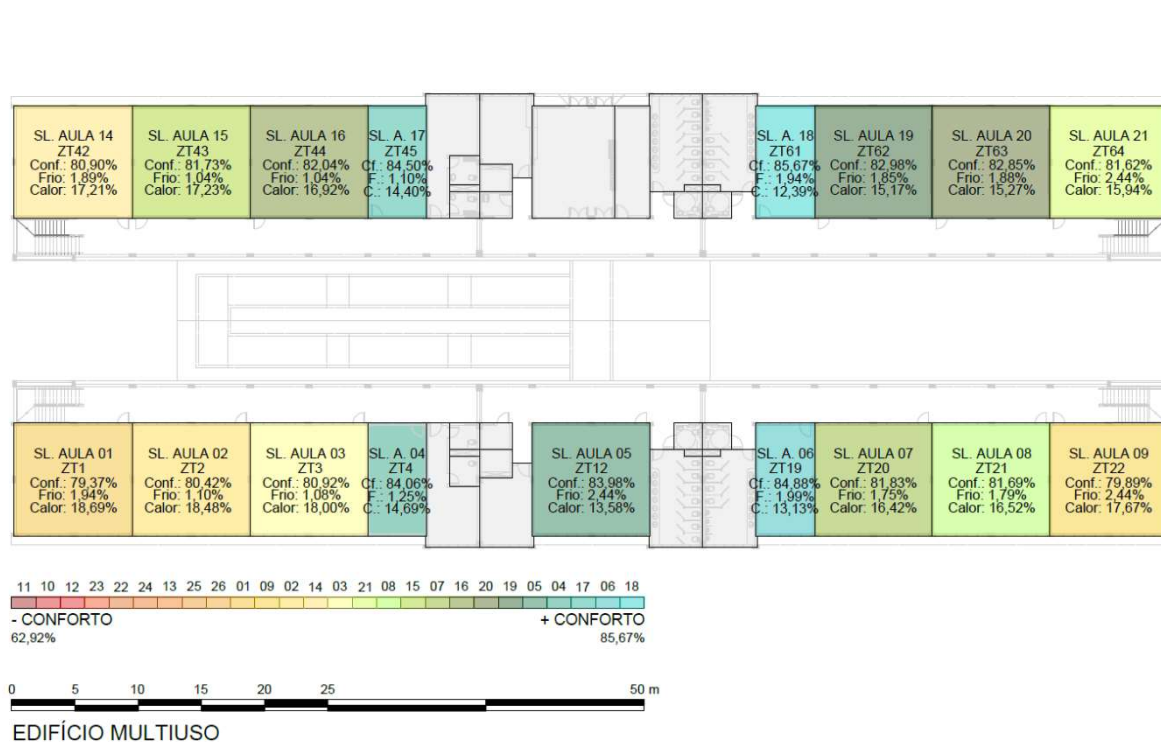


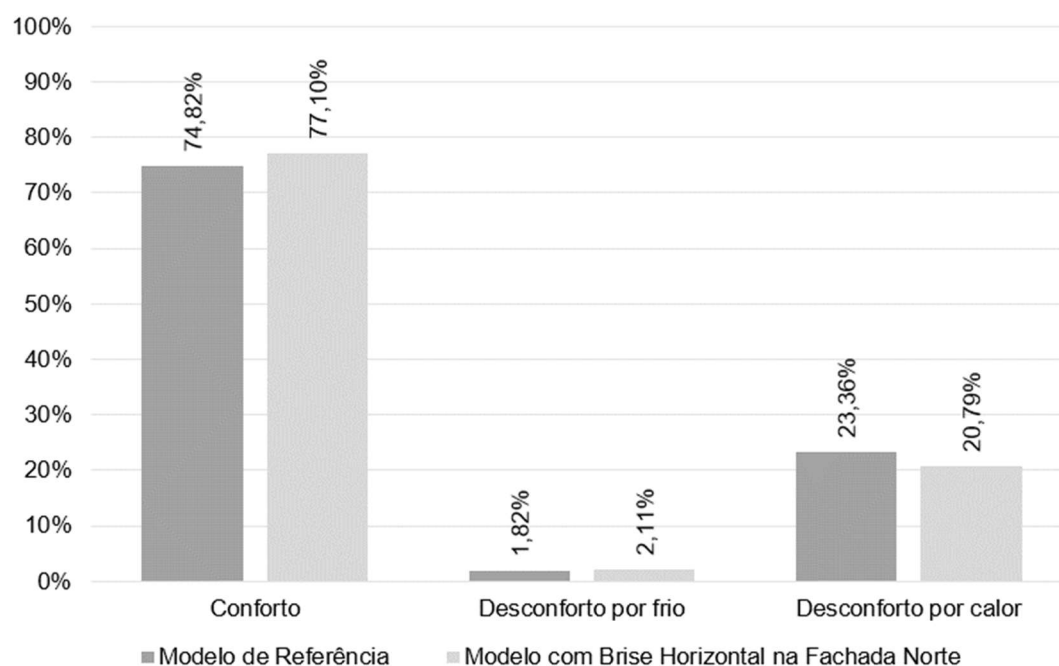
Figura 5.97. Brise horizontal na fachada norte - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



A Figura 5.98 estabelece um paralelo entre os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a inclusão de brises horizontais na fachada norte. A

mudança representaria um ganho médio de 2,28% no percentual de conforto térmico propiciado pelas salas de aula do Edifício Multiuso como um todo.

Figura 5.98. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a aplicação de brise horizontal na fachada norte



Conforme o esperado, a incorporação de brises horizontais na fachada norte, como estratégia projetual, aumentou o desempenho termo energético do modelo relativamente à edificação de referência. A alteração da configuração arquitetônica do Edifício Multiuso, a partir da adição desse elemento de sombreamento propiciou a redução da temperatura operativa durante as horas ocupadas nas salas de aula localizadas, especialmente, no Bloco de Aulas 02, aumentando ligeiramente o desconforto por frio, mas diminuindo moderadamente o desconforto por calor. A solução se mostrou válida para controlar a exposição demasiada e desfavorável à radiação solar direta e, conseqüentemente, para diminuir os ganhos de calor.

Não obstante, faz-se necessário considerar o custo de implementação dessa variação projetual e, ainda que não discutido ao longo desse trabalho, eventuais danos à infiltração de luz natural e à permeabilidade visual, com impacto nos níveis de conforto lumínico.

Todavia, ao ponderar todas as questões que envolvem a incorporação dessa estratégia e apesar do dispêndio financeiro envolvido, acredita-se que a opção se mostrou vantajosa do ponto de vista do conforto térmico e consumo energético para futuras adequações do Edifício Multiuso, em caso de disponibilidade orçamentária, em retroalimentação do projeto ou em edificações acadêmicas novas.

5.3.8. Resultado das Simulações Computacionais - Modelo de Janela

Os dados exibidos na sequência correspondem ao percentual de conforto e desconforto térmico decorrentes da alteração do modelo de janelas, do tipo vidro fixo + maxim-ar e do tipo maxim-ar para basculante com inclinação 90° e altura de abertura equivalente à altura total da superfície transparente. A estratégia visou aumentar a área de ventilação dos elementos transparentes e, assim como no caso anterior, baseou-se em nas diretrizes para projeto segundo a abordagem adaptativa de número 35 apresentada no tópico “5.1.1.1, Análise bioclimática”.

5.3.8.1. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

Os índices obtidos após a alteração do modelo de janela empregado no Edifício Multiuso permitiram rever as condições de conforto e de desconforto térmico asseguradas por cada sala de aula ventilada naturalmente durante as horas ocupadas (Tabela 5.29).

Tabela 5.29. Modelo de janela - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{mín} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,9	34,0	26,0	83,17%	1,94%	14,89%
Sl. Aula 02	17,5	33,7	26,1	84,65%	1,08%	14,27%
Sl. Aula 03	17,5	33,7	26,0	84,96%	1,08%	13,96%
Sl. Aula 04	17,5	33,3	25,9	86,83%	1,23%	11,94%
Sl. Aula 05	16,9	33,4	25,6	86,60%	2,42%	10,98%
Sl. Aula 06	17,1	33,3	25,7	86,94%	2,00%	11,06%
Sl. Aula 07	17,2	33,6	25,9	85,27%	1,75%	12,98%
Sl. Aula 08	17,2	33,6	25,9	85,21%	1,75%	13,04%
Sl. Aula 09	16,7	33,9	25,9	83,27%	2,40%	14,33%
Sl. Aula 10	14,6	36,5	26,5	68,87%	3,90%	27,23%
Sl. Aula 11	15,4	36,3	26,7	69,19%	2,29%	28,52%
Sl. Aula 12	15,5	36,3	26,7	69,79%	2,19%	28,02%
Sl. Aula 13	15,3	35,6	26,4	74,27%	2,60%	23,13%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	17,0	34,0	26,1	82,33%	1,50%	16,17%
Sl. Aula 15	17,6	33,8	26,2	83,54%	0,73%	15,73%
Sl. Aula 16	17,6	33,7	26,2	83,85%	0,73%	15,42%
Sl. Aula 17	17,7	33,4	26,0	85,79%	0,71%	13,50%
Sl. Aula 18	17,2	33,3	25,8	86,04%	1,63%	12,33%
Sl. Aula 19	17,3	33,6	26,0	84,48%	1,31%	14,21%
Sl. Aula 20	17,3	33,6	26,0	84,38%	1,33%	14,29%
Sl. Aula 21	16,8	33,9	26,0	82,54%	2,13%	15,33%
Sl. Aula 22	15,0	36,5	26,7	66,44%	3,21%	30,35%
Sl. Aula 23	15,9	36,4	27,0	66,10%	1,73%	32,17%
Sl. Aula 24	16,0	36,3	27,0	66,63%	1,63%	31,74%

Sl. Aula 25	16,2	35,7	26,7	71,52%	1,69%	26,79%
Sl. Aula 26	14,7	36,0	26,3	73,13%	3,99%	22,88%

Legenda:  Menor conforto  Maior conforto

De acordo com o exposto, a menor $T_{o_{\min}}$ foi observada na sala de aula 10, 14,6°C, localizada no pavimento superior do Bloco de Aulas 01. Já a maior $T_{o_{\max}}$ foi verificada nas salas de aula 10 e 22, com 36,5°C, ambientes situados no pavimento superior do Bloco de Aulas 01 e 02, e a menor $T_{o_{\max}}$ foi proporcionada pelas salas 04, 06 e 18, com 33,3°C, posicionadas no pavimento térreo de ambos os blocos. O maior e menor percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi registrado, mais uma vez, na sala de aula 06, 86,94%, e na sala de aula 23, 66,10%. Vale reforçar que os dados obtidos pelo modelo em análise retratam um comportamento térmico similar à edificação em condição real, exceto por variações no percentual de conforto e nas temperaturas operativas.

Apesar de menor, o desconforto por calor se manteve maior nos ambientes situados no pavimento superior de ambos os blocos, entretanto mais expressivo no Bloco de Aulas 02. O desconforto por frio, da mesma maneira, ocorreu com maior intensidade no pavimento superior, mas com valores significativos nas salas de aula localizadas no térreo.

É relevante salientar que, mesmo com o aumento no percentual de conforto térmico relativamente à edificação em condição real, o índice de desconforto por calor se manteve maior do que 30% nas salas de aula 22, 23 e 24. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.99 e 5.100, respectivamente.

Figura 5.99. Modelo de janela - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

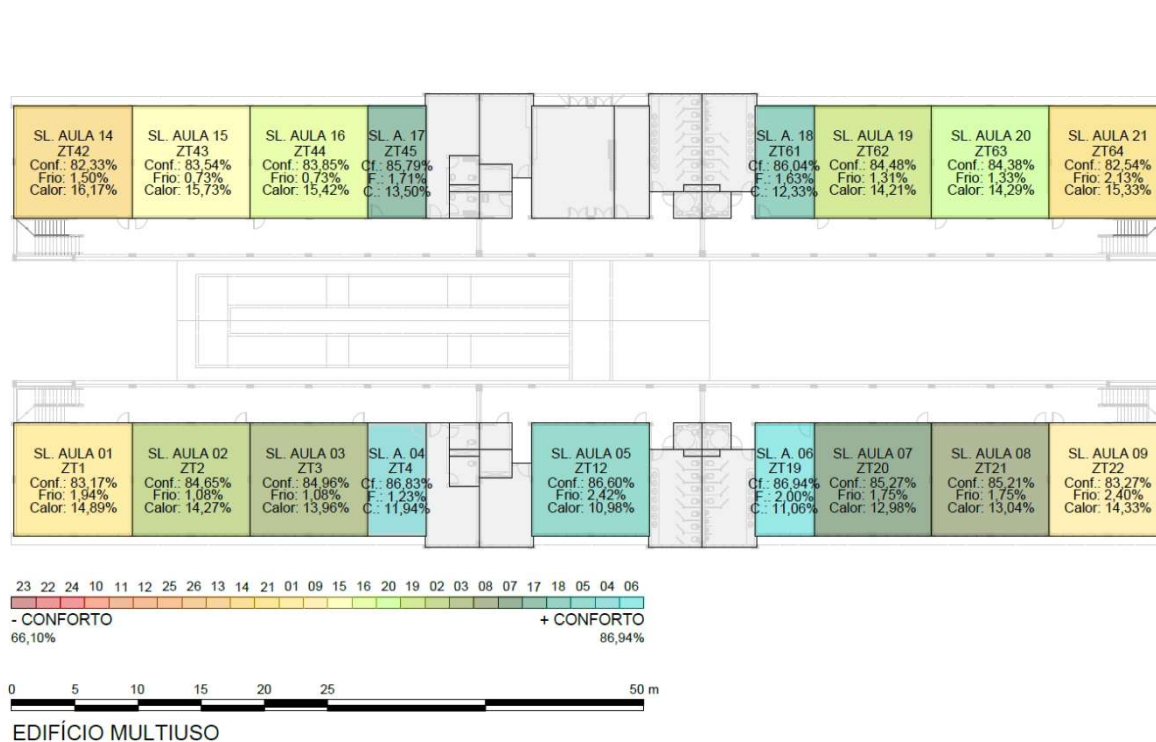
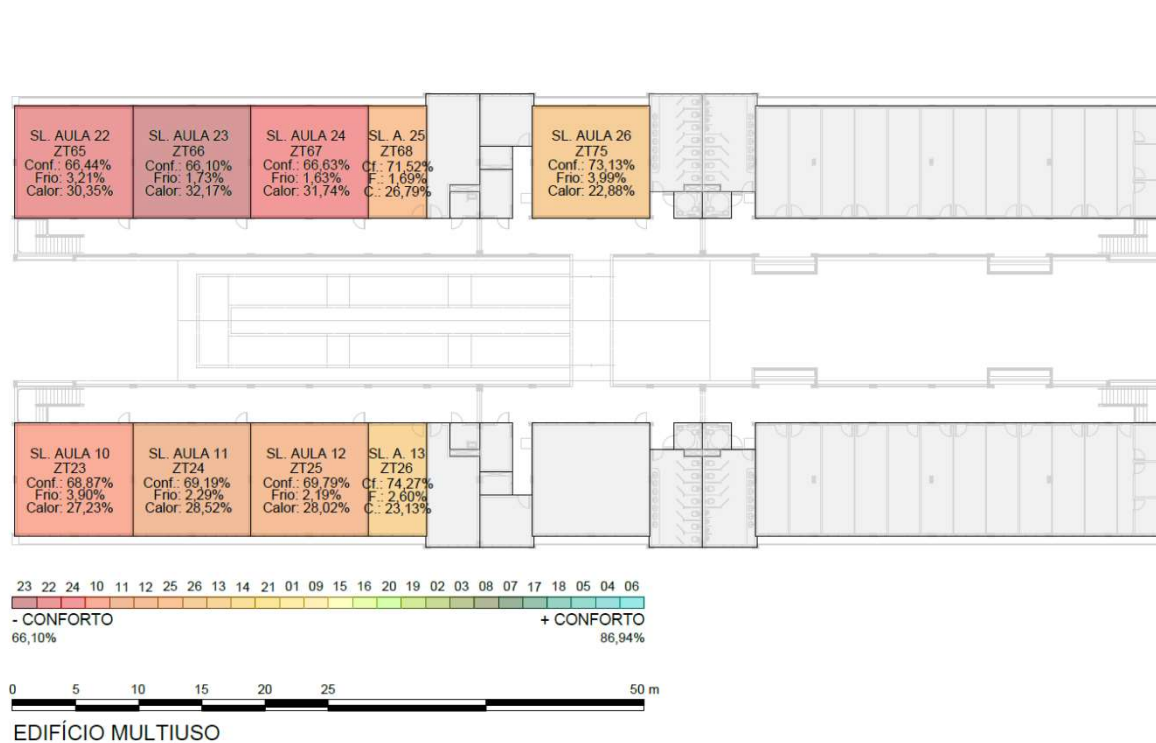


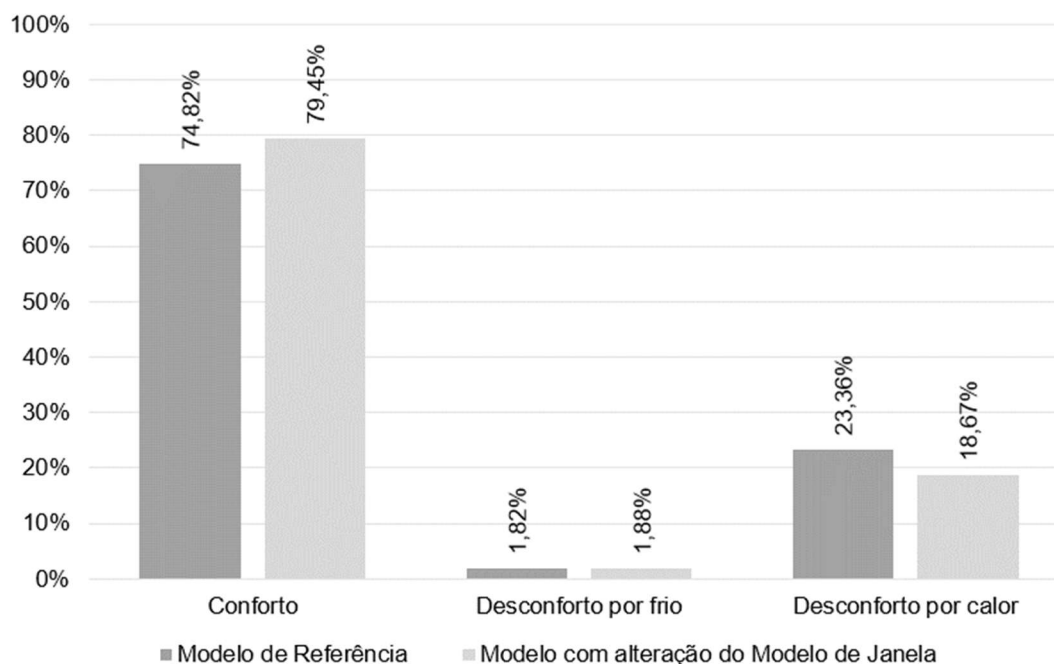
Figura 5.100. Modelo de janela - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



A Figura 5.101 exibe os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a alteração do tipo da janela empregada no Edifício Multiuso. A aplicação

dessa estratégia representaria um ganho médio de 4,63% no percentual de bem-estar térmico propiciado pelas salas de aula.

Figura 5.101. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a alteração do tipo de janela



Como previsto, a alteração do tipo de janelas para basculante com inclinação 90° e altura de abertura equivalente à altura total da superfície transparente, aumentou o desempenho térmico do modelo em relação à edificação em condições reais. A estratégia projetual procurou maximizar a ventilação natural das salas de aula, por meio do aumento da porcentagem de abertura das janelas, o que acarretou uma ligeira elevação do desconforto por frio e uma redução moderada do desconforto por calor. Em climas como o de Foz do Iguaçu, a distribuição de ar fresco e a remoção do ar quente através da ventilação abundante e cruzada é extremamente desejável, dado que auxilia no resfriamento dos ocupantes por convecção e na redução da temperatura interna dos ambientes, minimizando a necessidade do condicionamento artificial.

Com efeito, faz-se necessário atentar para o custo de implementação dessa solução que, nesse caso, envolve o aumento do número de perfis necessários para composição da esquadria. Ademais, a alteração, assim como no caso do brise, ocasionalmente produziria implicações relacionadas à infiltração de luz natural e à permeabilidade visual resultantes do acréscimo de subdivisões horizontais, além de questões relacionadas à segurança dos usuários.

Apesar disso, entende-se que a opção se mostrou apropriada e com potencial para contribuir com o conforto térmico em retroalimentação do projeto ou em edificações

acadêmicas novas, considerando a inexecutabilidade de substituição das esquadrias do Edifício Multiuso.

5.3.9. Resultado das Simulações Computacionais - Integração de Estratégias Projetuais

Para terminar, serão exibidos os resultados referentes ao desempenho termo energético obtidos pelas salas de aula após a integração das soluções mais adequadas em relação ao desempenho e consideradas viáveis economicamente, reunidas num mesmo modelo. Ressalta-se que essa seleção baseou-se na confrontação entre os resultados alcançados pela edificação de referência e os resultados propiciados pelos modelos que substituíram, alteraram, ou incorporaram estratégias projetuais.

Consequente, foram selecionadas as soluções: substituição de cor de fachada (palha), substituição de vidro de esquadrias (monolítico cor verde de 6 mm de espessura), substituição de telha (fibrocimento pintada de branco), inclusão de elemento de sombreamento externo (brise horizontal na fachada norte com aleta de 8 cm largura, inclinação de 0° e aproximadamente 18 unidades, no sentido vertical) e alteração de modelo de janela (tipo basculante com inclinação 90° e altura de abertura equivalente a altura total da superfície transparente). Esses últimos dados decorrentes têm por objetivo avaliar possíveis ganhos acumulados viabilizados por essa combinação.

5.3.9.1. *Consumo energético com refrigeração e aquecimento*

A simulação utilizando os parâmetros estabelecidos para cada uma das estratégias projetuais citadas permitiu reavaliar a edificação a partir de sua área condicionada artificialmente. Os dados obtidos, mais uma vez, revelaram o desempenho energético dos ambientes, representado pela demanda por aquecimento e refrigeração apresentada na Tabela 5.30.

Tabela 5.30. Integração de estratégias projetuais - Consumo para aquecimento e refrigeração por sala de aula

Ambiente	Dimensão do ambiente (m ²)	Consumo de energia para aquecer o ambiente (kWh)	Consumo de energia para aquecer o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente (kWh)	Consumo de energia para refrigerar o ambiente por m ² (kWh/m ²)	Consumo total de energia por m ² (kWh/m ²)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	83,66	17,83	0,21	8607,25	102,88	103,09
Sl. Aula 02	82,77	10,93	0,13	8855,23	106,99	107,12
Sl. Aula 03	82,77	10,79	0,13	8834,50	106,74	106,87
Sl. Aula 04	41,39	5,89	0,14	4153,81	100,36	100,50
Sl. Aula 05	82,77	20,25	0,24	8069,51	97,49	97,73
Sl. Aula 06	41,38	8,98	0,22	3955,43	95,56	95,78
Sl. Aula 07	82,77	14,11	0,17	8542,68	103,21	103,38
Sl. Aula 08	82,77	14,16	0,17	8552,22	103,33	103,50
Sl. Aula 09	83,66	20,92	0,25	8386,48	100,24	100,49
Sl. Aula 10	83,66	33,75	0,40	9221,20	110,22	110,62
Sl. Aula 11	82,77	22,07	0,27	9603,23	116,02	116,29
Sl. Aula 12	82,77	21,61	0,26	9583,45	115,78	116,04
Sl. Aula 13	41,39	12,66	0,31	4404,85	106,42	106,73
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	83,66	17,25	0,21	8557,76	102,29	102,50
Sl. Aula 15	82,77	10,44	0,13	8813,16	106,48	106,61
Sl. Aula 16	82,77	10,26	0,12	8802,06	106,34	106,46
Sl. Aula 17	41,39	5,43	0,13	4162,87	100,58	100,71
Sl. Aula 18	41,39	8,67	0,21	3927,30	94,89	95,10
Sl. Aula 19	82,77	13,83	0,17	8443,83	102,02	102,19
Sl. Aula 20	82,77	13,91	0,17	8452,18	102,12	102,29
Sl. Aula 21	83,66	20,67	0,25	8287,59	99,06	99,31
Sl. Aula 22	83,66	33,09	0,40	9099,47	108,77	109,17
Sl. Aula 23	82,77	21,41	0,26	9478,19	114,51	114,77
Sl. Aula 24	82,77	20,80	0,25	9472,00	114,44	114,69
Sl. Aula 25	41,39	11,44	0,28	4416,24	106,70	106,98
Sl. Aula 26	82,77	40,81	0,49	8462,26	102,24	102,73

Legenda: Maior consumo total Menor consumo total

As estratégias integradas mais uma vez provocaram uma alteração no comportamento do edifício em relação ao consumo energético com ar-condicionado. O menor e maior consumo de energia para aquecimento por m² ocorreu, respectivamente, na sala de aula 16, com 0,12 kWh/m², situada no térreo do Bloco de Aulas 02, e na sala de aula 26, com 0,49 kWh/m², posicionada no pavimento superior desse mesmo bloco. Semelhante ao modelo que incorporou o brise, o consumo mais elevado para refrigeração por m² foi verificado na sala de aula 11, com 116,02 kWh/m², localizada no pavimento superior do Bloco de Aulas 01, e o menor na sala de aula 18, com 94,89 kWh/m², instalada no térreo do Bloco de Aulas 02.

O consumo total para aquecimento das salas de aula foi de 441,96 kWh e para arrefecimento de 201.144,75 kWh, em consequência, o consumo energético total com condicionamento mecânico foi de 201.586,71 kWh, ou 105,59 kWh/m². As Figuras 5.102 e 5.103 exibem uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com o consumo em kWh/m² para aquecimento, refrigeração e total de cada sala de aula.

Figura 5.102. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Térreo com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

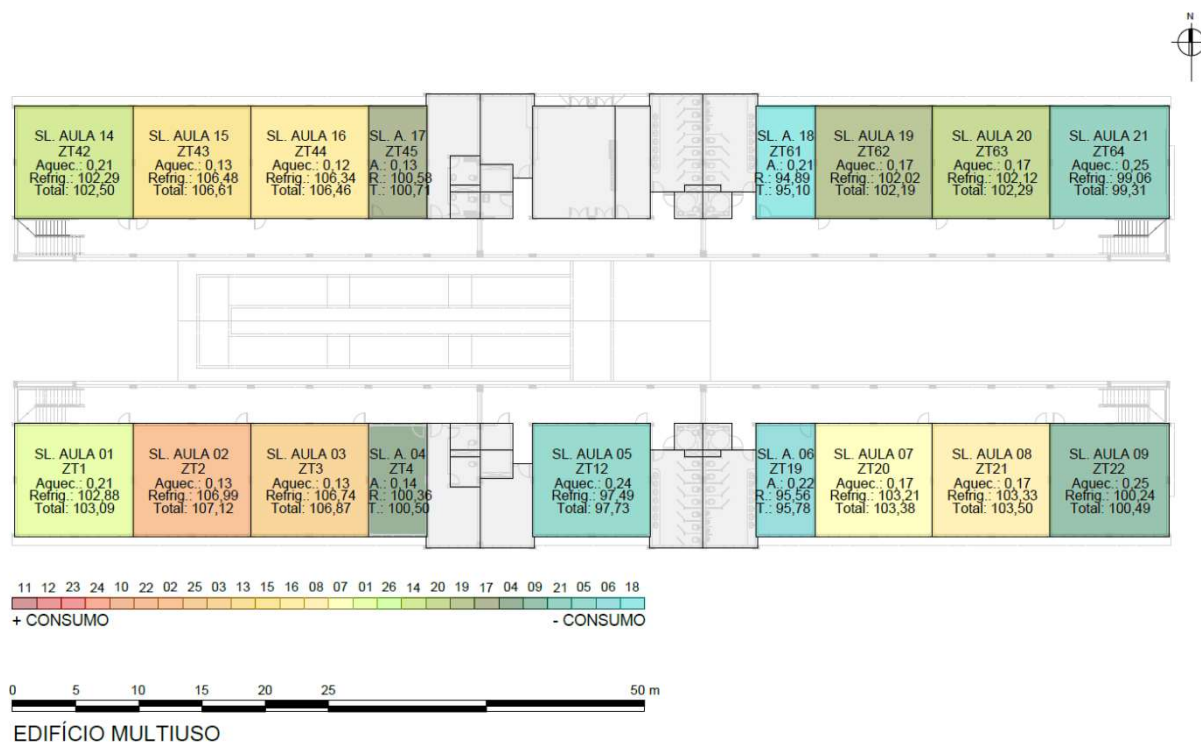


Figura 5.103. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Superior com consumo para aquecimento, refrigeração e total por m²

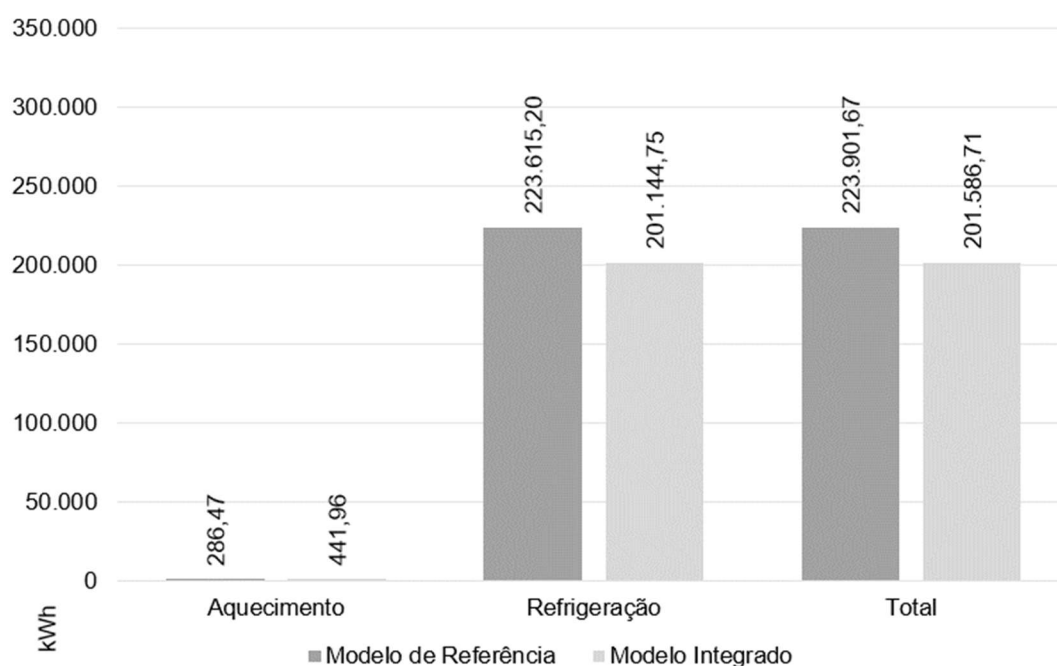


Com relação aos custos com energia, o modelo integrado resultaria em um dispêndio de R\$ 187.732,50 para condicionamento artificial das salas, com base nos valores atualizados cobrados pela COPEL (2022).

Os dados acerca do condicionamento artificial divergem daqueles verificados na maior parte dos modelos, sendo que o menor e o maior consumo por m² para aquecimento e arrefecimento foi alcançado pela sala de aula 18, com 95,10 kWh/m², espaço para 25 pessoas localizado no térreo do Bloco de Aulas 02, posição similar à sala 06, e pela sala de aula 11, com 116,29 kWh/m², ambiente projetado para 51 usuários, localizado mais a oeste do pavimento superior do Bloco de Aulas 01, posição similar à sala 23. Admite-se, mesmo no modelo integrado, que a inclusão do elemento de sombreamento externo tenha grande influência na redução do calor solar absorvido pelas salas de aula localizadas na parte norte da edificação, possibilitando essa inversão quanto aos resultados obtidos, majoritariamente, pelas salas de aula 06 e 23.

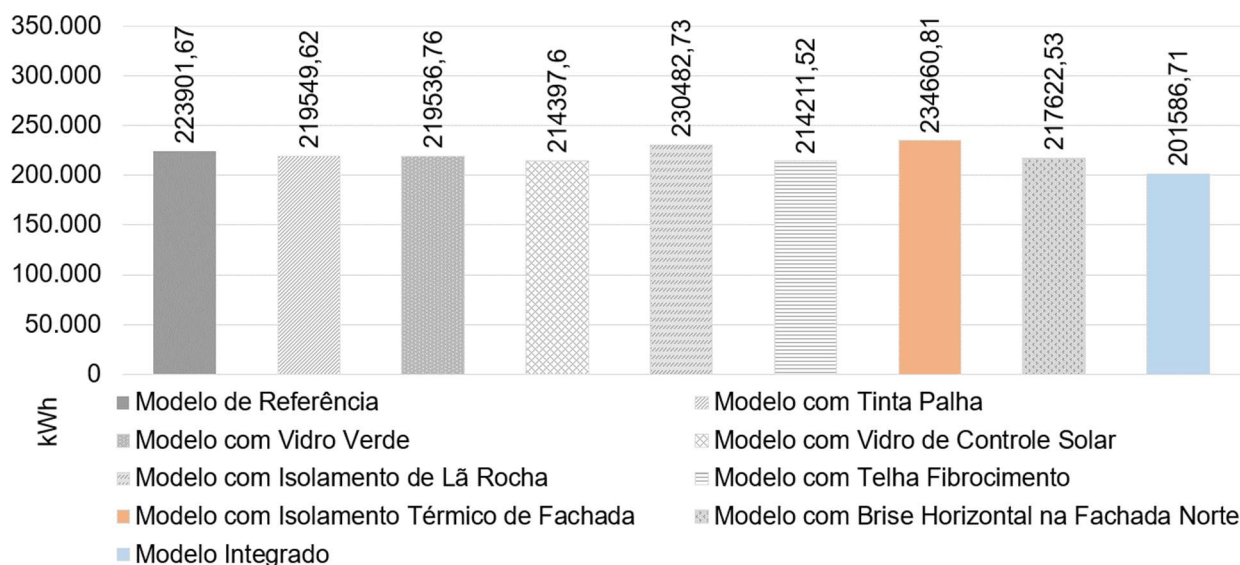
Em comparação ao modelo de referência, o Edifício Multiuso utilizando diferentes estratégias projetuais alcançaria uma redução de 9,97% no consumo total de energia para condicionamento artificial dos espaços, o que representaria uma economia anual de R\$ 20.690,09. A Figura 5.104 contrapõe esses resultados.

Figura 5.104. Consumo para aquecimento, para refrigeração e total para condicionamento artificial do modelo de referência e do modelo considerando a integração de diferentes estratégias projetuais



No que concerne ao consumo com o condicionamento artificial, no geral, o modelo integrado apresentou um desempenho superior em comparação a todos os demais modelos. Ainda, a simulação computacional que considerou a incorporação do isolamento térmico na fachada resultou no maior consumo energético para aquecimento e arrefecimento dos espaços. A Figura 5.105 ilustra a correlação entre todas as estratégias projetuais analisadas.

Figura 5.105. Consumo total para condicionamento artificial do modelo de referência e dos modelos considerando a incorporação, alteração ou substituição de estratégias projetuais



5.3.9.2. Desempenho térmico das salas de aula ventiladas naturalmente

A simulação do desempenho térmico do Edifício Multiuso considerando todos os parâmetros para as diferentes estratégias projetuais, possibilitou reexaminar a porcentagem das horas ocupadas em situação de conforto térmico e em desconforto por frio ou por calor de cada sala de aula ventilada naturalmente (Tabela 5.31).

Tabela 5.31. Integração de estratégias projetuais - Condição de conforto térmico durante o período de ocupação

Ambiente	Horas ocupadas					
	To _{mín} (°C)	To _{máx} (°C)	To _{méd} (°C)	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Bloco de Aulas 01						
Sl. Aula 01	16,4	33,4	25,5	86,58%	2,79%	10,63%
Sl. Aula 02	17,0	33,3	25,7	87,58%	1,90%	10,52%
Sl. Aula 03	17,0	33,2	25,7	87,81%	1,90%	10,29%
Sl. Aula 04	17,0	32,9	25,5	89,21%	2,02%	8,77%
Sl. Aula 05	16,4	32,9	25,3	88,31%	3,46%	8,23%
Sl. Aula 06	16,6	32,8	25,3	89,09%	2,85%	8,06%
Sl. Aula 07	16,7	33,1	25,5	87,94%	2,58%	9,48%
Sl. Aula 08	16,7	33,1	25,5	87,79%	2,65%	9,56%
Sl. Aula 09	16,2	33,3	25,4	86,58%	3,40%	10,02%
Sl. Aula 10	13,3	35,6	25,7	76,96%	5,50%	17,54%
Sl. Aula 11	14,2	35,5	26,0	76,83%	4,38%	18,79%
Sl. Aula 12	14,2	35,4	26,0	77,23%	4,31%	18,46%

Sl. Aula 13	14,2	34,7	25,6	80,92%	4,60%	14,48%
Bloco de Aulas 02						
Sl. Aula 14	16,5	33,3	25,5	87,06%	2,75%	10,19%
Sl. Aula 15	17,0	33,1	25,6	88,17%	1,83%	10,00%
Sl. Aula 16	17,0	33,1	25,6	88,31%	1,81%	9,88%
Sl. Aula 17	17,1	32,8	25,5	89,71%	1,83%	8,46%
Sl. Aula 18	16,6	32,7	25,2	89,50%	2,92%	7,58%
Sl. Aula 19	16,7	32,9	25,4	88,58%	2,69%	8,73%
Sl. Aula 20	16,7	33,0	25,4	88,50%	2,71%	8,79%
Sl. Aula 21	16,2	33,2	25,3	87,02%	3,60%	9,38%
Sl. Aula 22	13,5	35,2	25,6	78,58%	5,54%	15,88%
Sl. Aula 23	14,3	35,0	25,8	78,94%	4,29%	16,77%
Sl. Aula 24	14,4	35,0	25,8	79,21%	4,21%	16,58%
Sl. Aula 25	14,6	34,4	25,6	81,83%	4,31%	13,86%
Sl. Aula 26	13,0	34,7	25,3	80,40%	6,60%	13,00%

Legenda:  Menor conforto  Maior conforto

Após a integração das estratégias projetuais, o ambiente que apresentou a menor To_{\min} foi a sala de aula 26, com $13,0^{\circ}\text{C}$, posicionada no pavimento superior do Bloco de Aulas 02. A maior To_{\max} ocorreu na sala 10, com $35,6^{\circ}\text{C}$, espaço localizado no pavimento superior do Bloco de Aulas 01. Já a menor To_{\max} foi registrada na sala de aula 18, com $32,7^{\circ}\text{C}$, situada no térreo do Bloco de Aulas 02. O ambiente que propiciou o maior percentual de horas ocupadas em situação de conforto térmico foi a sala 17, situada no térreo do Bloco de Aulas 02, com percentual de 89,71%, muito próximo dos 90% requeridos pela INI-C (INMETRO, 2021) para dispensa de projeto de condicionamento artificial. Repetindo a ordem de classificação da estratégia brise, a sala de aula 11, instalada no pavimento superior do Bloco 01, garantiu o menor percentual, 76,83%. Supõe-se que a associação de diversas estratégias, em especial a inclusão dos brises, possibilitaram essa variação quanto aos resultados obtidos, majoritariamente, pelas salas 06 e 23 nos outros modelos.

O desconforto por calor, assim como no modelo de referência, se manteve maior nas salas de aula localizadas no pavimento superior dos dois blocos, entretanto passou a ser mais intenso no Bloco de Aulas 01. Acredita-se que a localização da cobertura, imediatamente acima das salas e a influência do elemento de sombreamento incorporado na fachada norte, em especial, podem ter contribuído para esse resultado. Houve uma ligeira alta nos índices de desconforto por frio, porém, bem aquém quando comparado aos ganhos relativos ao desconforto por sobreaquecimento. Depreende-se que as soluções adotadas no modelo integrado influenciaram de maneira negativa esse quesito, dado objetivarem, sobretudo, minimizar os ganhos de calor solar.

Apesar dos resultados positivos alcançados, salienta-se que nenhuma sala de aula atingiu percentuais de conforto térmico maiores ou iguais a 90%, o que é um desafio para o clima de Foz do Iguaçu. Dessa forma, percebeu-se que mesmo a solução integrada não seria suficiente para eliminar o uso de ar-condicionado nesses ambientes. Uma planta baixa esquemática do térreo e do pavimento superior com esses percentuais é apresentada nas Figuras 5.106 e 5.107, respectivamente.

Figura 5.106. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Térreo com percentuais de conforto e desconforto térmico

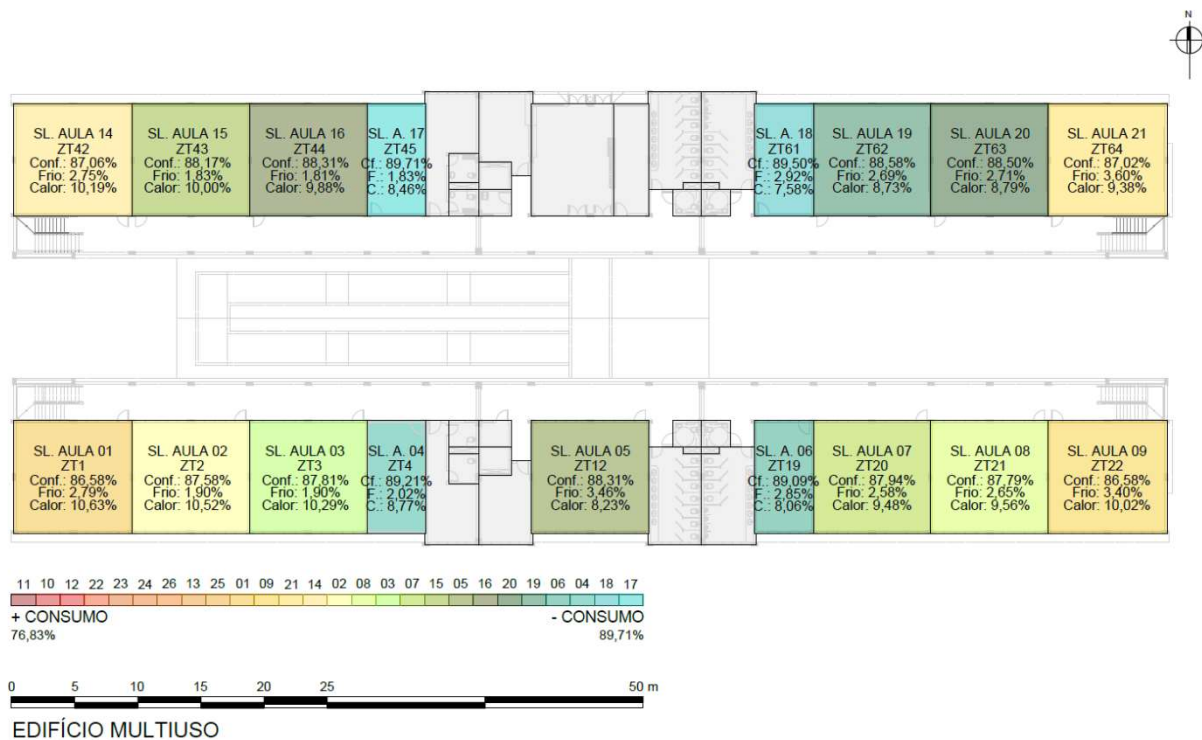
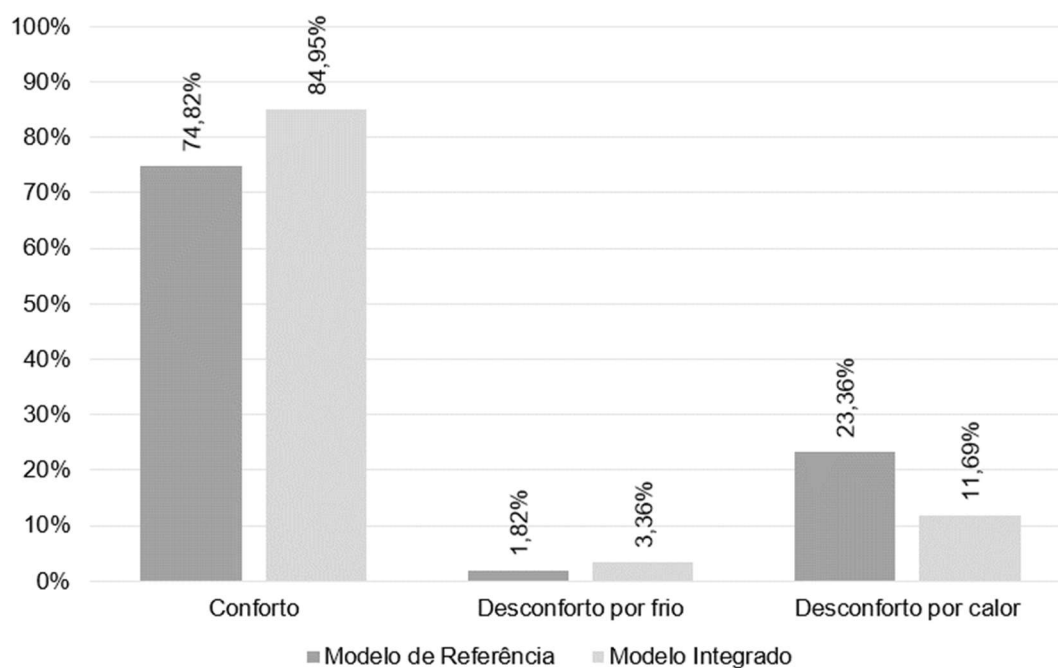


Figura 5.107. Integração de estratégias projetuais - Planta Baixa do Pavimento Superior com percentuais de conforto e desconforto térmico



Na sequência, a Figura 5.108 apresenta os resultados obtidos pelo modelo de referência e pelo modelo considerando a integração de estratégias projetuais para fins de comparação. A alteração promoveria um ganho médio de 10,13% no percentual de conforto térmico viabilizado pelas salas de aula.

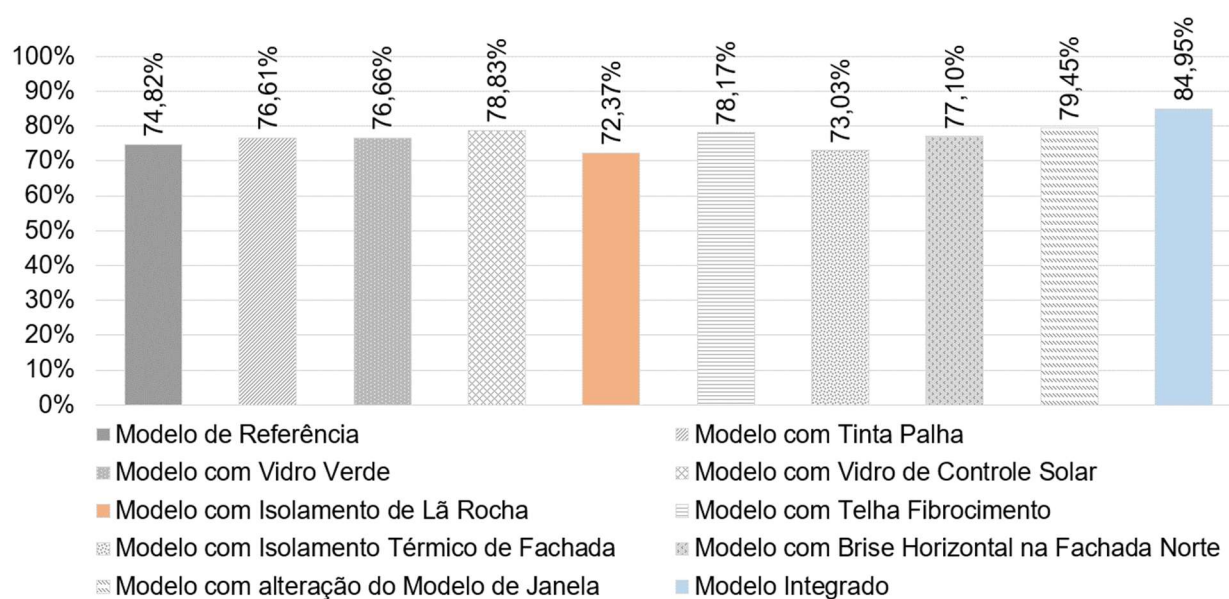
Figura 5.108. Percentual de conforto térmico e de desconforto por frio e por calor do modelo de referência e do modelo considerando a integração de diferentes estratégias projetuais



Dando prosseguimento, a Figura 5.109 ilustra essa correlação entre os percentuais de bem-estar térmico alcançados pelas salas de aula considerando as soluções projetuais adotadas.

Consoante ao previsto, a reunião de diferentes estratégias projetuais aumentou o desempenho termo energético do modelo relativamente à edificação de referência. A alteração elevou o desconforto por frio e dispêndio de energia para o aquecimento dos espaços, mas também diminuiu o desconforto por calor e consumo energético para arrefecimento das salas relativamente ao Edifício Multiuso em condições reais. Ao que tudo indica, a incorporação de soluções focadas, principalmente, na minimização do sobreaquecimento, pode explicar os resultados observados.

Figura 5.109. Percentual de conforto térmico do modelo de referência e dos modelos considerando a incorporação, alteração ou substituição de estratégias projetuais



Devido ao padrão de uso dos ambientes e às características climáticas de Foz do Iguaçu, onde verifica-se a predominância de temperaturas mais altas durante os horários de funcionamento da instituição, cores de alta refletância aplicadas à envoltória são desejáveis, quando o objetivo é melhorar as condições de conforto térmico e eficiência energética, assim como vidros de baixa transmissão solar e fator solar, telhas de baixa absorvância e alta emissividade, elementos de sombreamento que permitam controlar a exposição demasiada e desfavorável à radiação solar direta e janelas voltadas para o vento predominante, com alta porcentagem de área de abertura e posicionadas de modo a proporcionar a ventilação cruzada.

No entanto, assim como em variações anteriores, faz-se necessário considerar os seguintes aspectos: custo de implementação de todas essas soluções e fatores como a necessidade de protocolos de manutenção com prazos mais enxutos associados à utilização de cores mais claras em locais de grande circulação e uso intenso; avaliar a reflexão e transmissão luminosa relacionadas ao tipo de vidro e seu desdobramento nos níveis de conforto lumínico; analisar questões de durabilidade relacionada ao tipo de telha; características de infiltração de luz natural e a permeabilidade visual atinentes ao brise e ao tipo de janela, juntamente com seu impacto nos níveis de conforto lumínico.

Ainda assim, ao avaliar os pressupostos apresentados, deduziu-se que a opção se mostrou vantajosa para retroalimentação do projeto do Edifício Multiuso ou, ainda, para adoção em novos projetos arquitetônicos de salas de aula, a fim de otimizar o desempenho termo energético.

6. CONCLUSÃO

Entendendo a importância do ambiente acadêmico para os processos de ensino e aprendizagem delineou-se, como objetivo dessa pesquisa, identificar e avaliar estratégias projetuais que contribuam com o conforto térmico e a eficiência energética em edificações de salas de aula destinadas ao ensino superior para locais de clima subtropical úmido. Nesse trabalho, o Edifício Multiuso, composto pelo Bloco de Aulas 01 e 02, de propriedade da UNILA e situado em Foz do Iguaçu-PR, foi selecionado para estudo de caso como modelo referencial, logo, como intuito adicional, buscou-se reconhecer as soluções aplicáveis tanto à edificação finalizada, quanto à obra em andamento.

Tendo em vista as peculiaridades que envolvem o clima e uma edificação pública destinada ao ensino superior, principalmente com relação à disponibilidade orçamentária para investimentos, e levando em consideração a análise bioclimática local, assumiu-se como hipótese a utilização de substituições (cor da fachada externa, vidro das esquadrias, tipo de telha da cobertura), alteração de elemento construtivo (modelo das janelas), bem como incorporações (isolamento térmico na cobertura, isolamento térmico na fachada externa, brises na fachada norte do Edifício Multiuso), partindo do pressuposto de que as opções selecionadas poderiam complementar as estratégias preexistentes e favorecer a otimização do desempenho termo energético sem, entretanto, abranger custos excessivos para tal.

Para averiguação das soluções propostas foram executadas simulações computacionais, cujos resultados propiciaram a determinação das condições de conforto térmico, assim como a estipulação da demanda energética e custos para aquecimento e arrefecimento dos espaços, dados que, por consequência, possibilitaram a comparação entre as variáveis analisadas.

No geral, as soluções direcionadas à minimização do sobreaquecimento mostraram-se favoráveis à otimização do desempenho termo energético de salas de aula (cor da fachada externa, vidro das esquadrias, tipo de telha da cobertura, brises na fachada norte e modelo das janelas), obtendo desempenho superior ao modelo de referência.

Mostraram-se desfavoráveis à otimização do modelo e, eventualmente, aos empreendimentos acadêmicos, em função do seu período de funcionamento e padrão de ocupação, as soluções que propunham o isolamento extra da edificação (isolamento em lã de rocha, isolamento térmico de fachada). Ao que tudo indica, os materiais explorados atuaram, principalmente, como uma barreira adicional à dissipação, em especial, do calor, e permitiram a concentração dos ganhos internos no interior do edifício, colaborando particularmente para o aumento da temperatura interna dos ambientes em condições de uso.

Em porcentagem, os resultados da aplicação de estratégias projetuais individuais ao modelo de referência apontaram que é possível alcançar uma redução média na demanda

energética para condicionamento artificial de até 4,33% e uma elevação média do percentual de conforto térmico durante as horas ocupadas de até 4,63%.

O vidro laminado de controle solar de 12mm, material esse que contém revestimento metálico em uma das quatro superfícies, revelou-se o mais indicado para otimização da edificação analisada, no que diz respeito ao crescimento médio de desempenho termo energético a partir da adoção de um elemento construtivo único. Porém, a condição agravante de sua aplicação seria o custo elevado. As propriedades inerentes ao tipo de vidro, ocasionaram a redução da transferência de calor por condução e do ganho de calor solar, através das superfícies transparentes, supostamente o constituinte da envoltória com maior impacto no sobreaquecimento dos ambientes internos, o que, em teoria, fez com que o elemento tivesse desempenho médio superior frente às demais variações isoladas.

As três soluções que promoveram maior impacto combinado nas condições termo energéticas do edifício foram, em primeiro lugar, o vidro laminado de controle solar de 12mm, em segundo lugar, a telha de fibrocimento pintada de branco e, em seguida, a incorporação do brise horizontal na fachada norte. Além disso, mesmo não tendo repercussão nas questões energéticas, é pertinente destacar o desempenho térmico apresentado pelo Edifício Multiuso, com a implementação das janelas com percentuais de abertura elevados.

Não obstante e conforme o esperado, a junção de diferentes soluções foi ainda mais efetiva ao propósito de otimização da edificação analisada, no que tange a elevação média do desempenho energético e térmico. Os dados obtidos da aplicação de estratégias projetuais integradas ao modelo de referência demonstraram que é possível alcançar uma redução média na demanda energética para condicionamento artificial de até 9,97% e uma elevação média do percentual de conforto térmico durante as horas ocupadas de até 10,13%.

O modelo englobando diferentes soluções incluiu substituições de cor de fachada (palha), de vidro de esquadrias (monolítico cor verde de 6 mm de espessura), de telha (fibrocimento pintada de branco), assim como inclusão de elemento de sombreamento externo (brise horizontal na fachada norte com aleta de 8 cm largura, inclinação de 0° e aproximadamente 18 unidades, no sentido vertical) e alteração de modelo de janela (tipo basculante com inclinação 90° e altura de abertura equivalente a altura total da superfície transparente).

Concluiu-se que o conjunto de propriedades dos materiais alterados, atuando na redução da transferência de calor por condução, na diminuição do ganho de calor solar, no favorecimento das trocas de calor e na remoção do ar quente, fez com que o modelo tivesse desempenho médio superior frente às demais variações isoladas. Por outro lado, os resultados evidenciaram que os ganhos acumulados não foram proporcionais aos ganhos individuais de cada estratégia projetual. Com respeito a isso, percebeu-se que a estrutura física da edificação constitui uma composição heterogênea com interações complexas, na qual cada elemento apresenta dependência e influência sobre o outro, sucessões que interferem no seu comportamento térmico

e energético. Ainda assim, para o caso analisado mostrou-se mais vantajoso em termos de conforto e consumo, a aplicação de soluções projetuais em conjunto e não apenas isoladas.

Para mais, as apurações ensejaram a retroalimentação do projeto arquitetônico, assim como apontaram a viabilidade de aperfeiçoamento da edificação objeto de estudo, com soluções passíveis de serem integradas no bloco já executado e na obra em andamento, mediante disponibilidade orçamentária.

No que se refere à adequação do Edifício Multiuso, através da pesquisa foi possível estabelecer as estratégias mais apropriadas, sob a perspectiva técnica e financeira. A substituição da cor das paredes externas por outra de tonalidade clara, mostrou-se a mais aconselhável no caso de reformas substanciais. Por outro lado, a incorporação de brises na fachada norte da edificação revelou-se a mais benéfica para intervenções de melhoria.

Em síntese, os resultados decorrentes do conjunto de simulações executadas indicaram que um melhor desempenho termo energético, em locais de clima subtropical úmido, seria alcançado pelas salas de aula com paredes externas em cores claras, ou seja, com alto valor de refletância; com coberturas em materiais de baixa absorvância e alta emissividade; com a maximização do sombreamento; e com ventilação abundante e constante. Janelas com percentuais de abertura elevados mostraram-se importantes para garantir melhores níveis de conforto térmico, proporcionando, ainda, melhor qualidade do ar. Vidros de baixa transmissão solar e fator solar revelaram-se igualmente relevantes para a otimização do comportamento energético e térmico dos ambientes.

Compreendeu-se que a edificação escolar demanda, especialmente, de estratégias projetuais, considerando os períodos quentes e o seu padrão de uso. Os problemas relacionados à variação de temperatura noturna, por exemplo, ocorrem, em maioria, fora do período de ocupação das salas de aula, contribuindo para percentuais de desconforto por frio muito baixos.

Os dados expuseram que as condições de conforto térmico foram predominantes em todas as variações. Deduziu-se que a preexistência de algumas estratégias passivas de projeto, como o formato alongado da edificação; superfícies envidraçadas voltadas para o sul e norte, contando com dispositivos de sombreamento; parede cega a oeste; e ventilação cruzada nas salas de aula, também contribuíram para esses resultados e foram elementos importantes, tendo em vista os condicionantes climáticos.

Todavia, nenhuma das opções avaliadas possibilitou que percentuais de conforto térmico maiores ou iguais a 90% fossem atingidos. Assim, apoiado no estudo, inferiu-se que nem mesmo a solução integrada foi suficiente para eliminar o uso do ar-condicionado nas salas de aula. Nesse caso, os recursos passivos não permitiram que a zona de conforto fosse satisfatoriamente atingida, impondo ao modelo de referência a utilização dessa solução ativa de projeto.

O condicionamento artificial, quando se mostrou indispensável, fatalmente remeteu às estratégias projetuais com êxito na redução do consumo de energia, conjuntura que reforça a importância de pesquisas com esse viés. Com efeito, a temática, sensível em um mundo pós-pandêmico, mantém-se como um desafio para locais com climas semelhantes.

Posto isso, os resultados evidenciaram as vantagens da avaliação concomitante de diversas soluções e demonstram que a utilização da simulação computacional viabilizou a indicação de escolhas mais eficientes para implantações futuras de salas de aula universitárias, apresentando estratégias otimizadas, do ponto de vista térmico e energético para planejamento arquitetônico de instituições de ensino superior.

Em universidades, as ferramentas de simulação integradas ao cotidiano das equipes de projeto tornam-se, a passos largos, imprescindíveis para compatibilização de exigências pedagógicas e funcionais, de alternativas construtivas e condicionantes climáticas, de necessidade de desempenho térmico e energético e de responsabilidade, quanto à promoção de edificações sustentáveis.

Com base na pesquisa, constatou-se uma conscientização crescente quanto à relevância da qualidade espacial e eficiência energética em ambientes acadêmicos, mas, lamentavelmente, também um número reduzido de exemplos. Nesse sentido, o projeto arquitetônico de salas de aula, principalmente no âmbito do ensino superior, pode ser um impulsionador de mudanças, adotando soluções que privilegiem o baixo consumo de energia sem, entretanto, desprezar as condições de conforto térmico, salubridade e qualidade do ar, contribuindo, por consequência, para a produtividade e aprendizagem de alunos e instigando positivamente a conduta e a percepção da coletividade.

Ainda em relação às edificações públicas de ensino, além do impacto na qualidade da educação, por si só de máxima relevância, é importante lembrar que existe a obrigatoriedade de cumprimento das legislações que tratam da promoção do desenvolvimento nacional sustentável no que tange às contratações realizadas pela administração federal, na qual se encaixam as licitações do Edifício Multiuso e similares. O Censo da Educação Superior 2020 (INEP, 2022), indicou a existência de aproximadamente 70 instituições públicas de ensino superior localizadas em cidades de clima temperado úmido com verão quente, fatos que reforçam a importância de estudos como o proposto, com utilidade para projetos arquitetônicos de obras novas e de adequações, e aponta um contexto propício para aplicação das soluções examinadas.

Por intermédio desse estudo identificou-se e avaliou-se estratégias projetuais que, incorporadas aos projetos arquitetônicos de edificações de salas de aula universitária em locais de clima subtropical úmido, contribuam para o conforto térmico e a eficiência energética. Entre elas, reconheceu-se aquelas favoráveis e inadequadas ao desempenho termo energético de ambientes de ensino superior, assim como aquelas aplicáveis ao modelo referencial, enquanto edificação

finalizada e obra em andamento. Dessa forma, compreende-se que os objetivos foram alcançados.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a elaboração e os conhecimentos adquiridos ao longo desta investigação, observou-se diferentes oportunidades de desenvolvimento e continuidade do trabalho. Em termos gerais, sugere-se que a pesquisa seja estendida para outros tipos de clima, ampliando a discussão quanto às estratégias projetuais e desempenho térmico e energético de salas de aula, especialmente as universitárias, um conteúdo pouco aprofundado apesar do tema estar em ascensão.

Considera-se relevante estudos detalhados em relação ao investimento e período de retorno acarretado pelo emprego das soluções arquitetônicas, examinando, inclusive, implicações em processos licitatórios de contratação de obra pública, posto que as opções devem ter justificativa procedente para fazer parte do escopo.

Avalia-se importante aprofundar as investigações a respeito da ventilação híbrida, ou seja, aquela que integra o condicionamento artificial e natural dos espaços, no tocante às estratégias projetuais, avaliando o desempenho termo energético da sala de aula, a partir dessa condição.

Sugere-se que os estudos sejam ampliados de forma que o conforto lumínico e acústico sejam analisados em relação às soluções arquitetônicas para espaços de ensino superior. Ainda, diante da recente crise pandêmica, considera-se indispensável uma investigação acurada das questões relacionadas à qualidade do ar e ventilação natural desse tipo de ambiente.

Julga-se válido identificar e avaliar outras soluções projetuais adequadas ao clima e à tipologia, a exemplo de diferentes elementos construtivos para as paredes internas e externas ou distintos percentuais de abertura da fachada.

Ademais, considera-se útil a elaboração de manual com a indicação dessas estratégias de projeto a favor do desempenho térmico e energético de edificações de sala de aula localizadas em clima Cfa, e a disponibilização da publicação para equipes envolvidas no processo de concepção desses espaços.

De forma pontual, outra oportunidade tida como pertinente diz respeito ao Edifício Multiuso em operação, mediante o monitoramento do seu desempenho térmico e energético *in loco*, de forma a confrontar sua performance com as informações obtidas pela presente pesquisa, considerando o modelo de referência. Além disso, a avaliação pós-ocupação pode ser igualmente significativa para mensurar o atendimento das necessidades reais e subjetivas dos usuários desse tipo de edificação, a partir do uso do ambiente construído.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, A. J. *et al.* Monitoring and Assessment of Indoor Environmental Conditions after the Implementation of COVID-19-Based Ventilation Strategies in an Educational Building in Southern Spain. **Sensors**, [S. l.], v. 21, n. 21, p. 7223, out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21217223>.

ALBUQUERQUE, R. T. **A Certificação Leed na Arquitetura Escolar: Reflexões sobre a Escola Estadual Erich Walter Heine**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://proarq.fau.ufrj.br/teses-e-dissertacoes/1098/a-certificacao-leed-na-arquitetura-escolar-reflexoes-sobre-a-escola-estadual-erich-walter-heine>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ALBUQUERQUE, R. T. **Brise vegetal na fachada oeste da edificação**. 2012. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://proarq.fau.ufrj.br/teses-e-dissertacoes/1098/a-certificacao-leed-na-arquitetura-escolar-reflexoes-sobre-a-escola-estadual-erich-walter-heine>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ALBUQUERQUE, R. T.; LACERDA, M. A.; KRAUSE, C. B. Avaliação dos Níveis de Eficiência Energética da Escola Estadual Erich Walter Heine sob a Ótica dos Métodos Leed, Aqua e Procel Edifica. *In: Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis (elecs2013)*, 2013, Curitiba. **Anais [...]**. Campina Grande: Biblioteke Virtual, 2013. p. 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/978-85-89478-40-3-a020>.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI); AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 55-2020**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ANSI/ASHRAE, 2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Handbook**: Fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 2021.

ASHRAE. **P.S. 62R The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability**: Net-Zero Energy School. Atlanta: ASHRAE, 2016. Disponível em: https://ashraeny.org/images/ASHRAE_Tech_Award_Application-AKF-REV1.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

ARCHDAILY. **ArchDaily Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ARCHI-EUROPE GROUP (ARCHI-EUROPE). **Yale School of Management Edward P. Evans Hall**. Kortesseem, 2017. Disponível em: <https://www.archi-europe.com/portfolio-item/projectset-3/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ARKTECTUS. **E. E. Erich Walter Heine**. 2022. 2 fotografias, color. Disponível em: <http://arktectus.com/portfolio/e-e-erich-walter-heine/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ASHRAE. **ASHRAE Standard 140** – Standard Method of Test for Building Energy Simulation Computer Programs, Atlanta, 2017.

ARQUIVO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sede da Universidade**. São Paulo, [s. n.], [19--?]. 1 fotografia, p&b. Disponível em: http://www.arquivoestado.sp.gov.br/revista_do_arquivo/08/arquivo_em_imagens.php. Acesso em: 10 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ABNT. **ABNT NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações familiares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. **ABNT NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT. **ABNT NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. **Plea Note 3**: Thermal Comfort. 2. ed. Brisbane: Passive and Low Energy Architecture, 2007.

AYDINLIK, S.; PULHAN, H. Education in Conflict: Postwar School Buildings of Cyprus. **Open House International**, [S. l.], v. 44, n. 2, p. 68-76, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/OHI-02-2019-B0009>.

BAKMOHAMMADI, P.; NOORZAI, E. Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. **Energy Reports**, [S. l.], v. 6, p. 1590-1607, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.06.008>.

BARATTO, R. Colégio público do Rio de Janeiro é a primeira escola sustentável certificada da América Latina. **ArchDaily Brasil**, [S. l.], jan. 2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-164540/colégio-publico-do-rio-de-janeiro-e-a-primeira-escola-sustentavel-certificada-da-america-latina>. Acesso em: 10 fev. 2023.

BARATTO, R. Creche em Florianópolis é a primeira do mundo com selo máximo de arquitetura sustentável. **ArchDaily Brasil**, [S. l.], out. 2019. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/927009/creche-em-florianopolis-e-a-primeira-do-mundo-com-selo-maximo-de-arquitetura-sustentavel>. Acesso em: 10 fev. 2023.

BAREA, G. *et al.* New paradigms in bioclimatic design toward climatic change in arid environments. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 266, p. 1-24, jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112100>.

BASSOUD, A. *et al.* Evaluation of summer thermal comfort in arid desert areas. Case study: Old adobe building in Adrar (South of Algeria). **Building and Environment**, [S. l.], v. 205, p. 1-13, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108140>.

BECCALI, M. *et al.* Vernacular and bioclimatic architecture and indoor thermal comfort implications in hot-humid climates: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v.82, p.1726-1736, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.062>.

BELKACEM, N. *et al.* Assessment of energy and environmental performances of a bioclimatic dwelling in Algeria's North. **Building Services Engineering Research & Technology**, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 64-88, jan. 2017. DOI: <https://doi.org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1177/0143624416669554>.

BENCOSTTA, M. L. A escrita da arquitetura escolar na historiografia da educação brasileira (1999-2018). **Revista Brasileira de História da Educação**, Maringá, v. 19, p. 1-26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4025/rbhe.v19.2019.e064>.

BENCOSTTA, M. L. Os regulamentos para a construção dos edifícios escolares públicos no Brasil: o exemplo do estado do paraná na primeira metade do século XX. **Educa o em Revista**, Belo Horizonte, v. 37, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-23401>.

BERNARDES, M.; VERGARA L. G. L.; MARTINS, M. S. A arquitetura da sala de aula sob a  tica dos usuários. **Revista Projetar** - Projeto e Percep o do Ambiente, Natal, v.05, n.01, p.49-61, jan. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/19126/12426>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BLUYSSSEN, P. M. Health, comfort and performance of children in classrooms - New directions for research. **Indoor and Built Environment**, [S. l.], v. 26, p. 1040-1050, out. 2017. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1177/1420326X16661866>.

BRASIL. Arquivo Nacional Memória da Administra o Pública Brasileira (MAPA). Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Conselho Nacional de Ensino**. Brasília, dez. 2019. Disponível em: <http://mapa.an.gov.br/index.php/component/content/article?id=761>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BRASIL. Arquivo Nacional Memória da Administra o Pública Brasileira (MAPA). Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Dicionário Período Colonial**: Escola de Cirurgia da Bahia. [18--?]. 1 litografia, p&b. Disponível em: <http://mapa.an.gov.br/index.php/dicionario-periodo-colonial/172-escola-de-cirurgia-da-bahia>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BRASIL. Arquivo Nacional Memória da Administra o Pública Brasileira (MAPA). Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Dicionário Período Colonial**: Escola Anat mica, Cirúrgica e Médica do Rio de Janeiro. [18--?]. 1 aquarela, p&b. Disponível em: <http://mapa.an.gov.br/index.php/dicionario-periodo-colonial/171-escola-anatomica-cirurgica-e-medica-do-rio-de-janeiro>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BRASIL. Executivo. **Lei n 12.189, de 12 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre a cria o da Universidade Federal da Integra o Latino-Americana - UNILA e dá outras providências. Brasília, DF: Executivo, [2010]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12189.htm. Acesso em: 10 fev. 2023.

BRASIL. **Lei n  S/N**, de 15 de outubro de 1827. Manda criar escolas de primeiras letras em todas as cidades, vilas e lugares. Rio de Janeiro, RJ: Legislativo, [1827]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lim/LIM.-15-10-1827.htm. Acesso em: 10 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolu o-RE n 9**. Determina a publica o de Orienta o Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 6 de janeiro de 2003. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html. Acesso em: 10 fev. 2023.

BRASIL, P. C.; SILVA, J. C. Impactos da arquitetura escolar na qualidade do ensino brasileiro. **Conhecimento & Diversidade**, Niterói, v. 10, n. 21, p. 187-197, mai./ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.18316/rcd.v10i21.4881>.

BRINK, H. W. *et al.* Classrooms' indoor environmental conditions affecting the academic achievement of students and teachers in higher education: A systematic literature review. **Indoor Air**, [S. l.], v. 31, p. 405-425, mar. 2021. DOI: <https://onlinelibrary-wiley.ez350.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/ina.12745>.

BUFFA, E.; PINTO, G. A. O território da universidade brasileira: o modelo de câmpus. **Revista**

Brasileira de Educação, Rio de Janeiro, v. 21, n. 67, p. 809-831, out./dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-24782016216742>.

BUGENINGS, L. A.; KAMARI, A. Bioclimatic Architecture Strategies in Denmark: A Review of Current and Future Directions. **Buildings**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 1-28, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12020224>.

BURGOS, E. G.; GRIGOLETTI, G. C.; PAIXÃO, D. X. Otimização do conforto ambiental no espaço escolar: uma visão sustentável. **Cinergis**, Santa Cruz do Sul, v. 16, n. 1, p. 66-70, jan./mar. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.17058/cinergis.v16i1.6019>.

BURKE, C.; DUDEK, M. Experiences of learning within a twentieth-century radical experiment in education: Prestolee School, 1919-1952. **Oxford Review of Education**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 203-218, 2010. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1080/03054981003696705>.

CALDERARI, E. S. Planos e projetos de campi universitários na cidade contemporânea. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 5, n. 30, p. 104-118, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17271/2318847253020171543>.

CALVO-SOTELO, P. C.; MARQUEZ, F. C. Memory and innovation in the spaces of higher education. The contribution of the architectural limit. **Historia y Memoria de la educación**, [S. l.], n. 3, p. 279-320, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5944/hme.3.2016.15430>.

CAMARGO, M. A. P. Historiography of school architecture in the state of Sao Paulo: the nineteenth century amidst history and architecture. **Paedagogica Historica**, [S. l.], v. 55, n. 1 p. 70-87, 2019. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1080/00309230.2018.1546329>.

CANDIDO, C.; DEAR, R. From thermal boredom to thermal pleasure: a brief literature review. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 12, n. 1 p. 81-90, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000100006>.

CARVALHO, I. C. **Projeto Arquitetônico Escolar**: uma proposta voltada à Educação Ambiental. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Pará, 2009.

CASTILLA, N. *et al.* Subjective assessment of university classroom environment. **Building and Environment**, [S. l.], v. 122, p. 72-81, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.004>.

CELUPPI, M. C. *et al.* Preliminary approach to the analysis of climate perception and human thermal comfort for riverside dwellings the Brazilian Amazon. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 23, p. 77-89, mai. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.019>.

CHILLON, S. A. *et al.* Natural Ventilation Characterization in a Classroom under Different Scenarios. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], v. 18, n. 10, p. 5425, mai. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18105425>.

CLIMATE CHANGE & INFECTIOUS DISEASES GROUP. **World Map Of The Köppen-Geiger Climate Classification**. 2019. 1 ilustração, color. Disponível em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Acesso em: 15 fev. 2023.

CLIMATE CONSULTANT 6.0. **Energy Design Tools**, [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant>. Acesso em: 15 fev. 2023.

COEUR, M. L. Os Liceus da cidade: o exemplo parisiense (1802-1914). **Educar em Revista**, Curitiba, n. 22, p. 359-400, dez. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-4060.326>.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). **Tarifas de Energia Elétrica**. Paraná, 2022. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

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**, [S. l.], v. 42, p. 951-959, fev. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.027>.

COSTA, M. **Colégio público do Rio de Janeiro é a primeira escola sustentável certificada da América Latina**. jan. 2014. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-164540/colégio-publico-do-rio-de-janeiro-e-a-primeira-escola-sustentavel-certificada-da-america-latina>. Acesso em: 10 fev. 2023.

COSTA, M. L.; FREIRE, M. R.; KIPERSTOK, A. Strategies for thermal comfort in university buildings - The case of the faculty of architecture at the Federal University of Bahia, Brazil. **International Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 239, p. 114-123, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.004>.

COTRIM, M. **Oscar Niemeyer, Universidad de Constantine, Argel, 1969**. out. 2010. 1 ilustração, p&b. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.125/3447>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ČULIĆ, A. et al. Smart monitoring technologies for personal thermal comfort: A review. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 312, p. 127685, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127685>.

CUNHA, L. A. Ensino Superior e Universidade no Brasil. In: LOPES, E. M. T.; FARIA FILHO, L. M.; VEIGA, C. G. **500 anos de educação no Brasil**, 2. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2000. p. 151-204.

DANTAS, C. L. **Arquitetura escolar: o espaço em questão**. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Práticas Educacionais) Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2020. Disponível em: <http://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/2241>. Acesso em: 10 fev. 2023.

DE ANGELIS, E. *et al.* A simple method for the comparison of bioclimatic design strategies based on dynamic indoor thermal comfort assessment for school buildings. In: International High-Performance Built Environment Conference - A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16), 2016, Sydney. Proceedings [...]. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 870-880, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.248>.

DEJOB, A.; BESSOT, M. Quelles sources pour l'histoire des patrimoines des lycées (xix^e – xx^e siècles)? In **Situ-Revue de patrimoines**, [S. l.], n. 44, p. 1-21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4000/insitu.30955>.

DORNELLES, K. A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2008.429167>.

ELI, L. G. *et al.* **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa EnergyPlus – versão 9.0.1**. Laboratório de Eficiência Energética em

Edificações (LabEEE). Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/805>. Acesso em: 10 fev. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2021**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

ENGIE. **Creche Municipal Hassis**, 2022. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.engie.com.br/cases-de-solucoes/creche-municipal-hassis/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ESPINOZA, L. Escuelas: tradición proyectual en arquitectura pública en Argentina. **Arquiteturas del Sur**, [S. l.], v. 35, n. 52, p. 43-53, dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.22320/07196466.2017.35.052.05>.

ESTEVES, J. C.; FALCOSKI, L. A. N. **Planejamento, projeto e gestão ambiental do espaço universitário**. 7º. Congresso de Meio Ambiente, La Plata, mai. 2012. Disponível em: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26879/Documento_completo.pdf?sequence=1. Acesso em: 15 fev. 2023.

ERMEL, T. F.; BENCOSTTA, M. L. Escola graduada e arquitetura escolar no Paraná e Rio Grande do Sul: a pluralidade dos edifícios para a escola primária no cenário brasileiro (1903-1928). **Revista História da Educação**, Porto Alegre, v. 23, p. 1-35, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-40602006000200003>.

ERMEL, T. F.; BENCOSTTA, M. L. Arquitetura escolar: diálogos entre o global, nacional e regional na história da educação. **Revista História da Educação**, Porto Alegre, v. 23, p. 1-35, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-3459/83527>.

ERMEL, T. F. Transfigurações no tempo e no espaço: Aula Isolada Campo da Redenção em Porto Alegre/RS (1907-2015). **Revista Brasileira de História da Educação**, [S. l.], v. 18, p. 1-31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4025/rbhe.v18.2018.e006>.

FÁVERO, M. L. A. A universidade no Brasil: das origens à Reforma Universitária de 1968. **Educar em Revista**, Curitiba, n. 28, p. 17-36, dez. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-40602006000200003>.

FABOZZI, M.; DAMA, A. Field study on thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned university classrooms. **Indoor and Built Environment**, [S. l.], v. 29, p. 851-859, nov. 2019. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1177/1420326X19887481>.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. Analysis and applications in environmental engineering. Indoor and Built Environment. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FERREIRA, C.S.; SANTOS, E.N. Políticas Públicas educacionais: apontamentos sobre o direito social da qualidade na educação. **Revista LABOR**, v.11, n.1, p.146-159, 2014. DOI: <https://doi.org/10.29148/labor.v1i11.6627>.

FIORAVANTI, C. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). UFRJ completa 100 anos como uma das universidades mais produtivas do Brasil. **Desafios da Educação**, [S. l.], set. 2020. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <https://desafiosdaeducacao.grupoa.com.br/ufrj-completa-100-anos/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

FIORITO, M. La enseñanza media y la agenda de ocupación territorial del estado argentino, 1862-1945. **Historia de la educación - anuario**, Buenos Aires, v. 13, n. 1, p. 1-20, jan./jun. 2012.

Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-92772012000100005&lng=en&tlng=en. Acesso em: 15 fev. 2023.

FOSTER+PARTNERS. **Edward P. Evans Hall, Yale School of Management**. 2022. 3 fotografias, color. Disponível em: <https://www.fosterandpartners.com/projects/edward-p-evans-hall-yale-school-of-management/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

FOSTER+PARTNERS. Yale School of Management. **ArchDaily**, [S. l.], jan. 2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com/466411/yale-school-of-management-foster-partners>. Acesso em: 10 fev. 2023.

FRANÇA, F. F. **Um inventário de saberes, um repertório de fazeres**: modos e práticas do ofício de ensinar na escola primária durante a segunda metade do Séc. XIX (1856-1892). 2019. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/62609>. Acesso em: 15 fev. 2023.

FRANDOLOSO, M. A. L. **Critérios de projeto para escolas fundamentais bioclimáticas**. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/2955>. Acesso em: 15 fev. 2023.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FURUTO, A. CEDEI Nursery School. **ArchDaily**, [S. l.], mar. 2012. Disponível em: https://www.archdaily.com/216691/cedei-nursery-school-k-arquitetos?ad_medium=gallery. Acesso em: 10 fev. 2022.

GALLARDO, N. P. *et al.* Thermal Response to cold in buildings with Green covers for tropical climate. Green facades and green roofs. **Revista ingeniería de construcción**, Santiago, v. 33, n. 1, p.15-28, abr. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000100015>.

GALLO, A. C. Bioclimatic architecture. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 5, p. 1021-1027, ago. 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90129-5](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90129-5).

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, [S. l.], v.18, p.11-23, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K).

GOOGLE LLC (GOOGLE). Google Maps Versão 10.57.2. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Alojamento+Estudantil+Unila/@-25.4766315,-54.5883447,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x94f69ae9b7aa939b:0x42e8637be79ee40d!8m2!3d-25.4766315!4d-54.586156>. Acesso em 10 fev. 2023.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC Brasil). **Empreendimentos Leed**. Barueri, 2022. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/empreendimentos/>. Acesso em: 11 fev. 2023.

GRIMALDI, L. C.; ALMEIDA, D. B. Narrativas do espaço habitado: sensibilidades no estudo dos prédios escolares de Porto Alegre/RS (1940/1980). **Revista História da Educação**, Porto Alegre, v. 24, p. 1-33, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-3459/99641>.

GROSVENOR, I.; GORP, A. V. At school with the avant-garde: European architects and the modernist project in England. **History of Education**, [S. l.], v. 47, n. 4, p. 544-563, 2018. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1080/0046760X.2018.1451559>.

GUARDA, E. L. A. *et al.* The influence of envelopes in the thermal performance of residential buildings, from the perspective of bioclimatic architecture. *In*: International Hybrid Conference on Carbon Neutral Cities - Energy Efficiency and Renewables in the Digital Era (CISBAT), 2021, Lausanne. Proceedings [...]. **Journal of Physics Conference Serie**, v. 2042, n. 012157. DOI: [10.1088/1742-6596/2042/1/012157](https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1088/1742-6596/2042/1/012157).

GUEVARA, G.; SORIANO, G.; MINO-RODRIGUEZ, I. Thermal comfort in university classrooms: An experimental study in the tropics. **Building and Environment**, [S. l.], v. 187, p. 1-13, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107430>.

GÚRPIDE, I. D.; LLORCA, P. El colegio Cuestas Blancas de Miguel Fisac (Madrid, 1965): Nuevas estrategias para una nueva arquitectura escolar. **Arquiteturas Revista**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1-16, jan./jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.4013/arq.2018.141.01>.

GÚRPIDE, I. D.; GÓMEZ, C. M.; RANGEL, B. El Colegio Nuestra Señora del Recuerdo de Luis Laorga, Madrid, 1957-1958. **Arquitetura, Ciudad y Entorno**, [S. l.], v. 11, n. 31, p. 68-92, jun. 2016. DOI: [10.5821/ace.11.31.3975](https://doi.org/10.5821/ace.11.31.3975).

HAUS. **Creche em Florianópolis é a primeira do mundo com selo máximo de arquitetura sustentável**. out. 2019. 2 fotografias, color. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/927009/creche-em-florianopolis-e-a-primeira-do-mundo-com-selo-maximo-de-arquitetura-sustentavel>. Acesso em: 10 fev. 2023.

HELFENBERGER, M. Climate as artefact between 1830 and 1930: a transnational construction of the Swiss school building. **History of Education**, [S. l.], v. 47, p. 663-683, 2018. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1080/0046760X.2018.1459878>.

HELFENBERGER, M.; SCHREIBER, C. Construindo cidadãos: Arquitetura da escola e seu programa social – visões comparativas da Suíça e de Luxemburgo nos séculos XIX e XX. **Revista História da Educação**, Porto Alegre, v. 23, p. 1-43, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-3459/82303>.

HUANG, K. T. *et al.* Implementation of green building specification credits for better thermal conditions in naturally ventilated school buildings. **Building and Environment**, [S. l.], v. 86, p. 141-150, abr. 2015. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.buildenv.2015.01.006>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). **Censo da Educação Superior: Resultados 2020 - Microdados**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-da-educacao-superior/resultados>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Foz do Iguaçu: Panorama**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu/panorama>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas: Período 1961-1990**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INMET. **Arquivos climáticos INMET 2018**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 08 fev. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Condicionadores de ar**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INMETRO. **Instrução Normativa para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Brasília, 2021. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/inic>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/regulamentos>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/manuais>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA (ITA). **A concepção**. São José dos Campos, [s. n.], 2022. Disponível em: <http://www.ita.br/aconcepcao>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA-USA). **Search Software And Training**. Estados Unidos, 2022. Disponível em: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software-listing>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION (ISO). **ISO 7726:1998** - Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. Genebra: ISO, 1998.

ISO. **ISO 7730:2005** - 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. Genebra: ISO, 2005.

ISO. **ISO 8996:2021** - Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate. Genebra: ISO, 2021.

ISO. **ISO 9920:2007** - Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genebra: ISO, 2007.

JADHAV, S. *et al.* Predicting Occupant Thermal Comfort for Multiple Air-Side Systems and Seasonal Scenarios Using Autonomous HVAC CFD. *In: International Building Performance Simulation Association, 17., 2021, Bruges. Proceedings [...]. Proceedings of Building Simulation 2021: 17th Conference of IBPSA*, p. 2813-2820, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30945>.

JIANG, J. *et al.* A holistic approach to the evaluation of the indoor temperature based on thermal comfort and learning performance. **Building and Environment**, [S. l.], v. 196, p. 1-15, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107803>.

JOWKAR, M. *et al.* Comfort temperature and preferred adaptive behaviour in various classroom types in the UK higher learning environments. **Energy and Building** [S. l.], v. 211, p. 1-15, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109814>.

KARAHMADI, M.; KIANI, M.; SICHANI, M. G. Evaluation of Isfahan's New Schools in the Late Qajar and the First Pahlavi Periods based on Shaping Factors and Physical Components. **Bagh-e Nazar**, [S. l.], v. 17, n. 88, p. 5-20, out. 2020. DOI: [10.22034/BAGH.2020.190920.4177](https://doi.org/10.22034/BAGH.2020.190920.4177).

KEMNITZ, H. Schulbau jenseits der Norm: Hans Scharouns Mädchengymnasium in Lünen. **Paedagogica Historica**, [S. l.], v. 41, n. 4-5, p. 605-625, 2005. DOI: <https://doi.org/ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1080/00309230500165791>.

KHODABAKHSHI, S.; FOROUTAN, M.; SAMIEI, A. The Evolution of Space in Schools Architecture Based on the Role of Their Governing Educational system (Case Study: Sepahsalar School, Darolfunoon, and Alborz High school). **Bagh-e Nazar**, [S. l.], v. 12, n. 37, p. 61-74, 2016. Disponível em: <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=486876>. Acesso em: 15 fev. 2023.

KON, N. **Colégio Positivo Internacional**. 2022. 4 fotografias, color. Disponível em: <http://www.mcacoelho.com.br/portfolio-item/colégio-positivo-internacional/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

KRANZ, M. Austin Community College San Gabriel Campus. [Entrevista cedida a] Marcy Marro. **Metal Architecture**, Skokie, ago. 2019. Disponível em: <https://www.metalarchitecture.com/articles/austin-community-college-leander-texas-college-campus-center>. Acesso em: 10 fev. 2023.

KÜKRER, E.; ESKIN, N. Effect of design and operational strategies on thermal comfort and productivity in a multipurpose school building. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 44, p. 1-14, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102697>.

KWONG, Q. J.; ADAM, N. M., SAHARI, B. B. Thermal comfort assessment and potential for energy efficiency enhancement in modern tropical buildings: A review. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 68, p. 547-557, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.034>.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). **Arquivo de simulação exemplo** (residência unifamiliar – modelo de referência). Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020>. Acesso em: 10 fev. 2023.

LabEEE. **Conforto Térmico**. Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/conforto-termico>. Acesso em: 10 fev. 2023.

LAMBERTS, R. *et al.* **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Apostila, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: LabEEE, 2011.

LANGNER, M. **Design Generativo para Criação de Elementos de Controle Solar para a Arquitetura**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/123456789/6095>. Acesso em: 15 fev. 2023.

LAU, S. S. Y.; ZHANG, J.; TAN, Y. A comparative study of thermal comfort in learning spaces using three different ventilation strategies on a tropical university campus. **Building and Environment**, [S. l.], v. 148, p. 579-599, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.032>.

Le numéro en bref - Les patrimoines des lycées français du xix^e au xxi^e siècle: de la connaissance à la valorisation. **In Situ-Revue de patrimoines**, [S. l.], n. 44, p. 1-2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4000/insitu.30790>.

LEE, J. W. A Study on the Standard Drawings of Seoul Middle School Architecture in 1975. **Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society**, [S. l.], v. 14, n. 5 p. 2497-2504, 2013. DOI: [10.5762/KAIS.2013.14.5.2497](https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.5.2497).

LEE, J. W. A Study on the Specialized Classrooms of Governmental Secondary Schools in the Japanese Colonial Era -Focused on Architectural Drawings for Collected by National Archives of

Korea. **Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society**, [S. l.], v. 15, n. 4 p. 2476-2483, 2014. DOI: [10.5762/KAIS.2014.15.4.2476](https://doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.4.2476).

LEE, M. C. *et al.* Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. **Building and Environment**, [S. l.], v. 49, p. 238-244, mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.001>.

LIBESKIND, C. *et al.* Campus UFABC. **Vitruvius**, [S. l.], set. 2019. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/index.php/revistas/read/projetos/19.225/7476>. Acesso em: 10 fev. 2023.

LIMA, A. G. G. Two moments of school architecture in Sao Paulo: Ramos de Azevedo and his republican pioneering schools/Helio Duarte and the 'Educational Agreement'. **Paedagogica Historica**, [S. l.], v. 41, n. 1-2 p. 215-241, 2005. DOI: <https://doi.org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1080/0030923042000335556>.

LÓPEZ-CHAO, V.; LORENZO, A. A.; MARTIN-GUTIERRES, J. Architectural Indoor Analysis: A Holistic Approach to Understand the Relation of Higher Education Classrooms and Academic Performance. **Sustainability**, [S. l.], v. 11, p. 1-15, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11236558>.

LÓPEZ-CHAO, V. *et al.* Classroom Indoor Environment Assessment through Architectural Analysis for the Design of Efficient Schools. **Sustainability**, [S. l.], v. 12, p. 1-12, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12052020>.

LUCIANI-MEJIA, S.; VELASCO-GOMEZ, R.; HUDSON, R. Eco-envolventes: Análisis del uso de fachadas ventiladas en clima cálido-húmedo. **Revista de Arquitectura (Bogotá)**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 62-77, dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.14718/revarq.2018.20.2.1726>.

MAHLER, C. R. **Territórios universitários: tempos, espaços, formas**. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/18751>. Acesso em: 05 fev. 2023.

MAIA, A. G. **Valoração de recursos ambientais**. 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/229893?guid=1652652995561&returnUrl=%2fresultado%2flistar%3fguid%3d1652652995561%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d229893%23229893&i=14>. Acesso em: 05 fev. 2023.

MAIS K (+K). **Projetos Institucionais**: Cedei. Brasil, 2022. Disponível em: <https://maisk.arq.br/CEDEI>. Acesso em: 09 fev. 2023.

MANACORDA, M. A. **História da Educação**: da Antiguidade aos nossos dias. 3. ed. São Paulo: Cortez: Autores Associados, 1992.

MANCA, S. *et al.* The Effect of School Design on Users' Responses: A Systematic Review (2008-2017). **Sustainability**, [S. l.], v. 12, p. 1-37, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12083453>.

MANDY, M. M.; NIKOLOPOULOU, M. Evaluation of fenestration specifications in Egypt in terms of energy consumption and long term cost-effectiveness. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 69, p. 329-343, fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.028>.

MANOEL COELHO ARQUITETURA E DESIGN (MCA). Colégio Positivo Internacional. **ArchDaily Brasil**, [S. l.], mar. 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/872442/colégio-positivo-internacional-manoel-coelho-arquitetura-e-design>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MANZANO-AGUGLIARO, F. *et al.* Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 49, p. 736-755, set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.

MARRO, M. Austin Community College San Gabriel Campus. **Metal Architecture**, Skokie, ago. 2019. Disponível em: <https://www.metalarchitecture.com/articles/austin-community-college-leander-texas-college-campus-center>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MAURER, P. L'architecture des lycées de Metz (1803-2020). In Situ-Revue de patrimoines, [S. l.], n. 44, p. 1-21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4000/insitu.31654>.

MEISS, A. *et al.* Indoor Air Quality in Naturally Ventilated Classrooms. Lessons Learned from a Case Study in a COVID-19 Scenario. **Sustainability**, [S. l.], v. 13, n. 15, p. 8446, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13158446>.

MENDES, N. *et al.* Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3657/2013>. Acesso em: 11 fev. 2023.

MENDONÇA, A. W. P. C. A universidade no Brasil. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 14, p. 131-151, mai./ago. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-24782000000200008>.

MILANI, M. **Orçamento Vidros UNILA**. 31 jan. 2023. 17:00. 1 telefonema.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, [S. l.], v. 84, p. 181-188, jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.008>.

MONTIEL, I. *et al.* Transforming Learning Spaces on a Budget: Action Research and Service-Learning for Co-Creating Sustainable Spaces. **Education Sciences**, [S. l.], v. 11, p. 1-21, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci11080418>.

MURAT, D. **CEDEI**. 2022. 4 fotografias, color. Disponível em: <https://maisk.arq.br/CEDEI>. Acesso em: 09 fev. 2022.

MURTAGH, N.; GATERSLEBEN, B.; FINE-SCHAW, C. Occupants' motivation to protect residential building stock from climate-related overheating: A study in southern England. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 226, p. 186-194, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.080>.

MURTAGH, N.; SCOTT, L.; FAN, J. Sustainable and resilient construction: Current status and future challenges. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 268, p. 122264-122274, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122264>.

NICO, M. A.; LIUZZI, S.; STEFANIZZI, P. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. **Applied Ergonomics**, [S. l.], v. 48, p. 111-120, mai. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.11.013>.

NITSCHKE, P. R. *et al.* **Atlas Climático do estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), 2019. Disponível em:

<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2023.

NODA, L. *et al.* Thermal and visual comfort of schoolchildren in air-conditioned classrooms in hot and humid climates. **Building and Environment**, [S. l.], v. 182, p. 1-12, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107156>.

NOGUEIRA, F. Sustentabilidade em creche começa na construção. **Revista Gestão Universitária**, [S. l.], jun. 2015. Disponível em: <http://gestaouniversitaria.com.br/artigos/sustentabilidade-em-creche-comeca-na-construcao>. Acesso em: 10 fev. 2023.

OLIVEIRA, K. L.; CHAVES JUNIOR, S. R. História(s) do ensino secundário no Paraná (1942-1961): um estado da arte. **Holos**, Rio Grande do Norte, n.36, n. 3, p. 1-19, mai./ago. 2020. DOI: [10.15628/holos.2020.9689](https://doi.org/10.15628/holos.2020.9689).

PAULILO, L. A cultura material da escola: apontamentos a partir da história da educação. **Revista Brasileira de História da Educação**, [S. l.], v. 19, p. 1-24, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4025/rbhe.v19.2019.e065>.

PEREZ, Y. V.; CAPELUTO, I. G. Climatic considerations in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption. **Applied Energy**, [S. l.], v. 86, p. 340-348, mar. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.05.007>.

PFLUGER ASSOCIATES. **San Gabriel Campus**. 2022. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://pflugerarchitects.com/work-single/san-gabriel-campus/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PINTO, G. A; BUFFA, E. **Arquitetura e educação**: câmpus universitários brasileiros. 1. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2009.

PREFABRICED CONCRETE INSTITUTE (PCI). **Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability**. Chicago, 2017. Disponível em: https://www.pci.org/PCI/Project_Resources/Project_Profile/Project_Profile_Details.aspx?ID=221570. Acesso em: 10 fev. 2023.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (PROCEL). **Simuladores**. [S. l.], 2022. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={796B68CB-2559-401F-A481-DC3D145F572E}>. Acesso em: 03 fev. 2023.

PORRAS-SALAZAR, J. A. *et al.* Reducing classroom temperature in a tropical climate improved the thermal comfort and the performance of elementary school pupils. **Indoor Air**, [S. l.], v. 28, p. 892-904, nov. 2018. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1111/ina.12501>.

PURUSHOTHAMAN, A.; THIRUMARAN, K. Evaluating the climate-responsive design strategies of vernacular buildings in Konearirajapuram village, Nagappattinam, India. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 175-196, mar. 2021. DOI: <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1108/IJBPA-08-2018-0069>.

PUTEH, M. *et al.* Thermal Comfort in Classroom: Constraints and Issues. *In: World Conference on Educational Sciences*, 4., 2012, Barcelona. Proceedings [...]. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 46, p. 1834-1838. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.388>.

PUTEH, M. *et al.* An Analysis of Comfortable Teaching and Learning Environment: Community Response to Climate Change in School. *In: World Conference on Educational Sciences*, 5., 2014, Roma. Proceedings [...]. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 116, p. 285-290, fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.209>.

RASMUSSEN, L. R. Building Pedagogies. A historical study of teachers' spatial work in new school architecture. **Education Inquiry**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 225-248, 2021. DOI: <https://doi.org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1080/20004508.2020.1857495>.

RIBEIRO, M. G. M. A USAID e o ensino agrônômico brasileiro: o caso da Universidade Rural do Estado de Minas Gerais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 453-463, set./dez. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1981-81222009000300007>.

RINCON, L. *et al.* Passive systems for energy savings of buildings in tropical climate. *In*: ISES EuroSun Conference, 11., 2016, Palma. Proceedings [...]. **Proceedings of the 11th ISES Eurosun 2016 Conference**, p. 148-157, 2016. DOI: [10.18086/eurosun.2016.01.14](https://doi.org/10.18086/eurosun.2016.01.14).

RODRÍGUEZ-MIRANDA, S.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, O.; GONZÁLEZ-NAVA, C. Evaluación por simulación dinámica del comportamiento térmico en una casa interés social con la incorporación de estrategias de arquitectura bioclimática en Guanajuato, México. **Ingeniería, investigación y tecnología**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 1-13, jan./mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2021.22.1.004>.

ROOF, D. J. Through the looking-glass: How nineteenth century asylums shaped school architecture and notions of intellectual abnormality shaped public education. **Policy Futures in Education**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 481-494, 2017. DOI: <https://doi.org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1177/1478210317715795>.

RORIZ; M. **Zoneamento Bioclimático do Brasil - UFSCar**: ZBBR Versão 1.1. São Carlos, 2004. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbbr>. Acesso em: 08 fev. 2023.

SACHT, H. M. *et al.* Análise de Conforto Urbano do Marco das Três Fronteiras em Foz Do Iguaçu-PR. **ACE: architecture, city and environment**, Barcelona, v. 15, n. 43, p. 1-20, jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.15.43.8295>.

SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO (SME). **Ministro da Educação vai inaugurar Creche Hassis**. Florianópolis, 2015. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/educa/?pagina=notpagina¬i=13627>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SILVA, F. L.; MUZARDO, F. T. Primeiros edifícios escolares no estado do Paraná: tempos de improvisação (1904-1922). **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, Santos, v. 07, n. 13, p. 225-245, jan./jun. 2015. Disponível em: <https://periodicos.unisantos.br/pesquiseduca/article/view/384>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SILVA, F. M.; CHAVES, M. S.; LIMA, Z. M. C. **Sistemas sinóticos e classificação climática**. 1. ed. Natal: EDUFRN, 2009.

SILVA, F. V.; BORGES, V. L. A. Origem da Escola Superior de Agricultura e Veterinária do Estado de Minas Gerais: Peter Henry Rolfs e os pilares do Saber Esaviano (1920-1929). **Revista HISTEDBR On-line**, Campinas, n. 29, p. 169-197, mar. 2008. Disponível em: https://www.fe.unicamp.br/pf-fe/publicacao/5052/art12_29.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE COMPRA, VENDA E ADMINISTRAÇÃO DE IMÓVEIS (SECOVI-SP). Escola em Curitiba é a primeira no Brasil a conquistar selo Leed Ouro. **AECweb**, [S. l.], [2014?]. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/escola-em-curitiba-e-a-primeira-no-brasil-a-conquistar-selo-leed-ouro/10679>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SINGH, M. K. *et al.* Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 188-189, p. 149-174, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051>.

SKIDMORE, OWINGS Y MERRIL (SOM). Escola Kathleen Grimm. **ArchDaily Brasil**, [S. l.], set. 2016. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/794844/escola-kathleen-grimm-som?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_projects. Acesso em: 10 fev. 2023.

SOM. The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability at Sandy Ground. [Entrevista cedida a] John Hill. **World-Architects**, Zurique, abr. 2016. Disponível em: <https://www.world-architects.com/en/architecture-news/reviews/the-kathleen-grimm-school-for-leadership-and-sustainability-at-sandy-ground>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SOM. **The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability at Sandy Ground**. Nova Iorque, 2022. Disponível em: <https://www.som.com/projects/the-kathleen-grimm-school-for-leadership-and-sustainability-at-sandy-ground/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SOM. **The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability at Sandy Ground**. 2022. 2 fotografias, color. Disponível em: <https://www.som.com/projects/the-kathleen-grimm-school-for-leadership-and-sustainability-at-sandy-ground/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

STARK VIDEO INC. **Aerial NY**. 2022. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.som.com/projects/the-kathleen-grimm-school-for-leadership-and-sustainability-at-sandy-ground/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

STOBRASIL. **Sistemas de Isolamento Térmico**. Itaquaquecetuba, 2022. Disponível em: <https://stobrasil.com.br/produtos/sistemas-de-isolamento-termico-stotherm/>. Acesso em: 05 fev. 2023.

TAUBE, D. **Alice West Fleet Elementary Principal Francis LeGagneur talks about the school's environmental features**. set. 2021. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.arlnow.com/2021/09/22/global-nonprofit-gives-a-to-arlingtons-energy-efficient-schools/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

TAUBE, D. Global Nonprofit Gives A+ to Arlington's Energy-Efficient Schools. **ARLnow**, Arlington, set. 2021. Disponível em: <https://www.arlnow.com/2021/09/22/global-nonprofit-gives-a-to-arlingtons-energy-efficient-schools/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

TAYLOR, M.; BROWN, N. C.; RIM, D. Optimizing thermal comfort and energy use for learning environments. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 248, p. 1-14, out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111181>.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **Manassas Park Elementary School + Pre-K**. Washington, 2022. Disponível em: <https://www.aiatopten.org/node/111>. Acesso em: 10 fev. 2023.

THE PLAN. **The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability**. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.theplan.it/eng/award-2017-education/the-kathleen-grimm-school-for-leadership-and-sustainability-1>. Acesso em: 10 fev. 2023.

TOALA-ZAMBRANO, L. A. *et al.* Percepción del Confort Térmico en Conjuntos Residenciales y su Incidencia en la Calidad de Vida. **Revista Lasallista de Investigación**, Caldas, v. 18, n. 1, p. 34-47, jan./jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.22507/rli.v18n1a3>.

TÖPPER, D.; ISENSEE, F. From “School Buildings” to “School Architecture” - School Technicians, Grand School Buildings and Educational Architecture in Prussia and the USA in the Nineteenth Century. **Historia y Memoria de la educación**, [S. l.], n. 14, p. 375-423, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5944/hme.13.2021.27537>.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB). Arquivo Cedoc. Lei de criação da Universidade de Brasília completa 55 anos. **UnBNotícias**. Brasília, dez. 2016. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <https://noticias.unb.br/inicio/76-institucional/1137-universidade-de-brasilia-completa-55-anos>. Acesso em: 09 fev. 2023.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Professor da FFLCH conta história da formação da Cidade Universitária. **USP Online Destaque**. São Paulo, jul. 2012. Disponível em: <https://www5.usp.br/uspdestaque/professor-da-fflch-conta-historia-da-formacao-da-cidade-universitaria/>. Acesso em: 09 fev. 2023.

USP. Prefeitura do Campus USP da Capital (PUSP-C). **História da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira” (CUASO)**. São Paulo, 1985. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <https://puspc.usp.br/institucional/historia-da-cuasol/>. Acesso em: 09 fev. 2023.

USP. **Cartas Solares Cad.** 2021. Exercício da Disciplina AUT 0272 - Sol, Arquitetura e Urbanismo (Graduação em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Campinas, 2018. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2417623&forceview=1>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA (UNILA). **Boletim de Serviço nº 420**. Retifica a Portaria nº 1127 e 1128 e estabelece a distribuição dos horários das aulas dos cursos de graduação da UNILA. Foz do Iguaçu, 06 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://documentos.unila.edu.br/sites/default/files/arquivos/boletins/bs420.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNILA. Conselho Universitário. **Resolução nº18, de 01 de junho de 2021**. Aprova o Calendário Acadêmico da Graduação para o Período Letivo 2020.2 e para o Ano Letivo de 2021. Foz do Iguaçu: Conselho Universitário, 2021. Disponível em: <https://documentos.unila.edu.br/sites/default/files/arquivos/boletins/44.2021.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNILA. **Edital de Licitação RDC 01/2019**: Anexo I – Desenhos e Especificações Técnicas do Projeto Executivo. RDC Eletrônico nº 1/2019. [Execução dos serviços de engenharia necessários à construção da primeira etapa do Edifício Multiuso – Construção do Bloco de Aulas, na Avenida Tancredo Neves N° 3147]. Foz do Iguaçu: Secretaria de Implantação do Campus (SECIC), 2019. Disponível em: <https://documentos.unila.edu.br/licitacao/1/2019-0>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNILA. **Estudo de Impacto de Vizinhança – EIV**. Edifício Multiuso – Bloco de Aulas 01 e 02. Foz do Iguaçu: Secretaria de Implantação do Campus (SECIC), 2020.

UNILA. **Inventário Florestal – Moradia Estudantil**. Foz do Iguaçu: Secretaria de Implantação do Campus (SECIC), 2011.

UNILA. **Inventário Florestal – RU-UNILA**. Foz do Iguaçu: Secretaria de Implantação do Campus (SECIC), 2018.

UNILA. **Registro fotográfico da equipe de fiscalização de obra**. Foz do Iguaçu: Secretaria de Implantação do Campus (SECIC), 2022. 6 fotografias, color.

UNILA. Secretaria de Implantação do Campus (SECIC). **Maquete eletrônica Campus UNILA**. Foz do Iguaçu: [s. n.], 2008. 1 ilustração, p&b.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **História da UFMG**. Belo Horizonte: [s. n.], [191-?]. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <https://www.ufmg.br/90anos/historia-da-ufmg/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Repositório Institucional da Universidade Federal de Viçosa (LOCUS). **Vista panorâmica da região central do campus**. Viçosa, [s. n.], nov. 2015. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6643>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS. **História**. Manaus, [s. n.], [19--?]. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <https://ufam.edu.br/historia.html>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Arquivo ACS. **A mais antiga do Brasil**. Curitiba, [s. n.], [191-?]. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <https://www.ufpr.br/portalufpr/a-mais-antiga-do-brasil/>. Acesso em: 05 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Plano Diretor UFRJ 2020**. Rio de Janeiro, abr. 2011, [s. n.], il., p&b. Disponível em: <https://ufrj.br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/plano-diretor/>. Acesso em: 05 fev. 2023.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Input Output Reference**. EnergyPlus. Estados Unidos, 2021. Disponível em: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/InputOutputReference.pdf. Acesso em: 02 fev. 2023.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **Alice West Fleet Elementary School**. Estados Unidos, 2021. Disponível em: <https://www.usgbc.org/projects/alice-west-fleet-elementary-school>. Acesso em: 10 fev. 2023.

USGBC. **Projects**. Country: Brazil; LEED BD+C: Schools. Estados Unidos, 2022a. Disponível em: <https://www.usgbc.org/projects?Country=%5B%22Brazil%22%5D&Rating+System=%5B%22Schools+-+New+Construction%22%5D>. Acesso em: 09 fev. 2023.

USGBC. **Projects**. Country: Brazil; LEED Zero Certification: LEED Zero Energy. Estados Unidos, 2022b. Disponível em: <https://www.usgbc.org/projects?Country=%5B%22Brazil%22%5D&LeedZero-Certified+level=%5B%22LEED+Zero+Energy%22%5D>. Acesso em: 09 fev. 2023.

VAROLGUNES, F. K. Evaluation of vernacular and new housing indoor comfort conditions in cold climate - a field survey in eastern Turkey. **International Journal of Housing Markets and Analysis**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 207-226, jun. 2019. DOI: [10.1108/IJHMA-02-2019-0019](https://doi.org/10.1108/IJHMA-02-2019-0019).

VASCONCELOS, H. M. T.; MAKNAMARA, M. Arquitetura e educação: arquitetura escolar como elemento dos espaços escolares. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 7, p.1-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3986>.

VMDO ARCHITECTS (VMDO). **Alice West Fleet Elementary School**. Charlottesville, 2022a. Disponível em: <https://www.vmdo.com/alice-west-fleet-elementary-school.html>. Acesso em: 10 fev. 2023.

VMDO. **Alice West Fleet Elementary School**. 2022a. 3 fotografias, color. Disponível em: <https://www.vmdo.com/alice-west-fleet-elementary-school.html>. Acesso em: 10 fev. 2023.

VMDO. **Arlington Public Schools**: Alice West Fleet Elementary School at Thomas Jefferson Campus. Charlottesville, jan. 2018. Disponível em: [https://www.boarddocs.com/vsba/arlington/Board.nsf/files/AUXT6270BA89/\\$file/F-1%20Fleet%20Final%20Design%20Report.pdf](https://www.boarddocs.com/vsba/arlington/Board.nsf/files/AUXT6270BA89/$file/F-1%20Fleet%20Final%20Design%20Report.pdf). Acesso em: 10 fev. 2023.

VMDO. **Manassas Park Elementary School + Pre-K**. 2022b. 3 fotografias, color. Disponível em: <https://www.vmdo.com/manassas-park-elementary-school-and-pre-k.html>. Acesso em: 10 fev. 2023.

VMDO; PATEL, P. **Manassas Park Elementary School + Pre-K**. 2022. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.aiatopen.org/node/111>. Acesso em: 10 fev. 2023.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. **Proposta de zoneamento climático brasileiro para edificações residenciais**. 1. ed. São Paulo: Angélica Walsh, 2023.

WANG, D. *et al.* Experimental investigation of the effect of indoor air temperature on students' learning performance under the summer conditions in China. **Building and Environment**, [S. l.], v. 140, p. 140-152, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.022>.

WANG, D. *et al.* Experimental investigation of the potential influence of indoor air velocity on students' learning performance in summer conditions. **Energy and Building** [S. l.], v. 219, p. 1-17, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110015>.

WARGOCKI, P.; PORRAS-SALAZAR, J. A.; CONTRERAS-ESPINOZA, S. The relationship between classroom temperature and children's performance in school. **Building and Environment**, [S. l.], v. 157, p. 197-204, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.046>.

WATTERS, D. M. 'Our Catholic school': themes and patterns in early Catholic school buildings and architecture before 1872. **Innes Review**, [S. l.], v. 71, p. 1-66, mai. 2020. DOI: [10.3366/inr.2020.0244](https://doi.org/10.3366/inr.2020.0244).

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Foz do Iguaçu no ano todo**. Minneapolis, 2022. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29508/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Foz-do-Igua%C3%A7u-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 05 fev. 2023.

WEBER, F. S. *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Florianópolis, 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf. Acesso em: 08 fev. 2023.

WENSING, G. S.; ANSELMO, L. B. **Avaliação dos Conceitos de Sustentabilidade Aplicados nas Fases de Construção e Operação de uma Edificação para Obtenção da Certificação Leed**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/15370>. Acesso em: 10 fev. 2023.

WENSING, G. S.; ANSELMO, L. B. **Telhado verde**. 2020. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/15370>. Acesso em: 10 fev. 2023.

WESTPHAL, F. S. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (Abividro). São Paulo, 2016. Disponível em: https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro_Manual_Tecnico-do-Vidro_Plano_Edificacoes.pdf. Acesso em: 05 fev. 2023.

WIDERA, B. Comparative analysis of user comfort and thermal performance of six types of vernacular dwellings as the first step towards climate resilient, sustainable and bioclimatic architecture in western sub-Saharan Africa. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 140, p. 1-21, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110736>.

WIESER, M.; ONNIS, S; MELI, G. Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada. Posibilidades de aplicación en el territorio peruano. **Revista de Arquitectura**, Bogotá, v. 22, n. 1, p. 164-174, jan/jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2633>.

WIESER, M.; RODRÍGUEZ-LARRAIN, S.; ONNIS, S. Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo en Orduña, Puno, Perú. **ESTOA-Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca**, Cuenca, v. 10, n. 19, p. 9-19, jan/jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.18537/est.v010.n019.a01>.

WINQUIST, M. **Campus San Gabriel da Austin Community College**. out. 2019. 3 fotografías, color. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/924782/campus-san-gabriel-da-austin-community-college-smithgroup?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_projects. Acesso em: 10 fev. 2023.

XIA, Y. W. *et al.* Experimental and numerical studies on indoor thermal comfort in fluid flow: A case study on primary school classrooms. **Case Studies in Thermal Engineering**, [S. l.], v. 19, p. 1-8, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100619>.

YALE SCHOOL OF MANAGEMENT (YALE). **About the Building**. New Haven, 2022. Disponível em: <https://som.yale.edu/about/plan-a-visit/about-the-building>. Acesso em: 10 fev. 2023.

YALE. **Edward P. Evans Hall Receives LEED Gold Certification from U.S. Green Building Council**. New Haven, 2018. Disponível em: <https://som.yale.edu/news/2018/05/edward-p-evans-hall-receives-leed-gold-certification-from-us-green-building-council>. Acesso em: 10 fev. 2023.

YALE. **Edward P. Evans Hall Receives LEED Gold Certification from U.S. Green Building Council**. 2018. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://som.yale.edu/news/2018/05/edward-p-evans-hall-receives-leed-gold-certification-from-us-green-building-council>. Acesso em: 20 out. 2022.

YANG, Z.; BECERIK-GERBER, B.; MINO, L. A study on student perceptions of higher education classrooms: Impact of classroom attributes on student satisfaction and performance. **Building and Environment**, [S. l.], v. 70, p. 171-188, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.030>.

ZHANG, X.; LIAN, Z. The bioclimatic design approach to plateau region buildings: Case of the Lhasa. *In*: International Symposium on Heating Ventilation and Air Conditioning ISHVAC Joint with the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), 9., 2015, Tianjin. Proceedings [...]. **Procedia Engineering**, v. 121, p. 2044-2051, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.205>.

2RW CONSULTANTS (2RW). **Manassas Park Elementary School and Pre-K**. Charlottesville, 2022. Disponível em: <https://2rw.com/manassas-park-elementary-school-and-pre-k/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

2030 PALETTE. **Building**. [S. l.], 2022. Disponível em: <http://www.2030palette.org/building/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE I – Memorial de cálculo de Alvenaria de Blocos Cerâmicos Equivalente

Cálculo para determinação de elemento construtivo homogêneo, especificamente a parede interna e externa, equivalente ao real heterogêneo, conforme modelo de referência apresentado nas Figuras 1 e 2. Salienta-se que os furos circulares foram modificados para favorecer os cálculos sendo adotado $A_{\ominus} = A_{\square}$, logo $\pi r^2 = l^2$.

Figura 1. Modelo de referência isolado

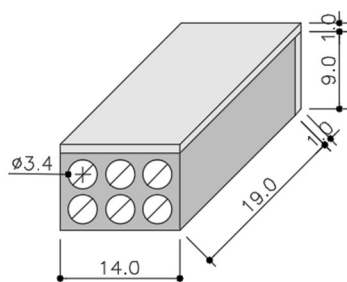
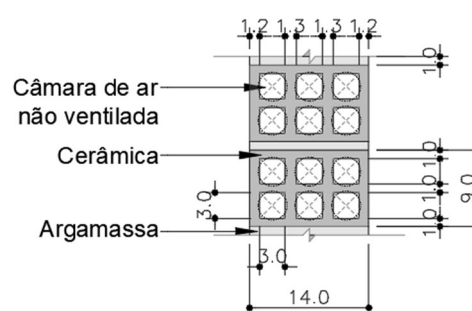


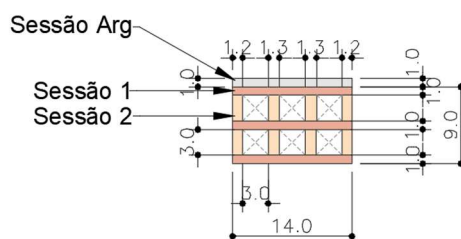
Figura 2. Modelo já com a simplificação dos furos



As camadas que compõem a argamassa interna e externa não foram consideradas por estarem adequadas ao método de cálculo empregado pelo *software EnergyPlus*.

A Figura 3 ilustra as sessões utilizadas na sequência de cálculos.

Figura 3. Ilustrativo das sessões do modelo de referência.



Sendo:

Tijolos cerâmicos → 9x14x19 cm

Argamassa de assentamento → 1 cm

Conforme NBR 15220-2:2022 (ABNT, 2022):

$R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ → $\varepsilon > 8$, espessura da câmara de ar > 2 e ≤ 5 , direção do fluxo de calor horizontal

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow \text{direção do fluxo de calor horizontal}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow \text{direção do fluxo de calor horizontal}$$

Tabela 1. Propriedades térmicas dos materiais empregados no cálculo.

Material	λ (W/m.°C)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg.K)
Cerâmica	0,90	1600	0,92
Argamassa	1,15	2000	1,00

Onde:

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$

$$R_T = \sum_{i=1}^k \frac{e_i}{\lambda_i}$$

$$C_T = \sum_{i=1}^k e_i \times c_i \times \rho_i$$

$$R_{T \text{ real}} = R_{T \text{ equivalente}}$$

$$C_{T \text{ real}} = C_{T \text{ equivalente}}$$

- **Sessão 1** (cerâmica)

Área da sessão considerando seu comprimento perpendicular ao fluxo de calor e sua altura.

$$A_1 = 0,19 \times 0,01 \rightarrow A_1 = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{\text{ceram}}}{\lambda_{\text{ceram}}} \rightarrow R_1 = \frac{0,14}{0,9} \rightarrow R_1 = 0,1555 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- **Sessão 2** (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_2 = 0,19 \times 0,03 \rightarrow A_2 = 0,0057 \text{ m}^2$$

$$R_2 = 2 \times \frac{e_{\text{ceram}}}{\lambda_{\text{ceram}}} + 2 \times \frac{e_{\text{ceram}}}{\lambda_{\text{ceram}}} + 3 \times R_{\text{ar}} \rightarrow R_2 = 2 \times \frac{0,012}{0,9} + 2 \times \frac{0,013}{0,9} + 3 \times 0,16$$

$$R_2 = 0,0266 + 0,0288 + 0,48 \rightarrow R_2 = 0,5354 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- **Tijolo**

$$A_{\text{tijolo}} = 3 \times A_1 + 2 \times A_2 \rightarrow A_{\text{tijolo}} = 0,0057 + 0,0114 \rightarrow A_{\text{tijolo}} = \mathbf{0,0171 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{A_{\text{tijolo}}}{3 \times \frac{A_1}{R_1} + 2 \times \frac{A_2}{R_2}}$$

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{0,0171}{3 \times \frac{0,0019}{0,1555} + 2 \times \frac{0,0057}{0,5354}} \rightarrow R_{\text{tijolo}} = \frac{0,0171}{0,0366 + 0,0212}$$

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{0,0171}{0,0578} \rightarrow R_{\text{tijolo}} = \mathbf{0,2958 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Sessão Argamassa**

$$A_{\text{arg}} = 0,01 \times 0,2 + 0,01 \times 0,09 \rightarrow A_{\text{arg}} = 0,002 + 0,0009 \rightarrow A_{\text{arg}} = \mathbf{0,0029 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{arg}} = \frac{0,14}{1,15} \rightarrow R_{\text{arg}} = \mathbf{0,1217 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Módulo**

$$R_{\text{módulo}} = \frac{A_{\text{arg}} + A_{\text{tijolo}}}{\frac{A_{\text{arg}}}{R_{\text{arg}}} + \frac{A_{\text{tijolo}}}{R_{\text{tijolo}}}}$$

$$R_{\text{módulo}} = \frac{0,0029 + 0,0171}{\frac{0,0029}{0,1217} + \frac{0,0171}{0,2958}} \rightarrow R_{\text{módulo}} = \frac{0,02}{0,0238 + 0,0578} \rightarrow R_{\text{módulo}} = \frac{0,02}{0,0816}$$

$$R_{\text{módulo}} = \mathbf{0,2450 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Resistência térmica total do modelo de referência**

$$R_T = R_{\text{se}} + R_{\text{módulo}} + R_{\text{si}}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2450 + 0,13 \rightarrow R_T = \mathbf{0,4150 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Transmitância térmica total**

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$

$$U_T = \frac{1}{0,4150} \rightarrow U_T = 2,4096 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total - sessão 1 (cerâmica)**

$$C_{T1} = e_i \times c_i \times \rho_i$$

$$C_{T1} = 0,14 \times 0,92 \times 1600 \rightarrow C_{T1} = 206,08 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total - sessão 2 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)**

$$C_{T2} = 2 \times (0,012 \times 0,92 \times 1600) + 2 \times (0,013 \times 0,92 \times 1600) + 3 \times (0)$$

$$C_{T2} = 35,328 + 38,272 \rightarrow C_{T2} = 73,6 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total - tijolo**

$$C_{T \text{ tijolo}} = \frac{A_{\text{tijolo}}}{3 \times \frac{A_1}{C_{T1}} + 2 \times \frac{A_2}{C_{T2}}}$$

$$C_{T \text{ tijolo}} = \frac{0,0171}{3 \times \frac{0,0019}{206,08} + 2 \times \frac{0,0057}{73,6}} \rightarrow C_{T \text{ tijolo}} = \frac{0,0171}{0,0000276592 + 0,0001548913}$$

$$C_{T \text{ tijolo}} = \frac{0,0171}{0,0001825504} \rightarrow C_{T \text{ tijolo}} = 93,67 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total - argamassa**

$$C_{T \text{ arg}} = e_i \times c_i \times \rho_i$$

$$C_{T \text{ arg}} = 0,14 \times 1 \times 2000 \rightarrow C_{T \text{ arg}} = 280 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total - módulo**

$$C_{T \text{ módulo}} = \frac{A_{\text{arg}} + A_{\text{tijolo}}}{\frac{A_{\text{arg}}}{C_{T \text{ arg}}} + \frac{A_{\text{tijolo}}}{C_{T \text{ tijolo}}}}$$

$$C_{T \text{ módulo}} = \frac{0,0029 + 0,0171}{\frac{0,0029}{280} + \frac{0,0171}{93,67}} \rightarrow C_{T \text{ módulo}} = \frac{0,02}{0,0000103571 + 0,0001825558}$$

$$C_{T \text{ módulo}} = 103,67 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

$$C_{T \text{ módulo}} = C_{T \text{ equivalente}}$$

- **Espessura equivalente - cerâmica**

$$E_{\text{equiv ceram}} = \frac{C_{T \text{ módulo}}}{2x(cp)_{\text{ceram}}}$$

$$E_{\text{equiv ceram}} = \frac{103,67}{2x(0,92x1600)} \rightarrow E_{\text{equiv ceram}} = \frac{103,67}{2944} \rightarrow E_{\text{equiv ceram}} = 0,03521 \text{ m}$$

$$E_{\text{equiv ceram}} = 3,5 \text{ cm}$$

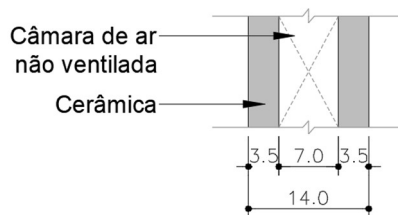
- **Espessura equivalente – câmara de ar**

$$E_{\text{equiv ar}} = l_{\text{bloco ceram}} - 2x(E_{\text{equiv ceram}})$$

$$E_{\text{equiv ar}} = 0,14 - 2x(3,5) \rightarrow E_{\text{equiv ar}} = 7 \text{ cm}$$

Assim, baseado nos cálculos apresentados, o elemento construtivo homogêneo possui espessura equivalente para cada camada de cerâmica de 3,5 cm e espessura equivalente para a câmara de ar de 7cm, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4. Parede equivalente homogênea



APÊNDICE II – Memorial de cálculo de Laje Nervurada de Concreto Equivalente

Cálculo para determinação de elemento construtivo homogêneo, especificamente a laje nervurada, equivalente ao real heterogêneo, conforme modelo de referência apresentado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Modelo de referência isolado - vista inferior da cubeta

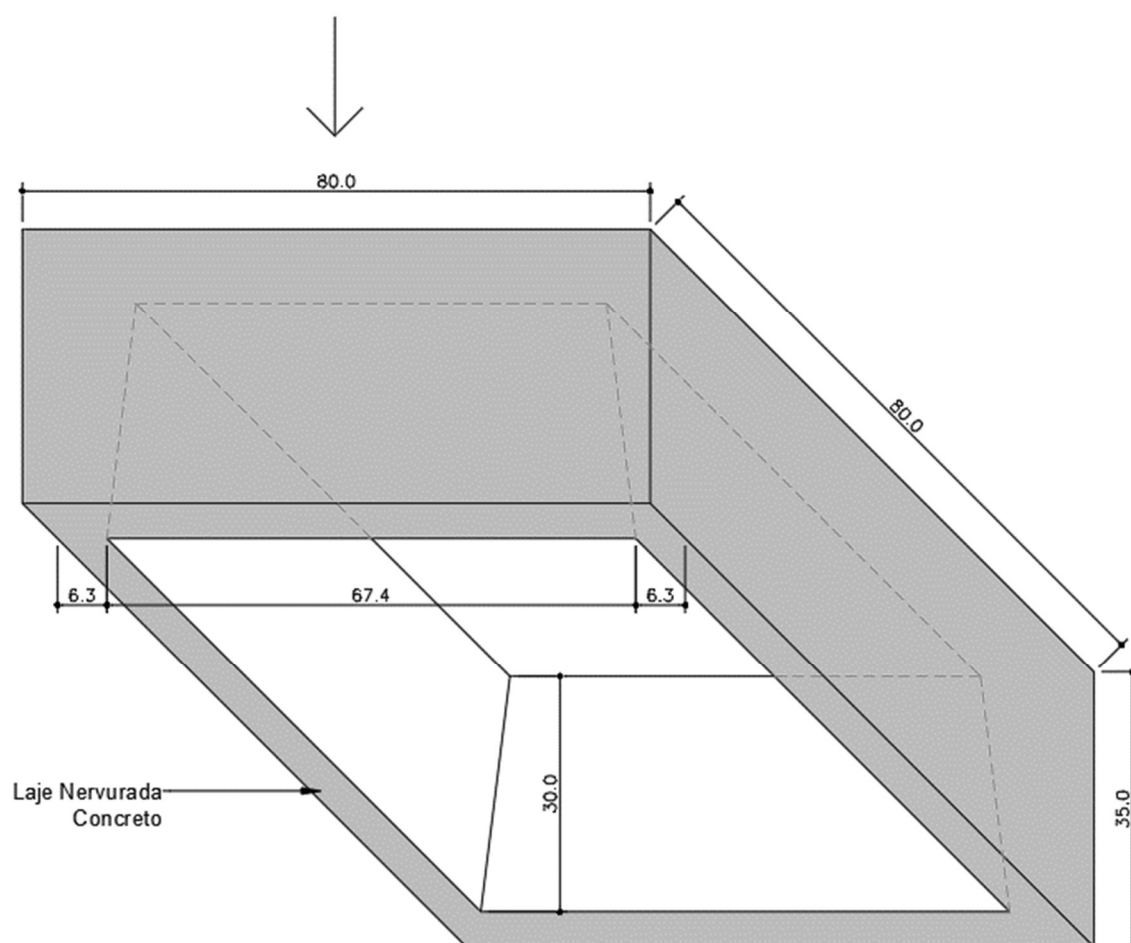
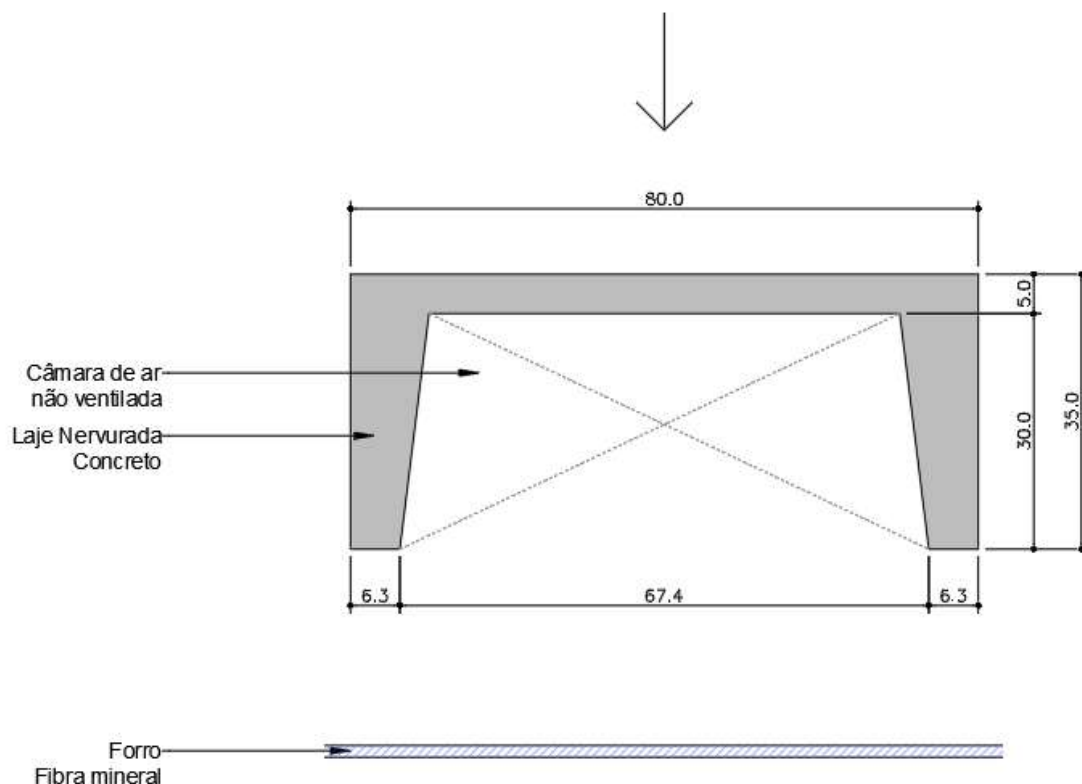


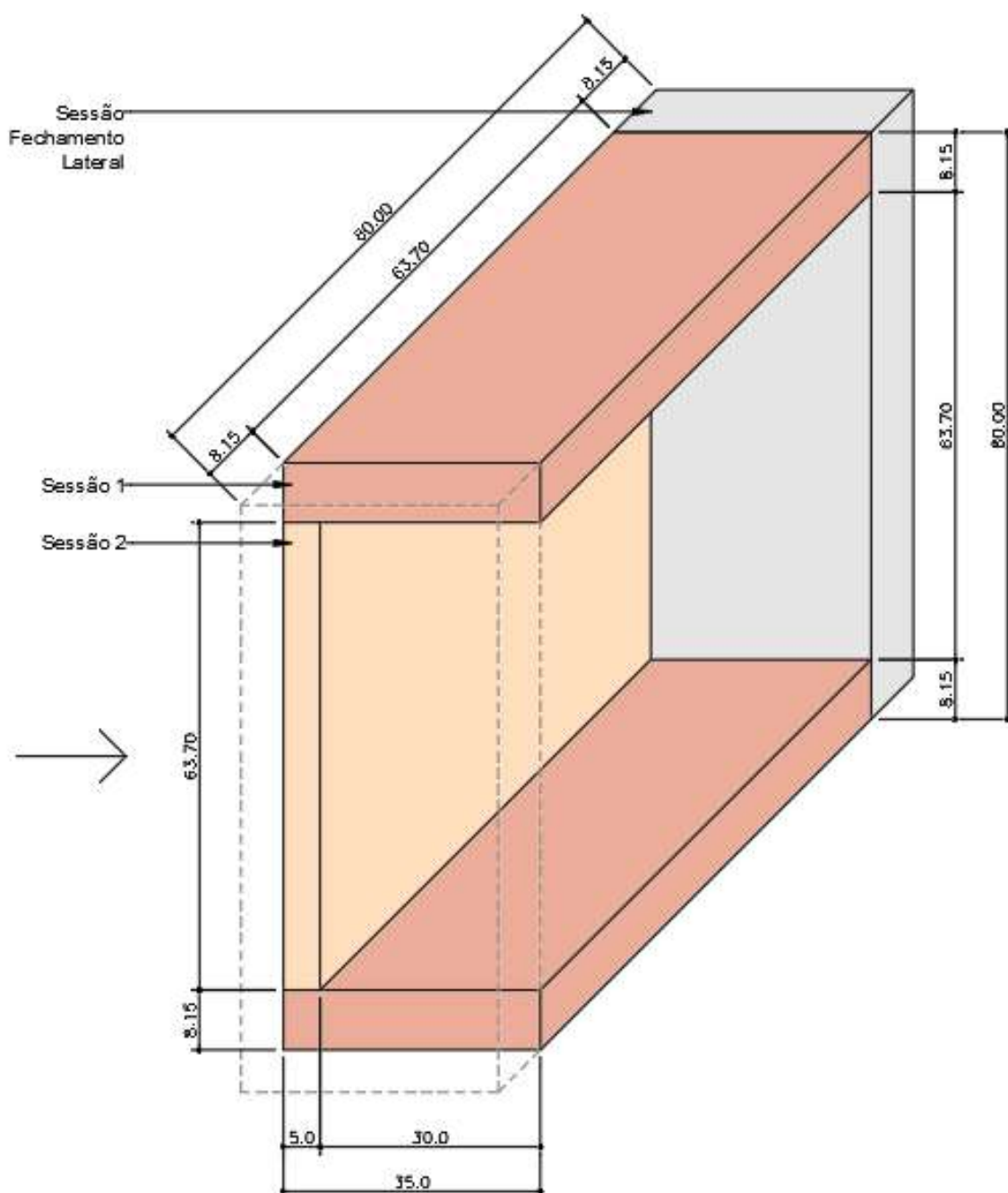
Figura 2. Modelo de referência isolado - corte esquemático da cubeta



As camadas que compõem o contrapiso de regularização, a câmara de ar (entre a laje e forro) e o forro não foram consideradas por estarem adequadas ao método de cálculo empregado pelo *software EnergyPlus*.

Salienta-se que as sessões 1 e fechamentos laterais foram modificadas para favorecer os cálculos, sendo adotada medida uniforme de 8,15cm, de modo a manter inalterada a área da câmara de ar. A Figura 3 ilustra as sessões utilizadas na sequência de cálculos.

Figura 3. Ilustrativo das sessões do modelo de referência.



Sendo:

Laje nervurada → 35x80x80 cm

Conforme NBR 15220-2:2022 (ABNT, 2022):

$R_{ar} = 0,21 \text{ m}^2\text{C/W} \rightarrow \varepsilon > 8$, espessura da câmara de ar > 5 , direção do fluxo de calor descendente

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow \text{direção do fluxo de calor descendente}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow \text{direção do fluxo de calor descendente}$$

Tabela 1. Propriedades térmicas dos materiais empregados no cálculo.

Material	λ (W/m.°C)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg.K)
Cerâmica	1,75	2200	1,00

Onde:

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$

$$R_T = \sum_{i=1}^k \frac{e_i}{\lambda_i}$$

$$C_T = \sum_{i=1}^k e_i \times c_i \times \rho_i$$

$$R_{T \text{ real}} = R_{T \text{ equivalente}}$$

$$C_{T \text{ real}} = C_{T \text{ equivalente}}$$

- **Sessão 1** (concreto)

Área da sessão considerando seu comprimento perpendicular ao fluxo de calor e sua altura.

$$A_1 = 0,637 \times 0,0815 \rightarrow A_1 = 0,0519 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} \rightarrow R_1 = \frac{0,35}{1,75} \rightarrow R_1 = 0,2 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- **Sessão 2** (concreto + câmara de ar)

$$A_2 = 0,637 \times 0,637 \rightarrow A_2 = 0,4058 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} \rightarrow R_2 = \frac{0,05}{1,75} + 0,21$$

$$R_2 = 0,0285714286 + 0,21 \rightarrow R_2 = 0,2386 \text{ m}^2\text{C/W}$$

- **Módulo**

$$A_{\text{módulo}} = 2x A_1 + A_2 \rightarrow A_{\text{módulo}} = 2x(0,0519) + 0,4058 \rightarrow A_{\text{módulo}} = \mathbf{0,5096 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{módulo}} = \frac{A_{\text{módulo}}}{2x \frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2}}$$

$$R_{\text{módulo}} = \frac{0,5096}{2x \frac{0,0519}{0,2} + \frac{0,4058}{0,2386}} \rightarrow R_{\text{módulo}} = \frac{0,5096}{0,519 + 1,7007}$$

$$R_{\text{módulo}} = \frac{0,5096}{2,2197} \rightarrow R_{\text{módulo}} = \mathbf{0,2296 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Sessão fechamentos laterais**

$$A_{\text{fecham}} = 2x(0,0815x0,8) \rightarrow A_{\text{fecham}} = 2x0,0652 \rightarrow A_{\text{fecham}} = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{fecham}} = 2x \frac{0,35}{1,75} \rightarrow R_{\text{fecham}} = \mathbf{0,4 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Cubeta**

$$R_{\text{cubeta}} = \frac{A_{\text{fecham}} + A_{\text{módulo}}}{\frac{A_{\text{fecham}}}{R_{\text{fecham}}} + \frac{A_{\text{módulo}}}{R_{\text{módulo}}}}$$

$$R_{\text{cubeta}} = \frac{0,1304 + 0,5096}{\frac{0,1304}{0,4} + \frac{0,5096}{0,2296}} \rightarrow R_{\text{cubeta}} = \frac{0,64}{0,326 + 2,2195} \rightarrow R_{\text{cubeta}} = \frac{0,64}{2,5455}$$

$$R_{\text{cubeta}} = \mathbf{0,2514 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Resistência térmica total do modelo de referência**

$$R_T = R_{se} + R_{\text{cubeta}} + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2514 + 0,17 \rightarrow R_T = \mathbf{0,4614 \text{ m}^2\text{C/W}}$$

- **Transmitância térmica total**

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$

$$U_T = \frac{1}{0,4614} \rightarrow U_T = \mathbf{2,17 \text{ W/m}^2\text{C}}$$

- **Capacidade térmica total - sessão 1 (concreto)**

$$C_{T1} = e_i \times c_i \times \rho_i$$

$$C_{T1} = 0,35 \times 1 \times 2200 \rightarrow C_{T1} = 770 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total - sessão 2 (concreto + câmara de ar)**

$$C_{T2} = (0,05 \times 1 \times 2200) + 0 \rightarrow C_{T2} = 110 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total - módulo**

$$C_{T \text{ módulo}} = \frac{A_{\text{módulo}}}{2 \times \frac{A_1}{C_{T1}} + \frac{A_2}{C_{T2}}}$$

$$C_{T \text{ módulo}} = \frac{0,5096}{2 \times \frac{0,0519}{770} + \frac{0,4058}{110}} \rightarrow C_{T \text{ módulo}} = \frac{0,5096}{0,0001348052 + 0,0036890909}$$

$$C_{T \text{ módulo}} = \frac{0,5096}{0,0038238961} \rightarrow C_{T \text{ módulo}} = 133,2672 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total – fechamentos laterais**

$$C_{T \text{ fecham}} = 2 \times (e_i \times c_i \times \rho_i)$$

$$C_{T \text{ fecham}} = 2 \times (0,35 \times 1 \times 2200) \rightarrow C_{T \text{ fecham}} = 1540 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

- **Capacidade térmica total – cubeta**

$$C_{T \text{ cubeta}} = \frac{A_{\text{fecham}} + A_{\text{módulo}}}{\frac{A_{\text{fecham}}}{C_{T \text{ fecham}}} + \frac{A_{\text{módulo}}}{C_{T \text{ módulo}}}}$$

$$C_{T \text{ cubeta}} = \frac{0,1304 + 0,5096}{\frac{0,1304}{1540} + \frac{0,5096}{133,2672}} \rightarrow C_{T \text{ cubeta}} = \frac{0,64}{0,0000846753 + 0,0038238967}$$

$$C_{T \text{ cubeta}} = \frac{0,64}{0,003908572} \rightarrow C_{T \text{ cubeta}} = 163,7427 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$$

$$C_{T \text{ cubeta}} = C_{T \text{ equivalente}}$$

- **Espessura equivalente - concreto**

$$E_{\text{equiv ceram}} = \frac{C_{T \text{ cubeta}}}{2x(c\rho)_{\text{concreto}}}$$

$$E_{\text{equiv ceram}} = \frac{163,7427}{2x(1x2200)} \rightarrow E_{\text{equiv ceram}} = \frac{163,7427}{4400} \rightarrow E_{\text{equiv ceram}} = 0,037 \text{ m}$$

$$E_{\text{equiv ceram}} = 3,7 \text{ cm}$$

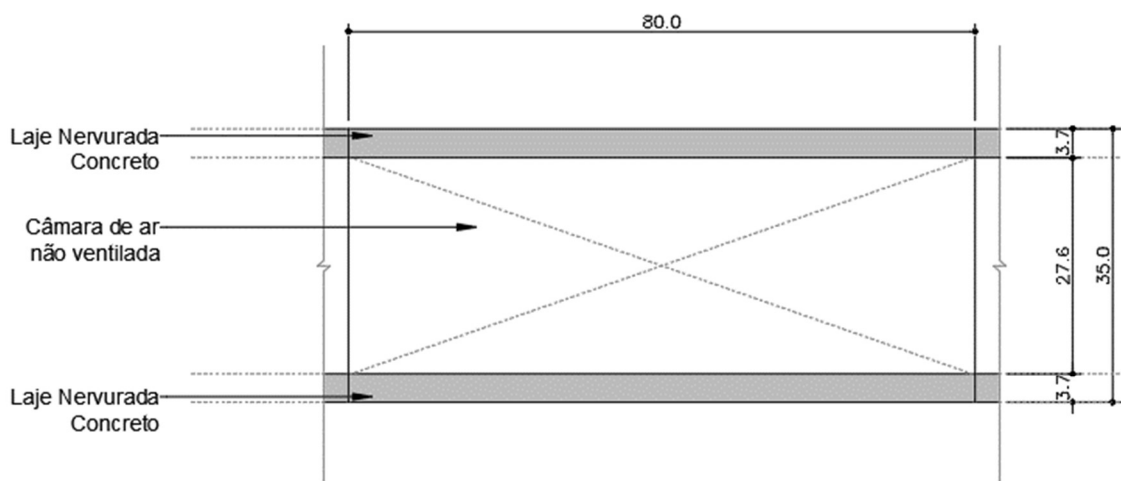
- **Espessura equivalente – câmara de ar**

$$E_{\text{equiv ar}} = l_{\text{cubeta}} - 2x(E_{\text{equiv concreto}})$$

$$E_{\text{equiv ar}} = 35 - 2x(3,7) \rightarrow E_{\text{equiv ar}} = 27,6 \text{ cm}$$

Assim, baseado nos cálculos apresentados, o elemento construtivo homogêneo possui espessura equivalente para cada camada de concreto de 3,7 cm e espessura equivalente para a câmara de ar de 27,6 cm, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4. Laje equivalente homogênea



APÊNDICE III – Propriedades dos Elementos Construtivos

Tabela completa contendo as propriedades dos elementos construtivos do Bloco de Aulas 01 utilizadas nas simulações computacionais.

Elementos construtivos		e	λ	ρ	c	R_T	U	C_T	α
		(m)	(W/m.°C)	(kg/m ³)	(kJ/kg.K)	(m ² .K/W)	(W/m ² .°C)	(kJ/m ² .K)	(adim.)
Cobertura $R_{si} = 0,17$ $R_{se} = 0,04$	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46	3,13	0,32	177,44	0,25
	EPS Telha	0,03	0,04	15	1,42				
	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46				
	Câmara de ar	>0,05	-	-	-				
	Laje Nervurada	0,35	-	-	-				
	Câmara de ar	0,25	-	-	-				
	Forro Fibra Mineral	0,015	0,057	280	1,4				
Cobertura circulação $R_{si} = 0,17$ $R_{se} = 0,04$	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46	2,45	0,41	171,56	0,25
	EPS Telha	0,03	0,04	15	1,42				
	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46				
	Câmara de ar	>0,05	-	-	-				
	Laje Nervurada	0,35	-	-	-				
Laje Térreo $R_{si} = 0,10$ $R_{se} = 0,04$	Piso Granitina	0,008	1,75	2400	1,00	0,34	2,93	239,20	0,65
	Contrapiso	0,10	1,75	2200	1,00				
Laje Entrepisos (salas de aula, salas ADM e de serviço) $R_{si} = 0,10$ $R_{se} = 0,04$	Piso Granitina	0,008	1,75	2400	1,00	1,32	0,76	298,82	0,65
	Contrapiso de Regular.	0,05	1,75	2200	1,00				
	Laje Nervurada	0,35	-	-	-				
	Câmara de ar	0,25	-	-	-				
	Forro Fibra Mineral	0,015	0,057	280	1,4				
Parede Externa $R_{si} = 0,13$ $R_{se} = 0,04$	Argamassa Externa	0,03	1,15	2000	1,00	0,81	1,24	223,67	0,611
	Bloco Cerâmico	0,035	-	-	-				
	Argamassa Interna	0,03	1,15	2000	1,00				
Parede Interna $R_{si} = 0,13$ $R_{se} = 0,04$	Argamassa Interna	0,03	1,15	2000	1,00	0,81	1,24	223,67	0,396
	Bloco Cerâmico	0,035	-	-	-				
	Argamassa Interna	0,03	1,15	2000	1,00				
Porta	Alumínio	0,032	230	2700	0,88	0,1701	5,88	76,03	0,20

Variação Cobertura Isolamento $R_{si} = 0,17$ $R_{se} = 0,04$	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46				
	EPS Telha	0,03	0,04	15	1,42				
	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46				
	Câmara de ar	>0,05	-	-	-	4,46	0,22	181,56	0,25
	Lã de rocha	0,05	0,045	110	0,75				
	Laje Nervurada	0,35	-	-	-				
	Câmara de ar	0,25	-	-	-				
Variação Cobertura Isolamento $R_{si} = 0,17$ $R_{se} = 0,04$	Forro Fibra Mineral	0,015	0,057	280	1,4				
	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46				
	EPS Telha	0,03	0,04	15	1,42				
	Telha Aço Galvanizado	0,001	55	7800	0,46	3,77	0,27	175,68	0,25
	Câmara de ar	>0,05	-	-	-				
	Lã de rocha	0,05	0,045	110	0,75				
	Laje Nervurada	0,35	-	-	-				
Variação Cobertura Isolamento Telha $R_{si} = 0,17$ $R_{se} = 0,04$	Telha de fibrocimento	0,008	0,65	1600	0,84				
	Câmara de ar	>0,05	-	-	-				
	Laje Nervurada	0,35	-	-	-	1,97	0,51	180,37	0,102
	Câmara de ar	0,25	-	-	-				
	Forro Fibra Mineral	0,015	0,057	280	1,4				
Variação Cobertura Telha $R_{si} = 0,17$ $R_{se} = 0,04$	Telha de fibrocimento	0,008	0,65	1600	0,84				
	Câmara de ar	>0,05	-	-	-	1,29	0,77	174,49	0,102
	Laje Nervurada	0,35	-	-	-				
Variação Parede Externa Isolamento $R_{si} = 0,13$ $R_{se} = 0,04$	Isolamento Sto Therm	0,014	0,04	15	1,42				
	Bloco Cerâmico	0,035	-	-	-	1,13	0,88	163,97	0,611
	Argamassa Interna	0,03	1,15	2000	1,00				