



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

FELIPE GABRIEL DE CARVALHO GÓIS

**DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES NO IFPE *CAMPUS*
RECIFE**

Recife, 2025

FELIPE GABRIEL DE CARVALHO GÓIS

**DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES NO IFPE *CAMPUS*
RECIFE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva
Orientador

Prof. Dr. João Manoel de Freitas Mota
Coorientador

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Coorientador

Recife, 2025

G616d Góis, Felipe Gabriel de Carvalho.
Desempenho termoenergético de edificações no IFPE Campus Recife . / Felipe Gabriel de Carvalho Góis. – Recife, PE: O autor, 2025.
116 f. ; il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva.
Coorientador: Prof. Dr. João Manoel de Freitas Mota.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2025.

Inclui referências e apêndices.

1. Construções Sustentáveis. 2. Eficiência Energética. 3. Sistemas de Climatização. 4. Edificações. I. Silva, Hernande Pereira da. (Orientador). II. Mota, João Manoel de Freitas. (Coorientador). III. Título.

690.0057 CDD (22 Ed.)

Catálogo na fonte
Bibliotecária Amanda Tavares CRB4-1751

FELIPE GABRIEL DE CARVALHO GÓIS

**DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES NO IFPE *CAMPUS*
RECIFE**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: 20/10/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva
Orientador - MPGA

Prof. Dr. João Manoel de Freitas Mota
Coorientador - MPGA

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Coorientador - MPGA

Profª. Dra. Rejane Moraes Rego
Examinadora Interna - IFPE

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira
Examinador Externo - UNICAP

APRESENTAÇÃO

Aos 14 anos de idade, fiz uma escolha que tem guiado minha carreira profissional: realizar a inscrição no curso Técnico em Automação Industrial no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Comecei a desbravar o mundo das instalações elétricas, da programação, dos sensores e da eficientização de processos, conjunto de experiências que me fez descobrir minha vocação. Ainda na reta final do curso, ingressei na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) para o Bacharelado em Ciência e Tecnologia e, posteriormente, para a Engenharia de Energia, onde me especializei em fontes alternativas e técnicas de conservação energética. Desde 2017, integro o quadro de servidores da Diretoria de Obras e Projetos (DOP) da Reitoria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), no cargo de Engenheiro Eletricista, onde realizamos a gestão de toda a infraestrutura física da instituição. É comum no cotidiano nos depararmos com situações em que a eficiência energética é protagonista, em atividades como o desenvolvimento de novos projetos prediais, a realização de visitas e consultorias para otimização do consumo de energia nas unidades, a fiscalização de obras, entre outras. Portanto, é seguro afirmar que a temática voltada às construções sustentáveis faz parte das minhas atividades profissionais no dia-a-dia e que explorá-la nesta pesquisa foi de grande valia para o decorrer da minha carreira.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa e melhor amiga, Clara Yanina, que me move a ser uma pessoa melhor todos os dias.

Aos meus pais, Rogério e Irinês, por todo o amor e carinho que um filho poderia receber.

Ao meu padrinho, Jocelito Barbosa, por ter me incentivado desde jovem a seguir o caminho da educação.

Aos colegas da DOP/IFPE, em especial à diretora Virgínia Gouveia, por todo o companheirismo e os ensinamentos diários.

Ao meu orientador, Prof. Hernande Pereira, pelos direcionamentos e incentivos durante a pesquisa.

Aos servidores e colegas do MPGA, por todo o convívio e apoio nos últimos anos.

Aos membros do IRRD/UFRPE, Eduardo Francisco, Jonatha Alexandre e Rosner Rodrigues, pela colaboração na etapa do imageamento termográfico.

A todos os professores, profissão mais nobre, com quem já tive a honra de compartilhar uma sala de aula.

RESUMO

Esta pesquisa constitui uma investigação em torno das construções sustentáveis, especialmente quanto aos fundamentos da eficiência energética, temática que possui alinhamento com o ODS 11 - “Cidades e comunidades sustentáveis” e com o contexto das mudanças climáticas. Nessa perspectiva, o objetivo geral foi determinar o nível de desempenho termoenergético de edificações no IFPE *Campus* Recife, com foco no Centro de Pesquisa e no Bloco F, respectivamente a construção mais nova e a mais antiga da unidade. Foram combinadas as técnicas de simulação computacional, com o conjunto de *softwares* EnergyPlusTM e SketchUp, com a extensão Euclid, considerando a modelagem e parametrização de cada edificação; e da termografia de infravermelho, a partir do imageamento com a câmera Flir B335. As edificações foram comparadas sob diferentes aspectos: nível de albedo/refletância na envoltória, calculado em 65,54% para o Centro de Pesquisa e 36,23% para o Bloco F; distribuição térmica nas fachadas, em que o Centro de Pesquisa apresentou temperaturas um pouco menores, de modo geral; e consumo de energia para climatização, com taxa média anual de 88,95 KWh/m² no Centro de Pesquisa e 93,25 KWh/m² no Bloco F. Foi possível concluir que o desempenho termoenergético de uma edificação é resultado de uma combinação de fatores, que vão desde sua concepção arquitetônica nas fases de estudos preliminares e desenvolvimento do projeto, passando por especificidades como a definição da orientação das fachadas e a seleção adequada dos materiais construtivos, até as cores das superfícies, especialmente na envoltória. O Centro de Pesquisa obteve resultados melhores que o Bloco F, basicamente sob todos os aspectos analisados.

Palavras-chave: construções sustentáveis; eficiência energética; simulação termoenergética; termografia de infravermelho.

ABSTRACT

This research constitutes an investigation into sustainable buildings, with particular emphasis on the principles of energy efficiency, a topic aligned with SDG 11 - “Sustainable Cities and Communities” and with the context of climate change. In this regard, the main objective was to determine the level of thermo-energy performance of the buildings at “IFPE Campus Recife”, focusing on the “Centro de Pesquisa” and “Bloco F”, respectively the newest and the oldest constructions within the institution. The methodological approach combined the techniques of computational simulation, using the softwares EnergyPlus™ and SketchUp, with the Euclid extension, for the modeling and parameterization of each building; and infrared thermography, based on imaging performed with the Flir B335 camera. The buildings were compared under different aspects: albedo/reflectance levels of the envelope, calculated at 65.54% for “Centro de Pesquisa” and 36.23% for “Bloco F”; thermal distribution on the facades, in which “Centro de Pesquisa” presented slightly lower temperatures overall; and energy consumption for air conditioning, with an average annual rate of 88.95 KWh/m² for “Centro de Pesquisa” and 93.25 KWh/m² for “Bloco F”. It was possible to conclude that the thermo-energy performance of a building is the outcome of a combination of factors, beginning with its architectural conception during the preliminary studies and design development phases, including specific elements such as the orientation of the facades and the appropriate selection of construction materials, and extending to the color of surfaces, particularly in the building envelope. “Centro de Pesquisa” achieved superior results compared to “Bloco F”, basically in all the aspects analyzed.

Keywords: sustainable buildings; energy efficiency; thermo-energy simulation; infrared thermography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	14
Figura 02 - Representação do <i>Triple Bottom Line</i> (TBL).....	15
Figura 03 - Perdas típicas de energia em uma edificação.....	16
Figura 04 - Mecanismos de transferência de calor em edificações.....	20
Figura 05 - Efeitos da radiação solar incidente sobre os materiais.....	22
Figura 06 - Exemplos de níveis de absorvância por cor (%).....	22
Figura 07 - Categorias da certificação AQUA-HQE™.....	26
Figura 08 - Categorias da certificação LEED.....	26
Figura 09 - Exemplos da ENCE.....	28
Figura 10 - Espectro eletromagnético.....	29
Figura 11 - Classificação da termografia em edificações.....	30
Imagem 01 - Exemplo de termografia em fachadas.....	32
Imagem 02 - Exemplo de termografia em ambiente interno.....	32
Figura 12 - Análise do ambiente construído em diferentes escalas.....	33
Imagem 03 - Exemplo de termografia em ambiente urbano externo.....	34
Figura 13 - Zoneamento bioclimático brasileiro, com destaque para a Zona 5A.....	35
Imagem 04 - Imagem de satélite do IFPE <i>Campus</i> Recife (parcial), vista em planta.....	36
Imagem 05 - Imagem de satélite do IFPE <i>Campus</i> Recife (parcial), em perspectiva.....	37
Imagem 06 - Centro de Pesquisa do IFPE <i>Campus</i> Recife.....	37
Imagem 07 - Bloco F do IFPE <i>Campus</i> Recife.....	38
Figura 14 - Compatibilidade entre as versões dos <i>softwares</i>	39
Figura 15 - Exemplo de modelagem no SketchUp com a extensão Euclid.....	40
Figura 16 - Visualização padrão da interface do EnergyPlus™.....	41
Imagem 08 - Câmera termográfica Flir B335.....	42
Imagem 09 - Falhas de medição nas imagens termográficas.....	43
Imagem 10 - Termo-higrômetro Minipa MT-241A.....	43
Quadro 01 - Lista de zonas térmicas modeladas.....	45
Figura 17 - Modelagem do Centro de Pesquisa, em perspectivas.....	47
Figura 18 - Modelagem do Centro de Pesquisa, fachadas individuais.....	48
Figura 19 - Modelagem do Bloco F, em perspectivas.....	49
Figura 20 - Modelagem do Bloco F, fachadas individuais.....	50
Figura 21 - Classe <i>SimulationControl</i>	51
Figura 22 - Classe <i>Building</i>	52
Figura 23 - Classe <i>HeatBalanceAlgorithm</i>	53
Figura 24 - Classe <i>Site:Location</i>	53
Figura 25 - Classe <i>RunPeriod</i>	54
Figura 26 - Classe <i>RunPeriodControl:SpecialDays</i>	54
Figura 27 - Classe <i>Site:GroundTemperature:BuildingSurface</i>	55
Figura 28 - Classe <i>ScheduleTypeLimits</i>	56
Figura 29 - Classe <i>Schedule:Compact</i>	57

Figura 30 - Classe <i>Material</i> , Centro de Pesquisa.....	57
Figura 31 - Níveis de absorvência solar/visível ($\alpha\%$).....	59
Figura 32 - Classe <i>WindowMaterial:Glazing</i>	60
Figura 33 - Classe <i>Construction</i> , Centro de Pesquisa.....	60
Figura 34 - Classe <i>Zone</i> , Centro de Pesquisa.....	62
Figura 35 - Classe <i>ZoneList</i> , Centro de Pesquisa.....	62
Figura 36 - Classe <i>BuildingSurface:Detailed</i> , Centro de Pesquisa.....	63
Figura 37 - Classe <i>FenestrationSurface:Detailed</i> , Centro de Pesquisa.....	63
Figura 38 - Classe <i>Shading:Building:Detailed</i> , Centro de Pesquisa.....	64
Figura 39 - Classe <i>People</i>	65
Figura 40 - Classe <i>Lights</i>	66
Figura 41 - Classe <i>ElectricEquipment</i>	66
Figura 42 - Classe <i>HVACTemplate:Thermostat</i>	67
Figura 43 - Classe <i>HVACTemplate:Zone:Unitary</i> , Centro de Pesquisa.....	68
Figura 44 - Classe <i>HVACTemplate:System:Unitary</i> , Centro de Pesquisa.....	68
Figura 45 - Classe <i>UtilityCost:Tariff</i>	69
Figura 46 - Classe <i>UtilityCost:Charge:Simple</i>	69
Figura 47 - Classe <i>Output:Table:SummaryReports</i>	70
Figura 48 - Classe <i>Output:Table:Monthly</i>	70
Figura 49 - Classe <i>Material</i> , Bloco F.....	71
Imagem 11 - Padrão do revestimento cerâmico principal, Bloco F.....	72
Figura 50 - Classe <i>Construction</i> , Bloco F.....	73
Figura 51 - Classe <i>Zone</i> , Bloco F.....	75
Figura 52 - Classe <i>ZoneList</i> , Bloco F.....	75
Figura 53 - Classe <i>BuildingSurface:Detailed</i> , Bloco F.....	76
Figura 54 - Classe <i>FenestrationSurface:Detailed</i> , Bloco F.....	76
Figura 55 - Classe <i>Shading:Building:Detailed</i> , Bloco F.....	77
Figura 56 - Classe <i>HVACTemplate:Zone:Unitary</i> , Bloco F.....	77
Figura 57 - Classe <i>HVACTemplate:System:Unitary</i> , Bloco F.....	78
Imagem 12 - Termografia na fachada norte, Centro de Pesquisa.....	81
Imagem 13 - Termografia na fachada sul, Centro de Pesquisa.....	82
Imagem 14 - Termografia na fachada leste, Centro de Pesquisa.....	83
Imagem 15 - Termografia na fachada norte, Bloco F.....	84
Imagem 16 - Termografia na fachada sul, Bloco F.....	85
Imagem 17 - Termografia na fachada leste, Bloco F.....	85
Imagem 18 - Termografia na fachada oeste, Bloco F.....	86
Figura 58 - Modelagem do Centro de Pesquisa com “Sombras”, em perspectivas.....	88
Figura 59 - Modelagem do Bloco F com “Sombras”, em perspectivas.....	90
Figura 60 - Consumo médio anual de energia elétrica para climatização (KWh/m ²), cenários agrupados por edificação.....	93
Figura 61 - Consumo médio anual de energia elétrica para climatização (KWh/m ²), cenários em sequência crescente.....	94

Figura 62 - Consumo médio mensal de energia elétrica para climatização (KWh/m ²).....	100
Figura 63 - Fluxograma da metodologia proposta.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Condutividade térmica de alguns materiais construtivos.....	23
Tabela 02 - Cadastro dos materiais construtivos - Classe <i>Material</i> , Centro de Pesquisa.....	58
Tabela 03 - Composição das superfícies - Classe <i>Construction</i> , Centro de Pesquisa.....	61
Tabela 04 - Cadastro dos materiais construtivos - Classe <i>Material</i> , Bloco F.....	72
Tabela 05 - Composição das superfícies - Classe <i>Construction</i> , Bloco F.....	73
Tabela 06 - Superfícies para cálculo do albedo, Centro de Pesquisa - Cenário 01.....	79
Tabela 07 - Superfícies para cálculo do albedo, Bloco F - Cenário 01.....	80
Tabela 08 - Consumo médio anual de energia elétrica para climatização (KWh/m ²).....	93
Tabela 09 - Superfícies para cálculo do albedo, Centro de Pesquisa - Cenário 03.....	94
Tabela 10 - Superfícies para cálculo do albedo, Centro de Pesquisa - Cenário 04.....	95
Tabela 11 - Superfícies para cálculo do albedo, Bloco F - Cenário 03.....	96
Tabela 12 - Superfícies para cálculo do albedo, Bloco F - Cenário 04.....	96
Tabela 13 - Custo médio anual com energia elétrica para climatização (R\$/m ²).....	97
Tabela 14 - Emissão média anual de CO ₂ , associada ao consumo de energia elétrica para climatização (KgCO ₂ /m ²).....	98
Tabela 15 - Resumo das medições de temperatura nas fachadas.....	99
Tabela 16 - Comparação entre os Cenários A e B, Bloco F.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CEFET-PE	Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
CPTECS	Centro de Pesquisa em Desenvolvimento Tecnológico e Sustentabilidade
DOE	<i>United States Department of Energy</i>
DOP	Diretoria de Obras e Projetos
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FS	Fator Solar
GBC	<i>Green Building Council</i>
HIS	Habitações de Interesse Social
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
ICU	Ilha de Calor Urbano
IFPE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
IFs	Institutos Federais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MEC	Ministério da Educação
MME	Ministério de Minas e Energia
MPGA	Mestrado Profissional em Gestão Ambiental
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem

PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RFEPCT	Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES.....	19
3.1.1 Materiais construtivos.....	21
3.1.2 Normas e certificações de sustentabilidade.....	24
3.2 TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO.....	28
3.2.1 Classificações.....	30
3.2.2 Aplicações.....	31
3.2.2.1 Ambiente construído.....	31
4 METODOLOGIA.....	35
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	35
4.1.1 Centro de Pesquisa.....	37
4.1.2 Bloco F.....	38
4.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	39
4.2.1 Modelagem.....	40
4.2.2 Parametrização.....	41
4.3 IMAGEAMENTO TERMOGRÁFICO.....	42
4.3.1 Equipamentos.....	42
4.3.2 Procedimentos.....	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1 PARAMETRIZAÇÃO - CENTRO DE PESQUISA.....	51
5.2 PARAMETRIZAÇÃO - BLOCO F.....	71
5.3 PARAMETRIZAÇÃO - CENÁRIOS HIPOTÉTICOS.....	78
5.4 ALBEDO DAS ENVOLTÓRIAS.....	79
5.5 DISTRIBUIÇÃO TÉRMICA NAS FACHADAS.....	80
5.5.1 Modelagem com sombreamento.....	87
5.6 INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	92
5.7 CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA.....	97
5.8 EMISSÕES DE CO ₂	98
5.9 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES..	98
5.9.1 Nível de albedo/refletância.....	99
5.9.2 Distribuição térmica nas fachadas.....	99
5.9.3 Consumo de energia para climatização.....	100
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	102
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICE A - PRODUTO TÉCNICO.....	113

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um tema que permeia inúmeras áreas de interesse da sociedade, considerando o reconhecimento da necessidade de promover um maior equilíbrio na exploração dos recursos disponíveis e, com isso, proporcionar uma maior longevidade aos processos naturais e antrópicos. Por este motivo, constitui uma pauta que tem protagonizado as discussões acadêmicas e políticas de maneira integrada, sob os mais diversos aspectos: impactos ambientais, crescimento/desenvolvimento econômico, equidade social, mudanças climáticas, energia, entre outros.

Na dimensão política, o referido protagonismo a nível mundial começou a crescer a partir de 1972, quando ocorreu em Estocolmo (Suécia) a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano, conhecida como o primeiro grande encontro da comunidade internacional com o intuito de debater sobre o tema. Desde então, os líderes políticos têm se reunido periodicamente para compartilhar experiências e buscar soluções para os problemas da humanidade, a exemplo de eventos como no Rio de Janeiro (Brasil) a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (1992), em Joanesburgo (África do Sul) a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável - “Rio+10” (2002) e novamente no Rio de Janeiro (Brasil) a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável - “Rio+20” (2012) (Bacha; Santos; Schaun, 2010 e ONU, 2020).

A partir da publicação, em 2015, da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, plano de ação colaborativo para os 15 anos seguintes que elucida os principais desafios associados ao progresso e à prosperidade no planeta, a Organização das Nações Unidas (ONU) estipulou os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 01) com foco na integração das dimensões social, ambiental e econômica, que abrangem temáticas bastante sensíveis à humanidade como o combate à pobreza e à fome, cuidados com a saúde, acesso a educação de qualidade, redução das desigualdades, enfrentamento das mudanças climáticas, entre outras (ONU, 2015).

Figura 01 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: ONU (2015)

Dentre os ODS, possui maior alinhamento com esta pesquisa o Objetivo 11 - Cidades e comunidades sustentáveis. Nele, são dispostas metas específicas que envolvem, por exemplo: urbanização inclusiva e sustentável, redução do impacto ambiental negativo das cidades, estruturas adaptadas às mudanças climáticas, bem como construções sustentáveis e resilientes (ONU, 2023).

Considerando um cenário urbano que contempla desde as residências populares até os luxuosos arranha-céus, Nazi *et al.* (2017) destacam que os edifícios consomem mundialmente cerca de 40% da energia primária, que corresponde àquela em sua forma bruta na natureza (água, vento, sol etc.). No Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2022), o setor de edificações responde por aproximadamente 50% do consumo de eletricidade, diferindo-se do dado anterior por ser uma forma de energia secundária, ou seja, convertida a partir de uma fonte primária. Os dados citados contribuem para destacar quantitativamente a relevante participação das edificações no consumo de energia em todo o mundo, o que pode estimular a realização de estudos para a avaliação do nível de sustentabilidade de tais estruturas.

O estudo sobre as construções sustentáveis, especialmente na perspectiva dos impactos ambientais, é bem abrangente e pode envolver diferentes especialidades técnicas, tomando como exemplo: a arquitetura pode definir a orientação do prédio e a seleção de seus elementos construtivos; a engenharia civil estabelecer e executar as instalações de reaproveitamento de água; a engenharia elétrica viabilizar uma usina solar fotovoltaica; a engenharia mecânica dimensionar os equipamentos de climatização.

A sustentabilidade nas edificações é comumente abordada na literatura considerando dois fundamentos importantes: a eficiência energética e o conforto ambiental. Suas implicações se associam diretamente aos 3 Pilares da Sustentabilidade (do inglês *Triple Bottom Line*, TBL) - ver Figura 02 - destacados por Bacha, Santos e Schaun (2010), fatores cuja integração é primordial para o alcance de um viés verdadeiramente sustentável; este conjunto também é conhecido como os “3 Ps” (do inglês *People, Planet, Profit*). A seguir, relacionam-se alguns exemplos associados às edificações em cada Pilar:

- Social (*People*): maior conforto térmico dos usuários;
- Ambiental (*Planet*): maior conservação dos recursos naturais - fontes primárias - a partir de um menor consumo energético, especialmente dos equipamentos de climatização artificial;
- Econômico (*Profit*): menores despesas com energia para a execução de uma mesma atividade ou processo.

Figura 02 - Representação do *Triple Bottom Line* (TBL)



Fonte: Ekko Green (2023)

Segundo Oliveira e Lunardi (2018, p. 277), “a energia elétrica consumida ao longo da vida útil da edificação representa um dos maiores custos operacionais de um empreendimento”. No Brasil, a grande participação que os prédios possuem na demanda por energia elétrica, apesar de o país ser uma referência mundial com 87,9% de sua matriz proveniente de fontes renováveis (MME, 2023), faz com que as edificações tenham naturalmente um alto potencial a ser explorado no que diz respeito à efficientização de suas instalações e, por se tratar de um país de clima predominantemente tropical, o conforto

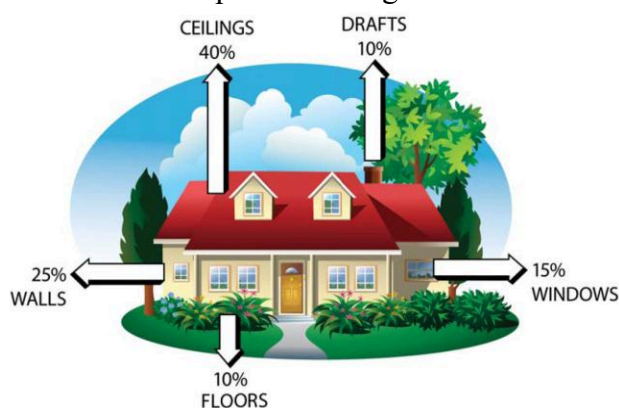
térmico é outro aspecto preponderante a se considerar em qualquer projeto ou diagnóstico predial.

Nas edificações residenciais, o consumo de energia elétrica é distribuído de forma majoritária entre os equipamentos de climatização, refrigeração, iluminação e aquecimento de água; nos prédios comerciais e públicos, devido à maior densidade de usuários e ao maior tempo de ocupação, destacam-se quantitativamente as categorias de climatização e iluminação; no caso de instalações industriais e outras edificações com aplicações mais específicas, a distribuição do consumo não segue o mesmo padrão e deve ser analisada individualmente (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

A etapa de projeto, em especial na concepção arquitetônica, é a ideal para maximizar o potencial de conservação do imóvel, tendo em vista a orientação, paisagismo, locação no terreno, método construtivo, seleção de materiais, aproveitamento da luz e ventilação naturais, entre outros critérios. Quando a edificação é construída sem considerar tais características desde sua concepção, um processo de eficientização requer eventuais reformas ou pequenas adaptações, o que acaba tendo um custo adicional que poderia ter sido evitado.

De acordo com Sousa (2010), as perdas de energia térmica através das delimitações físicas de uma edificação são tipicamente distribuídas consoante as seguintes proporções, ilustradas na Figura 03: 40% pela cobertura (*ceilings*); 25% pelas paredes (*walls*); 15% pelas superfícies envidraçadas (*windows*); 10% pelas frestas de portas e janelas (*drafts*); e 10% pelo piso (*floors*). Para regiões de clima quente, objetiva-se um nível elevado dessas perdas, o que é possível através da utilização de materiais com baixa inércia térmica, uma vez que acontece de modo mais natural a saída do calor gerado e acumulado no interior da estrutura; para regiões de clima frio, busca-se o contrário: aplicação de materiais de elevada inércia térmica para promover a retenção de calor nos ambientes abrigados (Lamberts *et al.*, 2016).

Figura 03 - Perdas típicas de energia em uma edificação



Fonte: *Electrophysics Resource Center* (2009) *apud* Sousa (2010)

A análise dos parâmetros vinculados à eficiência energética em uma edificação perpassa por fatores passíveis de identificação ou mensuração, como o desempenho térmico da envoltória, principalmente quanto ao albedo; as características dos materiais construtivos; as especificações das cargas elétricas utilizadas; o nível de ocupação e o perfil de utilização dos ambientes; entre outros. A análise integrada e multidisciplinar de tal temática perfaz justamente o problema desta pesquisa.

Diante do contexto profissional em que o pesquisador está inserido, da expertise técnica e acadêmica por parte da orientação, bem como da situação problema previamente contextualizada, esta pesquisa constitui uma investigação da temática em torno das construções sustentáveis, especialmente sobre como o desempenho termoenergético das edificações interfere nos fundamentos da eficiência energética.

A pesquisa está diretamente entrelaçada ao contexto das mudanças climáticas. “A vulnerabilidade crescente aos efeitos do clima terrestre tem motivado uma preocupação constante quanto ao estado da mudança climática global, seja por efeito da variabilidade natural ou por interferência das atividades humanas” (INMET, 2022). Melo *et al.* (2022) destacam a situação preocupante na cidade do Recife, que ocupa o 16º lugar no *ranking* mundial de vulnerabilidade diante dos efeitos das mudanças climáticas, cujo cenário tende inclusive a se agravar com a possibilidade de elevação da temperatura e de maior ocorrência de ondas de calor, o que impõe à sociedade como um todo a responsabilidade pela adoção de medidas de mitigação e adaptação. Para as próximas décadas, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2020), com relação à porção Nordeste do bioma Mata Atlântica, onde está situada a cidade do Recife, projeta aumentos de temperatura entre 0,5 e 1,0 °C até 2040, entre 2,0 e 3,0 °C até 2070 e entre 3,0 e 4,0 °C até 2100.

Foram delimitados como objeto de estudo 2 edificações do IFPE *Campus* Recife: Centro de Pesquisa e Bloco F, descritos com mais detalhes na seção “Metodologia”. Esta seleção foi motivada, primeiramente, por uma questão logística, considerando que os referidos prédios estão situados na mesma instituição onde aconteceu o mestrado; adicionalmente, pela intenção de comparar o desempenho de estruturas construídas em diferentes épocas e estudar a influência deste fator, já que o Bloco F está em funcionamento desde a década de 1970, enquanto o Centro de Pesquisa foi inaugurado apenas em 2018.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o nível de desempenho termoenergético das edificações do IFPE *Campus* Recife, com ênfase no Centro de Pesquisa e no Bloco F.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular o albedo das envoltórias das edificações;
- Avaliar o padrão de distribuição térmica nas fachadas;
- Especificar indicadores de eficiência energética de cada edificação;
- Analisar os custos associados ao consumo de energia elétrica;
- Comparar o desempenho termoenergético das edificações.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES

Em escala global, surgiu no início da década de 1970, junto à crise energética motivada pelo grande aumento do preço do petróleo, uma maior preocupação em incorporar a energia solar às edificações, sendo esta uma prática fundamental na regulação de sua temperatura interna em consonância com o clima local, visando ao conforto térmico dos usuários e à minimização do consumo energético. Este conceito ficou conhecido como arquitetura bioclimática. Em um contexto mais amplo de integração ao meio ambiente construído e seu entorno, vislumbrando os impactos de longo prazo, encontra-se ainda o conceito de arquitetura sustentável (Corbella; Yannas, 2009).

Em termos gerais, uma edificação pode ser conceituada como energeticamente eficiente quando é construída e operada de acordo com um conjunto de métodos e práticas que visam reduzir o consumo de energia, sem comprometer sua aplicabilidade e o nível de conforto de seus usuários. Nesse contexto, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) enfatizam que a eficiência energética é transversal aos vértices da tríade vitruviana na arquitetura: *firmitas* (solidez), *utilitas* (utilidade) e *venustas* (beleza).

Cabe salientar que o conforto ambiental abrange fisicamente as percepções obtidas a partir dos sentidos humanos básicos: “conforto térmico (ou higrotérmico), visual ou lumínico, acústico, conforto olfativo e palatal (de qualidade do ar) e de qualidade ergonômica” (França, 2018, p. 28).

O conforto térmico, por sua vez, é definido na NBR 15220-1 - Desempenho térmico de edificações, Parte 1 (ABNT, 2024a, p. 6) como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”; isto é, além da influência de grandezas técnicas e objetivamente mensuráveis como as propriedades térmicas dos elementos construtivos (condutividade, resistência, transmitância, absorvância, refletância etc.), o nível de atividade física desempenhada e a resistência térmica da vestimenta utilizada, existe ainda o fator psicológico, naturalmente subjetivo e particular a cada pessoa.

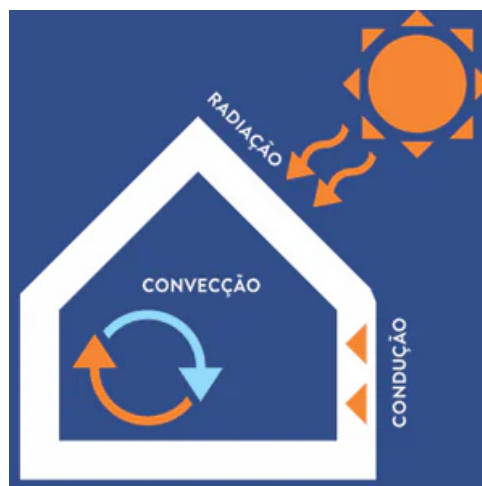
Considerando os efeitos da incidência da radiação solar, cuja tendência é de elevar a temperatura da superfície, um dos fatores que influencia no comportamento da edificação é o desempenho térmico de sua envoltória, definido por Martin *et al.* (2022) como a capacidade que uma construção tem de manter um nível satisfatório de conforto térmico em seus ambientes abrigados.

A envoltória, composta pelo conjunto de elementos presentes no contorno de uma edificação, basicamente fachadas e cobertura, interage diretamente com a radiação solar. Por este motivo, considerando as trocas térmicas que acontecem entre os ambientes externo e interno, Oliveira e Lunardi (2018) argumentam que as características da envoltória são determinantes para a adequação do desempenho termoenergético, enquanto Oliveira, Gonzales e Carvalho (2021) enfatizam sua influência na manutenção das condições ambientais internas e consequentes implicações no consumo de energia elétrica.

Uma compreensão plena dessa interação requer a análise do efeito albedo, fenômeno que envolve a capacidade que determinada superfície possui para refletir a radiação solar que incide sobre a mesma, ou seja, o albedo é diretamente proporcional à refletância e inversamente proporcional à absorvância. Em termos quantitativos, seu valor varia de 0 a 1 ou 0 a 100% (Giordano; Krüger, 2014). O fenômeno pode ser analisado em diferentes perspectivas, desde o comportamento da superfície de um material simples (concreto, cerâmica etc.) até a escala do planeta Terra, por exemplo, essencial no estudo sobre o comportamento dos gases do efeito estufa na atmosfera e, portanto, sobre os fenômenos relacionados às mudanças climáticas.

Fisicamente, a transferência de energia térmica se dá sempre de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura. No contexto das edificações, a transferência acontece através de uma combinação dos 3 mecanismos conhecidos: radiação, condução e convecção - vide Figura 04.

Figura 04 - Mecanismos de transferência de calor em edificações



Fonte: 3TC Isolamento (2022)

De forma resumida, a radiação solar incide sobre a envoltória nas fachadas e na cobertura; a parcela da energia térmica absorvida se propaga desde a superfície externa até a

superfície interna através de condução, considerando a aplicação de materiais maciços, ou por uma combinação entre condução e convecção, considerando a aplicação de materiais vazados; nos ambientes internos, além da parcela de radiação oriunda das superfícies aquecidas, o ar propaga a energia no ambiente por convecção.

A partir da ideia de variação da temperatura, é imprescindível também enfatizar o conceito de inércia térmica. Análoga à 1ª Lei de Newton para o movimento, a inércia térmica corresponde à tendência de manutenção ou persistência da temperatura (Corbella; Yannas, 2009), ou seja, um corpo ou ambiente de inércia térmica elevada proporciona uma diminuição da amplitude térmica e consequente aumento do atraso térmico, devido à alta capacidade de seus elementos para armazenar calor (Santos, 2020). Em termos comparativos, por exemplo, tendo o “Edifício A” com maior inércia térmica que o “Edifício B”, espera-se que, para um mesmo cenário de fatores climáticos e ambientais externos, o primeiro apresente uma menor flutuação de temperatura em seus espaços abrigados.

3.1.1 Materiais construtivos

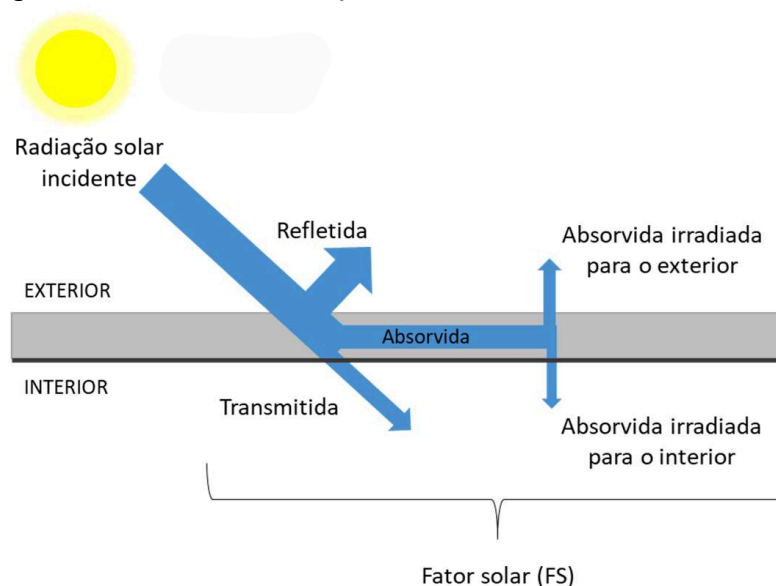
Um bom desempenho termoenergético requer, além das especificidades do projeto predial como localização, orientação e elementos vazados para proporcionar ventilação natural, que a envoltória seja formada por materiais cujas propriedades sejam adequadas ao clima local, como já abordado nos conceitos de arquitetura bioclimática e sustentável.

A crescente conscientização quanto à necessidade de tornar mais eficiente o consumo de energia e melhorar os níveis de conforto térmico, com impactos diretos nas dimensões social, econômica e ambiental, tem fomentado a pesquisa por alternativas que amenizem os impactos negativos e promovam melhores resultados. Nesse sentido, o desenvolvimento e a adoção de materiais de albedo mais elevado tem sido defendida no âmbito das construções sustentáveis (Giordano; Krüger, 2014), especialmente em regiões de clima tropical.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a radiação solar incidente é dividida em 3 parcelas: absorvida, refletida e, no caso de materiais com algum teor de translucidez, transmitida de forma direta. O referido comportamento depende respectivamente das propriedades térmicas absorptância, refletância e transmitância, cuja soma deve ser igual a 1 ou 100%. A partir da parcela de radiação absorvida, existe ainda o valor da emissividade, que determina o quanto será reemitido pelo material na forma de radiação para os ambientes interno e externo; a “fração de ganho térmico devido à radiação solar que a abertura transmite diretamente, somado à parcela que é absorvida e reemitida pela própria abertura para o

interior da edificação” é definida na NBR 15220-1 (ABNT, 2024a, p. 3) como fator de ganho de calor solar ou simplesmente Fator Solar (FS). As propriedades mencionadas são ilustradas na Figura 05.

Figura 05 - Efeitos da radiação solar incidente sobre os materiais



Fonte: Adaptado de Zago, Meller e Westphal (2022)

Em adição à seleção adequada dos componentes da envoltória, conforme demanda cada situação, são amplamente utilizadas soluções como a seleção de cores mais claras, que possuem menor absorvância e maior refletância - ver Figura 06, bem como a instalação de obstáculos que minimizam e/ou impedem a radiação solar direta nos ambientes internos, como os brises (Almeida; Ornelas; Cordeiro, 2020 e Corbella; Yannas, 2009).

Figura 06 - Exemplos de níveis de absorvância por cor (%)

Amarelo Antigo	51,4	Branco Gelo	37,2	Palha	36,7
Amarelo Terra	64,3	Camurça	57,4	Pérola	33,0
Areia	44,9	Concreto	74,5	Pêssego	42,8
Azul	73,3	Flamingo	49,5	Tabaco	78,1
Azul Imperial	66,9	Jade	52,3	Terracota	64,6
Branco	15,8	Marfim	33,6		

Fonte: Adaptado de CA2 ([2023?])

A partir do conhecimento das propriedades térmicas dos materiais utilizados, estes podem ser analisados com base nas leis fundamentais de transferência de calor, o que permite

antecipar a resposta de um prédio à variação das condições atmosféricas (Corbella; Yannas, 2009). Nessa perspectiva, a Tabela 01 apresenta alguns dos materiais mais aplicados na indústria da construção civil e os respectivos valores de condutividade térmica, ordenados da menor para a maior. É possível constatar que os materiais com menor condutividade são usualmente aplicados em situações onde se deseja obter um maior isolamento térmico, como no preenchimento de telhas do tipo “sanduíche”, paredes e forros de gesso, por exemplo.

Tabela 01 - Condutividade térmica de alguns materiais construtivos

Material	Condutividade térmica (W/m.°C)
Poliuretano rígido	0,023
Lã de rocha/vidro	0,033-0,035
Poliestireno expandido	0,036
Madeira	0,140-0,150
Reboco leve	0,160
Reboco pesado	0,500
Concreto celular	0,400
Tijolo cerâmico	0,670-0,690
Vidro <i>standard</i>	1,100
Concreto (dosagem 1:2:4)	1,370

Fonte: Corbella e Yannas (2009)

Entretanto, vale ressaltar que a condutividade térmica é apenas uma propriedade dos materiais, sendo que diversos fatores são considerados nas fases de projeto e construção: aplicação, resistividade mecânica, durabilidade, disponibilidade no mercado, preço, entre outros. Almeida, Ornelas e Cordeiro (2020) destacam que a harmonia entre os elementos físicos de uma edificação é indispensável, tendo em vista a obtenção de uma construção mais sustentável e termicamente confortável.

Lamberts *et al.* (2016, p. 34) destacam que, desde a concepção arquitetônica, “a utilização das estratégias passivas de aquecimento e de resfriamento no projeto proporciona a redução do tempo de utilização de sistemas artificiais para atingir o conforto térmico”, considerando primordialmente uma combinação das condições de temperatura e umidade. Além das soluções artificiais através da aplicação de equipamentos específicos, os autores citam estratégias mais naturais como as estruturas de ventilação e as técnicas de resfriamento

evaporativo, quando a temperatura do ar é mais alta, e o aquecimento solar passivo, nas situações com baixa temperatura do ar.

É importante equilibrar as decisões e ponderar todos os efeitos dos elementos arquitetônicos e materiais construtivos. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) citam soluções como o uso adequado de isolamento térmico ou proteção solar nos componentes da envoltória (paredes, janelas e telhados), itens que devem ser estudados e especificados com o intuito de evitar ganhos térmicos excessivos.

Toma-se como exemplo uma iluminação zenital direta, associada a um trecho de cobertura translúcido, que pode contribuir para a elevação do nível de iluminação natural, porém, por outro lado, pode acarretar a diminuição do albedo da edificação a ponto de ter como consequências prováveis o maior ganho de energia térmica e o maior consumo de energia elétrica para fins de climatização (Oliveira; Lunardi, 2018). Para localidades de clima frio, pode ser uma solução interessante; caso contrário, os malefícios podem se sobrepor aos benefícios e comprometer a viabilidade da referida alternativa.

Além dos fundamentos da eficiência energética já destacados, em uma perspectiva mais ampla, as construções sustentáveis ainda estão vinculadas atualmente à abordagem do paradigma ou *design* circular, estratégia que considera desde os impactos de fabricação, reaproveitamento, transporte e aplicação dos materiais até os custos de operação e manutenção durante o ciclo de vida útil do ambiente construído. Baseia-se nos seguintes princípios: construir o que é de fato necessário, avaliando a viabilidade de reformas ou adequações em espaços existentes; selecionar os materiais de modo assertivo, priorizando elementos renováveis, de origem rastreável e com menor emissão de CO₂ associada; desenvolver projetos e processos construtivos eficientes, levando em conta o contexto local e as necessidades do público-alvo; e considerar os impactos a longo prazo, com a aplicação de materiais duráveis e com possibilidade de reutilização (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

3.1.2 Normas e certificações de sustentabilidade

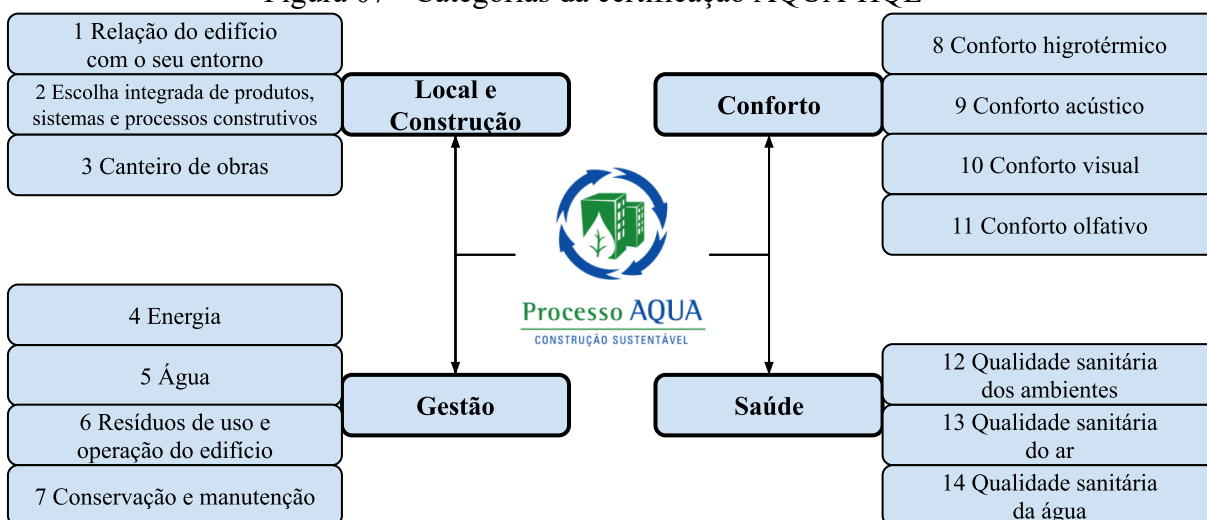
Com o intuito de estimular a adoção de práticas para reduzir os impactos ambientais, bem como promover o uso racional dos recursos, a eficiência energética e o conforto ambiental no segmento da construção civil, considerando o estabelecimento de parâmetros e critérios de referência, foram desenvolvidas por diversas entidades públicas e privadas as normas técnicas e certificações de sustentabilidade (Oliveira; Lunardi, 2018).

Do ponto de vista normativo, o Brasil tem como principais referências a NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações, mais específica quanto ao escopo do desempenho térmico dos sistemas construtivos, porém mais abrangente quanto ao campo de aplicação, por não restringir a tipologia ou função de edificação; e a NBR 15575 - Edificações habitacionais – Desempenho, mais abrangente quanto ao escopo por englobar o desempenho de diversos sistemas (estrutura, segurança, acústica, iluminação, entre outros), porém mais específica quanto ao campo de aplicação, por ser restrita aos prédios residenciais. Esses documentos foram desenvolvidos com base em outras normas da própria Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e na compilação das normas de órgãos internacionais como a *American National Standards Institute* (ANSI), *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *Eurocodes* e *International Organization for Standardization* (ISO) (Sá, 2022).

Além dos benefícios mais evidentes nas dimensões técnica e ambiental, as certificações, que usualmente são de adesão voluntária, têm o poder de influenciar na decisão de consumidores, que buscam cada vez mais usufruir de produtos e serviços que causam menos impactos ambientais negativos, tendência de “consumo verde” que tem se intensificado em todo o mundo. Algumas das certificações de edificações sustentáveis mais comuns no mercado brasileiro são: Alta Qualidade Ambiental (AQUA-HQE™), *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), Selo Casa Azul e Selo Procel Edificações (ARQ+ Smart Construction, 2020).

O processo AQUA-HQE™ é uma certificação internacional aplicada no Brasil desde 2008, desenvolvida a partir da certificação francesa *Démarche HQE™*, mas adaptada para as condições culturais, climáticas, normativas e regulamentadoras brasileiras. São analisadas ao todo 14 categorias - ver Figura 07, distribuídas entre as temáticas “Local e Construção”, “Gestão”, “Conforto” e “Saúde”; associadas diretamente ao desempenho térmico da edificação, podem ser destacadas as categorias “4 Gestão da Energia” e “8 Conforto Higrotérmico”. Existem mais de 900 edificações residenciais e não residenciais contempladas no país, considerando a certificação nos ciclos de construção e operação, além de outros projetos como bairros e loteamentos, conjunto que totaliza uma área construída de aproximadamente 16,3 milhões de metros quadrados (Fundação Vanzolini, 2023).

Figura 07 - Categorias da certificação AQUA-HQE™



Fonte: Adaptado de Fundação Vanzolini (2023)

A certificação LEED foi criada nos Estados Unidos e é utilizada em mais de 160 países, sendo aplicável às tipologias “Novas Construções”, “Edifícios Existentes”, “*Design de Interiores*” e “Bairros”. Sua metodologia contempla a análise de 9 categorias - ver Figura 08, dentre as quais “Energia e Atmosfera” e “Qualidade do Ambiente Interno” possuem um vínculo mais imediato com o desempenho térmico da edificação. De acordo com seu sistema próprio de pontuação, com pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações), o nível de certificação pode variar entre Certificado, Prata, Ouro e Platina. No Brasil, a LEED conta com pouco mais de 2000 empreendimentos já certificados ou com processo em andamento, distribuídos em todos os estados e Distrito Federal, à exceção do Tocantins, com área de abrangência total de 59,9 milhões de metros quadrados (GBC Brasil, 2023).

Figura 08 - Categorias da certificação LEED

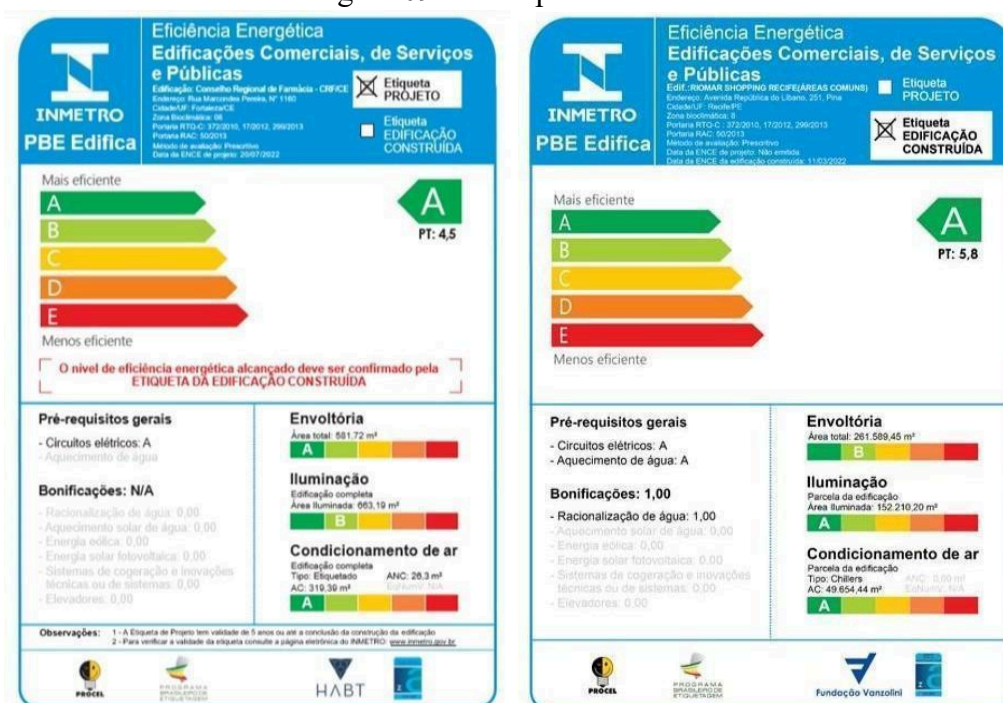


Fonte: GBC Brasil (2023)

Diferente das certificações citadas anteriormente, o Selo Casa Azul, criado pela Caixa Econômica Federal em 2009, se destina exclusivamente a propostas de empreendimentos habitacionais operacionalizados pelo banco no Brasil. Desde sua criação, vem se aperfeiçoando frente aos cenários socioeconômicos e às mudanças na indústria da construção civil, sendo que sua revisão mais recente, em setembro de 2023, implementou alterações substanciais na categoria Social e incluiu condições especiais para as Habitações de Interesse Social (HIS). O Selo é concedido nas etapas Projetar e Habitar, respectivamente nas modalidades de projeto/construção em andamento e de obra concluída, considerando os níveis Bronze, Prata, Ouro e Diamante. Os critérios de pontuação são agrupados em 6 categorias - “Qualidade Urbana e Bem-estar”, “Eficiência Energética e Conforto Ambiental”, “Gestão Eficiente da Água”, “Produção Sustentável”, “Social” e “Inovação”, inclusive com possibilidade de uma categoria bônus. O programa tem mais de 270 imóveis certificados (Caixa Econômica Federal, 2023).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem nas Edificações (PBE Edifica) foi criado e viabilizado a partir de 2001, através de uma parceria entre a Eletrobras, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Tecnicamente, os critérios para concessão do Selo envolvem uma análise dos sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Outros fatores que podem pontuar são as técnicas utilizadas para racionalização de água e a instalação de uma usina solar fotovoltaica, por exemplo. A metodologia específica em termos de cálculos e parâmetros de referência são definidos nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e de Edificações Residenciais (RTQ-R). Os requisitos são avaliados e classificados, para edificações projetadas e construídas, desde o nível “E” (menos eficiente) até o nível “A” (mais eficiente) na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), ilustrada na Figura 09; apenas para os empreendimentos com nível “A”, desde 2014, pode ser concedido o Selo Procel Edificações, certificação que abrange atualmente pouco mais de 70 imóveis (PBE Edifica, 2022 e Procel, 2023).

Figura 09 - Exemplos da ENCE



Fonte: PBE Edifica (2022)

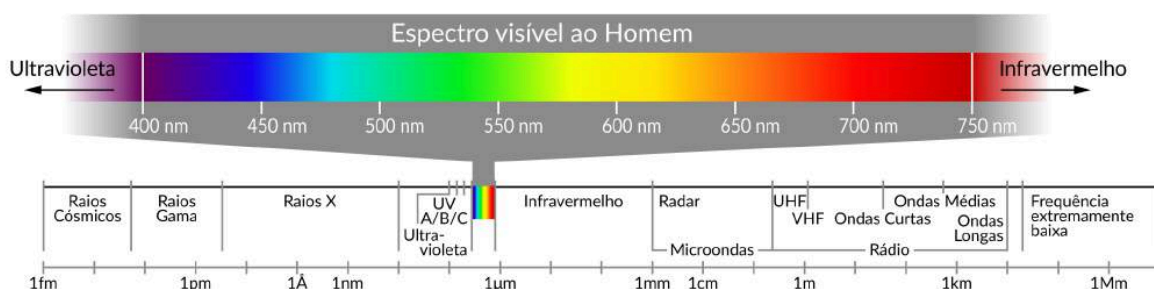
3.2 TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO

A termografia de infravermelho é uma técnica que consiste na representação visual do padrão de temperatura em determinada superfície, sem a necessidade de contato, padrão este invisível ao olho humano. As imagens são usualmente captadas por câmeras térmicas, também conhecidas na literatura como termais ou termográficas, cujos sensores e circuitos eletrônicos têm a capacidade de identificar a distribuição de temperatura e processá-la digitalmente. A técnica se baseia no princípio físico elementar de que todo corpo acima de 0 grau Kelvin emite radiação infravermelha em intensidade proporcional a sua temperatura (Viana *et al.*, 2018).

A irradiância solar, dada em W/m^2 , incide na atmosfera terrestre em uma ampla faixa do espectro eletromagnético, ilustrado na Figura 10, sendo que cerca de 81% dela está situada na banda entre a luz visível e a infravermelha próxima. As componentes que atingem a superfície terrestre são denominadas: a) Difusa: resultante do espalhamento do feixe solar pelos constituintes atmosféricos (nuvens, material particulado etc.); b) Direta: feixe direto, sem espalhamento; c) Global: soma das parcelas difusa e direta. Tais componentes podem ainda ser analisadas de acordo com a aplicação de interesse nos planos horizontal, vertical e

inclinado. A irradiância acumulada no tempo é definida como irradiação solar ou energia radiante incidente, medida em Wh/m² (MCTI, 2017).

Figura 10 - Espectro eletromagnético



Fonte: MCTI (2017)

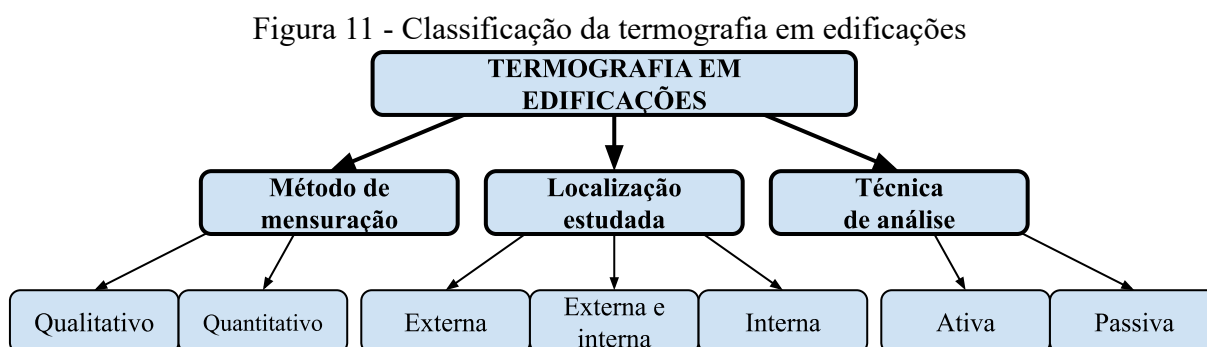
“A radiação infravermelha é um tipo de energia eletromagnética deslocada à velocidade da luz, onde todos os objetos com temperaturas acima do zero absoluto (-273°C) a emitem e a absorvem” (Almeida; Ornelas; Cordeiro, 2020, p. 30). O espectro eletromagnético abrange desde as ondas mais curtas e de maior frequência, como os raios gama utilizados em aplicações nucleares, passando pelas faixas visível e infravermelha, até as ondas mais longas e de menor frequência, como as ondas de rádio e televisão (Santos *et al.*, 2019).

Historicamente, a termografia de infravermelho teve origem entre o fim do século XVIII e o início do século XIX, a partir de experimentos do astrônomo William Herschel, que descobriu que a faixa visível da luz solar não era a única capaz de aquecer um objeto, inferindo haver outra faixa com maior comprimento de onda (menor frequência) que a luz vermelha, o que explica etimologicamente a palavra “infravermelha”. Desde então, com destaque para o século XX, as pesquisas na área se intensificaram e foram responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologias com aplicações em setores como a medicina, as forças armadas e a construção. A primeira câmera capaz de capturar a radiação infravermelha foi criada pelo físico e engenheiro eletricitista Kalman Tihanyi em 1929, equipamento que inicialmente foi usado para visão noturna em aeronaves (Martin *et al.*, 2022).

Apesar de apresentar precisão um pouco menor quando comparada a outras técnicas de medição por sensores com contato, devido ao procedimento indireto (a partir da radiação) e à influência de outras variáveis do objeto e do meio (Martin *et al.*, 2022), a termografia de infravermelho permite uma análise comparativa mais ampla de temperaturas em superfícies, do ponto de vista espacial e até temporal (Rakha *et al.*, 2021), trazendo vantagens na observação, inspeção e consequente uso das informações obtidas (Bauer *et al.*, 2014).

3.2.1 Classificações

No contexto específico das edificações, apesar das mesmas diretrizes serem aplicáveis a outros campos de estudo, a termografia é classificada por Fox *et al.* (2014) de acordo com três categorias principais: a) Método de mensuração; b) Localização estudada; c) Técnica de análise. A Figura 11 ilustra esta classificação.



Fonte: Adaptado de Fox *et al.* (2014)

O método qualitativo consiste na avaliação visual do padrão de cores observado na imagem capturada, os quais representam diferentes níveis de temperatura na superfície de interesse; o método quantitativo, por sua vez, vai além do padrão visual e envolve a medição de valores específicos de temperatura em cada ponto desejado na imagem. Quanto à localização estudada, as classificações são bem autoexplicativas: o estudo pode ser realizado no ambiente externo, como na envoltória da edificação, onde há maior suscetibilidade a variações devido às condições atmosféricas; nos ambientes internos/abrigados, menos suscetíveis a tais variações; ou ainda uma combinação de ambas (Almeida; Ornelas; Cordeiro, 2020 e Fox *et al.*, 2014).

Sobre a terceira e última categoria, a técnica de análise é classificada como ativa quando é aplicado algum estímulo ou fonte externa de calor, como fogo ou uma forma de explosão controlada, por exemplo; por outro lado, quando não se aplica qualquer fonte de calor externa, a termografia é classificada como passiva, o que a caracteriza como uma técnica menos intrusiva que a anterior. A termografia ativa é usualmente adotada para detecção de defeitos construtivos internos em materiais, enquanto a termografia passiva se mostra mais adequada para observação da radiação infravermelha emitida espontaneamente por determinada superfície, visando à análise do seu estado natural de temperatura (Fox *et al.*, 2014 e Martin *et al.*, 2022).

3.2.2 Aplicações

A termografia é uma técnica aplicável “em todos os campos onde as diferenças de temperatura podem ser utilizadas para auxiliar na avaliação, diagnóstico ou análise de um processo ou produto” (Viana *et al.*, 2018, p. 288), principalmente considerando o estágio atual de avanços em termos de tecnologia, como a alta resolução das câmeras termográficas, e metodologia advindos das pesquisas associadas ao tema. Encontram-se listadas e exemplificadas a seguir algumas dessas áreas:

- Agricultura: planejamento da irrigação em culturas e avaliação do nível de amadurecimento de frutas (Viana *et al.*, 2018);
- Fabricação de produtos: controle de qualidade e avaliação de desempenho em diversos setores industriais, como o automobilístico e o aeroespacial (Sousa, 2010);
- Instalações prediais: identificação de sobreaquecimento em barramentos e conexões elétricas, bem como em sistemas de climatização artificial (Martin *et al.*, 2022);
- Medicina: apoio no diagnóstico de doenças a partir da análise de fluidos e tecidos humanos (Sousa, 2010);
- Plantas industriais: monitoramento de tubulações, válvulas, reservatórios e outros componentes em sistemas de transporte e armazenamento de gases;
- Segurança e vigilância: visão noturna, ações de resgate e salvamento (Sousa, 2010), inclusive com o acoplamento da câmera em um drone;
- Usinas solares fotovoltaicas: identificação de células e módulos defeituosos, os quais comprometem a geração de energia.

Além das áreas supracitadas, a investigação no ambiente construído constitui outro campo onde a termografia é bastante utilizada. Considerando o foco deste trabalho, esta aplicação será mais explorada na seção seguinte.

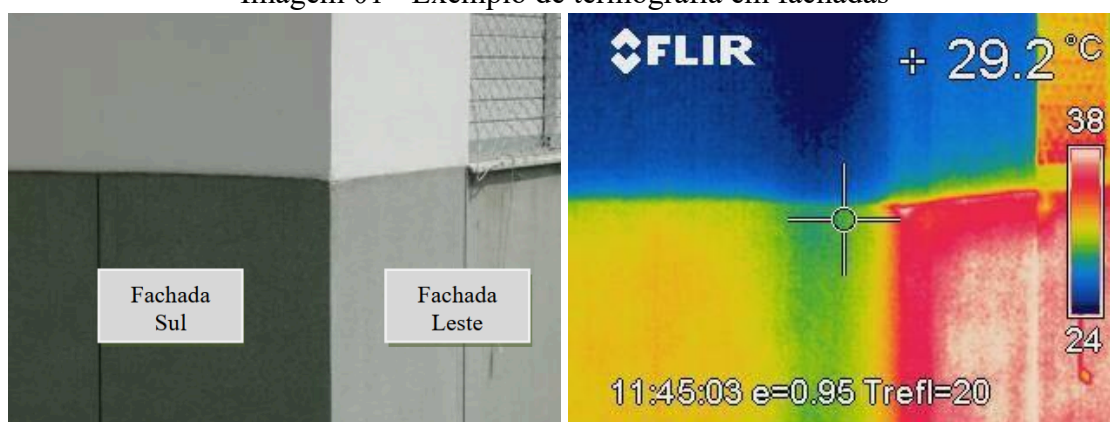
3.2.2.1 Ambiente construído

Nas edificações, normalmente são adotados o método de mensuração qualitativo e a técnica de análise passiva para a termografia de infravermelho, cuja aplicabilidade contempla diferentes objetivos. De acordo com Almeida, Ornelas e Cordeiro (2020), um desses objetivos é o diagnóstico de anomalias e patologias, em especial nos componentes da envoltória, sobre os quais normalmente incide a radiação solar de forma direta. Nesta perspectiva, é possível

identificar defeitos em elementos estruturais, vedações e revestimentos, além de vícios em instalações hidrossanitárias, como infiltrações e consequentes zonas de umidade excessiva, metodologia que, como um todo, contribui para o direcionamento mais assertivo de ações de manutenção e conservação predial.

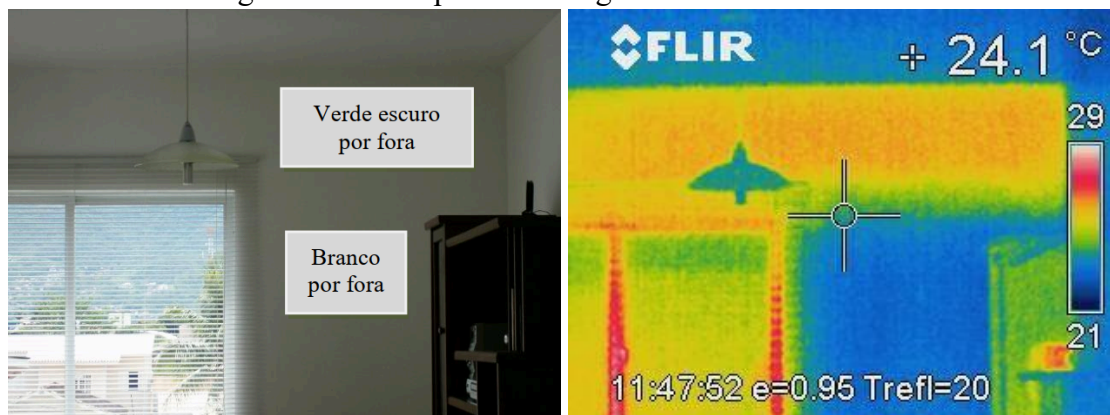
Outra função é a avaliação da responsividade termal dos materiais construtivos e suas cores, técnica que permite estudar o desempenho térmico e a eficiência energética da edificação a partir do gradiente de temperatura nas superfícies analisadas, tornando possível a visualização de pontes térmicas, regiões em que há perdas de calor por elementos como frestas de janelas e portas, e da interface entre diferentes materiais (Almeida; Ornelas; Cordeiro, 2020 e Rakha *et al.*, 2021). A Imagem 01 exemplifica a termografia sendo aplicada para estudar a envoltória de uma edificação, na qual fica evidente a influência da orientação geográfica nas temperaturas medidas nas fachadas; já a Imagem 02 destaca como as cores da fachada, com seus diferentes níveis de absorvância e refletância, podem interferir nas mensurações de temperatura em ambientes internos.

Imagem 01 - Exemplo de termografia em fachadas



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2016)

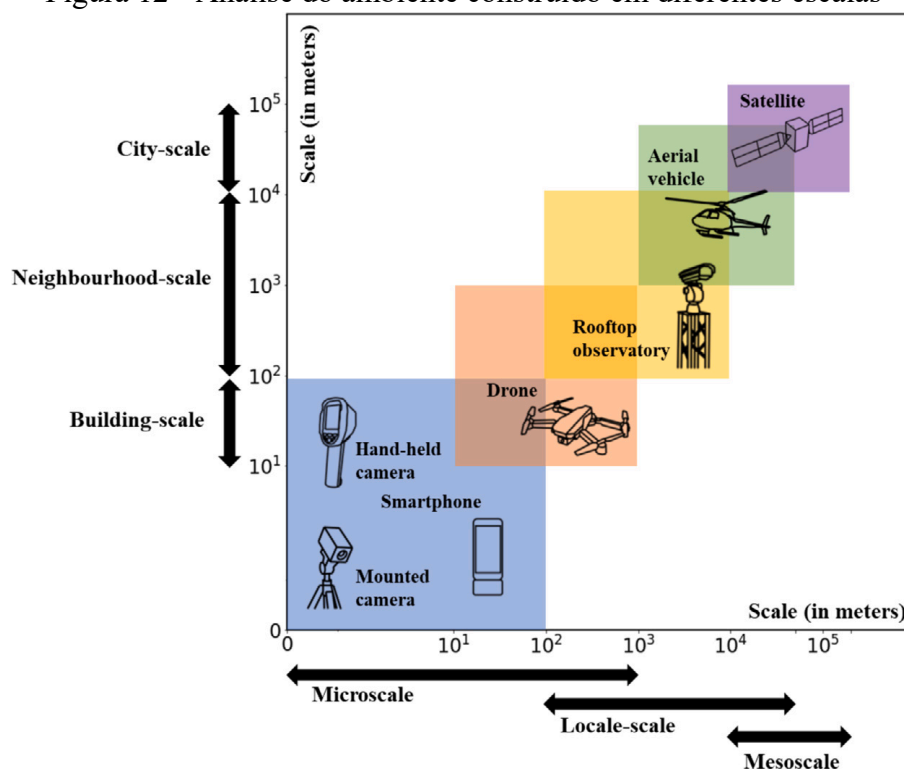
Imagem 02 - Exemplo de termografia em ambiente interno



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2016)

Expandindo as fronteiras da edificação (*building-scale*), a análise termográfica do ambiente construído pode ser realizada em escalas maiores, desde o nível do bairro ou vizinhança (*neighbourhood-scale*) até da cidade (*city-scale*). Para isso, além da necessidade de instrumentos adequados de captação das imagens com maior alcance e resolução, a depender de cada caso, as câmeras podem ser instaladas em drones, observatórios elevados, aeronaves tripuladas (aviões, helicópteros etc.) e até em satélites (Martin *et al.*, 2022). De acordo com a análise pretendida, as escalas podem ser estudadas de modo combinado ou complementar. A Figura 12 ilustra as escalas citadas.

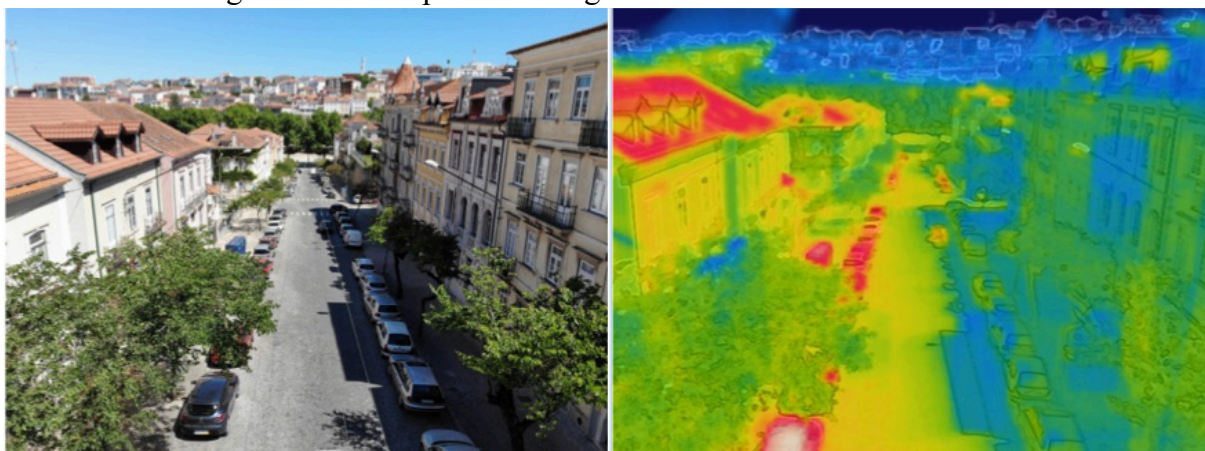
Figura 12 - Análise do ambiente construído em diferentes escalas



Fonte: Martin *et al.* (2022)

Como destacam Doulos, Santamouris e Livada (2004) e Martin *et al.* (2022), o estudo nas escalas de vizinhança e cidade permite estudar, dentre outros fatores, o fenômeno da Ilha de Calor Urbano (ICU), que se caracteriza como o “aumento da temperatura do ar, provocado pelo adensamento excessivo dos centros urbanos, em relação à temperatura do entorno não urbanizado da cidade” (Lamberts *et al.*, 2016, p. 32). A Imagem 03 contém um exemplo de captura termográfica em escala de vizinhança, mais precisamente na cidade de Coimbra (Portugal); é possível visualizar os efeitos térmicos do sombreamento e da arborização no contexto urbano, além da própria orientação dos edifícios e da estrutura metálica dos veículos estacionados.

Imagem 03 - Exemplo de termografia em ambiente urbano externo



Fonte: Adaptado de Almeida, Ornelas e Cordeiro (2020)

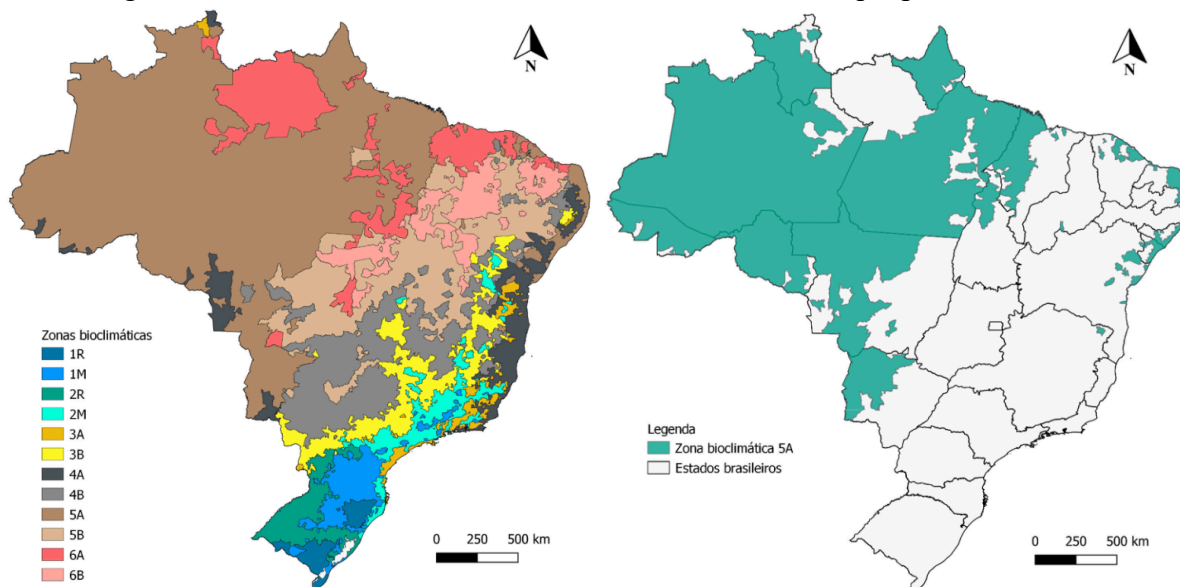
4 METODOLOGIA

A metodologia segue dividida em 3 subitens: 6.1 contém uma descrição geral do IFPE *Campus* Recife e das edificações que compõem o objeto de estudo; em 6.2 estão apresentados os procedimentos para simulação computacional; e, por fim, 6.3 contempla os equipamentos e atividades para coleta das imagens termográficas em campo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

De acordo com a Figura 13, no litoral leste da Região Nordeste, a cidade do Recife está localizada na Zona Bioclimática 5A, sendo inclusive sua “cidade característica”, e apresenta temperatura média de 25,9 °C e umidade relativa média de 77,76% durante o ano (ABNT, 2024b); segundo os dados das normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre 1991 e 2020, a cidade registrou temperatura mínima de 20,7 °C e máxima de 31,0 °C (INMET, 2022). As Zonas Bioclimáticas são delimitadas consoante a relativa homogeneidade do clima, especialmente quanto aos critérios de temperatura e umidade relativa, considerando a metodologia descrita na NBR 15220-3 (ABNT, 2024b).

Figura 13 - Zoneamento bioclimático brasileiro, com destaque para a Zona 5A



Fonte: Adaptado de ABNT (2024b)

O *Campus* Recife do IFPE é uma instituição centenária e tem seu nome marcado na história da educação brasileira. Desde 1909, então “Escola de Aprendizizes Artífices”, passando por outras denominações como “Escola Técnica do Recife”, "Escola Técnica Federal de

Pernambuco" e “Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco (CEFET-PE)”, já passaram por esta unidade de ensino milhares de estudantes que tiveram suas vidas transformadas através de uma educação profissional e cidadã (IFPE, 2023a).

A partir da Lei nº 11.892/2008, que criou os Institutos Federais (IFs), o *Campus* Recife passou a integrar a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (RFEPCT). No início de 2023, possuía 12.572 estudantes matriculados, nas diversas modalidades de ensino oferecidas, incluindo cursos em nível de ensino médio, técnico, graduação, especialização e mestrado (IFPE, 2023b). A sede atual do *campus* está localizada na Avenida Professor Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife/PE, com as seguintes coordenadas geográficas aproximadas: 8°03'31.4"S 34°56'58.5"W (Google Maps, 2023).

As Imagens 04 e 05 apresentam a instituição a partir de capturas de satélite, com a indicação de cada bloco a ser estudado. Por ter sido captada em 2013, a Imagem 05 não contempla o Centro de Pesquisa, cuja construção foi iniciada apenas alguns anos depois.

Imagem 04 - Imagem de satélite do IFPE *Campus* Recife (parcial), vista em planta



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021)

Imagem 05 - Imagem de satélite do IFPE *Campus Recife* (parcial), em perspectiva



Fonte: Adaptado de Google Earth (2013)

4.1.1 Centro de Pesquisa

Construção mais nova do *Campus Recife*, inaugurada em 2018, o Centro de Pesquisa em Desenvolvimento Tecnológico e Sustentabilidade (CPTECS) (Imagem 06), estrutura com cerca de 1.700 m² de área construída, abriga atividades de desenvolvimento científico e tecnológico da instituição, considerando sua composição com laboratórios, salas de pesquisa e estudos, além de um auditório e espaços administrativos (IFPE, 2018).

Imagem 06 - Centro de Pesquisa do IFPE *Campus Recife*



Fonte: A autoria própria

A edificação possui dois andares, térreo e 1º andar, e está disposta longitudinalmente na direção leste-oeste com uma inclinação de aproximadamente 17° no sentido horário.

4.1.2 Bloco F

Construção mais antiga do *Campus* Recife, inaugurada junto à unidade no fim da década de 1970, o Bloco F (Imagem 07) possui cerca de 4.000 m² de área construída e abriga principalmente salas de aula e laboratórios de alguns cursos de nível técnico e superior, como o Técnico em Saneamento e o Técnico em Refrigeração e Climatização, além de ambientes administrativos do *campus* e da Reitoria.

Imagem 07 - Bloco F do IFPE *Campus* Recife



Fonte: Autoria própria

O prédio é composto por duas unidades conectadas através de uma passarela, com pavimentos térreo e 1º andar em ambas. Está orientado longitudinalmente na direção norte-sul com uma inclinação de aproximadamente 17° no sentido horário, ou seja, tem orientação perpendicular com relação ao Centro de Pesquisa. A circulação da unidade “leste” é aberta ao ar livre, conectada diretamente ao pátio central, enquanto a circulação da unidade “oeste” está localizada dentro da edificação.

4.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

As simulações termoenergéticas foram realizadas através do EnergyPlus™, *software* de licença gratuita desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (*United States Department of Energy* - DOE) e amplamente utilizado em pesquisas na área de eficiência energética predial (Oliveira; Lunardi, 2018 e Rakha *et al.*, 2021). Trata-se de um programa que analisa as características físicas de uma edificação, seus ocupantes e sistemas mecânicos, com os respectivos padrões de uso, conforme modelagem e parametrização definidos pelo usuário, o que permite estimar valores de carga térmica de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) - termo comum na literatura em inglês: *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) -, umidade, temperaturas superficiais e nos ambientes, consumo de energia elétrica, entre outras grandezas (DOE, 2021 e Melo, 2018).

Apesar de ser possível criar e configurar toda a simulação apenas no EnergyPlus™, sua interface é predominantemente textual, o que tornaria o processo de definição espacial dos ambientes e superfícies mais suscetível a erros e retrabalhos. Por outro lado, o arquivo de extensão “.IDF” é um arquivo de texto simples que pode ser aberto no bloco de notas do computador, o que permitiu a identificação e correção de alguns erros durante a pesquisa.

Com os objetivos de facilitar a modelagem e utilizar uma interface visualmente mais agradável e intuitiva, recorreu-se ao *software* de desenho tridimensional SketchUp combinado à extensão Euclid, derivada da antecessora Legacy OpenStudio, metodologia que teve como referências principais as videoaulas de Lima (2021) e Geraldi (2024). A escolha das versões utilizadas dos *softwares* seguiu a indicação de compatibilidade destacada na Figura 14: Euclid 0.9.4.4, EnergyPlus™ 9.6.0 e SketchUp 2017. Não foi utilizada a versão mais recente do EnergyPlus™ (25.1.0) devido à necessidade de conversões frequentes entre a modelagem e a parametrização, procedimento que não se fez necessário com o conjunto escolhido.

Figura 14 - Compatibilidade entre as versões dos *softwares*

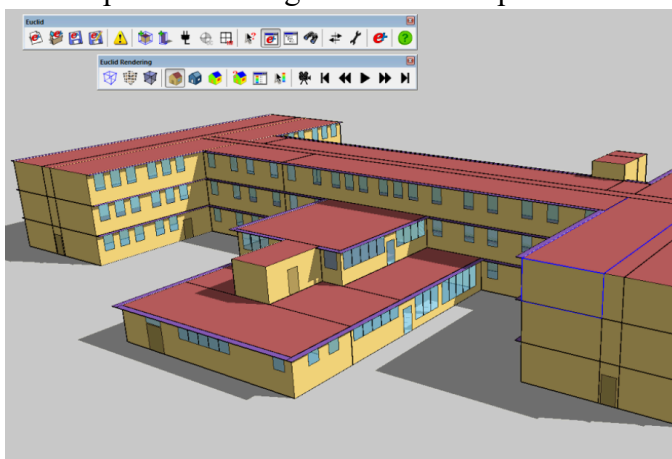
Euclid	EnergyPlus	SketchUp
0.9.4.4	9.6 - 25.1	2016 - 2017
0.9.4.3	9.3 - 9.5	2016 - 2017
0.9.4.2	9.2	2016 - 2017
0.9.4.1	9.0.1 - 9.1	2016 - 2017
0.9.3	8.7 - 8.9	2016 - 2017
0.9.2	8.6	2016 - 2017
0.9.1	8.6	2016 - 2017
0.9.0	8.4 - 8.5	8 (Google) - 2015 (Trimble)

Fonte: Big Ladder Software (2025)

4.2.1 Modelagem

A Figura 15 ilustra o padrão visual da modelagem no SketchUp com a extensão Euclid, onde cada ambiente denominado “zona térmica” é composto pelas seguintes superfícies: piso (*floor*) em tons de cinza, parede (*wall*) em tons de amarelo, teto (*ceiling/roof*) em tons de vinho; existem ainda o que o programa entende como subsuperfícies, normalmente associadas a alguma parede: porta de material opaco (*door*) em tons de marrom, além de janela (*window*) e porta de vidro (*glass door*) em tons de azul claro com transparência; e por fim os elementos de sombreamento (*shading*) que fazem parte da estrutura da edificação (*building*) ou de seus arredores (*site*), em tons de roxo.

Figura 15 - Exemplo de modelagem no SketchUp com a extensão Euclid



Fonte: Adaptado de DOE (2017)

Esta etapa da modelagem foi a que mais demandou tempo na pesquisa, considerando, primeiramente, que o autor não tinha experiência com todo o conjunto de *softwares*. Além disso, o conjunto “SketchUp + Euclid” apresentou inconsistências em diversos momentos, com resultados diferentes para uma mesma representação gráfica. Citando apenas um exemplo, durante a modelagem das portas e janelas, que são subsuperfícies associadas à superfície principal da parede onde estão situadas, era comum que o programa duplicasse a parede ou desvinculasse esses objetos de maneira equivocada, fazendo com que, ao abrir o projeto em outro momento, muitas portas e janelas tivessem que ser remodeladas. Esses percalços causaram muito retrabalho e desperdício de tempo.

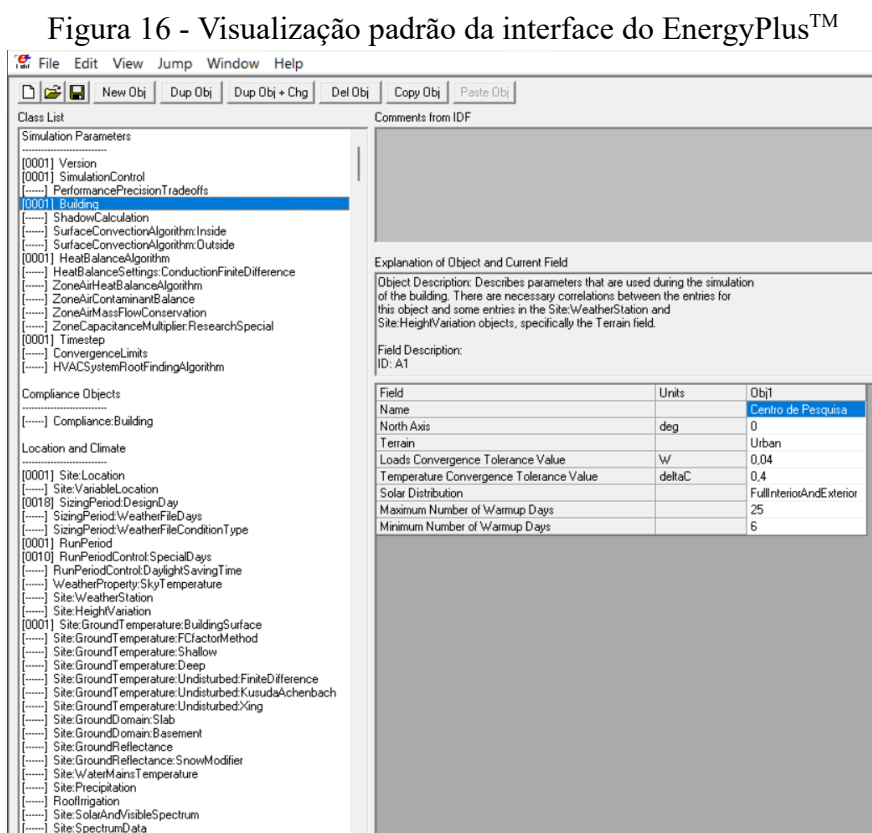
Ao fim da modelagem, ainda na interface gráfica do SketchUp, antes de partir para a parametrização no EnergyPlus™, foi utilizada a função *Surface Matching > Match in Entire Model*, conforme indicado por Lima (2021), com o objetivo de que, durante as simulações

termoenergéticas, o *software* considere que as superfícies adjacentes entre zonas térmicas vizinhas sejam computadas como uma única superfície.

4.2.2 Parametrização

O processo de parametrização foi realizado na interface do EnergyPlus™ e consistiu em configurar todas as informações necessárias e suficientes para as simulações, consoante as definições e exemplos no manual *Input Output Reference* do próprio *software* (DOE, 2021). A modelagem, etapa explorada no tópico anterior, contempla tão somente a representação tridimensional de todas as superfícies e subsuperfícies que formam a edificação, enquanto na parametrização são definidos atributos como os materiais construtivos e suas propriedades térmicas, rotinas, sistema HVAC, cargas elétricas, padrões de ocupação etc.

Na Figura 16, é possível visualizar o padrão da interface do EnergyPlus™: à esquerda, fica a lista de “classes” ou “parâmetros” a serem configurados; à direita, abaixo de uma breve explicação de cada campo, os objetos associados a cada parâmetro selecionado. Em resumo, o conjunto de campos compõe um objeto; o conjunto de objetos compõe um parâmetro; e o conjunto de parâmetros compõe a simulação termoenergética pretendida.



Fonte: Autoria própria

4.3 IMAGEAMENTO TERMOGRÁFICO

Estão descritos nos tópicos a seguir os equipamentos e procedimentos adotados na coleta de dados em campo, através da técnica de termografia de infravermelho.

4.3.1 Equipamentos

Foi utilizada a câmera termográfica Flir B335 (Imagem 08), apropriada para diagnósticos prediais e análises energéticas (Flir, 2010). O equipamento foi locado por uma semana, entre 30/05/2025 e 06/06/2025, ao preço de R\$ 1.261,25. Nos primeiros dias, após algumas orientações operacionais do locador, realizaram-se testes de funcionamento e configuração, o que habilitou os dias seguintes para a captura das imagens.

Imagem 08 - Câmera termográfica Flir B335



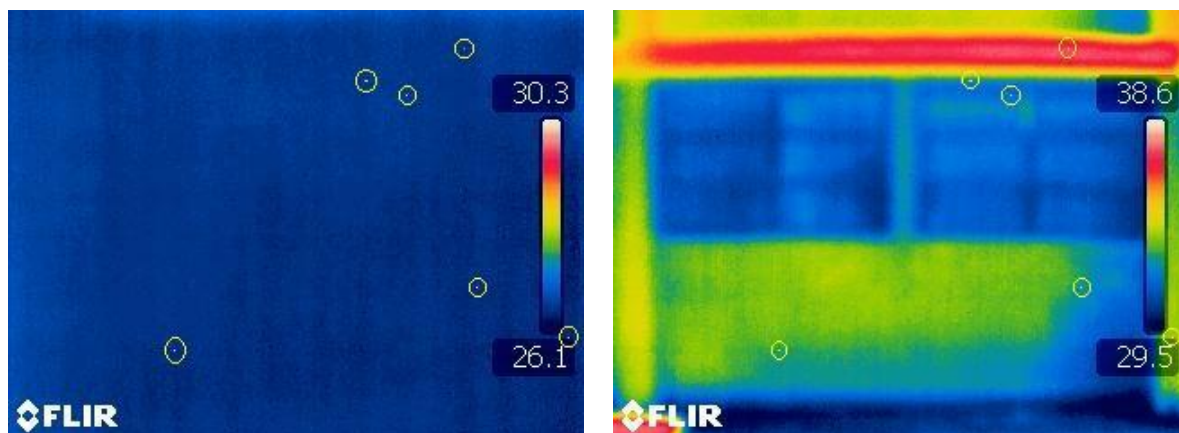
Fonte: Autoria própria

A câmera tem como principais características técnicas (Flir, 2010):

- Intervalo espectral: 7,5 a 13 μm ;
- Intervalo de temperatura: -20 a 120 $^{\circ}\text{C}$;
- Sensibilidade térmica: 50 mK ou 50 m°C ;
- Resolução da imagem infravermelha: 320x240 pixels;
- Precisão: $\pm 2\%$ ou ± 2 $^{\circ}\text{C}$, o que for maior.

Na fase inicial de testes e durante o imageamento definitivo para a pesquisa, foi possível perceber, considerando o contexto das superfícies e a divergência de temperatura com o entorno imediato, alguns pontos com falha na medição, destacados na Imagem 09, o que provavelmente é consequência de pequenos defeitos no sensor da câmera.

Imagem 09 - Falhas de medição nas imagens termográficas



Fonte: Autoria própria

Para auxiliar na configuração dos valores de temperatura e umidade relativa do ambiente, com vistas a melhorar a precisão das medições com a câmera termográfica, foi utilizado o termo-higrômetro Minipa MT-241A (Imagem 10), disponibilizado sem custo adicional na mesma locação da câmera termográfica.

Imagem 10 - Termo-higrômetro Minipa MT-241A



Fonte: Autoria própria

O termo-higrômetro tem como principais características técnicas (Minipa, 2025):

- Intervalo de temperatura: -10 a 50 °C;
- Resolução / precisão: 0,1 °C / ±1 °C;
- Intervalo de umidade relativa: 10 a 99%;
- Resolução / precisão: 1% / ±5%.

4.3.2 Procedimentos

A captura das imagens termográficas ocorreu em 03/06/2025, terça-feira, dia letivo convencional no IFPE *Campus* Recife. Foi utilizada uma combinação dos métodos qualitativo

e quantitativo, nos ambientes externo e interno, com técnica de análise passiva, conforme classificação explorada no tópico 3.2.1 da Revisão Bibliográfica.

No momento das medições, o tempo estava variando entre predominantemente ensolarado e parcialmente nublado, mas sem chuva. Nas 24 horas anteriores, entretanto, houve momentos de chuva leve, com índice de até 8,4 mm no Recife, de acordo com os Boletins Pluviométricos locais (APAC, 2025).

No Centro de Pesquisa, o imageamento foi iniciado nos ambientes internos às 9h36 e concluído no ambiente externo às 10h22. No Bloco F, após um intervalo para carregamento da bateria da câmera, o imageamento ocorreu entre 11h17 e 13h04, na mesma dinâmica citada anteriormente, com início nos ambientes internos e conclusão no ambiente externo.

Antes de iniciar a captura das imagens, a câmera foi configurada com parâmetros que auxiliam na precisão das medições (Santos; Rocha; Póvoas, 2019 e Souza, 2010), sendo eles:

- Emissividade do material: estabelecido inicialmente em 0,90;
- Distância para a superfície: para os ambientes internos, 3 metros; para o ambiente externo, 10 metros;
- Temperatura ambiente: conforme medição do termo-higrômetro no local;
- Umidade: conforme medição do termo-higrômetro no local;
- Temperatura refletida: mesmo valor da temperatura ambiente, considerando não terem sido capturadas imagens de superfícies muito reflexivas ou de baixa emissividade.

Apesar da configuração na câmera, foi explorada posteriormente a conectividade com o *software* FLIR Thermal Studio para tratamento das imagens termográficas, no qual foram realizados ajustes mais finos dos referidos parâmetros, de acordo com cada situação, além de indicadas temperaturas específicas de pontos ou áreas de interesse.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos projetos arquitetônicos do Centro de Pesquisa e do Bloco F, bem como de fotos registradas nas visitas às referidas edificações, foi realizada a modelagem de todas as zonas térmicas e elementos de sombreamento, vide Figuras 17-20. Por sua vez, o Quadro 01 contém a lista de todas as zonas térmicas modeladas de cada edificação, considerando a seguinte legenda para os prefixos:

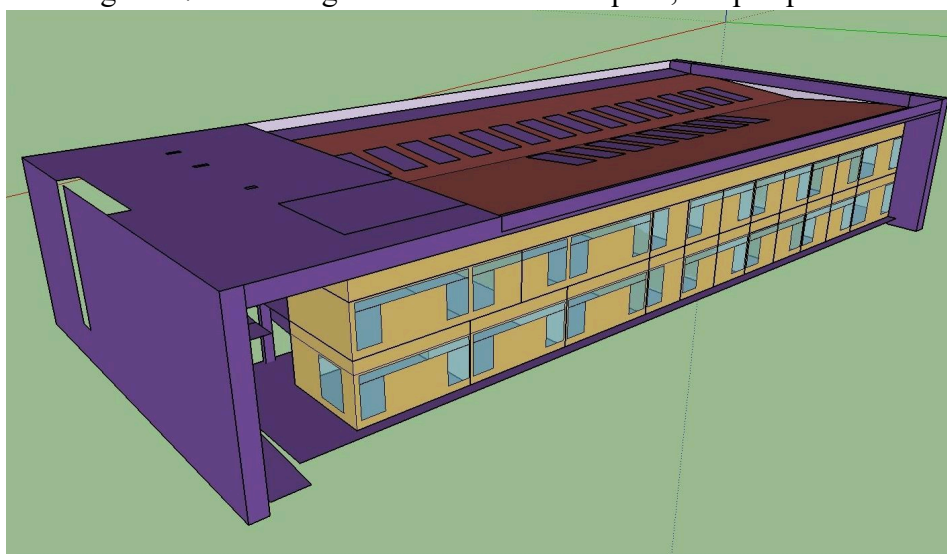
- CP1 - 1º pavimento do Centro de Pesquisa
- CPT - pavimento térreo do Centro de Pesquisa
- CPT1 - zonas que ocupam ambos os pavimentos do Centro de Pesquisa
- CP - exclusivo para a cobertura do Centro de Pesquisa
- FL1 - 1º pavimento da unidade leste do Bloco F
- FLT - pavimento térreo da unidade leste do Bloco F
- FO1 - 1º pavimento da unidade oeste do Bloco F
- FOT - pavimento térreo da unidade oeste do Bloco F
- FL - exclusivo para a cobertura da unidade leste do Bloco F
- FO - exclusivo para a cobertura da unidade oeste do Bloco F

Quadro 01 - Lista de zonas térmicas modeladas

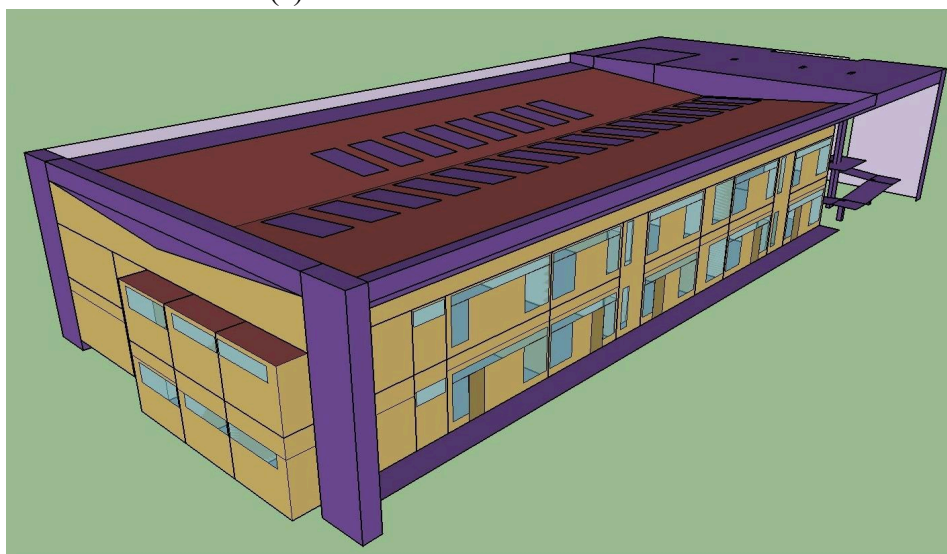
Zonas térmicas, Centro de Pesquisa = 48	Zonas térmicas, Bloco F = 80
CP1 ALMOXARIFADO CP1 ARMARIO DML CP1 AUDITORIO CP1 CIRCULACAO CP1 LAB 06 - INTELIGENCIA ARTIFICIAL CP1 LAB 07 - RADIOLOGIA CP1 LAB 08 - ARQDESIGN CP1 LAB 09 - MICROBIOLOGIA CP1 LAB 10 - SISTEMA INFORMACAO CP1 SALA DE ESTUDOS CP1 SALA DE PESQUISADOR 08 CP1 SALA DE PESQUISADOR 09 CP1 SALA DE PESQUISADOR 10 CP1 SALA DE PESQUISADOR 11 CP1 SALA DE PESQUISADOR 12 CP1 SALA DE PESQUISADOR 13 CP1 SALA DE PESQUISADOR 14 CP1 SALA DE REUNIAO E PROJECAO CP1 WC ACESSIVEL CP1 WC FEMININO CP1 WC MASCULINO CP COBERTA CPT ADMINISTRACAO CPT ALMOXARIFADO	FL COBERTA FL1 CATU F-28 FL1 CATU (ANTESSALA) F-28 FL1 COORD GEOGRAFIA 01 F-22 FL1 COORD GEOGRAFIA 02 F-22 FL1 COORD GEOGRAFIA (ANTESSALA) F-22 FL1 LAB - INFORMATICA F-31 FL1 LAB - INFORMATICA F-32 FL1 LAB - TURISMO F-27 FL1 MPGA SECRETARIA 01 F-30 FL1 MPGA SECRETARIA 02 F-30 FL1 MPGA SECRETARIA 03 F-30 FL1 SALA DE AULA F-24 FL1 SALA DE AULA F-25 FL1 SALA DE AULA F-26 FL1 SALA DE AULA F-29 FLT BANCO 01 FLT BANCO 02 FLT CAMARA FRIGORIFICA FLT CAMARA FRIGORIFICA (ANTESSALA) FLT COORD REFRIGERACAO F-04 FLT COORD REFRIGERACAO F-04 (APOIO) FLT LAB - PROJ CLIMATIZACAO F-07 FLT LAB - PROJ CLIMATIZACAO F-08

<p> CPT ARMARIO DML CPT CIRCULACAO CPT COORD DA POS-GRADUACAO CPT COPA CPT LAB 01 - ECOLOGIA CPT LAB 02 - QUIMICA CPT LAB 03 - TECNOLOGIA AMBIENTAL CPT LAB 04 - VALIDACAO CPT LAB 05 - MECANICA CPT RECEPCAO CPT SALA COFRE CPT SALA DE PESQUISADOR 01 CPT SALA DE PESQUISADOR 02 CPT SALA DE PESQUISADOR 03 CPT SALA DE PESQUISADOR 04 CPT SALA DE PESQUISADOR 05 CPT SALA DE PESQUISADOR 06 CPT SALA DE PESQUISADOR 07 CPT WC ACESSIVEL CPT WC FEMININO CPT WC MASCULINO CPT1 ESCADAS CPT1 SHAFT 01 CPT1 SHAFT 02 </p>	<p> FLT LAB - REFRIGERACAO F-05 FLT LAB - REFRIGERACAO INDUSTRIAL F-09 FLT LAB - SOLDA F-10 FLT SALA DE AULA F-01 FLT SALA DE AULA F-02 FLT SALA DE AULA F-03 FO COBERTA FO1 ARQUIVO F-47 6 FO1 CENTRAL FO1 CIRCULACAO 01 FO1 CIRCULACAO 02 FO1 COORDENACAO FO1 DAIC 01 FO1 DAIC 02 FO1 DAIC 03 FO1 DAIC 04 FO1 DAIC 05 FO1 LAB - INFORMATICA F-38 FO1 LAB - INFORMATICA F-39 FO1 LAB - PESQUISA E INSTRUM F-43 FO1 SALA DE AULA F-34 FO1 SALA DE AULA F-35 FO1 SALA DE AULA F-36 FO1 SALA DE AULA F-37 FO1 SALA DE AULA F-44 FO1 SALA DE AULA F-45 FO1 SALA DE AULA F-46 FO1 SALA DE AULA F-47 4 FO1 SALA DE ESTUDO F-47 1 FO1 SALA DE ESTUDO F-47 2 FO1 SALA DE ESTUDO F-47 5 FO1 SALA DOS PROFESSORES FO1 SALA DOS PROFESSORES F-33 FO1 SRES/DAIC FO1 WC ACESSIVEL FO1 WC FEMININO FO1 WC MASCULINO FOT CAMARA FRIGORIFICA FOT CIRCULACAO 01 FOT CIRCULACAO 02 FOT LAB - GEOPROCESSAMENTO FOT LAB - INST HIDROSSANITARIAS F-15 FOT LAB - REFRIGERACAO FOT LAB - TECNOLOGIA DAS CONSTRUCOES FOT LAB - TOPOGRAFIA FOT SALA DE APOIO 01 FOT SALA DE APOIO 02 FOT SALA DE AULA F-17 FOT SALA DE AULA F-18 FOT SALA DE AULA F-19 FOT SALA DE AULA F-20 FOT SALA DE AULA F-21 FOT SALA DE PESQUISA FOT WC ACESSIVEL FOT WC FEMININO FOT WC MASCULINO </p>
--	---

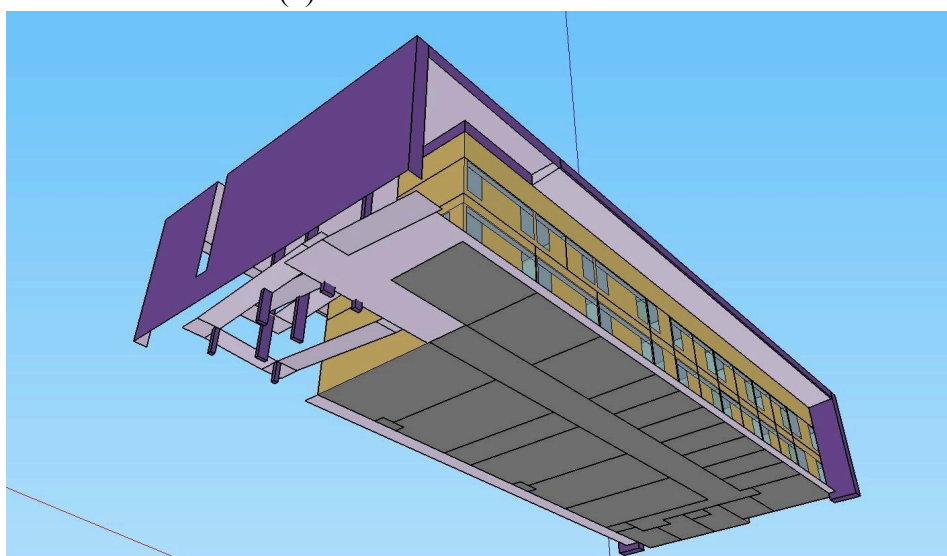
Figura 17 - Modelagem do Centro de Pesquisa, em perspectivas



(a) Coberta e fachadas leste/norte



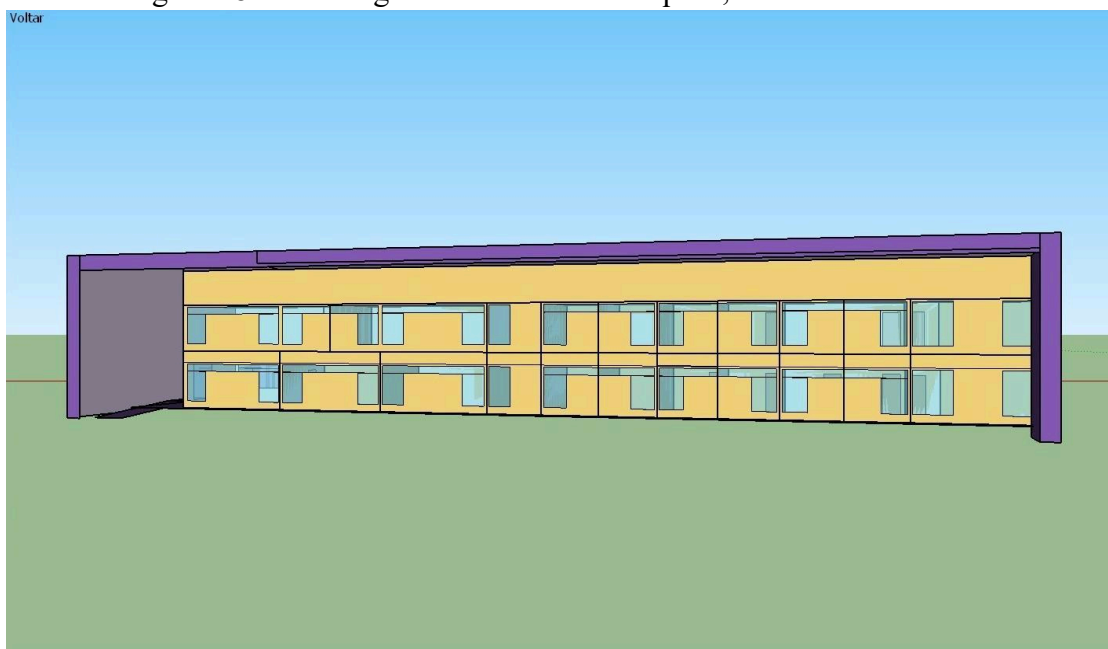
(b) Coberta e fachadas oeste/sul



(c) Piso externo

Fonte: Autoria própria

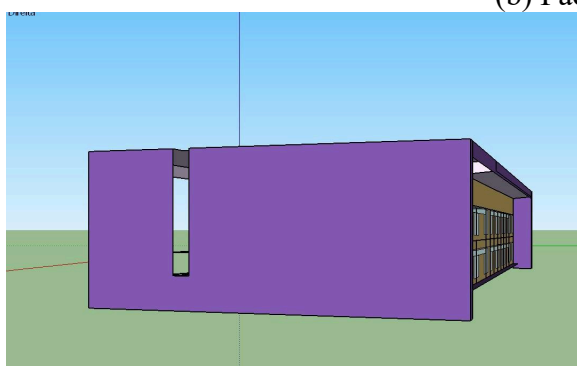
Figura 18 - Modelagem do Centro de Pesquisa, fachadas individuais



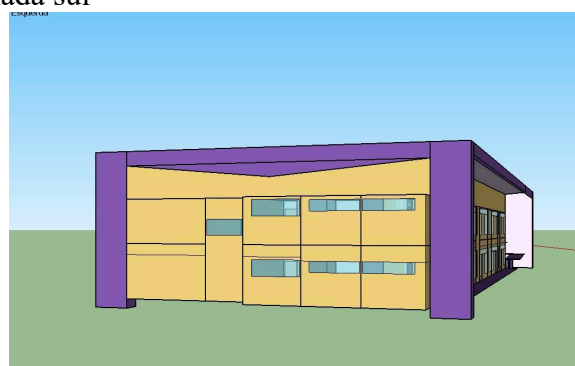
(a) Fachada norte



(b) Fachada sul



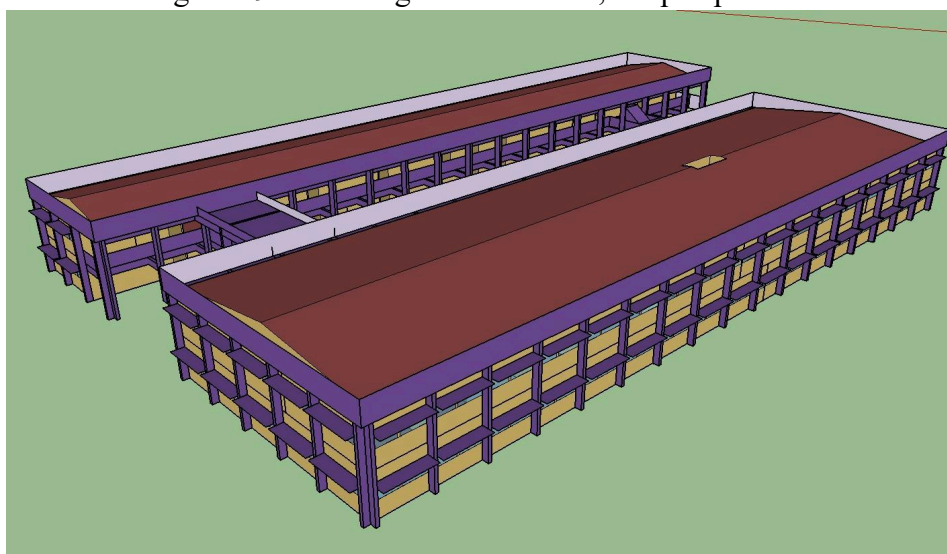
(c) Fachada leste



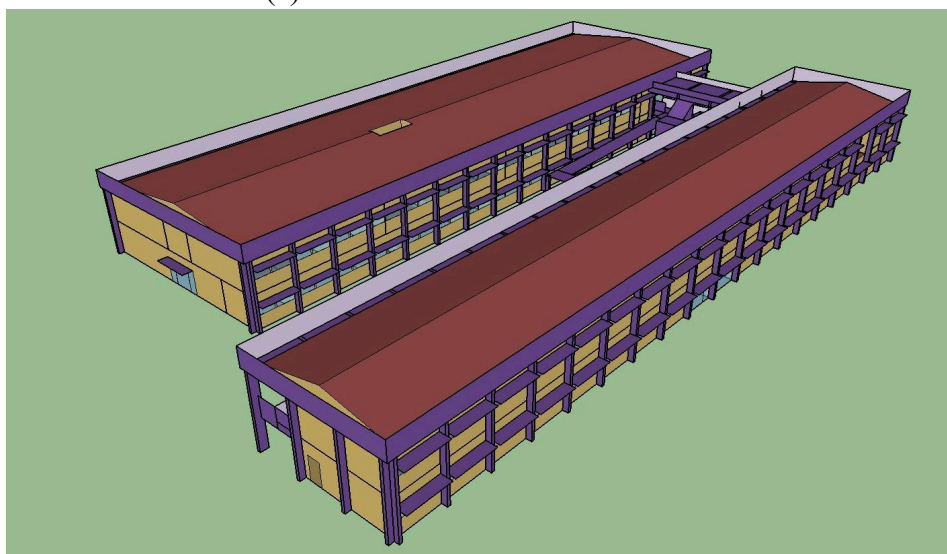
(c) Fachada oeste

Fonte: Autoria própria

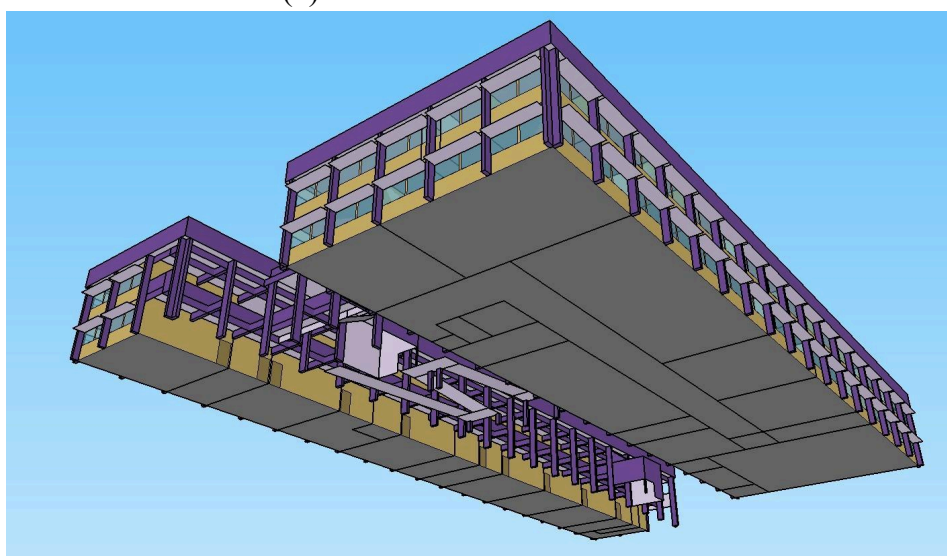
Figura 19 - Modelagem do Bloco F, em perspectivas



(a) Coberta e fachadas norte/oeste



(b) Coberta e fachadas sul/leste

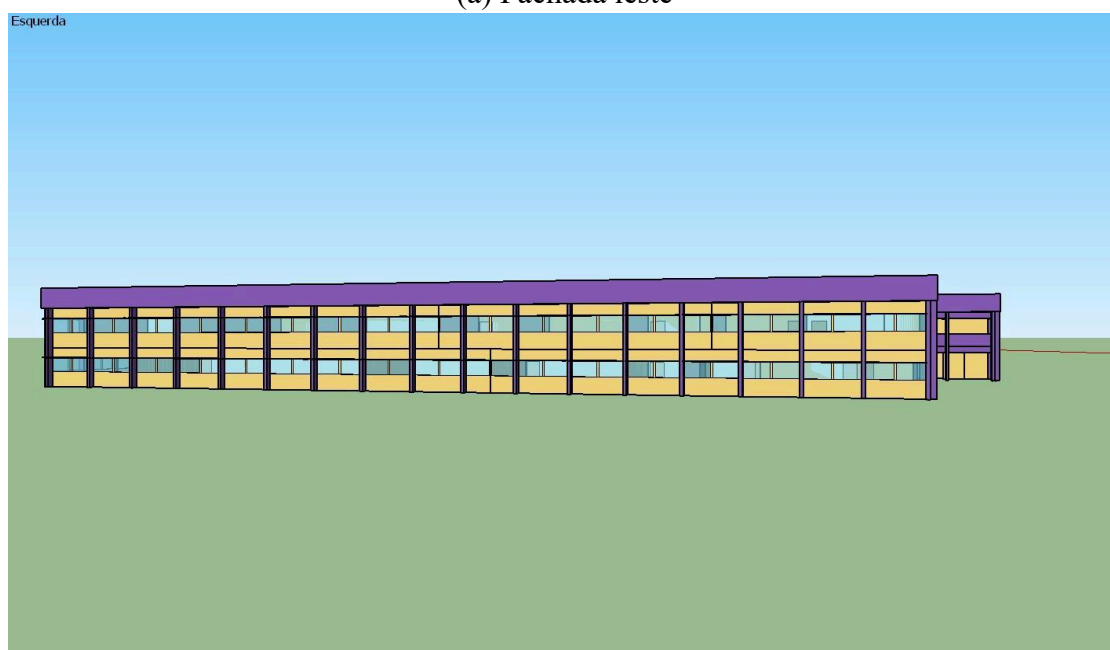


(c) Piso externo

Figura 20 - Modelagem do Bloco F, fachadas individuais



(a) Fachada leste



(b) Fachada oeste



(c) Fachada norte



(c) Fachada sul

Fonte: Autorial própria

Para o Bloco F, cabe salientar que foi desconsiderado seu “módulo anexo”, localizado imediatamente ao sul das unidades que foram de fato modeladas (Imagem 04). Isso se deve às diferenças em suas características físicas, em especial por ser uma unidade apenas com pavimento térreo, o que destoa do padrão das edificações estudadas.

No Centro de Pesquisa, os elementos de sombreamento consistem nos módulos fotovoltaicos, platibandas, laje técnica, rampas, alguns pilares externos e a parede paralela à fachada leste; no Bloco F, foram representados como elementos de sombreamento as platibandas, pilares e vigas externos, marquises sobre todas as janelas, escadas, rampas e passarela entre as unidades “leste” e “oeste”.

5.1 PARAMETRIZAÇÃO - CENTRO DE PESQUISA

Neste tópico serão explorados os principais parâmetros para a simulação termoenergética do Centro de Pesquisa. Em *SimulationControl* (Figura 21), foram definidos os critérios básicos das simulações, como os cálculos de carga térmica por zona e para o sistema HVAC.

Figura 21 - Classe *SimulationControl*

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		Yes
Do System Sizing Calculation		Yes
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods		No
Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes		1

Fonte: Autoria própria

Em *Building* (Figura 22), definiu-se o terreno como urbano e a distribuição solar que interage com as superfícies internas e externas das zonas; o campo *North Axis* (ângulo ao norte) ficou em 0° porque a modelagem já considerou a orientação correta; os demais valores são padrões.

Figura 22 - Classe *Building*

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left contains the following items:

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] **Building**
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0008] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0036] HVACTemplate:Zone:Unitary
- [0036] HVACTemplate:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] UtilityCost:Tariff
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0002] Output:Variable

The 'Comments from IDF' section contains the following text:

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Describes parameters that are used during the simulation of the building. There are necessary correlations between the entries for this object and some entries in the Site:WeatherStation and Site:HeightVariation objects, specifically the Terrain field.

Field Description:
ID: A1

Field	Units	Obj1
Name		Centro de Pesquisa
North Axis	deg	0
Terrain		Urban
Loads Convergence Tolerance Value	W	0,04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0,4
Solar Distribution		FullInteriorAndExterior
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		6

Fonte: Autoria própria

Em *HeatBalanceAlgorithm* (Figura 23), foi definido o algoritmo que considera a transferência de calor entre os elementos construtivos, apropriado para a simulação pretendida; os demais valores são padrões e não foi necessário alterá-los. Em *Site:Location* (Figura 24), foram inseridas as coordenadas geográficas, fuso horário e altitude da estação meteorológica mais próxima do local da edificação, dados oriundos do arquivo climático “Recife-Guararapes-Freyre Intl AP 828990 (TRY.1962)”, disponível em energyplus.net/weather, cujos valores históricos de temperatura, velocidade e direção do vento, umidade, radiação solar etc. são usados na simulação.

Figura 23 - Classe *HeatBalanceAlgorithm*

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Edit, View, Jump, Window, Help) and a toolbar with icons for New Obj, Dup Obj, Dup Obj + Chg, Del Obj, Copy Obj, and Paste Obj. The main area is divided into two panes: 'Class List' on the left and 'Comments from IDF' on the right. The 'Class List' pane contains a scrollable list of classes, with '[0001] HeatBalanceAlgorithm' selected. The 'Comments from IDF' pane displays the following information:

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Determines which Heat Balance Algorithm will be used ie. CTF (Conduction Transfer Functions).
 EMPD (Effective Moisture Penetration Depth with Conduction Transfer Functions).
 Advanced/Research Usage: CondFD (Conduction Finite Difference)
 Advanced/Research Usage: ConductionFiniteDifferenceSimplified
 Advanced/Research Usage: HAMT (Combined Heat And Moisture Finite Element)

Field	Units	Obj1
Algorithm		ConductionTransferFunction
Surface Temperature Upper Limit	C	200
Minimum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value	W/m2-K	0,1
Maximum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value	W/m2-K	1000

Fonte: Autoria própria

Figura 24 - Classe *Site:Location*

The screenshot shows the same software interface as Figure 23, but with '[0001] Site:Location' selected in the 'Class List' pane. The 'Comments from IDF' pane displays the following information:

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Specifies the building's location. Only one location is allowed. Weather data file location, if it exists, will override this object.

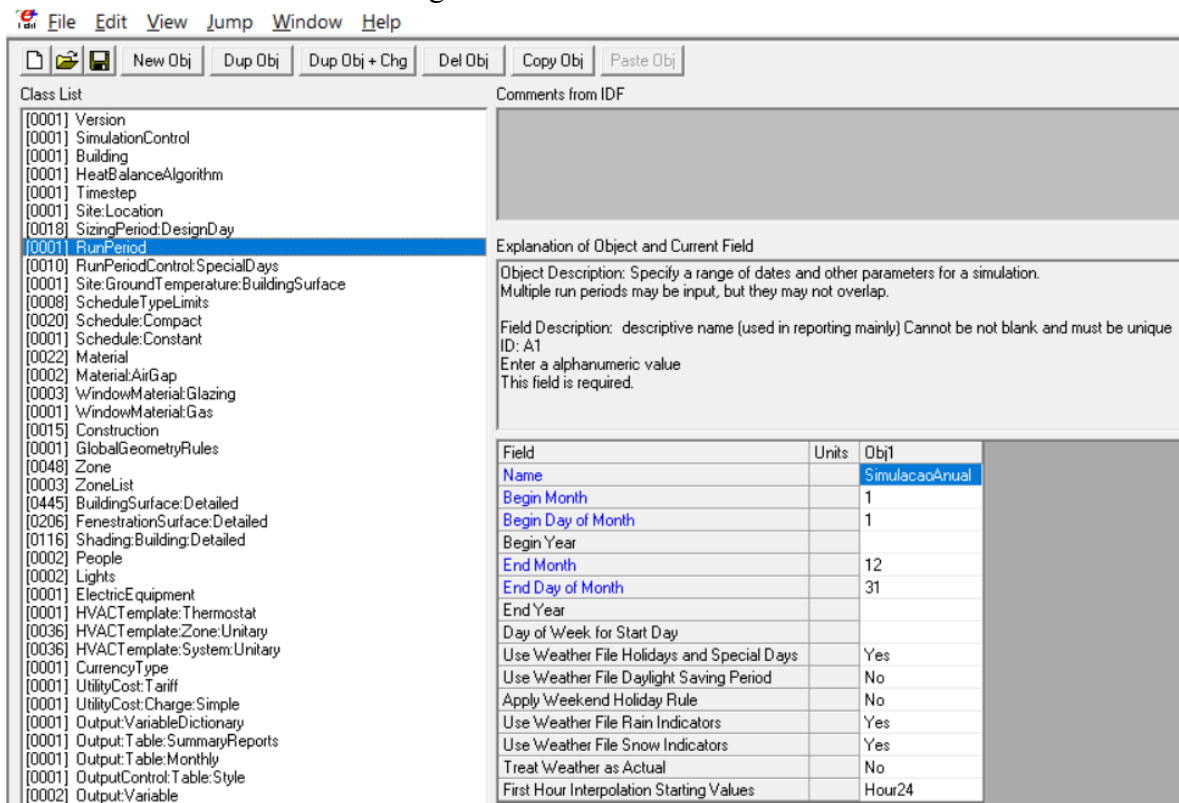
Field Description:
 ID: A1
 Enter a alphanumeric value
 This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Recife-Guararapes?Freyre Intl_PE_BRA Design_Conditions
Latitude	deg	-8,13
Longitude	deg	-34,92
Time Zone	hr	-3
Elevation	m	11

Fonte: Autoria própria

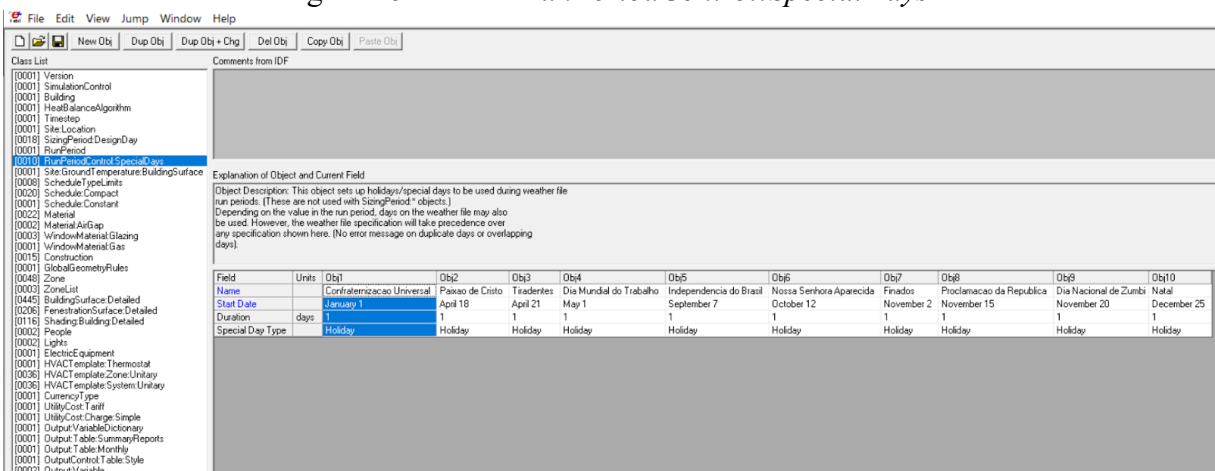
Em *RunPeriod* (Figura 25), foi definido o período de 1 ano para a simulação, entre 01/01 e 31/12, além de critérios específicos para uso dos dados disponíveis no arquivo climático: feriados, horário de verão, indicadores de chuva, entre outros. Em *RunPeriodControl:SpecialDays* (Figura 26), foram cadastrados os feriados nacionais com datas fixas no calendário oficial brasileiro (MGI, 2024), para que a simulação pudesse considerar os dias em que a edificação não estaria em uso.

Figura 25 - Classe *RunPeriod*



Fonte: Autoria própria

Figura 26 - Classe *RunPeriodControl:SpecialDays*



Fonte: Autoria própria

Em *Site:GroundTemperature:BuildingSurface* (Figura 27), foi inserida a temperatura do solo, mês a mês, cujos valores são baseados nas temperaturas médias de ambientes abrigados, extraídas do supracitado arquivo climático, subtraídas em 2 °C, cálculo sugerido pelo próprio EnergyPlus™ e também aplicado por Melo (2018).

Figura 27 - Classe *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*

The screenshot displays the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left contains the following items:

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0008] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0036] HVACTemplate:Zone:Unitary
- [0036] HVACTemplate:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] UtilityCost:Tariff
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0002] Output:Variable

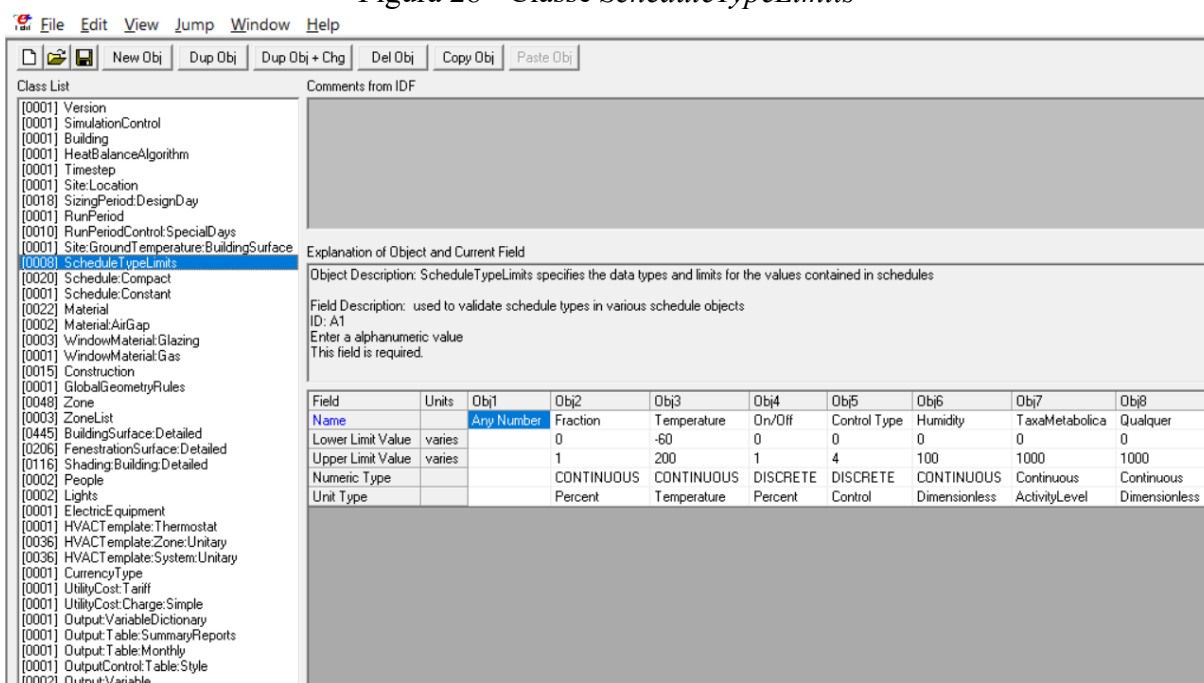
The right pane shows the 'Explanation of Object and Current Field' for the selected class:

Object Description: These temperatures are specifically for those surfaces that have the outside environment of "Ground". Documentation about what values these should be is located in the Auxiliary programs document (Ground Heat Transfer) as well as the InputOutput Reference. CAUTION - Do not use the "undisturbed" ground temperatures from the weather data. These values are too extreme for the soil under a conditioned building. For best results, use the Slab or Basement program to calculate custom monthly average ground temperatures (see Auxiliary Programs). For typical commercial

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	24,7
February Ground Temperature	C	24,9
March Ground Temperature	C	24,7
April Ground Temperature	C	24
May Ground Temperature	C	23,7
June Ground Temperature	C	22,6
July Ground Temperature	C	22
August Ground Temperature	C	22,3
September Ground Temperature	C	23,1
October Ground Temperature	C	24
November Ground Temperature	C	24,3
December Ground Temperature	C	24,5

Fonte: Autoria própria

Em *ScheduleTypeLimits* (Figura 28), constam as variáveis e seus limites, a serem usadas na configuração das rotinas *Schedule:Compact*, com destaque para a criação da variável "TaxaMetabolica"; os Objetos 1-6 são padrões e foram mantidos apenas como referência, pois não foram utilizados.

Figura 28 - Classe *ScheduleTypeLimits*

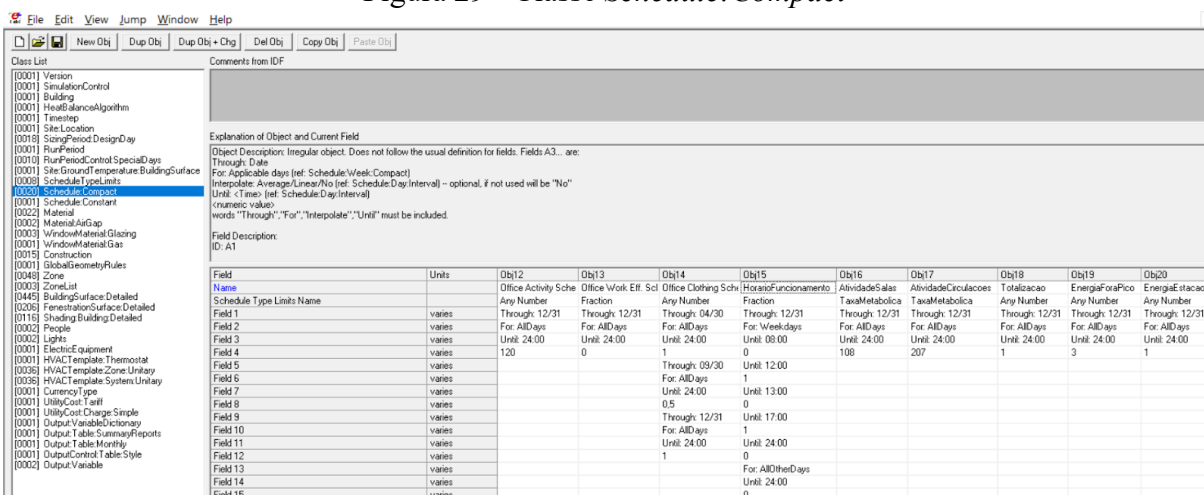
Fonte: Autoria própria

Em *Schedule:Compact* (Figura 29), considerando que os Objetos 1-14 são padrões e foram mantidos apenas como referência, foram configuradas as seguintes rotinas:

- Obj15 “HorarioFuncionamento”: estabelece o horário de funcionamento da edificação, durante todo o ano (até 31/12), nos dias úteis da semana, com 100% de ocupação nos horários de 8-12h e 13-17h; nos horários e dias complementares, a ocupação é de 0%. Apesar de não refletir a realidade do Centro de Pesquisa, o horário foi assim estabelecido para concentrar a ocupação nos períodos da manhã e da tarde, que habitualmente possuem temperaturas externas mais elevadas, além de facilitar o cálculo dos custos com energia elétrica e, por fim, equiparar à rotina do Bloco F - ver tópico 5.2 -, de modo que os resultados de consumo de energia tivessem uma influência majoritária das respectivas características construtivas;
- Obj16 “AtividadeSalas”: define o nível de taxa metabólica das pessoas que ocupam as salas de aula, laboratórios, ambientes administrativos etc., conforme parametrização a ser explorada na classe *People*. Foi adotado o valor de taxa metabólica para pessoas sentadas de 108 W/pessoa, a partir da Tabela 1.25 do manual *Input Output Reference* (DOE, 2021);
- Obj17 “AtividadeCirculacoes”: define o nível de taxa metabólica das pessoas que transitam nas circulações e escadas, conforme parametrização a ser explorada na classe *People*. Foi adotado o valor de taxa metabólica para pessoas andando devagar (3,2 Km/h) de 207 W/pessoa, a partir da Tabela 1.25 do manual *Input Output Reference* (DOE, 2021);
- Obj18 “Totalizacao”: rotina de controle que acabou não sendo utilizada;

- Obj19 “EnergiaForaPico” / Obj20 “EnergiaEstacao”: rotinas com variáveis de controle utilizadas na classe *UtilityCost:Tariff*.

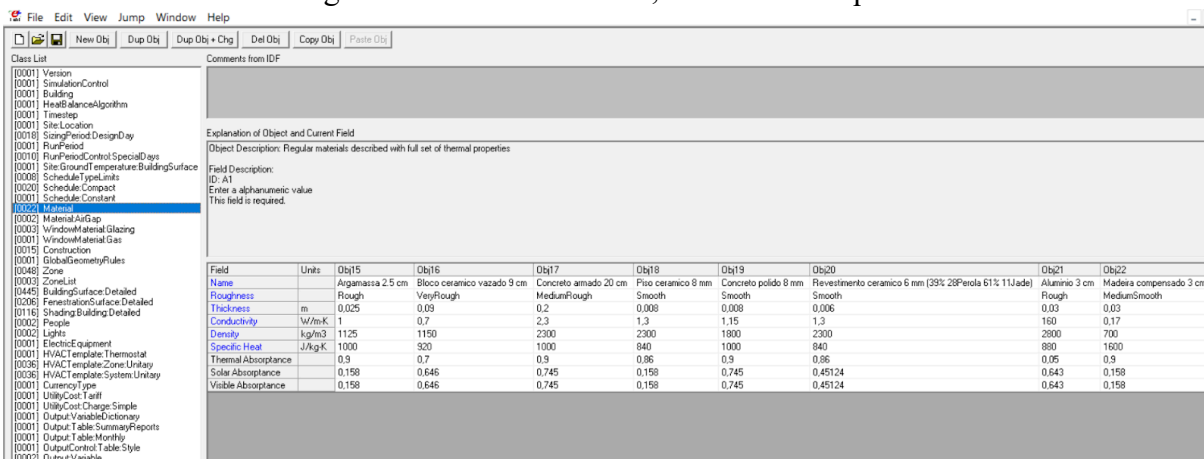
Figura 29 - Classe *Schedule:Compact*



Fonte: Autoria própria

Em *Material* (Figura 30), considerando que os Objetos 1-10 são padrões e foram mantidos apenas como referência, foram cadastrados os materiais construtivos, Objetos 11-22, a serem posteriormente associados através da classe *Construction* a cada superfície: paredes, pisos, tetos etc. A Tabela 02 apresenta os materiais e suas propriedades térmicas; a rugosidade é a única propriedade qualitativa, que vai de *VerySmooth* (muito liso) a *VeryRough* (muito rugoso); as demais propriedades são quantitativas.

Figura 30 - Classe *Material*, Centro de Pesquisa



Fonte: Autoria própria

Tabela 02 - Cadastro dos materiais construtivos - Classe *Material*, Centro de Pesquisa

Objeto/ Material	Rugosidade	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/Kg.K)	Absortância térmica/ Emissividade	Absortância solar/visível
Telha aço 0.1 cm	<i>Rough</i>	50,000	7.800	450	0,25	0,15800 (06 Branco)
Espuma poliuretano 4 cm	<i>Medium Rough</i>	0,050	70	1.500	0,90*	0,33600 (12 Marfim)
Forro lâ mineral 13 mm	<i>Medium Rough</i>	0,033	105	1.030	0,90*	0,15800 (06 Branco)
Revestimento cerâmico 6 mm (100% 28Perola)	<i>Smooth</i>	1,300	2.300	840	0,86	0,33900 (28 Pérola)
Argamassa 2.5 cm	<i>Rough</i>	1,000	1.125	1.000	0,90	0,15800 (06 Branco)
Bloco cerâmico vazado 9 cm	<i>Very Rough</i>	0,700	1.150	920	0,70	0,64600 (17 Terracota)
Concreto armado 20 cm	<i>Medium Rough</i>	2,300	2.300	1.000	0,90	0,74500 (09 Concreto)
Piso cerâmico 8 mm	<i>Smooth</i>	1,300	2.300	840	0,86	0,15800 (06 Branco)
Concreto polido 8 mm	<i>Smooth</i>	1,150	1.800	1.000	0,90	0,74500 (09 Concreto)
Revestimento cerâmico 6 mm (39% 28Perola 61% 11Jade)	<i>Smooth</i>	1,300	2.300	840	0,86	0,45124** (39% 28 Pérola 61% 11 Jade)
Alumínio 3 cm	<i>Rough</i>	160,000	2.800	880	0,05	0,64300 (02 Amarelo Terra)
Madeira compensado 3 cm	<i>Medium Smooth</i>	0,170	700	1.600	0,90	0,15800 (06 Branco)

* Valores não encontrados na literatura, consideradas no valor padrão de 0,90 do EnergyPlus™

** Proporção das cores definida para considerar a influência dos retângulos verdes (cor “11 Jade”) próximos às janelas da fachada norte (Imagem 06), os quais não foi possível modelar com exatidão nas paredes


































Fonte: ABNT (2008), ABNT (2022), CB3E (2022), INMETRO (2022), Melo (2018) e Nicolau *et al.* (2008)

Boa parte das propriedades térmicas teve como referência a NBR ISO 10456 (ABNT, 2022), porém também foram consultadas as demais fontes citadas na Tabela 02, inclusive a

versão cancelada da NBR 15220-2 (ABNT, 2008), pois não foram encontrados alguns valores específicos na versão vigente da referida norma ou em outra fonte.

Para a propriedade “Absortância solar/visível”, associada diretamente às cores das superfícies dos materiais, foi utilizado o Manual RAC - Catálogo de propriedades térmicas (INMETRO, 2022), exemplificado na Figura 31.

Figura 31 - Níveis de absortância solar/visível ($\alpha\%$)

NÚMERO	COR	NOME	α	NÚMERO	COR	NOME	α
01		Amarelo Antigo	51,4	18		Amarelo Antigo	49,7
02		Amarelo Terra	64,3	19		Amarelo Terra	68,6
03		Areia	44,9	20		Azul	79,9
04		Azul	73,3	21		Branco Gelo	36,2
05		Azul Imperial	66,9	22		Cinza	86,4
06		Branco	15,8	23		Cinza BR	61,1
07		Branco Gelo	37,2	24		Crepúsculo	66,0
08		Camurça	57,4	25		Flamingo	47,3
09		Concreto	74,5	26		Marfim	33,9
10		Flamingo	49,5	27		Palha	39,6
11		Jade	52,3	28		Pérola	33,9
12		Marfim	33,6	29		Preto	97,1
13		Palha	36,7	30		Telha	69,6
14		Pérola	33,0	31		Terracota	68,4
15		Pêssego	42,8	32		Verde Quadra	75,5
16		Tabaco	78,1	33		Vermelho	64,2
17		Terracota	64,6				

(a) Categoria da “tinta acrílica fosca”

(b) Categoria da “tinta acrílica semi-brilho”

Fonte: Adaptado de INMETRO (2022)

Em *WindowMaterial:Glazing* (Figura 32), foram cadastrados os materiais envidraçados, a serem posteriormente associados através da classe *Construction* a cada superfície: janelas e portas de vidro. Por não estarem disponíveis informações técnicas detalhadas referentes ao vidro aplicado na edificação, com exceção das respectivas espessuras de 4 (janelas) e 10 mm (portas), as demais propriedades térmicas foram deixadas no padrão do EnergyPlusTM, vide referência do Objeto 01.

Figura 32 - Classe *WindowMaterial:Glazing*

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site.Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0006] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] **WindowMaterial:Glazing**
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVAC:template:Thermostat
- [0036] HVAC:template:Zone:Unitary
- [0036] HVAC:template:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] UtilityCost:Tariff
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] Output:Control:Table:Style
- [0002] Output:Variable

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Glass material properties for Windows or Glass Doors
Transmittance/Reflectance input method.

Field Description:
ID: A1

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Clear 3mm	Vidro incolor 4 mm	Vidro temperado 10 mm
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name				
Thickness	m	0.003	0.004	0.01
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.837	0.837	0.837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075	0.075	0.075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075	0.075	0.075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.898	0.898	0.898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	0.081	0.081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	0.081	0.081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84	0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84	0.84
Conductivity	W/m-K	0.9	0.9	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance				
Solar Diffusing				
Young's modulus	Pa			
Poisson's ratio				
Window Glass Spectral and Incident Angle Transmittance Data Set Table Name				
Window Glass Spectral and Incident Angle Front Reflectance Data Set Table Name				
Window Glass Spectral and Incident Angle Back Reflectance Data Set Table Name				

Fonte: Autoria própria

Em *Construction* (Figura 33), a partir dos materiais construtivos previamente cadastrados, foram configuradas as composições das superfícies da edificação, exibidas na Tabela 03, com referência principal no projeto arquitetônico.

Figura 33 - Classe *Construction*, Centro de Pesquisa

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site.Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0006] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] **WindowMaterial:Glazing**
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] **Construction**
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVAC:template:Thermostat
- [0036] HVAC:template:Zone:Unitary
- [0036] HVAC:template:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] UtilityCost:Tariff
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] Output:Control:Table:Style
- [0002] Output:Variable

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Start with outside layer and work your way to the inside layer
Up to 10 layers total, 8 for windows
Enter the material name for each layer

Field Description:

Field	Units	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15
Name		Interior Window	Exterior Door	Interior Door	Glass Door	Exterior Wall (front)	Exterior Floor (lab)	Interior Floor (lab)	Exterior Window (shalls)
Outside Layer		Vidro incolor 4 mm	Aluminio 3 cm	Madeira compensado 3 cm	Vidro temperado 10 mm	Revestimento ceramico 6 mm (39%; 28Perola 61%; 11Jade)	Concreto amado 20 cm	Concreto amado 20 cm	Aluminio 3 cm
Layer 2						Argamassa 2.5 cm	Concreto polido 8 mm	Concreto polido 8 mm	
Layer 3						Bloco ceramico vazado 9 cm			
Layer 4						Argamassa 2.5 cm			
Layer 5									
Layer 6									
Layer 7									
Layer 8									
Layer 9									
Layer 10									

Fonte: Autoria própria

Tabela 03 - Composição das superfícies - Classe *Construction*, Centro de Pesquisa

Superfícies	Camada externa	Camada interna 01	Camada interna 02	Camada interna 03
<i>Exterior Floor</i> (Piso externo)	Concreto armado 20 cm	Piso ceramico 8 mm	-	-
<i>Interior Floor</i> (Piso interno)	Concreto armado 20 cm	Piso ceramico 8 mm	-	-
<i>Exterior Wall</i> (Parede externa)	Revestimento ceramico 6 mm (100% 28Perola)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm
<i>Interior Wall</i> (Parede interna)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm	-
<i>Exterior Roof</i> (Telhado externo)	Telha aco 0.1 cm	Espuma poliuretano 4 cm	Telha aco 0.1 cm	-
<i>Interior Ceiling</i> (Teto interno)	Forro la mineral 13 mm	-	-	-
<i>Exterior Window</i> (Janela externa)	Vidro incolor 4 mm	-	-	-
<i>Interior Window</i> (Janela interna)	Vidro incolor 4 mm	-	-	-
<i>Exterior Door</i> (Porta externa)	Aluminio 3 cm	-	-	-
<i>Interior Door</i> (Porta interna)	Madeira compensado 3 cm	-	-	-
<i>Glass Door</i> (Porta de vidro)	Vidro temperado 10 mm	-	-	-
<i>Exterior Wall (norte)</i> (Parede externa)	Revestimento ceramico 6 mm (39% 28Perola 61% 11Jade)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm
<i>Exterior Floor (labs)</i> (Piso externo)	Concreto armado 20 cm	Concreto polido 8 mm	-	-
<i>Interior Floor (labs)</i> (Piso interno)	Concreto armado 20 cm	Concreto polido 8 mm	-	-
<i>Exterior Window (shafts)</i> (Janela externa)	Aluminio 3 cm	-	-	-

Fonte: Autoria própria

Além do conjunto padrão do *software*, *Exterior Floor-Interior Door*, foi necessário criar outras superfícies para atender a demandas específicas, como em *Exterior Wall (norte)*, cujo revestimento externo tem uma cor diferente, e em *Exterior/Interior Floor (labs)*, já que o piso dos laboratórios tem acabamento em concreto polido em vez de revestimento cerâmico.

Em *Zone* (Figura 34), constam as 48 zonas térmicas modeladas para o Centro de Pesquisa, já listadas anteriormente no Quadro 01; os campos altura do teto, volume, área do piso etc. são calculados automaticamente pelo EnergyPlus™. De todas as zonas, apenas “CP Coberta” não tem sua área computada no valor total da área construída da edificação. Em *ZoneList* (Figura 35), com vistas a facilitar a vinculação dos ganhos térmicos internos a serem definidos nas classes *People*, *Lights* e *ElectricEquipment*, foram criados grupos de zonas térmicas: “ZonasSalas” (42), “ZonasCirculacoes” (3) e “ZonasOutras” (3).

Figura 34 - Classe *Zone*, Centro de Pesquisa

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Defines a thermal zone of the building. Every zone contains one or more Spaces. Space is an optional input. If a Zone has no Space(s) specified in input then a default Space named <Zone Name> will be created. If some surfaces in a Zone are assigned to a space and some are not, then a default Space named <Zone Name>-Remainder will be created. Input references to Space Names must have a matching Space object. (default space names may not be referenced except in output variable keys)

Field	Units	Obj40	Obj41	Obj42	Obj43	Obj44	Obj45	Obj46	Obj47	Obj49
Name		CP11 Shaft 02	CP11 Escadas	CPT Circulacao	CPT Circulacao	CP1 Lab 05 - Inteligencia Artificial	CPT Sala de Pesquisador 05	CP1 Lab 07 - Radiologia	CP1 Sala de Pesquisador 14	CP Coberta
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X Origin	m	131.667546	117.75955	118.688013	118.688014	150.506431	130.221976	144.677057	124.378126	115.126073
Y Origin	m	36.029197	50.289767	41.603489	41.603491	44.517614	49.952771	46.079544	51.519826	40.461499
Z Origin	m	6.400019	6.300024	3.800019	6.30002	3.800016	0.550015	3.800015	3.800015	6.400012
Type		Multiple	1	1	1	1	1	1	1	1
Ceiling Height	m									
Volume	m3									
Floor Area	m2									
Zone Inside Convection Algorithm										
Zone Outside Convection Algorithm										
Part of Total Floor Area										No

Fonte: Autoria própria

Figura 35 - Classe *ZoneList*, Centro de Pesquisa

Object Description: Defines a list of thermal zones which can be referenced as a group. The ZoneList may be used elsewhere in the input to apply a parameter to all zones in the list. ZoneLists can be used effectively with the following objects: People, Lights, ElectricEquipment, GasEquipment, HotWaterEquipment, ZoneInfiltration:DesignFlowRate, ZoneVentilation:DesignFlowRate, Sizing:Zone, ZoneControl:Thermostat, and others.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		ZonasSalas	ZonasCirculacoes	ZonasOutras
Zone 1 Name		CP1 Almoxarifado	CPT1 Escadas	CPT1 Shaft 01
Zone 2 Name		CP1 Armario DML	CPT Circulacao	CPT1 Shaft 02
Zone 3 Name		CP1 Auditorio	CPT Circulacao	CP Coberta
Zone 4 Name		CP1 Lab 08 - ArqDesign		
Zone 5 Name		CP1 Lab 09 - Microbiologia		
Zone 6 Name		CP1 Lab 10 - Sistema Informacao		
Zone 7 Name		CP1 Sala de Estudos		
Zone 8 Name		CP1 Sala de Pesquisador 08		
Zone 9 Name		CP1 Sala de Pesquisador 09		
Zone 10 Name		CP1 Sala de Pesquisador 10		
Zone 11 Name		CP1 Sala de Pesquisador 11		
Zone 12 Name		CP1 Sala de Pesquisador 12		
Zone 13 Name		CP1 Sala de Pesquisador 13		
Zone 14 Name		CP1 Sala de Reuniao e Projecao		
Zone 15 Name		CP1 W/C Acessivel		
Zone 16 Name		CP1 W/C Feminino		
Zone 17 Name		CP1 W/C Masculino		
Zone 18 Name		CPT Administracao		

Fonte: Autoria própria

Em *BuildingSurface:Detailed* (Figura 36), constam as 445 superfícies modeladas. Para cada uma delas, há informações como o tipo de superfície (parede, piso, teto ou coberta); composição dos materiais definida em *Construction* (parede/piso interno ou externo etc.); nome da zona térmica associada; condição de limitação espacial, que indica se a superfície é limitada por outra superfície, voltada ao ambiente externo, adiabática ou limitada por uma zona térmica; exposição ao sol/vento; e coordenadas dos vértices. Em *FenestrationSurface:Detailed* (Figura 37), constam as 206 sub-superfícies modeladas, cujas informações principais são: tipo de sub-superfície (porta ou janela); composição dos materiais; código da superfície/parede associada; limitação espacial; e coordenadas dos vértices.

Figura 36 - Classe *BuildingSurface:Detailed*, Centro de Pesquisa

Field	Units	Obj436	Obj437	Obj438	Obj439	Obj440	Obj441	Obj442	Obj443	Obj444	Obj445
Name		1F9330	DAB368	33016E	FD9608	FE6EDC	D60886	18EDB5	19340D	44BE25	110004
Surface Type		Wall	Ceiling	Wall	Wall	Wall	Wall	Roof	Roof	Wall	Wall
Construction Name		Interior Wall	Interior Ceiling	Exterior Wall	Exterior Wall	Exterior Wall	Exterior Wall	Exterior Roof	Exterior Roof	Exterior Wall	Exterior Wall
Zone Name		CP1 Circulacao	CP1 Escadas	CP Coberta	CP Coberta	CP Coberta	CP Coberta	CP Coberta	CP Coberta	CP Coberta	CP Coberta
Outside Boundary Condition		Surface	Zone	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
Vertex 1 X-coordinate	m	1.961075378274	0.7505601704	4.84315843E+01	4.70321957E+01	-1.35439000E-07	4.12966421E+01	3.79125829E+01	4.723440778882	3.79125829E+01	4.723440778882
Vertex 1 Y-coordinate	m	2.37330137395	0.00000742617	5.916553313976	0.917887162669	-2.63252000E-07	2.470808177702	-1.01586725E+01	17.62811698378	-1.01586725E+01	17.62811698378
Vertex 1 Z-coordinate	m	0.09999939836	0.0999992814882	1.960007398299	1.960002548723	1.96	1.960005123412	1.96000739836	1.96000739836	1.96000739836	1.96000739836
Vertex 2 X-coordinate	m	1.961075276509	0.000004729764	4.84315844E+01	47.052195938	0	4.12966422E+01	40.274358993	2.361720321722	3.79125830E+01	4.723440914321
Vertex 2 Y-coordinate	m	-2.50000096E+00	0.0999992814882	0.000007398299	0.000002548723	0	0.000005123412	1.16000660598	1.16000660598	0.00000739836	0.00000739836
Vertex 2 Z-coordinate	m	0.72463452384	4.27422189357	4.723440914321	4.84315844E+01	3.79125830E+01	47.092195938	4.71232321722	40.274358993	4.12966422E+01	0
Vertex 3 X-coordinate	m	2.704588884157	-1.14526484E+00	1.76281173E+01	5.91655383301	-1.01986722E+01	0.917887431984	8.814058357227	-1.34460228E+00	2.470808447027	0
Vertex 3 Y-coordinate	m	-2.50000051E+00	0.099999513308	0.000007398299	0.000007398299	0.00000739836	0.000002548723	1.16000660598	0.000005123412	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0.72463452384	5.0324761460031	4.723440778882	4.84315843E+01	3.79125830E+01	4.70321957E+01	-1.35439000E-07	4.26361288E+01	4.12966421E+01	-1.35439000E-07
Vertex 4 X-coordinate	m	2.704588322329	1.65932613543	17.62811698378	5.91655311976	-1.01986725E+01	0.917887162669	-2.63252000E-07	7.454467844449	2.470808241876	-2.63252000E-07
Vertex 4 Y-coordinate	m	0.099999486806	0.0999999182424	1.960007398301	1.960007398299	1.96000739836	1.96000548723	1.96	1.960006604329	1.50630487456	1.96
Vertex 5 X-coordinate	m									40.274358993	2.361720321722
Vertex 5 Y-coordinate	m									-1.34460228E+00	8.814058357227
Vertex 5 Z-coordinate	m									1.16000660598	1.16000660598

Fonte: Autoria própria

Figura 37 - Classe *FenestrationSurface:Detailed*, Centro de Pesquisa

Field	Units	Obj197	Obj198	Obj199	Obj200	Obj201	Obj202	Obj203	Obj204	Obj205	Obj206
Name		813FC8	F8635A	CE08B5	584159	8596C3	6F3FEE	FBFE82	40BF25	EF8916	E0C745
Surface Type		Door	Door	Door	Door	Window	Window	Window	Window	Window	Window
Construction Name		Interior Door	Interior Door	Interior Door	Interior Door	Glass Door	Glass Door	Exterior Window	Glass Door	Glass Door	Exterior Window
Building Surface Name		37B0E5	37B0E5	1F9330	9EFD3E	C3C7F8	C3C7F8	C3C7F8	540FA1	540FA1	540FA1
Outside Boundary Condition Object				B8330A							
View Factor to Ground											
Frame and Divider Name											
Multiplier											
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	3.326455765324	2.338285677687	1.888623319551	5.61766739301	36.98671420757	3.69867142E+01	3.71778669E+01	3.69867153E+01	3.69867153E+01	3.71778796E+01
Vertex 1 Y-coordinate	m	7.468530064674	6.019623895702	2.392712527139	9.934545383331	-1.46270329E+00	-1.46270329E+00	1.265998971192	-1.46270712024	-1.46270704E+00	1.266032548845
Vertex 1 Z-coordinate	m	4.00002029E-01	-4.00001608E-01	-4.00000595E-01	4.00002801E-01	4.00000308E-01	0.089997635576	4.00002629E-01	-1.1495992E+00	-0.99999618E-01	-1.15000391E+00
Vertex 2 X-coordinate	m	3.326455765324	2.338285677687	1.888623229584	5.617667279704	36.98671420757	3.69867142E+01	3.71778669E+01	3.69867153E+01	3.69867153E+01	3.717787957639
Vertex 2 Y-coordinate	m	7.468530064674	6.019623895702	2.392712168973	9.934549025066	-1.46270329E+00	-1.46270329E+00	1.265998971192	-1.46270711E+00	-1.46270704E+00	1.266032650085
Vertex 2 Z-coordinate	m	-2.50000411E+00	-2.5000013E+00	-2.50000035E+00	-2.50000280281	-2.49000131E+00	-3.90002689E-01	-2.49000287E+00	-3.24000095E-01	-1.14000399E+00	-3.2400039888
Vertex 3 X-coordinate	m	3.08578973458	2.7285977954	0.99032263038	4.748334051725	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01
Vertex 3 Y-coordinate	m	6.570209492182	5.40143036915	2.633413914039	1.01674862E+01	6.03697943E+01	1.319157093797	6.12632950E+01	1.319159372163	1.319159372163	1.319159870542
Vertex 3 Z-coordinate	m	-2.50000411E+00	-2.5000013E+00	-2.50000035E+00	-2.50000280281	-2.49000131E+00	-3.90002689E-01	-2.49000287E+00	-3.24000095E-01	-1.14000399E+00	-3.2400039888
Vertex 4 X-coordinate	m	3.08578973458	2.7285977954	0.990322159036	4.748334147723	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01	3.72168856E+01
Vertex 4 Y-coordinate	m	6.570209492182	5.40143036915	2.63341227034	1.01674865E+01	6.03697943E+01	1.319157093797	6.12632953E+01	1.319159370388	1.319159370388	1.319159895903
Vertex 4 Z-coordinate	m	-4.00002006E-01	-4.00001608E-01	-4.00000595E-01	-4.00002801E-01	-4.00000308E-01	0.089997626576	-4.00002629E-01	-1.14959962E+00	-0.99999618E-01	-1.15000391E+00

Fonte: Autoria própria

Em *Shading:Building:Detailed* (Figura 38), constam as 116 superfícies de sombreamento modeladas. Seu detalhamento é mais simples que as classes anteriores, apresentando basicamente as coordenadas de seus vértices.

Figura 38 - Classe *Shading:Building:Detailed*, Centro de Pesquisa

The screenshot shows a software interface with a 'Class List' on the left and a main table of object data. The 'Class List' includes items like 'SimulationControl', 'Building', 'SiteLocation', 'Material', and 'Shading:Building:Detailed'. The main table has columns for 'Name', 'Units', and 16 object IDs (Obt106 to Obt116). The 'Obt115' row is highlighted in blue.

Name	Units	Obt106	Obt107	Obt108	Obt109	Obt110	Obt111	Obt112	Obt113	Obt114	Obt115	Obt116
Transmittance Schedule Name		854CA2	907595	F594AA	1E6F66	3031A0	CF4D9B	7E520B	553902	D428C9	B33837	4E4809
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	1.39211821E+02	1.32546933E+02	1.34768962E+02	1.30325304E+02	1.29103679E+02	1.25882045E+02	1.23660416E+02	1.21438787E+02	1.56422719E+02	1.62218269E+02	1.63957657E+02
Vertex 1 Y-coordinate	m	3.82980119E+01	4.00838659E+01	3.94889810E+01	4.06791501E+01	4.12744347E+01	4.18697193E+01	4.24650038E+01	4.30603884E+01	4.23323076E+01	4.13793866E+01	4.63789525E+01
Vertex 1 Z-coordinate	m	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24	8.19639529E+24
Vertex 2 X-coordinate	m	1.40243144E+02	1.33578259E+02	1.35798896E+02	1.31356627E+02	1.29134998E+02	1.25913368E+02	1.24691739E+02	1.22470110E+02	1.56422719E+02	1.62218269E+02	1.63957657E+02
Vertex 2 Y-coordinate	m	4.21485950E+01	4.39328048E+01	4.33375200E+01	4.45280892E+01	4.51233737E+01	4.57186583E+01	4.63139429E+01	4.69092274E+01	4.29323076E+01	4.13793866E+01	4.63789525E+01
Vertex 2 Z-coordinate	m	7.84735370E+24	7.847353041925	7.847353262452	7.847352821399	7.847352600873	7.847352380347	7.847352159821	7.847351939234	8.360017123412	8.360014548723	8.360013398299
Vertex 3 X-coordinate	m	1.38794255E+02	1.32129367E+02	1.34350997E+02	1.29907738E+02	1.27686109E+02	1.25464480E+02	1.23242891E+02	1.21021221E+02	1.62218269E+02	1.63957657E+02	1.57762102E+02
Vertex 3 Y-coordinate	m	4.25351800E+01	4.43210337E+01	4.37257491E+01	4.49163182E+01	4.55116028E+01	4.61068874E+01	4.67021719E+01	4.72974565E+01	4.13793866E+01	4.63789525E+01	4.79398696E+01
Vertex 3 Z-coordinate	m	7.847352698883	7.8473526989104	7.84735311863	7.847352677579	7.8473524537952	7.847352238525	7.847352015599	7.847351794473	8.360014548723	8.360013398299	8.360018003293
Vertex 4 X-coordinate	m	1.37762932E+02	1.31098044E+02	1.33319674E+02	1.28876415E+02	1.26654786E+02	1.24433157E+02	1.22211528E+02	1.19989898E+02	1.62218269E+02	1.63957657E+02	1.57762102E+02
Vertex 4 Y-coordinate	m	3.86882410E+01	4.04720948E+01	3.98768101E+01	4.10677392E+01	4.16626638E+01	4.22579483E+01	4.28532329E+01	4.34485179E+01	4.13793866E+01	4.63789525E+01	4.79398696E+01
Vertex 4 Z-coordinate	m	8.196639154402	8.196697432824	8.19669771335	8.196697272298	8.196697051771	8.196696831245	8.196696610719	8.196696390193	9.210019006274	9.210020091444	9.210022324954
Vertex 5 X-coordinate	m											
Vertex 5 Y-coordinate	m											
Vertex 5 Z-coordinate	m											
Vertex 6 X-coordinate	m											
Vertex 6 Y-coordinate	m											
Vertex 6 Z-coordinate	m											

Fonte: Autoria própria

Em *People* (Figura 39), foi estimado o ganho térmico interno proveniente da atividade física dos ocupantes dos ambientes que compõem a edificação: “People1” associa ao conjunto “ZonasSalas” (*ZoneList*), durante o período da rotina “HorarioFuncionamento” (*Schedule:Compact*), a taxa metabólica definida na rotina “AtividadeSalas” (*Schedule:Compact*); de modo análogo, “People2” associa a “ZonasCirculacoes”, durante o “HorarioFuncionamento”, o nível de taxa metabólica de “AtividadeCirculacoes”. Ainda sobre a classe *People*, foram definidos os valores de área para cada ocupante (m^2 /pessoa), de modo que o *software* pudesse totalizar o ganho térmico em cada zona. Apesar de terem sido consultadas as “Diretrizes para Elaboração de Projetos de Arquitetura e Engenharia da Rede Federal de EPCT” (MEC, 2024), os ambientes apresentam finalidades diversas (salas de aula, laboratórios, escritórios, salas de apoio etc.), logo foram vinculados os valores médios de 2 m^2 /pessoa para “ZonasSalas” e 4 m^2 /pessoa para “ZonasCirculacoes”. Soma-se a este argumento o fato de que o objetivo da pesquisa não foi explorar a influência das particularidades do uso de cada edificação, mas sim de suas características físicas.

Figura 39 - Classe *People*

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0008] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] **People**
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0036] HVACTemplate:Zone:Unitary
- [0036] HVACTemplate:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] UtilityCost:Tariff
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0002] Output:Variable

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Sets internal gains and contaminant rates for occupants in the zone. If a ZoneList, SpaceList, or a Zone comprised of more than one Space is specified then this definition applies to all applicable spaces, and each instance will be named with the Space Name plus this Object Name.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		People1	People2
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		ZonasSalas	ZonasCirculacoes
Number of People Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Number of People Calculation Method		Area/Person	Area/Person
Number of People			
People per Floor Area	person/m2		
Floor Area per Person	m2/person	2	4
Fraction Radiant		0,3	0,3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		AtividadeSalas	AtividadeCirculacoes
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0,0000000382	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name			
Work Efficiency Schedule Name			
Clothing Insulation Calculation Method			
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name			
Clothing Insulation Schedule Name			
Air Velocity Schedule Name			
Thermal Comfort Model 1 Type			
Thermal Comfort Model 2 Type			
Thermal Comfort Model 3 Type			
Thermal Comfort Model 4 Type			
Thermal Comfort Model 5 Type			
Thermal Comfort Model 6 Type			
Thermal Comfort Model 7 Type			
Ankle Level Air Velocity Schedule Name			

Fonte: Autoria própria

Similar à classe anterior, em *Lights* (Figura 40) e *ElectricEquipment* (Figura 41), são estimados os níveis de ganho térmico interno associados às cargas de iluminação e de equipamentos elétricos, respectivamente. A partir de observações *in loco* e da experiência do autor, foram consideradas as seguintes densidades de potência de iluminação: 10 W/m² para “ZonasSalas” e 5 W/m² para “ZonasCirculacoes”; e de potência de equipamentos elétricos: 2 W/m² para “ZonasSalas”. Todos os ganhos térmicos parametrizados foram definidos para a mesma rotina “HorarioFuncionamento”.

Figura 40 - Classe *Lights*

The screenshot shows the Revit interface with the 'Class List' on the left and 'Comments from IDF' on the right. The 'Lights' class is selected in the list. The 'Comments from IDF' pane displays the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of fields.

Class List (Selected: Lights)

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0008] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights**
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0036] HVACTemplate:Zone:Unitary
- [0036] HVACTemplate:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] UtilityCost:Tariff
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0002] Output:Variable

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Sets internal gains for lights in the zone. If a ZoneList, SpaceList, or a Zone comprised of more than one Space is specified then this definition applies to all applicable spaces, and each instance will be named with the Space Name plus this Object Name.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Lights1	Lights2
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		ZonasSalas	ZonasCirculacoes
Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W		
Watts per Zone Floor Area	W/m2	10	5
Watts per Person	W/person		
Return Air Fraction			
Fraction Radiant			
Fraction Visible			
Fraction Replaceable		1	1
End-Use Subcategory		General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 1			
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 2	1/K		
Return Air Heat Gain Node Name			
Exhaust Air Heat Gain Node Name			

Fonte: Autoria própria

Figura 41 - Classe *ElectricEquipment*

The screenshot shows the Revit interface with the 'Class List' on the left and 'Comments from IDF' on the right. The 'ElectricEquipment' class is selected in the list. The 'Comments from IDF' pane displays the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of fields.

Class List (Selected: ElectricEquipment)

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0008] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment**
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0036] HVACTemplate:Zone:Unitary
- [0036] HVACTemplate:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] UtilityCost:Tariff
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0002] Output:Variable

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Sets internal gains for electric equipment in the zone. If a ZoneList, SpaceList, or a Zone comprised of more than one Space is specified then this definition applies to all applicable spaces, and each instance will be named with the Space Name plus this Object Name.

Field	Units	Obj1
Name		ElectricEquip1
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		ZonasSalas
Schedule Name		HorarioFuncionamento
Design Level Calculation Method		Watts/Area
Design Level	W	
Watts per Zone Floor Area	W/m2	2
Watts per Person	W/person	
Fraction Latent		
Fraction Radiant		
Fraction Lost		
End-Use Subcategory		General

Fonte: Autoria própria

Em *HVACTemplate:Thermostat* (Figura 42), foi definido o intervalo de temperatura a ser considerado posteriormente na classe *HVACTemplate:Zone:Unitary*, onde foi configurado o sistema de climatização de cada zona térmica. A temperatura limite (*setpoint*) para acionamento da função de refrigeração foi ajustada para 23 °C, com base no intervalo de conforto térmico previsto na Norma Regulamentadora nº 17 - Ergonomia (MTE, 2022); já o *setpoint* para o aquecimento foi de 5 °C, o que na prática serviu para inabilitar esta função, considerando o histórico de temperatura na cidade do Recife.

Figura 42 - Classe *HVACTemplate:Thermostat*

The screenshot displays the software interface for configuring the *HVACTemplate:Thermostat* class. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Jump, Window, Help) and a toolbar with buttons for 'New Obj', 'Dup Obj', 'Dup Obj + Chg', 'Del Obj', 'Copy Obj', and 'Paste Obj'. The main window is divided into two panes: 'Class List' on the left and 'Comments from IDF' on the right. The 'Class List' pane shows a list of object classes, with *HVACTemplate:Thermostat* selected. The 'Comments from IDF' pane displays the object description and field description for the selected class. The object description states: 'Object Description: Zone thermostat control. Referenced schedules must be defined elsewhere in the idf. Thermostat control type is dual setpoint with deadband. It is not necessary to create a thermostat object for every zone, only for each unique set of setpoint schedules. For example, an office building may have two thermostat objects, one for "Office" and one for "Storage".' The field description states: 'Field Description: This name is referenced by HVACTemplate:Zone:* objects ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.' Below the field description is a table with the following data:

Field	Units	Obj1
Name		Setpoint Geral
Heating Setpoint Schedule Name		
Constant Heating Setpoint	C	5
Cooling Setpoint Schedule Name		
Constant Cooling Setpoint	C	23

Fonte: Autoria própria

Em *HVACTemplate:Zone:Unitary* (Figura 43) e *HVACTemplate:System:Unitary* (Figura 44), foram criados os sistemas/equipamentos de climatização e vinculados às respectivas zonas térmicas. São 36 zonas climatizadas (1.173,31 m²) dentre as 48 no total, excluindo zonas como coberta (1), circulações (2), escadas (1), *shafts* (2) e banheiros (6). Cada sistema foi criado e vinculado individualmente, mas suas informações técnicas foram

mantidas no padrão do EnergyPlus™, seguindo o argumento já comentado de concentrar a análise na influência das características construtivas, além da inviabilidade de acessar os dados técnicos necessários para todos os equipamentos existentes na edificação.

Figura 43 - Classe *HVACTemplate:Zone:Unitary*, Centro de Pesquisa

Field	Units	Ob32	Ob33	Ob34	Ob35	Ob36
Zone Name		CPT Sala de Pesquisador 07	CP1 Lab 06 - Inteligencia Artificial	CPT Sala de Pesquisador 05	CP1 Lab 07 - Radiologia	CP1 Sala de Pesquisador 14
Template Unitary System Name		Ar CPT Sala de Pesquisador 07	Ar CP1 Lab 06 - Inteligencia Artificial	Ar CPT Sala de Pesquisador 05	Ar CP1 Lab 07 - Radiologia	Ar CP1 Sala de Pesquisador 14
Template Thermostat Name		Setpoint Geral	Setpoint Geral	Setpoint Geral	Setpoint Geral	Setpoint Geral
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Heating Sizing Factor						
Zone Cooling Sizing Factor						
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00944	0.00944	0.00944	0.00944	0.00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2					
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s					
Supply Plenum Name						
Return Plenum Name						
Baseboard Heating Type		None	None	None	None	None
Baseboard Heating Availability Schedule Name		autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		SystemSupplyAirTemperature	SystemSupplyAirTemperature	SystemSupplyAirTemperature	SystemSupplyAirTemperature	SystemSupplyAirTemperature
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	11.11	11.11	11.11	11.11	11.11
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	30	30	30	30	30
Design Specification Outdoor Air Object Name						
Design Specification Zone Air Distribution Object Name						

Fonte: Autoria própria

Figura 44 - Classe *HVACTemplate:System:Unitary*, Centro de Pesquisa

Field	Units	Ob32	Ob33	Ob34	Ob35	Ob36
Name		Ar CPT Sala de Pesquisador 07	Ar CP1 Lab 06 - Inteligencia Artificial	Ar CPT Sala de Pesquisador 05	Ar CP1 Lab 07 - Radiologia	Ar CP1 Sala de Pesquisador 14
System Availability Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Control Zone or Thermostat Location Name		CPT Sala de Pesquisador 07	CP1 Lab 06 - Inteligencia Artificial	CPT Sala de Pesquisador 05	CP1 Lab 07 - Radiologia	CP1 Sala de Pesquisador 14
Supply Fan Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary
Supply Fan Total Efficiency		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	600	600	600	600	600
Supply Fan Motor Efficiency		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1	1	1	1	1
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX
Cooling Coil Availability Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Cooling Design Supply Air Temperature	C	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated COP	W/W	3	3	3	3	3
Heating Coil Type		Electric	Electric	Electric	Electric	Electric
Heating Coil Availability Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50
Heating Coil Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Gas Heating Coil Efficiency		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Maximum Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Minimum Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Minimum Outdoor Air Schedule Name		NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer
Economizer Type		NoLockout	NoLockout	NoLockout	NoLockout	NoLockout
Economizer Lockout		NoLockout	NoLockout	NoLockout	NoLockout	NoLockout

Fonte: Autoria própria

Em *UtilityCost:Tariff* (Figura 45) e *UtilityCost:Charge:Simple* (Figura 46), foi configurada a tarifa para o consumo de energia elétrica. A tarifa de R\$ 0,53871717 / KWh foi extraída da fatura de energia elétrica de junho/2025 do IFPE Campus Recife - unidade consumidora da categoria A4, modalidade horossazonal verde -, considerando a soma das

Tarifas de Energia (TE) e de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) para o consumo fora da ponta, período compatível com a rotina “HorarioFuncionamento” (8-12h e 13-17h), complementar ao horário na ponta (17h30-20h30).

Figura 45 - Classe *UtilityCost:Tariff*

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0008] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0036] HVACTemplate:Zone:Unitary
- [0036] HVACTemplate:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] **UtilityCost:Tariff**
- [0001] UtilityCost:Charge:Simple
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0002] Output:Variable

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Defines the name of a utility cost tariff, the type of tariff, and other details about the overall tariff. Each other object that is part of the tariff model references the tariff name. See UtilityCost:Charge:Simple, UtilityCost:Charge:Block, UtilityCost:Ratchet, UtilityCost:Quality, UtilityCost:Variable and UtilityCost:Computation objects.

Field Description: The name of the tariff. Tariffs are sometimes called rates. The name is used ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Neoenergia A4 Verde
Output Meter Name		Electricity:Facility
Conversion Factor Choice		kWh
Energy Conversion Factor		
Demand Conversion Factor		
Time of Use Period Schedule Name		EnergiaForaPico
Season Schedule Name		EnergiaEstacao
Month Schedule Name		
Demand Window Length		QuarterHour
Monthly Charge or Variable Name		
Minimum Monthly Charge or Variable Name		
Real Time Pricing Charge Schedule Name		
Customer Baseline Load Schedule Name		
Group Name		A4
Buy Or Sell		BuyFromUtility

Fonte: Autoria própria

Figura 46 - Classe *UtilityCost:Charge:Simple*

Class List

- [0001] Version
- [0001] SimulationControl
- [0001] Building
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] Timestep
- [0001] Site:Location
- [0018] SizingPeriod:DesignDay
- [0001] RunPeriod
- [0010] RunPeriodControl:SpecialDays
- [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface
- [0008] ScheduleTypeLimits
- [0020] Schedule:Compact
- [0001] Schedule:Constant
- [0022] Material
- [0002] Material:AirGap
- [0003] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0015] Construction
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0048] Zone
- [0003] ZoneList
- [0445] BuildingSurface:Detailed
- [0206] FenestrationSurface:Detailed
- [0116] Shading:Building:Detailed
- [0002] People
- [0002] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] HVACTemplate:Thermostat
- [0036] HVACTemplate:Zone:Unitary
- [0036] HVACTemplate:System:Unitary
- [0001] CurrencyType
- [0001] **UtilityCost:Tariff**
- [0001] **UtilityCost:Charge:Simple**
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] Output:Table:Monthly
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0002] Output:Variable

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: UtilityCost:Charge:Simple is one of the most often used objects for tariff calculation. It is used to compute energy and demand charges that are very simple. It may also be used for taxes, surcharges and any other charges that occur on a utility bill. Multiple UtilityCost:Charge:Simple objects may be defined for a single tariff and they will be added together.

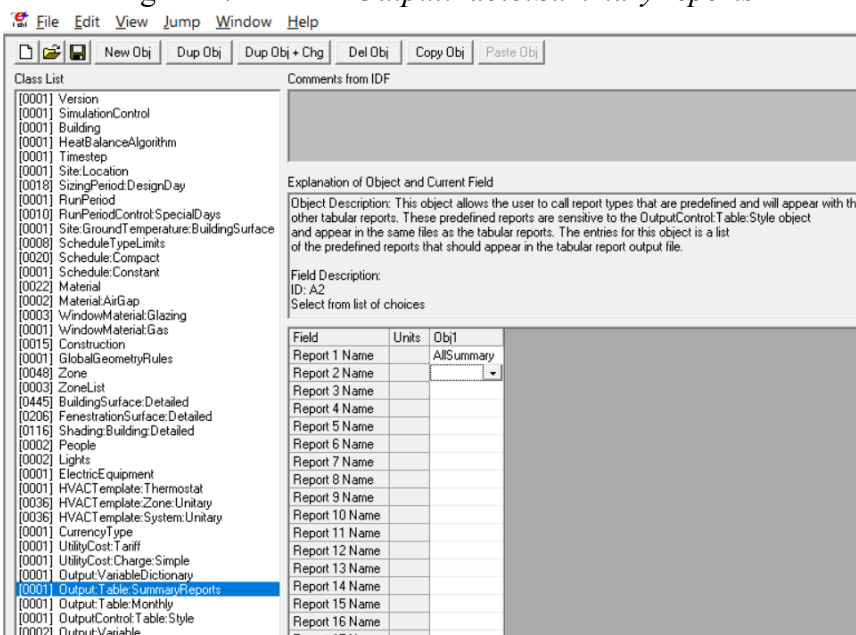
Field Description: Charge Variable Name This is the name associated with the UtilityCost:Charge:Simple results may be used for further calculation. Spaces are not significant in Charge variable name ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Utility Cost Charge Simple Name		ConsumoBandVerde
Tariff Name		Neoenergia A4 Verde
Source Variable		offPeakEnergy
Season		Annual
Category Variable Name		EnergyCharges
Cost per Unit Value or Variable Name		0.53871717

Fonte: Autoria própria

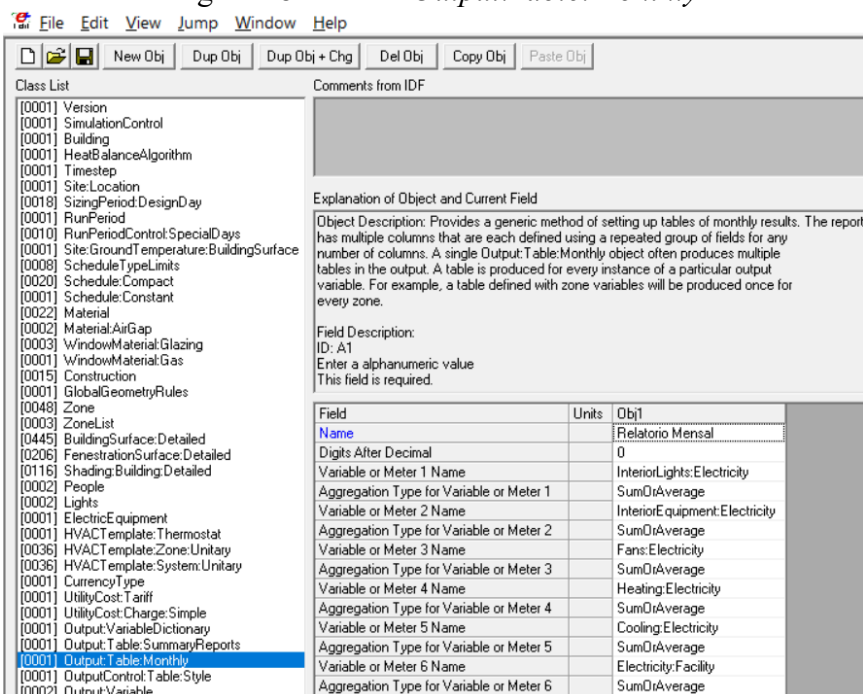
Em *Output:Table:SummaryReports* (Figura 47) e *Output:Table:Monthly* (Figura 48), foi solicitado o relatório completo (*AllSummary*) para o período anual configurado na classe *RunPeriod*, além dos relatórios mensais de algumas variáveis de interesse, como o consumo de energia elétrica por classe de uso, especialmente daquelas que compõem o sistema HVAC: aquecimento, ventilação e refrigeração.

Figura 47 - Classe *Output:Table:SummaryReports*



Fonte: Autoria própria

Figura 48 - Classe *Output:Table:Monthly*



Fonte: Autoria própria

5.2 PARAMETRIZAÇÃO - BLOCO F

Neste tópico serão explorados os parâmetros para a simulação termoenergética do Bloco F, mas apenas aqueles que se diferem do Centro de Pesquisa. As classes relacionadas ao controle da simulação, localidade, rotinas, densidade de ocupantes e cargas elétricas, sistemas de climatização, entre outras, foram mantidas propositalmente iguais, sendo as principais divergências associadas à modelagem tridimensional das zonas térmicas e superfícies de sombreamento, ou seja, a distribuição física da edificação, além de seus materiais construtivos.

Em *Material* (Figura 49), considerando que os Objetos 1-10 são padrões e foram mantidos apenas como referência, foram cadastrados os materiais construtivos, Objetos 11-19, a serem posteriormente associados através da classe *Construction* a cada superfície: paredes, pisos, tetos etc. A Tabela 04 apresenta os materiais e suas propriedades térmicas; a rugosidade é a única propriedade qualitativa, que vai de *VerySmooth* (muito liso) a *VeryRough* (muito rugoso); as demais propriedades são quantitativas.

Figura 49 - Classe *Material*, Bloco F

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. On the left, a 'Class List' pane shows various object classes, with 'Material' selected. The main window displays 'Comments from IDF' and an 'Explanation of Object and Current Field' section. Below this, a table lists the thermal properties for nine different material objects (Obj13 to Obj19).

Field	Units	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16	Obj17	Obj18	Obj19
Name		Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Concreto armado 20 cm	Concreto polido 8 mm	Madeira compensado 3 cm	Concreto armado 10 cm	Revestimento ceramico 5 mm (100% 06Branco)
Roughness		Rough	VeryRough	MediumRough	Smooth	MediumSmooth	MediumRough	Smooth
Thickness	m	0.025	0.09	0.2	0.008	0.03	0.1	0.006
Conductivity	W/m.K	1	0.7	2.3	1.15	0.17	2.3	1.3
Density	kg/m3	1125	1150	2300	1800	700	2300	2300
Specific Heat	J/kg.K	1000	920	1000	1000	1600	1000	840
Thermal Absorptance		0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.86
Solar Absorptance		0.158	0.646	0.745	0.745	0.158	0.745	0.158
Visible Absorptance		0.158	0.646	0.745	0.745	0.158	0.745	0.158

Fonte: Autoria própria

Tabela 04 - Cadastro dos materiais construtivos - Classe *Material*, Bloco F

Objeto/ Material	Rugosidade	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/Kg.K)	Absortância térmica/ Emissividade	Absortância solar/visível
Telha fibrocimento 5 mm	<i>Rough</i>	0,65	1.600	840	0,93	0,745 (09 Concreto)
Revestimento ceramico 6 mm (70% 26Marfim 20% 31Terracota 10% 20Azul)	<i>Smooth</i>	1,30	2.300	840	0,86	0,454* (70% 26Marfim 20% 31Terracota 10% 20Azul)
Argamassa 2.5 cm	<i>Rough</i>	1,00	1.125	1.000	0,90	0,158 (06 Branco)
Bloco cerâmico vazado 9 cm	<i>Very Rough</i>	0,70	1.150	920	0,70	0,646 (17 Terracota)
Concreto armado 20 cm	<i>Medium Rough</i>	2,30	2.300	1.000	0,90	0,745 (09 Concreto)
Concreto polido 8 mm	<i>Smooth</i>	1,15	1.800	1.000	0,90	0,745 (09 Concreto)
Madeira compensado 3 cm	<i>Medium Smooth</i>	0,17	700	1.600	0,90	0,158 (06 Branco)
Concreto armado 10 cm	<i>Medium Rough</i>	2,30	2.300	1.000	0,90	0,745 (09 Concreto)
Revestimento ceramico 6 mm (100% 06Branco)	<i>Smooth</i>	1,30	2.300	840	0,86	0,158 (06 Branco)

* Proporção das cores definida para representar o revestimento cerâmico principal da edificação (Imagem 11)
Fonte: ABNT (2008), ABNT (2022), Brasilit (2021), CB3E (2022), INMETRO (2022), Melo (2018) e Nicolau
et al. (2008)

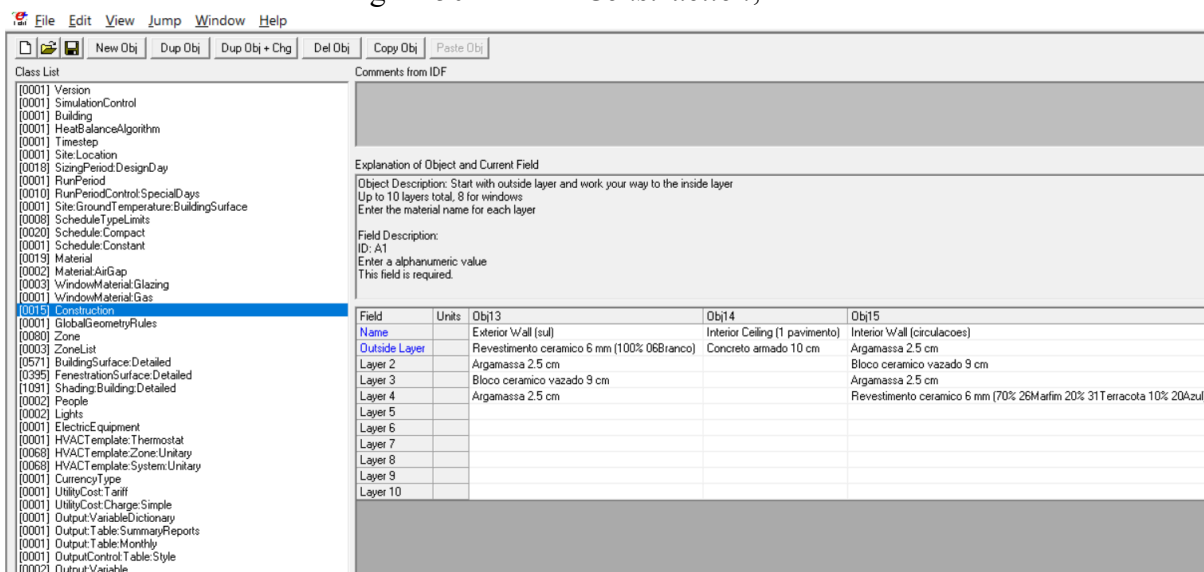
Imagem 11 - Padrão do revestimento cerâmico principal, Bloco F



Fonte: Autoria própria

Em *Construction* (Figura 50), a partir dos materiais construtivos previamente cadastrados, foram configuradas as composições das superfícies da edificação, exibidas na Tabela 05, com referência principal no projeto arquitetônico.

Figura 50 - Classe *Construction*, Bloco F



Fonte: Autoria própria

Tabela 05 - Composição das superfícies - Classe *Construction*, Bloco F

Superfícies	Camada externa	Camada interna 01	Camada interna 02	Camada interna 03	Camada interna 04
<i>Exterior Floor</i> (Piso externo)	Concreto armado 20 cm	Concreto polido 8 mm	-	-	-
<i>Interior Floor</i> (Piso interno)	Concreto armado 20 cm	Concreto polido 8 mm	-	-	-
<i>Exterior Wall</i> (Parede externa)	Revestimento ceramico 6 mm (70% 26Marfim 20% 31Terracota 10% 20Azul)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm	-
<i>Interior Wall</i> (Parede interna)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm	-	-
<i>Exterior Roof</i> (Telhado externo)	Telha fibrocimento 5 mm	-	-	-	-
<i>Interior Ceiling</i> (Teto interno)	Concreto polido 8 mm	Concreto armado 20 cm	-	-	-
<i>Exterior Window</i> (Janela externa)	Vidro incolor 4 mm	-	-	-	-

<i>Interior Window</i> (Janela interna)	Vidro incolor 4 mm	-	-	-	-
<i>Exterior Door</i> (Porta externa)	Madeira compensado 3 cm	-	-	-	-
<i>Interior Door</i> (Porta interna)	Madeira compensado 3 cm	-	-	-	-
<i>Glass Door</i> (Porta de vidro)	Vidro temperado 10 mm	-	-	-	-
<i>Exterior wall</i> (peitoril janelas)	Revestimento ceramico 6 mm (70% 26Marfim 20% 31Terracota 10% 20Azul)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm	Revestimento ceramico 6 mm (70% 26Marfim 20% 31Terracota 10% 20Azul)
<i>Exterior Wall (sul)</i>	Revestimento ceramico 6 mm (100% 06Branco)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm	-
<i>Interior Ceiling</i> (1 pavimento)	Concreto armado 10 cm	-	-	-	-
<i>Interior Wall</i> (circulacoes)	Argamassa 2.5 cm	Bloco ceramico vazado 9 cm	Argamassa 2.5 cm	Revestimento ceramico 6 mm (70% 26Marfim 20% 31Terracota 10% 20Azul)	-

Fonte: Autoria própria

Além do conjunto padrão do *software*, de *Exterior Floor* a *Interior Door*, foi necessário criar outras superfícies para atender a demandas específicas, como em *Exterior wall (peitoril janelas)*, com revestimento cerâmico nas camadas extremas externa e interna, e em *Interior Wall (circulacoes)*, pois o interior das circulações possui o mesmo revestimento das fachadas.

Em *Zone* (Figura 51), constam as 80 zonas térmicas modeladas para o Bloco F, já listadas anteriormente no Quadro 01; os campos altura do teto, volume, área do piso etc. são calculados automaticamente pelo EnergyPlus™. De todas as zonas, apenas “FL Coberta” e “FO Coberta” não têm suas áreas computadas no valor total da área construída da edificação. Em *ZoneList* (Figura 52), com vistas a facilitar a vinculação dos ganhos térmicos internos a serem definidos nas classes *People*, *Lights* e *ElectricEquipment*, foram criados grupos de zonas térmicas: “ZonasSalas” (74), “ZonasCirculacoes” (4) e “ZonasOutras” (2).

Figura 51 - Classe *Zone*, Bloco F

Class List

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Defines a thermal zone of the building. Every zone contains one or more Spaces. Space is an optional input. If a Zone has no Space(s) specified in input then a default Space named <Zone Name> will be created. If some surfaces in a Zone are assigned to a space and some are not, then a default Space named <Zone Name>-Fienvider will be created. Input references to Space Names must have a matching Space object (default space names may not be referenced except in output variable keys).

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj73	Obj74	Obj75	Obj76	Obj77	Obj78	Obj79	Obj80
Name		FOT Lab - Refrigeracao	FOT Sala de Aula F-20	FOT Sala de Aula F-19	FOT Sala de Aula F-18	FOT Lab - Topografia	FOT Circulacao 01	FO Coberta	FOT Circulacao 02
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0	0	0	0
X Origin	m	224.323797	219.140945	216.952795	213.964564	212.929288	222.247378	209.320125	221.212102
Y Origin	m	172.124532	152.781867	143.122609	133.463351	129.599648	131.242978	114.391358	127.380274
Z Origin	m	0,000019	0,000019	0,000019	0,000019	0,000019	0,000019	6,450016	0,000019
Type									
Multiplier		1	1	1	1	1	1	1	1
Ceiling Height	m								
Volume	m3								
Floor Area	m2								
Zone Inside Convection Algorithm									
Zone Outside Convection Algorithm									
Part of Total Floor Area								No	

Fonte: Autoria própria

Figura 52 - Classe *ZoneList*, Bloco F

Class List

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Defines a list of thermal zones which can be referenced as a group. The ZoneList name may be used elsewhere in the input to apply a parameter to all zones in the list. ZoneLists can be used effectively with the following objects: People, Lights, ElectricEquipment, GasEquipment, HotWaterEquipment, ZoneInfiltration, DesignFlowRate, ZoneVentilation, DesignFlowRate, Sizing, Zone, ZoneControl, Thermostat, and others.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		ZonasSalas	ZonasCirculacoes	ZonasOutras
Zone 1 Name		FL1 Lab - Informatica F-31	F01 Circulacao 02	FL Coberta
Zone 2 Name		FL1 Lab - Informatica F-32	F01 Circulacao 01	FO Coberta
Zone 3 Name		FL1 MPGA Secretaria 02 F-30	FOT Circulacao 01	
Zone 4 Name		FL1 MPGA Secretaria 01 F-30	FOT Circulacao 02	
Zone 5 Name		FL1 MPGA Secretaria 03 F-30		
Zone 6 Name		FL1 Sala de Aula F-29		
Zone 7 Name		FL1 CATU F-28		
Zone 8 Name		FL1 CATU (antessala) F-28		
Zone 9 Name		FL1 Lab - Turismo F-27		
Zone 10 Name		FL1 Sala de Aula F-26		
Zone 11 Name		FL1 Sala de Aula F-25		
Zone 12 Name		FL1 Sala de Aula F-24		
Zone 13 Name		FL1 Coord Geografia 01 F-22		
Zone 14 Name		FL1 Coord Geografia (antessala) F-22		
Zone 15 Name		FL1 Coord Geografia 02 F-22		
Zone 16 Name		FLT Camara Frigorifica (antessala)		
Zone 17 Name		FLT Camara Frigorifica		
Zone 18 Name		FLT Lab - Solda F-10		

Fonte: Autoria própria

Em *BuildingSurface:Detailed* (Figura 53), constam as 571 superfícies modeladas. Para cada uma delas, há informações como o tipo de superfície (parede, piso, teto ou coberta); composição dos materiais definida em *Construction* (parede/piso interno ou externo etc.); nome da zona térmica associada; condição de limitação espacial, que indica se a superfície é limitada por outra superfície, voltada ao ambiente externo, adiabática ou limitada por uma zona térmica; exposição ao sol/vento; e coordenadas dos vértices.

Figura 53 - Classe *BuildingSurface:Detailed*, Bloco F

Field	Units	Obf564	Obf565	Obf566	Obf567	Obf568	Obf569	Obf570	Obf571
Name		A84800	8DCB27	ESAC11	BDBB78	C5AC4A	A1D1C7	547D4D	F5E2BD
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Floor	Floor
Construction Name		Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Wall	Interior Floor	Interior Floor
Zone Name		F01 W/C Feminino	F01 Sala de Aula F-44	F01 Sala de Aula F-44	F01 Sala de Aula F-45	F01 W/C Feminino	F01 Lab - Refrigeraçao	F01 Sala de Aula F-44	F01 DAIC 03
Space Name									
Outside Boundary Condition		Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Adiabatic	Adiabatic
Outside Boundary Condition Object		C645F5	S5D3DC	D5C17B	C677BD	278CBB	6CF506		
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind
View Factor to Ground		0	0	0	0	0	0	0	0
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	2.513433717761	0.517637938053	1.552914186384	8.282812573994	1.995796441764	-9.22760000E-08	9.401062060809	3.214306653205
Vertex 1 Y-coordinate	m	1.397078845966	1.931850542725	5.795954782622	-2.21937283E+00	-5.34772087E-01	-5.7230000E-08	3.692649749123	5.50386942043
Vertex 1 Z-coordinate	m	3.24999937433	3.24999999947	3.24999999947	3.250000439753	3.199999532666	3.2	0.000000481963	0.000000362328
Vertex 2 X-coordinate	m	2.513433534141	0.51763797514	1.552914340777	8.282812725966	1.995796018124	0	7.94814755423	1.861332334933
Vertex 2 Y-coordinate	m	1.397078261043	1.9318509566027	5.795954603378	-2.21937289E+00	-5.34772249E-01	0	-2.10280515E+00	-4.45169003E-01
Vertex 2 Z-coordinate	m	6.33381000E-07	0.00000000553	-1.59100000E-09	0.000000439753	-4.67334000E-07	0	0.00000028624	0.0000002811
Vertex 3 X-coordinate	m	3.031070837045	0	0.51763797514	8.73398036136	2.513434089738	8.282813769892	0	0
Vertex 3 Y-coordinate	m	3.32893127795	0	1.931850566027	-3.11670170E-01	1.397079400243	-2.21937314E+00	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	-5.90430000E-07	0	-0.00000000553	0.000000421376	-5.34233000E-07	0.000000340578	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	3.031071195797	-1.62380000E-07	0.517637938053	8.733980369716	2.513434206666	8.282813625478	1.552914346777	1.552914219229
Vertex 4 Y-coordinate	m	3.328931234258	-1.07500000E-08	1.931850542725	-3.11670193E-01	1.397079432945	-2.21937314E+00	5.795954033278	5.795954738891
Vertex 4 Z-coordinate	m	3.249999409575	3.25	3.24999999947	3.25000042486	3.199999481507	3.200000340578	-1.59100000E-09	0.000000247573

Fonte: Autoria própria

Em *FenestrationSurface:Detailed* (Figura 54), constam as 395 subsuperfícies modeladas, cujas informações principais são: tipo de subsuperfície (porta ou janela); composição dos materiais; código da superfície/parede associada; limitação espacial; e coordenadas dos vértices.

Figura 54 - Classe *FenestrationSurface:Detailed*, Bloco F

Field	Units	Obf398	Obf397	Obf398	Obf398	Obf398	Obf391	Obf392	Obf393	Obf394	Obf395
Name		774C01	1F8495	680327	61F78F	7490CB	1F8046	963CE0	44E29	A64403	6580C2
Surface Type		GlassDoor	W/ndow	Window	Door	GlassDoor	W/ndow	W/ndow	GlassDoor	Door	Door
Construction Name		Glass Door	Glass Door	Glass Door	Interior Door	Glass Door	Glass Door	Glass Door	Interior Door	Interior Door	Interior Door
Building Surface Name		C09C83	C09C83	C09C83	1E32EC	2925FD	2925FD	2925FD	DE9FF2	F468E1	553803
Outside Boundary Condition Object		7490CB	1F8046	963CE0	E46884	774C01	180495	680327	4F03E8	1F35AE	68695A
View Factor to Ground											
Frame and Divider Name											
Multiplier											
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	0.978029650836	2.46214520827	0.009693744882	1.002923951963	3.48776204063	4.356126258369	1.803843704827	0.00969374981	2.46011556114	2.396380200175
Vertex 1 Y-coordinate	m	2.352696804E-01	6.59730014E-01	2.58852442E-03	3.74582978984	3.20562095194	2.973883791639	3.631025394841	-2.58832277E-03	3.481945692235	7.200108690794
Vertex 1 Z-coordinate	m	2.100000398975	2.100000398975	2.100000398975	2.100000395972	2.100000398975	2.100000398975	2.100000398975	2.100000277816	2.100000062991	2.10000045166
Vertex 2 X-coordinate	m	0.878026968036	2.46214520827	0.009693744882	1.002923986343	3.487762079592	4.35612923462	1.90364374002	0.009693410243	2.460016582375	2.396380200175
Vertex 2 Y-coordinate	m	-2.35268804E-01	6.59730014E-01	2.58852442E-03	3.74582969483	3.20562226791	2.973883892608	3.63102552811	-2.58823117E-03	3.481945665924	7.200108690794
Vertex 2 Z-coordinate	m	0.000000398726	0.010000400353	0.01000039579	0.00000193133	0.00000267933	0.010000394149	0.000000300884	0.000000145796	0.000000451661	0.000000451661
Vertex 3 X-coordinate	m	2.452486062525	3.32085322498	0.86836770254	0.720811206464	1.913302963082	3.497421533939	1.044938978001	3.320852949713	1.711424029678	1.956387920657
Vertex 3 Y-coordinate	m	-6.57141823E-01	-8.89820119E-01	-0.23267861409	2.690103825324	3.628437339584	3.20397403531	3.861119695762	-8.89819895E-01	6.882530659841	5.598042422415
Vertex 3 Z-coordinate	m	0.000000398726	0.010000400353	0.01000039579	0.00000138806	0.00000231072	0.010000394149	0.000000000003	0.00000014144	0.000000451661	0.000000451661
Vertex 4 X-coordinate	m	2.452486062524	3.32085322498	0.86836770254	0.720811171084	1.913302963082	3.497421298846	1.044938943708	3.320852913513	1.711424013417	1.956387920657
Vertex 4 Y-coordinate	m	-6.57141823E-01	-8.89820119E-01	-0.23267861409	2.690103834804	3.628437203967	3.20397390434	3.861119564752	-8.89819997E-01	6.882530599152	5.598042422415
Vertex 4 Z-coordinate	m	2.100000398975	2.100000398975	2.100000398975	2.100000395972	2.100000398975	2.100000398975	2.100000398975	2.100000277816	2.100000062991	2.10000045166

Fonte: Autoria própria

Em *Shading:Building:Detailed* (Figura 55), constam as 1091 superfícies de sombreamento modeladas. Seu detalhamento é mais simples que as classes anteriores, apresentando basicamente as coordenadas de seus vértices.

Figura 55 - Classe *Shading:Building:Detailed*, Bloco F

Field	Units	Obt1082	Obt1083	Obt1084	Obt1085	Obt1086	Obt1087	Obt1088	Obt1089	Obt1090	Obt1091
Transmittance Schedule Name		98887E	838CD8	47CD51	790B24	7386B4	7FBFD	96C1E0	72D2FB	805398	830768
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	8
Vertex 1 X-coordinate	m	2,45437417E+02	2,45437417E+02	2,46741417E+02	2,46355046E+02	2,46676712E+02	2,46741417E+02	2,46230342E+02	2,46355046E+02	2,55960027E+02	2,57639945E+02
Vertex 1 Y-coordinate	m	1,52822215E+02	1,52822215E+02	1,52472809E+02	1,52576337E+02	1,52231327E+02	1,52472809E+02	1,52334895E+02	1,52576337E+02	1,56930561E+02	1,71055958E+02
Vertex 1 Z-coordinate	m	1,730017057644	1,730017057644	0,000017290398	1,730017224611	1,73001728795	1,730017290398	1,730017222163	1,730017224611	6,450019398304	6,450018575492
Vertex 2 X-coordinate	m	245,4374170579	2,45372713E+02	2,46676712E+02	2,46355046E+02	2,46676712E+02	2,46741417E+02	2,46230342E+02	2,46355046E+02	2,55960027E+02	2,58116381
Vertex 2 Y-coordinate	m	1,52822215E+02	1,52580733E+02	1,52231327E+02	1,52576335E+02	1,52231327E+02	1,52472809E+02	1,52334895E+02	1,52334895E+02	1,56930561E+02	89,379678
Vertex 2 Z-coordinate	m	0,000017057644	1,73001705196	0,00001728795	0,000017224611	0,00001728795	0,000017290398	0,000017222163	1,730017222163	5,850019398304	6,450018
Vertex 3 X-coordinate	m	2,45372713E+02	2,45789082E+02	2,46230342E+02	2,46230342E+02	2,46741417E+02	2,46355046E+02	2,46676712E+02	2,46676712E+02	2,66930595E+02	2,41588014E+02
Vertex 3 Y-coordinate	m	1,52580733E+02	152,477205087	1,52334895E+02	1,52334895E+02	1,52472809E+02	1,52576336E+02	1,52231327E+02	1,52231327E+02	1,60952782E+02	9,74621653E+01
Vertex 3 Z-coordinate	m	0,00001705196	1,73001715025	0,000017222163	0,000017222163	0,000017290398	0,000017224611	0,00001728795	1,73001728795	5,850019398304	6,450015213372
Vertex 4 X-coordinate	m	2,45372713E+02	2,4923787E+02	2,46355046E+02	2,46230342E+02	2,46741417E+02	2,46355046E+02	2,46676712E+02	2,46741417E+02	2,69330595E+02	2,59055308E+02
Vertex 4 Y-coordinate	m	1,52580733E+02	1,52718697E+02	1,52576336E+02	1,52334895E+02	1,52472809E+02	1,52576337E+02	1,52231327E+02	1,52472809E+02	1,60952782E+02	1,58919195E+02
Vertex 4 Z-coordinate	m	1,73001705196	1,730017152713	0,000017224611	1,730017222163	1,730017290398	1,730017224611	1,73001728795	1,730017290398	6,450019398304	6,450019
Vertex 5 X-coordinate	m										285,4930078631
Vertex 5 Y-coordinate	m										1,569326289E+02
Vertex 5 Z-coordinate	m										6,450015264111
Vertex 6 X-coordinate	m										2,66528284E+02
Vertex 6 Y-coordinate	m										1,60789992E+02
Vertex 6 Z-coordinate	m										6,450019368443
Vertex 7 X-coordinate	m										2,59050656E+02
Vertex 7 Y-coordinate	m										1,62762896E+02
Vertex 7 Z-coordinate	m										6,450019
Vertex 8 X-coordinate	m										2,61064151E+02
Vertex 8 Y-coordinate	m										1,70148083E+02
Vertex 8 Z-coordinate	m										6,450019089898

Fonte: Autoria própria

Em *HVACTemplate:Zone:Unitary* (Figura 56) e *HVACTemplate:System:Unitary* (Figura 57), foram criados e vinculados às respectivas zonas térmicas os sistemas/equipamentos de climatização. São 68 zonas climatizadas (3.486,91 m²) dentre as 80 no total, excluindo zonas como cobertas (2), circulações (4) e banheiros (6). Cada sistema foi criado e vinculado individualmente, mas suas informações técnicas foram mantidas no padrão do EnergyPlus™.

Figura 56 - Classe *HVACTemplate:Zone:Unitary*, Bloco F

Field	Units	Obt64	Obt65	Obt66	Obt67	Obt68
Zone Name		FOT Lab - Refrigeraçao	FOT Sala de Aula F-20	FOT Sala de Aula F-19	FOT Sala de Aula F-18	FOT Lab - Topografia
Template Unitary System Name		Ar FOT Lab - Refrigeraçao	Ar FOT Sala de Aula F-20	Ar FOT Sala de Aula F-19	Ar FOT Sala de Aula F-18	Ar FOT Lab - Topografia
Template Thermostat Name		Setpoint Geral	Setpoint Geral	Setpoint Geral	Setpoint Geral	Setpoint Geral
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Heating Sizing Factor						
Zone Cooling Sizing Factor						
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944	0,00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2					
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s					
Supply Plenum Name						
Return Plenum Name						
Baseboard Heating Type		None	None	None	None	None
Baseboard Heating Availability Schedule Name						
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Method		SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature	SystemSupplyAir Temperature
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	30	30	30	30	30
Design Specification Outdoor Air Object Name						
Design Specification Zone Air Distribution Object Name						

Fonte: Autoria própria

Figura 57 - Classe *HVACTemplate:System:Unitary*, Bloco F

Field	Units	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Ar FDT Lab - Refrigeracao	Ar FDT Sala de Aula F-20	Ar FDT Sala de Aula F-19	Ar FDT Sala de Aula F-18	Ar FDT Lab - Topografia
System Availability Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Control Zone or Thermostat Location Name		FDT Lab - Refrigeracao	FDT Sala de Aula F-20	FDT Sala de Aula F-19	FDT Sala de Aula F-18	FDT Lab - Topografia
Supply Fan Maximum Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary	HVACTemplate:System:Unitary
Supply Fan Total Efficiency		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	600	600	600	600	600
Supply Fan Motor Efficiency		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1	1	1	1	1
Cooling Coil Type	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX
Cooling Coil Availability Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Cooling Design Supply Air Temperature	C	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated COP	W/W	3	3	3	3	3
Heating Coil Type	Electric	Electric	Electric	Electric	Electric	Electric
Heating Coil Availability Schedule Name		HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento	HorarioFuncionamento
Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50
Heating Coil Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Gas Heating Coil Efficiency		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W					
Maximum Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Minimum Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Minimum Outdoor Air Schedule Name						
Economizer Type		NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer	NoEconomizer
Economizer Lockout		NoLockout	NoLockout	NoLockout	NoLockout	NoLockout

Fonte: Autoria própria

5.3 PARAMETRIZAÇÃO - CENÁRIOS HIPOTÉTICOS

Até aqui, foi explorada a parametrização do Cenário 01, que pode ser chamado de “Original”. Adicionalmente, foram simulados cenários hipotéticos, para ambas as edificações estudadas, com vistas a analisar a influência de fatores específicos como os elementos de sombreamento, as cores, a orientação e os materiais construtivos, conforme relação e ajustes explicados a seguir:

- Cenário 02 - Sem os elementos de sombreamento: foram excluídos todos os objetos da classe *Shading:Building:Detailed*;
- Cenário 03 - Todas as superfícies brancas: foram ajustados para 0,158 os valores de “Absortância solar/visível” para todos os objetos na classe *Material*, com base no menor nível de absorvância disponível - cor “06 Branco” (Figura 31);
- Cenário 04 - Todas as superfícies pretas: foram ajustados para 0,971 os valores de “Absortância solar/visível” para todos os objetos na classe *Material*, com base no maior nível de absorvância disponível - cor “29 Preto” (Figura 31);
- Cenário 05 - Orientação rotacionada em 90°: foi ajustado o valor do campo *North Axis* (ângulo ao norte), na classe *Building*, para 90°;
- Cenário 06 - Materiais invertidos com a outra edificação: foram realizados ajustes nas classes *Material* e *Construction*, de modo que os materiais construtivos das edificações fossem invertidos uma com a outra.

5.4 ALBEDO DAS ENVOLTÓRIAS

Para a determinação do albedo, foi calculada uma média ponderada com relação às áreas das fachadas e da coberta, que formam a envoltória de cada edificação, considerando os níveis de refletância das camadas externas de tais elementos.

Para as superfícies opacas (portas externas, paredes e telhado), a refletância (ρ) é numericamente igual a $(1 - \alpha)$, sendo “ α ” correspondente à absorptância de cada material adotada na parametrização do EnergyPlus™, mais especificamente na classe *Material*, campo *Solar Absorptance* (absorptância solar). Para as superfícies translúcidas (janelas e portas de vidro), a refletância (ρ) é numericamente igual a $(1 - \alpha - \tau)$, onde “ τ ” equivale a transmitância; neste caso, será considerado para a refletância o valor de 0,075 adotado na parametrização, classe *WindowMaterial:Glazing*, campos *Front/Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence* (Refletância solar frontal/traseira com incidência normal) (ABNT, 2024a e Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

A Tabela 06 contém os dados de área e refletância das superfícies da envoltória do Centro de Pesquisa. As áreas das fachadas norte, sul, leste e oeste são, respectivamente: 360,30550 m², 360,30550 m², 136,48585 m² e 135,22850 m²; da coberta, 719,06000 m². Considerando a média ponderada das superfícies da envoltória, para uma área total de 1.711,38535 m², o nível de refletância/albedo do Centro de Pesquisa é de 0,6554 ou 65,54%.

Tabela 06 - Superfícies para cálculo do albedo, Centro de Pesquisa - Cenário 01

Superfícies da envoltória	Área (m ²)	Refletância
<i>Exterior Wall</i>	653,03435	0,66100
<i>Exterior Wall (norte)</i>	119,03100	0,54876
<i>Exterior Window</i>	185,65000	0,07500
<i>Glass Door</i>	25,16000	0,07500
<i>Exterior Door</i>	9,45000	0,35700
<i>Exterior Roof</i>	719,06000	0,84200

Fonte: Autoria própria

A Tabela 07 contém os dados de área e refletância das superfícies da envoltória do Bloco F. As áreas das fachadas norte, sul, leste e oeste são, já somadas as unidades “leste” e “oeste”, respectivamente: 182,535 m², 182,535 m², 917,735 m² e 917,735 m²; da coberta,

2.159,790 m². Considerando a média ponderada das superfícies da envoltória, para uma área total de 4.360,330 m², o nível de refletância/albedo do Bloco F é de 0,3623 ou 36,23%.

Tabela 07 - Superfícies para cálculo do albedo, Bloco F - Cenário 01

Superfícies da envoltória	Área (m ²)	Refletância
<i>Exterior Wall</i>	909,567	0,546
<i>Exterior wall (peitoril janelas)</i>	567,238	0,546
<i>Exterior Wall (sul)</i>	171,315	0,842
<i>Exterior Window</i>	464,180	0,075
<i>Glass Door</i>	40,150	0,075
<i>Exterior Door</i>	48,090	0,842
<i>Exterior Roof</i>	2.159,790	0,255

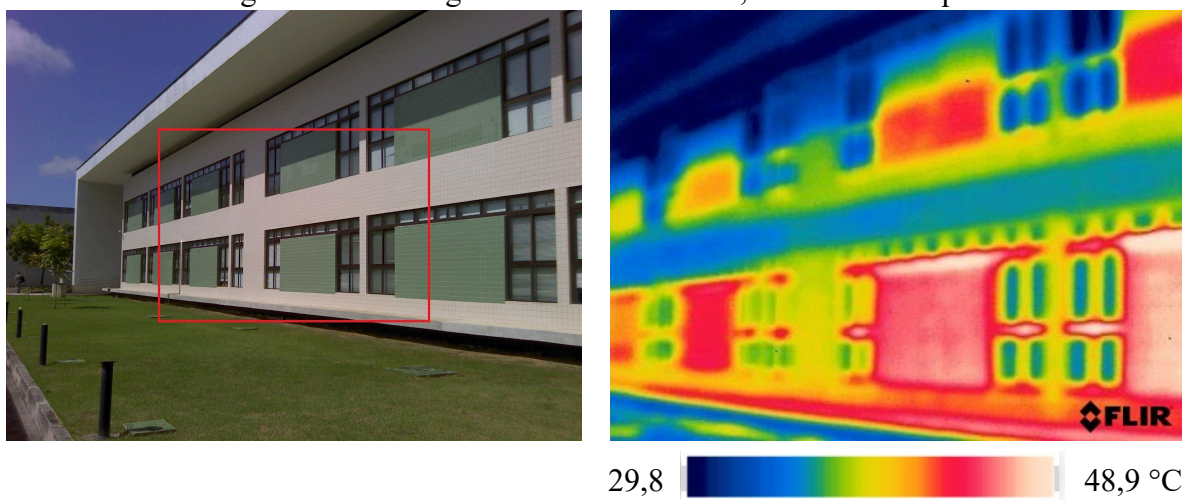
Fonte: Autoria própria

Isso significa, em linhas gerais, que o Centro de Pesquisa reflete cerca de 65,54% da radiação solar que incide sobre a sua envoltória; o Bloco F, cerca de 36,23%. Quanto maior o albedo, menor é a quantidade de energia térmica absorvida pelas superfícies externas da edificação e, conseqüentemente, transmitida para o interior dos ambientes abrigados, o que contribui para a redução do consumo de energia elétrica pelos equipamentos de climatização (Giordano; Krüger, 2014 e Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

5.5 DISTRIBUIÇÃO TÉRMICA NAS FACHADAS

Para as fachadas do Centro de Pesquisa, Imagens 12-14, a emissividade foi ajustada para 0,86 devido ao revestimento cerâmico, conforme Tabela 02; a temperatura ambiente/refletida foi ajustada para 33,1 °C e a umidade relativa para 55%, considerando as leituras no termo-higrômetro. Nas imagens do espectro visível (RGB), à esquerda, estão destacados retângulos vermelhos para delimitar o menor campo de captura das imagens termográficas, à direita. Ressalta-se ainda que, especialmente devido ao ajuste da emissividade para o revestimento cerâmico, as temperaturas medidas nas regiões das esquadrias estão imprecisas e não devem ser consideradas com um viés quantitativo. No momento das medições na área externa, por volta das 10h15, apenas as fachadas norte e leste estavam sob radiação solar direta, ainda que parcialmente.

Imagem 12 - Termografia na fachada norte, Centro de Pesquisa



(a) Fachada norte, visão geral

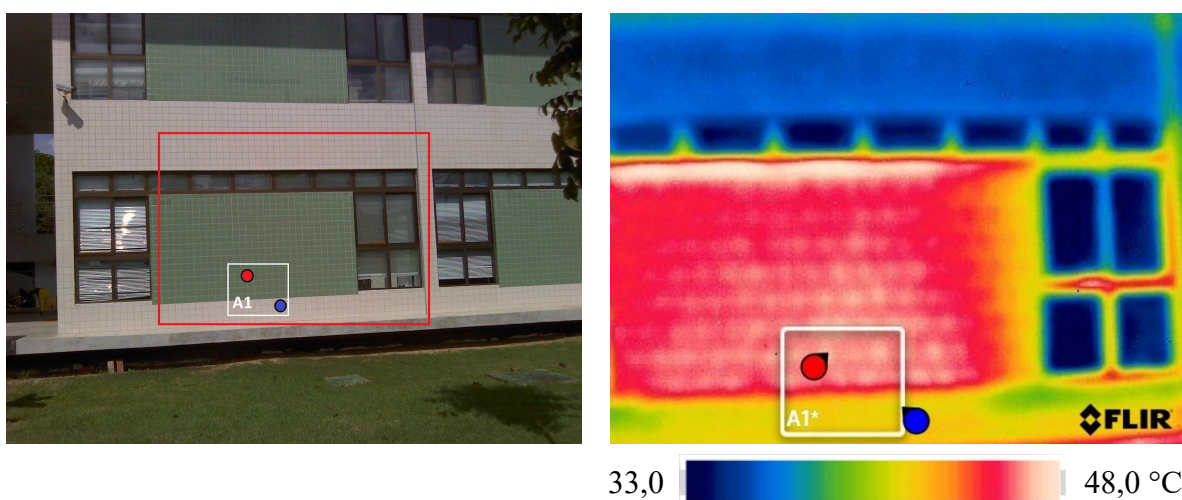
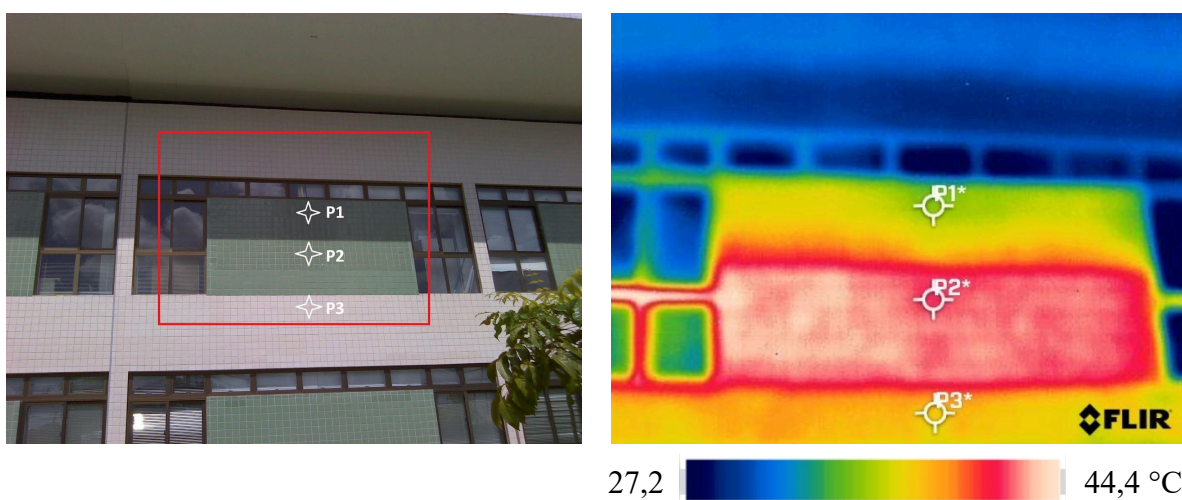
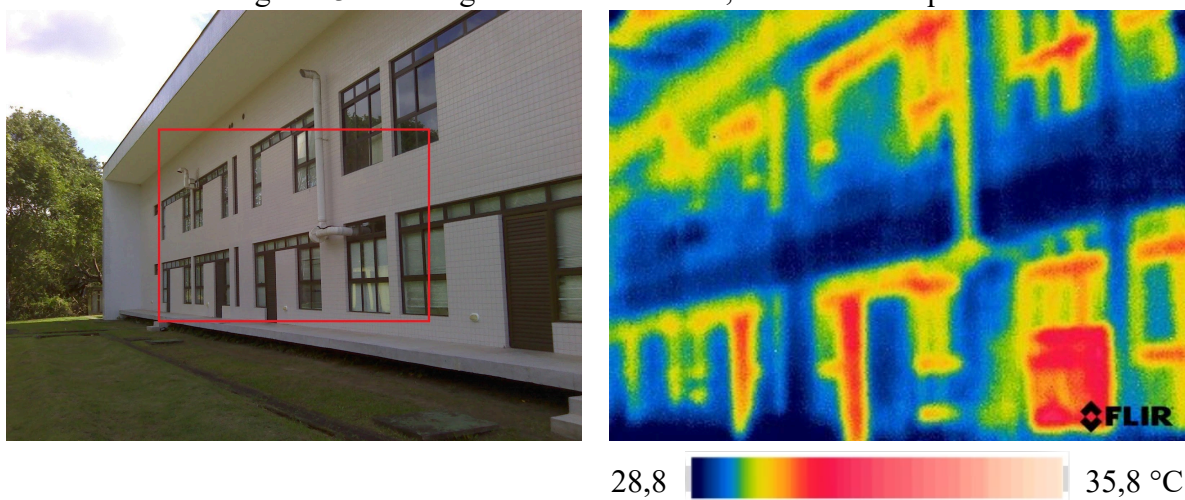
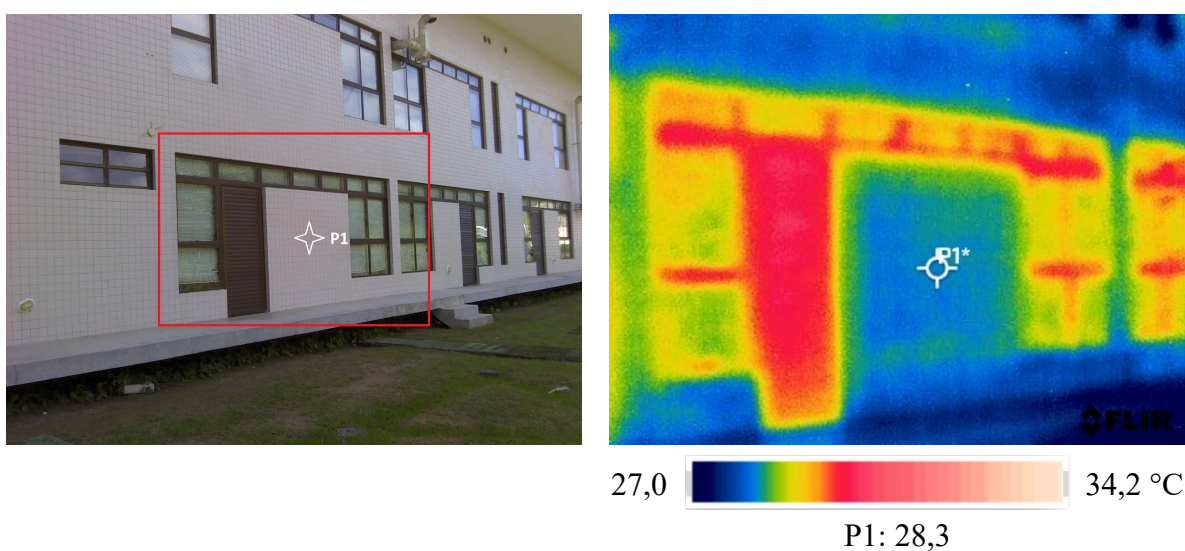
A1: Máx. 47,0 | Mín. 41,7
(b) Fachada norte, térreoP1: 35,0 | P2: 41,5 | P3: 37,1
(c) Fachada norte, 1º pavimento

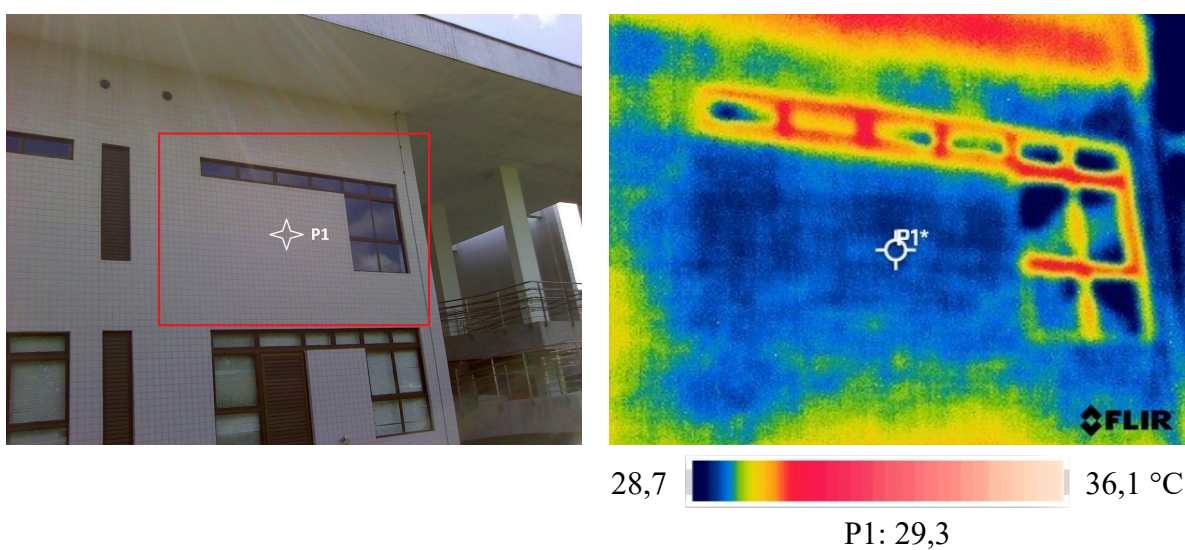
Imagem 13 - Termografia na fachada sul, Centro de Pesquisa



(a) Fachada sul, visão geral

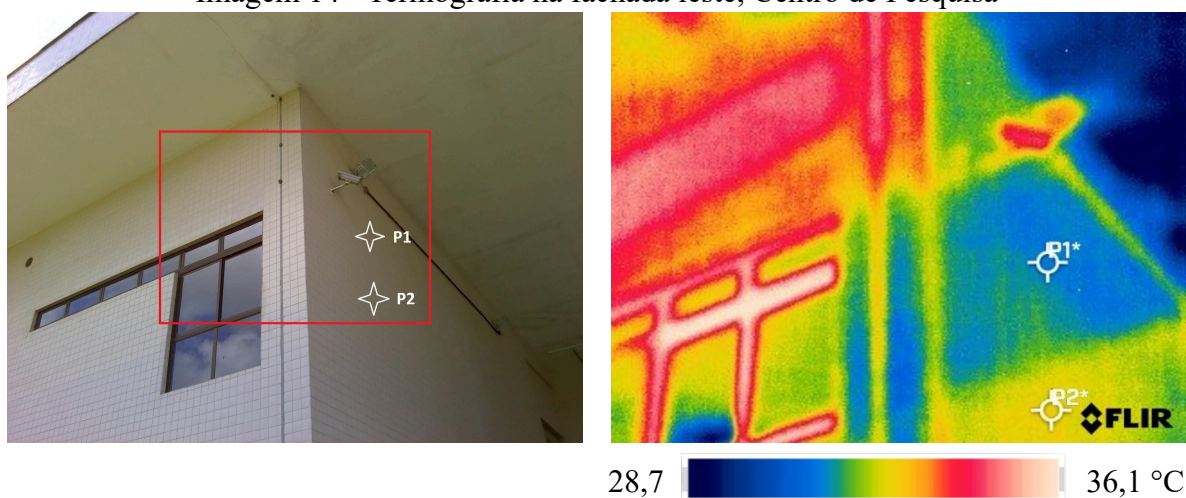


(b) Fachada sul, térreo

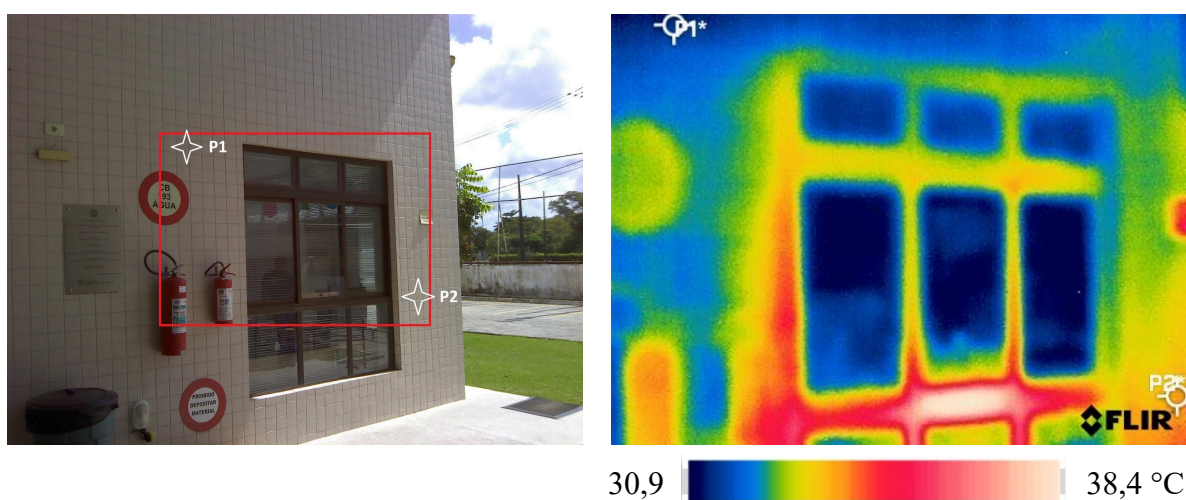


(c) Fachada sul, 1º pavimento

Imagem 14 - Termografia na fachada leste, Centro de Pesquisa



(a) Fachada leste (1)



(b) Fachada leste (2)

Fonte: Autoria própria

Na Imagem 12a, é possível visualizar, mesmo que na perspectiva de comparação qualitativa, as diferenças de temperatura nas superfícies da fachada norte, de acordo com as cores e as condições distintas de sombreamento. A Imagem 12b apresenta, para a área de medição A1 (retângulo branco) a diferença de 5,3 °C entre o ponto “mais quente” de 47,0 °C (marcador vermelho “Máx.”), revestimento na cor “Jade”, e o ponto “menos quente” de 41,7 °C (marcador azul “Mín.”), revestimento na cor “Pérola”. Esse resultado é compatível com a literatura e a simulação exploradas anteriormente, de que um maior nível de refletância/albedo está associado a menos absorção de radiação solar e, como consequência, menor temperatura.

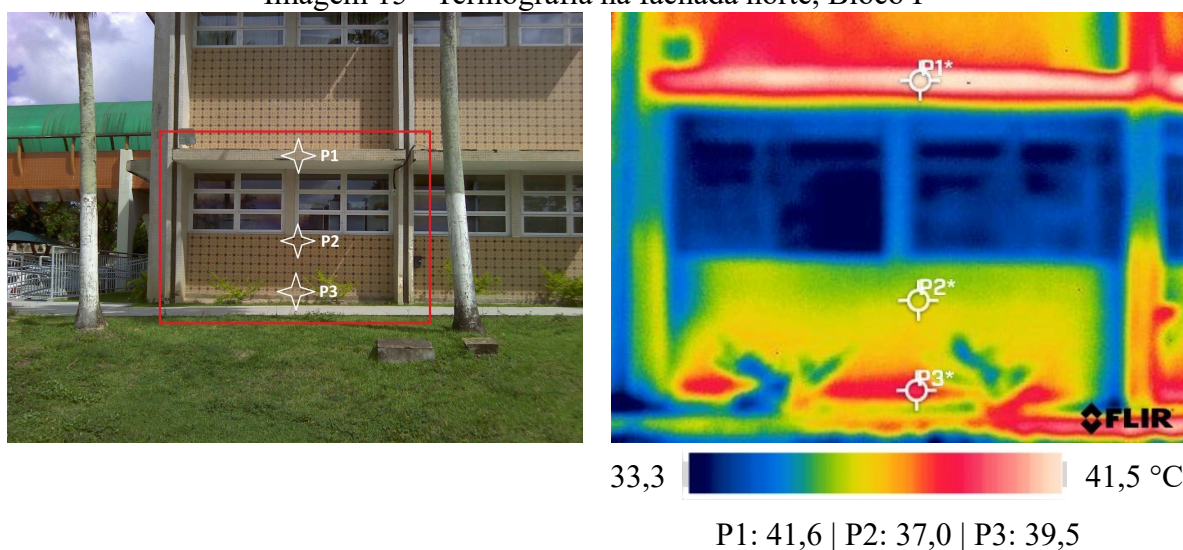
Em 12c, é possível observar que o ponto P1 (superfície “Jade” sombreada) está com temperatura de 35,0 °C, P2 (superfície “Jade” não sombreada) com 41,5 °C e P3 (superfície “Pérola” não sombreada) com 37,1 °C. Tais medições ratificam a importância das técnicas de sombreamento nas fachadas para minimizar o ganho térmico externo, neste caso com um resultado ainda melhor (P1) que a superfície mais clara sob radiação solar direta (P3).

Na fachada sul (Imagem 13), a distribuição térmica percebida foi bem mais uniforme, tanto pela cor única (“Pérola”) quanto por não haver radiação solar direta no momento da medição. Em 13b, foi medida a temperatura do ponto P1 em 28,3 °C; em 13c, o ponto P1 apresentou 29,3 °C. Esta diferença pode ser explicada por ganhos térmicos internos nos respectivos ambientes, pela necessidade de um ajuste mais preciso na distância da superfície medida ou pela própria exatidão do equipamento.

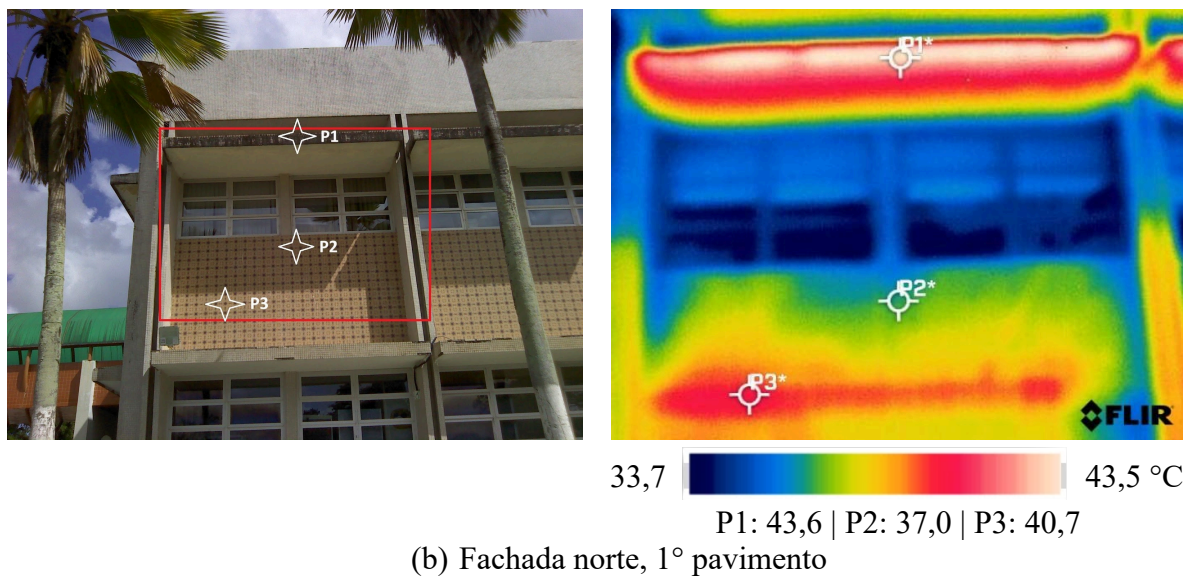
A Imagem 14 mostra a fachada leste. Em 14a, a parede estava sombreada por completo, considerando estar localizada abaixo da laje técnica, com temperaturas entre 28,9 e 29,9 °C, respectivamente P1 e P2; a parede exibida em 14b estava parcialmente sombreada, com temperatura mínima de 31,3 °C (P1, no canto superior esquerdo), com outro trecho sob radiação solar direta, com temperatura máxima de 34,1 °C (P2, no canto inferior direito).

Para as fachadas do Bloco F, Imagens 15-18, a emissividade também foi ajustada para 0,86 devido ao revestimento cerâmico, conforme Tabela 04, assim como os valores de temperatura ambiente/refletida e umidade relativa foram considerados os mesmos, 33,1 °C e 55%, respectivamente. No momento das medições na área externa, por volta das 12h45, apenas as fachadas norte e oeste estavam sob radiação solar direta, ainda que de forma parcial.

Imagem 15 - Termografia na fachada norte, Bloco F

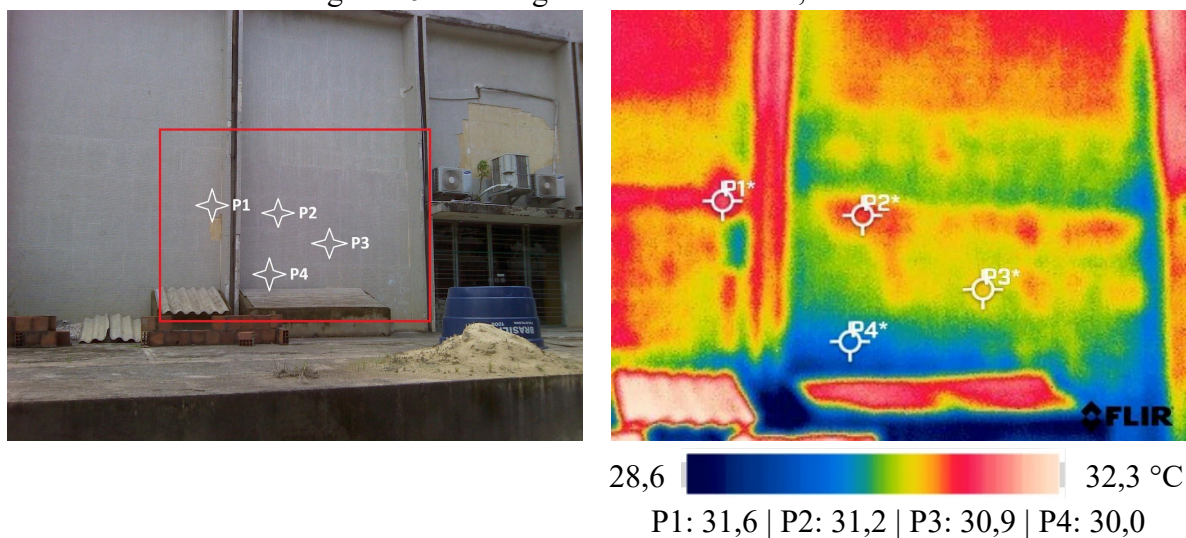


(a) Fachada norte, térreo



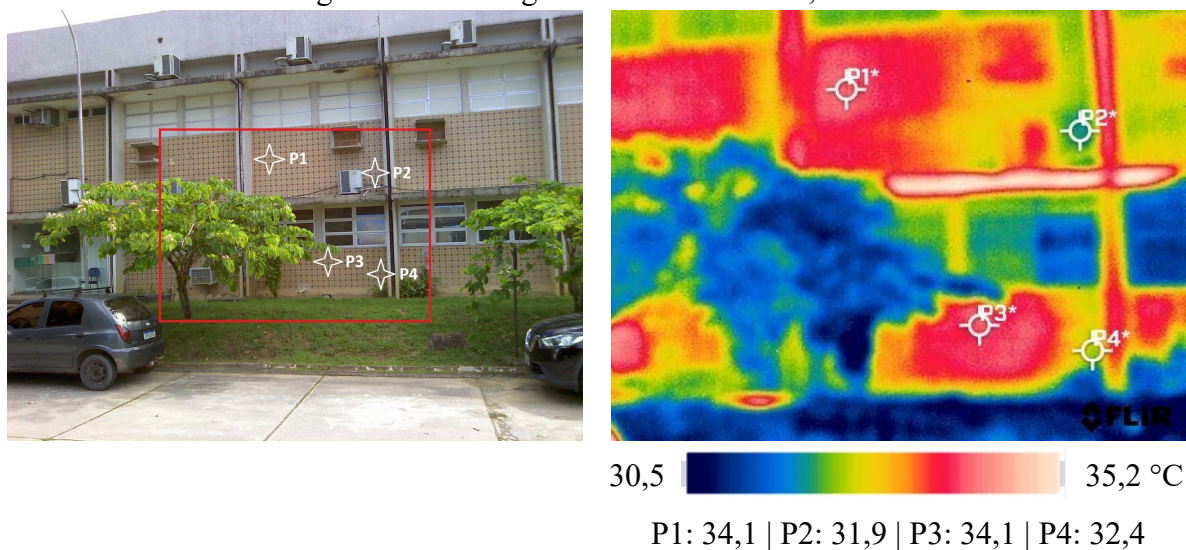
Fonte: Autoria própria

Imagem 16 - Termografia na fachada sul, Bloco F



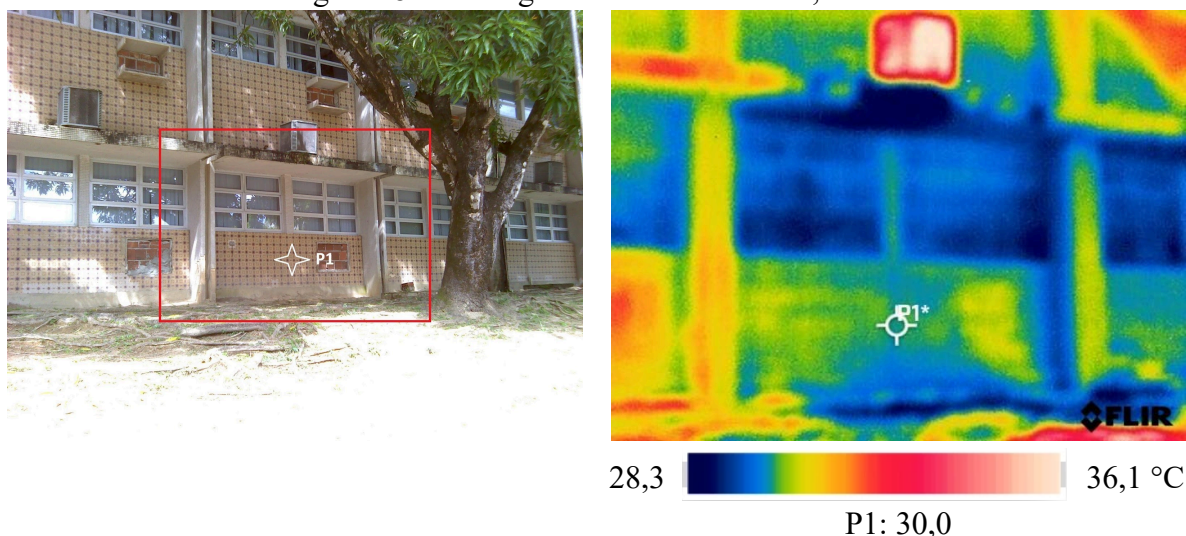
Fonte: Autoria própria

Imagem 17 - Termografia na fachada leste, Bloco F

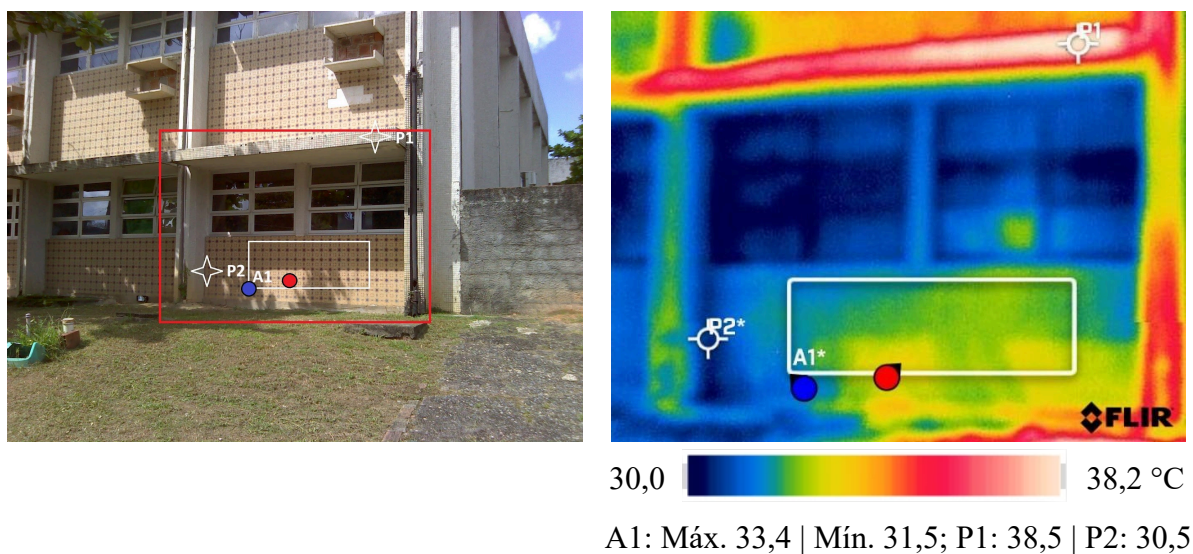


Fonte: Autoria própria

Imagem 18 - Termografia na fachada oeste, Bloco F



(a) Fachada oeste (1)



(b) Fachada oeste (2)

Fonte: Autoria própria

Nas Imagens 15a e 15b, evidencia-se a função de brise dos pilares externos e das marquises sobre as janelas, contribuindo para a diminuição da temperatura na fachada e do ganho térmico associado à radiação solar direta na superfície envidraçada; nas marquises (P1), foram medidas temperaturas de 41,6 e 43,6 °C, a superfície sombreada (P2) ficou na faixa de 37,0 °C em ambos os pavimentos e a superfície não sombreada (P3) um pouco acima, entre 39,5 e 40,7 °C. Na fachada sul (Imagem 16), superfície com maior refletância e sem radiação solar direta naquele momento, a temperatura apresentou valores entre 30,0 e 31,6 °C (P1-P4); pelo padrão termográfico irregular, inclusive, é possível até que haja algum tipo de patologia na parede, porém esta temática foge do objetivo da pesquisa e não será explorada.

A fachada leste (Imagem 17) apresentou para ambos os pavimentos, em seu revestimento principal, temperatura aproximada de 34,1 °C (P1 e P3), porém é possível observar que nos pontos P2 e P4 a temperatura é menor (31,9 e 32,4 °C, respectivamente), o que pode ser explicado pelo sombreamento mais duradouro nos trechos imediatamente ao lado dos pilares, no período da manhã que antecedeu as medições.

Na fachada oeste, Imagem 18a, foi medida a temperatura de 30,0 °C no ponto P1, localizado na superfície com sombreamento combinado entre as árvores e a marquise sobre a janela. Na Imagem 18b, mais precisamente na área A1, percebe-se a diferença entre a temperatura mínima de 31,5 °C (com sombra) e a máxima de 33,4 °C (sem sombra), além da temperatura elevada na marquise (P1, 38,5 °C) e reduzida ao lado do pilar (P2, 30,5 °C), conforme contexto já abordado anteriormente.

Embora os hábitos dos usuários das edificações não tenham sido extensivamente considerados nesta pesquisa, na prática, foi percebido um padrão de ampla utilização de persianas nas janelas, além de outras soluções improvisadas, de modo a limitar a entrada de radiação solar direta nos ambientes. Por um lado, a iluminação natural é basicamente anulada, mas por outro o ganho térmico externo também é mitigado (Oliveira; Lunardi, 2018), o que concorre para a redução do consumo de energia elétrica com a finalidade de climatização.

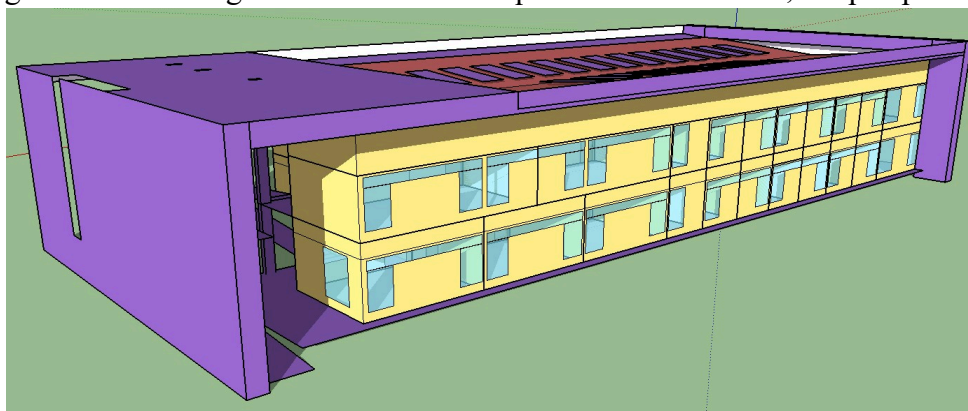
Apesar do imageamento realizado nos ambientes internos, a aplicabilidade destas medições acabou sendo bastante limitada, considerando não ter sido viável padronizar com antecedência as condições de climatização artificial nos ambientes (tempo de acionamento e temperatura configurada nos equipamentos de ar-condicionado), além da impossibilidade de acesso pleno aos ambientes, já que alguns estavam sendo utilizados para aula e em outros a pessoa responsável não estava disponível no local.

Ressalta-se, por fim, que, além da recém comentada inviabilidade de padronização quanto às condições de uso nos ambientes internos, constituem possíveis fontes de erros no imageamento termográfico realizado: margem de exatidão da câmera e do termo-higrômetro, patologias embutidas na estrutura das edificações, desvios entre os valores configurados e os reais (emissividade, distância, temperatura ambiente, umidade...), entre outros.

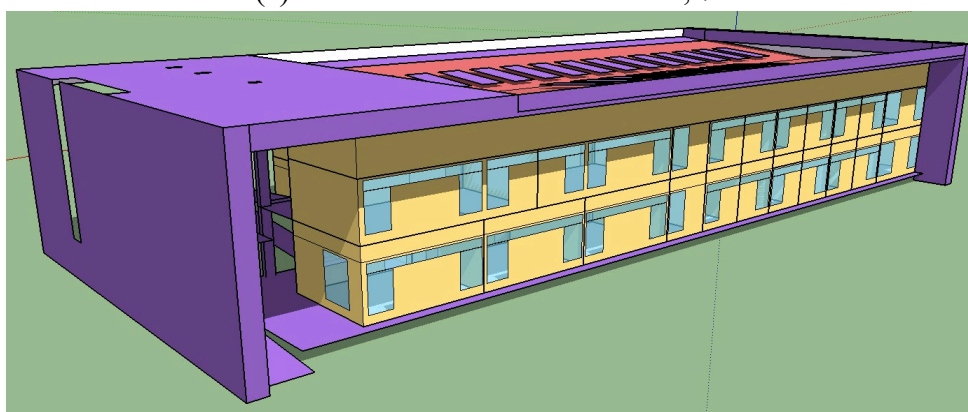
5.5.1 Modelagem com sombreamento

Complementar à termografia, foi utilizada a ferramenta “Sombras” do SketchUp, o que permitiu simular o sombreamento nas envoltórias em diferentes horários, entre 7h e 16h, com referência no mesmo dia das medições termográficas, 03/06, conforme Figuras 58 e 59.

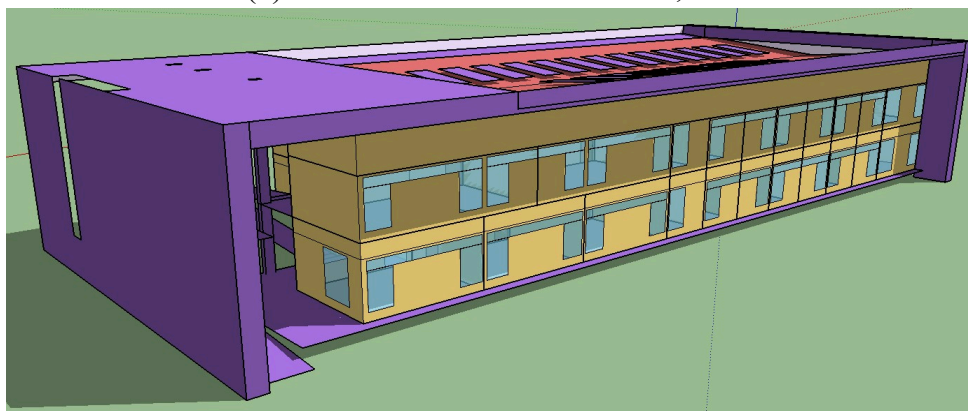
Figura 58 - Modelagem do Centro de Pesquisa com “Sombras”, em perspectivas



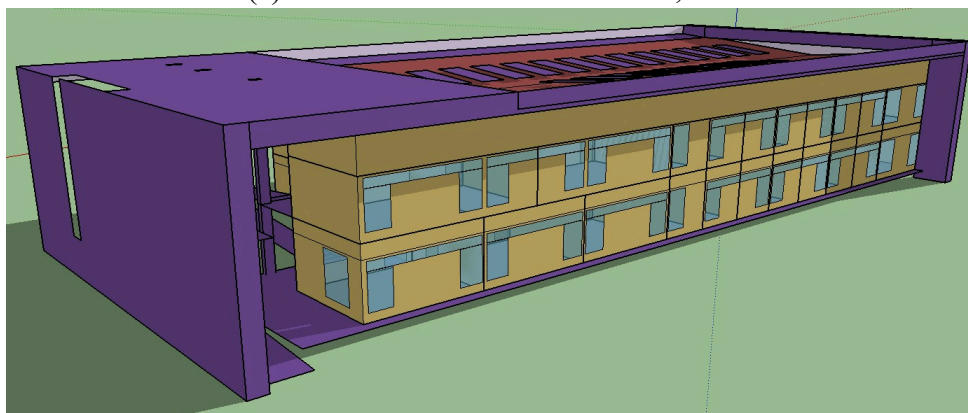
(a) Coberta e fachadas leste/norte, 7h



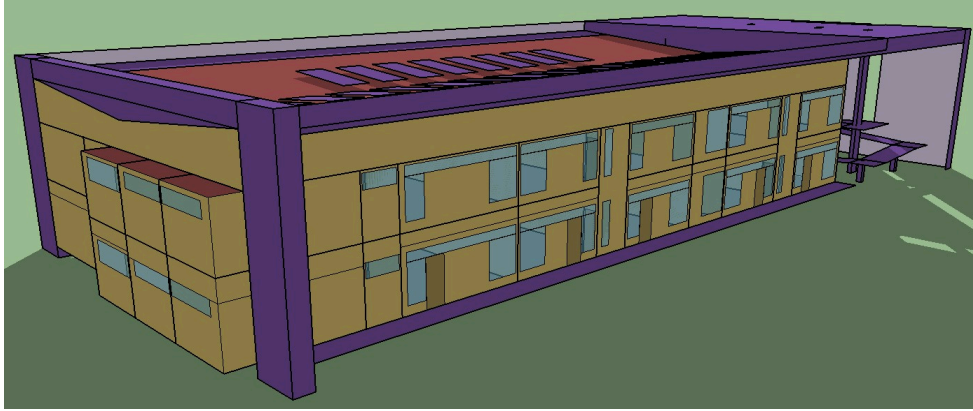
(b) Coberta e fachadas leste/norte, 10h



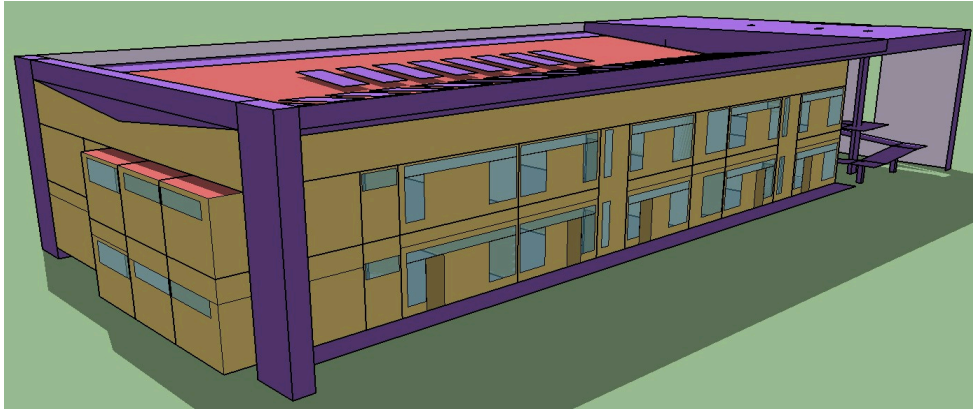
(c) Coberta e fachadas leste/norte, 13h



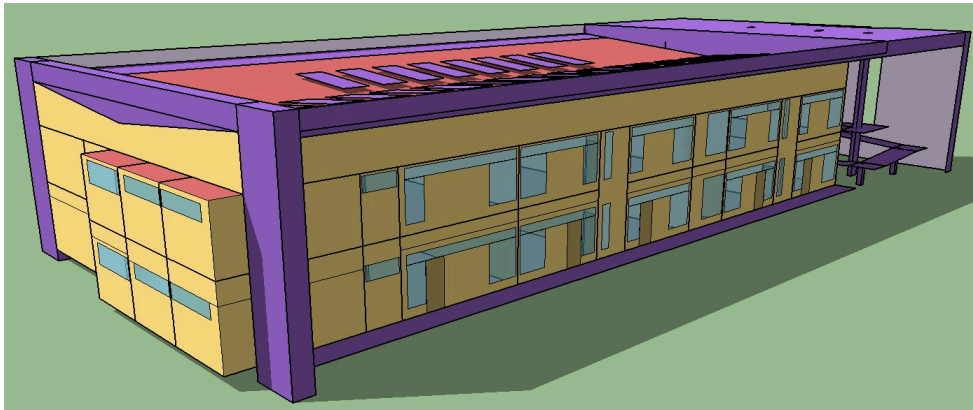
(d) Coberta e fachadas leste/norte, 16h



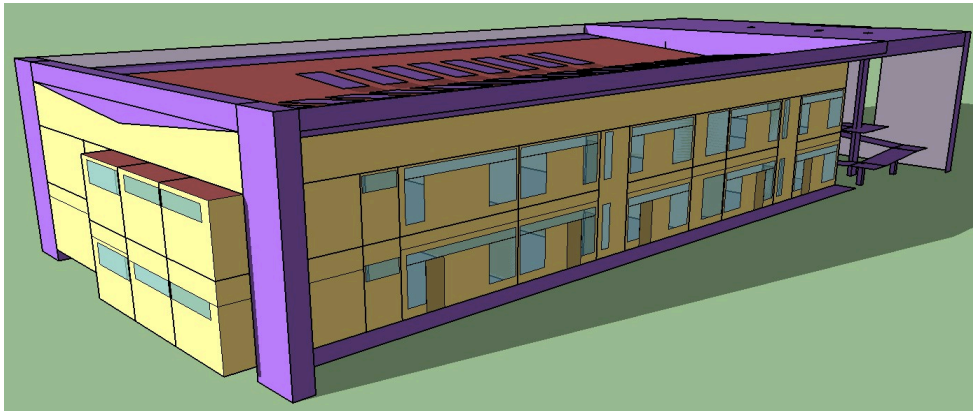
(e) Coberta e fachadas oeste/sul, 7h



(f) Coberta e fachadas oeste/sul, 10h

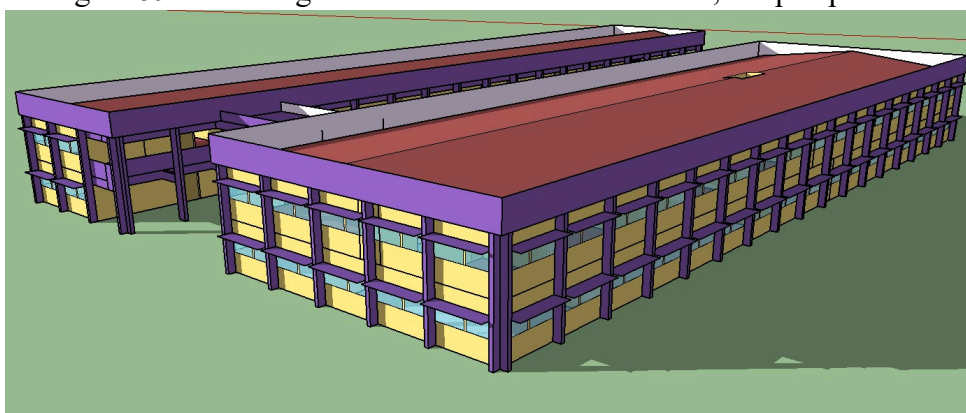


(g) Coberta e fachadas oeste/sul, 13h

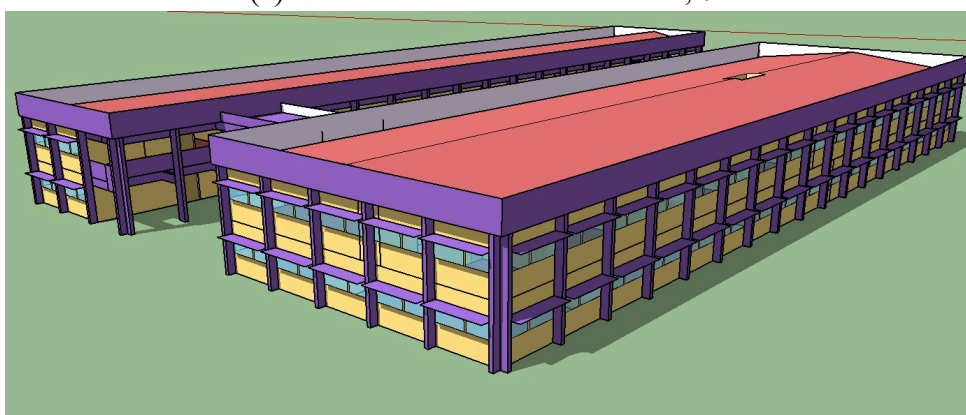


(h) Coberta e fachadas oeste/sul, 16h

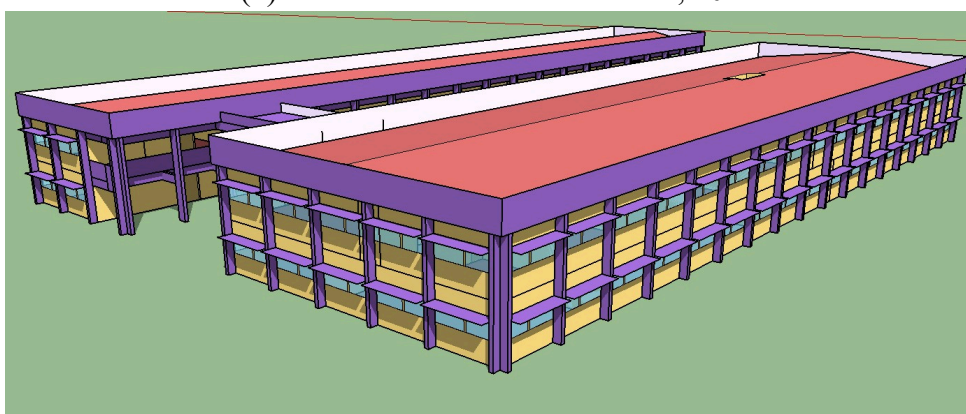
Figura 59 - Modelagem do Bloco F com “Sombras”, em perspectivas



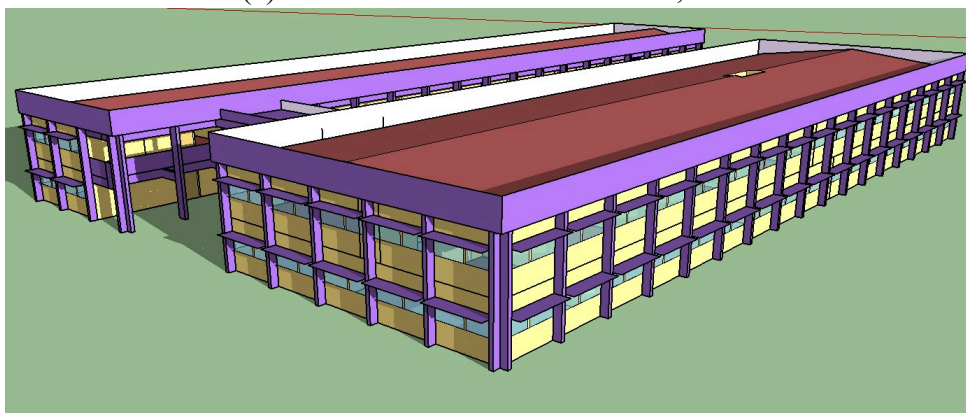
(a) Coberta e fachadas norte/oeste, 7h



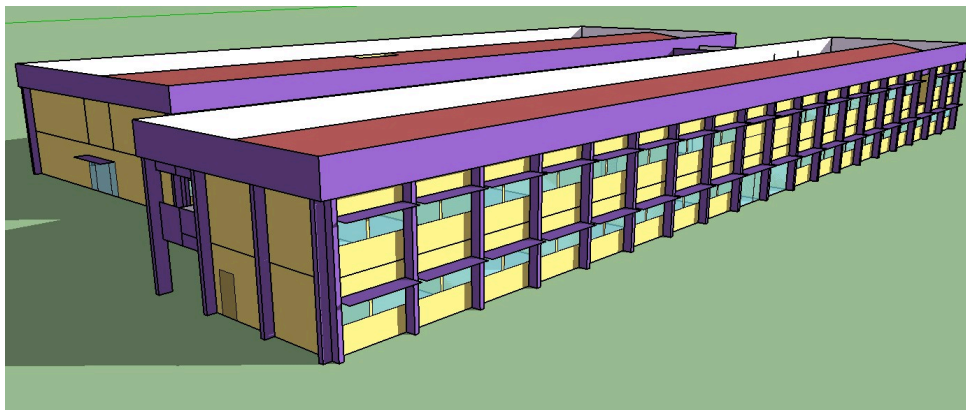
(b) Coberta e fachadas norte/oeste, 10h



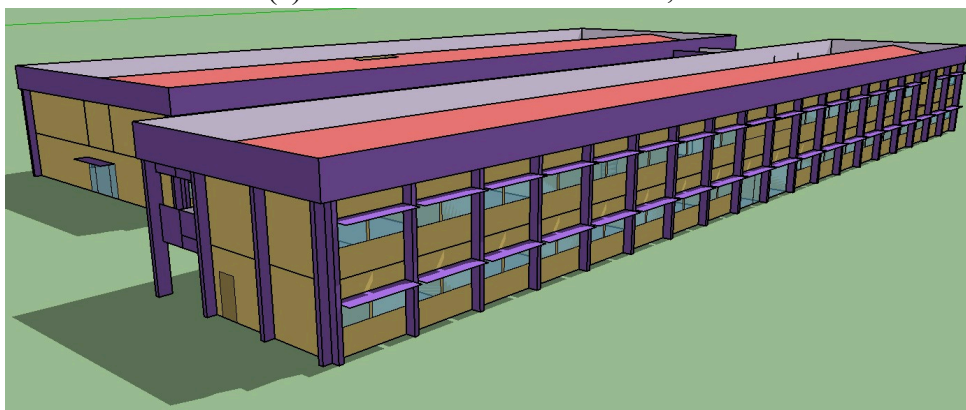
(c) Coberta e fachadas norte/oeste, 13h



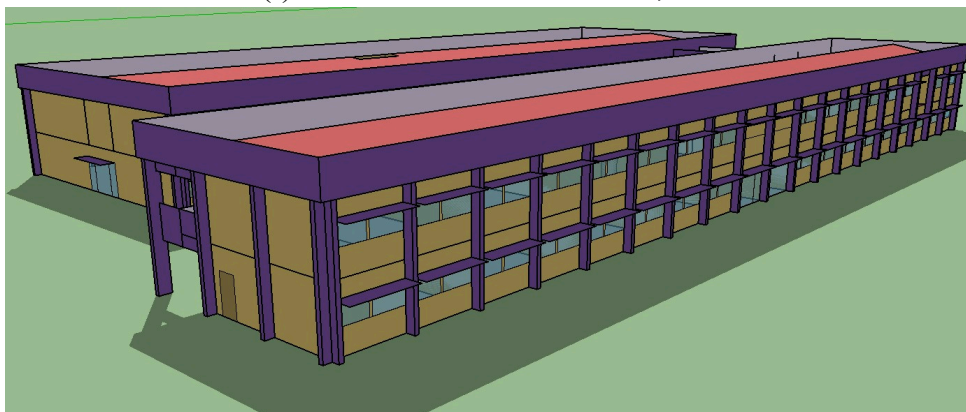
(d) Coberta e fachadas norte/oeste, 16h



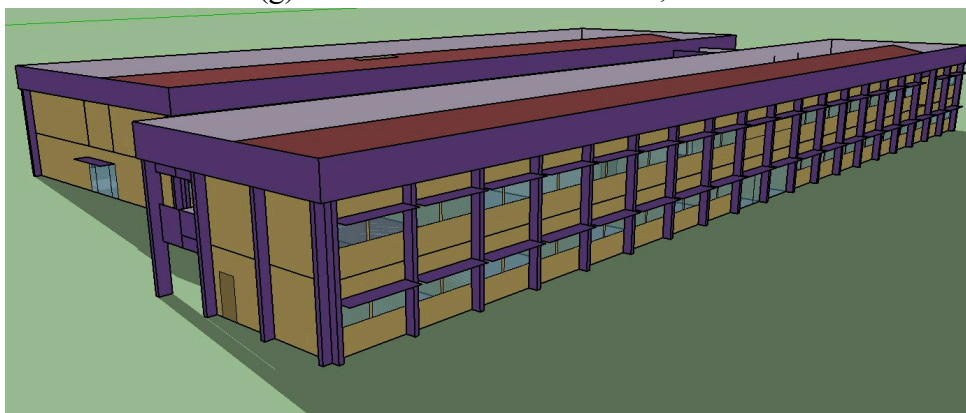
(e) Coberta e fachadas sul/leste, 7h



(f) Coberta e fachadas sul/leste, 10h



(g) Coberta e fachadas sul/leste, 13h



(h) Coberta e fachadas sul/leste, 16h

No Centro de Pesquisa, Figura 58, destaca-se a predominância da radiação solar direta na fachada norte durante todo o dia, com sombreamento parcial no trecho superior devido principalmente à platibanda; nesse sentido, a fachada leste é protegida, em quase sua totalidade, pela parede paralela externa e pela laje técnica. A fachada sul é sombreada durante todo o dia, enquanto observa-se na fachada oeste a radiação direta apenas no período da tarde.

No Bloco F, Figura 59, nota-se o efeito do sombreamento das marquises sobre todas as janelas, especialmente entre o fim da manhã e o início da tarde, além das unidades “leste” e “oeste” que acabam funcionando na prática como sombreamento uma para a outra, a depender do momento do dia. A fachada oeste é atingida pela radiação direta apenas no período da tarde, com uma taxa de sombreamento decrescente, enquanto na fachada norte a radiação direta é basicamente ininterrupta, porém com uma taxa de sombreamento crescente. A fachada sul é sombreada durante todo o dia, enquanto observa-se na fachada leste a radiação direta apenas no início da manhã.

Considerando os horários das medições termográficas e os resultados das modelagens com sombreamento, pode ser estabelecida uma referência objetiva entre Imagem 12, Imagem 14b e Figura 58b (Centro de Pesquisa); Imagem 15 e Figura 59c (Bloco F).

Cabe ressaltar que a análise deste tópico vale especificamente para as condições de simulação propostas, considerando a orientação de cada edificação estudada, o fato de não terem sido modelados os elementos de sombreamento no entorno (edificações vizinhas, vegetação de grande porte etc.) e, sobretudo, a data parametrizada. A posição relativa do sol, além da variação durante o dia associada ao movimento de rotação da Terra, também é influenciada pelas estações do ano, associadas ao movimento de translação. Neste caso, para o hemisfério sul, o dia 03/06 está situado entre o equinócio de outono, 21/03, e o solstício de inverno, 21/06 (Lamberts *et al.*, 2016). Devido à versão utilizada do SketchUp 2017, não estava disponível a função de geolocalização, a qual poderia proporcionar resultados de simulação ainda mais precisos.

5.6 INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A Tabela 08 apresenta, para cada cenário descrito na seção 7.3, a razão entre o consumo anual de energia elétrica (KWh) para climatização - *cooling* (resfriamento) e *fans* (ventilação) - e a área construída climatizada (m²) de cada edificação, resultando em um indicador cuja unidade de medida é KWh/m²; destaca-se que, quanto menor este valor, melhor é o nível de eficiência energética, pois significa um menor consumo de energia para climatizar

a mesma área. Como já indicado, as referidas áreas climatizadas, a partir da modelagem, são de 1.173,31 m² para o Centro de Pesquisa (36 zonas térmicas) e 3.486,91 m² para o Bloco F (68 zonas térmicas). Ao lado de cada valor, consta ainda a variação percentual com relação ao respectivo Cenário 01. As Figuras 60 e 61 exibem os mesmos valores graficamente.

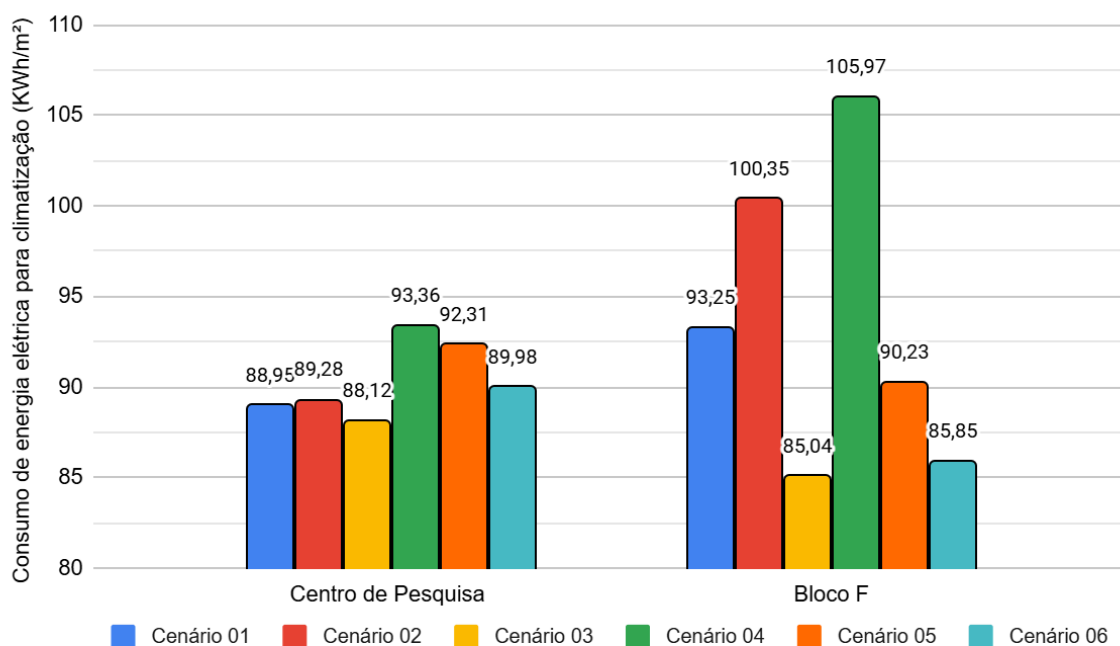
Tabela 08 - Consumo médio anual de energia elétrica para climatização (KWh/m²)

Cenários	Centro de Pesquisa (Δ% ao Cenário 01)	Bloco F (Δ% ao Cenário 01)
Cenário 01 - Original	88,95 (-)	93,25 (-)
Cenário 02 - Sem os elementos de sombreamento	89,28 (+0,37%)	100,35 (+7,61%)
Cenário 03 - Todas as superfícies brancas*	88,12 (-0,93%)	85,04 (-8,80%)
Cenário 04 - Todas as superfícies pretas*	93,36 (+4,96%)	105,97 (+13,64%)
Cenário 05 - Orientação rotacionada em 90°	92,31 (+3,78%)	90,23 (-3,24%)
Cenário 06 - Materiais invertidos com a outra edificação	89,98 (+1,16%)	85,85 (-7,94%)

* Cores com níveis de absorvância extremos (INMETRO, 2022)

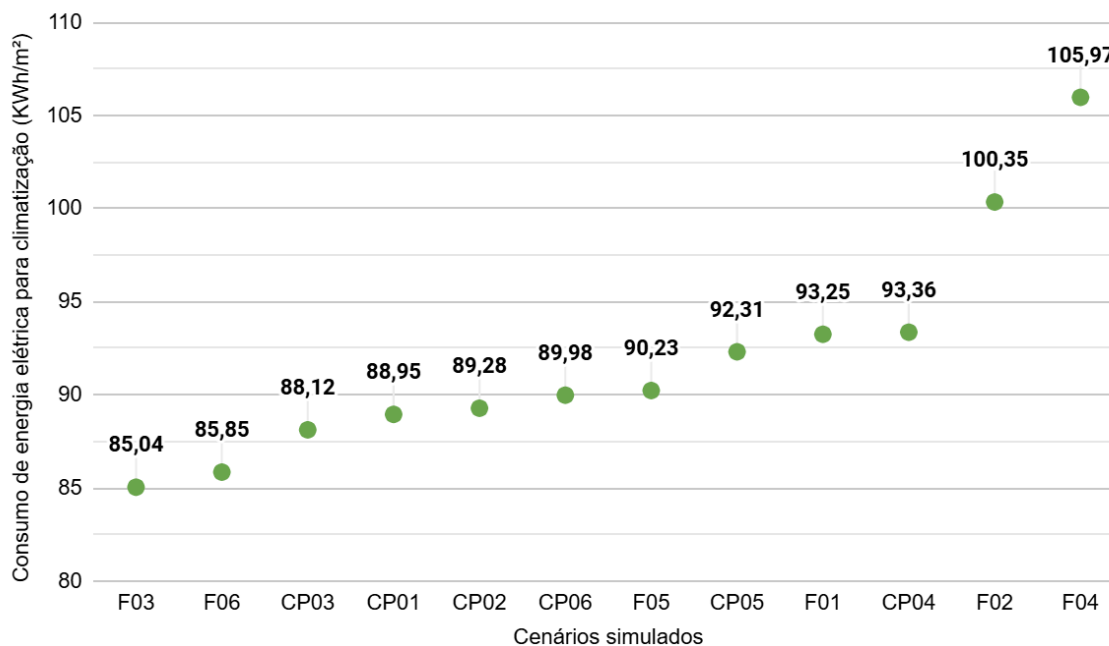
Fonte: Autoria própria

Figura 60 - Consumo médio anual de energia elétrica para climatização (KWh/m²), cenários agrupados por edificação



Fonte: Autoria própria

Figura 61 - Consumo médio anual de energia elétrica para climatização (KWh/m²), cenários em sequência crescente



Fonte: Autoria própria

Considerando apenas o Centro de Pesquisa, percebeu-se um intervalo entre 88,12 (Cenário 03) e 93,36 (Cenário 04) KWh/m², com variações de -0,93% e +4,96% com base no Cenário 01 - Original, respectivamente. Tais resultados comprovam, como é possível prever, a grande influência que as cores das superfícies, em especial da envoltória, têm para o ganho térmico nos ambientes internos: o Cenário 01 teve seu albedo calculado em 65,54%, enquanto os Cenários 03 (superfícies opacas na cor “06 Branco”, refletância 0,842) e 04 (superfícies opacas na cor “29 Preto”, refletância 0,029) possuem albedos de 74,75% e 3,47%, respectivamente, conforme Tabelas 09 e 10, considerando o mesmo procedimento de cálculo utilizado na seção 7.4.

Tabela 09 - Superfícies para cálculo do albedo, Centro de Pesquisa - Cenário 03

Superfícies da envoltória	Área (m ²)	Refletância
<i>Exterior Wall</i>	653,03435	0,842
<i>Exterior Wall (norte)</i>	119,03100	0,842
<i>Exterior Window</i>	185,65000	0,075
<i>Glass Door</i>	25,16000	0,075
<i>Exterior Door</i>	9,45000	0,842
<i>Exterior Roof</i>	719,06000	0,842

Fonte: Autoria própria

Tabela 10 - Superfícies para cálculo do albedo, Centro de Pesquisa - Cenário 04

Superfícies da envoltória	Área (m ²)	Refletância
<i>Exterior Wall</i>	653,03435	0,029
<i>Exterior Wall (norte)</i>	119,03100	0,029
<i>Exterior Window</i>	185,65000	0,075
<i>Glass Door</i>	25,16000	0,075
<i>Exterior Door</i>	9,45000	0,029
<i>Exterior Roof</i>	719,06000	0,029

Fonte: Autoria própria

O Cenário 02 teve uma taxa de consumo de 89,28 KWh/m², ligeiramente maior que o Cenário 01 (+0,37%), ou seja, a influência dos elementos de sombreamento no Centro de Pesquisa, apesar de existente, se mostrou bem pequena. Nesse contexto, os principais elementos seriam a parede paralela à fachada leste e a laje técnica (Figura 17a), sendo que a fachada leste, por sua vez, já tem a menor área dentre as fachadas, considerando a orientação original da edificação.

O Cenário 05, com 92,31 KWh/m², apresentou uma variação mais substancial de +3,78%, que pode ser explicada, com a orientação rotacionada em 90°, pela maior área resultante das fachadas leste e oeste, as quais normalmente são incididas por uma maior quantidade de radiação solar, considerando o movimento relativo entre o Sol e a Terra (Lamberts *et al.*, 2016), proporcionando um maior ganho térmico desde o ambiente externo.

Quanto ao Bloco F, o comportamento foi similar: o Cenário 03 apresentou o resultado mais favorável com 85,04 KWh/m², -8,80% para o Cenário 01, enquanto o Cenário 04 apresentou o resultado menos favorável com 105,97 KWh/m², +13,64% para o Cenário 01. O nível do albedo calculado para o Cenário 01 foi de 36,23%, comparado aos valores de 75,33% do Cenário 03 e 3,43% do Cenário 04, conforme Tabelas 11 e 12, considerando a área total da envoltória de 4.360,330 m² e o mesmo procedimento de cálculo utilizado na seção 7.4.

Tabela 11 - Superfícies para cálculo do albedo, Bloco F - Cenário 03

Superfícies da envoltória	Área (m ²)	Refletância
<i>Exterior Wall</i>	909,567	0,842
<i>Exterior wall (peitoril janelas)</i>	567,238	0,842
<i>Exterior Wall (sul)</i>	171,315	0,842
<i>Exterior Window</i>	464,180	0,075
<i>Glass Door</i>	40,150	0,075
<i>Exterior Door</i>	48,090	0,842
<i>Exterior Roof</i>	2.159,790	0,842

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 - Superfícies para cálculo do albedo, Bloco F - Cenário 04

Superfícies da envoltória	Área (m ²)	Refletância
<i>Exterior Wall</i>	909,567	0,029
<i>Exterior wall (peitoril janelas)</i>	567,238	0,029
<i>Exterior Wall (sul)</i>	171,315	0,029
<i>Exterior Window</i>	464,180	0,075
<i>Glass Door</i>	40,150	0,075
<i>Exterior Door</i>	48,090	0,029
<i>Exterior Roof</i>	2.159,790	0,029

Fonte: Autoria própria

O Cenário 02 teve uma taxa de consumo de 100,35 KWh/m², maior que o Cenário 01 (+7,61%), ou seja, os elementos de sombreamento no Bloco F têm uma influência considerável no ganho térmico externo da edificação, principalmente considerando as marquises sobre todas as superfícies envidraçadas externas e os pilares externos, que na prática acabam desempenhando função de brise e contribuem significativamente para diminuir a incidência de radiação solar direta nas fachadas.

O Cenário 05 (90,23 KWh/m²) apresentou uma variação de -3,24%, resultado também dentro do esperado, considerando que na orientação original (Cenário 01), as fachadas leste e oeste, normalmente incididas por uma maior quantidade de radiação solar, são notoriamente maiores; isto é, com a rotação de 90° simulada no Cenário 05, as fachadas leste e oeste seriam reduzidas (Lamberts *et al.*, 2016).

5.7 CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA

Considerando a tarifa de R\$ 0,53871717 / KWh, os valores da Tabela 08 podem ser reinterpretados da seguinte forma, consoante Tabela 13.

Tabela 13 - Custo médio anual com energia elétrica para climatização (R\$/m²)

Cenários	Centro de Pesquisa (Δ% ao Cenário 01)	Bloco F (Δ% ao Cenário 01)
Cenário 01 - Original	47,92 (-)	50,24 (-)
Cenário 02 - Sem os elementos de sombreamento	48,10 (+0,37%)	54,06 (+7,61%)
Cenário 03 - Todas as superfícies brancas	47,47 (-0,93%)	45,81 (-8,80%)
Cenário 04 - Todas as superfícies pretas	50,29 (+4,96%)	57,09 (+13,64%)
Cenário 05 - Orientação rotacionada em 90°	49,73 (+3,78%)	48,61 (-3,24%)
Cenário 06 - Materiais invertidos com a outra edificação	48,47 (+1,16%)	46,25 (-7,94%)

Fonte: Autoria própria

Em termos relativos, na perspectiva de quais seriam os melhores e piores cenários, as variações de custo tratadas aqui seguem a mesma análise realizada na seção anterior, porém na Tabela 13 fica mais claro o potencial impacto financeiro dos fatores que foram simulados.

Para o Centro de Pesquisa, considerando sua área climatizada de 1.173,31 m², a diferença entre o menor (Cenário 03) e o maior custo (Cenário 04) é de R\$ 3.312,11; tendo como referência a situação real (Cenário 01), a economia potencial para o período de 1 ano seria de R\$ 524,63. Para o Bloco F, considerando sua área climatizada de 3.486,91 m², a diferença máxima entre os custos seria de R\$ 39.316,13, com potencial de economia anual ainda maior, com referência na situação real (Cenário 01): R\$ 15.422,15.

Ressalta-se novamente que as rotinas parametrizadas nas simulações (horário de funcionamento, densidade de ocupantes e cargas elétricas, utilização plena dos ambientes etc.) não refletem necessariamente a realidade de uso das edificações que compõem o objeto de estudo. Para essa finalidade específica, com vistas à obtenção de resultados financeiros mais factíveis, seria necessário aplicar valores mais precisos e direcionados a cada prédio nos parâmetros disponíveis no EnergyPlusTM.

5.8 EMISSÕES DE CO₂

Considerando o patamar de emissões de dióxido de carbono (CO₂) associadas à geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil, com fator médio de 0,0523 KgCO₂/KWh em 2024, conforme publicação no Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) (MCTI, 2025), além da área climatizada de cada edificação, os valores da Tabela 08 podem ser reinterpretados da seguinte forma, consoante Tabela 14.

Tabela 14 - Emissão média anual de CO₂, associada ao consumo de energia elétrica para climatização (KgCO₂/m²)

Cenários	Centro de Pesquisa (Δ% ao Cenário 01)	Bloco F (Δ% ao Cenário 01)
Cenário 01 - Original	4,65 (-)	4,88 (-)
Cenário 02 - Sem os elementos de sombreamento	4,67 (+0,37%)	5,25 (+7,61%)
Cenário 03 - Todas as superfícies brancas	4,61 (-0,93%)	4,45 (-8,80%)
Cenário 04 - Todas as superfícies pretas	4,88 (+4,96%)	5,54 (+13,64%)
Cenário 05 - Orientação rotacionada em 90°	4,83 (+3,78%)	4,72 (-3,24%)
Cenário 06 - Materiais invertidos com a outra edificação	4,71 (+1,16%)	4,49 (-7,94%)

Fonte: Autoria própria

Para o Centro de Pesquisa, com área climatizada de 1.173,31 m², a diferença entre o melhor (Cenário 03) e o pior nível de emissão (Cenário 04) é de 321,54 KgCO₂; tendo como referência a situação real (Cenário 01), a redução potencial para o período de 1 ano seria de 50,93 KgCO₂. Para o Bloco F, com área climatizada de 3.486,91 m², a diferença máxima entre as emissões seria de 3.816,91 KgCO₂, com potencial de redução anual ainda maior, com referência na situação real (Cenário 01): 1.497,22 KgCO₂.

5.9 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES

A comparação entre o desempenho termoenergético do Centro de Pesquisa e do Bloco F foi realizada sob diferentes aspectos, elencados nos tópicos a seguir. Cabe, porém, a observação de que cada edificação está inserida em seu próprio contexto histórico, socioeconômico, cultural e institucional; assim, buscou-se realizar uma análise comparativa de modo objetivo, na perspectiva dos fundamentos da eficiência energética.

5.9.1 Nível de albedo/refletância

Como já discutido na seção 7.4, o Centro de Pesquisa teve seu albedo calculado em 65,54%; o Bloco F, 36,23%. Nesse aspecto, a vantagem é bem evidente em favor do Centro de Pesquisa, especialmente se for considerada a cidade do Recife situada na Zona Bioclimática 5A, para a qual a NBR 15220-3 (ABNT, 2024b) indica como uma das diretrizes que as superfícies da envoltória tenham característica refletora.

5.9.2 Distribuição térmica nas fachadas

A partir dos resultados do imageamento termográfico, conforme seção 7.5, pode-se analisar as medições de temperatura nas fachadas, resumidas na Tabela 15.

Tabela 15 - Resumo das medições de temperatura nas fachadas

Fachada	Centro de Pesquisa (°C)	Bloco F (°C)
Norte (radiação solar direta)	41,5-47,0	39,5-40,7
Norte (sombreada)	35,0	37,0
Sul (sombreada)	28,3-29,3	30,0-31,6
Leste (sombreada)	28,9-31,3	31,9-34,1

Fonte: Autoria própria

Em termos quantitativos, o Centro de Pesquisa parece apresentar temperaturas um pouco menores em suas fachadas norte, sul e leste, com exceção dos trechos sob radiação solar direta na fachada norte, principalmente devido às superfícies verdes (cor “11 Jade”) no Centro de Pesquisa, que possuem uma refletância de 47,70% (Figura 31), menor que a refletância média do revestimento na fachada do Bloco F, de 54,60% (Tabela 04).

Entretanto, uma limitação para a comparação direta e objetiva entre as capturas termográficas é não saber exatamente o tempo de exposição daquelas superfícies à radiação solar direta no período prévio às medições, fator que impactaria no acúmulo de energia térmica e, conseqüentemente, em sua temperatura. Portanto, não seria viável afirmar qual edificação teve o melhor desempenho apenas com base neste critério de forma isolada, até por isso buscou-se complementar os resultados combinando a termografia com as simulações computacionais.

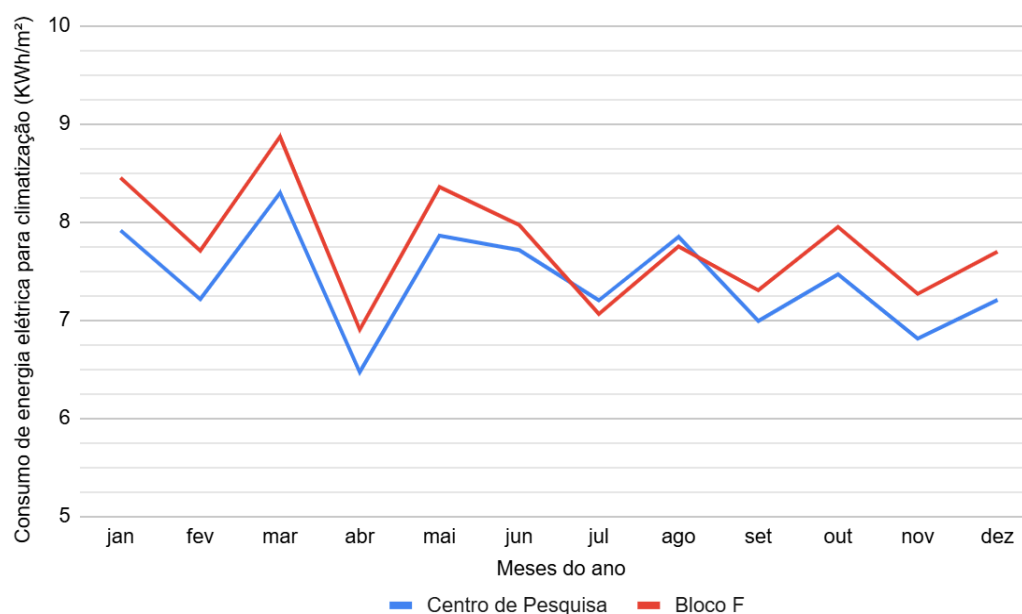
Na perspectiva do entorno, conforme Imagem 04 ratificada pela observação *in loco*, notou-se uma maior presença de árvores no perímetro do Bloco F, assim como entre suas unidades “leste” e “oeste”, estruturas que acabam por contribuir significativamente como elementos de sombreamento para o prédio, a depender do momento do dia. Por outro lado, o Centro de Pesquisa tem sua área ao redor mais livre, com algumas árvores apenas na região da fachada oeste, porém um pouco mais afastadas.

5.9.3 Consumo de energia para climatização

Para este quesito, baseia-se nos resultados das simulações termoenergéticas dispostos na seção 5.6, com ênfase nos valores da Tabela 08 para o Cenário 01, considerando que os demais cenários são hipotéticos. Aqui, o Centro de Pesquisa apresentou um nível mais elevado de eficiência energética para climatização, com taxa média anual de consumo de 88,95 KWh/m², 4,61% menor que a taxa de 93,25 KWh/m² do Bloco F. Na distribuição mensal do consumo, Figura 62, o Bloco F levou uma ligeira vantagem apenas nos meses de julho e agosto. Concorrem para este resultado, em favor do Centro de Pesquisa, fatores como:

- Nível de albedo (65,54%), 80,90% maior que no Bloco F (36,23%);
- Orientação longitudinal na direção leste-oeste, perpendicular ao Bloco F;
- Coberta formada por telha termoacústica do tipo “sanduíche”, em comparação com a telha de fibrocimento no Bloco F.

Figura 62 - Consumo médio mensal de energia elétrica para climatização (KWh/m²)



Fonte: Autoria própria

Sobre os materiais construtivos, vale a comparação, ainda que hipotética, das simulações do Cenário 06, em que os materiais foram invertidos entre as edificações. Nesta situação, vide Figura 61, o resultado de F06 (geometria do Bloco F com os materiais do Centro de Pesquisa) foi melhor que CP06 (geometria do Centro de Pesquisa com os materiais do Bloco F), o que torna possível inferir que, como conjunto, a composição dos materiais construtivos do Centro de Pesquisa, com suas respectivas propriedades e cores, é mais eficiente.

Expandindo esta comparação hipotética, em termos de custos absolutos, pode-se estimar o potencial de economia para o Bloco F, com base nos resultados dos cenários F01 e F06: caso fosse construído com os materiais do Centro de Pesquisa, o Bloco F teria seu custo anual com energia elétrica para climatização reduzido de R\$ 175.166,24 para R\$ 161.265,64, diferença de R\$ 13.900,60 (-7,94%); em uma perspectiva de 10 anos, considerando a inflação média histórica de 5,78% nos últimos 10 anos (Banco Central do Brasil, 2025), a diferença acumulada chegaria a R\$ 181.338,95.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa teve como objetivo principal estudar e determinar o nível de desempenho termoenergético das edificações do IFPE *Campus* Recife, em especial do Centro de Pesquisa e do Bloco F, respectivamente a construção mais nova e a mais antiga da unidade. Para isso, foram combinadas as técnicas de simulação computacional, a partir da modelagem e parametrização do objeto de estudo, e termografia de infravermelho, considerando o imageamento das fachadas.

Foi possível observar que o desempenho termoenergético de uma edificação é resultado de uma combinação de fatores, que vão desde sua concepção arquitetônica nas fases de estudos preliminares e desenvolvimento do projeto, passando por especificidades como a definição da orientação das fachadas e a seleção adequada dos materiais construtivos, até as cores das superfícies, especialmente na envoltória. Nesse contexto, as diretrizes vinculadas aos conceitos de arquitetura bioclimática e sustentável se provaram essenciais.

A simulação computacional, com o conjunto de *softwares* EnergyPlusTM e SketchUp, além da extensão Euclid, se mostrou uma técnica valiosa com o objetivo de estudar o desempenho do ambiente construído, permitindo antecipar o consumo energético para edificações em fase de projeto, prévia à construção, e até comparar o desempenho de edificações existentes, como foi o foco principal da pesquisa, com possibilidade de manipular variáveis e estudar a influência das mesmas.

Por sua vez, a técnica da termografia de infravermelho também contribuiu para os resultados obtidos, de modo a viabilizar a análise de nuances como a temperatura em pontos de interesse específicos e os efeitos práticos do sombreamento nas fachadas, a partir dos brises e das estruturas de vegetação na vizinhança, por exemplo.

Pode-se afirmar, portanto, que os objetivos da pesquisa foram alcançados, considerando a aplicação das técnicas de simulação termoenergética e termografia de infravermelho no objeto de estudo proposto. O Centro de Pesquisa obteve resultados melhores que o Bloco F, na perspectiva do desempenho termoenergético, basicamente sob todos os aspectos analisados: albedo da envoltória, distribuição térmica nas fachadas, indicadores de eficiência energética e, por conseguinte, custos com energia elétrica e emissões de CO₂ associados. Apesar desta comparação de características tecnicamente objetivas, considerando os fundamentos da eficiência energética, é importante a ressalva de que cada edificação está inserida em seu próprio contexto histórico, socioeconômico, cultural e institucional.

A pesquisa tem potencial para contribuir com o planejamento de intervenções prediais, como manutenções ou reformas, visando à elevação do nível de eficiência energética, inclusive com possibilidade de ser adotada a metodologia proposta no Apêndice A. São exemplos de intervenção a pintura de superfícies, a substituição de revestimentos e a implantação de um projeto paisagístico no entorno das edificações, para fins de sombreamento. Outra aplicação é o planejamento nos aspectos energético e financeiro para uma nova construção, permitindo estudar o impacto quantitativo de diferentes soluções.

Naturalmente, o tema abordado neste trabalho não foi esgotado. Existem diversas outras linhas de pesquisa que podem ser exploradas, a exemplo de:

- Termografia em *timelapse* (sequencial) durante intervalos de tempo maiores;
- Termografia com câmeras acopladas a drones, que permitiria inclusive um imageamento mais abrangente da coberta;
- Simulação termoenergética para estudar a influência de diferentes *setpoints* de temperatura no consumo de energia elétrica;
- Simulação do desempenho de uma mesma edificação em diferentes locais e padrões climáticos;
- Estudo de edificações diferentes do IFPE *Campus* Recife ou das demais unidades; entre outras.

REFERÊNCIAS

3TC ISOLAMENTO. **As 3 formas de transferência de calor: entenda o que é e como impactam na sua casa**, 24 maio 2022. Disponível em: <https://www.3tc.com.br/blog/3-formas-transferencia-calor/>. Acesso em: 14 out. 2023.

ABNT (Brasil). Norma Técnica, 2008. **Desempenho térmico de edificações: Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD)**, 09 jun. 2008.

ABNT (Brasil). Norma Técnica, 2022. **Materiais e produtos de construção - Propriedades higrotérmicas - Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto**, 26 maio 2022.

ABNT (Brasil). Norma Técnica, 2024. **Desempenho térmico de edificações: Parte 1: Definições, símbolos e unidades**, 26 abr. 2024.

ABNT (Brasil). Norma Técnica, 2024. **Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho**, 03 dez. 2024.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Boletins meteorológicos**. Recife, 2025. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/boletins>. Acesso em: 1 jul. 2025.

ALMEIDA, Ana Sofia Ferreira Coimbra e; ORNELAS, Alexandre; CORDEIRO, António M. Rochette. Termografia passiva no diagnóstico de patologias e desempenho térmico em fachadas de edifícios através de câmara térmica instalada em drone. Abordagem preliminar em Coimbra (Portugal). **Cadernos de Geografia**, Coimbra, n. 42, p. 27-41, 2020. DOI 10.14195/0871-1623_42_2. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/cadernosgeografia/article/view/7855>. Acesso em: 16 jun. 2023.

ARQ+ SMART CONSTRUCTION. **Leed, Aqua e Selo Azul: certificações ambientais de edificações**, 13 jul. 2020. Disponível em: <https://www.arqsmartconstruction.com/artigos/leed-aqua-e-selo-azul-certificaes-ambientais-de-edificaes>. Acesso em: 30 out. 2023.

BACHA, Maria de Lourdes; SANTOS, Jorgina; SCHAUN, Angela. Considerações teóricas sobre o conceito de Sustentabilidade. **VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT)**, 2010.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico: meta de inflação vs. inflação efetiva.** [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicometas>. Acesso em: 29 ago. 2025.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; OLIVEIRA FILHO, E. H.; PAVÓN, E. Critérios para aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios. **1º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado**, Salvador, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277012000>. Acesso em: 23 out. 2023.

BIG LADDER SOFTWARE. **Euclid.** [S. l.], 2025. Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

BRASILIT. **Ficha técnica do produto:** Telhas de fibrocimento ondulada 5, 6 e 8 mm. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.brasilit.com.br/sites/brasilit.com.br/files/produto/arquivos/Ficha%20T%C3%A9cnica%20-%20Ondulada%205%2C%206%20e%208mm.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CA2. **Conceitos básicos de conforto ambiental,** [2023?]. Disponível em: <https://ca-2.com/conceitos-basicos-de-conforto-ambiental/>. Acesso em: 15 out. 2023.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo Casa Azul + CAIXA:** Boas práticas para uma habitação mais sustentável, 2023. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (CB3E). **Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220-2:2022.** Florianópolis, 2022. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/RI%2010-2022-02.pdf. Acesso em: 9 jul. 2025.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** Conforto ambiental. 2. ed. rev. e aum. Rio de Janeiro: Revan, 2009. 308 p. ISBN 978-85-7106-397-6.

CURSO EnergyPlus 9.4 2021. [S. l.]: Luciana Lima, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLPohPMMcWBeFGBVOTzVldHGfB5ZHPPIYC>. Acesso em: 20 jun. 2025.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (Estados Unidos). **EnergyPlus Version 9.6 Documents**. [S. 1.], 23 set. 2021. Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-6/index.html>. Acesso em: 20 jul. 2025.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE) (Estados Unidos). **OpenStudio Comes Full Polygon**. [S. 1.], 9 maio 2017. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/openstudio-comes-full-polygon>. Acesso em: 20 jul. 2025.

DOULOS, L.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. **Solar Energy**, 4 maio 2004. DOI 10.1016/j.solener.2004.04.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X04000738>. Acesso em: 27 set. 2023.

EKKO GREEN. **Tripé da Sustentabilidade: O Que É e Qual a Importância**, 8 maio 2023. Disponível em: <https://ekkogreen.com.br/tripe-da-sustentabilidade/>. Acesso em: 2 out. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular Buildings Toolkit**. [S. 1.], 15 mar. 2022. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/circular-buildings-toolkit>. Acesso em: 5 nov. 2025.

ENERGYPLUS for beginners. [S. 1.]: Matheus Geraldi, 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLt8euQ9WuNBcGVJrrWRqlAGmE7HnoQXHc>. Acesso em: 17 maio 2025.

FLIR. **Flir B335**. [S. 1.], 2010. Disponível em: <https://www.tester.co.uk/files/get/download/id/10/flir-b335-building-ir-camera-datasheet.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FOX, Matthew; COLEY, David; GOODHEW, Steve; WILDE, Pieter De. Thermography Methodologies for Detecting Energy Related Building Defects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2014. DOI 10.1016/j.rser.2014.07.188. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114006406>. Acesso em: 17 nov. 2023.

FRANÇA, Livia Ferreira de. **SINGULAR E PLURAL: estudos de conforto ambiental à luz de arquitetura bioclimática, eficiência energética e experiência espacial do usuário**. Orientador: Ruskin Marinho de Freitas. 2018. 183 p. Dissertação (Mestrado em

Desenvolvimento Urbano) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32431>. Acesso em: 22 fev. 2024.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **AQUA-HQE™**, 2023. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/certificacao/sustentabilidade-certificacao/aqua-hqe/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GBC BRASIL. **Leadership in Energy and Environmental Design**: Eficiência, Conforto, Saúde e Bem-Estar, 2023. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-lead/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GIORDANO, Dominique E.; KRÜGER, Eduardo. Potencial de redução da temperatura de superfície pelo aumento do albedo nas diversas regiões brasileiras. **XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC**, Paranoá, Brasília, n. 11, p. 13-22, 2014. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10642>. Acesso em: 12 out. 2023.

GOOGLE EARTH. **Instituto Federal de Pernambuco**, 2013. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 3 out. 2023.

GOOGLE EARTH. **Instituto Federal de Pernambuco**, 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 3 out. 2023.

GOOGLE MAPS. **Instituto Federal de Pernambuco**, 2023. Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/hwm9b33M4Yju2pie9>. Acesso em: 10 ago. 2023.

IFPE. **Campus Recife**: Histórico, 15 ago. 2023. Disponível em: <https://portal.ifpe.edu.br/recife/o-campus/historico/>. Acesso em: 3 out. 2023.

IFPE. **IFPE inaugura seu primeiro Centro de Pesquisa**, 2018. Disponível em: <https://www.ifpe.edu.br/noticias/ifpe-inaugura-seu-primeiro-centro-de-pesquisa-1>. Acesso em: 16 jun. 2023.

IFPE. **Relatório de Gestão 2022**, 12 maio 2023. Disponível em: <https://portal.ifpe.edu.br/acesso-a-informacao/transparencia-e-prestacao-de-contas/relatorio-de-gestao/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas do Brasil**: Período: 1991-2020. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 24 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO) (Brasil). **Manual RAC**: Catálogo de propriedades térmicas. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20RAC_Cat%C3%A1logo%20de%20propriedades_DEZ-22.pdf. Acesso em: 9 jul. 2025.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed.: Eletrobras/Procel, 2014. 366 p. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/index.php/pt-br/publicacoes/livros>. Acesso em: 26 set. 2023.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Eneid; ABREU, Ana Lúcia Papst de; CARLO, Joyce C.; BATISTA, Juliana Oliveira; MARINOSKI, Deivis Luis; NARANJO, Alejandro; DUARTE, Vanessa C. P. **Desempenho térmico de edificações**. 7. ed. Florianópolis, 2016. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acesso em: 26 set. 2023.

MARTIN, Miguel; CHONG, Adrian; BILJECKI, Filip; MILLER, Clayton. Infrared thermography in the built environment: A multi-scale review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 165, 24 maio 2022. DOI 10.1016/j.rser.2022.112540. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122004397>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MELO, Inamara Santos; CARVALHO, Renata Maria Caminha M. O. de; SOBRAL, Maria do Carmo Martins; LYRA, Marília Regina Costa Castro; SILVA, Hernande Pereira da. Adaptação aos impactos das mudanças climáticas na perspectiva do plano diretor da cidade do Recife. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Recife, v. 23, 4 jan. 2022. DOI 10.22296/2317-1529.rbeur.202140pt. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/6768>. Acesso em: 24 abr. 2024.

MELO, Thiago da Costa. **Eficiência energética e conforto térmico em edificações em Recife utilizando o Energyplus**. Orientador: Tiago Ancelmo de Carvalho Pires. 2018. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife,

2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30969>. Acesso em: 1 jul. 2025.

MINIPA. **MT-241A**. [S. 1.], 2025. Disponível em: <https://www.minipa.com.br/temperatura-e-ambiente/termo-higrometros/462-mt-241a>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI) (Brasil). INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos, 2017. 80 p. DOI 10.34024/978851700089. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 30 out. 2023.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI) (Brasil). **Fator médio - Inventários corporativos**. [S. 1.], 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 3 ago. 2025.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC) (Brasil). **Diretrizes para elaboração de projetos de arquitetura e engenharia da rede federal de EPCT**. 1. ed. Brasília: [s. n.], 2024. 53 p.

MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS (MGI) (Brasil). **Gestão divulga calendário de feriados e pontos facultativos em 2025**. [S. 1.], 30 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/gestao/pt-br/assuntos/noticias/2024/dezembro/gestao-divulga-calendario-de-feriados-e-pontos-facultativos-em-2025>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) (Brasil). EPE. **Balanco Energético Nacional: Relatório Síntese 2023 - Ano base 2022, 2023**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 14 out. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) (Brasil). **Portaria busca aperfeiçoar eficiência energética do setor de edificações**, 14 set. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/portaria-busca-aperfeicoar-eficiencia-energetica-do-setor-de-edificacoes>. Acesso em: 26 set. 2023.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE) (Brasil). 20/12/2022. **NR 17 - Ergonomia**, [S. 1.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/ acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-pa>

rtitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-17-nr-17. Acesso em: 23 jul. 2025.

NAZI, Wan Iman Wan Mohd; WANG, Yaodong; CHEN, Haisheng; ZHANG, Xinjing; ROSKILLY, Anthony Paul. Passive Cooling Using Phase Change Material and Insulation for High-rise Office Building in Tropical Climate. **9th International Conference on Applied Energy**, Cardiff, 2017. DOI 10.1016/j.egypro.2017.12.632. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217363956>. Acesso em: 25 set. 2023.

NICOLAU, V.P.; NUNES, A.T.; SCOPEL, D.A.B.; REINALDO, E.B. Determinação experimental de emissividades de materiais cerâmicos. **52º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Florianópolis, 2008. Disponível em: https://www.labtermo.ufsc.br/publica/ac16_52cbc_05_019%20emissividade.pdf. Acesso em: 12 jul. 2025.

OLIVEIRA, Paolo Américo de; LUNARDI, Diana Gonçalves. Influência da envoltória no desempenho termoenergético de edificações institucionais no semiárido. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 9, n. 4, p. 276-289, 2018. DOI 10.20396/parc.v9i4.8651048. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8651048>. Acesso em: 14 out. 2023.

OLIVEIRA, Roberta Bastos de; GONZALES, Tomaz Silva; CARVALHO, Michele Tereza Marques. Uso de PCM para edificações em região de clima quente: uma revisão sistemática. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 12, 18 jan. 2021. DOI 10.20396/parc.v12i00.8658590. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8658590>. Acesso em: 14 out. 2023.

ONU. **A ONU e o meio ambiente**. [S. l.], 16 set. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 23 abr. 2024.

ONU. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. [S. l.], 15 set. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 23 abr. 2024.

ONU. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Cidades e comunidades sustentáveis**, 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>. Acesso em: 25 set. 2023.

PBE EDIFICA. **PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem**, 2022. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 21 nov. 2023.

PBMC (Brasil). Primeiro relatório de avaliação nacional. **Base científica das mudanças climáticas**, v. 1, p. 320-346, 10 jun. 2020. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/base-cientifica-das-mudancas-climaticas-volu-me-1-completo>. Acesso em: 24 abr. 2024.

PROCEL. **Selo Procel Edificações**, 2023. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>. Acesso em: 21 nov. 2023.

RAKHA, Tarek; MASRI, Yasser El; CHEN, Kaiwen; PANAGOULIA, Eleanna; WILDE, Pieter De. Building envelope anomaly characterization and simulation using drone time-lapse thermography. **Energy & Buildings**, 29 nov. 2021. DOI 10.1016/j.enbuild.2021.111754. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821010380>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SANTOS, Cynthia Firmino dos; ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; PÓVOAS, Yêda Vieira. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, ano 2019, v. 19, n. 1, p. 105-127, 2019. DOI 10.1590/s1678-86212019000100296. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/wfzXFzWqpPdXtYh7GjTGrVh/>. Acesso em: 7 maio 2025.

SANTOS, Érica Nayara Mendes dos. **Análise de desempenho energético em edificações durante a fase de projeto com o uso da plataforma BIM**. Orientador: Maria Cláudia Sousa Alvarenga. 2020. 26 p. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020. Disponível em: <https://ecv.crp.ufv.br/trabalho-final-de-curso-2019/2019-2/>. Acesso em: 10 out. 2023.

SANTOS, Fábio Pereira; OLIVEIRA, Gabriel Carneiro Araújo; CRUZ, Gabriele Santos da; SILVA, Jonatas Carvalho da; BARRETO, Pâmela Kelly Andrade; LIMA, Vanessa Coelho Nunes; PEREIRA, Jefferson da Silva. O espectro eletromagnético. **II Seminário de Pesquisa, Extensão, Inovação e Cultura do Território do Sisal: Cadernos Macambira, Serrinha**, v. 4, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.revista.lapprudes.net/index.php/CM/article/view/415>. Acesso em: 22 out. 2023.

SÁ, Andréa Juliana de Oliveira. **Avaliação da eficiência energética de edificações – Reflexões sobre a aplicabilidade das normas vigentes**. Orientadora: Carmen Couto Ribeiro. 2022. 132 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/46030>. Acesso em: 10 out. 2023.

SOUSA, Luís Filipe Rodrigues de. **Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios**. Orientador: Nelson Amadeu Dias Martins. 2010. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Aveiro, Portugal, 2010. Disponível em: <https://ria.ua.pt/handle/10773/3650>. Acesso em: 2 out. 2023.

SOUZA, Gabriela Trichês de. **Construção, conforto Ambiental e uso racional de energia: Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos**. Orientador: Roberto Lamberts. 2010. 27 p. Relatório (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_ic/IC_gabriela.pdf. Acesso em: 12 jul. 2025.

VIANA, L. A.; ZAMBOLIM, L.; SOUSA, T. V.; TOMAZ, D. C. Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, p. 286-298, 30 set. 2018. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/692>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ZAGO, Ana Carolina; MELLER, Bruna Just; WESTPHAL, Fernando Simon. Influência da absorção de vidros de controle solar no consumo de energia para climatização de um edifício de escritórios. **XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC 2022: Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável**, Canela, 2022. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/>. Acesso em: 21 nov. 2023.

APÊNDICE A - PRODUTO TÉCNICO

“SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA PARA TOMADA DE DECISÃO”

Este produto técnico visa apresentar uma solução prática e compatível com o mercado, considerando uma aplicação específica da técnica de simulação utilizada na pesquisa. Trata-se da “Simulação termoenergética para tomada de decisão” no âmbito da construção civil, processo a partir do qual um profissional da área de arquitetura ou engenharia, por exemplo, pode realizar a modelagem e a parametrização de diferentes cenários, com uma ou mais edificações, na etapa de nova construção ou reforma, de modo a estudar os respectivos níveis de consumo de energia elétrica, com seus custos associados, e a partir de então decidir detalhes como o tipo de telha que será utilizada, o revestimento das fachadas, a adição de isolante térmico nas paredes, a especificação do vidro nas portas e janelas, as cores para pintura, entre outras possibilidades. Sugere-se a utilização do EnergyPlus™ e outros *softwares* complementares, SketchUp com a extensão Euclid, porém existem outras soluções disponíveis no mercado.

Isso não significa que o desempenho termoenergético deve ser o único critério a ser considerado, mas ele pode complementar a análise e funcionar como mais um subsídio técnico para a tomada de decisão. A referida técnica permite comparar os custos para implementação de diferentes soluções propostas e, em uma perspectiva mais ampla, calcular a economia obtida a partir da redução do consumo de energia elétrica e o *payback*, que seria o tempo para retorno do investimento necessário. A Figura 63 ilustra o fluxograma que resume a metodologia proposta.



Fonte: Autoria própria

Toma-se como exemplo o Cenário 01 do Bloco F do IFPE *Campus* Recife, com todas suas condições de modelagem e parametrização constantes nas seções 7.1 e 7.2, que será chamado aqui de “Cenário A” para evitar confusões com os resultados principais da pesquisa. Pode ser considerada uma intervenção relativamente simples na cobertura, composta por telhas de fibrocimento com baixo nível de refletância, 25,50%, a qual se pretende pintar de branco, de modo a obter um maior nível de refletância, mais precisamente de 84,20% (“Cenário B”). Foram feitas as seguintes considerações, com o resultado das simulações e da análise financeira apresentado na Tabela 16:

- Área de intervenção: 2.159,79 m²;
- Custo com material: 75 baldes de “Manta para Telhado Brasilit 18Kg - Quartzolit” (<https://shre.ink/tcSm>), com preço unitário de R\$ 458,90 e rendimento de 29,00 m²: R\$ 34.417,50;
- Custo com mão de obra e acessórios: estimado em 50% do custo com material, mas que pode ser reduzido, por exemplo, se for utilizada a mão de obra já disponível na unidade: R\$ 17.208,75.

Tabela 16 - Comparação entre os Cenários A e B, Bloco F

Descrição	Cenário A - Original	Cenário B - Telha branca
Consumo anual de energia elétrica para climatização	325.140,49 KWh	298.127,56 KWh
Tarifa de energia elétrica	R\$ 0,53871717 / KWh	
Custo anual com energia elétrica para climatização	R\$ 175.158,76	R\$ 160.606,44
Economia anual projetada	-	R\$ 14.552,32
Custo com a intervenção (material + mão de obra)	-	R\$ 51.626,25
<i>Payback</i>	-	3,55 anos ou 3 anos e 7 meses

Fonte: Autoria própria

A intervenção simulada para o Cenário B resultaria em uma economia anual projetada de R\$ 14.552,32; a partir do custo total da intervenção de R\$ 51.626,25, é possível calcular o *payback* de aproximadamente 3 anos e 7 meses, tempo que pode ser considerado curto e que parece justificar o investimento, técnica e financeiramente. Ressalta-se ainda que, além do benefício energético, o material aplicado funcionaria também como uma camada extra de proteção mecânica, garantindo uma melhor impermeabilização da cobertura.

Para um valor mais preciso em termos de composição de custos, seria necessário um estudo mais completo da área técnica responsável pela infraestrutura da unidade, considerando que trata-se de um órgão público sujeito aos procedimentos previstos na Lei nº 14.133/2021 e outros instrumentos legais e normativos correlatos.