



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

AUGUSTO YUJI NOJIMA SPAGNUOLO

**PROJETO PADRÃO E CONFORTO TÉRMICO: ESTUDO DE CASO NAS
CRECHES PROINFÂNCIA TIPO B**

BAURU

2019

AUGUSTO YUJI NOJIMA SPAGNUOLO

**PROJETO PADRÃO E CONFORTO TÉRMICO: ESTUDO DE CASO NAS
CRECHES PROINFÂNCIA TIPO B**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Bauru, como requisito final para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Joao Roberto Gomes de Faria, PhD

BAURU

2019

S733p Spagnuolo, Augusto Yuji Nojima
Projeto Padrão e conforto térmico : Estudo de caso nas creches PROINFÂNCIA Tipo B / Augusto Yuji Nojima Spagnuolo. -- Bauru, 2019
93 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru

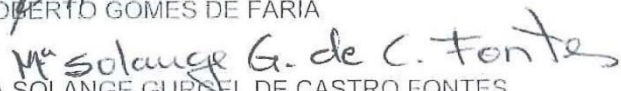
Orientador: Joao Roberto Gomes de Faria

1. Conforto ambiental. 2. Arquitetura escolar. 3. Arquitetura bioclimática. 4. Simulação térmica. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE AUGUSTO YUJI NOJIMA SPAGNUOLO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 27 dias do mês de fevereiro do ano de 2019, às 14:30 horas, no(a) Auditório da Seção Técnica de Pós-graduação da FAAC, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA - Orientador(a) do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Profa. Dra. MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Professora Dr^a KARIN MARIA SOARES CHVATAL do(a) Arquitetura e Urbanismo / Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de AUGUSTO YUJI NOJIMA SPAGNUOLO, intitulada **Projeto padrão e conforto térmico: estudo de caso nas creches proinfância tipo B**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA


Profa. Dra. MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES


Professora Dr^a KARIN MARIA SOARES CHVATAL

Dedico este trabalho à Melina, Cecília e
Ana Beatriz. Meus Amores.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado não poderia ter sido escrita sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Joao Roberto Gomes de Faria, pelo empenho, paciência e sentido prático em que me orientou para conclusão deste trabalho.

Agradeço igualmente aos professores Norma, Obede, Renata, Rocio e Solange, pelas orientações e correções prestadas durante a realização dos trabalhos das disciplinas.

Agradeço aos colegas do Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, especialmente a Heloisa Rossetto e Guilherme Petrini pela parceria no desenvolvimento dos trabalhos e apoio na compreensão das ferramentas utilizadas na pesquisa.

Também quero agradecer aos meus familiares pelo apoio incondicional que me prestaram. A minha irmã Mariana, parceira pra todos os momentos, mesmo distante. Especialmente a minha esposa Melina, pela força, paciência, incentivo e por cuidar de tudo para que eu pudesse me dedicar a dissertação.

RESUMO

No Brasil, a implantação de edificações públicas em série através da adoção de projetos padronizados é prática recorrente e visa a racionalização de custos, agilidade e melhoria contínua do padrão estabelecido. Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento térmico de projetos padrão de alcance nacional nas 8 Zonas Bioclimáticas brasileiras. O estudo foi concentrado na avaliação da escola de educação infantil Proinfância Tipo B, com 3446 unidades implantada entre os anos de 2007 e 2017 em todo o território nacional. A análise foi realizada através de estudo de caso, onde a simulação térmica foi adotada para determinação das temperaturas operativas horárias dos ambientes de ensino nas 8 localidades representativas das Zonas Bioclimáticas. Para cada modelo também foram consideradas 4 orientações solares e a adequação da edificação ao clima local através da adoção das estratégias passivas recomendadas na ABNT NBR 15.220. Os dados foram avaliados com a aplicação do modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE 55-2013, determinando a porcentagem de horas de uso em conforto e desconforto térmico em cada situação. O resultado apresentado é a síntese da avaliação do conforto térmico dos ambientes educacionais do edifício original e o impacto da utilização das estratégias bioclimáticas de forma individual e combinada. A edificação original apresentou índices adequados em 45% das horas de uso e a aplicação das estratégias reduziu significativamente as horas em desconforto térmico, no entanto não apresentou resultados satisfatórios nos extremos de frio e calor. Sem o devido cuidado para aclimatação às localidades, a adoção de projetos padrão é inadequada, podendo prejudicar os usuários e o desenvolvimento das atividades.

Palavras-chave: conforto ambiental, arquitetura escolar, arquitetura bioclimática, simulação térmica.

ABSTRACT

In Brazil, the implementation of public buildings in series through the adoption of standardized projects is a recurring practice and aims at cost rationalization, agility and continuous improvement of the established standard. This work aims to evaluate the thermal behavior of standard projects of national scope in the 8 Brazilian Bioclimatic Zones. The study was concentrated in the evaluation of the kindergarten school Proinfância Tipo B, with 3446 units implanted between the years of 2007 and 2017 throughout the national territory. The evaluation was carried out through a case study, where the thermal simulation was adopted to determine the hourly operating temperatures of the teaching environments in the eight representative locations of Bioclimatic Zones. For each model, 4 solar orientations and the adequacy of the building to the local climate were also considered through the adoption of passive strategies recommended in ABNT NBR 15.220. The data were evaluated using the adaptive thermal comfort model of ASHRAE 55-2013, determining the percentage of hours of use in comfort and thermal discomfort in each situation. The result presented is the synthesis of the thermal comfort evaluation of the educational environments of the original building and the impact of the use of bioclimatic strategies individually and in combination. The original building had adequate indexes in 45% of the hours of use and the application of the strategies significantly reduced the hours in thermal discomfort, however it did not present satisfactory results in the extremes of cold and heat. Without due care for acclimatization to localities, the adoption of standard projects is inadequate, and may harm users and the development of activities.

Key words: environmental comfort, kindergarten, bioclimatic architecture, thermal simulation.

LISTA DE FIGURAS`

Figura 1 – Fotografia de creche construída na cidade de Campinas (SP)	14
Figura 2 - Comparação entre a Porcentagem de área territorial da ZB e a quantidade de unidades do tipo B implantadas por ZB.....	23
Figura 3 - Carta bioclimática adotada para o Brasil.....	25
Figura 4 - Temperaturas de conforto observadas (OBS) e preditas da base de dados RP-884 para edifícios naturalmente ventilados	30
Figura 5 - Intervalo aceitável de Temperaturas Operativas e Velocidade do Ar de acordo com a ASHRAE 55-2013.....	32
Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	34
Figura 7 – Diagrama Bioclimático da NBR 15220-3:2005 com temperaturas médias mínimas e máximas anuais das cidades de referência	36
Figura 8 - Estrutura Geral do programa EnergyPlus	37
Figura 9 - Diagrama com a descrição do método de pesquisa	41
Figura 10 - Perspectiva frontal da edificação	42
Figura 11 - Perspectiva dos fundos da edificação.....	43
Figura 12 - Planta baixa com a nomenclatura e posição espacial dos blocos e ambientes da unidade	44
Figura 13 - Corte em sala de aula	45
Figura 14 – Geometria da edificação modelada.....	47
Figura 15 - Ambientes que compõem cada Zona Térmica do modelo	47
Figura 16 - Orientações de implantação utilizadas.....	55
Figura 17 – Exemplo de temperatura operativa horária simulada para uma sala de aula nos períodos de uso ao longo do ano em relação aos limites de conforto adaptativo	55
Figura 18 - Detalhamento dos elementos de sombreamento.....	58
Figura 19 - Posição da arborização simulada	60
Figura 20 - Temperatura neutra ao longo do ano por localidade.....	63
Figura 21 - Condição térmica da edificação por Zona Bioclimática	64
Figura 22 - Porcentagem de horas em conforto térmico por orientação da implantação	65
Figura 23 – Incremento de horas em conforto térmico com adoção da arborização.....	66

Figura 24 – Incremento de horas em conforto térmico com a adoção da proteção solar nas aberturas	67
Figura 25 – Incremento de horas em conforto térmico com a adoção de ventilação noturna	68
Figura 26 – Incremento de horas em conforto térmico com o aumento da velocidade interna do ar	69
Figura 27 – Incremento de horas em conforto térmico com a alteração da absorvância da edificação	70
Figura 28 – Incremento de horas em conforto térmico com o uso de estratégias combinadas.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de unidades do Proinfância por tipologia e situação de execução	22
Tabela 2 - Cidades de referência por zona bioclimática.....	35
Tabela 3 - Características físicas dos materiais construtivos utilizados na simulação	49
Tabela 4 - Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para aberturas	51
Tabela 5 - Temperatura mensal do solo adotada para cada localidade	53
Tabela 6 - Apresentação dos arquivos climáticos utilizados por Zona Bioclimática ..	54
Tabela 7 - Estratégias passivas recomendadas pela ABNT NBR 15220 (2003).....	56
Tabela 8 - Programação de ativação de dispositivos de proteção por Zona Bioclimática	59
Tabela 9 - Programação de ativação de arborização por Zona Bioclimática	61
Tabela 10 - Porcentagem de horas em cada situação térmica, por estratégia passiva e ZB, média das 4 orientações.....	74
Tabela 11 - Porcentagem de horas em conforto térmico por estratégia e ZB	73

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS`	9
LISTA DE TABELAS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Infraestrutura Escolar	17
2.2 Projeto Padrão e Arquitetura escolar.....	19
2.3 O Programa Proinfância	20
2.4 Arquitetura Bioclimática	23
2.5 Modelos de Conforto Térmico.....	27
2.6 Modelo Adaptativo da ASHRAE 55-2013	31
2.7 Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	33
2.8 Simulação Térmica	36
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1 Estudo de caso	41
3.2 Modelagem.....	45
3.2.1 Geometria do modelo e zonas térmicas	45
3.2.2 Envoltória	47
3.2.3 Cargas Internas.....	49
3.2.4 Rotinas de ocupação e operação do edifício.....	50
3.2.5 Infiltrações de ar e ventilação natural	51
3.2.6 Transferência de calor pelo solo	52
3.3 Arquivo de Dados Climáticos e Intervalo de conforto térmico	53

3.4	Simulação e Organização dos resultados	54
3.5	Estratégias Bioclimáticas.....	56
3.5.1	Proteção solar das esquadrias	58
3.5.2	Arborização do entorno	59
3.5.3	Aquecimento solar da edificação.....	61
3.5.4	Ventilação noturna	61
3.5.5	Aumento da velocidade do ar.....	62
4.	RESULTADOS	63
4.1	Avaliação do conforto térmico sem adoção de estratégias passivas.....	64
4.2	Avaliação com o uso de estratégias passivas individuais.....	66
4.3	Avaliação com o uso de estratégias passivas combinadas	70
4.4	Síntese da comparação das estratégias.....	71
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
5.1	Limitações	76
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	APÊNDICES	86

1. INTRODUÇÃO

A principal função das edificações é proporcionar espaços adequados para o desenvolvimento de atividades, oferecendo proteção e conforto aos ocupantes durante o seu uso. Uma das estratégias adotadas para a adequação funcional de edificações de mesmo uso é a padronização dos projetos. A partir de necessidades comuns se desenvolvem os projetos de arquitetura e engenharia, adaptando posteriormente as situações específicas da localidade, como o formato do terreno, acessos, orientação e topografia através do projeto de implantação (BARROS; KOWALTOWSKI, 2002).

O uso de projetos padronizados é prática comum na construção de edificações de ensino no nosso país. Esta prática esteve presente na história da arquitetura escolar brasileira com o objetivo de racionalização de custos, serviços e maior agilidade construtiva (AZEVEDO; BASTOS; BLOWER, 2007). Entretanto, a padronização dos projetos nem sempre consegue atender as situações específicas de cada localidade de implantação, tendo como consequência a criação de ambientes inadequados de ensino, com problemas de conforto ambiental (KOWALTOWSKI, 2011).

A obtenção dos níveis de conforto ambiental depende principalmente da qualidade do projeto arquitetônico dos edifícios e sua adequação às atividades desenvolvidas. Em países de legislação mais rigorosa com relação às construções, as condições de conforto das edificações escolares atingem níveis satisfatórios e as pesquisas podem se concentrar em parâmetros educacionais (KOWALTOWSKI, 2011). No Brasil há uma grande quantidade de espaços educativos que não oferece as condições mínimas de aprendizagem por falta de conservação, erros na execução e principalmente a baixa qualidade dos projetos arquitetônicos (MUELLER, 2007). A legislação federal estabelece os parâmetros mínimos a serem atendidos na construção de creches e detalha parte da ambiência física destes estabelecimentos, mas é omissa quanto aos aspectos de conforto ambiental (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1988).

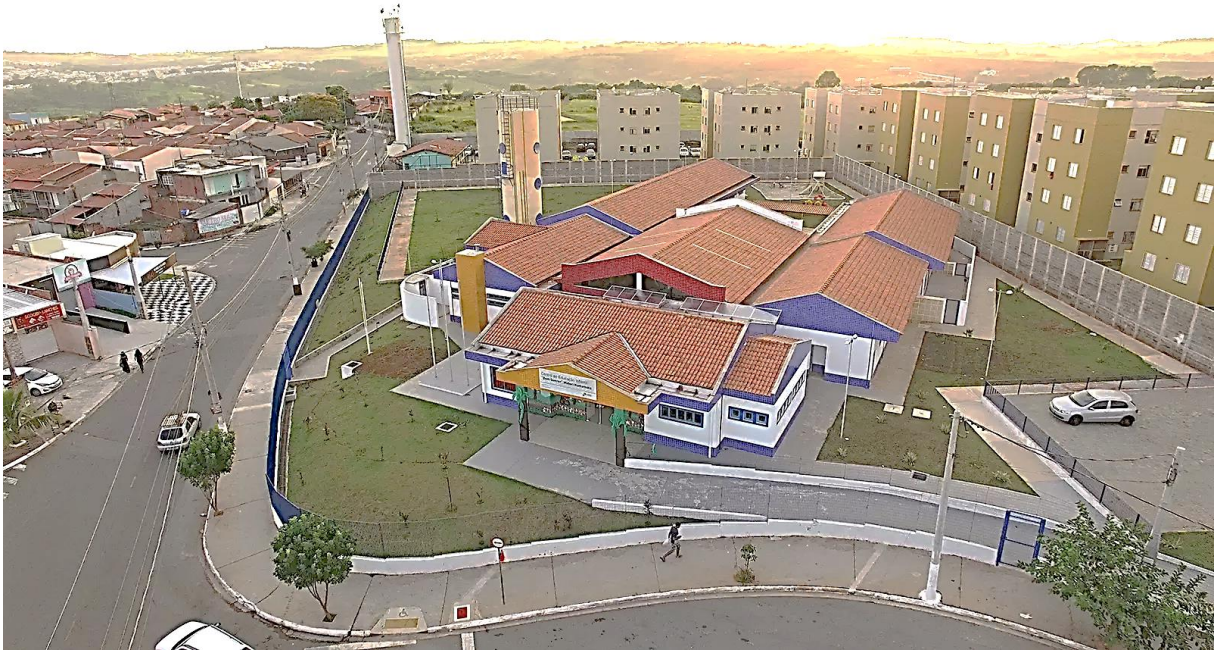
Conforto ambiental pode ser definido como o “conjunto de condições que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico”

(LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014) e sua condição é influenciada por variáveis ambientais e pessoais. Diversos estudos relacionam diretamente as sensações de conforto térmico, visual e acústico a índices mais elevados de produtividade e aprendizagem (HAVERINEN-SHAUGHNESSY; SHAUGHNESSY, 2015; PECCOLO, 1962; SILVA, 2001).

A Constituição Federal Brasileira considera a educação como um direito de todos os cidadãos, estabelecendo o dever do estado na garantia da oferta de vagas para as crianças em creches, pré-escolas, ensino fundamental e ensino médio. Com o objetivo de obtenção de melhorias concretas na educação básica o governo federal criou o Plano de Metas Compromisso Todos Pela Educação, composto por 28 diretrizes a serem pactuadas com estados, municípios e distrito federal, dentre elas a promoção da educação infantil (BRASIL, 2007). Para atingir este objetivo, no ano de 2007 foi criado pelo Governo Federal o programa PROINFÂNCIA, que oferecia assistência financeira para a construção de novas unidades escolares condicionada à adoção de Projetos Executivos Padrão disponibilizados pelo órgão responsável.

Entre os anos de 2007 a 2018 foram firmados convênios entre o Governo Federal, Estados e Municípios para a execução de 8932 unidades de educação infantil em todo o território nacional com a utilização predominante de 2 tipologias padrão e 4 técnicas construtivas distintas. A tipologia com maior incidência de implantação foi a Escola de Educação Infantil Tipo B (Figura 1) na técnica construtiva convencional, com 3172 unidades efetivamente iniciadas ou concluídas (BRASIL; BRASIL, 2018).

Figura 1 – Fotografia de creche construída na cidade de Campinas (SP)



Fonte: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

No entanto, a implantação em massa de unidades idênticas pode levar à situações de inadequação do projeto de arquitetura, materiais construtivos, orientação da edificação e proteção solar em função da variabilidade climática do território nacional e, conseqüentemente, a situações de desconforto térmico. Neste sentido, Silveira e Labaki (2012) avaliaram variações de materiais construtivos da envoltória na mesma tipologia em 6 localidades distintas, apresentando grande variação de resultados entre as localidades para todas as envoltórias analisadas.

A adequação das edificações através do uso de estratégias passivas é um recurso importante para oferecer conforto aos usuários e reduzir o consumo de energia. A pesquisa de Sorgato, Versage e Lamberts (2011) evidencia que, para duas Zonas Bioclimáticas (ZBs) distintas, o uso de dispositivos externos de sombreamento em aberturas reduz significativamente a temperatura interna dos ambientes ao evitar o ganho de calor excessivo pelas mesmas.

Para adaptar a edificação com o uso de estratégias passivas deve-se conhecer as características climáticas das localidades. No Brasil foi elaborado um zoneamento bioclimático pela ABNT (2005a) para o estabelecimento de diretrizes mínimas para o projeto de edificações habitacionais unifamiliares, onde para cada Zona bioclimática (ZB) são alteradas as definições de estratégias para obtenção do conforto térmico. A

variação dessas recomendações construtivas pode ser exemplificada na comparação das orientações para Caxias do Sul - RS e Picos - PI, onde para a primeira localidade se recomenda o aquecimento solar da edificação e a segunda o resfriamento evaporativo. Na falta de outra diretriz, o zoneamento bioclimático é também empregado como diretriz para projeto ou avaliação de edifícios de natureza diversa daquela para a qual o instrumento foi inicialmente proposto, com as adaptações necessárias às mudanças de uso (GIOIELLI; CUNHA, 2014; KRÜGER; MORI, 2012; MELLO; LOMARDO, 2014).

Desta forma, torna-se complexo o desenvolvimento de um projeto arquitetônico que possa, sem adequações, abranger a diversidade climática do nosso território, uma vez que geralmente são desenvolvidos para uma localidade particular. Determinados parâmetros projetuais, como a orientação solar, possuem influência tão importante no conforto térmico que merecem análises específicas para cada variação significativa de latitude e orientação de implantação.

O presente trabalho parte da hipótese de que a utilização de projetos padrão de edificações implantadas em abrangência nacional acarreta problemas relacionados ao conforto térmico, devido a diversidade climática encontrada e variabilidade da orientação solar das unidades implantadas. Diante do exposto, evidencia-se a importância em analisar o comportamento térmico destas edificações nas oito zonas bioclimáticas brasileiras.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é avaliar o conforto térmico em projeto padrão de escola de educação infantil nas oito Zonas Bioclimáticas brasileiras, comparando os resultados do projeto original com a adoção de estratégias passivas diversas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a influência da orientação solar no desempenho térmico da edificação nas oito ZBs Brasileiras;

- Indicar a eficácia das estratégias passivas avaliadas no incremento de horas de uso em conforto térmico por orientação e ZB;
- Avaliar o impacto da adoção de estratégias passivas combinadas em comparação ao projeto original.

1.3 ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO

Para a melhor organização do conteúdo, o presente estudo foi estruturado em quatro capítulos. No primeiro capítulo se apresenta a introdução, a caracterização do problema, importância da pesquisa e os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento da pesquisa.

No segundo capítulo são apresentados a revisão bibliográfica sobre a infraestrutura escolar brasileira, o uso de projetos padronizados e o Programa PROINFÂNCIA. Também são abordados tópicos conceituando arquitetura bioclimática, conforto térmico, zoneamento bioclimático brasileiro e simulação térmica, que formam a base científica utilizada.

O terceiro capítulo, correspondente aos Materiais e Métodos utilizados na pesquisa, descreve a tipologia da edificação a ser estudada e os critérios utilizados para o desenvolvimento do modelo a ser simulado, como a caracterização física, funcional e de ocupação, além dos programas e módulos utilizados para a sua concepção. Apresenta ainda as estratégias passivas avaliadas e os critérios empregados para a sua indicação.

O quarto capítulo apresenta os resultados da pesquisa, incluindo a porcentagem de horas de uso em conforto térmico para cada localidade com e sem a adoção de dispositivos bioclimáticos. Segue no mesmo uma análise a respeito da utilização dos critérios residenciais presentes na norma em edificações escolares.

Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as considerações finais, com as conclusões, limitações do estudo e sugestão para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Infraestrutura Escolar

A estrutura do sistema educacional brasileiro, composta pela Educação Básica e Ensino Superior, é decorrente da Lei de Diretrizes e Bases da Educação aprovada no ano de 1996. A Educação Básica tem por objetivo a formação educacional desde o nascimento até os 18 anos de idade e é subdividida em 3 etapas sequenciais, Educação Infantil de 0 a 5 anos de idade, Ensino Fundamental de 6 a 14 anos de idade e Ensino Médio de quinze a 17 anos de idade, sendo as duas primeiras de responsabilidade dos governos municipais e a segunda dos governos estaduais.

A educação básica é organizada em séries anuais com pelo menos 200 dias letivos e carga horária mínima de 800 horas, podendo ter jornadas diárias parciais de no mínimo 4 horas ou integrais de pelo menos 7 horas diárias. As férias escolares são obrigatórias para todos os anos da educação básica, inclusive na educação infantil. O horário de funcionamento dos estabelecimentos de ensino é determinado pelas Secretarias Municipais ou Estaduais as quais os mesmos encontram-se vinculados (BRASIL, 2013).

O espaço físico da escola, frequentemente subdividido por nível de ensino, é o local do desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem com interação de diversos ramos da ciência, dentre elas a pedagogia, psicologia, ciências sociais e arquitetura. A subdivisão do espaço considera as necessidades específicas dos alunos de idades distintas Para que a aprendizagem ocorra em sua totalidade é imprescindível que as discussões sobre arquitetura escolar tenham a preocupação com o conforto dos espaços físicos, especialmente nos aspectos relacionados ao conforto ambiental, pois a adaptação do estudante a este ambiente é de suma importância na relação entre ensino e aprendizagem (KOWALTOWSKI, 2011).

A discussão acerca da importância do espaço escolar tem fundamento inicial em seus requisitos quantitativos, uma vez que 20% da população frequenta as edificações escolares diariamente. A qualidade ambiental influencia diretamente nas emoções e relações entre os seres humanos e a sensação de conforto ambiental é a ideal para a realização de atividades, sobretudo aquelas que necessitam de concentração. Para que o processo de ensino e aprendizagem ocorra de forma plena

é desejável a situação de conforto ambiental como facilitadora desta ação. Esta sensação de conforto pode ser definida como a ausência de preocupação ou incômodo pela permanência em algum local, sendo portanto o sentimento de neutralidade em relação ao meio (CORBELLA; YANNAS, 2009).

O desempenho para desenvolvimento de atividades está diretamente ligado às condições de conforto ambiental. Estudos nacionais e internacionais sugerem melhorias na produtividade quando os usuários estão inseridos em ambientes ambientalmente adequados ao desempenho das atividades (SILVA, 2001). Especificamente para a área educacional, pesquisas desenvolvidas com alunos expõem a relação entre alguns aspectos ambientais de salas de aula e o aprendizado, dentre eles os ambientes térmico, lumínico e a concentração de poluentes internos (AUMANN et al., 2003; HAVERINEN-SHAUGHNESSY; SHAUGHNESSY, 2015; MENDELL; HEATH, 2005; PECCOLO, 1962; WARGOCKI; WYON, 2007). Portanto para um melhor aproveitamento escolar é imprescindível que as edificações propiciem conforto ambiental aos seus usuários.

Dada a importância na busca por qualidade ambiental no edifício escolar, as pesquisas científicas nacionais da área têm sido cada vez mais frequentes tendo enfoque em avaliações pós-ocupação para análise de aspectos perceptivos, cognitivos e comportamentais (ELALI, 2002; PASCOA, 2008; SOUZA, 2009). Graça e Kowalwotwski (2008) e Pereira e Kowaltowski (2011) atuaram no desenvolvimento de técnicas de análise de projetos escolares com a utilização de metodologia de otimização multicritérios, atribuindo graus de pertinência a aspectos de dimensão dos terrenos, a proporção largura e profundidade da edificação e aspectos de conforto térmico, acústico e visual.

De uma forma geral a qualidade ambiental das edificações escolares brasileiras é questionável. Estudos realizados por diversos pesquisadores frequentemente apontam insatisfação dos usuários com os níveis de iluminação e a temperatura interna das salas de aula (GEMELLI, 2009; MAZZO, 2004; NOGUEIRA; DURANTE; NOGUEIRA, 2005; PIZARRO, 2005; VIANA, 2013). Também são apontadas inadequações das edificações nos aspectos técnicos em estudos realizados através de medição e simulação de índices térmicos e lumínico (ARAGÃO et al., 2013; BARROS et al., 2001; BARROS; KOWALTOWSKI, 2002; CARRIÈRES et al., 2005).

2.2 Projeto Padrão e Arquitetura escolar

Desde tempos remotos, a padronização construtiva esteve presente na arquitetura. No império romano os tijolos eram padronizados em dois tamanhos, com objetivo de proporcionar economia de escala e aumento de produtividade. Posteriormente na renascença os artesãos de Carrara esculpam, de forma seriada, elementos em pedra através de padrões estilísticos estabelecidos para serem usados nas construções do período (ROSSO, 1980). Por outra ótica, a padronização pode ser relacionada a normatização presente nos Códigos de Obras, conferindo segurança, higiene e conforto às edificações.

Nos países em desenvolvimento foi aplicada de forma funcionalista na padronização dos projetos para habitações de interesse social e prédios institucionais, buscando atender o programa de necessidades padronizado para cada tipologia a partir das atividades estipuladas pelos órgãos governamentais (BARROS; KOWALTOWSKI, 2002). Esta padronização de tipologias pode ser encontrada em diversas cidades brasileiras pelo reconhecimento de alguns exemplares como os cartórios eleitorais, Correios, unidades de saúde, escolas, delegacias e Fórum.

Com a instauração da República, a construção de edificações escolares tornou-se representativa da modernidade, no entanto o desejo republicano da popularização do ensino era limitado pela ausência de infraestrutura. Em 1932, um levantamento dos prédios escolares do Distrito Federal quantificou a necessidade de construção de 156 novas unidades para os próximos dez anos, além da reforma e ampliação de 32 unidades e condenação de 35 dos 79 prédios existentes devido à sua inadequação para o uso. Atendendo estas recomendações foram construídas 25 escolas no Rio de Janeiro, a partir de cinco projetos-tipo (DÓREA, 2000).

Para a mesma época, a construção das escolas paulistas geralmente obedeceu a mesma distribuição em planta, chamada de projeto-tipo, com variações das fachadas no estilo arquitetônico eclético, predominante na época (ARTIGAS, 1970). Os projetos denominados tipo se diferem dos projetos padrão por serem construídos sobre uma planta padrão e comportarem aparências distintas em suas fachadas.

Na década de 80 foram construídos os Centros Integrados de Educação Pública – CIEPs, com cerca de 500 unidades implantadas no Estado do Rio de Janeiro

e, nos anos 90, o arquiteto Joao Filgueiras Lima desenvolveu o projeto padrão para os CAICs, com 444 unidades implantadas em todo o território nacional (CORREA; MELLO; NEVES, 1991).

A padronização pode apresentar uma série de vantagens, como a racionalização de custos, agilidade construtiva e melhoria contínua dos projetos, no entanto, caso as características climáticas da localidade não sejam consideradas, é possível que a qualidade da edificação seja afetada. Kowaltowski et al. (2002) afirmam que a implantação de edifícios escolares padronizados não segue um planejamento adequado para a orientação dos ambientes e aberturas, resultando em problemas de conforto ambiental.

Lamenha (2016), ao observar aspectos de insolação em edifício escolar padrão implantado em 6 localidades e oito orientações distintas concluiu que as proteções solares presentes no projeto mostraram-se insuficientes em 76% dos casos, demonstrando a inadequação do projeto padrão à implantação em todas as situações. Barros e Kowaltowski (2002) recomenda uma maior disponibilidade de opções no uso de projetos padronizados e maior flexibilidade na implantação para melhoria dos aspectos relacionados insolação e ventilação da edificação.

2.3O Programa Proinfância

Com o objetivo de obtenção de melhorias concretas na educação básica o governo federal criou o Plano de Metas Compromisso Todos Pela Educação, composto por 28 diretrizes a serem pactuadas com estados, municípios e distrito federal, dentre elas a promoção da educação infantil (BRASIL, 2007). Para amparar esta diretriz o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE instituiu o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos da Rede Escolar Pública de Educação Infantil - PROINFÂNCIA através do qual ofereceu assistência financeira à construção, reforma e aquisição de equipamentos para a rede pública de Educação Infantil em todo o território nacional. A assistência financeira para a construção de novas unidades ficou condicionada à utilização dos Projetos Executivos Padrão disponibilizados pelo órgão.

Foram disponibilizados inicialmente os modelos Tipo B, para atendimento de 224 alunos em dois turnos com 991,05m² de área construída e Tipo C, com capacidade de atendimento de 120 alunos igualmente em dois turnos e 668,30m² de área construída. As unidades Tipo A foram construídas com projetos fornecidos pelas entidades proponentes.

O sistema construtivo de ambos os padrões foi o convencional, composto por estrutura em concreto armado, paredes em alvenaria de blocos cerâmicos comuns, laje pré-moldada e cobertura em telhas cerâmicas. Este sistema foi adotado com o objetivo de facilitar a construção em todas as localidades do país (FNDE, 2012) Posteriormente estes mesmos projetos sofreram adaptações no sistema construtivo, chamadas de Metodologias Inovadoras – MIs, e tinham como objetivos a redução do custo, agilidade na execução, qualidade da construção e sustentabilidade.

As técnicas apresentadas nas MIs foram o Painel Wall System, composto sistema estrutural em perfis poliméricos, fechamentos horizontais e verticais em painéis em camadas de gesso e EPS e cobertura em telhas de cimento reforçado com fio sintético – CRFS, a Concreto/PVC, composta por paredes estruturais em PVC e concreto e o Light Steel Frame com fechamento em placa cimentícia e gesso acartonado, isolamento com lã de vidro, as duas últimas com cobertura em telhas metálicas. Também foi apresentada a adaptação do projeto para a construção em blocos estruturais em concreto, mantendo nesta as demais características da construção convencional. O sistema construtivo alternativo determinado variava de acordo com o Estado de implantação da unidade de ensino e da pretensão do município proponente.

No ano de 2015 foram disponibilizados os projetos dos modelos “Tipo 1” e “Tipo 2”, com capacidade para 376 e 188 alunos em dois turnos e 1.317,99m² e 775,85m² de área construída respectivamente. O sistema construtivo adotado para estes modelos é composto por estrutura em concreto armado, vedações em alvenaria de blocos cerâmicos, forros em gesso mineral e cobertura em telhas termo acústicas.

Entre os anos de 2007 a 2018 foram firmados convênios para a execução de 8932 unidades de educação infantil das diferentes tipologias e destas 2473 foram canceladas ou não iniciaram a sua execução, encontrando-se em estágios de

contratação, reformulação, licitação ou planejamento, conforme indicado na Tabela 1. A tipologia com o maior número de unidades executadas ou em execução é a Escola de Educação Infantil Tipo B na técnica convencional, com 3172 unidades efetivamente iniciadas ou concluídas, seguida da Tipo C na técnica convencional com 1319 unidades na mesma situação (BRASIL; BRASIL, 2018).

Tabela 1 - Número de unidades do Proinfância por tipologia e situação de execução

TIPOLOGIAS	Concluída	Contratação	Em Reformulação	Execução	Inacabada	Licitação	Obra Cancelada	Paralisada	Planejamento pelo Proponente	Total
Escola de Educação Infantil Tipo A	173	19	1	49	1	26	6	6	66	347
Escola de Educação Infantil Tipo B	2371	17	4	335	341	63	149	125	41	3446
Escola de Educação Infantil Tipo C	1032	7	0	121	134	16	109	32	13	1464
MI - Escola de Educação Infantil Tipo B	83	11	294	88	19	6	148	107	247	1003
MI - Escola de Educação Infantil Tipo C	7	1	110	16	6	1	86	26	135	388
Projeto 1 Convencional	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projeto 2 Convencional	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projeto Tipo B - Bloco Estrutural	1	1	0	14	0	4	0	7	1	28
Projeto Tipo C - Bloco Estrutural	1	0	0	3	0	2	1	2	0	9
Total	3668	56	409	626	501	118	499	305	503	6685

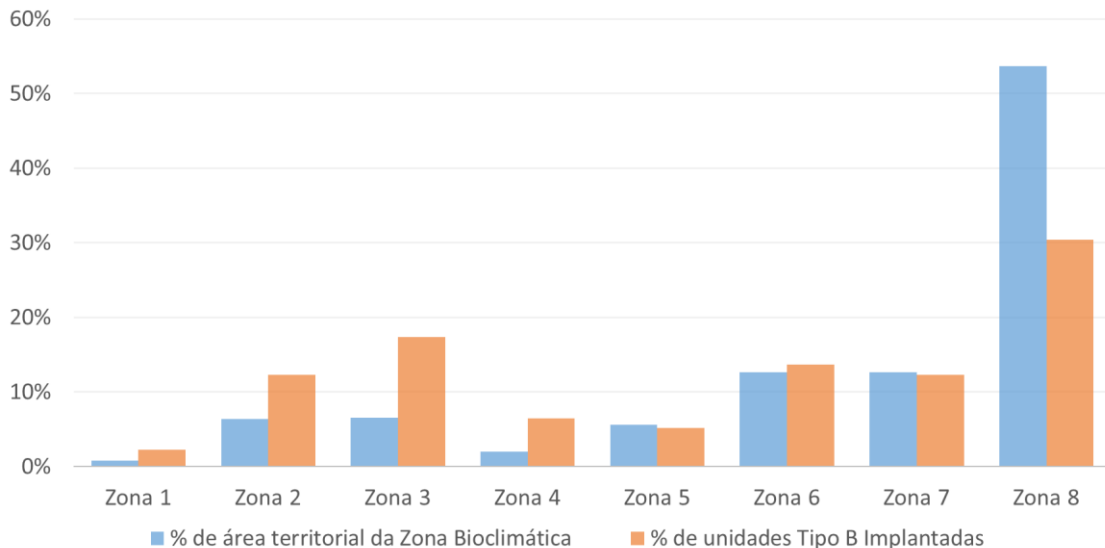
Fonte: Adaptado de Brasil (2018b).

Para início da elaboração do projeto de implantação o proponente deveria apresentar, além de documentos relacionados à capacidade técnica e financeira de administração do convênio, terreno para construção da unidade com inclinação máxima de 3% e dimensões mínimas de 40 x 70 metros para a Escola de Educação de Infantil Tipo B, 35 x 45 metros para a Tipo C, 40 x 60 metros para a Tipo 1 e 45 x 35 metros para a Tipo 2. A Escola de Educação Infantil Tipo A não possuía projeto padrão e era facultativa a apresentação de terreno com dimensões mínimas específicas.

Foram implantadas 4477 edificações do Projeto Proinfância Tipo B com a utilização de 3 técnicas construtivas distintas em todas as ZBs brasileiras. A técnica

mais utilizada foi a convencional com 3446 unidades implantadas e a menos utilizada a em blocos estruturais de concreto com 28 unidades. A técnica convencional foi implantada nas oito ZBs brasileiras, tendo a menor incidência na ZB 1 com 2,3% das unidades e a maior com 30,4% na ZB 8, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Comparação entre a Porcentagem de área territorial da ZB e a quantidade de unidades do tipo B implantadas por ZB



Fonte: Elaborado pelo autor

O órgão editou um guia com instruções e procedimentos para elaboração dos projetos de implantação destas unidades em complemento ao projeto executivo disponibilizado, o qual expressava recomendações para que fossem consideradas as características climáticas da localidade a fim de antever problemas relativos ao conforto ambiental, tais como a cobertura vegetal, superfícies de água, ventos, insolação, ventilação cruzada e iluminação natural. Também recomendava, em todos os casos, que fosse privilegiada a implantação das cumeeiras da edificação no sentido leste a oeste, mas reconhecia que as sugestões eram limitadas em função do terreno destinado a construção.

2.4 Arquitetura Bioclimática

A arquitetura bioclimática é caracterizada pela elaboração consciente do projeto arquitetônico de uma edificação de forma adaptada e integrada as condições térmicas da localidade de implantação, com objetivo de proporcionar conforto ambiental aos usuários da edificação com reduzido consumo de recursos naturais

(CORBELLA; YANNAS, 2009). A utilização de estratégias naturais para adequação climática da edificação às necessidades ambientais do homem foi inicialmente sistematizada na década de 1960 por Olgyay (1973), que desenvolveu um diagrama bioclimático apontando as estratégias de adaptação da arquitetura ao clima relacionadas às alterações da temperatura e umidade média locais. Esta carta apresentava limitações para análises em climas tropicais úmidos, pois pressupunha temperaturas próximas do ar no exterior e no interior das edificações (GIVONI, 1992)

Mahoney (1971) criou um método para auxílio ao desenvolvimento de projetos de arquitetura com base nos dados climáticos. A partir da análise climática eram realizadas recomendações para a edificação que abordavam a implantação da edificação, espaçamento de edificações, ventilação, tamanho, posição e proteção das aberturas, características de materiais de vedação horizontal e vertical e espaço externo. Posteriormente Givoni construiu sua carta bioclimática sobre o diagrama psicrométrico, baseada na temperatura interna de edifícios com experimentos conduzidos nos Estados Unidos, Israel e Europa. Ela foi adaptada aos países em desenvolvimento conforme apresentado na Figura 3, com reduzido condicionamento artificial das edificações onde os ocupantes aceitam uma maior variação na temperatura interna pelo processo de aclimatação (GIVONI, 1992). Os dois métodos foram adaptados e utilizados no desenvolvimento da norma ABNT NBR 15220-3:2005 – “Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”, com definição de diretrizes construtivas para as habitações no território brasileiro (ABNT, 2005).

O projeto de uma edificação engloba um grande número de variáveis ambientais e projetuais que interferem significativamente no comportamento térmico da edificação. As variáveis ambientais, não controladas pelo homem, devem ser incorporadas às variáveis de projeto para a concepção da edificação. As variáveis de projeto podem ser orientação da edificação, área do envelope externo da edificação, localização e dimensão das aberturas, sombreamento das aberturas e do envelope, cor e textura da edificação, distância de outras edificações, e existência de pátio interno (SHAVIV, 1984). Complementarmente Wassouf (2014) sugere o desempenho

das vedações térmicas opacas e transparentes, estanqueidade ao ar e aspectos relacionados à ventilação como características passivas de uma edificação.

Figura 3 - Carta bioclimática adotada para o Brasil



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Entre as variáveis de projeto, a mais considerada é a orientação por possuir grande influência na ventilação e na radiação solar incidente na edificação, influenciando as infiltrações de ar por ventilação e os ganhos de calor da edificação, desejável em climas frios e indesejável nos quentes. O Nível de radiação solar incidente possui relação com a latitude da localidade e ângulo de orientação da edificação. Andersson et al. (1985) avaliou a implantação hipotética de uma residência em diversas cidades americanas com 3 orientações distintas, apontando que as orientações leste e oeste aumentam em até 70% as cargas térmicas da edificação para o clima seco em comparação com a orientação norte.

Diretamente relacionado à orientação, o sombreamento da envoltória exerce grande influência nas cargas térmicas por radiação solar incidente, uma vez que a sua existência reduz a incidência da radiação solar nas superfícies e conseqüentemente os ganhos de calor da edificação. O sombreamento pode ser localizado exclusivamente sobre as aberturas, para controle da radiação solar incidente no interior da edificação ou se estender sobre a superfície das alvenarias auxiliando o desempenho térmico dos materiais que a constituem. Lamberts, Dutra e Pereira

(2014) sugerem a utilização da arborização perene ou caducifolia como elemento de sombreamento e controle solar, permitindo o bloqueio permanente ou a passagem da radiação apenas nas estações mais frias do ano. Leitzke et al. (2017) identificaram um aumento de 14,15% da frequência de conforto térmico na edificação com a utilização de elemento de proteção de esquadrias na ZB 8, quando comparado com a mesma edificação sem a proteção, demonstrando a importância do dispositivo para regiões de clima quente e úmido.

Para climas quente e úmidos a ventilação auxilia na obtenção do conforto térmico promovendo as trocas térmicas por convecção e evaporação. Com o aumento da velocidade do ar aceleram-se também as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio proporcionando uma sensação de refrescamento superficial do corpo, influenciando na aceitabilidade dos usuários para a temperatura limite superior de conforto. O modelo de conforto adaptativo definido pela ASHRAE 55-2013 para ambientes naturalmente ventilados prevê o incremento da velocidade do ar entre 0,6 m/s e 1,2 m/s como estratégia para aumento do limite superior de temperatura de conforto em climas quentes e úmidos. Pesquisas recentes em salas de aula de escolas de ensino médio sugerem que velocidades de ar de até 1,2 m/s podem ser adotadas considerando a preferência indicada pelos usuários em climas quentes e úmidos (CANDIDO et al., 2009; DE VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013; ZHANG et al., 2007).

O resfriamento convectivo noturno é uma técnica que auxilia na redução da temperatura pela manutenção de parcela da ventilação natural da edificação no período noturno. Após a redução da temperatura durante a noite a edificação é normalmente fechada durante o dia, aproveitando a inércia térmica da envoltória para manutenção da temperatura do edifício. É especialmente recomendada para localidades de elevada amplitude térmica diária, onde o resfriamento convectivo noturno pode reduzir a temperatura média de uma edificação em mais de 3 °C (GIVONI, 1994).

Os materiais de construção utilizados na envoltória exercem grande influência sobre o desempenho térmico das edificações. As principais propriedades que afetam seu comportamento são a capacidade de conduzir e de armazenar o calor, além da absorvência térmica. Shaviv (1984) salienta a importância de uma envoltória isolante

que atrase a transferência de calor entre o exterior e interior da edificação amenizando as amplitudes térmicas externas. A cor, relacionada a absorvância externa da edificação, tem grande influência na absorção do calor e afeta significativamente as temperaturas internas, podendo ser utilizada para reduzir os ganhos de calor em climas quentes ou incrementá-los em regiões frias.

Portanto, para a construção de edifícios climaticamente adaptados é imprescindível a integração do projeto de arquitetura com o clima local, visando a adoção de técnicas que aproveitem os recursos naturais para a obtenção de resultados satisfatórios no interior da edificação (CORBELLA; YANNAS, 2009).

2.5 Modelos de Conforto Térmico

Com o uso do oxigênio o corpo humano metaboliza os alimentos e os transforma em energia. Essa energia é usada para manter o sistema vital e para a produção de trabalho mecânico, gerando, em ambos os casos, calor interno no corpo como subproduto. Para que a temperatura do nosso organismo permaneça aproximadamente constante, independente das condições externas, ocorrem trocas térmicas por condução, convecção, radiação e evaporação. Mecanismos termorreguladores são ativados na presença do frio de forma a evitar perdas de calor e aumentar sua produção através da aceleração do metabolismo e, na presença de calor, para incrementar as perdas de calor. Além destes mecanismos corporais, há os instintivos e culturais, como o desenvolvimento de atividades físicas e o uso de vestimentas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A adequação térmica da edificação deve ter em consideração as diversas variáveis que afetam as condições do conforto humano, como o uso do local, incluindo atividades físicas ali desenvolvidas e o indivíduo e suas características, como sexo, idade, biótipo, hábitos. De uma maneira genérica os índices de conforto térmico buscam sintetizar em parâmetros estatísticos essas variáveis, tentando predizer em formas de cartas e nomogramas, as condições de conforto e desconforto do usuário (FROTA; SCHIFFER, 1995; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O modelo apresentado por Fanger (1970), frequentemente referido como Modelo Estático, foi desenvolvido a partir de pesquisas com grupos de pessoas em

câmaras climatizadas, manipulando as condições ambientais e pessoais. O resultado apresentou o método para prever a aceitabilidade térmica, nomeada de Voto Médio Predito – PMV (Predicted Mean Vote), e a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas – PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) com um ambiente térmico. O modelo isolou as principais variáveis que influenciam a sensação térmica e quantificou o impacto de seis fatores: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e umidade relativa do ar, atividade física e nível de isolamento da vestimenta. Ele prevê o valor médio de sensação térmica de um grupo de pessoas em uma escala de 7 pontos.

Desde a sua introdução foram desenvolvidos trabalhos comprovando e limitando a sua validade. Foram identificadas por diversos pesquisadores (ARAÚJO; ARAÚJO, 1999; BENTON; BAUMAN; FOUNTAIN, 1990), relações distintas entre PMV e PPD daquela determinada por Fanger e a aplicabilidade do modelo foi discutida quanto a sua utilização em ambientes naturalmente ventilados. Outros estudos (HOOF, 2008) desassociaram o sentimento de neutralidade térmica da preferência dos usuários, identificando influência das estações do ano na determinação do PMV.

Foram identificadas discrepâncias significativas entre as temperaturas de conforto térmico em estudos de campo em edifícios reais quando comparados a ambientes laboratoriais. Humphreys e Nicol (1977) sugerem que a resposta para esta discrepância poderia ser a relação entre a sensação térmica dos entrevistados e seu comportamento adaptado a condição climática do campo de estudo.

Baseados em dados coletados em diversos estudos anteriores, Humphreys e Nicol (2002) propuseram um Modelo Adaptativo de conforto térmico, que tem como fundamento a resposta instintiva e cultural dos ocupantes ao desconforto. A reação humana é pela busca de alternativas para restabelecer o conforto térmico, que podem ser o ajuste por mudanças pessoais, como mudança de roupas, atividade e postura ou ambientais como janelas, cortinas, ventilação e mudança de posição no espaço (SANTAMOURIS, 2006). Nessas condições demonstraram que a temperatura de conforto para um grupo de pessoas é sempre próxima à temperatura média mensal externa. Em paralelo outras pesquisas (BOUDEN; GHRAB, 2001; TAKI et al., 1999) obtiveram conclusões semelhantes, sempre relacionando o padrão de temperatura

ambiental externo à temperatura de conforto dos entrevistados (SANTAMOURIS, 2006).

Na avaliação pelo método de conforto adaptativo, o ser humano é considerado como um agente ativo na busca por melhorias no conforto térmico. Nesta abordagem além dos aspectos físicos e psicológicos insere-se o conceito de aclimação, e os fatores considerados incluem características inerentes à demografia, contexto e cognição. A partir desta abordagem diferenciaram-se as temperaturas de conforto térmico para ambientes climatizados e ambientes naturalmente ventilados. Os dois modelos de conforto térmico foram adotados por entidades normatizadoras para definição das temperaturas de conforto em ambientes climatizados e naturalmente ventilados.

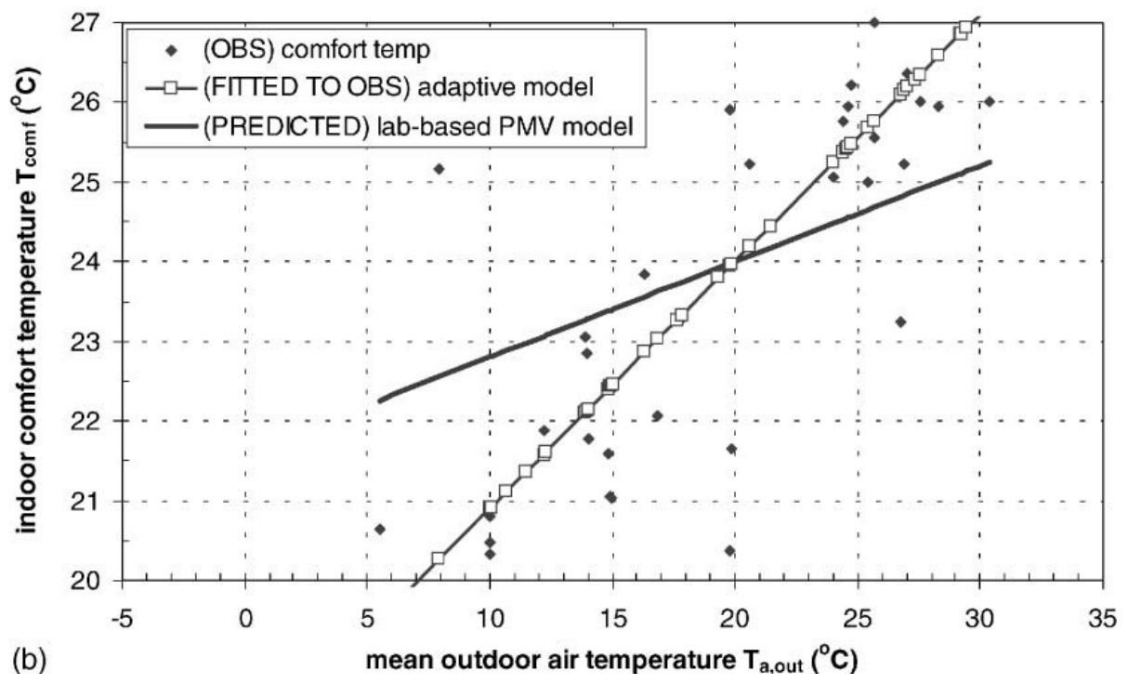
A Organização Internacional de Normalização – ISO, através da Norma ISO 7730:2005 – Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO, 2005), propõe um método de determinação da sensação térmica com utilização de parâmetros físicos e pessoais em ambientes fechados utilizando como referência o modelo estático exclusivamente, tendo no entanto recomendado a consideração do fator adaptativo humano. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT também adotou o modelo estático exclusivamente, simplificando o método com a padronização dos parâmetros físicos e pessoais para verão e inverno na Norma NBR 16401-2/2008 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico (ABNT, 2008) que define os parâmetros de conforto térmico para projetos de climatização.

No ano de 2004 a revisão efetuada pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento e Ventilação – ASHRAE na Normativa ASHRAE 55-2004 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, incluiu o modelo adaptativo para especificação das condições térmicas ambientais em ambientes destinados à ocupação humana, em complemento ao método derivado do modelo estático e similar ao presente na ISO 7730:2005. O método opcional para ambientes naturalmente ventilados estabelece dois intervalos térmicos de aceitabilidade da temperatura a partir da Temperatura Prevalente Externa, sendo de 80% para ambiente de uso geral

e de 90% para ambientes onde é exigido um padrão superior de conforto térmico (ASHRAE, 2013).

O trabalho de De Dear e Brager (2002) isolou as informações sobre temperatura de conforto de usuários em ambientes naturalmente ventilados, demonstrando por meio da Figura 4 inclinações distintas entre as preferências observadas dos usuários daquelas calculadas pelo Modelo Estático, portanto para ambientes naturalmente ventilados é recomendada a utilização do modelo adaptativo (PEREIRA; ASSIS, 2010).

Figura 4 - Temperaturas de conforto observadas (OBS) e preditas da base de dados RP-884 para edifícios naturalmente ventilados



Fonte: De Dear e Brager (2002)

Estudos recentes desenvolvidos em salas de aula naturalmente ventiladas com alunos universitários na Índia sugerem que os intervalos de temperatura adotados no modelo adaptativo possuem maior correlação com a temperatura de conforto declarada pelos estudantes (TELI; JAMES; JENTSCH, 2013). Finger, Goedert e Melo (2016) identificaram a partir da comparação de ambos os índices calculados e medições físicas que para a realidade pesquisada, em salas de aula na cidade de Florianópolis (SC), há maior compatibilidade do modelo adaptativo.

2.6 Modelo Adaptativo da ASHRAE 55-2013

O modelo adaptativo foi incorporado a norma americana ASHRAE 55 no ano de 2004 a partir das pesquisas de De Dear e Brager. Entre os anos de 2004 e 2013 sofreu duas revisões, a alteração da fórmula de cálculo da Temperatura Prevalente Externa e a inclusão da velocidade do ar para aumento do limite superior de aceitabilidade de temperatura em locais com temperatura operativa superior a 25°C.

O método para determinação de condições térmicas para ambientes naturalmente ventilados possui restrições quanto à sua aplicação, devendo o ambiente não possuir sistemas de refrigeração mecânica, possuir aberturas operáveis ao exterior, taxa metabólica dos ocupantes entre 1,0 e 1,3 met, estarem livres para adaptar as suas vestimentas e Temperatura Prevalente Externa entre 10°C e 33,5°C.

Os limites inferior e superior da temperatura operativa de conforto são calculados pelas fórmulas indicadas nas equações (1) e (2) e estabelecem o intervalo de conforto adaptativo para 80% de aceitabilidade, recomendado para ambientes de uso geral. Para ambientes que necessitem um padrão superior de conforto térmico é sugerida a adoção do índice de 90% de aceitabilidade, reduzindo simetricamente o intervalo em 2°C.

$$\text{Limite superior para 80\% de aceitabilidade (}^{\circ}\text{C)} = 0,31 \cdot \overline{t_{pma(out)}} + 21,3$$

(1)

$$\text{Limite inferior para 80\% de aceitabilidade (}^{\circ}\text{C)} = 0,31 \cdot \overline{t_{pma(out)}} + 14,3$$

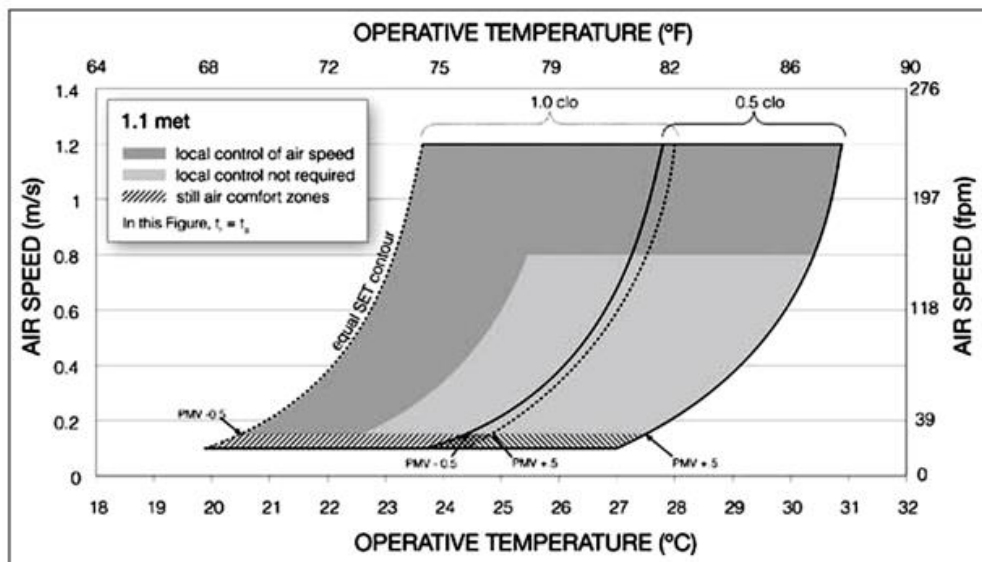
(2)

A Temperatura Prevalente Externa – $\overline{t_{pma(out)}}$ é a média aritmética simples das Temperaturas Médias Diárias – $\overline{t_{mda(out)}}$ de uma localidade para um período de tempo superior a sete dias e inferior a 30 dias.

O modelo de conforto adaptativo definido pela ASHRAE 55-2013 para ambientes naturalmente ventilados prevê o incremento da velocidade do ar entre 0,6 m/s e 1,2 m/s como estratégia para aumento do limite superior de temperatura de conforto em climas quentes e úmidos. No entanto a mesma norma limita a velocidade do ar em 0,8 m/s para atividades com metabolismo inferior a 1,3 met e sem controle

da velocidade do ar pelos usuários, conforme explicitado na Figura 5 extraída da referida normativa. O aumento da velocidade do ar para melhoria no conforto térmico é uma estratégia bastante utilizada nas salas de aulas de estabelecimentos públicos de ensino do Brasil, principalmente até o nível médio, considerando o alto custo da implantação e manutenção de equipamentos de climatização. Essa difusão da sua utilização é estimulada por estratégias governamentais para melhoria dos ambientes de ensino com o financiamento da sua implantação (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2007) e a publicação de manuais que orientam e especificam a sua utilização (BRASIL, 2006; MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2009).

Figura 5 - Intervalo aceitável de Temperaturas Operativas e Velocidade do Ar de acordo com a ASHRAE 55-2013



Fonte: ASHRAE 55-2013

Observações recentes sugerem o aumento de aceitabilidade para a velocidade do ar acima de 1,2 m/s em ambientes com ventilação natural e clima quente e úmido. Zhang et al (2007) avaliou o banco de dados RP-884 da ASHRAE, e demonstrou que em ambientes naturalmente ventilados os usuários tendem a indicar preferência por maior velocidade do ar. No Brasil foram conduzidas pesquisas as quais compararam os limites estabelecidos pela ASHRAE 55-2013 e resultados em campo, indicando que ela especifica valores inferiores de velocidade do ar ao desejado pelos usuários (CANDIDO et al., 2009).

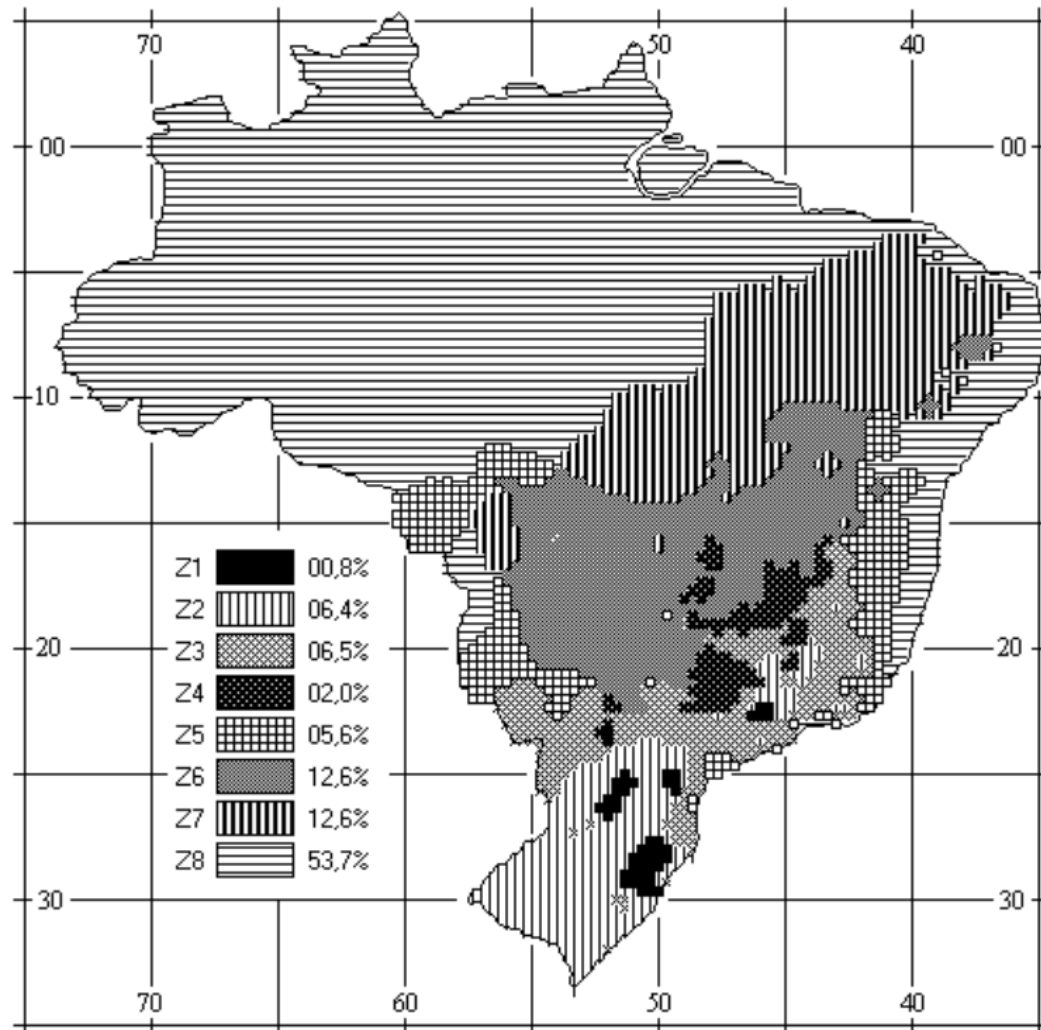
Para avaliação de ambientes naturalmente ventilados no Brasil, Pereira e Assis (2010) consideram os estudos realizados sobre a teoria do conforto adaptativo (DE

DEAR; BRAGER; COOPER, 1998) como o mais adequado método de avaliação desses ambientes, estando este parâmetro atualmente inserido na norma americana ASHRAE 55-2013. Em avaliação do desempenho térmico de uma edificação escolar, projeto padrão tipo C do programa Proinfância, Milan (2015) constata que a ASHRAE 55-2013 apresenta intervalos de conforto mais coerentes para o edifício pesquisado, sendo mais adequada se comparado com a NBR 15575:2015 Avaliação de Desempenho de Ambientes Residenciais (ABNT, 2013).

2.7 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Para adequar a arquitetura aos climas devem-se conhecer os dados climáticos regionais, principalmente as variações diárias e anuais de temperatura, índices médios de umidade relativa, as precipitações atmosféricas e radiação solar (FROTA; SCHIFFER, 1995). Para facilitar esse processo existem sistemas de classificação climática os quais buscam a aglomeração de regiões similares em Zonas Climáticas. O Zoneamento Bioclimático Brasileiro - ZBBR, normalizado pela ABNT através da NBR 15220-3:2005, foi desenvolvido com base nas normais climatológicas de 330 municípios e subdividiu o território em oito Zonas bioclimáticas (ZBs) relativamente homogêneas quanto ao clima, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220-3:2005

O ZBBR encontra-se em revisão por um Grupo de Discussão formado pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC desde o ano de 2012. Roriz (2012) considerou que o zoneamento atual é impreciso na caracterização climática das cidades brasileiras e que o processo de interpolação de resultados para os demais municípios aumentou os níveis de incerteza nas localidades sem registros meteorológicos.

As temperaturas e umidades relativas das 330 cidades pertencentes a cada ZB foram inseridas no diagrama psicrométrico proposto por Givoni e adaptado à realidade nacional para determinar as recomendações técnico construtivas em residências unifamiliares de interesse social a serem implantadas. Estas diretrizes especificam tamanho de aberturas, proteção de aberturas, tipo de paredes e coberturas e estratégias para condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005). Apesar da

aplicação das recomendações normativas estar limitada a residências unifamiliares de interesse social, são frequentemente utilizadas para as demais tipologias, provocando análises equivocadas quanto à adequação climática destas edificações (RORIZ, 2012a). Para cada uma das oito ZBs são destacadas as normais climatológicas de uma cidade de referência (Tabela 2).

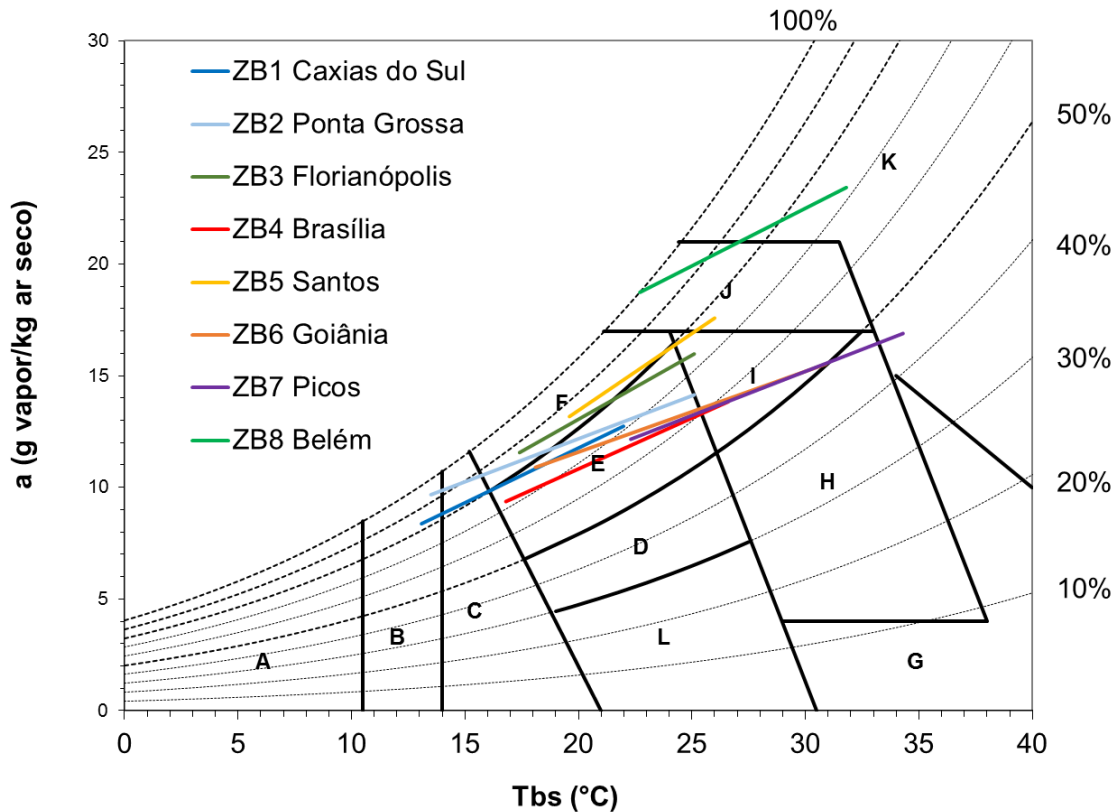
Tabela 2 - Cidades de referência por zona bioclimática

Zona Bioclimática	Cidade de referência	Número de cidades
Zona bioclimática 1	Caxias do Sul – RS	12
Zona bioclimática 2	Ponta Grossa – PR	33
Zona bioclimática 3	Florianópolis – SC	62
Zona bioclimática 4	Brasília – DF	17
Zona bioclimática 5	Santos – SP	30
Zona bioclimática 6	Goiânia – GO	38
Zona bioclimática 7	Picos – PI	39
Zona bioclimática 8	Belém – PA	99

Fonte: ABNT (2005a)

Existem variações significativas entre os índices climatológicos das ZBs, conforme apresentado na Carta Psicrométrica da NBR 15220-3:2005 da Figura 7 que evidencia as variações de estratégias bioclimáticas recomendadas para cada zona bioclimática. Como exemplos extremos podem ser citadas as ZBs 1 e 8 onde no primeiro caso são recomendadas as estratégias de aquecimento solar da edificação, massa térmica para aquecimento e desumidificação do ar e no segundo a ventilação para refrigeração e refrigeração artificial.

Figura 7 – Diagrama Bioclimático da NBR 15220-3:2005 com temperaturas médias mínimas e máximas anuais das cidades de referência



Fonte: Elaborado pelo autor

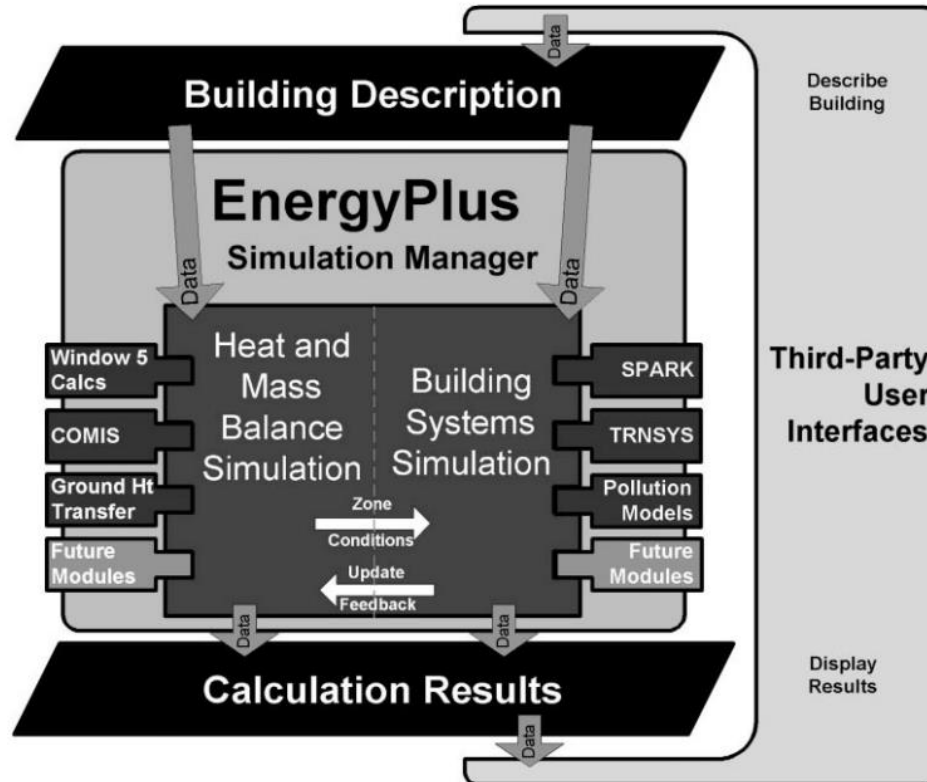
2.8 Simulação Térmica

A simulação térmica computacional é a utilização de um modelo matemático baseado em princípios da física, contendo informações físicas e funcionais de uma edificação, com objetivo de representar as transferências de calor e massa entre o meio ambiente e o interior da edificação. A técnica passou a ser difundida a partir dos anos 1970, com o avanço dos computadores de uso pessoal e a crise do petróleo, a qual elevou o custo para refrigeração e aquecimento dos ambientes. Por conta disso, nessa mesma época iniciou-se o investimento governamental em programas de simulação térmica, como o DOE-2 e o BLAST, desenvolvidos com auxílio financeiro do governo americano (CRAWLEY et al., 2001).

Baseado nas melhores características técnicas destes programas foi desenvolvido o software EnergyPlus, composto por uma série de aplicativos modulares básicos que permite a adição de módulos complementares conforme

apresentado na Figura 8, facilitando o desenvolvimento da ferramenta e a interação com outros programas.

Figura 8 - Estrutura Geral do programa EnergyPlus



Fonte: Documentação do EnergyPlus 8.9.0

O programa possui módulos para simulação de ventilação natural por diferença de pressão, transferência de calor pelo solo, sistemas de climatização e aquecimento, taxas de infiltração por frestas, iluminação natural, concentração de gases e cálculos de consumo energético, além do módulo básico de transferência de calor.

Órgãos governamentais, normatizadores e de pesquisa desenvolveram métodos de avaliação para programas de simulação térmica, dentre eles o conjunto BESTEST normalizado pela ASHRAE 140-2011 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs e o ASHRAE 1052-RP Building Fabric Analytical Tests são os mais referenciados na comunidade científica. O EnergyPlus foi avaliado seguindo os métodos descritos nestas normativas e apesar das diferenças identificadas teve resultados muito próximos do esperado (HENNINGER; WITTE, 2014a, 2014b).

Apesar das qualidades em simulação energética o EnergyPlus não dispõe de interface gráfica para desenvolvimento da geometria da edificação, dificultando a sua utilização. Para auxiliar a inclusão de informações no EnergyPlus o Laboratório Nacional de Energia Renovável – NREL (National Renewable Energy Laboratory) americano desenvolveu o programa Openstudio, oferecendo uma interface gráfica adicional ao programa Sketchup para a entrada das informações geométricas do modelo a ser simulado.

Verifica-se o aumento na realização de trabalhos que utilizaram ferramentas de simulação computacional. No Brasil, o software Arqitrop foi utilizado para avaliação de creche em conjunto habitacional de interesse social, utilizando a comparação do projeto original com alterações introduzidas em iluminação, ventilação, cor, orientação e materiais (BARROS et al., 2001). Adiazola et al. (2003), com o objetivo de analisar o conforto térmico de salas de aula do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET – PR, em Curitiba, utilizaram o software COMFIE (Calcul d’Ouvrages Multizonas Fixé a une Interface Expert), programa desenvolvido pelo Centre d’Energétique da École des Mines de Paris para análise térmica de prédios multizonais.

Um dos principais pontos positivos no uso de softwares para análise térmica é a extensa possibilidade de simulações que se podem realizar a partir da alteração de parâmetros, características físicas das envoltórias, localidades, orientações, dentre outros. Neste sentido Rackes et al. (2015) estudaram o potencial do conforto térmico de um protótipo de escola naturalmente ventilada implantadas em três zonas bioclimáticas de características climáticas distintas (1, 3 e 8). Utilizando-se dos programas Openstudio e Energyplus os pesquisadores alteraram parâmetros de sistemas construtivos, porcentagem de abertura de esquadrias e orientação. Como índice de conforto utilizaram da referência americana ASHRAE 55, a partir de ajustes de De Vecchi et al. (2015). Na tabulação dos resultados verificaram os componentes e estratégias de ventilação mais adequados para a implantação dos projetos padronizados. Mais recente o trabalho de Fonseca, Kirchheim e Torres (2015) realizou a comparação do desempenho térmico do projeto Proinfância Tipo C do em diferentes ZBs brasileiras. Utilizando-se do software Energyplus, o autor simulou as edificações

propostas pelo verificando se eles atendiam às condições mínimas recomendadas pelas NBR 15.220, NBR 15.575 e PBE Edifica.

Além da modelagem da edificação, o lançamento de cargas térmicas atuantes e meios para operação do edifício é imprescindível à adequada representação do clima local. A forma mais divulgada de dados climáticos são as normais climatológicas mensais e anuais, de baixa representatividade para a simulação computacional por não apresentarem os dados horários de temperatura, umidade, radiação solar, velocidade e direção do vento (ABREU-HARBICH; CHAVES, 2016). Para esta representação podem ser elaborados arquivos climáticos específicos que contenham as informações necessárias a representação das condições meteorológicas de certa localidade. A elaboração de um arquivo anual exige a coleta de dados sistemática das condições climáticas daquela localidade, além da análise qualitativa devido a dados fora de padrão ou sem registro.

Para o Brasil encontram-se disponibilizados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Estadual de Santa Catarina – LABEEE dois tipos de arquivo com origem e controle de qualidade distintos. Os arquivos de Ano Climático de Referência – TRY são utilizados em softwares de simulação e formado por dados para as 8760 horas do ano. A sua determinação baseia-se na exclusão, em uma série histórica de dados, dos anos com temperaturas médias mensais extremas até restar apenas um ano, que será designado como Ano Climático de Referência – TRY (STAMPER, 1997 apud MACHADO; EDUARDO, 2014). Os arquivos INMET 2012 foram compilados por RORIZ (2012a) a partir da coleta de dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET para 411 municípios, após tratamento de dados para correção de períodos sem registro e com registro fora de padrão. Devido a imprecisão no registro dos dados pelo INMET mesmo após análise para identificação de imprecisões (SCHELLER et al., 2015), os arquivos resultantes possuem baixa representatividade estatística devido ao curto intervalo de tempo utilizado no seu desenvolvimento, mas são adequados ao uso em simulação energética.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi realizada a avaliação do conforto térmico da Escola de Educação Infantil Proinfância Tipo B nas oito cidades representativas das ZBs brasileiras com 4 orientações de implantação, Norte-sul, Leste-Oeste, Nordeste-sudeste e Noroeste-sudoeste. Para isso, se utilizou da simulação computacional do comportamento térmico das salas de aula com o uso do programa EnergyPlus (RACKES et al., 2015). Nas seções 3.1 e 3.2 são apresentadas a seleção e caracterização do objeto de estudo e os parâmetros utilizados na modelagem da edificação.

O nível de conforto térmico foi avaliado pelo método de conforto adaptativo normatizado pela ASHRAE 55-2013 para edifícios naturalmente ventilados, com intervalo de conforto de 90% de aceitabilidade da temperatura operativa interna, determinada a partir da temperatura prevalente externa. Este intervalo é descrito no Apêndice I da norma como adequado a ambientes que necessitem um padrão superior de conforto térmico e foi adotado em consideração a maior sensibilidade térmica dos usuários da edificação.

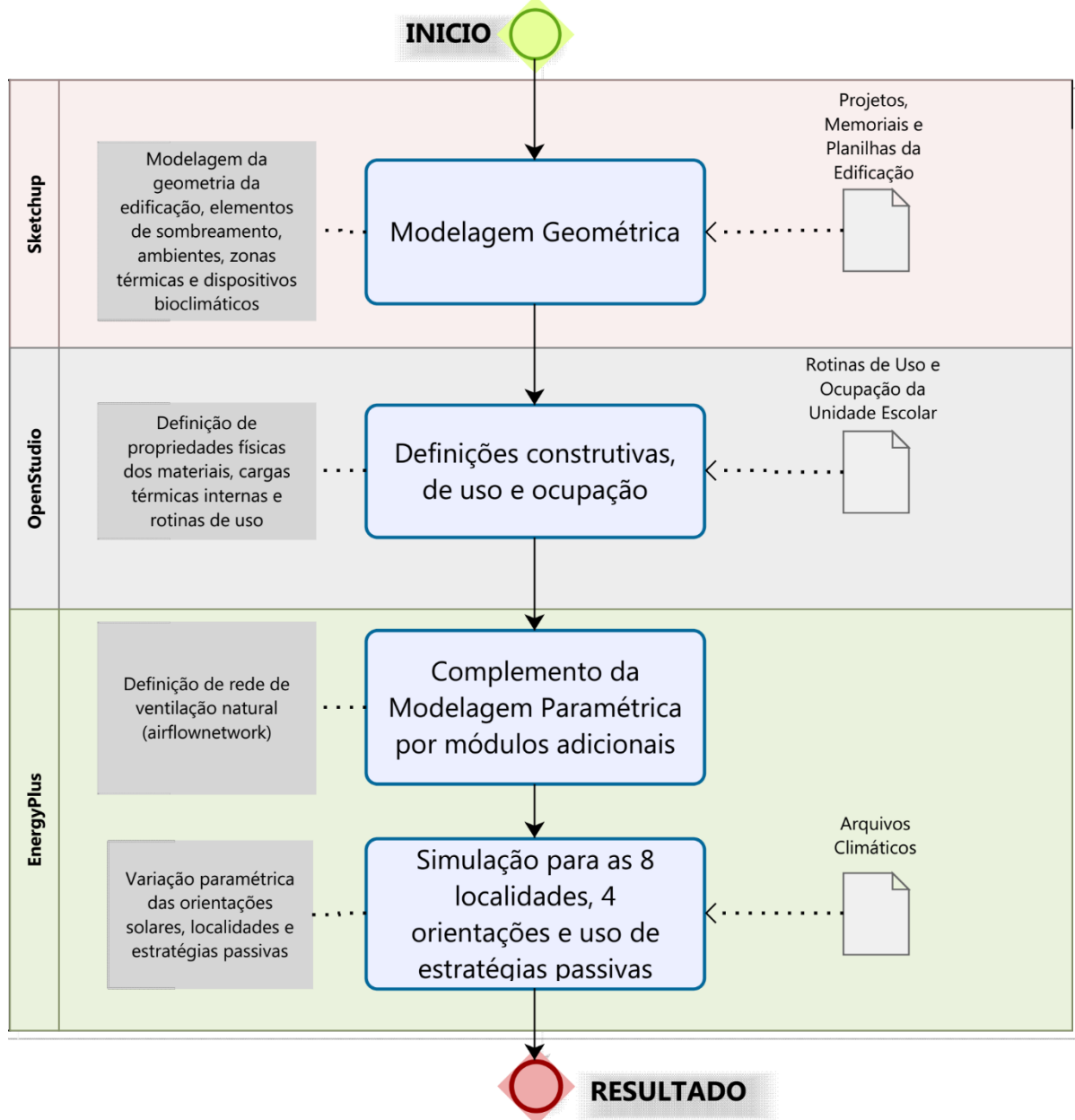
Os dados climáticos e de cálculo de intervalo de conforto estão descritos na seção 3.3 e os procedimentos para simulação e organização de resultados na seção 3.4.

A análise dos resultados do projeto original e definição e descrição das estratégias passivas de adequação climática para cada localidade, a serem definidas a partir dos períodos horários e anuais em desconforto, está descrita na seção 3.5.

Como resultado final é apresentada a comparação entre a porcentagem de horas em conforto térmico da edificação original e com a adoção de estratégias passivas de adequação climática recomendadas para cada localidade e orientação.

São etapas sequenciais deste objeto de pesquisa, conforme o diagrama apresentado na Figura 9: modelagem, simulação e análise dos resultados.

Figura 9 - Diagrama com a descrição do método de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 Estudo de caso

A edificação padrão escolhida para o estudo de caso foi a Escola de Educação Infantil Proinfância Tipo B na técnica construtiva convencional, por apresentar a maior quantidade de unidades implantadas bem como a sua distribuição territorial, pois é presente nas oito ZBs brasileiras.

A edificação é formada por um pátio central coberto, de uso misto, e 4 blocos de salas no seu entorno, dois pedagógicos, um administrativo e outro de serviços, em terrenos com dimensões mínimas de 40x70 metros. A função pedagógica é desenvolvida em oito salas de aula para até quinze crianças e dois professores, implantadas linearmente em blocos paralelos em lados opostos do pátio coberto. O acesso às salas ocorre a partir de área de circulação aberta e todas possuem aberturas em faces opostas para permitir a ventilação cruzada.

O pátio central coberto é destinado à prática de atividades físicas e refeitório, proporcionando sombreamento aos blocos pedagógicos, de serviços e administrativo. O projeto define beirais com largura mínima de 1,20 metros. Como elemento de sombreamento ainda se destaca o reservatório de água potável, por suas dimensões e proximidade com o edifício.

A técnica construtiva convencional possui elementos de vedação vertical internos e externos em alvenaria de tijolos oito furos assentada sobre argamassa de cimento, cal e areia, chapisco em argamassa de cimento e areia e revestimento final em massa única de cimento, cal e areia, atingindo a espessura final de 15cm, forros em laje pré-moldada de concreto com enchimento em blocos de EPS, chapiscada e emboçada com o mesmo material das paredes, atingindo espessura final de 15cm, cobertura em telhas cerâmicas e piso em revestimento cerâmico assentado sobre argamassa de regularização de 3cm e lastro de concreto em contato direto com o solo. Externamente é revestida com principalmente por argamassa de cimento, cal e areia e pintada na cor branca. Possui duas faixa de revestimentos cerâmicos de cor azul na base e no topo das paredes externas, conforme apresentado nas Figura 10 e Figura 11.

Figura 10 - Perspectiva frontal da edificação



Fonte: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

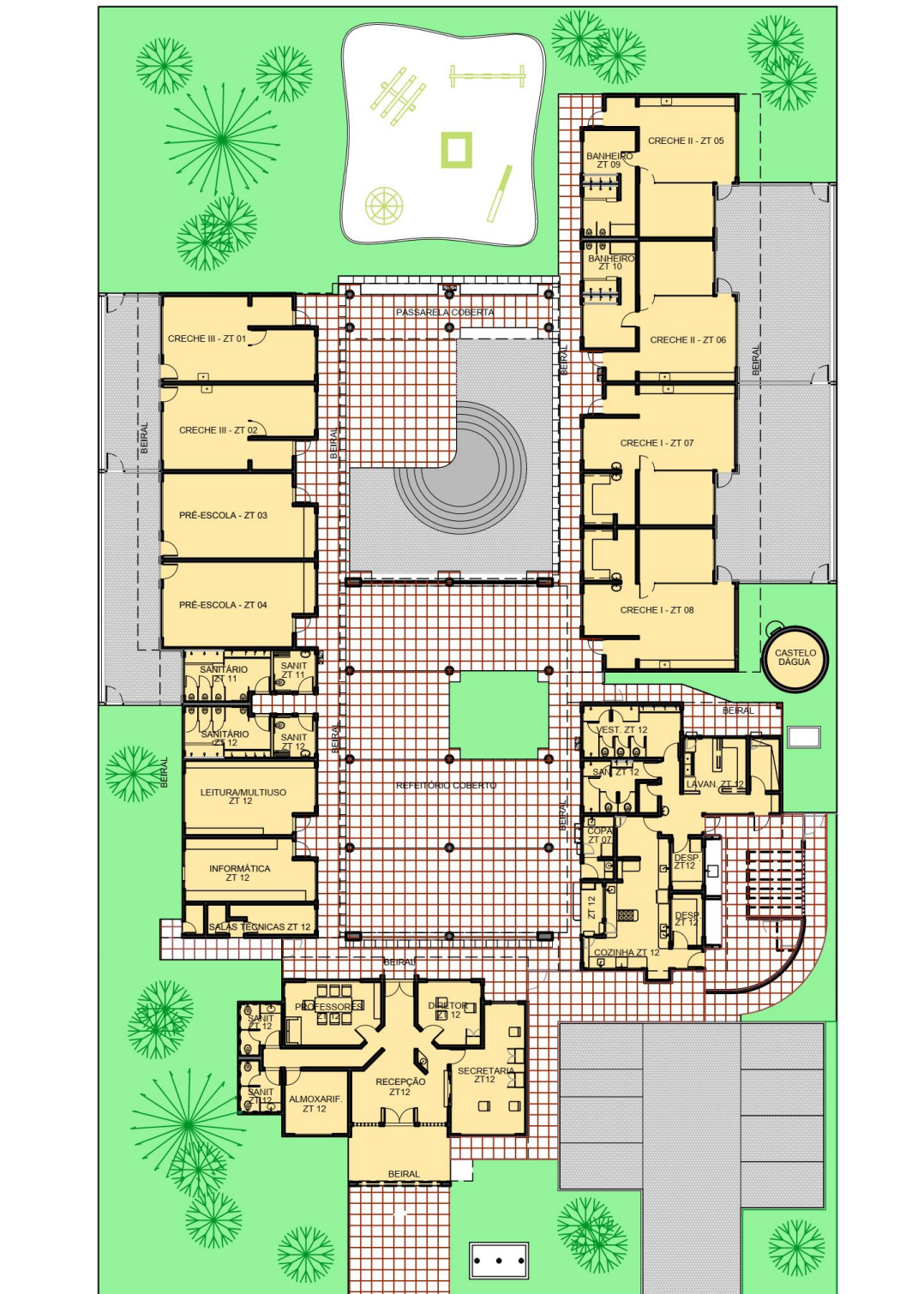
Figura 11 - Perspectiva dos fundos da edificação



Fonte: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

Todas as dimensões e padrões construtivos foram disponibilizados digitalmente através de projetos de arquitetura, complementares, memoriais descritivos, de acabamento e planilhas orçamentárias. Parte deste material encontra-se representado nas Figura 12 e Figura 13 (FNDE, 2012).

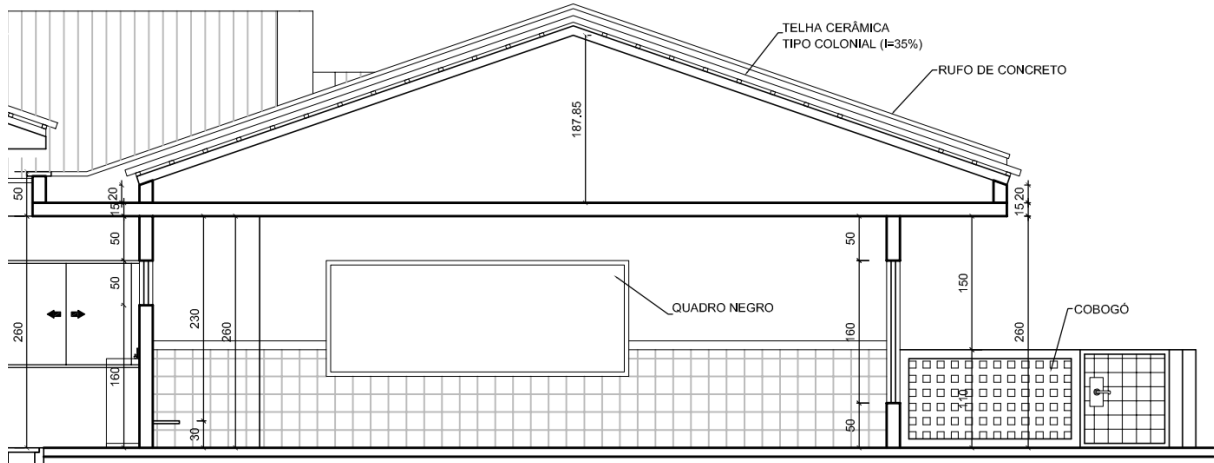
Figura 12 - Planta baixa com a nomenclatura e posição espacial dos blocos e ambientes da unidade



ESCALA GRÁFICA
0 1 2 3 4m

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 - Corte em sala de aula



Fonte: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

3.2 Modelagem

A modelagem tridimensional da edificação foi realizada em etapas sequenciais, definindo-se as zonas térmicas, aberturas e elementos de sombreamento com o uso do programa Sketchup como interface gráfica e extensão Openstudio para definição paramétrica. Posteriormente definiram-se as características da envoltória, das cargas térmicas internas de iluminação e ocupação, assim como as datas e horários de funcionamento para estabelecimentos de ensino infantil pelo programa Openstudio (LEITZKE et al., 2017; RACKES et al., 2015).

Todas as características físicas do edifício foram identificadas a partir da análise do Projeto Executivo de Arquitetura, Projeto Elétrico e Caderno de Especificações Técnicas e as funcionais a partir do calendário de utilização anual da edificação, respeitando os períodos anuais e horários letivos.

3.2.1 Geometria do modelo e zonas térmicas

O formato geral do edifício, bem como as divisórias internas e elementos de sombreamento e materiais componentes foram definidos a partir dos elementos técnicos disponibilizados pelo FNDE, sendo estes suficientes para a reprodução detalhada da edificação. A modelagem do edifício foi realizada no programa Sketchup em conjunto com a extensão Openstudio. Em conjunto estes programas auxiliam a

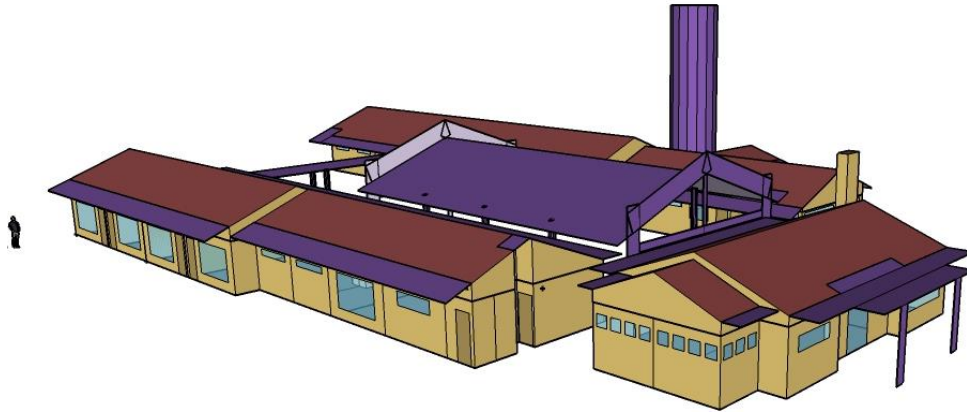
modelagem espacial e executam a conversão das coordenadas de cada vértice criado no modelo tridimensional para exportação para o EnergyPlus.

Para a adequada simulação energética, o software EnergyPlus define as zonas térmicas do edifício como ambientes com condições de temperatura relativamente uniforme. Com objetivo de maior precisão para os cálculos de transferência de calor e melhor detalhamento dos resultados definiu-se uma zona térmica individual para cada ambiente pedagógico, composta na maioria das vezes pela sala principal e uma sala secundária anexa, além de outra zona térmica para o sanitário adjacente à sala de pré-escola 2. Devido a separação física dos blocos administrativos, serviços, salas de informática e leitura com os ambientes pedagógicos, estes ambientes foram reunidos em uma zona térmica única apenas para efeito de sombreamento nos demais blocos.

Além das anteriormente descritas, foram criadas zonas térmicas para o ático das coberturas de cada um dos blocos educacionais com objetivo de aperfeiçoar a modelagem. Mazzaferro et al. (2014) realizaram análise para ático modelado ou substituído por camada com resistência térmica equivalente identificando que esta última apresenta resultados ligeiramente mais amenos quanto à transferência de calor entre o meio externo e o interior da edificação, resultando em uma diferença média de 0,9 °C na temperatura operativa de um modelo implantado em 3 localidades distintas. Os áticos dos demais blocos foram incorporados à Zona Térmica 12 apenas para efeito de sombreamento nas demais estruturas.

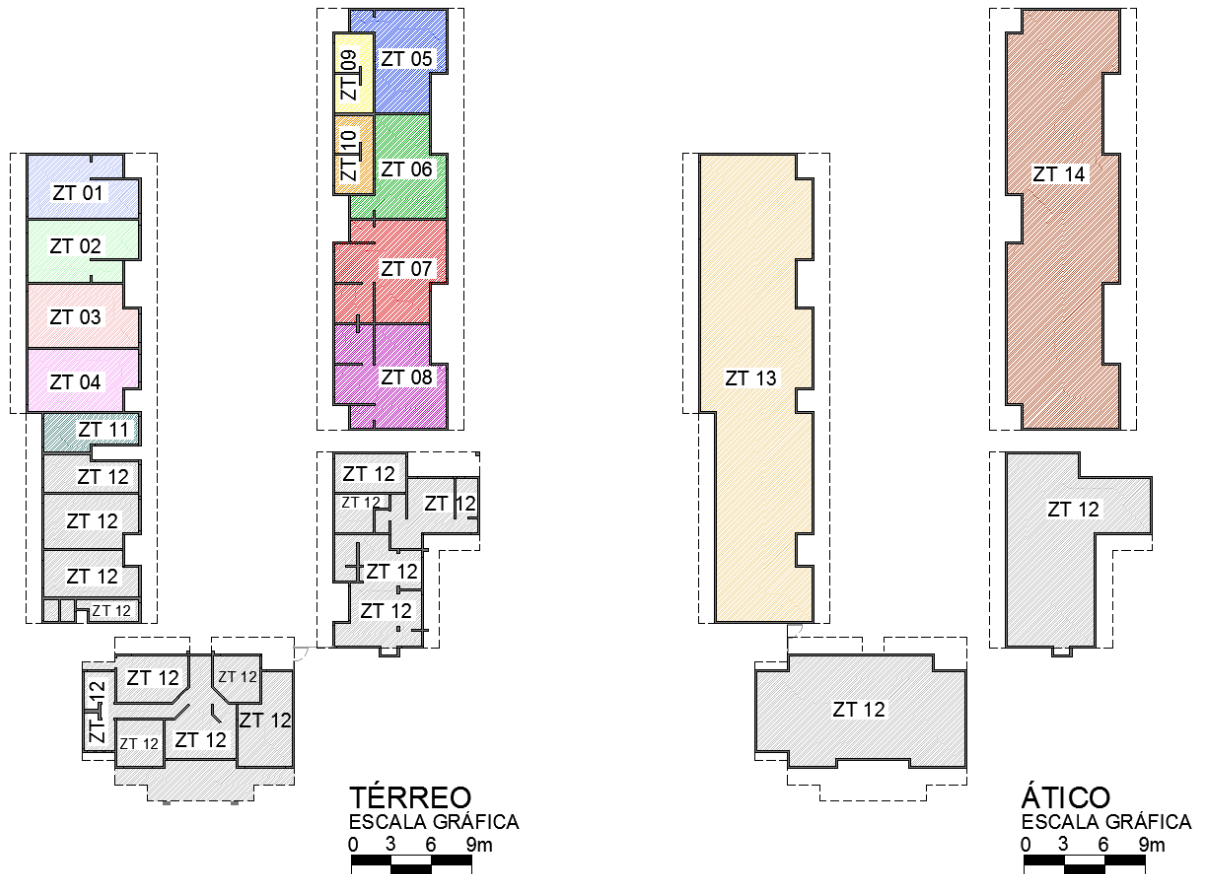
Na Figura 15 apresentam-se as Zonas Térmicas e os ambientes que a compõem e na Figura 14 a representação gráfica do modelo tridimensional criado com os programas Sketchup e Openstudio.

Figura 14 – Geometria da edificação modelada



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 - Ambientes que compõem cada Zona Térmica do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.2 Envoltória

O método de cálculo do EnergyPlus utiliza da composição de elementos construtivos por camadas e em série, não considerando, portanto, a geometria de

objetos não homogêneos como tijolos cerâmicos furados. As características físicas dos materiais construtivos utilizadas na simulação foram as descritas na Tabela 3 as quais foram adaptadas principalmente do trabalho de Weber et al. (2017). Para elementos construtivos não caracterizados nesta biblioteca foram utilizadas as características normatizadas na ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Os materiais caracterizados nas bibliotecas e que foram utilizados no projeto Proinfância Tipo B com espessuras distintas das descritas nas bibliotecas citadas tiveram a sua resistência térmica calculada pela fórmula (3) da NBR 15220-2 e foram destacados na Tabela 3 com um asterisco.

$$R = e/\lambda \quad (3)$$

Onde: R é a resistência térmica da camada

λ é a condutividade térmica

e é a espessura do material

Tabela 3 - Características físicas dos materiais construtivos utilizados na simulação

Componente construtivo	Nome da camada	Espessura equivalente [cm]	Condutividade térmica [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	Densidade equivalente [kg/m^3]	Calor específico [$kJ/(kg \cdot K)$]	Resistência térmica [$m^2 \cdot K/W$]
Reboco interno e externo	Argamassa de emboço 2,5cm	2,5	1,15	2000	0,920	0,022
Parede de alvenaria em tijolo 6 furos 9x14x24 (e=9cm)	Cerâmica	1,9	0,90	1600	0,92	0,021
	Camada de ar	10,2	0,48	-	-	0,213
	Cerâmica	1,9	0,90	1600	0,92	0,021
Laje pré-moldada H8 com enchimento em EPS (e=15cm)	Concreto	5	1,75	2200	1,0	0,029
	EPS e vigotas em concreto	8	0,223	373	1,0	0,3588*
	Argamassa	2	1,15	2000	1,0	0,0176*
Cobertura em telha de barro	Cerâmica	1	1,05	2000	0,92	0,0095
Piso em revestimento cerâmico sobre lastro em concreto	Piso cerâmico	0,75	1,05	2000	0,92	0,0071
	Argamassa	2	1,15	2000	1,0	0,0176*
	Lastro em concreto 5cm	5	1,75	2200	1,0	0,029
	Solo natural	42,25	0,87	1361	0,8373	0,4881*
	Placa de madeira pinus	3,5	0,23	675	1,34	0,15217*
Esquadrias em geral	Vidro temperado 10mm	1	1	2500	0,84	0,0100*

Fonte: Adaptado de Weber et al. (2017)

3.2.3 Cargas Internas

As cargas internas consideradas nos ambientes pedagógicos foram os usuários e o sistema de iluminação do edifício. Para cada sala de aula determinou-se a densidade de potência de iluminação instalada conforme caderno de especificações

técnicas e projeto elétrico disponibilizados pelo FNDE, sendo utilizado quatro luminárias do tipo sobrepor com duas lâmpadas tubulares fluorescentes de 32W em cada sala de aula, no total de 280W se considerados os sistemas de modulação de energia. Nos ambientes de repouso e sanitários internos às salas determinou-se a carga de 120W referente a duas lâmpadas incandescentes presentes no mesmo projeto.

Para cargas de ocupação foi considerada a ocupação máxima de projeto de dois professores e quatorze crianças por sala de aula, sendo a taxa metabólica adotada para os professores de $70\text{W}/\text{m}^2$ de área corpórea e $125\text{W}/(\text{pessoa.hora})$ (ISO, 2004). As crianças entre 2 a 6 anos possuem uma área corpórea reduzida, tendo a sua produção de calor estimada em $50\text{W}/(\text{pessoa.hora})$. O cálculo determinou a área corpórea média de crianças de dois a seis anos de idade a partir dos valores de referência da OMS (SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA, 2009) e da fórmula de DuBois (DUBOIS; DUBOIS, 1989), multiplicando pela taxa metabólica para atividades sedentárias de $70\text{W}/\text{m}^2$. A fração radiante considerada foi de 0,5 para pessoas e 0,37 para iluminação, conforme recomendação da ASHRAE 55-2013.

3.2.4 Rotinas de ocupação e operação do edifício

No EnergyPlus, o padrão de uso dos equipamentos, iluminação e ocupação do edifício é descrito utilizando-se a ferramenta Schedule. Por ela determina-se a operação do edifício conforme seu uso temporal e operacional. Também pela ferramenta é possível criar as operações de abertura e fechamento de esquadrias para iluminação e ventilação, funcionamento de elementos de sombreamento, no caso de árvores caducifólias, por exemplo.

As rotinas de ocupação da edificação foram estabelecidas de acordo com o calendário anual e horário de aulas de instituições de ensino de educação infantil com ocupação nos meses de fevereiro a junho e agosto a dezembro, com uso nos dias úteis das 7 h 30 min às 11 h 30 min no período matutino e das 13 h 30 min às 17 h 30 min no período vespertino. A carga térmica referente à iluminação ficou condicionada à mesma rotina. As cargas térmicas resultantes da ocupação e iluminação foram modeladas em 100% nos períodos de utilização da edificação. Os demais períodos foram considerados sem contribuição de cargas internas de pessoas e iluminação.

3.2.5 Infiltrações de ar e ventilação natural

O cálculo de fluxo de calor por infiltração de ar e ventilação natural foi modelado com a utilização do algoritmo AirflowNetwork do EnergyPlus, que é um módulo de ventilação natural por rede que controla a entrada de ar pelas aberturas definidas nas zonas térmicas do projeto através do cálculo da pressão do ar nas aberturas, a partir de direção e velocidade do vento. A limitação deste módulo é a maior precisão de resultados em edifícios de formato retangular, a irregularidade dos entornos e o trabalho com coeficiente médio de pressão (GU, 2007).

O controle das aberturas funciona com o estabelecimento de rotinas de uso da edificação, similar ao uso operacional proposto para a ocupação. Na modelagem proposta a abertura das esquadrias ocorre quando a temperatura operativa da Zona Térmica é superior a 25°C e igual ou superior a temperatura de bulbo seco do ambiente externo, conforme estudos de Martins et al. (2009, apud PEGLOW et al., 2016). Os coeficientes de pressão sobre as aberturas foram calculados pelo programa, a partir das modelagens e do arquivo climático, contendo direção e velocidade do vento.

As infiltrações de ar pelas frestas das esquadrias nos períodos que elas se encontram fechadas foram modeladas segundo os parâmetros médios determinados por Liddament (1986) e convertidos para a unidade de medida aceita pelo EnergyPlus, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para aberturas

Descrição	Exponente de fluxo	Coeficiente de fluxo (kg/s.m)
Porta de madeira externa 1 folha pivotante sem vedação	0,590	0,00171
Janela em metal deslizante com 2 folhas sem vedação	0,58	0,00058
Janela em metal pivotante com vedação	0,60	0,00030

Fonte: Liddament (1986)

Para as infiltrações de ar por frestas da cobertura (ático) utilizou-se a taxa recomendada pela NBR 15575/2013 de uma renovação por hora. A utilização do algoritmo AirflowNetwork desconsidera a definição de taxa de renovação horária. Para aprimorar os resultados foram criadas aberturas para ventilação permanente nas duas laterais dos áticos com dimensões que, na média das simulações nas oito localidades, obtivesse a taxa recomendada pela ABNT. Esta modelagem resultou em taxas

variáveis de renovação de ar que aumentam ou diminuem a depender da direção e velocidade do vento e da orientação da implantação, de forma mais orgânica que a sugerida pela entidade.

3.2.6 Transferência de calor pelo solo

No programa Energyplus, as trocas de calor entre a edificação e o solo podem ser modeladas de três formas, informando as temperaturas médias mensais do solo diretamente no programa, através do pré processador SLAB, para edificações de laje ou piso em contato com o solo e pelo pré processador BASEMENT, para modelagem de construções que possuam porão (CHEN, 2013). O manual do programa Energyplus recomenda o uso de pré processadores para obtenção de resultados com maior precisão, no entanto Costa (2017) adverte que os dados de entrada das propriedades termofísicas do solo, bem como a sua variação com o tempo, localização, tipo de cobertura e composição, podem impactar significativamente os resultados da simulação.

Considerando a variabilidade encontrada nas diversas localidades optou-se pela utilização da temperatura do solo igual a temperatura média mensal do ar externo, indicada diretamente no programa e apontada como adequada para simulação por diversas pesquisas (CHEN, 2013; COSTA, 2017; VENÂNCIO; PEDRINI, 2008). As temperaturas médias mensais do ar externo foram extraídas diretamente do arquivo climático de cada localidade e informadas no programa Energyplus de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Temperatura mensal do solo adotada para cada localidade

Localidade	Caxias	Ponta	Floria-					
Mês	do Sul	Grossa	nópolis	Brasília	Santos	Goiânia	Picos	Belém
Janeiro	18,3	22,4	24,8	21,6	24,3	23,9	27,2	25,6
Fevereiro	19,8	22,2	24,3	22	25,1	24,1	28,7	25,3
Março	18,9	22,1	24,3	21,6	24,8	23,4	27,7	25,5
Abril	16,3	19,7	21,5	21,3	22,2	23,5	26,6	25,6
Maió	14,2	15,8	18,9	19,2	20,3	21,1	27,4	25,8
Junho	9,6	15,7	16,9	17,7	16,2	20,6	26,3	26,3
Julho	10,6	13,8	17,5	17,8	17,5	20,5	26,3	26,7
Agosto	13,6	17,3	17,1	20,4	18,8	22,6	27,9	26,7
Setembro	12,9	16,8	19,1	22,6	18,7	25	30,2	26
Outubro	14,9	20,2	19,7	21,4	21,2	25	30,3	26,2
Novembro	19,7	20,6	21,3	21,9	21,9	24	31,2	26,5
Dezembro	19,1	22,5	22,6	20,9	22,4	25	28,7	26,3

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 Arquivo de Dados Climáticos e Intervalo de conforto térmico

Foram utilizados para a pesquisa os arquivos climáticos disponibilizados no portal do LABEEE (UFSC, 2016). Os arquivos climáticos contêm valores para as 8.760 horas do ano, com variações horárias de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar. O arquivo climático com maior expressividade estatística é o de Ano Climático de Referência – TRY, disponível para as localidades de Belém (PA), Brasília (DF) e Florianópolis (SC). Para as demais localidades em que ele não é disponível, foi utilizado o arquivo INMET 2016. As cidades de Caxias do Sul (RS), Ponta Grossa (PR) e Santos (SP), por não possuírem arquivos climáticos próprios, foram substituídas, respectivamente, pelas localidades de Canela (RS), Ivaí (PR) e Iguape (SP), geograficamente próximas à localidade de estudo conforme previsão da ASHRAE 55-2013, tendo optado por cidades dentro do mesmo Zoneamento Bioclimático. A extensão dos arquivos climáticos empregada foi a EPW, própria para utilização pelo software de simulação energética. A seleção dos arquivos climáticos é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Apresentação dos arquivos climáticos utilizados por Zona Bioclimática

Zoneamento Bioclimático	Cidade indicada na ABNT 15220	Localidade do arquivo climático	Tipo de Arquivo climático
Zona bioclimática 1	Caxias do Sul – RS	Canela – RS	INMET 2016
Zona bioclimática 2	Ponta Grossa – PR	Ivaí - PR	INMET 2016
Zona bioclimática 3	Florianópolis – SC	Florianópolis – SC	TRY
Zona bioclimática 4	Brasília – DF	Brasília – DF	TRY
Zona bioclimática 5	Santos – SP	Iguape - SP	INMET 2016
Zona bioclimática 6	Goiânia – GO	Goiânia – GO	INMET 2016
Zona bioclimática 7	Picos – PI	Picos – PI	INMET 2016
Zona bioclimática 8	Belém – PA	Belém – PA	TRY

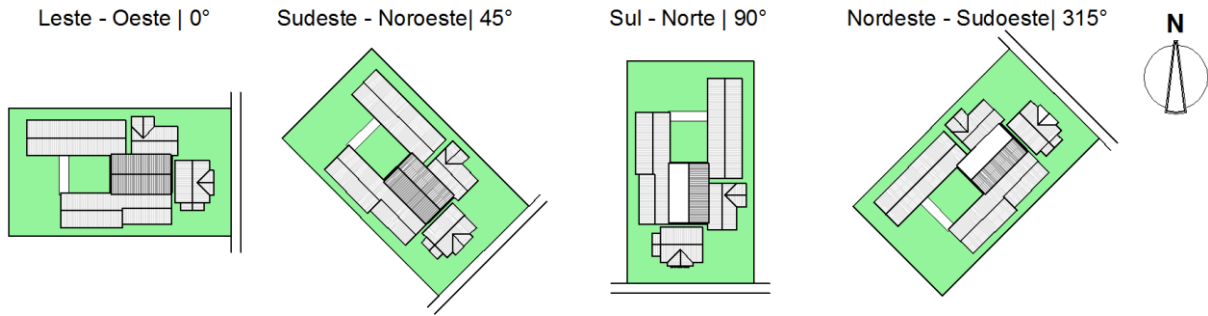
Fonte: Elaborado pelo autor

O cálculo do intervalo de conforto térmico foi efetuado segundo as fórmulas prescritas na ASHRAE 55, anteriormente citadas, para ambientes naturalmente ventilados e índice de aceitabilidade de 90% de usuários satisfeitos com a temperatura operativa. Para a sua determinação, a Temperatura Prevalente Externa foi determinada pela média aritmética das temperaturas horárias dos quinze dias anteriores a partir dos dados de Temperatura de Bulbo Seco extraídos do arquivo climático.

3.4 Simulação e Organização dos resultados

A simulação permitiu a análise do nível de conforto térmico nos 8 ambientes de ensino da edificação a partir do índice de conforto do modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2013b). Foram realizadas simulações em quatro orientações de implantação distintas para cada uma das oito localidades, conforme a Figura 16, que resultou em 32 simulações para determinação das temperaturas operativas horárias das salas de aula em cada implantação, além das simulações posteriores para avaliação do impacto da utilização das estratégias passivas no projeto.

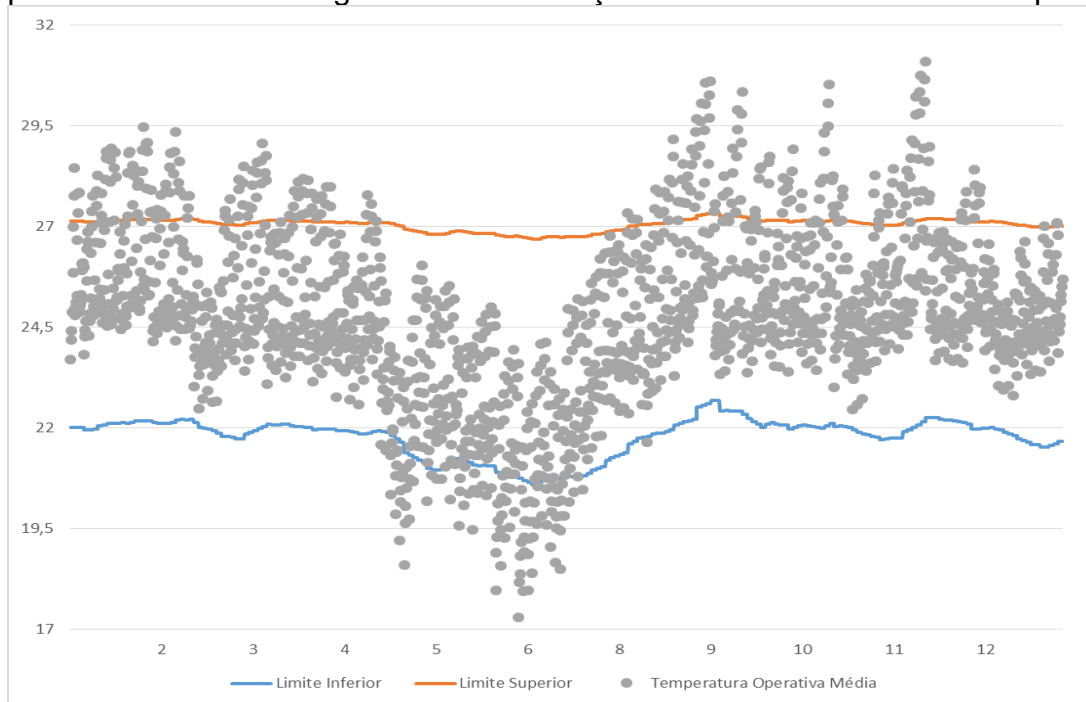
Figura 16 - Orientações de implantação utilizadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados, filtrados para as horas de uso da edificação, foram comparados com o intervalo de conforto adaptativo calculado para as localidades. A Figura 17 ilustra a marcação horária da temperatura operativa extraída da simulação e os intervalos de conforto adaptativo para os dias e horários de uso escolar. Toda ocorrência de temperatura operativa interna do ambiente que extrapolar os limites da zona de conforto definida é considerado, quando abaixo do limite inferior de conforto, como hora em desconforto para frio e acima do limite superior, como desconforto para calor.

Figura 17 – Exemplo de temperatura operativa horária simulada para uma sala de aula nos períodos de uso ao longo do ano em relação aos limites de conforto adaptativo



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados da pesquisa são expressos em porcentagem horas de utilização em conforto térmico, desconforto para frio e desconforto para calor, a partir da somatória das horas de ocorrências nas oito salas de aula de cada modelo e orientação, totalizando 13888 horas para cada modelo. A porcentagem de horas ocupadas considerou 1736 horas de uso anuais, excluindo os períodos de férias escolares, finais de semana, horários noturnos e intervalos em que a unidade permanece desocupada.

3.5 Estratégias Bioclimáticas

Para todas as localidades e orientações foram realizadas simulações adicionais com a utilização das estratégias passivas indicadas pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Foram selecionadas apenas estratégias de baixo impacto construtivo para a avaliação, com objetivo de permitir a adaptação das edificações implantadas sem acarretar em despesas substanciais. As estratégias a serem avaliadas, para cada ZB, seguem descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Estratégias passivas recomendadas pela ABNT NBR 15220 (2005a)

		ESTRATÉGIA	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
ABERTURAS	Permitir sol nos meses frios		X	X	X					
	Sombrear					X	X	X	X	X
ESTRATÉGIAS PASSIVAS	Aquecim. solar da edificação		X	X	X	X				
	Massa térmica de refrigeração					X		X	X	
	Ventilação			X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor

Para recomendação de sombreamento de aberturas foram efetuadas simulações considerando a existência de elementos de proteção fixos, nos casos de necessidade de sombreamento permanente e móveis para as localidades com necessidade de sombreamento em períodos específicos. Adicionalmente foi realizada a simulação do sombreamento da envoltória por arborização perene ou caduca de acordo com as recomendações citadas.

A alteração na absorvância das superfícies está associada ao impacto da radiação solar na edificação, indicando qual fração de energia solar é efetivamente absorvida, afetando os ganhos de calor e conseqüentemente as temperaturas internas. Para conservação das características construtivas a estratégia de Aquecimento solar foi implementada com a alteração dessa propriedade através da simulação da pintura externa da edificação em cor escura predominante.

A estratégia de massa térmica de refrigeração geralmente é associada a alta inércia térmica dos materiais que compõem as vedações internas os quais garantem uma maior estabilidade da temperatura nos períodos mais quentes do dia, mudança possível apenas com a reconstrução das unidades. Como estratégia de baixo impacto construtivo foi proposta a ventilação noturna da edificação, de mecânica de funcionamento similar por garantir o resfriamento das superfícies internas no período noturno.

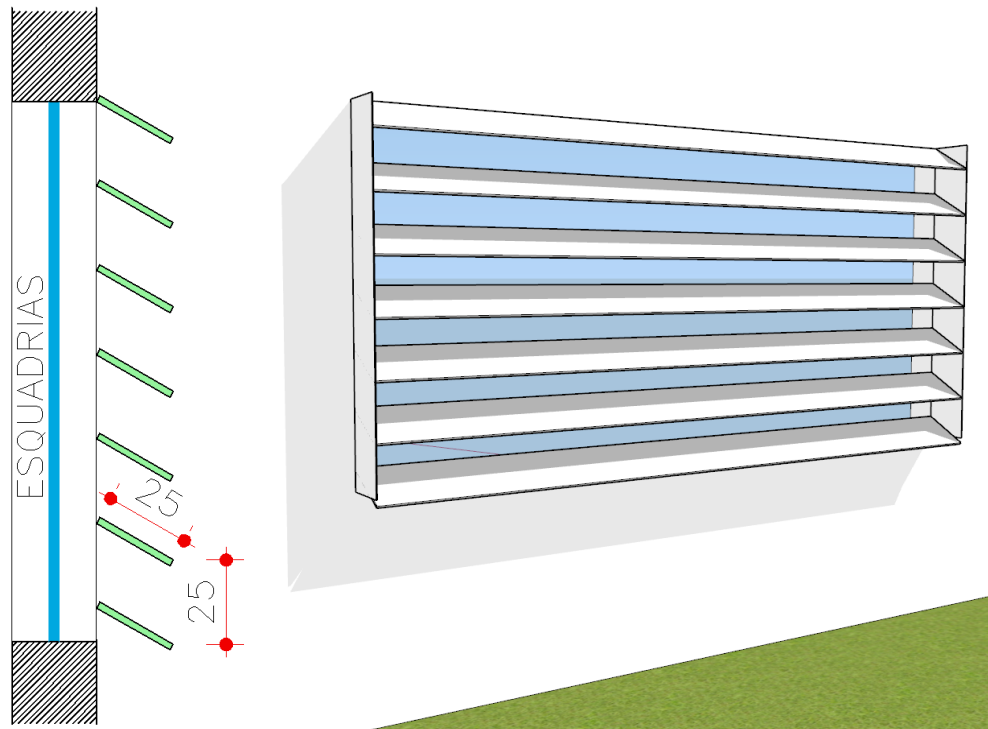
O projeto de arquitetura avaliado possui esquadrias para ventilação cruzada em todos os ambientes analisados e a abertura das mesmas as simulações foi programada para ocorrer a partir dos 25 °C de temperatura operativa interna, estando implementada a estratégia passiva de Ventilação dos ambientes. No entanto o uso de apoio mecânico para aumento da velocidade do ar é apontada como uma alternativa importante para obtenção de conforto térmico e de baixo impacto no consumo de energia (CANDIDO et al., 2009; DE VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013). Para as condições onde é recomendada a ventilação como estratégia passiva foi avaliado o aumento da velocidade do ar para obtenção de conforto térmico.

Após a definição das estratégias recomendadas, conforme apresentado na Tabela 7, foram realizadas as simulações térmicas das temperaturas operativas nas salas de aula para cada intervenção proposta de forma individual e em conjunto para o somatório das intervenções em cada ZB. Os resultados foram comparados com os obtidos na simulação da edificação original, apresentando a eficácia das estratégias bioclimáticas recomendadas para a localidade.

3.5.1 Proteção solar das esquadrias

A proteção solar das esquadrias, inserida em todas as esquadrias principais dos ambientes pedagógicos, foi utilizada para simular a inclusão de dispositivos fixos e móveis de proteção solar. Gutierrez (2004) identificou maior eficiência na redução da temperatura interna com o uso de brises combinados horizontais e verticais para as orientações norte, leste e oeste, portanto o seu desenho foi composto por 7 planos de sombreamento com largura de 25 centímetros, inclinação de 30 graus e distantes 25 centímetros entre eles, além de brise vertical nas duas laterais para proporcionar sombreamento regular em todas as orientações, conforme detalhado na Figura 18.

Figura 18 - Detalhamento dos elementos de sombreamento



Fonte: Elaborado pelo autor

A movimentação dos dispositivos de proteção foi simulada com a inclusão de rotina anual, ativo nos meses onde há presença predominante de desconforto para o calor e oculta nos meses em conforto ou desconforto para frio. A rotina, para as 8 ZBs, seguiu a programação da Tabela 8.

Tabela 8 - Programação de ativação de dispositivos de proteção por Zona Bioclimática

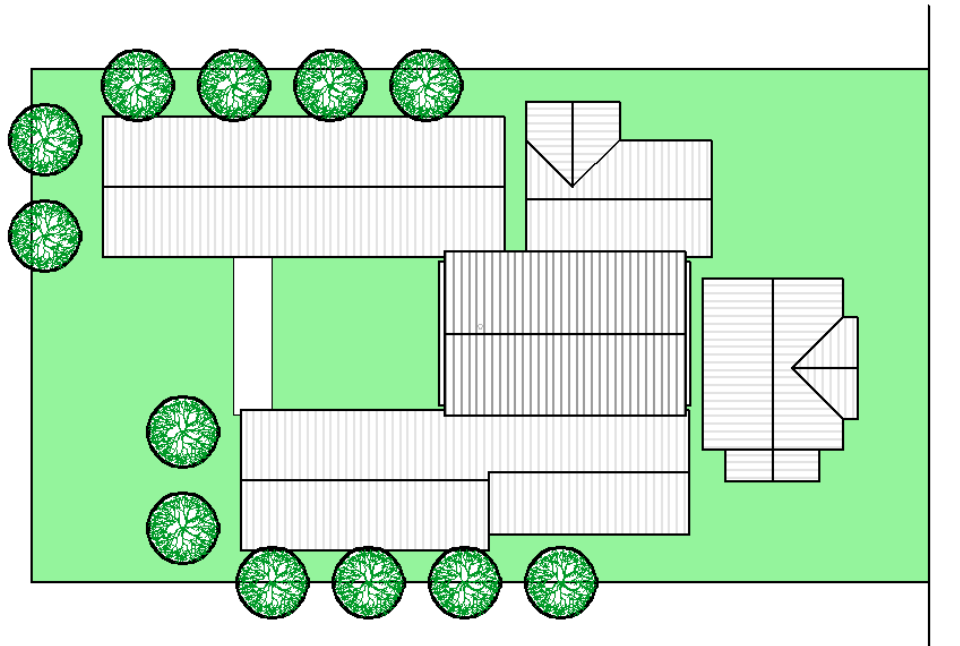
	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
Janeiro	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Fevereiro	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Março	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Abril	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Maiο	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Junho	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Julho	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Agosto	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Setembro	-	-	-	ATIVO	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Outubro	-	-	-	ATIVO	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Novembro	-	-	-	ATIVO	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Dezembro	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO

Fonte: Elaborado pelo autor

3.5.2 Arborização do entorno

Os sombreamentos por arborização foram representados pela adição de superfícies de sombreamento de dimensões similares a árvores de médio porte, com diâmetro de copa de 5,50 m, altura de copa de 3 m e copa elevada a 2,5 m do solo. Foram inseridos doze grupos de sombreamento nestas dimensões no perímetro das áreas pedagógicas implantadas a 4,5 m das paredes da edificação, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Posição da arborização simulada



Fonte: Elaborado pelo autor

A arborização caduca foi representada pela inclusão de rotina anual para os elementos de sombreamento de acordo com a ZB, conforme programação na Tabela 9. A queda de folhas de espécies caducifólias inicia geralmente em junho e a brotação de folhas novas em setembro, período em que as mesmas permanecem com reduzida cobertura vegetal (BENCKE; MORELLATO, 2002; ENGEL, 2001).

Tabela 9 - Programação de ativação de arborização por Zona Bioclimática

	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
Janeiro	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Fevereiro	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Março	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Abril	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Mai	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Junho	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Julho	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Agosto	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Setembro	-	-	-	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Outubro	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Novembro	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Dezembro	-	-	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO	ATIVO

Fonte: Elaborado pelo autor

3.5.3 Aquecimento solar da edificação

O projeto padrão possui a maior porção superficial das paredes externas com pintura sobre reboco na cor branca, de absorvância para radiação solar de 0,20 e emissividade de 0,90 (ABNT, 2005). Nas ZBs 1, 2, 3 e 5, onde há desconforto para frio, foi realizada a simulação da alteração da pintura externa da edificação para cores escuras, alterando-se a absorvância para 0,97, correspondente a cor preta.

3.5.4 Ventilação noturna

O incremento da ventilação noturna tem por objetivo o resfriamento por convecção da edificação auxiliando redução das temperaturas durante os períodos de utilização, principalmente em edifícios de alta inércia térmica. Para a sua modelagem foi programada a rotina de abertura parcial de $\frac{1}{4}$ da área das esquadrias nos períodos em que a unidade escolar permanece fechada. A operação dessas aberturas ocorre apenas durante o ano letivo, permanecendo fechadas nos meses de férias escolares.

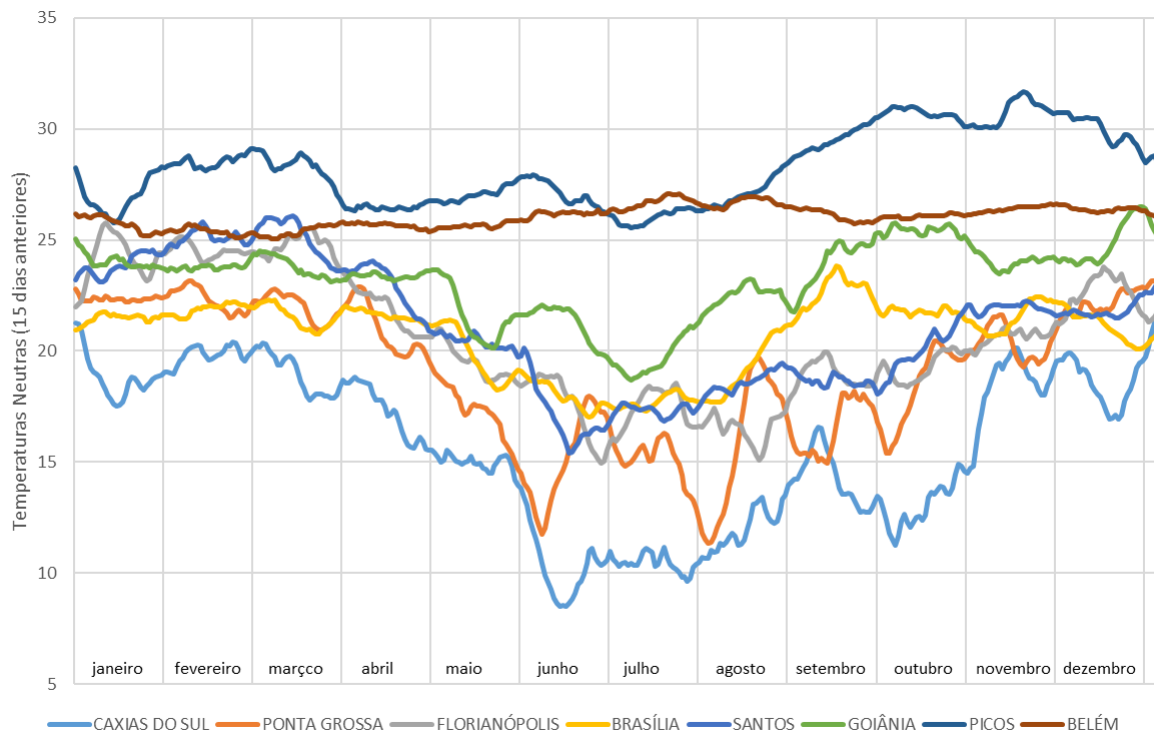
3.5.5 Aumento da velocidade do ar

O aumento da velocidade interna do ar altera a sensação térmica dos usuários pelo incremento das trocas térmicas entre o corpo humano e o ar por convecção. A ASHRAE 55 limita o aumento da velocidade do ar para atividades sedentárias inferiores a 1,3 met a 0,8 m/s, representando nesta velocidade um incremento de 1,6 °C no limite superior do intervalo da temperatura de conforto. Os resultados da simulação inicial foram reavaliados com o aumento da temperatura limite superior de conforto em 1,6 °C, considerando que a ventilação mecânica pode ser controlada livremente pelos usuários.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na simulação e a comparação entre eles através da utilização de gráficos e tabelas, analisados de acordo com adequação climática da edificação a cada ZB. Para determinação do atendimento à condição térmica de conforto foi adotado como parâmetro a abordagem adaptativa presente na ASHRAE 55, que estabelece o intervalo de conforto térmico para ambientes naturalmente ventilados a partir do cálculo da Temperatura neutra, correspondente neste estudo a média aritmética da temperatura horária dos 15 dias anteriores e apresentada, para todas as ZBs, na Figura 20.

Figura 20 - Temperatura neutra ao longo do ano por localidade



Fonte: Elaborado pelo autor

Inicialmente foram realizadas as simulações das temperaturas operativas internas das salas de aula do projeto original em todas as ZBs, a partir das quais pôde-se observar uniformidade dos resultados entre as mesmas. Considerando tal uniformidade, os resultados foram expressos pela porcentagem das horas de uso anuais das salas de aula da edificação que atenderam determinada condição térmica.

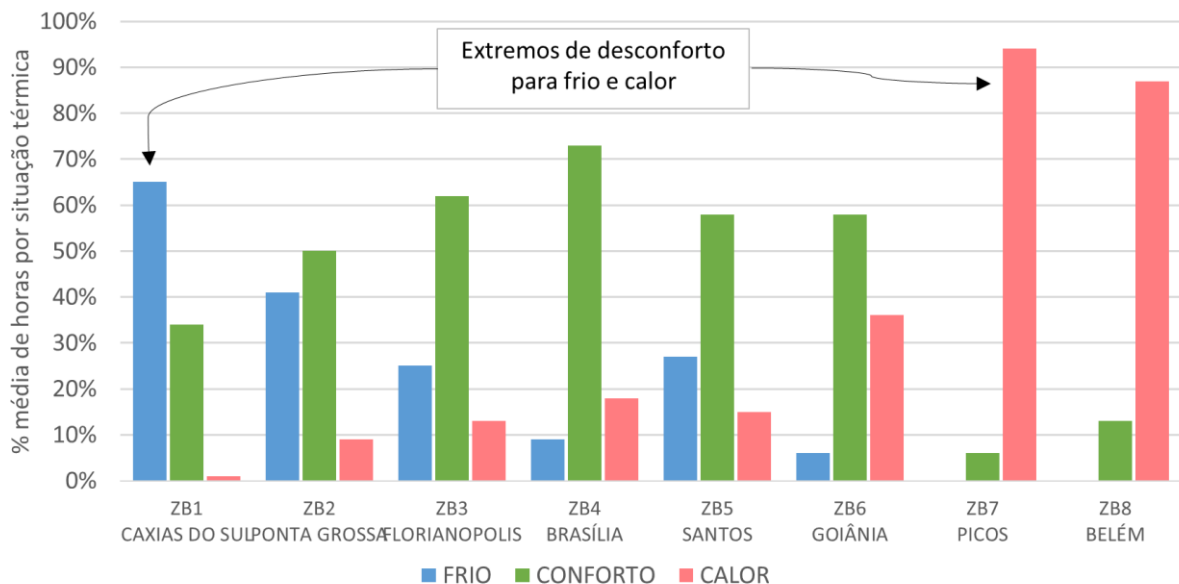
Os resultados são apresentados a partir da comparação do desempenho térmico da edificação nas diversas ZBs, demonstrando os índices obtidos na situação original, sem a adoção de estratégias passivas, os índices individuais de cada

estratégia passiva adotada e por fim o índice agrupado, simulando a adoção combinada de todas as estratégias de adequação climática.

4.1 Avaliação do conforto térmico sem adoção de estratégias passivas

Nesta seção são apresentados os resultados da simulação da edificação padrão em seu estado original com implantação nas 8 ZBs, sem adoção de estratégias passivas adicionais de adequação climática (Figura 21). O gráfico em questão demonstra que a edificação em seu projeto original não é adequada à implantação em todas as ZBs, uma vez que apresenta altas porcentagens de horas em desconforto térmico para frio e calor.

Figura 21 - Condição térmica da edificação por Zona Bioclimática



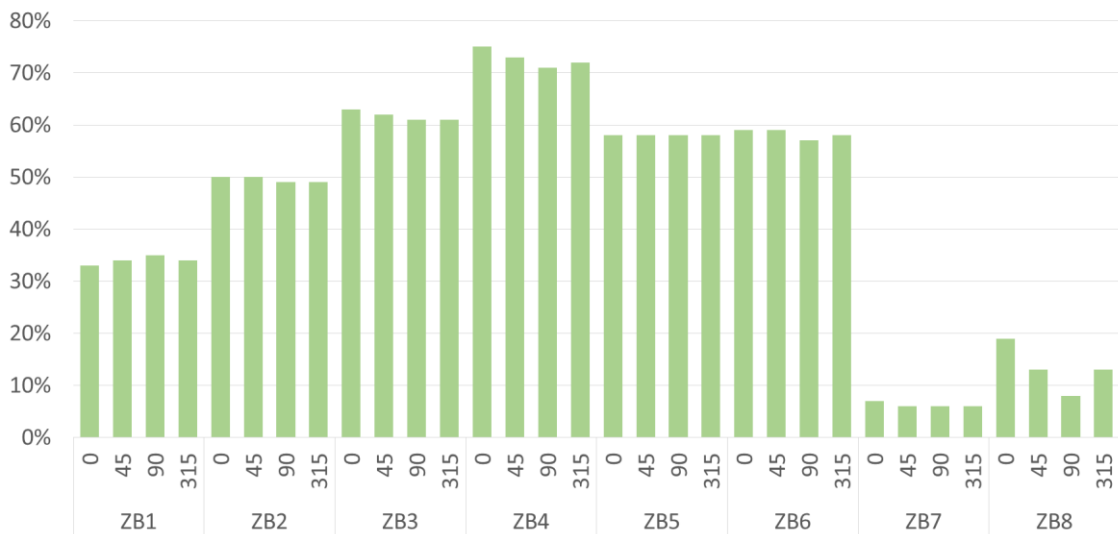
Fonte: Elaborado pelo autor

A edificação apresentou uma porcentagem reduzida de horas em conforto nas ZBs com condições extremas de frio ou calor, tendo resultados inferiores a 50% das horas de utilização em conforto térmico nessas localidades. A utilização do projeto padronizado nas ZBs 1,2, 7 e 8, sem a devida adequação climática, gera desconforto aos usuários na maior parte das horas de uso, com extremo na ZB 7, onde em apenas 6% das horas de uso os ocupantes estarão em conforto térmico. A ZB4, de temperatura moderada é a única que apresenta índices satisfatórios de conforto térmico, com mais de 70% das horas de uso em conforto.

A condição térmica da edificação é variável entre as ZBs, passando da predominância de desconforto por frio na ZB 1, com 65% das horas de uso desta forma, até a predominância de desconforto por calor, com ápice de 94% das horas de uso nessa condição para a ZB 7. As ZBs intermediárias têm predominância de temperaturas de conforto térmico

A variação na direção de implantação do edifício foi avaliada nas 8 ZBs, evidenciando que a orientação 0°, Leste-Oeste das cumeeiras, recomendada pelo Manual de Implantação, é a mais adequada para o edifício em 6 ZBs, com exceção das ZB1, onde predomina o desconforto para frio e a estratégia recomendada pela ABNT NBR 15220 é o aquecimento solar da edificação e da ZB5 na qual a orientação não interferiu neste resultado (Figura 22). As orientações em 45° e 315°, correspondentes as cumeeiras a Sudeste-Noroeste e Nordeste-Sudoeste, no geral apresentaram resultados intermediários de acordo com o esperado.

Figura 22 - Porcentagem de horas em conforto térmico por orientação da implantação



Fonte: Elaborado pelo autor

As localidades com maior influência da orientação de implantação nas horas em conforto foram as ZB4 e ZB8 com incremento de 4% e 11% respectivamente, demonstrando ser uma estratégia relevante na obtenção de conforto térmico para estas ZBs.

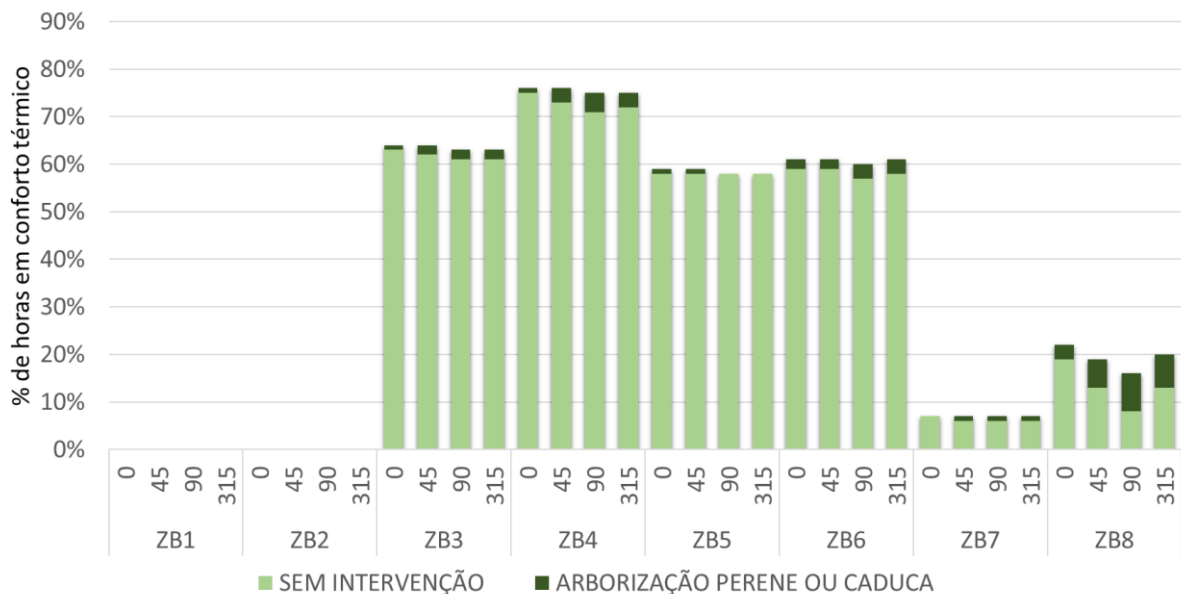
Os índices demonstram que implantação do projeto padrão, sem o uso de estratégias passivas adicionais, é adequada para a ZB4 onde se obtém conforto térmico em pelo menos 70% das horas de utilização do modelo.

4.2 Avaliação com o uso de estratégias passivas individuais

A adoção de estratégias passivas de adequação climática foi simulada para as 8 ZBs de acordo com as recomendações para residências da ABNT NBR 15220, obtendo-se individualmente para cada estratégia, evoluções consideráveis no comportamento térmico da edificação em todas as ZBs.

A utilização do sombreamento pela arborização no perímetro da edificação, caducifolia nos ZBs 3, 4 e 5 e perene em 6, 7 e 8, reduziu a absorção de energia térmica pela envoltória, atenuando a insolação sobre aberturas e elementos de vedação externa. Os resultados da simulação apresentaram acréscimo médio de 2% nas horas em conforto (Figura 23) e indicam que a orientação mais influenciada por esta estratégia passiva foi a Sul-Norte (90°) com três das localidades com os acréscimos mais expressivos de horas em conforto. As localidades mais influenciadas foram ZB 8, com acréscimo de até 8% de horas em conforto para a orientação Sul-Norte, ZB 4, com até 4% e ZB 6 com até 3% para a mesma orientação.

Figura 23 – Incremento de horas em conforto térmico com adoção da arborização

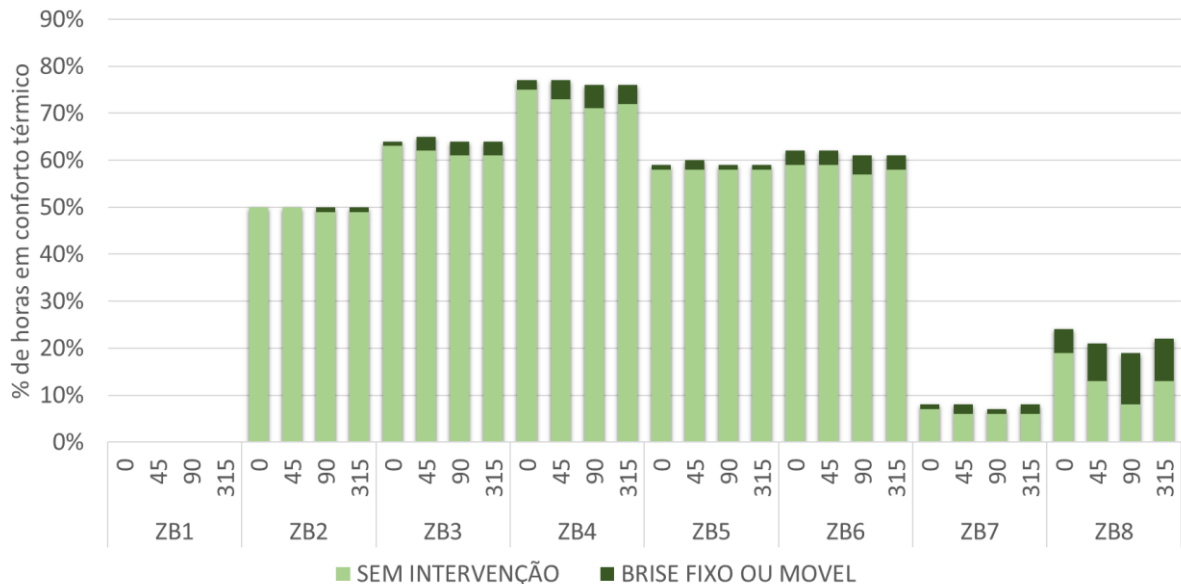


Fonte: Elaborado pelo autor

Na avaliação com a adoção de proteção solar fixa ou móvel os resultados mais expressivos foram obtidos para a orientação Sul-Norte (90°) em todas as localidades, confirmando que os ganhos solares pelas aberturas são significativos para a edificação quando nesta orientação e corroborando a indicação do Manual de implantação para implantações de cumeeiras a Leste-Oeste (0°). A ZB 8 foi a que

obteve variações mais expressivas, com incremento médio de 8% das horas em conforto, seguida das ZBs 4, 6 e 3 onde o incremento foi de 4%, 3% e 2%, respectivamente (Figura 24).

Figura 24 – Incremento de horas em conforto térmico com a adoção da proteção solar nas aberturas



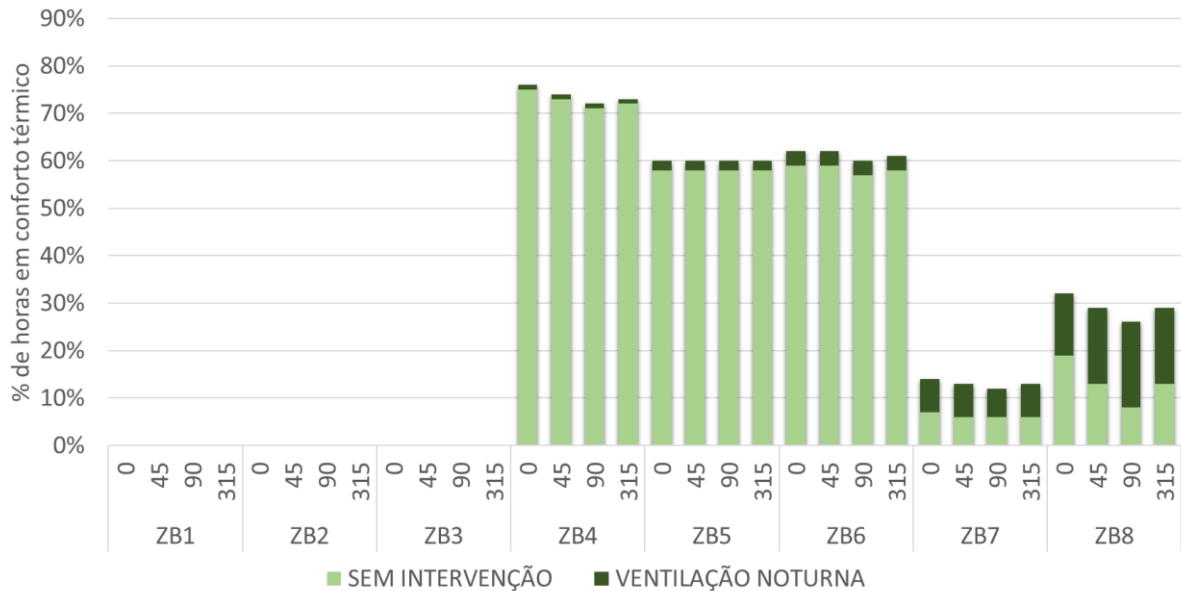
Fonte: Elaborado pelo autor

A estratégia de redução de temperatura por Massa Térmica para resfriamento, incrementada pela simulação da ventilação noturna na edificação, recomendada para as ZBs 4, 6 e 7 também foi avaliada nas ZBs 5 e 8, considerando os altos índices de desconforto por calor para estas localidades. A mesma produziu resultados significativos nas ZBs 6, 7 e 8, revelando-se como a estratégia passiva mais importante para estas localidades. Para este projeto padrão, dotado de ventilação cruzada em todos os ambientes avaliados, o incremento de horas em conforto foi superior as estratégias de proteção solar da envoltória e das aberturas, frequentemente apontadas como de maior relevância na obtenção do conforto térmico.

O acréscimo médio de horas em conforto para estas localidades foi de 3%, 7% e 16% respectivamente para as ZBs 6, 7 e 8. No entanto não há variação significativa entre as orientações, obtendo-se acréscimos regulares entre elas (Figura 25). A

exceção na ZB 8, onde a diferença entre as orientações foi de 5%, pode ser explicada pela melhor dissipação da energia térmica absorvida durante o dia naquela localidade.

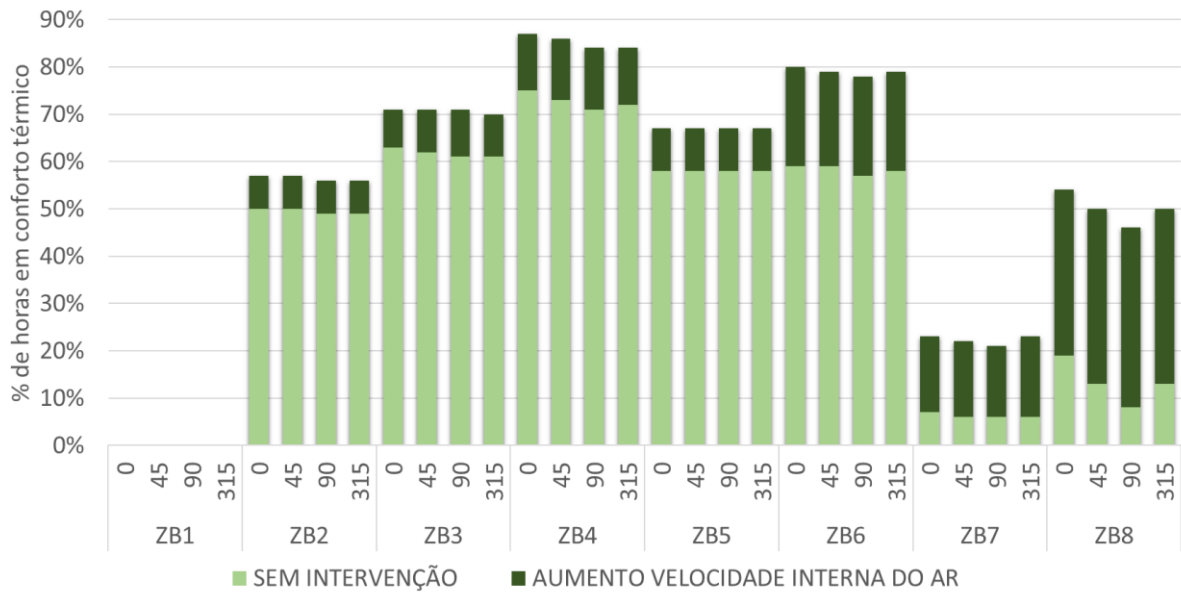
Figura 25 – Incremento de horas em conforto térmico com a adoção de ventilação noturna



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de não ser considerada uma técnica passiva, a ventilação mecânica é uma estratégia que também contribui para a obtenção do conforto térmico, principalmente em climas quentes e úmidos. Ao ampliar em 1,6 °C a temperatura limite superior de conforto, o aumento da velocidade do ar de até 0,8 m/s ampliou as horas em conforto em todas as localidades onde havia desconforto para calor, sem variação significativa entre as orientações (Figura 26).

Figura 26 – Incremento de horas em conforto térmico com o aumento da velocidade interna do ar

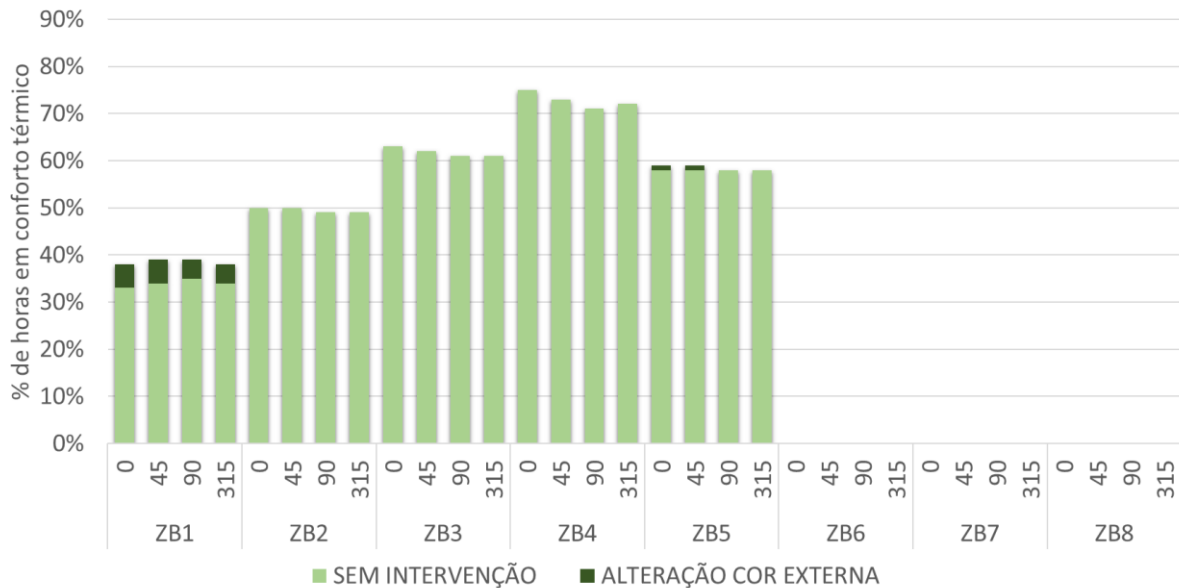


Fonte: Elaborado pelo autor

A análise dos dados indica que a técnica ampliou as horas de uso em conforto térmico em 16% na média de todas as orientações e ZBs e em 38% para a melhor situação, com a edificação implantada na ZB 8, na orientação Oeste-Leste (90°), correspondendo a 76 dias de uso da edificação.

A alteração da absorvância das paredes externas da edificação auxiliou no aquecimento solar da edificação, aumentando de forma significativa as horas em conforto apenas na ZB 1. Obteve-se, para a citada ZB, um aumento médio de 5% de horas de uso em conforto (Figura 27). As implantações simuladas nas ZBs 2, 3, e 4 obtiveram redução das horas em desconforto para frio e, simetricamente, aumento das horas em desconforto para calor. Nestas ZBs, para o seu melhor aproveitamento, os estudos podem ser aprofundados para se determinar a o índice de absorção ideal, na qual exista o melhor equilíbrio na redução das horas em desconforto para frio e calor.

Figura 27 – Incremento de horas em conforto térmico com a alteração da absorvância da edificação



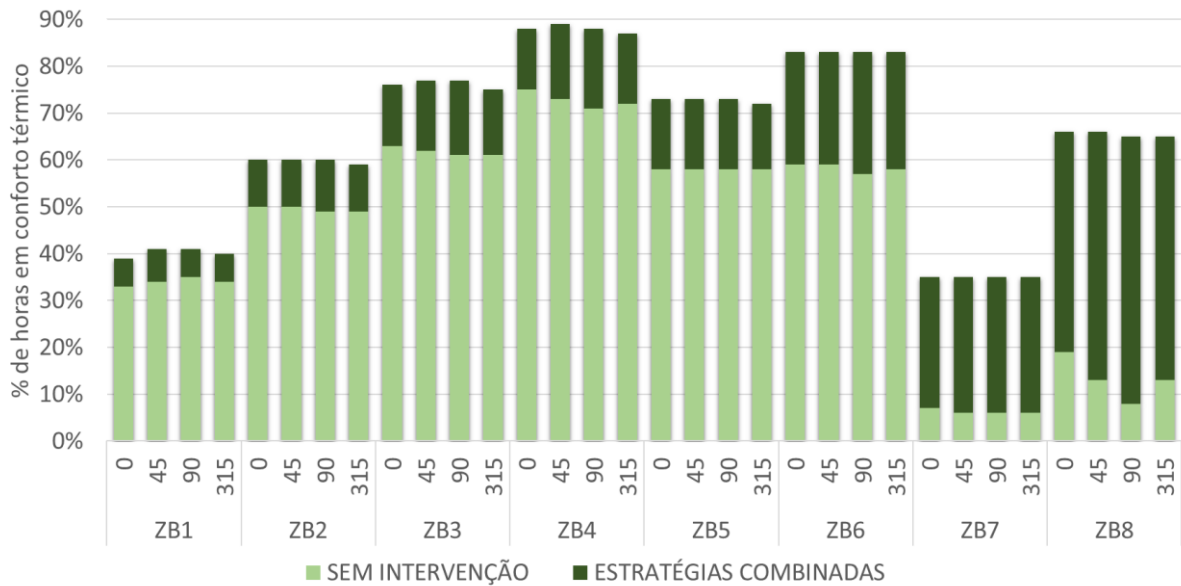
Fonte: Elaborado pelo autor

É importante salientar que nenhuma das estratégias analisadas consegue adequar a edificação as condições mais extremas de calor e frio encontradas nas ZBs 1, 2, 7 e 8. Nestes casos a conjugação das estratégias bioclimáticas pode ser adotada para obtenção de melhores resultados, no entanto o impacto não será necessariamente a somatória das eficiências das técnicas, pois podem partilhar o mesmo princípio de ação, como os sombreamentos por arborização e proteção solar permanente de esquadrias.

4.3 Avaliação com o uso de estratégias passivas combinadas

A combinação de estratégias bioclimáticas apresenta resultados importantes para obtenção de conforto térmico no interior da edificação. As estratégias avaliadas têm como foco principal a redução das horas em desconforto para calor, portanto foram nestas ZBs que obtiveram-se os maiores incrementos de horas em conforto (Figura 28). Os resultados mais expressivos foram obtidos na ZB 8, com incremento de conforto térmico em até 57% das horas de uso para a orientação Oeste-Leste (90°). Os resultados obtidos para as ZB 5, 6 e 7 também são expressivos, no entanto nesta última, apesar do incremento médio de 29% de horas em conforto, o índice alcançado permaneceu abaixo de 40% de horas em conforto, sugerindo que a adoção das estratégias não será suficiente para a obtenção de conforto naquela localidade.

Figura 28 – Incremento de horas em conforto térmico com o uso de estratégias combinadas



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Síntese da comparação das estratégias

Nesta seção é apresentada a síntese da avaliação comparativa entre as estratégias adotadas para a aclimação da edificação as oito ZBs brasileiras. Na Tabela 10 são apresentadas as porcentagens de horas de uso em conforto térmico para as 8 ZBs no estado original e com a adoção das estratégias de adequação climática. O projeto padrão, sem o uso de estratégias passivas, obteve índices de conforto especialmente baixos para as ZBs 1, 7 e 8.

A orientação solar se apresentou como uma estratégia relevante para obtenção de conforto térmico nas ZBs 4 e 8, nesta última com variação de 11% de horas de uso em conforto entre as implantações a Norte-Sul e Oeste-Leste. Nas demais localidades a variação entre as implantações resultou em incrementos de no máximo 2% das horas de uso em conforto, índice relativamente baixo para a importância dada à estratégia.

O sombreamento da edificação, simulado pelas estratégias de arborização (envelope) e proteção solar das esquadrias foi relevante para redução de desconforto nas ZBs 4, 6 e 8, principalmente nas implantações a Oeste-Leste (90 °).

O Incremento de ventilação noturna obteve resultados homogêneos em todas as orientações. As localidades que obtiveram o maior incremento de horas em conforto foram as ZBs 7 e 8.

A estratégia de aumento da velocidade interna do ar se mostrou preponderante na redução do desconforto por calor em todas as orientações e localidades, sendo portanto, recomendada para todas as implantações com uma quantidade significativa de horas em desconforto para calor.

A alteração da absorvância externa apresentou resultados positivos em localidades que apresentaram apenas desconforto para frio. Nas demais localidades a estratégia, simetricamente, reduziu o desconforto para frio e ampliou o desconforto para calor, permanecendo quase inalterada a porcentagem de horas em conforto térmico.

A adoção de estratégias combinadas para obtenção de conforto térmico reduziu significativamente o desconforto térmico em todas as localidades. Apesar dessa redução, as ZBs 1 e 7 permaneceram com menos de 40% de horas de uso em conforto térmico, sugerindo a necessidade de avaliação de estratégias adicionais de adequação climática para estas localidades.

Tabela 10 - Porcentagem de horas em conforto térmico por estratégia e ZB

ZONAS BIOCLIMÁTICAS	ORIENTAÇÃO	ESTRATÉGIAS ADOTADAS								
		SEM INTERVENÇÃO	ARBORIZAÇÃO PERENE	ARBORIZAÇÃO CADUCA	BRISE FIXO	BRISE MOVEL	VENTILAÇÃO NOTURNA	AUMENTO VELOCIDADE INTERNA AR	ALTERAÇÃO COR EXTERNA	COMBINAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
ZB1	0	33%	-	-	-	-	-	34%	38%	39%
	45	34%	-	-	-	-	-	35%	39%	41%
	90	35%	-	-	-	-	-	36%	39%	41%
	315	34%	-	-	-	-	-	35%	38%	40%
ZB2	0	50%	-	-	-	50%	-	57%	50%	60%
	45	50%	-	-	-	50%	-	57%	50%	60%
	90	49%	-	-	-	50%	-	56%	49%	60%
	315	49%	-	-	-	50%	-	56%	49%	59%
ZB3	0	63%	-	64%	-	64%	65%	71%	63%	76%
	45	62%	-	64%	-	65%	64%	71%	62%	77%
	90	61%	-	63%	-	64%	63%	71%	61%	77%
	315	61%	-	63%	-	64%	63%	70%	61%	75%
ZB4	0	75%	-	76%	75%	77%	76%	87%	-	88%
	45	73%	-	76%	75%	77%	74%	86%	-	89%
	90	71%	-	75%	74%	76%	72%	84%	-	88%
	315	72%	-	75%	74%	76%	73%	84%	-	87%
ZB5	0	58%	-	59%	57%	59%	60%	67%	59%	73%
	45	58%	-	59%	57%	60%	60%	67%	59%	73%
	90	58%	-	58%	57%	59%	60%	67%	58%	73%
	315	58%	-	58%	57%	59%	60%	67%	58%	72%
ZB6	0	59%	61%	-	62%	-	62%	80%	-	83%
	45	59%	61%	-	62%	-	62%	79%	-	83%
	90	57%	60%	-	61%	-	60%	78%	-	83%
	315	58%	61%	-	61%	-	61%	79%	-	83%
ZB7	0	7%	7%	-	8%	-	14%	23%	-	35%
	45	6%	7%	-	8%	-	13%	22%	-	35%
	90	6%	7%	-	7%	-	12%	21%	-	35%
	315	6%	7%	-	8%	-	13%	23%	-	35%
ZB8	0	19%	22%	-	24%	-	32%	54%	-	66%
	45	13%	19%	-	21%	-	29%	50%	-	66%
	90	8%	16%	-	19%	-	26%	46%	-	65%
	315	13%	20%	-	22%	-	29%	50%	-	65%

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 11 apresenta as porcentagens de horas por situação térmica, demonstrando as mudanças ocorridas com a adoção das estratégias bioclimáticas para cada ZB. Para as ZBs 1, 2, 3 e 5, com parcela significativa de desconforto para frio na simulação original, a conjugação de estratégias permitiu a ampliação das horas

em conforto pela redução das horas em desconforto para frio ao mesmo tempo que obteve a redução do desconforto para calor.

Tabela 11 - Porcentagem de horas por conforto e desconforto, por estratégia passiva e ZB, média das 4 orientações

ZONAS BIOClimáticas	CONFORTO E DESCONFORTO	ESTRATÉGIAS ADOTADAS								
		SEM INTERVENÇÃO	ARBORIZAÇÃO PERENE	ARBORIZAÇÃO CADUCA	BRISE FIXO	BRISE MOVEL	VENTILAÇÃO NOTURNA	AUMENTO VELOCIDADE INTERNA AR	ALTERAÇÃO COR EXTERNA	COMBINAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
ZB1 CAXIAS DO SUL	FRIO	65%	-	-	-	-	-	65%	60%	60%
	CONFORTO	34%	-	-	-	-	-	35%	38%	40%
	CALOR	1%	-	-	-	-	-	0%	2%	0%
ZB2 PONTA GROSSA	FRIO	41%	-	-	-	41%	-	41%	36%	36%
	CONFORTO	50%	-	-	-	50%	-	57%	50%	60%
	CALOR	9%	-	-	-	9%	-	2%	14%	4%
ZB3 FLORIANO POLIS	FRIO	25%	-	26%	-	25%	25%	25%	20%	20%
	CONFORTO	62%	-	63%	-	64%	64%	71%	62%	76%
	CALOR	13%	-	11%	-	11%	11%	4%	18%	4%
ZB4 BRASÍLIA	FRIO	9%	-	9%	14%	10%	9%	9%	-	9%
	CONFORTO	73%	-	76%	75%	76%	74%	85%	-	88%
	CALOR	18%	-	15%	11%	14%	17%	6%	-	3%
ZB5 SANTOS	FRIO	27%	-	28%	30%	27%	27%	27%	23%	23%
	CONFORTO	58%	-	59%	57%	59%	60%	67%	59%	72%
	CALOR	15%	-	13%	13%	14%	13%	6%	18%	5%
ZB6 GOIÂNIA	FRIO	6%	6%	-	7%	-	6%	6%	-	7%
	CONFORTO	58%	61%	-	62%	-	61%	79%	-	83%
	CALOR	36%	33%	-	31%	-	33%	15%	-	10%
ZB7 PICOS	FRIO	0%	0%	-	0%	-	0%	0%	-	0%
	CONFORTO	6%	7%	-	8%	-	13%	22%	-	35%
	CALOR	94%	93%	-	92%	-	87%	78%	-	65%
ZB8 BELÉM	FRIO	0%	0%	-	0%	-	0%	0%	-	0%
	CONFORTO	13%	19%	-	21%	-	29%	50%	-	66%
	CALOR	87%	81%	-	79%	-	71%	50%	-	34%

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar da obtenção de resultados expressivos com a utilização das estratégias combinadas nas ZBs 1 e 7, extremos climáticos de frio e calor, o percentual total de horas em conforto permaneceu abaixo de 40%, evidenciando a necessidade de avaliação de estratégias adicionais de adequação climática, como a alteração de materiais construtivos, entre outras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como constatado na revisão de literatura, a implantação de projetos padronizados é frequentemente utilizada para a construção de edificações de ensino. Quando coordenados pelo FNDE, as implantações geralmente possuem abrangência nacional, sendo necessário um projeto que seja adaptável às diversas localidades e situações de implantação. Este estudo de caso realizou a avaliação do conforto térmico de uma edificação padrão com objetivo de analisar o impacto da variação climática no projeto, considerando a implantação da mesma nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras em 4 orientações solares distintas. Constatou-se que a edificação padrão em seu projeto original oferece baixos índices de conforto térmico na maior parte das ZBs brasileiras, não se apresentando adaptada aos climas extremos.

A utilização de projetos padronizados em abrangência nacional, apesar dos benefícios elencados, deve ser objeto de análise criteriosa quanto ao atendimento dos parâmetros de conforto térmico para cada Zona Bioclimática, uma vez que a sua inadequação térmica pode ocasionar na necessidade de utilização de equipamentos de aquecimento e refrigeração mecânicos, elevando os custos de operação das edificações. Além dos custos também devem ser considerados os prejuízos à atividade fim da edificação, uma vez que tanto o desconforto térmico, na utilização da edificação em seu estado original, como a concentração de poluentes, ocasionada pelo uso de equipamentos mecânicos, reduzem significativamente o aproveitamento escolar.

Avaliou-se também o impacto da adoção de estratégias passivas de adequação climática na referida edificação, de forma individual e combinada, com o intuito de verificar se as orientações bioclimáticas expedidas pela NBR 15220 para residências podem ser aplicadas ao uso institucional proposto.

Ao se adotarem estratégias passivas para adequação climática da edificação, conforme a recomendação da ABNT NBR 15220 para ambientes residenciais, houve melhorias significativas na porcentagem de horas de uso em conforto térmico em todas as localidades, principalmente quando utilizadas as estratégias combinadas. No entanto há ZBs onde os incrementos são insuficientes para garantir conforto térmico de forma homogênea, concentrando horas em desconforto em meses e períodos específicos. A principal diferença entre os ambientes entre os ambientes institucionais

e residenciais é relacionada ao período de utilização. Desta forma, o uso das recomendações normativas para ambientes residenciais contempladas pela ABNT NBR 15220 não deve ser aplicada de forma isolada para ambientes institucionais.

Mesmo não alcançando índices satisfatórios de conforto térmico em todas as ZBs, as estratégias combinadas obtiveram melhorias consideráveis, principalmente nas localidades onde há predomínio ao desconforto para calor. Devido ao baixo impacto construtivo, para as localidades já construídas, a adoção destas estratégias deveria ser obrigatória por parte do órgão financiador afim de oferecer tais melhorias de forma imediata aos ocupantes da edificação. Mesmo nas localidades onde possa ser recomendada a instalação de equipamentos mecânicos de refrigeração e aquecimento, a adoção das estratégias passivas de adequação climática é favorável, pois reduz o consumo de energia para a climatização dos ambientes, reduzindo o custo operacional.

É importante salientar que para a avaliação das estratégias de adequação bioclimática, tanto os dispositivos de sombreamento de esquadrias, a arborização e as alterações na absorvância externa foram padronizados de forma a permitir a análise sistemática nas diversas ZBs. O dimensionamento dos dispositivos de sombreamento, a locação e adequada especificação da arborização para cada localidade e o estudo de absorvâncias pode gerar resultados mais satisfatórios em cada ZB, não estando esgotadas as possibilidades de incrementos na qualidade dos ambientes.

Para as ZBs extremas, onde a adoção das estratégias combinadas não foi suficiente para a obtenção de porcentagens importantes de horas em conforto térmico, recomenda-se a adoção de projetos padrão variados, dotados de mudanças estruturais nos projetos de arquitetura, como alteração nas dimensões das esquadrias e sombreamentos e na adoção de sistemas construtivos alternativos, os quais possam melhorar a inércia e o isolamento térmico da envoltória.

5.1 Limitações

Por se tratar de estudo teórico fundamentado em simulações computacionais, ele é limitado pelos parâmetros adotados para a modelagem da edificação. Todas as interações ativas dos usuários foram ajustadas de acordo com o uso esperado,

podendo na prática se desenvolver de forma distinta da aguardada influenciando em melhores ou piores índices de conforto térmico.

O estudo foi realizado considerando as ZBs da Norma ABNT NBR 15220:2005, no entanto tal subdivisão do território pode não representar adequadamente as diferenças climáticas brasileiras.

O projeto padronizado avaliado foi elaborado para ser implantado em todas as ZBs, com orientações variadas e previa ventilação cruzada, beirais alongados e envoltória especificada para esta finalidade, não podendo ser extrapolado para edificações com variações importantes nestas características.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Analisar a implantação de acordo com a revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro;
- Avaliar as cargas térmicas necessárias para refrigeração e aquecimento dos ambientes por grau-hora;
- Averiguar a influência da alteração dos materiais da envoltória a fim de se obterem resultados melhores nas ZBs 1 e 7;
- Verificar a previsibilidade de resultados com o estudo do conforto térmico em tipologias distintas;
- Avaliar a influência da alteração da dimensão das esquadrias no conforto térmico e lumínico da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 15220-2. Desempenho Térmico de Edificações-Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. **Rio de Janeiro/RJ**, 2003.
- ABNT. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. **Rio de Janeiro/RJ**, 2005.
- ABNT. NBR 16401-2 Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. **Rio de Janeiro/RJ**, 2008.
- ABNT. NBR 15575-1 2013 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. **Rio de Janeiro/RJ**, p. 60, 2013.
- ABREU-HARBICH, L. V. DE; CHAVES, V. L. Identificação do Ano Climático de Referência para Goiânia - Goiás. **Entac**, p. 406–416, 2016.
- ANDERSSON, B. et al. The impact of building orientation on residential heating and cooling. **Energy and Buildings**, v. 8, n. 3, p. 205–224, 1985.
- ARAGÃO, J. DE et al. Bioclimatic Analysis State School in the City of Macapá-Amapá/Brazil. **Mediterranean Journal of Social Sciences**, v. 4, n. 11, p. 621–630, 2013.
- ARAÚJO, V. M. D.; ARAÚJO, E. H. S. The applicability of ISO 7730 for the assessment of the thermal conditions of users of the buildings in Natal-Brazil. **Proc Indoor Air**, v. 99, p. 148–153, 1999.
- ARTIGAS, J. B. V. Sobre escolas. **Revista Acrópole**, n. 377, 1970.
- ASHRAE. Standard 55-2013. **Thermal environmental conditions for human occupancy**, p. 30, 2013.
- AUMANN, D. et al. Windows and classrooms : a study of student performance and indoor environment : technical report. **CLIMA 2007 Wellbeing Indoors**, v. 2, n. 2, p. 15, 2003.
- AZEVEDO, G. A. N.; BASTOS, L. E. GO.; BLOWER, H. S. **Escolas de ontem , educação hoje : é possível atualizar usos em projetos padronizados?** Anais do III Seminário Projetar. **Anais...Porto Alegre/RS**: 2007
- BARROS, L. A. F. et al. **APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROJETO PADRÃO DE CRECHE**. Anais do VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais...São Pedro/SP**: 2001
- BARROS, L. A. F.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Avaliação de projeto padrão de creche em conjuntos habitacionais de interesse social: o aspecto da implantação. **NUTAU/FAU/USP**, n. 1, p. 208, 2002.

BELTRAME, C. M.; DA CUNHA, E. G. Definição do Ano Climático de Referência (TRY) para a Cidade de Pelotas - RS. n. 1, p. 2014–2017, 2014.

BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, L. P. C. Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, p. 237–248, 2002.

BENTON, C.; BAUMAN, F.; FOUNTAIN, M. A field measurement system for the study of thermal comfort. 1990.

BOUDEN, C.; GHRAB, N. **Thermal comfort in Tunisia, results of a one-year survey**. Proceedings of the Conference on Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, UK publication, Oxford Brookes University, Windsor. **Anais...**2001

BRASIL. Programa Dinheiro Direto na Escola: Manual de Orientações para as escolas. **Brasília: FNDE**, p. 55, 2006.

BRASIL. Decreto Nº 6.094, de 24 de abril de 2007. **Dispõe sobre a implementação do Plano de Metas Compromisso Todos pela Educação**, abr. 2007.

BRASIL. **Dúvidas mais frequentes sobre a educação infantil**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12579:educacao-infantil&Itemid=859>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BRASIL, M. DA E.; BRASIL. **Transparência Pública - Obras FNDE**. Disponível em: <<http://simec.mec.gov.br/painelObras/>>. Acesso em: 7 mar. 2018.

CANDIDO, C. et al. **Air movement preference and thermal comfort: A survey in classrooms during summer season in Brazil**. PLEA 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture. **Anais...**Quebec city: 2009

CARRIÈRES, K. et al. **Desempenho térmico de 3 escolas públicas de são carlos, representando 3 épocas ao longo de 100 anos**. Encac. **Anais...**Maceió: 2005

CHEN, D. Dynamic three-dimensional heat transfer calculation for uninsulated slab-on-ground constructions. **Energy and Buildings**, v. 60, p. 420–428, 2013.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. Y. C. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos**. 2. ed. Rio de Janeiro/RJ, 2009: [s.n.].

CORREA, M. E. P. C.; MELLO, M. G.; NEVES, H. M. V. **Arquitetura Escolar Paulista 1890 - 1920**. São Paulo/SP: FDE, 1991.

COSTA, V. A. C. DA. **Trocas de calor entre edificações térreas e o solo e sua modelagem no pré-processador Slab**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2017.

CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 4, p. 319–331, 2001.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. **ASHRAE Transactions**. [s.l.: 1998]. Disponível em:

<https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6.pdf%5Cnhttp://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6.pdf%5Cnhttp://repositories.cdlib.org/cedr/cbe/ieq/deDear1998_ThermCompP ref>.

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

DEAR, R. J. DE; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. v. 34, p. 549–561, 2002.

DÓREA, C. R. D. Anísio Teixeira e a arquitetura escolar: planejando escolas, construindo sonhos. **Revista da FAEEBA**, v. 9, n. 13, p. 151, 2000.

DUBOIS, D.; DUBOIS, E. F. **A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. 1916.**, 1989.

ELALI, G. V. M. A. **Ambientes para educação infantil: um quebra-cabeça? Contribuição metodológica na avaliação pós-ocupação de edificações e na elaboração de diretrizes para projetos arquitetônicos na área.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 20 set. 2002.

ENGEL, V. L. Estudo fenológico de espécies arbóreas de uma floresta tropical em Linhares, ES. 2001.

FANGER, P. O. **Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering** Copenhagen: Danish Technical Press, , 1970.

FINGER, F.; GOEDERT, G.; MELO, N. R. **Avaliação das condições de conforto térmico em sala de estudos: aplicabilidade dos modelos estático e adaptativo comparados aos dados comportamentais do usuário.** XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...**São Paulo/SP: 2016

FNDE, F. N. DE D. DA E. **Projeto Tipo B - Portal do FNDE.** Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/projetos-arquitetonicos-para-construcao/item/4816-tipo-b>>. Acesso em: 7 mar. 2018.

FONSECA, L.; KIRCHHEIM, A. P.; TORRES, M. C. A. **Comparação de desempenho térmico de pré-escolas do programa proinfância nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras: estudo do projeto padrão tipo C e projeto conforme recomendações normativas de envoltória:** Trabalho de Graduação. Porto Alegre/RS: 2015. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/138296>>.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** [s.l.] Studio Nobel, 1995.

GEMELLI, C. B. **Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Lumínico de Edificação Escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: O caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico.** [s.l.] UFRGS, 2009.

GIOIELLI, B. E.; CUNHA, E. G. Estudo do efeito de pontes térmicas em estruturas de concreto armado no desempenho energético de edifício hoteleiro para 6 zonas bioclimáticas brasileiras. n. September, p. 439–448, 2014.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.

GIVONI, B. **Passive low energy cooling of buildings**. [s.l.] John Wiley & Sons, 1994.

GRAÇA, V.; KOWALTOWSKI, D. Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 3, p. 19–35, 2008.

GU, L. **Airflow network modeling in EnergyPlus**. Building Simulation. **Anais...2007**

GUTIERREZ, G. C. R. **Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de Brise-Soleil Fixo**. [s.l.] UNICAMP, 2004.

HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U.; SHAUGHNESSY, R. J. Effects of classroom ventilation rate and temperature on students' test scores. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, p. 1–14, 2015.

HENNINGER, R.; WITTE, M. **EnergyPlus testing with building thermal envelope and fabric load tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2007** US Department of Energy. Washington, DC, DC: 2007. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:EnergyPlus+Testing+with+Building+Thermal+Envelope+and+Fabric+Load+Tests+from+ANSI+/+ASHRAE+Standard+140-2007#0>>.

HENNINGER, R.; WITTE, M. **EnergyPlus Testing with ASHRAE 1052-RP Toolkit – Building Fabric Analytical Tests**. Washington/DC: 2014.

HOOFF, J. VAN. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? **Indoor Air Journal**, v. 18, p. 182–201, 2008.

HUMPHREYS, M. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Building Research Establishment Current Paper**, 1975.

ISO. ISO 8996 Ergonomics of the thermal environment. Determination of metabolic rate. **Management**, 2004.

KOWALTOWSKI, D. et al. O conforto no ambiente escolar: elementos para intervenções de melhoria. **IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2002) Foz do Iguaçu – Paraná – Brasil 7 a 10 de maio de 2002**, p. 173–182, 2002.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. C. K. **Arquitetura Escolar - o Projeto do Ambiente de Ensino**. 1. ed. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2011.

KRÜGER, E. L.; MORI, F. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Ambiente Construído, v. 12, n. 3, p. 89–106, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro/RJ: 2014.

LAMENHA, M. DE A. **A escola técnica do programa brasil profissionalizado: um projeto padrão para diferentes zonas climáticas?** Maceio/AL: 2016.

LEITZKE, R. K. et al. Avaliação de dispositivos de proteção solar fixos e automatizados para edifício residencial. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas**, v. 8, n. 1, p. 59–72, 2017.

LIDDAMENT, M. **Air Infiltration Calculation Techniques An Applications Guide**. Bracknell: 1986. v. 1

MAHONEY, C.; KOENIGSBERGER, O. H.; EVANS, M. **Climate and house design. Publicações Nações Unidas, Nova York, USA**, 1971.

MAZZAFERRO, L. et al. **Análise comparativa de modelagens de coberturas e pisos no programa Energyplus**. 11 nov. 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_39.pdf>

MAZZO, E. N. **Avaliação das Condições de Iluminação - Natural e Artificial - de quatro tipologias de edifícios de creche em São Carlos**. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**São Paulo/SP: 2004

MELLO, C.; LOMARDO, L. **Desempenho térmico nas agências dos correios - um estudo para requalificação do ambiente de trabalho**. 11 nov. 2014 Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_362.pdf>

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. **Indoor Air**, v. 15, n. 1, p. 27–52, 2005.

MILAN, V. B. **DESEMPENHO TÉRMICO: ANÁLISE DE UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR PADRÃO PROINFÂNCIA INSTALADA NO MUNICÍPIO DE CAMAQUÃ**: Trabalho de Graduação. Porto Alegre/RS: 2015.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **RESOLUÇÃO/CD/FNDE Nº 6 DE 24 DE ABRIL DE 2007** Estabelece as orientações e diretrizes para execução e assistência financeira suplementar ao Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – PROINFÂNCIA. Brasil, 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/resolucao_n6_240407_proinfancia_medida18.pdf.pdf>

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Brasil. Instruções e procedimentos para elaboração de projetos de implantação referentes a construção de escolas que utilizem os projetos-padrão do FNDE** Brasília/DF, Brasil, 2009. Disponível em: <ftp://ftp.fnde.gov.br/web/par/cartilha_tecnica_pro_infancia.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2017

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Normas para Construção e Instalação de Creches: Portaria Ministerial 321, de 26 de maio de 1988**, 1988.

MUELLER, C. M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 12 abr. 2007.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563–572, jul. 2002.

NOGUEIRA, M. C. DE J. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, J. DE S. Conforto Térmico Na Escola Pública Em Cuiabá-Mt: Estudo De Caso. **Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient. ISSN**, v. 14, p. 37–49, 2005.

OLGYAY, V. Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Pres. **Princeton. 190p**, 1973.

PASCOA, O. N. DE F. **A QUALIDADE DO LUGAR EM ESCOLA PÚBLICA PADRONIZADA DO RIO DE JANEIRO . ESTUDO DE CASO : ESCOLA MUNICIPAL TIA CIATA**. Rio de Janeiro/RJ: 2008.

PECCOLO, C. **The effect of thermal environment on learning,a pilot study**.Iowa City, 1962.

PEGLOW, J. et al. **Avaliação Do Conforto Térmico De Escola Municipal De Educação Infantil Em Pelotas / Rs – Zb2 1**. XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...São Paulo/SP: 2016**

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. DE. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático****Ambiente Construído**. 2010.

PEREIRA, P. R. P.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **ANÁLISE DE FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES**. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...Buzios/Rj: 2011**

PIZARRO, P. R. **Estudo das variáveis do conforto térmico e luminoso em ambientes escolares**. 2005.

RACKES, A. et al. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONFORTO TÉRMICO EM ESCOLAS NATURALMENTE VENTILADAS**. ackes, Adams da Fonseca, Raphaela Walger de Oliveira Beck, Elisa Scalco, Veridiana Atanasio Palladini, Gustavo Daou Lamberts, Roberto. **Anais...Campinas/SP: 2015**Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Veridiana_Scalco/publication/283053916_AVALIAO_DO_POTENCIAL_DE_CONFORTO_TRMICO_EM_ESCOLAS_NATURALMENTE_VENTILADAS/links/5627c02c08ae518e347b2939.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2017

RORIZ, M. **Uma proposta de revisao do zoneamento bioclimático Brasileiro**. São Carlos/SP: 2012.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017b.

ROSSO, T. Racionalização da construção. **São Paulo: FAUUSP**, 1980.

SANTAMOURIS, M. Ventilation Information Adaptive Thermal Comfort and Ventilation. **Ventilation Information Paper**, v. 12, n. June, p. 1–8, 2006.

SHELLER, C. et al. **ANÁLISE DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS PARA A SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES**. Florianópolis/SC: 2015.

SHAVIV, E. Climate and building design - tradition, research and design tools. **Energy and Buildings**, v. 7, n. 1, p. 55–69, 1984.

SILVA, L. B. DA. **Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados e cobrança da Caixa Econômica Federal do Estado de Pernambuco. 2001. 147 f**Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, , 2001.

SILVEIRA, F. M.; LABAKI, L. C. Análise do desempenho térmico para edificações residenciais ventiladas naturalmente através de simulação computacional baseada em abordagem adaptativa. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 14, p. 877–885, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA. **Avaliação nutricional da criança e do adolescente: Manual de orientação**. São Paulo/SP: 2009.

SORGATO, M. J. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. Sombrear ou não sombreador janelas. **Nota técnica**, n. 02, 2011.

SOUZA, F. DOS S. **Premissas Projetuais Para Ambientes da Educação Infantil: Recomendações com base na observação de três UMEIs de Belo Horizonte, MG**. Rio de Janeiro/RJ: UFRJ, 2009.

TAKI, A. H. et al. Assessing thermal comfort in Ghadames, Libya: application of the adaptive model. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 20, n. 4, p. 205–210, 1999.

TELI, D.; JAMES, P. A. B.; JENTSCH, M. F. Thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms. **Building Research and Information**, v. 41, n. 3, p. 301–316, 2013.

UFSC. **Arquivos climáticos INMET 2016**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

VENÂNCIO, R.; PEDRINI, A. Influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética de edificações do campus/UFRN. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 12, 2008.

VIANA, S. S. M. **CONFORTO TÉRMICO NAS ESCOLAS ESTADUAIS DE PRESIDENTE PRUDENTE / SP**. [s.l.] UNESP, 2013.

WARGOCKI, P.; WYON, D. The Effects of Moderately Raised Classroom Temperatures and Classroom Ventilation Rate on the Performance of Schoolwork by Children. **HVAC&R Research**, v. 13, n. 2, p. 193–220, 2007.

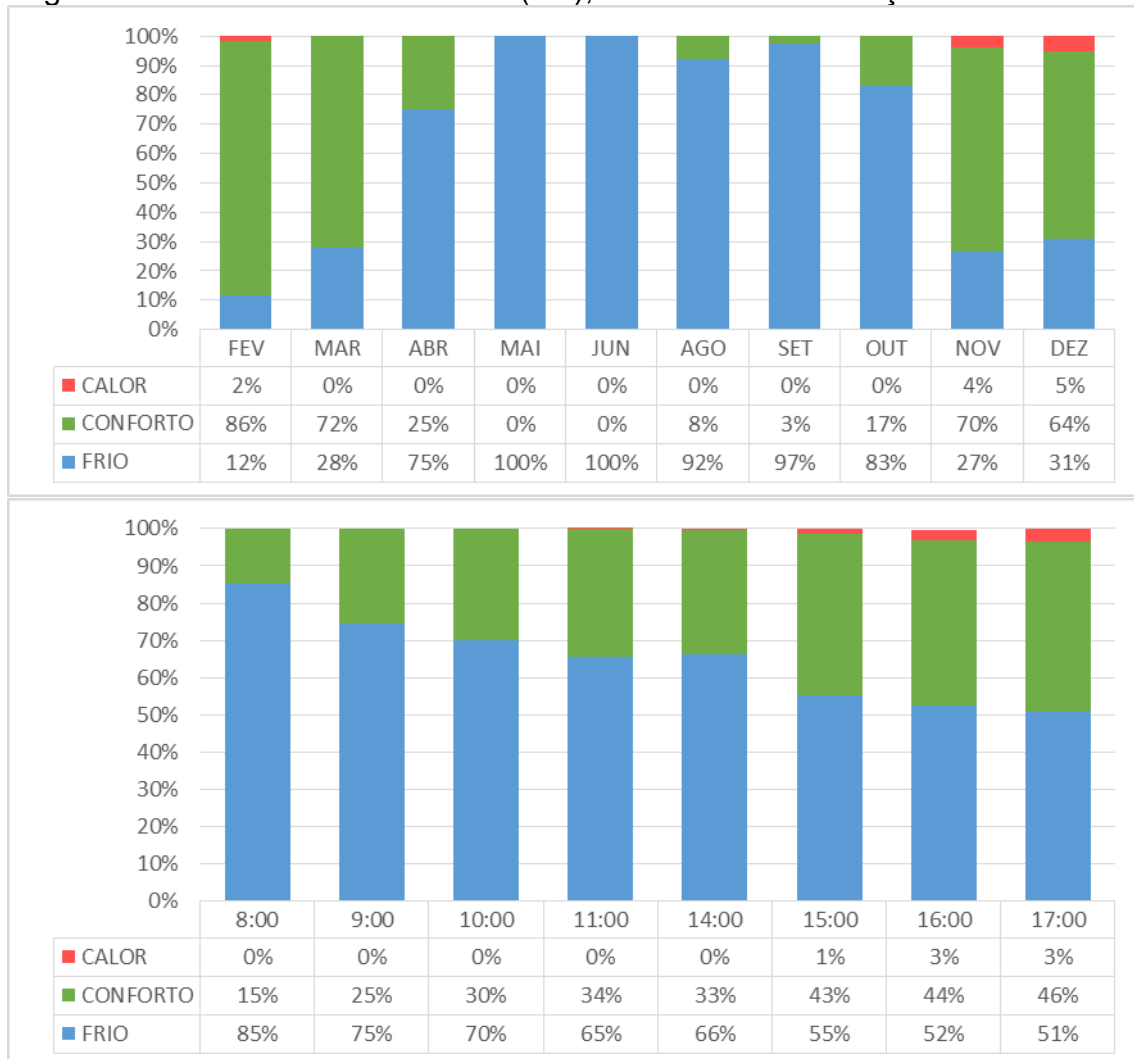
WASSOUF, M. **De la casa pasiva al estándar Passivhaus: la arquitectura pasiva en climas**. [s.l.] Editorial Gustavo Gili, SL, 2014.

WEBER, F. et al. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianopolis/SC: 2017. Disponível em: <<http://labeee.ufsc.br/node/714>>.

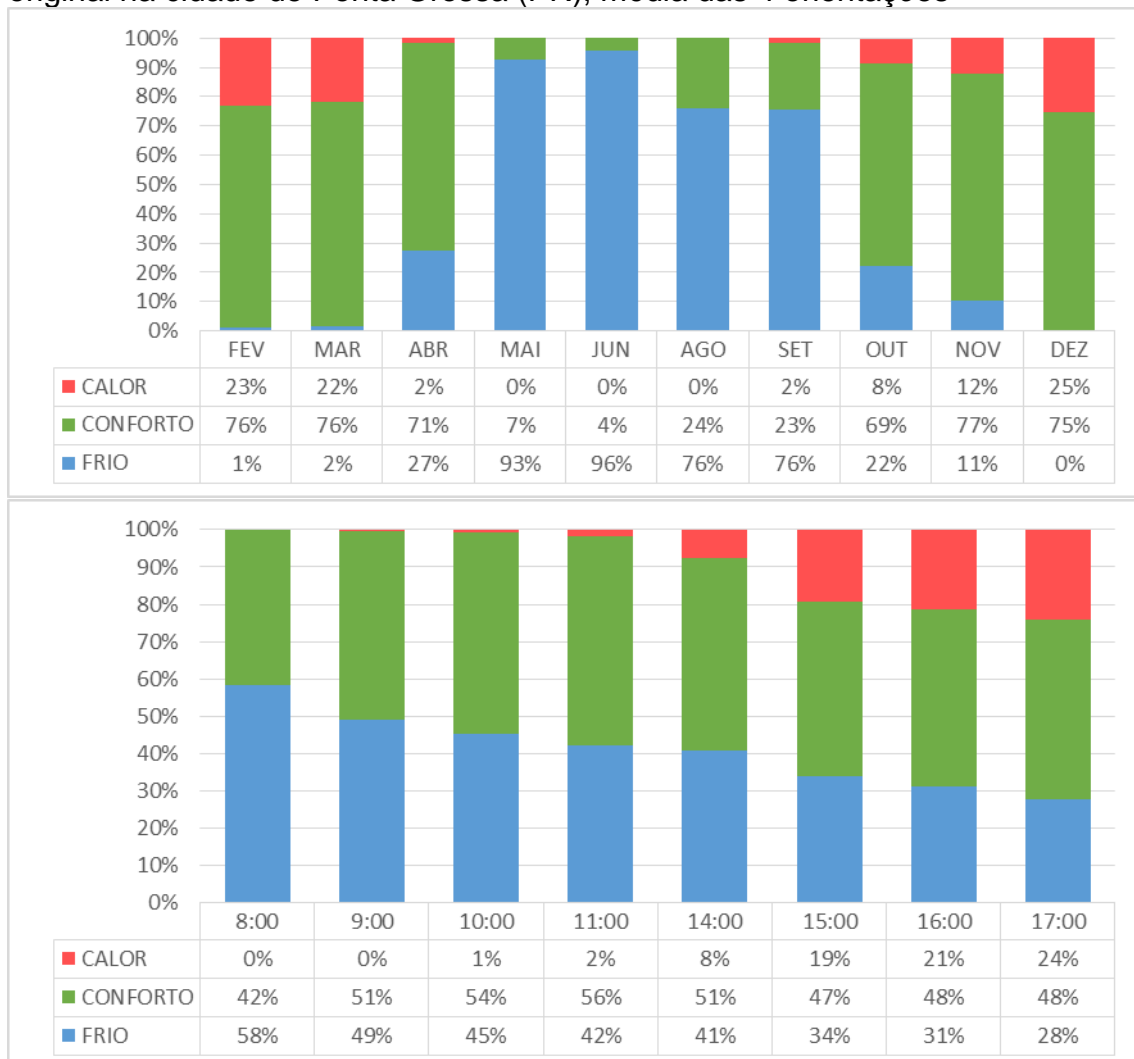
ZHANG, H. et al. Air movement preferences observed in office buildings. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 5, p. 349–360, abr. 2007.

APÊNDICES

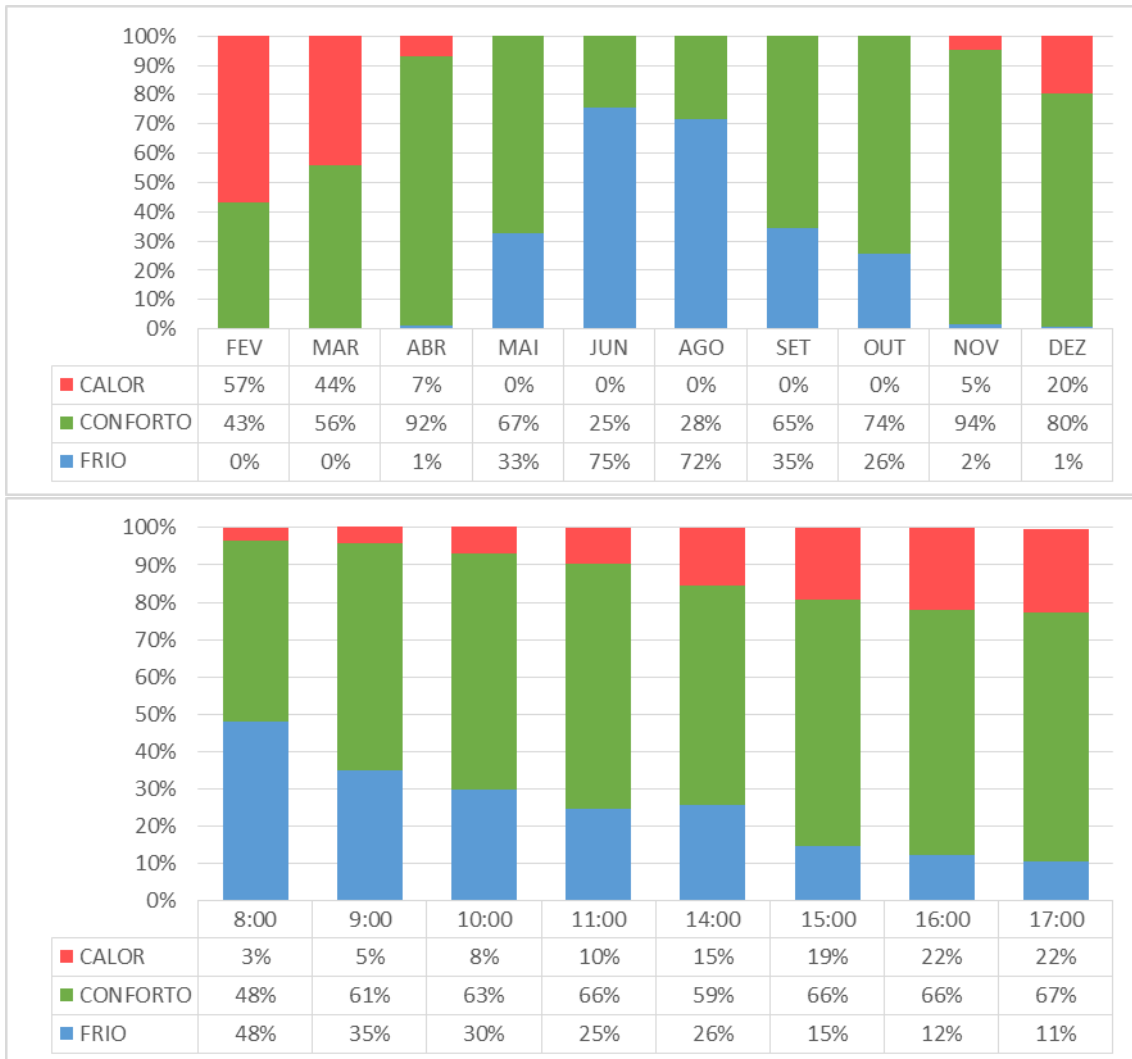
Gráficos mensais e horários das sensações de conforto e desconforto para o projeto original na cidade de Caxias do Sul (RS), média das 4 orientações



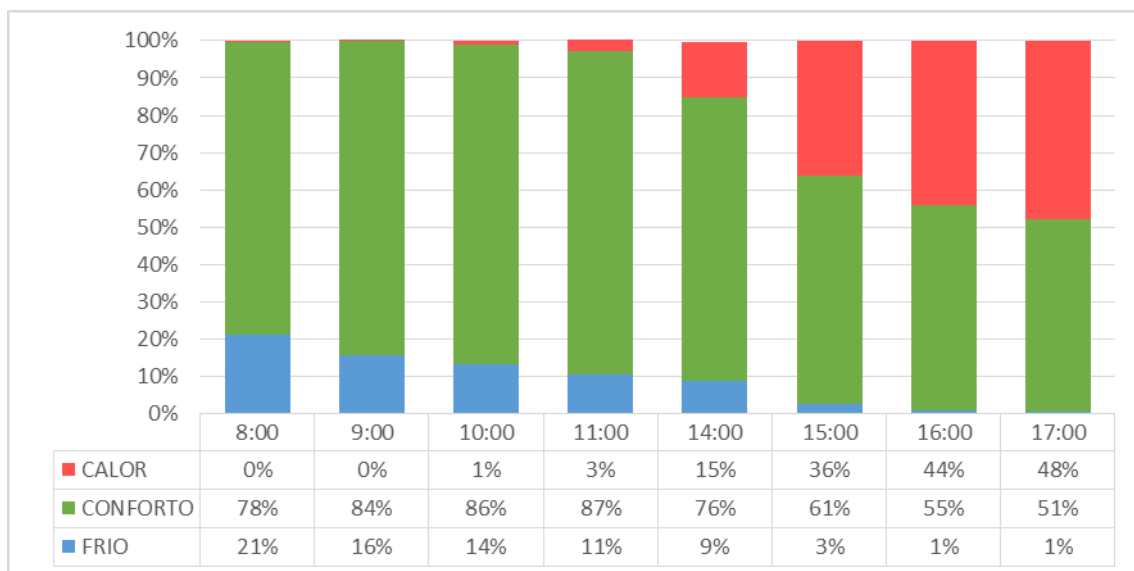
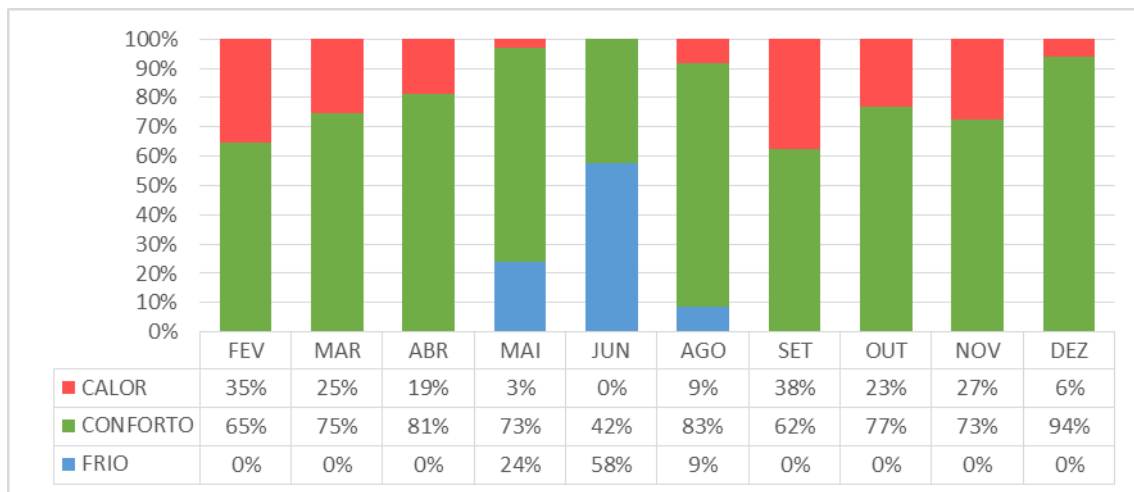
Gráficos mensais e horários das sensações de conforto e desconforto para o projeto original na cidade de Ponta Grossa (PR), média das 4 orientações



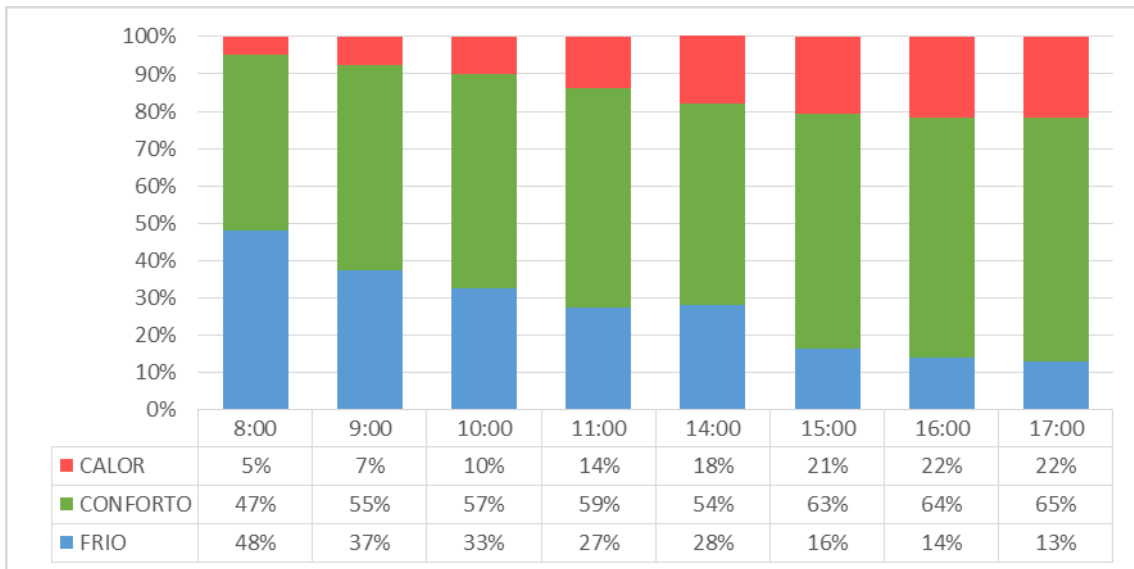
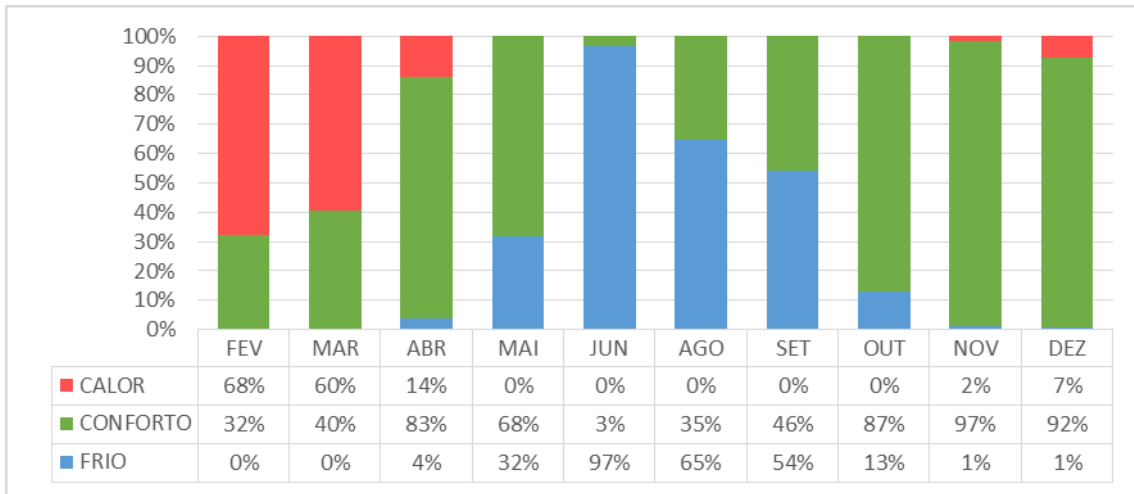
Gráficos mensais e horários das sensações de conforto e desconforto para o projeto original na cidade de Florianópolis (SC), média das 4 orientações



Gráficos mensais e horários das sensações de conforto e desconforto para o projeto original na cidade de Brasília (DF), média das 4 orientações



Gráficos mensais e horários das sensações de conforto e desconforto para o projeto original na cidade de Santos (SP), média das 4 orientações



Gráficos mensais e horários das sensações de conforto e desconforto para o projeto original na cidade de Goiânia (GO), média das 4 orientações

