KARINA GONZAGA KUBO

A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DO *DESIGN DAY*, CONSIDERADAS NA
SIMULAÇÃO COM O *ENERGYPLUS* E DESCONSIDERADAS PELA
NBR15575/2013, NOS RESULTADOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE
EDIFICAÇÕES

SÃO PAULO

2017

KARINA GONZAGA KUBO

A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DO *DESIGN DAY*, CONSIDERADAS NA
SIMULAÇÃO COM O *ENERGYPLUS* E DESCONSIDERADAS PELA
NBR15575/2013, NOS RESULTADOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE
EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Ciências

Área de concentração: Engenharia de Construção
Civil e Urbana

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Brenda Chaves Coelho Leite

SÃO PAULO

2017

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Kubo, Karina Gonzaga

A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DO DESIGN DAY, CONSIDERADAS NA SIMULAÇÃO COM O ENERGYPLUS E DESCONSIDERADAS PELA NBR15575/2013, NOS RESULTADOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES / K. G. Kubo -- versão corr. -- São Paulo, 2017.

97 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Desempenho térmico 2.Simulação computacional 3.EnergyPlus
4.Habitação de interesse social 5.NBR 15575/2013 I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Dr.^a Brenda Chaves Coelho Leite, pela orientação, paciência e conhecimentos científicos compartilhados durante toda a jornada do mestrado.

Ao professor Dr. João Roberto Diego Petreche, pelos seus sábios conhecimentos.

Aos professores Dr. Arlindo Tribess, Dr.^a Anésia Barros Frota, Dr. Jorge Alberto Gil Saraiva, Dr. Marcelo de Andrade Romero e Dr.^a Fabiana Lopes de Oliveira, pelos ensinamentos e valiosos conhecimentos repassados.

Aos professores Dr. José Aquiles Baesso Grimoni e Dr. Osvaldo Shigueru Nakao, pelas magníficas aulas da disciplina Tecnologia no Ensino de Engenharia, pela inspiração que me motiva o desejo de seguir como docente.

À todos envolvidos na experiência do estágio PAE, professores Dr.^a Brenda Chaves Coelho Leite e Dr. João Roberto Diego Petreche, por compartilhar suas experiências e conhecimentos didáticos de aula, aos amigos Gabriel Borges, Lucas Uchida e Rafael Silva.

Ao pessoal do LabCAD, alunos de iniciação científica, colegas do mestrado acadêmico e profissional e professores, pelos momentos descontraídos, risos, amizade e apoio durante o período de pesquisa. Especialmente aos amigos Cibele Alves, Gabriel Borges e Lucas Uchida, pelo carinho, força e incentivo.

Aos familiares, meus primos, meu irmão, pelo incentivo e compreensão, além do apoio e ajuda de todos para realização deste trabalho.

Aos amigos de longa data, Allan Tristão, Carla Stefen, Natália Haluska e Regina Umetsu, pelo incentivo em acreditarem na importância do tema, pelos conselhos nos momentos mais difíceis e pela eterna amizade. À todas as amizades desenvolvidas durante todo este período, em especial às queridas amigas Isabela Libório, Tammys da Conceição e Laura Amaral.

À equipe de funcionários da POLI e da FAU que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

“A ciência nunca resolve um problema
sem criar pelo menos outros dez”
(George Bernard Shaw)

RESUMO

O conceito de desempenho de edificações vem sendo discutido pelo mundo, principalmente, após o período pós-guerra na Europa. No Brasil, as primeiras discussões se iniciaram na década de 1980, quando novas tecnologias construtivas foram introduzidas aos edifícios habitacionais. Na época, os profissionais da área perceberam que se tornava imprescindível avaliar o comportamento esperado dessas edificações durante sua vida útil. Assim, um grupo de estudo liderado pela ABNT se formou para elaborar uma série de normas técnicas relacionadas ao conceito de desempenho de edificações. Após décadas de discussões, publicou-se a norma ABNT NBR 15575/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho, em vigor desde julho de 2013. A publicação da norma de desempenho significou um grande marco para o setor da construção civil, pois, nela são contextualizados conceitos de vida útil, prazo de garantia, manutenibilidade, incumbência de cada agente envolvido, durabilidade e estabelecidos níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Para avaliar o desempenho térmico, a norma propõe dois procedimentos: simplificado e medição *in-loco*. O procedimento simplificado tem aspecto normativo de análise, onde é verificado o atendimento aos requisitos e critérios das propriedades térmicas dos sistemas de vedação e cobertura. No caso de resultados insatisfatórios, a análise segue pelo método da simulação computacional. No entanto, alguns estudos já apontaram discrepâncias e incertezas nos resultados de desempenho térmico relacionados ao método de simulação computacional proposto pela norma, principalmente na configuração do dia típico de projeto. A falta de definições de alguns parâmetros importantes na norma de desempenho, por exemplo, o parâmetro “Dia Típico de Projeto” (*Design Day*), tem causado questionamentos sobre a melhor forma de se aplicar a simulação computacional para determinação do nível de desempenho térmico dos edifícios. Tendo em vista esses questionamentos e a incerteza dos resultados devido à desconsideração de algumas variáveis, o presente trabalho objetiva avaliar a influência das variáveis desconsideradas pela norma de desempenho na configuração do parâmetro *Design Day*, do software *EnergyPlus*, nos resultados de desempenho térmico final da edificação. Para isso utilizou-se como modelo uma edificação multifamiliar de HIS, localizada na Cidade de Sumaré no Estado de São

Paulo. Para o estudo, inicialmente, as variáveis do parâmetro *Design Day* (do *EnergyPlus*) e as equivalentes, constantes da norma de desempenho foram interpretadas. Identificaram-se seis variáveis sem definição clara e sem valores atribuídos pela norma de desempenho que foram consideradas na simulação para verificar a influência das mesmas no resultado do desempenho térmico de edificações. Concluiu-se que as variáveis de *Solar Model Indicator* e *Sky Clearness* foram as variáveis que influenciaram nos resultados de nível de desempenho térmico. Desse modo, a pesquisa verificou que os valores atribuídos a essas variáveis possibilitam que os resultados sejam favoráveis ou não.

Palavras-chaves: Desempenho térmico. Simulação computacional. *EnergyPlus*. Habitação de interesse social. NBR 15575/2013.

ABSTRACT

The concept of building performance has been discussed by the whole world, especially after the postwar period in Europe. In Brazil, the first discussions have begun in the 1980s when new constructive technologies were introduced to residential buildings. At the time, the professionals of this area realized that it became essential to evaluate the expected behavior of these buildings during their useful life. Thus, a study group led by ABNT was formed to elaborate a series of technical norms related to the concept of buildings performance. After decades of discussions, the ABNT NBR 15575:2013 Standard - Residential Buildings – Performance, which was published in July 2013. The publication of the building performance standard meant a great landmark for the civil construction sector, since it includes concepts of useful life, warranty period, maintenance, responsibility of each agent involved, durability and established performance levels: Minimum (M), Intermediate (I) and Superior (S). To evaluate the building thermal performance, the Standard proposes two procedures: simplified and in loco measurement. The simplified procedure is a normative analysis aspect where the requirements fulfillment and the thermal properties criteria of the sealing walls and roofing systems are verified. In the case of unsatisfactory results, the analysis follows by the computational simulation method. However, some studies have already pointed out discrepancies and uncertainties in the thermal performance results related to the computational simulation method proposed by the referred Standard, especially in the typical design day configuration. The lack of some important parameters definitions in the Performance Standard, for example, the "Design Day" parameter has caused questions about the best way to apply the computer simulation to determine the level of buildings thermal performance. Considering these questions and the uncertainty on results due the lack of consideration of some variables, the present work proposes evaluate the influence of variables disregarded by the Performance Standard in the Design Day parameter configuration on the EnergyPlus software in the final results of the building thermal performance. A multi-family housing building, located in Sumare City, State of Sao Paulo, was used as a model. For the study, first, the Design Day parameter variables (of the EnergyPlus) and the equivalents variables included in the Performance Standard were interpreted. It was

identified six variables with no clear definition and no values attributed by the Standard that were considered in the simulation to verify their influence on the buildings thermal performance. It was concluded that Solar Model Indicator and Sky Clearness were the variables that influenced the results of thermal performance level. In this way, the research verified that the assigned values to these variables allow being favorable results or not.

Key-words: Thermal performance. Computer simulation. EnergyPlus. Social Housing. NBR 15575/2013.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Divisão do zoneamento bioclimático brasileiro.	25
Figura 2 - Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico.....	27
Figura 3 - Principais características de programas de simulação computacional.	28
Figura 4 – Fenômenos da inércia térmica.	37
Figura 5 – Estrutura esquemática de módulos do <i>EnergyPlus</i>	40
Figura 6 – Interface do <i>EnergyPlus</i> com outros softwares.	41
Figura 7 - Vista geral do condomínio.....	44
Figura 8 - Planta do pavimento tipo.....	45
Figura 9 - Vista geral da torre.....	46
Figura 10 - <i>Software</i> ZBBR.	49
Figura 11 - Unidades escolhidas para simulação.....	51
Figura 12 - Planta típica de uma unidade habitacional.....	52
Figura 13 – Vista superior da divisão de zonas (perspectiva sem escala).	55
Figura 14 – Vista das venezianas no <i>SketchUp</i> (perspectiva sem escala).	61
Figura 15 – Gráfico representativo do fator multiplicador diário.	65
Figura 16 - Velocidade e direção do vento em São Paulo.	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultados para o dia típico de projeto de verão.	80
Gráfico 2 - Média ponderada das temperaturas das zonas térmicas por cenários de verão.	83
Gráfico 3 - Resultados em gráfico para o dia típico de projeto de inverno.	84
Gráfico 4 - Média ponderada das temperaturas das zonas térmicas por cenários de inverno.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para verão.	30
Tabela 2 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para inverno.....	31
Tabela 3 - Critério de avaliação para a edificação modelo.....	48
Tabela 4 – Propriedades termofísicas de materiais utilizados na simulação.	59
Tabela 5 - Relação das variáveis do <i>Design Day</i> do <i>EnergyPlus</i> e da NBR 15575/2013.	66
Tabela 6 - Combinação de variáveis de acordo com o dia típico de projeto.	74
Tabela 7 - Combinação de cenários para o dia típico de projeto de verão.	77
Tabela 8 – Combinação de cenários para o dia típico de projeto de inverno.....	78
Tabela 9 - Resultados das simulações para o dia típico de projeto de verão.	81
Tabela 10 – Resultados das simulações para o dia típico de projeto de inverno.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers</i>
BLAST	<i>Building Loads Analysis and Thermodynamics</i>
BNH	Banco Nacional da Habitação
BTO	<i>Building Technologies Office</i>
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment, atual International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
CSTB	<i>Centre scientifique et technique du bâtiment</i>
CEF	Caixa Econômica Federal
DOE	<i>Department of Energy</i>
EPW	<i>EnergyPlus Weather Data</i>
Finep	Financiadora de Projetos Especiais
HIS	Habitação de Interesse Social
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

IDF	<i>EnergyPlus Input Data File</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	<i>Internacional Organization for Standardization</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Norma Brasileira
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
Procel Edifica	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>
ZBBR	Zoneamento bioclimático do Brasil

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absortância à radiação solar
C_T	Capacidade térmica de componentes
λ	Condutividade térmica
ε	Emissividade
FS_t	Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos
ft	<i>Feet</i>
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
h	Hora
K	Kelvin
m	Metro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
Pa	Pascal
ρ	Refletância à radiação solar
ren	Renovação do ar
R	Resistência térmica

R_{ar}	Resistencia térmica de câmara de ar
R_{se}	Resistencia térmica de superfície externa
R_{si}	Resistencia térmica de superfície interna
R_T	Resistencia térmica total
s	Segundo
τ	Transmitância à radiação solar
U	Transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor
φ	Umidade relativa do ar
V	Velocidade do vento
W	Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	18
2	OBJETIVOS.....	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
3	REVISÃO DA LITERATURA	23
3.1	NORMATIVOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	23
3.1.1	NBR 15220/2005.....	24
3.1.2	NBR 15575/2013.....	25
3.2	PROPRIEDADES TÉRMICAS DA ENVOLTÓRIA	31
3.2.1	Propriedades termofísicas dos elementos construtivos	32
3.2.2	Inércia térmica	36
3.3	PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	37
3.3.1	Software EnergyPlus.....	38
3.3.2	Third-Party User Interfaces	40
4	MATERIAIS E MÉTODO.....	43
4.1	MATERIAIS.....	43
4.1.1	Descrição do edifício estudo de caso	43
4.1.2	Critérios de avaliação para o edifício estudo de caso	46
4.1.3	Arquivo climático	48
4.2	MÉTODO DA PESQUISA.....	50
4.2.1	Unidades para simulação	50
4.2.2	Processo de modelagem no <i>EnergyPlus</i>	52
4.2.3	Procedimentos metodológicos	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63

5.1	CONSIDERAÇÕES AO PROCESSO DE MODELAGEM GEOMÉTRICA.....	63
5.2	COMPARATIVO DE VARIÁVEIS DO PARÂMETRO <i>DESIGN DAY</i>	64
5.2.1	Relação das variáveis do <i>EnergyPlus</i> e NBR 15575/2013.....	66
5.2.2	Análise das variáveis	68
5.3	COMBINAÇÕES DE VARIÁVEIS DESCONSIDERADAS PELA NBR 15575/2013.....	73
5.3.1	Combinação de cenários	76
5.4	SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS	79
5.4.1	Análise dos resultados dos cenários de dia típico de verão.....	79
5.4.2	Análise dos resultados dos cenários de dia típico de inverno	83
5.5	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DESCONSIDERADAS PELA NBR 15575/2013.....	87
6	CONCLUSÕES	89
6.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
	REFERÊNCIAS.....	91
	ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DE ACABAMENTOS	96
	ANEXO B – IRRADIÂNCIA SOLAR	97

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O conceito de desempenho de edificações vem sendo discutido há décadas por todo o mundo. Ganhou força no período após a segunda guerra mundial, principalmente, nos países da Europa. Nessa época, surge a necessidade de se reconstruir cidades afetadas pela guerra e inicia-se o intercâmbio de informações técnicas, do setor da construção civil, entre os institutos de pesquisas governamentais (CIB, 2015).

Os primeiros registros relacionados a esse conceito surgiram no Reino Unido, ainda em 1909 com o intuito de se investir em pesquisas de prevenção contra incêndio (BRE, 2015). Após o fim da segunda guerra mundial, em 1946, a *International Organization for Standardization* (ISO) foi fundada, em Londres, com o princípio de desenvolver normas internacionais para garantir qualidade, segurança e eficiência em produtos, serviços e sistemas em caráter global (ISO, 2015).

No ano seguinte, surge o *Centre scientifique et technique du bâtiment* (CSTB) na França, com quatro principais linhas de atuação: pesquisa, perícia, avaliação e disseminação. Atualmente, o CSTB possui nove departamentos operacionais voltados ao compartilhamento do desenvolvimento técnico e científico da construção civil para o avanço da qualidade e segurança das construções (CSTB, 2015).

Em 1953, também na França, surge o *Conseil International du Bâtiment*, que, posteriormente, teve seu nome alterado para *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB). Um dos objetivos implícitos foi de auxiliar na reconstrução de infraestruturas urbanas e de cidades da Europa devastadas pela guerra. As trocas de informações em pesquisas e desenvolvimento no setor resultaram em importantes Simpósios e Congressos internacionais sobre desempenho de edificações e foram base para o desenvolvimento de normas internacionais (CIB, 2015).

Posteriormente, a partir da década de 1980, a ISO passou a publicar as primeiras normas relativas ao conceito de desempenho. Entre elas a norma ISO 6241/1984 –

Performance standards in building – Principles for preparation and factors to be considered, se destaca por estabelecer princípios essenciais ao conceito de desempenho de edificações em uma série de categorias de requisitos ou necessidades dos ocupantes.

No Brasil, as primeiras discussões sobre desempenho foram iniciadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), quando surgiu a necessidade de se avaliar o comportamento de novas técnicas construtivas introduzidas nas construções de habitações do Banco Nacional de Habitação (BNH), antecessor da Caixa Econômica Federal (CEF). Na década de 1980, os profissionais da área passaram a perceber que ao mesmo tempo em que surgiam soluções com novas técnicas construtivas, tornava-se imprescindível se avaliar o comportamento esperado dessas edificações durante a sua vida útil (GONÇALVES et al., 2003).

Após décadas, a Caixa Econômica Federal, por meio da Financiadora de Projetos Especiais (FINEP), passou a financiar estudos com o objetivo de desenvolver um conjunto de normas técnicas brasileiras relativas ao conceito de desempenho de edificações (GONÇALVES et al., 2003). Uma Comissão de Estudos foi formada na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para desenvolver esse conjunto de normas com base nas categorias de requisitos dos usuários da edificação estabelecidas pela norma ISO 6241/1984.

Em 2008, essa inovação se concretizou com a publicação da primeira versão da norma de desempenho para edificações habitacionais de até cinco pavimentos. Após alguns anos, a norma foi revisada e está em vigor, desde julho de 2013, a norma ABNT NBR 15575/2013 - Edificações habitacionais – Desempenho (CBIC, 2013). Na norma de desempenho são contextualizados conceitos de vida útil, prazo de garantia, manutenibilidade, incumbência de cada agente envolvido, durabilidade e estabelecidos níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

Conforme ABNT (2013a), a forma de estabelecimento do desempenho é definida por meio de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação os quais permitem a mensuração do seu cumprimento, com objetivo

incentivador ao desenvolvimento tecnológico e de orientar a avaliação da eficiência das novas inovações tecnológicas da construção civil.

Para avaliação do desempenho térmico, a norma ABNT NBR 15575/2013 propõe dois procedimentos: simplificado, com aspecto normativo, e por meio de medições *in-loco*, meramente informativo. O procedimento simplificado da norma possui dois métodos: normativo e de simulação computacional. O método da simulação computacional deve ser aplicado quando o critério de desempenho mínimo da edificação pelo método normativo não é alcançado. Esta indicação da norma tem sido questionada; a exemplo disto, de acordo com os estudos de Marques e Chvatal (2013), as edificações com resultados satisfatórios pelo método normativo não atingiram o nível mínimo de desempenho térmico no método de simulação computacional.

Outro ponto, não menos significativo, é que as definições de alguns parâmetros e variáveis importantes para a correta avaliação do desempenho térmico de edificações não estão incluídas na norma ABNT NBR 15575/2013, o que tem provocado muitas dúvidas sobre qual é a melhor maneira de se aplicar o método da simulação computacional, uma vez que esses parâmetros são considerados pelos *softwares* no processo de simulação.

Em estudo preliminar realizado pela autora, foi feito um levantamento dos parâmetros disponíveis pelo *software EnergyPlus* para a simulação do desempenho térmico. Esses são: *Design Day*, *Ground Temperature*, *Schedule*, *Material/Construction*, *Zone*, *Ground Heat Transfer*; *Internal Gains: People*, *Lights*; *Electric Equipament* e *Gas Equipment*; *Zone Infiltration*, *Zone Ventilation: Design Flow Rate* e *Wind And Stack Open Area*; *Zone Mixing/Cross Mixing* e *Airflow Network*. Desses, apenas os parâmetros *Material/Construction*, *Zone* e *Zone Infiltration* são integralmente considerados pela norma ABNT NBR 15575/2013 e algumas variáveis do parâmetro *Desig Day* também.

Algumas variáveis envolvidas no parâmetro *Design Day* não estão bem definidas ou são desconsideradas pela norma de desempenho. Nos programas de simulação computacional, esse parâmetro permite a configuração do dia típico de projeto. Mas,

a norma de desempenho não define claramente algumas variáveis e ainda ignora outras, o que causa muitas dúvidas, entre profissionais e pesquisadores, sobre quais valores atribuir a essas variáveis. Silva et al. (2014), investigaram a incerteza do método da simulação computacional onde atribuiu valores para tais variáveis desconsideradas; os resultados indicaram que a atribuição aleatória desses valores na configuração do *Design Day* impactou nos resultados de desempenho térmico.

Portanto, fica evidente a importância que tais variáveis do parâmetro *Design Day* sejam claramente definidas, quantificadas e sua influência na classificação final de nível de desempenho térmico seja avaliada. Para que assim a ABNT possa reconsiderar e estabelecer valores claramente definidos para tais variáveis do parâmetro *Design Day*. Fazer esta quantificação e avaliar a influência dessas variáveis no resultado final do nível de desempenho térmico de edificações é a proposta para o presente trabalho de pesquisa de mestrado.

A pesquisa se justifica devido à atualidade do tema e ao crescente interesse sobre desempenho de edificações após a recente publicação da norma ABNT NBR 15575 em 2013. Espera-se que o presente trabalho possa orientar melhor os profissionais que utilizam os programas de simulação computacional e também incentivar a adoção desses *softwares* como ferramenta de tomada de decisão de projeto e de avaliação do desempenho térmico de edificações.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho objetiva avaliar a influência das variáveis desconsideradas pela norma ABNT NBR 15575/2013 e necessárias na configuração do dia típico de projeto pelo método da simulação computacional com o *software EnergyPlus* no desempenho térmico de edifícios de Habitação de Interesse Social (HIS).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A pesquisa tem os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar quais são as variáveis do dia típico de projeto e do parâmetro *Design Day* consideradas pela norma ABNT NBR 15575/2013 e pelo programa de simulação termoenergética *EnergyPlus*;
- b) Avaliar a influência de cada uma dessas variáveis consideradas pelo *software EnergyPlus* as quais não possuem valores indicados pela norma de desempenho;
- c) Sugerir à ABNT a inclusão das variáveis desconsideradas na norma ANBT NBR 15575/2013 caso a influência das mesmas seja significativa na determinação do nível de desempenho térmico.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo estão contextualizados os principais conceitos para avaliar o desempenho térmico de edificações por meio de um programa de simulação computacional.

3.1 NORMATIVOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

As primeiras normas relativas ao desempenho de edificações foram elaboradas pela *International Standardization Organization* (ISO). A primeira norma sobre desempenho, a ISO 6240/1980 – *Performance standards in building – Contents and presentation*, especifica conteúdos básicos a serem incluídos em padrões de desempenho para componentes da construção e para preparação de outros tipos de documentos. Anos depois, publicou-se a norma ISO 6241/1984 – *Performance standards in building – Principles for preparation and factors to be considered*, como um complemento à norma anterior, formalizando quatorze itens de categorias de requisitos dos usuários associados à edificação e seus componentes. As categorias são: estabilidade, segurança contra incêndio, segurança em uso, estanqueidade à água e ao ar, higrotermia, pureza do ar, acústico, visual, tátil, antropodinâmico, higiene, adequação de espaços para usos específicos, durabilidade e economia (custo) (ISO, 2015).

Tais normativos são bases até a atualidade quando o assunto é desempenho de edificações. Apesar da longa data de publicação das normas ISO, os principais normativos brasileiros relativos ao desempenho térmico, utilizados nesta pesquisa, também se basearam no conteúdo e princípios dessas normas.

A seguir são apresentados as duas principais normas de desempenho térmico no Brasil.

3.1.1 NBR 15220/2005

A primeira norma brasileira relativa ao desempenho térmico surgiu em 2005 com a publicação da norma ABNT NBR 15220/2005 – Desempenho térmico de edificações. A norma está dividida em cinco partes, a primeira parte trata-se de definições de símbolos e unidades, a segunda parte define métodos de cálculo das propriedades térmicas dos elementos e componentes de edificação, a terceira parte estabelece zoneamentos bioclimáticos no território brasileiro, como também, aponta diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social e a quarta e quinta parte estabelecem critérios de medições da resistência e condutividade térmica (ABNT, 2005b e 2005c).

Para o presente trabalho de pesquisa, a análise concentra-se, principalmente, na parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Essa parte contém valores de propriedades térmicas que podem ser utilizadas tanto como dados de entrada (*input*) para métodos de cálculo em regime dinâmico com o uso de programas de simulação computacional, como também em métodos de cálculo simplificados, onde os resultados de desempenho térmico são avaliados por meio das trocas térmicas que ocorrem pela envoltória em regime permanente.

A parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas (Figura 1) e estabelece um conjunto de recomendações para cada uma.

Figura 1 - Divisão do zoneamento bioclimático brasileiro.

Fonte: ZBBR, 2014.

As recomendações de diretrizes construtivas são baseadas em estratégias de condicionamento térmico passivo para edificações em fase de projeto. Ressalta-se que a norma ABNT NBR 15220/2005 não avalia o comportamento térmico das edificações, trata apenas de fazer recomendações e indicar estratégias construtivas. Para tais estratégias, a norma ABNT NBR 15220/2005 adotou uma carta bioclimática adaptada a partir da proposta de Givoni (1992), a qual é construída sobre o diagrama psicrométrico para locais de clima quente.

3.1.2 NBR 15575/2013

A publicação da norma ABNT NBR 15575/2013 – Edificações habitacionais - Desempenho, foi uma grande inovação para o desempenho de edificações no Brasil. De acordo com CBIC (2013), a norma segue uma sequência de requisitos dos

usuários da edificação baseados nas quatorze categorias da norma ISO 6241/1984. São contextualizados conceitos de vida útil, prazo de garantia, manutenibilidade, incumbência de cada agente envolvido, durabilidade e estabelecidos níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), sendo o atendimento ao desempenho mínimo obrigatório e os demais níveis facultativos.

A norma está dividida em seis partes: A primeira parte, de requisitos gerais, apresenta os objetivos, premissas e conceitos referentes às outras partes específicas e são definidos índices de referência para parâmetros de desempenho. As demais partes estão divididas em assuntos específicos de sistemas de estrutura, pisos, vedações e esquadrias, cobertura e sistemas hidrossanitários (ABNT, 2013a).

Para avaliação do desempenho térmico da edificação, a norma propõe dois procedimentos: simplificado (normativo) e medição *in-loco* (informativo). De acordo com o procedimento simplificado, deve-se primeiramente atender de forma prescrita aos requisitos e critérios dos materiais de paredes de fachada e das coberturas (as envoltórias), por meio de seus índices de transmitância térmica (W/m^2K) e capacidade térmica (J/m^2K) apresentados na Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas e Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas da norma de desempenho (ABNT, 2013b e 2013c).

No caso de resultados insatisfatórios, não atingindo o nível de desempenho mínimo, deve-se proceder com a avaliação de desempenho térmico por meio de um programa de simulação computacional, conforme critérios e métodos detalhados na primeira parte da norma de desempenho. A Figura 2 apresenta os métodos de avaliação de desempenho térmico, sendo a forma prescritiva como procedimento 1A e o método de simulação computacional (avaliação detalhada) como procedimento 1B; o fluxograma é baseado na determinação da transmitância térmica (U) e na capacidade térmica (C_T) das envoltórias.

Figura 2 - Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico.

Fonte: Adaptado de IPT, 2013.

Método da simulação computacional

Na avaliação do desempenho térmico pelo método da simulação computacional verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios da edificação como um todo. O *software* utilizado deve ser validado pela norma ANSI/ASHRAE 140, sendo capaz de reproduzir os efeitos de inércia térmica. Os programas de simulação computacional utilizados para avaliar o desempenho térmico de edificações consideram as

propriedades dinâmicas dos fenômenos de troca de calor e massa entre o edifício e o ambiente externo. Para que ocorra a simulação, várias informações a respeito dos agentes envolvidos precisam ser fornecidas. A Figura 3 ilustra o fluxograma das principais ações e dos principais dados de entrada que fazem parte de tais *softwares* de simulação termoenergética.

Figura 3 - Principais características de programas de simulação computacional.

Fonte: Adaptado de Akutsu, 1998.

Requisitos de desempenho

De acordo com ABNT (2013a), ao se avaliar o desempenho térmico pelo método da simulação computacional deve-se atender a uma série de requisitos, tais como: as características construtivas devem ser reproduzidas conforme a edificação real; os dias típicos de projeto devem atender à Tabela A.1, A.2 e A.3 do Anexo A da norma ABNT NBR 15575-1/2013 (na falta de dados de dias típicos de projeto onde a edificação se encontra, deve-se utilizar os dados climáticos de uma cidade com clima semelhante e da mesma zona bioclimática); em edifícios multipiso deve ser selecionada uma unidade do último pavimento com cobertura exposta e as unidades adjacentes devem apresentar a mesma condição térmica da unidade simulada; deve-se considerar como padrão, 1 ren/h de taxa de ventilação nos ambientes, inclusive na cobertura. Quantos aos ganhos internos ou cargas internas dos equipamentos eletrônicos, sistema de iluminação e atividade metabólica dos ocupantes não são mencionados na norma de desempenho.

Critérios de desempenho

Os critérios para os níveis de desempenho térmico encontram-se nas Tabelas E.1 e E.2 no Anexo E da norma ABNT NBR 15575-1/2013 (ABNT, 2013a), transcritas nas Tabela 1 para o dia típico de projeto de verão e na Tabela 2 para o dia típico de projeto de inverno.

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para verão.

Nível de desempenho	Zona bioclimática 1 a 7	Zona bioclimática 8
Mínimo	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$
Intermediário	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx}-2)$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx}-1)$
Superior	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx}-4)$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx}-2)$

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013.

Onde:

$T_{i,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar interno (°C);

$T_{e,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar externo (°C);

$T_{i,mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar interno (°C);

$T_{e,mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar externo (°C).

A temperatura do ar interno, sempre, deve ser igual ou menor em relação à temperatura máxima diária do ar externo para condições de verão.

Já para condições de inverno, a temperatura do ar interno deve se manter igual à temperatura mínima diária do ar externo mais 3 graus Celsius ou mais.

Tabela 2 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para inverno.

Nível de desempenho	Zona bioclimática 1 a 5	Zona bioclimática 6 a 8
Mínimo	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín}+3)$	Não há critérios de verificação
Intermediário	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín}+5)$	
Superior	$T_{i,mín} \leq (T_{e,mín}+7)$	

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013.

Onde:

$T_{i,mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar interno (°C);

$T_{e,mín}$ é o valor mínimo diário a temperatura do ar externo (°C).

3.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DA ENVOLTÓRIA

O comportamento térmico de uma edificação se comporta em função de parâmetros e características térmicas. Segundo Akutsu (1998), ao avaliar o desempenho térmico de edificações em condições de inverno, os métodos de cálculo podem ser simplificados, pois as trocas térmicas que ocorrem pela envoltória do edifício em regime permanente apresentam bons resultados. Em contraponto, esses métodos não são tão efetivos para condições de verão, devido às características dinâmicas de exposição ao clima, no caso do Brasil. O desempenho térmico de edificações não depende somente das características de clima, como também das dimensões dos ambientes, orientação das fachadas e das propriedades térmicas dos materiais da envoltória.

A seguir são apresentadas as definições das principais propriedades térmicas dos elementos construtivos utilizados, tanto em métodos de cálculo de regime permanente, quanto em *softwares* de simulação computacional.

3.2.1 Propriedades termofísicas dos elementos construtivos

A envoltória, entendida como os planos de fachada e cobertura em contato com o ar externo, ou os elementos construtivos opacos e/ou translúcidos, possuem desempenhos diferentes em função da radiação solar incidente. A radiação solar atinge a envoltória e, de um modo geral, parte do calor é absorvida pelo elemento construtivo e parte é refletida. A parte absorvida, por meio da convecção, condução e radiação é transmitida para o ambiente interno.

Absortância, refletância, transmitância e emissividade

O desempenho da envoltória depende de valores da absortância à radiação solar (α), refletância à radiação solar (ρ) e da transmitância à radiação solar (τ) do material, onde a soma das três variáveis corresponde a 1. Um material de cor escura possui alta absortância e baixa refletância, ou seja, absorve mais e reflete menos radiação solar em relação a um material de cor clara.

Já a emissividade (ε), é a potência relativa de um material para emitir energia por radiação. Essa propriedade pertence à camada superficial do material emissor e pode ser definido em dois grupos: os materiais metálicos com baixas emissividades e os não metálicos com altas emissividades.

A absortância à radiação solar (α) e a emissividade (ε) possuem valores semelhantes. O que difere é o comprimento de onda da radiação solar incidente; absortância à radiação solar (α) possui onda curta e a emissividade (ε) onda longa. Esses valores de variáveis estão disponíveis na norma ABNT NBR 15220-2/2005 conforme cada característica de materiais e cores (ABNT, 2005b). Além disso, Dornelles (2008) propôs métodos de determinação de valores da absortância à radiação solar (α) de superfícies opacas, que podem ser utilizados por projetistas, pesquisadores e especialistas da área.

Condutividade térmica

A condutividade térmica (λ) representa a capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor e é expressa em W/(mK). Segundo a definição de ABNT (2005a), trata-se da propriedade física de um material em que se verifica um fluxo de calor constante.

Resistência térmica

A resistência térmica (R) estabelece a resistência de elementos e componentes à passagem de calor. Quanto maior a espessura do elemento construtivo, maior será a resistência térmica. A resistência térmica (R) de uma camada homogênea de material sólido é determinada pela eq. (1):

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

R é a resistência térmica do material (m²K/W);

e é a espessura do material (m);

λ é a condutividade térmica do material (W/mK).

A resistência térmica total (R_T) de um componente heterogêneo, com materiais distintos, é calculada pelo somatório das resistências de cada camada de material, inclusive da resistência térmica de câmara de ar (R_{ar}), onde as trocas térmicas ocorrem por convecção e radiação. Para calcular a resistência térmica total (R_T), soma-se o conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento construtivo, incluindo as resistências de superfície interna (R_{si}) e externa (R_{se}). Valores de resistências do ar, superfície interna e superfície externa variam conforme a direção do fluxo de calor e tais valores podem ser obtidos na norma ABNT NBR 15220-2/2005 (ABNT, 2005b).

Transmitância térmica

O inverso da resistência térmica total (R_T) se denomina transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor (U), calculado pela eq. (2).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2)$$

Onde:

U é a transmitância térmica (W/m^2K);

R_T é a resistência térmica total (m^2K/W).

Essa variável é umas das mais importantes para se avaliar o desempenho térmico de elementos opacos, pois quanto menor a transmitância térmica, maior o isolamento térmico que o componente oferece.

Capacidade térmica

A propriedade térmica de materiais que indica maior ou menor capacidade em reter calor é a capacidade térmica de componentes (C_T). A obtenção do valor dessa variável pode avaliar o quanto o componente é capaz de contribuir para a inércia térmica de um ambiente. Uma grande capacidade térmica necessita de uma grande quantidade de calor para variar de um grau de temperatura e é calculada através da eq. (3).

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (3)$$

Onde:

C_T é a capacidade térmica de componentes (J/m²K);

e_i é a espessura da camada i (m);

c_i é o calor específico do material da camada i (J/kgK);

ρ_i é a densidade de massa aparente do material da camada i (kg/m³);

λ_i é a condutividade térmica do material da camada i (W/mK);

R_i é a resistência térmica da camada i (m²K/W).

Outros valores de variáveis da eq. (3) podem ser obtidos na norma ABNT NBR 15220-2/2005, como também através da ficha técnica do material, geralmente, disponível pelo próprio fabricante ou distribuidor.

Fator solar

O fator solar de elementos transparentes ou translúcidos (FS_t) pode ser definido como a fração de radiação solar diretamente transmitida através do componente, mais a parcela absorvida e retransmitida para o interior do espaço (ABNT, 2005a). Tal valor varia de acordo com o ângulo de incidência da radiação solar e com as características do material utilizado. O fator solar tem grande importância para cálculos de ganhos de calor ao avaliar o desempenho térmico de edificações e é dado pela eq. (4).

$$FS_t = (U \cdot \alpha \cdot R_{se}) + \tau \quad (4)$$

Onde:

FS_t é o fator solar de elementos transparentes ou translúcidos;

U é a transmitância térmica do componente (W/m^2K);

α é a absorptância à radiação solar;

R_{se} é a resistência superficial externa (m^2K/W);

τ é a transmitância à radiação solar.

3.2.2 Inércia térmica

A inércia térmica se compõe de dois fenômenos: o amortecimento e o atraso ou retardo térmico, e também depende das características físicas e térmicas da envoltória. Trata-se da capacidade de um elemento construtivo de armazenar calor e liberá-lo (FROTA; SCHIFFER, 2001). A Figura 4 apresenta a relação dos fenômenos da inércia térmica.

Figura 4 – Fenômenos da inércia térmica.

Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

A inércia térmica representa o comportamento de um componente armazenar o calor absorvido pela envoltória durante o dia e dissipá-lo ao ambiente interno à noite. Essa característica pode ser útil em locais predominantemente secos onde os dias são quentes e as noites frias, onde há grande amplitude diária de temperatura, por exemplo, em climas desérticos. A relação entre calor absorvido e calor armazenado depende diretamente da capacidade térmica (C_T) dos materiais que compõem as paredes e coberturas da edificação. Quanto mais isolante o material e mais espesso o elemento construtivo, mais alta a inércia térmica da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

3.3 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O uso de ferramentas computacionais para fins da simulação do desempenho de edificações teve início na década de 1970. Nessa época, o mundo passou pela crise do petróleo e países da Europa e os Estados Unidos, os mais afetados e os principais dependentes do petróleo para suprimento de energia elétrica, passaram a incentivar e promover ações e programas que visam à eficiência energética, tanto nas edificações quanto nos equipamentos elétricos e veículos (MENDES et al., 2005).

Após a crise, em 1973, foram impulsionadas pesquisas para melhoria da eficiência energética em construções. Nos Estados Unidos, em 1977, criou-se o *Department of Energy* (DOE), órgão governamental, que teve como uma das premissas reorganizar e desenvolver estratégias de eficiência energética. O DOE passou a coordenar políticas e programas de conservação de energia, assim, estabelecendo um plano nacional de energia (DOE, 2015i). Atualmente, o departamento gerencia e coordena diversos programas, agências, laboratórios e centros tecnológicos que visam pesquisa e desenvolvimento relativos à energia.

Os programas de simulação computacional surgiram a partir dessa iniciativa e desde então são realizadas constantes atualizações e modernizações que envolvem parcerias e colaborações de diversas esferas do DOE, universidades e da retroalimentação dos próprios profissionais usuários desses *softwares* de simulação computacional.

3.3.1 Software EnergyPlus

Entre os programas de simulação termoenergética de edificações está o *EnergyPlus*, atualmente na versão 8.6 (Dezembro de 2016). Esse *software* tem origem nos programas BLAST (*Building Loads Analysis and Thermodynamics*) e DOE-2 desenvolvido pelo *Department of Energy*. Lançado no fim da década de 1970 e início dos anos 1980, seu principal público alvo são engenheiros e arquitetos que desenvolvem estudos de *retrofit* (reforma), desempenho térmico, sistema de condicionamento de ar, dentre outros sistemas de edificações (DOE, 2015h, 2015e).

O programa foi desenvolvido pelo *Building Technologies Office* (BTO), agência vinculada ao DOE; em parceria com o NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), seu gerenciador; outros laboratórios do DOE, instituições acadêmicas e empresas privadas.

O *EnergyPlus* é um *software* de código aberto, livre de licença e de multiplataforma, pois seu desenvolvimento é financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Sua estrutura de programação é baseada em arquivos de texto. Dessa

forma, torna-se um programa flexível e possibilitando abrangência de diversas interfaces gráficas com outros *softwares* (DOE, 2015a).

Baseado em uma metodologia de cálculos em regime dinâmico, o *software* permite a aproximação de resultados a uma situação real na avaliação do comportamento termoenergético do edifício. Além disso, o programa tem a possibilidade de condicionar, com qualidade, um elevado número de parâmetros para garantir um bom resultado da simulação, é capaz de simular variações horárias de ocupação, cargas internas e modela efeitos de inércia térmica (SORGATO et al, 2012).

O *EnergyPlus* possui um gerenciador de simulação que comanda a integração de soluções entre os módulos de balanço térmico e massa (*Surface Heat Balance Manager / Air Heat Balance Manager*) e o módulo de simulação dos sistemas do edifício (*Building Systems Simulation Manager*). O *software* possui uma coleção de módulos de programa que realizam juntos cálculos de cargas necessárias para aquecimento e arrefecimento, consumo de energia de equipamentos, como também outros com mais detalhes para verificar a eficiência energética de um edifício real (DOE, 2015a, 2015e). A Figura 5 representa uma visão geral da integração entre os módulos.

Figura 5 – Estrutura esquemática de módulos do *EnergyPlus*.

Fonte: <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/>, 2015.

3.3.2 Third-Party User Interfaces

Por se tratar de um *software* de código aberto, o *EnergyPlus* permite que as *Third-Party User Interfaces*, isto é, outros *softwares* de simulação computacional, possam interagir em seu sistema. Espera-se que desenvolvedores e programadores de *softwares* possam avaliar e revisar a programação do *EnergyPlus*, a fim de retroalimentar e melhorar sua precisão e também a usabilidade em longo prazo (DOE, 2015e). Na Figura 6 observa-se o diagrama de atuação do *EnergyPlus* e como as *Third-Party* podem interagir.

Figura 6 – Interface do *EnergyPlus* com outros softwares.

Fonte: <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/>, 2015.

O dado de descrição do edifício (em formato de texto) é inserido no *EnergyPlus*. Em seguida, através do gerenciador de simulação, o *software* comanda a integração de soluções entre os módulos de balanço de calor e massa e o módulo de simulação dos sistemas do edifício. Nesse momento, os pré-processadores ou programas auxiliares (programas extras para o *EnergyPlus*) também podem ser configurados para essa interação. Por exemplo, o *Ground Heat Transfer*, processador para cálculo da temperatura do solo; o *Airflow Network*, simula fluxos de ar impulsionados pelo vento; dentre outros. Por fim, o *software* calcula resultados podendo ser inseridos novamente na interface da *Third-Party*. As principais interfaces gráficas de *Third-Party* disponíveis para o *EnergyPlus* são: *DesignBuilder*, *EFEN*, *AECOSim*, *Energy Simulator*, *Hevacomp Simulator V8i*, *N++*, *gEnergy*, *Simergy*, *BEopt*, *Sefaira*, *Archsim*, dentre outros (DOE, 2015a).

Entre outras interfaces, o NREL, laboratório vinculado ao *Department of Energy*, desenvolveu o *software OpenStudio*. Essa *Third-Party*, assim como o *EnergyPlus*, é um programa de código aberto e livre de licença para uso. O *OpenStudio* também tem incentivo por parte do DOE para seu desenvolvimento, extensão e à adoção do

setor privado. A interface gráfica do programa permite realizar simulações termoenergéticas de forma mais simples em relação ao *EnergyPlus* incluindo a modelagem de cargas térmicas, sistema HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*), configuração de *schedules* (programações) e da envoltória. O *OpenStudio* ainda, possui outra interface gráfica, por meio de um *plug-in*, com o *software* de modelagem 3D *SketchUp*, tanto para a versão *Pro* (paga) quanto na versão *Make* (gratuita). A utilização do *plug-in* do *OpenStudio* no *SketchUp* se torna uma ferramenta flexível para apoiar a modelagem da geometria da edificação, além de serem *softwares* com versões totalmente gratuitas. O arquivo com a modelagem geométrica elaborado pelo *plug-in* pode ser importado diretamente no *OpenStudio* ou exportado em outras extensão inclusive a do *EnergyPlus* (DOE, 2015a e 2015g).

O *Legacy OpenStudio Plug-in*, também desenvolvido pelo NREL, possui o mesmo incentivo do governo dos Estados Unidos e é livre de licença para utilização. Por meio de um *plug-in* direto para o *SketchUp*, é capaz de criar a geometria de uma edificação e permite a simulação e visualização dos resultados no próprio *SketchUp*. Essa é a versão *legacy* (sucessão) do *OpenStudio*, ainda disponível para *download* (DOE, 2015a e 2015g).

4 MATERIAIS E MÉTODO

Alguns pesquisadores, como Marques e Chvatal (2013) e Silva et al. (2014), já publicaram estudos manifestando incertezas e divergências ao avaliar o desempenho térmico pelo método da norma ABNT NBR 15575/2013. Segundo Sorgato (2009), em sua pesquisa concluiu que além do complexo entendimento das ferramentas dos programas computacionais, o necessário conhecimento multidisciplinar das variáveis que envolvem no processo da simulação termoenergética dificulta a utilização de *softwares* que avaliam o desempenho térmico de edificações.

A partir de tais problemáticas, lembrando que o presente trabalho de pesquisa tem como principal objetivo avaliar a influência das variáveis do parâmetro *Design Day* do *EnergyPlus* no desempenho térmico, para seguir com esta investigação, utilizou-se como modelo uma edificação multifamiliar de HIS.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Descrição do edifício estudo de caso

Para o estudo proposto, utilizou-se como modelo uma edificação de cinco pavimentos, inserida em um conjunto residencial de 28 torres (Figura 7). O condomínio está localizado na Cidade de Sumaré, no Estado de São Paulo. A escolha desta edificação para o estudo de caso se justifica, principalmente, pelo envolvimento profissional da autora nas fases de projeto e obra do condomínio.

Figura 7 - Vista geral do condomínio.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

O modelo trata-se de um edifício multifamiliar de Interesse Social na configuração de térreo mais quatro pavimentos tipo na qual o último pavimento tem cobertura exposta ao sol. Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais compostos por: dois dormitórios, banheiro, sala, cozinha e área de serviço com, aproximadamente, 40 m² de área útil (Figura 8).

Figura 8 - Planta do pavimento tipo.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

A edificação modelo segue o sistema construtivo da alvenaria estrutural com revestimento externo em bicamada¹, na cor duna no térreo e areia nos pavimentos tipo. As paredes internas secas são revestidas em gesso liso e as paredes molhadas têm acabamento cerâmico, laje de concreto com textura acrílica no teto e acabamento cerâmico no piso. A cobertura possui platibanda e telha de fibrocimento. Somente as janelas dos dormitórios possuem folhas de venezianas em ferro com pintura cor branco, conforme pode ser visualizado na Figura 9.

---

¹ Trata-se de um sistema para fachadas com aplicação de duas camadas consecutivas de argamassas. A primeira de emboço e a segunda de revestimento decorativo texturizado, geralmente à base de materiais acrílicos ou minerais.

Figura 9 - Vista geral da torre.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Os valores das propriedades térmicas dos materiais construtivos, tais como: condutividade térmica (λ), densidade de massa aparente (ρ), calor específico (c), absorvância solar à radiação (α), emissividade (ε) e outros necessários para a modelagem no *EnergyPlus* foram obtidos a partir da norma ABNT NBR 15220-2/2005, de referências científicas de Dornelles (2008) e Frota e Schiffer (2001).

A espessura de camadas dos materiais e a composição para formação do elemento construtivo seguiu a indicação do memorial e planilha de acabamentos do projeto, além da indicação no projeto executivo. O Anexo A apresenta essas especificações resumindo os principais itens utilizados para a simulação.²

4.1.2 Critérios de avaliação para o edifício estudo de caso

Para avaliar o desempenho térmico, foram adotados os critérios estabelecidos nas Tabelas E.1 e E.2 do Anexo E da norma ABNT NBR 15575-1/2013. Já nas Tabelas

---

² Dados obtidos através de documentos da construtora responsável pela obra.

A.2 e A.3 do Anexo A da primeira parte da norma estão apresentados os dados de dias típicos de 26 capitais brasileiras. Nesta pesquisa, utilizaram-se os dados de uma cidade mais próxima à Cidade de Sumaré com características climáticas semelhantes descritas entre essas 26 cidades. Neste caso, escolheu-se a Cidade de São Paulo, zona bioclimática 3.

Na avaliação do dia típico de projeto de verão, o valor máximo da temperatura diária do ar no interior da edificação deve ser sempre igual ou inferior à temperatura máxima diária do ar externo para atingir o desempenho mínimo. O valor da temperatura externa do ar está estabelecido na Tabela A.2 do Anexo A da parte 1 da norma de desempenho. Quando a temperatura máxima diária do ar interno for igual ou inferior à temperatura máxima diária do ar externo menos 2 graus Celsius, o nível de desempenho térmico intermediário será alcançado. Já o nível de desempenho térmico superior pode ser atingido quando a temperatura máxima diária do ar interno for igual ou inferior à temperatura máxima diária do ar externo menos 4 graus Celsius.

Para condições de inverno, no desempenho mínimo, a temperatura mínima diária do ar interno deve ser sempre 3 graus Celsius superiores à temperatura mínima diária do ar externo. Essa temperatura externa está indicada na Tabela A.3 do Anexo A da primeira parte da norma de desempenho. Para o desempenho intermediário, a temperatura mínima diária do ar interno deve ser igual ou superior à temperatura mínima diária do ar externo mais 5 graus Celsius e igual ou superior à temperatura mínima diária do ar externo mais 7 graus Celsius para atingir o nível de desempenho térmico superior.

De acordo com ABNT (2013a), em São Paulo (cidade escolhida entre as 26 cidades do Anexo A da norma de desempenho) a temperatura máxima diária do ar externo para o dia típico de projeto de verão é de 31,9 graus Celsius e para o dia típico de projeto de inverno a temperatura mínima diária do ar externo é de 6,2 graus Celsius. Na Tabela 3, os critérios de desempenho estão compilados para o presente estudo com valores referência da Cidade de São Paulo.

Tabela 3 - Critério de avaliação para a edificação modelo.

Nível de desempenho térmico	Temperatura do ar interno (°C)	
	Verão	Inverno
Mínimo	$\leq 31,9$	$\geq 9,2$
Intermediário	$\leq 29,9$	$\geq 11,2$
Superior	$\leq 27,9$	$\geq 13,2$

Fonte: Adaptado de ANBT, 2013.

4.1.3 Arquivo climático

Para simular a edificação em estudo utilizou-se o arquivo climático EPW (*EnergyPlus Weather Data*) disponível em *Climate OneBuilding Org* (2016) em parceria com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), instituição vinculada à Universidade Federal de Santa Catarina. A organização disponibiliza dados meteorológicos gratuitos para simulação do desempenho de edificações. As variáveis meteorológicas utilizadas nesse arquivo foram extraídas a partir dos registros das 411 estações climatológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), no período entre 2000 e 2010. De acordo com Roriz (2012), as variáveis meteorológicas registradas pelo INMET são: temperatura do ar e do ponto de orvalho, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, pluviosidade e irradiância global. Outras 27 variáveis necessárias para elaborar se o arquivo climático EPW foram estimadas por cálculo ou pelo *Weather Converter Program*, um dos programas auxiliares do *EnergyPlus*.

O edifício modelo está localizado na Cidade de Sumaré, Estado de São Paulo. De acordo com o *software* ZBBR 1.1 (Zoneamento bioclimático do Brasil), desenvolvido por Roriz (2004), a cidade se enquadra na zona bioclimática 3 (Figura 10).

Figura 10 - Software ZBBR.

Fonte: ZBBR, 2016.

O *software* possui um banco de dados climáticos das 330 principais cidades brasileiras medidas e outras 5231 cidades com clima estimado por interpolação (RORIZ, 2004). As recomendações para a zona bioclimática encontrada na Figura 10 são as mesmas diretrizes indicadas pela norma ABNT NBR 15220-3/2005.

Para o arquivo climático, utilizou-se o formato EPW de uma cidade na zona bioclimática 3 com as mesmas características térmicas. Neste caso escolheu-se a Cidade de Campinas por ser o município com arquivo climático mais próximo ao da Cidade de Sumaré, localizado na mesma zona bioclimática e com características climáticas semelhantes, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 15575/2013.

O arquivo EPW está disponível no diretório de *Climate OneBuilding Org* (2016) baseado nas medições das estações meteorológicas do INMET. Esse arquivo possui como método de tratamento de dados o TMY (*Typical Meteorological Year*).

Segundo Habte et al. (2014), o método TMY foi inicialmente desenvolvido pelo *Sandia National Laboratories*, laboratório subsidiado pelo *Department of Energy* dos Estados Unidos, para análise energética de edificações utilizando recursos da simulação computacional. A seleção do TMY consiste em analisar estatisticamente e elencar um mês típico meteorológico para cada um dos 12 meses do ano, assim, formando uma sequência de meses de diferentes anos. Dez variáveis meteorológicas são utilizadas para determinar o mês do ano típico meteorológico, que por fim considera valores médios e medianos de cada mês analisado.

Ainda, de acordo com DOE (2015b), os dados climáticos tratados pelo método TMY não representam condições extremas, sendo assim, não recomendado para analisar períodos específicos de um ano real ou simular para obter resultados com piores condições climáticas.

4.2 MÉTODO DA PESQUISA

4.2.1 Unidades para simulação

O primeiro passo da pesquisa iniciou-se com a escolha das unidades para simulação. De acordo com ABNT (2013a), deve-se escolher a unidade habitacional da edificação com condições mais críticas do ponto de vista térmico para inverno e verão. Para o edifício em estudo, foram selecionadas duas unidades do último pavimento e com parede e/ou abertura exposta para o sul e leste, para a condição de inverno; e parede e/ou abertura exposta para norte e oeste, para a condição de verão.

Portanto, as unidades escolhidas foram unidade 2, na cor laranja, com aberturas para o oeste e fachadas expostas ao norte e oeste para a condição de verão; e unidade 4, destacado em cor azul, para a condição de inverno, com aberturas para o leste e fachadas expostas ao sul e leste (Figura 11).

Figura 11 - Unidades escolhidas para simulação.

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Os espaços de cozinha e a área de serviços são unificados compondo um único ambiente. Para este trabalho, quando o ambiente cozinha for mencionado será considerado também, o espaço que compõe a área de serviço. Observa-se que nesta tipologia em estudo, os ambientes de sala (longa permanência) e cozinha não possuem uma divisória física que veda o espaço por completo, conforme pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 - Planta típica de uma unidade habitacional.

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

4.2.2 Processo de modelagem no *EnergyPlus*

Após a escolha das unidades, todos os parâmetros disponíveis pelo *software* foram revisados e estudados, assim, iniciou-se o processo de modelagem geométrica. Conforme os requisitos estabelecidos no capítulo 11 da norma de desempenho (ABNT,2013). Cada ambiente compõe uma zona térmica, as unidades adjacentes não trocam calor entre si e a cobertura deve ser modelada como uma zona térmica. Nesta fase, utilizou-se a ferramenta de *plug-in* do *software OpenStudio* na interface do *SketchUp* para modelar a geometria da unidade, definindo zonas térmicas para cada ambiente e atribuindo as propriedades térmicas dos materiais.

Em seguida, os parâmetros que são possíveis de serem configurados para avaliação do desempenho térmico foram revisados para elaborar uma modelagem mais próxima ao estabelecido pela norma de desempenho. O *EnergyPlus* permite diversas maneiras de configurar seus parâmetros e variáveis, de acordo com o

principal objetivo de análise. Desse modo, torna-se importante garantir que a modelagem no *software* seja o mais próximo das exigências estabelecidas na norma de desempenho.

Dentre todos os parâmetros do *software*, chegou-se em alguns que são possíveis de serem configurados na avaliação do desempenho térmico de edificações, exceto na avaliação de ambientes condicionados. Esses são: *Design Day*, *Ground Temperature*, *Schedule*, *Material/Construction*, *Zone*, *Ground Heat Transfer*; *Internal Gains: People, Lights; Electric Equipament e Gas Equipment*; *Zone Infiltration*, *Zone Ventilation: Design Flow Rate e Wind And Stack Open Area*; *Zone Mixing/Cross Mixing e Airflow Network*. Apenas os parâmetros *Material/Construction* (materiais e componentes construtivos), *Zone* (zona térmica) e *Zone Infiltration* (infiltração) são considerados pela norma ABNT NBR 15575/2013 e algumas variáveis do parâmetro *Desig Day* que permite a configuração do dia típico de projeto. Outros parâmetros como a temperatura do solo, os ganhos internos e a ventilação natural são totalmente desconsiderados pela norma de desempenho. Esses parâmetros desconsiderados não deixam de serem importantes, a exemplo disso, são ponderados na avaliação da etiquetagem de edificações no método da simulação computacional do Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (Procel Edifica).

Com base nessa revisão inicial dos parâmetros, foi proposto um processo racional de modelagem geométrica. Esse processo foi estudado em função da tipologia da edificação modelo para estabelecer uma modelagem geométrica mais próxima ao que a norma de desempenho descreve e está apresentado a seguir com as configurações dos parâmetros necessários para a simulação. Ressalta-se que o mesmo processo pode não ser o melhor método para outras edificações com tipologias diferentes.

Configuração das zonas térmicas

Segundo DOE (2015f), em seu documento *Tips and Tricks for Using EnergyPlus*, para o *software* é extremamente difícil de modelar as interações entre as zonas térmicas que são ligadas por um grande vão ou uma “parede de ar”. Se as zonas

térmicas, nesse caso sala e cozinha, são controladas para as mesmas condições, pode-se combinar os dois espaços (sala e cozinha) em uma única zona térmica. Porém, neste projeto de implantação e tipologia, os dois ambientes possuem aberturas e fachadas expostas com orientação solar diferente, independentemente da unidade no pavimento, como já observado na Figura 12 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Mas também, deve ser considerado que a sala se trata de um ambiente de longa permanência e a cozinha não.

Portanto, para fins desta pesquisa, os ambientes sala e cozinha foram considerados em zonas térmicas diferentes. Logo, o documento, *Tips and Tricks for Using EnergyPlus*, sugere cinco métodos de modelagem, de acordo com o principal objetivo de análise: pelas trocas de calor por convecção ou fluxo de ar, condução, radiação, pelo ganho solar através da iluminação natural e pelo ganho interno por meio da radiação térmica e visível. Neste caso, considerou-se que a principal troca de calor ocorre por meio da convecção, ou seja, o calor é trocado através do ar pelo vão entre os ambientes.

Nesse método, o documento sugere a utilização dos recursos dos parâmetros *Zone Mixing* ou *Zone Cross Mixing* (mistura em duas direções de fluxo), para movimentar a troca de calor pelo ar entre as zonas térmicas, assim ocorrendo a convecção. Porém, nas variáveis desses parâmetros devem ser especificadas a vazão do ar e sua programação em tempo de operação (*Schedule*) que passa pela “parede de ar” (DOE, 2015c e 2015d). Como a norma ABNT NBR 15575/2013 não especifica tais valores e a investigação específica dessas variáveis não se trata do principal objetivo deste trabalho, foram adotados um grupo de variáveis dos parâmetros *Airflow Network* o qual também é indicada no documento *Tips and Tricks for Using EnergyPlus*, mas como método de modelagem avançado.

Dessa forma, para fins desta pesquisa, considerou-se a sala e cozinha como zonas térmicas diferentes com condições de contorno definidas pelo conjunto de parâmetros do grupo *Airflow Network*. Por fim, modelou-se cada unidade de avaliação do desempenho térmico considerando no total seis zonas térmicas: sala, cozinha, banho, dormitórios e cobertura. A Figura 13 ilustra a divisão de zonas térmicas entre sala e cozinha.

Figura 13 – Vista superior da divisão de zonas (perspectiva sem escala).

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Configuração do Zone Infiltration

As demais zonas térmicas: cobertura, dormitórios e banho, foram configuradas com uma renovação do ar por hora, valor estabelecido na norma de desempenho. Para isso, escolheu-se o parâmetro *Zone Infiltration* para inserção de dados de infiltração na simulação. A princípio a norma de desempenho indica esse valor como ventilação. Mas, pelo baixo valor, subentende-se que se trata de dados de infiltração. Assim, janelas e portas devem permanecer fechadas durante o processo de simulação, ou seja, a ventilação natural não ocorre.

Para o *EnergyPlus*, qualquer ar externo que entra por meio de infiltrações é assumido e envolvido no ar interno da zona térmica. A infiltração trata-se do fluxo de ar não intencional causado pelas frestas, rachaduras e até por elementos e componentes construtivos. Normalmente, a quantidade de infiltração é transformada em renovações por hora e, assim, inclui-se no balanço de calor do ar da zona térmica na simulação. (DOE, 2015c e 2015d).

O *EnergyPlus* possui três modelos de infiltração para simulação: *Design Flow Rate*, *Effective Leakage Area* e *Flow Coefficient*. Para este trabalho adotou-se o modelo baseado em condições ambientais modificados pela taxa de vazão do ar, o *Design Flow Rate*. A eq. (5) expressa a base de cálculo utilizada pelo programa por esse modelo.

$$Infiltration = I_{design} F_{schedule} [A + B \cdot (T_{zone} - T_{odb}) + C(WindSpeed) + D(WindSpeed^2)] \quad (5)$$

Onde:

Infiltration é taxa de infiltração;

I_{design} é a taxa máxima do fluxo de volume do ar (conforme o método para o cálculo);

$F_{schedule}$ é a fração multiplicadora (definido por uma programação);

A é o coeficiente constante;

B é o coeficiente temperatura;

C é o coeficiente velocidade do vento;

D é o coeficiente velocidade do vento ao quadrado;

WindSpeed é a velocidade do vento local (m/s).

De acordo com DOE (2015c), os valores dos coeficientes podem ser determinados utilizando métodos previstos na norma ASHRAE *Handbook Fundamentals* (norma americana). O *EnergyPlus* adota como padrão valores de 1 para o coeficiente A e 0 para os demais, assim representa um fluxo de volume constante de infiltração em todas as condições. Neste trabalho, adotaram-se valores padrão para esses coeficientes e escolheu-se o modelo *Air Changes per Hour* com valor de 1 ren/h para cálculo do fluxo de ar.

Configuração do controle de simulação do grupo Airflow Network

A configuração pelos parâmetros do grupo *Airflow Network* executa cálculos de vazão do ar dependendo de alguns fatores como a direção e velocidade do vento, dimensões das aberturas e temperatura do ar externo e interno da zona térmica. A configuração completa desse grupo de variáveis requer um nível mais detalhado de *inputs* (dados de entrada). Considerado como método avançado, o *EnergyPlus* permite que em alguns dados de entrada nas variáveis do grupo *Airflow Network* sejam auto calculadas e também, a ventilação natural pode ser configurada através desse grupo (DOE, 2015c e 2015d).

Porém, para que o *input* de infiltração indicado pela norma ABNT NBR 15575/2013 possa ser ponderado, na variável *Airflow Network Control* seria necessário a indicação do método *No Multizone Or Distribution*. Nesse método são executados cálculos simples nos quais o *EnergyPlus* não simula cálculo de vazão do ar entre zonas térmicas, em outras palavras, no método *No Multizone Or Distribution* não seria possível analisar o comportamento térmico entre zonas térmicas com um vão ou uma “parede de ar” que é o caso da edificação modelo deste trabalho.

De acordo com DOE (2015c), o *software* fornece a escolha desse método como opção para desativar facilmente a execução de cálculos de fluxo de ar entre zonas térmicas para um arquivo que possui a configuração dos parâmetros do grupo *Airflow Network*. Portanto, para que a interação de troca de calor através do ar entre as zonas térmicas sala e cozinha possam ocorrer, o método *Multizone Without Distribution* foi escolhido para a variável *Airflow Network Control*. Ressalta-se que nessa escolha os *inputs* especificados em *Zone Infiltration*, *Zone Ventilation*, *Zone Mixing* e *Zone Cross Mixing* não são simulados. Assim, o *software* se encarrega de auto calcular as variáveis de infiltração e ventilação. Já para as demais zonas térmicas de cobertura, dormitórios e banho o *input* de infiltração se manteve em 1 renovação por hora, conforme estabelecido na norma de desempenho.

Configuração das propriedades térmicas dos materiais

As propriedades térmicas dos materiais e a composição dos elementos construtivos foram inseridas conforme o memorial e planilha de acabamentos do projeto e de plantas arquitetônicas do projeto executivo.³ Na Tabela 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** estão os valores de propriedades térmicas e espessura dos materiais inseridos no *EnergyPlus* para as simulações desta pesquisa. Os valores foram obtidos da norma ABNT NBR 15220-2/2005, da tese de doutorado de Dornelles (2008) baseando nas especificações dos fabricantes e fornecedores de materiais e também de dados publicados por Frota e Schiffer (2001). Os parâmetros do programa utilizados foram *Material* e *Construction*.

---

³ Dados obtidos através de documentos da construtora responsável pela obra.

Tabela 4 – Propriedades termofísicas de materiais utilizados na simulação.

Material	Propriedades termofísica dos materiais						
	A (ϵ)	B (λ)	C (d)	D (c)	E (ϵ)	F (α)	G (FSt)
Revestimento externo	0,01	0,4	1300	1000	0,9	0,52	-
Argamassa	0,01	1,15	2000	1000	0,9	0,7	-
Concreto (bloco)	0,14	1,75	2300	1000	0,9	0,7	-
Gesso liso	0,005	0,5	1200	840	0,9	0,2	-
Laje	0,10	1,75	2300	1000	0,9	0,7	-
Argamassa cola	0,005	1,15	2000	1000	0,9	0,7	-
Cerâmica	0,005	0,9	1600	920	0,9	0,2	-
Textura acrílica	0,005	0,4	1300	1000	0,9	0,2	-
Ferro (veneziana)	0,002	55	-	-	0,25	0,2	-
Madeira (porta)	0,02	0,15	500	1424	0,9	0,7	-
Telha	0,006	0,95	2000	840	0,9	0,5	-
Vidro incolor	0,003	0,8	-	-	-	-	0,86

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Onde:

- A   é a espessura (m);
- B   é a condutividade térmica (W/mK);
- C   é a densidade de massa aparente (kg/m³);
- D   é o calor específico (J/kgK);
- E   é a emissividade (ϵ);
- F   é a absorptância solar (α);
- G   é o fator solar (FSt).

Configuração dos dispositivos de sombreamento

As venezianas das janelas dos dormitórios também foram configuradas seguindo o projeto executivo, por meio da combinação dos parâmetros *Window Material: Blind*, *Window Property* e *Shading*. As combinações são importantes para reproduzir as funções das folhas de venezianas em janela. Reduzir o ganho solar, atuando nas propriedades de transmissão e reflexão solar que dependem das características do modelo de esquadria.

Como na norma ABNT NBR 15575/2013 não estão estabelecidos a forma de uso e operação desse tipo de dispositivo de sombreamento móvel, adotou-se a programação (*Schedule*) de “sempre em operação” (24 horas) com uma folha de veneziana aberta. Isto é, para este trabalho, em todas as condições de simulações, as folhas de veneziana das janelas dos dormitórios foram configuradas para promover 50 por cento de sombreamento nos ambientes internos dos dormitórios. Essa configuração se manteve para os dois dias típicos de projeto, verão e inverno, durante o dia e a noite.

As platibandas que não são superfícies da zona térmica cobertura, também foram modeladas com o parâmetro *Shading*. A Figura 14 ilustra os dispositivos de sombreamentos configurados em cor roxa, nas janelas e cobertura.

Figura 14 –Vista das venezianas no *SketchUp* (perspectiva sem escala).

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

4.2.3 Procedimentos metodológicos

Após esse processo da modelagem geométrica, a pesquisa seguiu por três etapas para avaliar a influência das variáveis do parâmetro *Design Day*:

- 1ª etapa – Foram levantadas e analisadas todas as variáveis do parâmetro *Design Day* do *EnergyPlus* (versão 8.3) e as que a norma ABNT NBR 15575/2013 estabelece para avaliação do desempenho térmico no método da simulação computacional. Com base neste levantamento, elaborou-se uma planilha comparativa entre essas variáveis estabelecidas pela norma de desempenho com todas consideradas pelo parâmetro *Design Day* do *software*.
- 2ª etapa – Na sequência, elaborou-se uma sequência de cenários com combinações de variáveis desconsideradas pela norma de desempenho. Nessa etapa, foram atribuídos ao menos dois valores diferentes para cada variável desconsiderada pela norma ABNT NBR 15575/2013, a fim de verificar a influência de cada uma no resultado final do nível de desempenho térmico na edificação.

- 3ª etapa – Por último, todos os cenários elaborados na etapa anterior foram simulados e analisados. Os resultados desta etapa permitiu verificar quais variáveis do parâmetro *Design Day* possuem influência para alterar o nível final de desempenho térmico de edificações segundo o método da simulação computacional estabelecido na norma ABNT NBR 15575/2013.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentadas as considerações iniciais em relação ao pré-processo de simulação, uma fase que antecede à primeira etapa desta pesquisa. Na sequência está o levantamento de todas as variáveis que envolvem a configuração do dia típico de projeto por parte da norma ABNT NBR 15575/2013 com as que o *software* considera na configuração do parâmetro *Design Day*. Por fim, os resultados dos cenários com combinações de variáveis desconsideradas.

5.1 CONSIDERAÇÕES AO PROCESSO DE MODELAGEM GEOMÉTRICA

Antes mesmo de iniciar as atividades relacionadas com o principal objetivo desta pesquisa, foi necessário identificar as variáveis do parâmetro *Design Day* que são desconsideradas pela norma ABNT NBR 15575/2013 e verificar a influência dessas no resultado final de desempenho térmico. Nesse sentido, a edificação modelo precisou ser modelada no *EnergyPlus* de acordo com os requisitos e referências da norma de desempenho. Embora não seja o principal objetivo desta pesquisa, a seguir relacionaram-se algumas observações desse processo que antecede a simulação.

Inicialmente, a norma ABNT NBR 15575/2013 estabelece o valor de uma ren/h de “ventilação” para configuração em *softwares* de simulação computacional. Pelo baixo valor subentende-se que se trata, na verdade, de valores de infiltração, ou seja, portas e janelas estarão fechadas em todo o processo de simulação. Assim, parece que há necessidade de se revisar esse trecho do texto da norma para que não ocorram equívocos ao profissional que a utiliza, pois, o *EnergyPlus* possui o parâmetro *Zone Ventilation* o qual não se trata do mesmo conceito de infiltração.

No Brasil, geralmente, as janelas de dormitórios possuem folhas de venezianas móveis podendo ser controladas pelos usuários da unidade habitacional. A norma de desempenho não considera a operação ou programação (*Schedules*) desses tipos de dispositivos de sombreamento. Dessa forma, o controle dos dispositivos de

sombreamento poderia ser também considerado na referida norma. Um outro ponto é o conceito de definição de zona térmica. A norma de desempenho define claramente, que cada ambiente compõe uma zona térmica. Porém, quando os ambientes são integrados como, por exemplo, sala e cozinha ou unidades tipo *loft* (sótão) com pé direito duplo, esse conceito pode não ser o melhor a ser aplicado. A definição de zona térmica não é geométrica e sim um conceito. Já observado neste trabalho de pesquisa, a tipologia modelo utilizada possui sala e cozinha com fachadas expostas a diferentes orientações e a cozinha não é um ambiente de longa permanência. Sendo assim, a norma ABNT NBR 15575/2013 poderia abranger mais o conceito de zona térmica para que os profissionais possam definir as zonas térmicas da melhor maneira possível.

É importante que esses itens sejam revisados para que não ocorra qualquer interpretação equivocada por parte dos profissionais que utilizam o método da simulação computacional para determinar o desempenho térmico de edificações e também, para que não seja visto como um método complexo e de difícil entendimento causando, involuntariamente, incentivos a não utilização dos *softwares* de simulação computacional.

5.2 COMPARATIVO DE VARIÁVEIS DO PARÂMETRO *DESIGN DAY*

As entradas de dados nas variáveis do *Design Day* descrevem um dia de projeto para criar certas características de um perfil de 24 horas fictício, onde se pode configurar um dia típico para qualquer condição de análise. O *Design Day*, também pode ser definido para testar ou investigar outros parâmetros da simulação no *EnergyPlus*.

De acordo com DOE (2015d), para calcular a variação de temperaturas que ocorre durante o dia típico, apenas as temperaturas máxima e mínima de bulbo seco não são o suficiente para o *software* seguir com o processo de simulação. Nesse caso, o programa utiliza um fator multiplicador, sobre cada faixa de horário, para simular as

temperaturas durante o período de 24 horas do dia típico de projeto. O programa define esse multiplicador através da Figura 15.

Figura 15 – Gráfico representativo do fator multiplicador diário.

Fonte: <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/>, 2016.

Esses multiplicadores são baseados na *ASHRAE Handbook Fundamentals* e aplicado na eq. (6).

$$T_{current} = T_{max} - (T_{range} \cdot T_{multiplier}) \quad (6)$$

Onde:

$T_{current}$ é a temperatura do ar da hora atual (°C);

T_{max} é temperatura máxima de bulbo seco (°C);

T_{range} é amplitude inserida no parâmetro (°C);

$T_{multiplier}$ é o fator multiplicador da Figura 15.

Ainda, o software permite a inserção de uma programação (*Schedule*) de fator multiplicador diário personalizado. Assim, podendo criar variações particulares para cada clima ou dias típicos de projeto.

5.2.1 Relação das variáveis do *EnergyPlus* e NBR 15575/2013

Na Tabela 5 estão marcadas com “X” as variáveis consideradas para configuração do dia típico de projeto no processo de simulação pelo *EnergyPlus* e as indicadas pela norma ABNT NBR 15575/2013. Os nomes das variáveis encontradas no *software* estão indicados em português por livre tradução.

Tabela 5 - Relação das variáveis do *Design Day* do *EnergyPlus* e da NBR 15575/2013.

Variável	Consideração no <i>EnergyPlus</i>	Consideração na NBR 15575
Mês (<i>Month</i>)	X	
Dia (<i>Day of Month</i>)	X	
Tipo do dia (<i>Day Type</i>)	X	
Temperatura máxima de bulbo seco (<i>Maximum Dry-Bulb Temperature</i>)	X	Somente verão
Temperatura mínima de bulbo seco		Somente inverno
Amplitude de temperatura de bulbo seco (<i>Daily Dry-Bulb Temperature Range</i>)	X	X
Tipo do modificador da amplitude de temperatura de bulbo seco (<i>Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type</i>)	X	
Programação para o fator multiplicador diário (<i>Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name</i>)	X	
Tipo da condição de umidade (<i>Humidity Condition Type</i>)	X	
Temperatura de bulbo úmido (<i>Wetbulb at Maximum Dry-Bulb</i>)	X	X
Temperatura do ponto de orvalho (<i>DewPoint at Maximum Dry-Bulb</i>)	X	

Tabela 5 (continua) - Relação das variáveis do *Design Day* do *EnergyPlus* e da NBR 15575/2013.

Variável	Consideração no <i>EnergyPlus</i>	Consideração na NBR 15575/2013
Programação para condição de umidade (<i>Humidity Condition Day Schedule Name</i>)	X	
Taxa da umidade relativa do ar (<i>Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb</i>)	X	
Entalpia (<i>Enthalpy at Maximum Dry-Bulb</i>)	X	
Amplitude de temperatura de bulbo úmido (<i>Daily Wet-Bulb Temperature Range</i>)	X	
Pressão atmosférica (<i>Barometric Pressure</i>)	X	
Velocidade do vento (<i>Wind Speed</i>)	X	
Direção do vento (<i>Wind Direction</i>)	X	
Indicador de chuva (<i>Rain Indicator</i>)	X	
Indicador de neve (<i>Snow Indicator</i>)	X	
Indicação de horário de verão (<i>Daylight Saving Time Indicator</i>)	X	
Algoritmo de indicador solar (<i>Solar Model Indicator</i>)	X	
Programação diária de radiação solar direta (<i>Beam Solar Day Schedule Name</i>)	X	
Programação diária de radiação solar difusa (<i>Diffuse Solar Day Schedule Name</i>)	X	
Radiação solar (valor único)		X

Tabela 5 (conclusão) - Relação das variáveis do *Design Day* do *EnergyPlus* e da NBR 15575/2013.

Variável	Consideração no <i>EnergyPlus</i>	Consideração na NBR 15575/2013
Profundidade óptica da irradiância direta (<i>Optical Depth for Beam Irradiance</i>)	X	
Profundidade óptica da irradiância difusa (<i>Optical Depth for Diffuse Irradiance</i>)	X	
Clareza do céu (<i>Sky Clearness</i>)	X	
Nebulosidade décimos		X

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

5.2.2 Análise das variáveis

A partir da Tabela 5 foram totalizadas 29 variáveis do *EnergyPlus* e da norma de desempenho que são consideradas no processo de simulação. Entre essas, apenas quatro variáveis são, literalmente, compatíveis; algumas podem ser interpretadas e outras a norma ABNT NBR 15575/2013 não indica dados suficiente para configurar o *Design Day* por completo no programa.

Ainda, entre essas 29 variáveis; a inserção de dados como data e velocidade e direção do vento, são requisitos para prosseguir com o processo de simulação; outras permitem escolher o tipo de *input* (dado de entrada) a ser inserido no programa.

Variáveis de múltipla escolha

A variável Tipo do modificador da amplitude de temperatura de bulbo seco (*Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type*) oferece quatro opções de escolha que definem quais das variáveis seguintes podem ser inseridas. A escolha da opção *DefaultMultipliers* permite que valores indicados na *ASHRAE Handbook Fundamentals* sejam utilizados, os mesmos representados na Figura 15. Para este

estudo, essa opção parece ser a mais adequada, pois a norma de desempenho não estabelece qualquer outro valor de variável para que as outras opções de *MultiplierSchedule*, *DifferenceSchedule* e *TemperatureProfileSchedule* possam ser selecionadas. Essas últimas opções estão diretamente relacionadas à variável Programação para o fator multiplicador diário (*Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name*).

O mesmo ocorre com a variável Tipo da condição de umidade (*Humidity Condition Type*). Essa estabelece quais outras variáveis relacionadas à umidade serão interagidas no processo da simulação. A opção *WetBulb* permite inserir valores para temperatura de bulbo úmido, dado disponível na norma de desempenho. Logo, as outras variáveis: Temperatura do ponto de orvalho (*DewPoint at Maximum Dry-Bulb*), Programação para condição de umidade (*Humidity Condition Day Schedule Name*), Taxa da umidade relativa do ar (*Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb*), Entalpia (*Enthalpy at Maximum Dry-Bulb*) e Amplitude de temperatura de bulbo úmido (*Daily Wet-Bulb Temperature Range*) podem ser descartadas.

A variável Algoritmo de indicador solar (*Solar Model Indicator*) realiza cálculos que estimam condições de radiação solar. Para isso, o *EnergyPlus* necessita de valores de radiação solar direta e difusa separadamente. Já a norma de desempenho indica um único valor em Wh/m² para os dias típicos de projeto. Sendo assim, não há a possibilidade de configurar uma programação (*Schedule*) para radiação solar direta e difusa (*Beam / Diffuse Solar Day Schedule Name*), bem como, as variáveis relacionadas à Profundidade óptica da irradiância direta e difusa (*Optical Depth for Beam / Diffuse Irradiance*), que são baseados em valores tabelados na *ASHRAE Handbook Fundamentals*, já que a norma brasileira não faz nenhuma indicação desses valores. Sendo assim, as opções se restringem aos algoritmos *ASHRAEClearSky* e *ZhangHuang*. Esses algoritmos são baseados em dados referentes à clareza do céu ou pela quantidade de nuvens que cobrem o céu em porcentagem e dependem de valores inseridos na variável *Sky Clearness* (clareza do céu).

De acordo com a definição de DOE (2015c), a variável *Sky Clearness* refere-se a um valor que representa a clareza do céu. A partir do valor inserido nesse campo, o

software considera em seu cálculo um conjunto de outras variáveis, definidas no parâmetro *Design Day*, para determinar valores de radiação solar.

Segundo IAG (2015), a Nebulosidade décimos é quantificada pela identificação e avaliação da quantidade de nuvens baixas, médias e altas em décimos de céu coberto. Frota e Schiffer (2001) definem a Nebulosidade como porcentagem de recobrimento de nuvens no céu que forma uma barreira à radiação solar direta. Visto essas definições, as variáveis de *Sky Clearness* e Nebulosidade décimos não se tratam necessariamente do mesmo conceito, embora tenham definições muito similares.

De acordo com DOE (2015d), no *Engineering Reference*, manual de engenharia do *software*, o modelo *ASHRAEClearSky* é considerado modelo padrão para os estados americanos. Nesse modelo, a radiação solar por hora é estimada para qualquer mês do ano nos Estados Unidos. Desse modo, pode ser indicado para locais semelhantes com clima temperado. Na superfície da terra, em dias claros, a Irradiação Normal Direta (*Direct Normal Irradiation*) (W/m^2), é representada pelo modelo da eq. (7):

$$\text{Direct Normal Irradiation} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin \beta}\right)} \quad (7)$$

Onde:

A é a irradiação solar aparente quando a massa de ar m (nuvens) = 0;

$$m = 1/[\sin \beta + 0.50572 (6.07995 + \beta) - 1.6364]$$

B é o coeficiente de extinção atmosférica;

β é a altitude solar em graus.

Os valores de A e B variam durante o ano devido às mudanças sazonais da Terra. A equação não gera um valor máximo de irradiação normal direta (*Direct Normal Irradiation*), mas produz valores representativos. Ainda, os valores de A e B podem

ser consultados no documento *Engineering Reference* do *EnergyPlus*, ilustradas no Anexo B deste trabalho.

Já o modelo de Algoritmo de indicador solar *ZhangHuang* foi desenvolvido, inicialmente, para ser aplicado em locais com climas típicos da China e países da Ásia. Contudo, é considerado como bom pelo *Engineering Reference* para aplicação em outros locais. Nesse método a radiação solar é estimada pela cobertura de nuvens, temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, velocidade do vento e incidência solar no plano horizontal. A radiação solar nesse modelo é dada pela eq. (8):

$$I = \frac{[I_0 \sin(h)(c_0 + c_1 CC + c_2 CC^2 + c_3(T_n - T_{n-3}) + c_4 \varphi + c_5 V_\omega) + d]}{k} \quad (8)$$

Onde:

I é a estimativa de irradiação solar por hora (W/m^2);

I_0 é a constante solar global (1355 W/m^2);

h é a altitude solar em graus;

CC é a cobertura de nuvens;

φ é a umidade relativa do ar (%);

T_n ,
 T_{n-3} é a temperatura de bulbo seco em horas;

V_ω é a velocidade do vento (m/s);

$c_0, c_1, c_2, c_3, c_4,$
 c_5, d, k são os coeficientes de regressão.

O *EnergyPlus* considera os seguintes valores de coeficientes de regressão: $c_0 = 0,5598$, $c_1 = 0,4982$, $c_2 = -0,6762$, $c_3 = 0,0242$, $c_4 = -0,00317$, $c_5 = 0,014$, $d = -17,853$ e $k = 0,843$.

Segundo Watanabe, Urano e Hayashi⁴ (1983 apud DOE, 2015d) e Zhang e Huang⁵ (2002 apud DOE, 2015d), esse é o mesmo modelo de equação utilizado para estimar valores de radiação solar global no aplicativo *Weather Converter Program* do *EnergyPlus*, quando não há dados do local.

Variáveis pré-definidas

Entre outras variáveis desconsideradas pela norma ABNT NBR 15575/2013 e essencial para o processo de simulação é a Pressão atmosférica (*Barometric Pressure*). Embora não indicada na norma de desempenho, o valor dessa variável pode ser obtido do próprio arquivo climático utilizado na simulação. Obteve-se o valor de 94757 Pa no arquivo EPW para este trabalho.

Os indicadores de chuva, neve e horário de verão, possuem dois valores de escolha: *Yes* (sim) e *No* (não). Ao selecionar *Yes* para a variável Indicador de chuva (*Rain Indicator*), as superfícies da edificação serão consideradas molhadas e podem alterar no processo de troca de calor por condução. No Indicador de neve (*Snow Indicator*), se *Yes* é assumido que há neve, assim alterando as propriedades de refletância do solo. E se selecionado *Yes* para a variável Indicador de horário de verão (*Daylight Saving Time Indicator*), indica a ativação de sua operação. Esses indicadores podem não serem ativados (seleção *No*), pois a norma de desempenho não estabelece nenhum valor ou indicação para utiliza-los. Para a presente pesquisa foram todos considerados *No*.

Variável interpretada

A inserção de valores para a variável de Temperatura máxima de bulbo seco (*Maximum Dry-Bulb Temperature*) para condições de inverno pode ser rapidamente calculada através dos valores de Amplitude de temperatura de bulbo seco (*Daily*

---

⁴Watanabe, T.; Urano, Y.; Hayashi, T. **Procedures for Separating Direct and Diffuse Insolation on a Horizontal Surface and Prediction of Insolation on Tilted Surfaces** (em japonês). Architectural Institute of Japan. Tokyo, 1983.

⁵Zhang, Q.Y.; Huang, Y.J. **Development of typical year weather files for Chinese locations**. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, 2002.

Dry-Bulb Temperature Range) e Temperatura mínima de bulbo seco fornecidos no Anexo A da norma de desempenho.

O Tipo do dia (*Day Type*) é indicado para criar programações específicas de dias típicos de projeto. O *software* necessita da indicação do tipo do dia na variável, porém não exige que configurações específicas desses dias sejam realizadas. Ressalta-se que *Day Type* não possui o mesmo conceito de dia típico de projeto. Mas mesmo assim, pode ser inserido *SummerDesignDay* para configurar condições de verão e *WinterDesignDay* para condições de inverno.

Variáveis desconsideradas

Por fim, restaram as variáveis: Dia (*Day*), Mês (*Month*), Velocidade do vento (*Wind Speed*) e Direção do vento (*Wind Direction*). Essas variáveis em nenhum momento puderam ser interpretadas pela descrição na norma ABNT NBR 15575/2013. Portanto, além dessas variáveis, os Algoritmos de indicador solar, modelos *ASHRAEClearSky* e *ZhangHuang*; e valores de *Sky Clearness* foram elencados para seguir na próxima etapa.

5.3 COMBINAÇÕES DE VARIÁVEIS DESCONSIDERADAS PELA NBR 15575/2013

Na etapa anterior observaram-se seis variáveis desconsideradas pela norma ABNT NBR 15575/2013. Assim, elaborou-se a Tabela 6 com valores para essas variáveis a fim de verificar a influência no resultado.

Tabela 6 - Combinação de variáveis de acordo com o dia típico de projeto.

Variáveis	Valores adotados para simulação							
	Dia típico de verão				Dia típico de inverno			
<i>Month/Day of Month</i>	21/Dez		12/Out		21/Jun		08/Jul	
<i>Wind Speed/Direction</i>	3 m/s	45° (NE)	1,8 m/s	195° (SE)	3 m/s	45° (NE)	0,7 m/s	119° (SE)
<i>Solar Model Indicator</i>	ASHRAE ClearSky		ZhangHuang		ASHRAE ClearSky		ZhangHuang	
<i>Sky Clearness</i>	0,4		1		0,4		0	

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

A seguir estão justificados os valores escolhidos para qualificar a influência no resultado de desempenho térmico.

Variáveis de data

A escolha da data se deu pelos dias dos solstícios de verão e de inverno. Também, selecionaram-se duas datas que correspondem ao dia com temperatura externa mais elevada e mais baixa do arquivo climático utilizado para a simulação deste estudo.

Os dias de solstícios, normalmente ocorrem por volta de 21 de dezembro para verão e 21 de junho para inverno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014.). As outras datas se tratam do dia 12 de outubro, data com temperatura externa mais elevada e 08 de julho com a mesma temperatura mais baixa encontrada no arquivo climático da Cidade de Campinas.

Velocidade de direção do vento

Quanto à relação de velocidade e direção do vento, foram extraídos a partir do *software* Analysis SOL-AR, desenvolvido por LabEEE (2015). O *software* pré-disponibiliza dados de carta solar e também a rosa dos ventos para frequência de ocorrência dos ventos e das velocidades médias do ar predominantes para cada

estação do ano em oito orientações (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) somente para 16 cidades brasileiras, o que não inclui Campinas. A cidade mais próxima de Sumaré com arquivo disponível no programa é a Cidade de São Paulo, utilizada para a análise da direção e velocidade do vento.

A partir da Figura 16; observa-se que na Cidade de São Paulo, tanto no verão quanto no inverno, a direção com maior frequência de ocorrência é o nordeste (NE) e suas respectivas velocidades médias do vento predominantes são de 3 m/s.

Figura 16 - Velocidade e direção do vento em São Paulo.

Fonte: Analysis SOL-AR, 2015.

Outros valores de velocidade e direção do vento (1,8 m/s com direção de 195° para condições de verão e 0,7 m/s com direção de 119° para condições de inverno) correspondem aos horários dos dias com temperatura mais elevada para verão (12 de outubro) e mais baixa para inverno (8 de julho) obtidos do arquivo climático da Cidade de Campinas.

Algoritmo de indicador solar e Sky Clearness

Na etapa de análise das variáveis, observou-se que somente os algoritmos *ASHRAEClearSky* e *ZhangHuang* combinados com a inserção de dados em *Sky Clearness* são possíveis para prosseguir com a análise.

Segundo o *Input Output Reference* (2015c), o qual se trata de um manual de referência de dados de entrada e saída do programa *EnergyPlus*, os valores de *Sky Clearness* variam de 0 a 1.0, onde 0 representa céu fechado e pode variar de 0 a 1.2

para cidades consideradas de altitude elevada, na faixa entre 5.000ft a 11.500ft, aproximadamente entre 1.524m a 3.505m.

Visto que *Sky Clearness* (clareza do céu) pode não necessariamente se tratar da definição de Nebulosidade décimos, para esta pesquisa adotou-se os valores de 0,4 e 1 para condições de verão; e 0 e 0,4 para condições de inverno. Os valores de 0,4 equivalem ao valor de 6 de Nebulosidade décimo indicado nas Tabelas A.2 e A.3 do Anexo A da norma ABNT NBR 15575-1/2013 para os dias típicos de projeto de verão e inverno. Já o valor de 1 para o dia típico de projeto de verão, representa céu aberto, condição extrema para verão e valor de 0 para céu totalmente fechado para condição de inverno.

5.3.1 Combinação de cenários

Para analisar a influência dos valores das seis variáveis desconsideradas pela norma de desempenho, foram elaborados 16 cenários para cada condição, de verão e de inverno. Na Tabela 7 estão os 16 cenários para simulação dos dias típicos de projeto de verão.

Tabela 7 - Combinação de cenários para o dia típico de projeto de verão.

Cenários	Data (dd/mm)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Algoritmo de indicador solar	<i>Sky Clearness</i>
V1	21/Dez	3	45° (NE)	ASHRAEClearSky	0,4
V2	21/Dez	3	45° (NE)	ASHRAEClearSky	1
V3	21/Dez	3	45° (NE)	ZhangHuang	0,4
V4	21/Dez	3	45° (NE)	ZhangHuang	1
V5	21/Dez	1,8	195° (S)	ASHRAEClearSky	0,4
V6	21/Dez	1,8	195° (S)	ASHRAEClearSky	1
V7	21/Dez	1,8	195° (S)	ZhangHuang	0,4
V8	21/Dez	1,8	195° (S)	ZhangHuang	1
V9	12/Out	3	45° (NE)	ASHRAEClearSky	0,4
V10	12/Out	3	45° (NE)	ASHRAEClearSky	1
V11	12/Out	3	45° (NE)	ZhangHuang	0,4
V12	12/Out	3	45° (NE)	ZhangHuang	1
V13	12/Out	1,8	195° (S)	ASHRAEClearSky	0,4
V14	12/Out	1,8	195° (S)	ASHRAEClearSky	1
V15	12/Out	1,8	195° (S)	ZhangHuang	0,4
V16	12/Ou	1,8	195° (S)	ZhangHuang	1

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Na Tabela 8 são apresentados os 16 cenários com as 6 variáveis desconsideradas para simulação dos dias típicos de projeto de inverno.

Tabela 8 – Combinação de cenários para o dia típico de projeto de inverno.

Cenários	Data (dd/mm)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Algoritmo de indicador solar	Sky Clearness
I1	21/Jun	3	45° (NE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0,4
I2	21/Jun	3	45° (NE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0
I3	21/Jun	3	45° (NE)	<i>ZhangHuang</i>	0,4
I4	21/Jun	3	45° (NE)	<i>ZhangHuang</i>	0
I5	21/jun	0,7	119° (SE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0,4
I6	21/Jun	0,7	119° (SE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0
I7	21/Jun	0,7	119° (SE)	<i>ZhangHuang</i>	0,4
I8	21/Jun	0,7	119° (SE)	<i>ZhangHuang</i>	0
I9	08/Jul	3	45° (NE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0,4
I10	08/Jul	3	45° (NE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0
I11	08/Jul	3	45° (NE)	<i>ZhangHuang</i>	0,4
I12	08/Jul	3	45° (NE)	<i>ZhangHuang</i>	0
I13	08/Jul	0,7	119° (SE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0,4
I14	08/Jul	0,7	119° (SE)	ASHRAE <i>ClearSky</i>	0
I15	08/Jul	0,7	119° (SE)	<i>ZhangHuang</i>	0,4
I16	08/Jul	0,7	119° (SE)	<i>ZhangHuang</i>	0

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

5.4 SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

Os cenários das Tabela 7 e Tabela 8 foram simulados com o arquivo climático da Cidade de Campinas no formato EPW. Como a norma ABNT NBR 15575/2013 não estabelece claramente como os critérios de nível de desempenho de edifício multipiso são analisados, para esta pesquisa, considerou-se a média aritmética ponderada de temperaturas entre os três ambientes de longa permanência: sala e dormitórios.

Dessa forma, determinou-se a média aritmética ponderada das temperaturas do ar interno entre os ambientes de longa permanência como índice para avaliar o desempenho térmico de cada unidade, condição para verão e para inverno. Seguiu-se os critérios de avaliação já apresentados na Tabela 3.

5.4.1 Análise dos resultados dos cenários de dia típico de verão

Os resultados de desempenho térmico para o dia típico de projeto de verão estão apresentados na Tabela 9 e no Gráfico 1 os resultados de cada zona térmica.

Gráfico 1 - Resultados para o dia típico de projeto de verão.

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Tabela 9 - Resultados das simulações para o dia típico de projeto de verão.

Cenários	Temperatura do ar interno (°C)				Nível de desempenho atingido
	Zona Dorm1	Zona Dorm2	Zona Sala	Média ponderada	
V1	30,0	29,5	29,7	29,7	Intermediário
V2	37,8	36,2	38,2	37,5	N.A.
V3	33,7	32,8	33,9	33,5	N.A.
V4	33,2	32,4	33,3	33,0	N.A.
V5	30,2	29,6	29,7	29,8	Intermediário
V6	38,5	36,7	38,8	38,1	N.A.
V7	33,9	33,0	34,0	33,7	N.A.
V8	33,4	32,6	33,5	33,2	N.A.
V9	29,2	29,0	29,0	29,0	Intermediário
V10	36,1	35,8	37,6	36,7	N.A.
V11	32,9	32,8	33,7	33,2	N.A.
V12	32,4	32,4	33,1	32,7	N.A.
V13	29,2	29,1	28,9	29,1	Intermediário
V14	36,7	36,4	38,2	37,2	N.A.
V15	33,0	33,0	33,8	33,3	N.A.
V16	32,5	32,5	33,1	32,8	N.A.

Onde N.A. é não atingido

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Ao analisar os cenários que comparam as variáveis de data (V1/V9, V2/V10, V3/V11, ... V8/V16), observou-se pequenas alterações de temperaturas, tanto em cada zona térmica quanto na média ponderada. Porém, essas variáveis (dia e mês) não influenciaram para que o nível de desempenho térmico fosse alterado entre seus cenários.

O mesmo aconteceu com a combinação das variáveis de velocidade de direção do vento. Entre os cenários V1/V5, V2/V6, V3/V7 e V4/V8, onde a data se manteve em 21 de dezembro, observou-se um ligeiro aumento de temperaturas, mas sem alterar o nível de desempenho final. Esse mesmo comportamento ocorreu entre os cenários V9/V13, V10/V14, V11/V15 e V12/V16, onde 12 de outubro foi inserido nas variáveis de data.

Já a escolha do modelo na variável Algoritmo de indicador solar (*Solar Model Indicator*) foi determinante para alcançar o nível de desempenho intermediário, único nível atingido. Somente o modelo *ASHRAEClearSky* proporcionou esse resultado. Os cenários em que o modelo *ZhangHuang* foi considerado não atingiram nenhum nível de desempenho térmico.

Ao analisar o modelo *ZhangHuang*, observou-se que as diferenças de temperaturas não ultrapassaram 0,5 graus Celsius (V3/V4, V7/V8, V11/V12 e V15/V16). Em contraponto, os valores inseridos na variável *Sky Clearness* dos cenários do modelo *ASHRAEClearSky* foram determinantes para definir o nível de desempenho (V1/V2, V5/V6, V9/V10 e V13/V14). As diferenças de temperaturas chegaram até 8,3 graus Celsius, classificando os cenários com valor de 0,4 de *Sky Clearness* em nível de desempenho intermediário e os cenários com valor de 0, que representa uma condição extrema de céu totalmente aberto, em nível de desempenho não atingido.

No Gráfico 2 pode-se observar melhor essa influência das variáveis do Algoritmo de indicador solar e *Sky Clearness* através da média ponderada das temperaturas por cenários.

Gráfico 2 - Média ponderada das temperaturas das zonas térmicas por cenários de verão.

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Ainda se verificou que, exceto à zona térmica dormitório 1 dos cenários V1 e V5, os resultados de nível de desempenho de cada zona térmica corresponderam ao nível de desempenho atingido na média ponderada das temperaturas (Tabela 9). Os resultados do dormitório 1 desses cenários não atingiram o desempenho mínimo por uma sutil diferença de até 0,3 graus Celsius. Já os demais ambientes desses dois cenários alcançaram o nível de desempenho intermediário.

Essa diferença pode ter ocorrido devido à orientação solar do dormitório 1, onde duas superfícies de fachada estão expostas ao norte e oeste (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Porém, o dormitório 1 dos cenários V9 e V13, cenários que somente as variáveis de data (dia e mês) corresponde a valores diferentes dos cenários V1 e V5, essa diferença de resultado no nível de desempenho não foi observada. Nesse caso, pode-se afirmar que os valores das variáveis de data influenciaram no nível de desempenho somente do dormitório 1 dos cenários com o algoritmo *ASHRAEClearSky* e valor de 0,4 em *Sky Clearness*.

5.4.2 Análise dos resultados dos cenários de dia típico de inverno

Na Tabela 10 estão os resultados de desempenho térmico para condições de inverno e no Gráfico 3 os resultados em formato de gráfico de cada zona térmica.

Gráfico 3 - Resultados em gráfico para o dia típico de projeto de inverno.

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Tabela 10 – Resultados das simulações para o dia típico de projeto de inverno.

Cenários	Temperatura do ar interno (°C)				Nível de desempenho atingido
	Zona Dorm1	Zona Dorm2	Zona Sala	Média ponderada	
I1	8,8	8,7	9,2	8,9	N.A.
I2	6,3	6,4	6,2	6,3	N.A.
I3	10,1	9,8	10,8	10,3	Mínimo
I4	8,5	8,5	8,9	8,7	N.A.
I5	8,4	8,2	8,7	8,5	N.A.
I6	5,2	5,2	4,9	5,1	N.A.
I7	9,8	9,6	10,4	10,0	Mínimo
I8	7,6	7,6	7,9	7,7	N.A.
I9	8,8	8,7	9,2	9,0	N.A.
I10	6,3	6,4	6,2	6,3	N.A.
I11	10,2	9,9	10,9	10,4	Mínimo
I12	8,6	8,5	9,0	8,7	N.A.
I13	8,4	8,3	8,7	8,5	N.A.
I14	5,2	5,2	4,9	5,1	N.A.
I15	9,9	9,7	10,5	10,1	Mínimo
I16	7,7	7,6	7,9	7,8	N.A.

Onde N.A. é não atingido

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Diferentemente dos resultados dos cenários de verão, observou-se que nos resultados dos cenários de inverno, o nível de desempenho mínimo foi o único nível atingido.

Bem como ocorreu nos cenários de verão, para as condições de inverno, ao comparar as variáveis de data (I1/I9, I2/I10, I3/I11, ..., I8/I16), verificou-se que as

temperaturas de cada zona térmica e das médias ponderadas sofreram apenas um sutil aumento de até 0,1 grau Celsius. Novamente, sem influenciar no nível final de desempenho térmico.

Já ao analisar as variáveis de velocidade de direção do vento, quando se isolam as demais variáveis (I1/I5, I2/I6, I3/I7 e I4/I8), onde a data corresponde a 21 de junho, observou-se uma redução de até 1 grau Celsius de temperatura, mas sem alterar resultados de desempenho térmico. O mesmo ocorreu com os cenários I9/I13, I10/I14, I11/I15 e I12/I16, onde as variáveis de data correspondem a 8 de Julho.

Mais uma vez, os modelos da variável Algoritmo de indicador solar (*Solar Model Indicator*) foram determinantes para se atingir ao menos o nível mínimo de desempenho térmico. Ao contrário dos resultados de condições de verão, onde apenas resultados favoráveis ocorreram no modelo *ASHRAEClearSky*, nesses cenários de dias típicos de projeto de inverno somente o modelo *ZhangHuang* foi capaz de alcançar algum nível de desempenho térmico.

Entre os valores atribuídos à variável *Sky Clearness*, no modelo *ASHRAEClearSky* observou-se maior diferença de temperaturas em comparação ao modelo *ZhangHuang*, mas não o suficiente para atingir algum nível de desempenho térmico. Apenas os cenários com o modelo *ZhangHuang* e valor de 0,4 na variável *Sky Clearness* alcançaram ao menos o desempenho mínimo. A condição de céu totalmente fechado, situação extrema, com valor de 0 na variável *Sky Clearness* não alcançou nenhum nível de desempenho.

O Gráfico 4 ilustra os resultados das temperaturas com as médias ponderadas das simulações para o dia típico de projeto de inverno.

Gráfico 4 - Média ponderada das temperaturas das zonas térmicas por cenários de inverno.

Fonte: Arquivo pessoal, 2016.

Observou-se também que da zona térmica sala, os cenários I1 e I9 alcançaram o nível de desempenho mínimo, onde apenas os valores das variáveis de data (dia e mês) são diferentes (Tabela 10). Mas, assim como ocorreu nos cenários V1 e V15 dos dias típicos de projeto de verão, considerando a média ponderada, os resultados dessas zonas térmicas não influenciaram no desempenho térmico das unidades.

5.5 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DESCONSIDERADAS PELA NBR 15575/2013

Para elaborar os cenários com combinações de variáveis, levantou-se 29 variáveis entre as indicadas pela norma ABNT NBR 15575/2013 e pelo *EnergyPlus*. Entre essas algumas são desconsideradas e outras precisaram ser interpretadas, já que a norma de desempenho não estabelece a mesma nomenclatura de acordo com o *software EnergyPlus*.

Entre essas se verificou que seis variáveis do parâmetro *Design Day* são desconsideradas pela norma de desempenho e não puderam ser interpretadas ou até mesmo subentendidas: *Day of Month* (dia), *Month* (mês), *Wind Speed* (velocidade do vento), *Wind Direction* (direção do vento), *Solar Model Indicator* (Algoritmo de indicador solar) e *Sky Clearness* (clareza do céu). Elaboraram-se combinações de cenários para verificar a influência dessas variáveis e observou-se

que os valores inseridos em data, velocidade e direção do vento, não foram determinantes para alterar o nível de desempenho térmico.

Entre essas seis variáveis, a *Sky Clearness* deve ser melhor descrita por parte da norma ABNT NBR 15575/2013 e confirmando se possui o mesmo significado de Nebulosidade décimos, indicados nas Tabelas A.2 e A.3 do Anexo A da primeira parte da norma de desempenho. A Nebulosidade trata da quantidade de nuvens no céu e *Sky Clearness* da clareza do céu. A norma de desempenho não estabelece a definição para a denominação de nebulosidade, embora, ambas possuem significados muito semelhantes. Mas a falta de uma denominação oficial por parte da norma acaba abrindo lacunas para que a definição do conceito fique equivocada. Lembrando que nebulosidade é determinada pela quantidade de nuvens baixas, médias e altas em décimos de céu coberto. Além disso, nos cenários simulados, observou-se que o valor inserido na variável *Sky Clearness* foi determinante para definir o nível de desempenho térmico, assim classificando-se em uma variável de grande impacto nos resultados.

Essa influência teve relação direta com o modelo escolhido na variável Algoritmo de indicador solar (*Solar Model Indicator*). Os cenários com o modelo *ASHRAEClearSky* e valor de 0,4 em *Sky Clearness* foram os únicos a alcançar o nível intermediário de desempenho, proporcionando temperaturas mais amenas em relação ao modelo *ZhangHuang* para o dia típico de projeto de verão. Já o modelo *ZhangHuang* com valor de 0,4 em *Sky Clearness* favoreceu nos resultados para o dia típico de projeto de inverno, mas atingindo apenas o nível de desempenho mínimo.

Também se observou que o modelo *ASHRAEClearSky* apresentou diferenças de temperaturas maiores do que nos cenários com o modelo *ZhangHuang*, independentemente do dia típico de projeto. Isso pode ter ocorrido devido às equações e aos valores de variáveis considerados em cada modelo, uma vez que o modelo *ASHRAEClearSky* estima valores de radiação solar por hora baseada no mês que se insere na variável do *Design Day*. Lembrando que as variáveis desse modelo são obtidas a partir de dados para os Estados Unidos. Visto isso, talvez a escolha do modelo *ASHRAEClearSky* pode não ser o mais adequado para países como o Brasil que se localiza no hemisfério oposto.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou a influência das variáveis do *Design Day*, configurado no software *EnergyPlus* e que são desconsideradas pela norma ABNT NBR 15575/2013 para avaliação do desempenho térmico de edificações pelo método da simulação computacional. Entre essas se verificou que seis variáveis do parâmetro *Design Day* são desconsideradas pela norma de desempenho e não puderam ser interpretadas ou até mesmo subentendidas: *Day of Month* (dia), *Month* (mês), *Wind Speed* (velocidade do vento), *Wind Direction* (direção do vento), *Solar Model Indicator* (Algoritmo de indicador solar) e *Sky Clearness* (clareza do céu). Observou-se que os valores inseridos em data, velocidade e direção do vento, não foram determinantes para alterar resultados de desempenho térmico.

Já a escolha do modelo na variável Algoritmo de indicador solar, *ASHRAEClearSky* ou *ZhangHuang*, em combinação com o valor atribuído em *Sky Clearness* teve grande influência nos resultados, o que possibilita a alteração de resultados de desempenho de tal forma que possam determinar o nível de desempenho térmico de edificações mais conveniente. Por exemplo, cada dia típico de projeto poderia ser configurado com modelos de algoritmos diferentes: o modelo *ASHRAEClearSky* favorecendo para condições de verão e o modelo *ZhangHuang* privilegiando condições de inverno.

Dessa forma, recomenda-se à ABNT estabelecer valores a todas as variáveis do parâmetro *Design Day* para que nenhuma seja interpretada de forma equivocada. Principalmente, que valores das variáveis de Algoritmo de indicador solar e *Sky Clearness* sejam indicados, pois apresentaram grande influência nos resultados desta pesquisa.

Além da identificação das variáveis que possuem influência direta no nível de desempenho térmico, a pesquisa também identificou outros parâmetros que talvez possam influenciar nos resultados, estes são: *Ground Temperature*, *Schedule*, *Material/Construction*, *Zone*, *Ground Heat Transfer*; *Internal Gains: People*, *Lights*; *Electric Equipment* e *Gas Equipment*; *Zone Infiltration*, *Zone Ventilation: Design*

Flow Rate e Wind And Stack Open Area; Zone Mixing/Cross Mixing e Airflow Network. Porém, não se verificou a real influência direta desses parâmetros por não se tratar do principal objetivo deste trabalho.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer da pesquisa surgiram alguns questionamentos que poderão ser averiguados em trabalhos futuros:

- Analisar a influência das variáveis desconsideradas em outras zonas bioclimáticas brasileiras;
- Verificar em outros modelos de tipologias se a influência das variáveis desconsideradas ocorre da mesma forma encontrada nesta pesquisa;
- Analisar com profundidade a influência dos valores das equações dos modelos *ASHRAEClearSky* e *ZhangHuang*, ou até desenvolver um modelo adaptado a países com clima semelhante ao do Brasil;
- Verificar o desempenho térmico de edificações com a introdução da ventilação natural;
- Verificar o comportamento da inércia térmica para comparar com os critérios de desempenho térmico da norma de desempenho;
- Comparar outros critérios para avaliação do desempenho térmico, por exemplo, o percentual de horas ocupadas em conforto (POC).

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998. 195 p. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais – Desempenho parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais – Desempenho parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-5**: Edifícios habitacionais – Desempenho parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). Disponível em: <<http://www.bre.co.uk>> Acesso em: 31 de agosto de 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB). Disponível em: <<http://www.cstb.fr/>>. Acesso em: 31 de agosto de 2015.

CLIMATE ONEBUILDING ORG. Disponível em: <<http://climate.onebuilding.org/Climate.OneBuilding>>. Acesso em: 26 de outubro de 2016.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 152 p. Tese (doutorado) – Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2008.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA USP (IAG). Instrumentos. Disponível em: <<http://www.estacao.iag.usp.br/instrumentos.php>>. Acesso em: 01 de agosto de 2015.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB). Disponível em: <<http://www.cibworld.nl/site/home/index.html>>. Acesso em: 31 de agosto de 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home.html>>. Acesso em: 31 de agosto de 2015.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: **Energy and Buildings**. v. 18, ed. 1, p. 11–23, 1992. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889290047K>>. Acesso em: 07 de outubro de 2015.

GONÇALVES, O. M. et al. Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações. In: ROMAN, H.; BONIN, L. C. **Coletânea Habitaré: Normalização e certificação na construção habitacional** – vol 3. Porto Alegre: ANTAC, 2003. Capítulo 3.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

HABTE, A. et al. **Temporal and spatial comparison of gridded TMY, TDY and TGY data sets**. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Oak Ridge. 2014. Disponível em <<http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60886.pdf>>. Acesso em 26 de janeiro de 2016.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). Analysis SOL-AR. Florianópolis, 2015. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 01 de agosto de 2015.

LAMBERTES, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Eletrobras/Procel, 2014. 3ª ed. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

MARQUES, T. H. T.; CHVATAL, K. M. S. A review of the Brazilian NBR 15575 Standard: Applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance. In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN, San Diego, 2013. **Anais...** San Diego, 2013. Disponível em: <<http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/43378>>. Acesso em: 15 de julho de 2015.

MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. In: **Ambiente construído**, Porto Alegre, v 5, n. 4, p. 47-68, 2005. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3657>>. Acesso em: 3 de setembro de 2015.

RORIZ, M. **Arquivos climáticos em formato EPW**. São Carlos, 2012. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em 02 de julho de 2015.

_____. **ZBBR – Classificação bioclimática dos municípios brasileiros**. versão 1.1. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SILVA, A. S. et al. Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. In: **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 103-117, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/45289>>. Acesso em: 15 de julho de 2015.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. 216 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2009.

_____. SORGATO, M. J. et al. **Nota técnica referente à avaliação para norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. 2012. Nota técnica – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <http://www.labeeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf>. Acesso em 17 de abril de 2014.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). Building Technologies Office (BTO). Extras. Disponível em: <<https://energyplus.net/extras>>. Acesso em: 1 de setembro de 2015a.

_____. Documentation. Auxiliary Programs. Disponível em <https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.3.0/AuxiliaryPrograms.pdf>. Acesso em 1 de setembro de 2015b.

_____. Documentation. Input Output Reference. Disponível em <https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.3.0/InputOutputReference.pdf>. Acesso em 1 de setembro de 2015c.

_____. Documentation. Engineering Reference. Disponível em <https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.3.0/EngineeringReference.pdf>. Acesso em 1 de setembro de 2015d.

_____. Documentation. Getting Started with EnergyPlus. Disponível em <https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.3.0/GettingStarted.pdf>. Acesso em 1 de setembro de 2015e.

_____. Documentation. Tips & Tricks for Using EnergyPlus. Disponível em <https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.3.0/Tips_and_Tricks_Using_EnergyPlus.pdf>. Acesso em 1 de setembro de 2015f.

_____. National Renewable Energy Laboratory (NREL). User documentation. Disponível em: <<http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/>>. Acesso em: 1 de setembro de 2015g.

_____. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 1 de setembro de 2015h.

_____. Office of Management. History. Disponível em: <<http://energy.gov/management/office-management/operational-management/history>>. Acesso em: 1 de setembro de 2015i.

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DE ACABAMENTOS

Ambiente	Especificação de revestimentos / acabamentos				
	Piso	Rodapé	Parede	Teto	Esquadrias
Sala	Piso cerâmico ref. branco 35x35cm	Rodapé cerâmico ref. branco h=7cm	Pintura látex acrílico ref. Branco sobre gesso liso	Textura látex acrílico ref. Branco sobre laje	Kit porta pronta em madeira ref. Branco; Janela em ferro ref. 2 fls de correr de vidro com bandeira fixa em vidro
Dormitórios	Piso cerâmico ref. branco 35x35cm	Rodapé cerâmico ref. branco h=7cm	Pintura látex acrílico ref. Branco sobre gesso liso	Textura látex acrílico ref. Branco sobre laje	Kit porta pronta em madeira ref. Branco; Janela em ferro ref. 2 fls de venezianas brancas de correr c+ 1 fls de vidro de correr
Cozinha	Piso cerâmico ref. branco 35x35cm	-	Azulejo cerâmico ref. branco 35x35cm	Textura látex acrílico ref. Branco sobre laje	-
Área de serviço	Piso cerâmico ref. branco 35x35cm	-	Azulejo cerâmico ref. branco 35x35cm	Textura látex acrílico ref. Branco sobre laje	Janela em ferro ref. 2 fls de correr
Banho	Piso cerâmico ref. branco 35x35cm	-	Azulejo cerâmico ref. branco 35x35cm	Textura látex acrílico ref. Branco sobre laje	Janela em ferro ref. 1 fls max-ar de vidro fantasia

ANEXO B – IRRADIÂNCIA SOLAR

Mês	I_0 (W/m ²)	Equação do tempo (min.)	Declinação (graus)	A (W/m ²)	B	C
Janeiro	1416	-11,2	-20,0	1202	0,141	0,103
Fevereiro	1401	-13,9	-10,8	1187	0,142	0,104
Março	1381	-7,5	0,0	1164	0,149	0,109
April	1356	1,1	11,6	1130	0,164	0,120
Maio	1336	3,3	20,0	1106	0,177	0,130
Junho	1336	-1,4	23,45	1092	0,185	0,137
Julho	1336	-6,2	20,6	1093	0,186	0,138
Agosto	1338	-2,4	12,3	1107	0,182	0,134
Setembro	1359	7,5	0,0	1136	0,165	0,121
Outubro	1360	15,4	-10,5	1166	0,152	0,111
Novembro	1405	13,8	-19,8	1190	0,144	0,106
Dezembro	1417	1,6	-23,45	1204	0,141	0,103