

ALEXANDRE CYPRESTE AMORIM

**ANÁLISE DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO ZONEAMENTO
BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO A PARTIR DO ESTUDO DE CASO DE
COLATINA - ES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A524a
2015 Amorim, Alexandre Cypreste, 1970-
Análise de métodos de determinação do zoneamento
bioclimático brasileiro a partir do estudo de caso de
Colatina - ES / Alexandre Cypreste Amorim. - Viçosa, MG,
2015.

xv, 113f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Joyce Correna Carlo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Arquitetura e clima - Colatina (ES) - Processamento
de dados. 2. Arquitetura e conservação de energia - Colatina
(ES). 3. Bioclimatologia. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Programa de
Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. II. Título.

CDD 22. ed. 720.47098152

ALEXANDRE CYPRESTE AMORIM

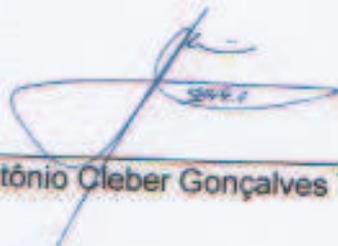
**ANÁLISE DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO ZONEAMENTO
BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO A PARTIR DO ESTUDO DE CASO DE
COLATINA - ES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

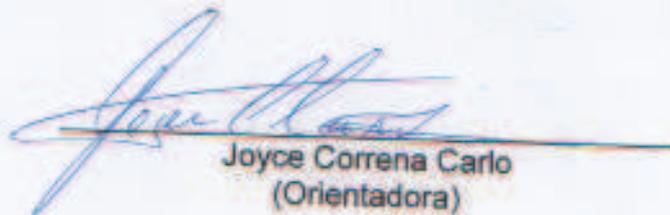
APROVADA: 19 de março de 2015.



Claudia Mariz de Lyra Barroso Krause



Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá



Joyce Correna Carlo
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

Ao professor Maurício Roriz

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Aurea, pelo apoio constante e uma das grandes responsáveis pelo caminho que percorri até aqui.

A minha esposa, Sirana, pelo apoio incondicional em todos os momentos e decisões que exigiram sacrifícios de ambas as partes para que este trabalho se concretizasse.

A minha orientadora e professora Joyce, pelo aprendizado, pelas conversas, e pela sua inesgotável energia nas orientações.

Aos professores Claudia Krause e Antônio Tibiriçá, que gentilmente aceitaram participar e contribuir na avaliação desta pesquisa.

Ao amigo e professor Agostinho, pelas conversas e provocações sobre o tema, que foram o início deste trabalho.

Aos amigos do mestrado pela convivência e aprendizado, em especial Liliane, Sandro e Lorena que foram companhias constantes nestes momentos longe de minha família e que muito contribuíram em todo este processo.

Aos amigos do Latecae pela companhia e momentos de conversas sobre os mais variados temas de nossa área, em especial ao Ítalo por todo o conhecimento e auxílio na confecção dos arquivos climáticos.

Aos companheiros de EGGMAU pelas conversas acalentadoras e animadas nas noites de sexta-feira, quando esquecíamos um pouco a distância dos familiares em prol de nossas pesquisas e, por me mostrarem que as palavras de John e Paul (não os apóstolos, mas os Beatles) fazem todo sentido - *"I get by with a little help from my friends, I get high with a little help from my friends"*.

Aos professores do DAU/UFV pelos conhecimentos compartilhados, em especial à Luciana pela amizade construída.

A toda equipe da secretaria do PPGAU/UFV.

Ao Incaper, em especial a Jose Geraldo e Bruce Pontes, pelos dados climáticos fornecidos para esta pesquisa.

Aos amigos Vitor e Cristina que me receberam quando cheguei a Viçosa e pela companhia nestes anos.

Ao professor Roriz, por toda a atenção dispensada por e-mail e pessoalmente durante o ENCAC 2013 em Brasília.

Aos amigos e companheiros do Ifes, em especial a Georgia pela primeira leitura de meu projeto de pesquisa, Renata e Eliana pelas companhias virtuais ao longo destes anos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Queremos ter certezas e não dúvidas, resultados e não experiências, mas nem mesmo percebemos que as certezas só podem surgir através das dúvidas e os resultados somente através das experiências.”

Carl Gustav Jung

Sumário

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XII
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	6
1.1.1 <i>Geral</i>	6
1.1.2 <i>Específicos</i>	7
1.2 HIPÓTESES	7
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8
2. CRIAÇÃO DE ARQUIVO CLIMÁTICO PARA REGIÃO DE COLATINA/ES	11
2.1 INTRODUÇÃO	12
2.2 OBJETIVO	16
2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
2.4 LOCAL DA OBTENÇÃO DOS DADOS	16
2.5 TRATAMENTO DE DADOS	19
2.6 SELEÇÃO DO ANO CLIMÁTICO PARA PROJETO E SIMULAÇÃO	23
2.7 DEFINIÇÃO DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE DADOS COMPLEMENTARES.....	24
2.8 CÁLCULO DE PARÂMETROS COMPLEMENTARES NÃO MEDIDOS PELA ESTAÇÃO DO INCAPER	26
2.8.1 <i>Temperatura de Bulbo Úmido</i>	26
2.8.2 <i>Entalpia</i>	26
2.8.3 <i>Radiação Solar</i>	26
2.8.4 <i>Temperatura de ponto de orvalho</i>	29
2.9 CONFECÇÃO DE ARQUIVOS PARA PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO.....	30
2.10 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
2.10.1 <i>Carta Bioclimática</i>	31
2.10.2 <i>Análise de TBS e Conforto</i>	32
2.10.3 <i>Frequência de ocorrência entre ventos</i>	34
2.10.4 <i>Radiação Global Horizontal</i>	36
2.11 CONCLUSÕES.....	37
2.12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
3. ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO	42

3.1	INTRODUÇÃO	43
3.2	OBJETIVO	45
3.3	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO – NBR15220/2005	45
3.4	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO – REVISÃO 2010/2014.....	48
3.5	MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO BIOCLIMÁTICA	56
3.5.1	<i>Método da NBR 15220</i>	56
3.5.2	<i>Método das propostas de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro...</i>	58
3.5.3	<i>Método ASHRAE Standard 90.1/2007</i>	63
3.6	DISCUSSÃO E RESULTADOS	64
3.6.1	<i>Análise pela NBR 15220</i>	64
3.6.2	<i>Análise pelas propostas de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro</i> .	67
3.6.3	<i>Análise pela ASHRAE Standard 90.1/2010</i>	72
3.7	CONCLUSÕES.....	73
3.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
4.	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL....	78
4.1	INTRODUÇÃO	79
4.2	OBJETIVO	83
4.3	DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO MONITORADA	84
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS	86
4.4.1	<i>Períodos de Monitoramento</i>	86
4.4.2	<i>Variáveis Monitoradas</i>	86
4.5	CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE COLATINA/ES	87
4.6	CASO BASE CALIBRAÇÃO	88
4.6.1	<i>Configuração do modelo</i>	89
4.6.2	<i>Preparação do arquivo climático para calibração</i>	91
4.7	PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO	93
4.8	SIMULAÇÕES	96
4.9	RESULTADOS	100
4.10	CONCLUSÃO.....	105
4.11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
5.	CONCLUSÃO GERAL	110
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	112
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	113

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Mapa de Colatina e municípios vizinhos	4
Figura 2.1 - Mapa do ES com as Estações Meteorológicas	14
Figura 2.2 - Distância entre as cidades de Colatina e Marilândia	17
Figura 2.3 - Estação convencional Incaper	18
Figura 2.4 - Estação automática do Incaper.....	18
Figura 2.5 - Estação automática e convencional do Incaper.....	18
Figura 2.6 - Estação automática Incaper	18
Figura 2.7 - Gráfico com percentual de horas faltantes no ano de 2010	20
Figura 2.8 - Gráfico contendo o tratamento dos dados ausentes, completando os dados de dias anteriores.....	22
Figura 2.9 - Sobreposição de Temperatura de ponto de orvalho pelos dois métodos de calculo	25
Figura 2.10 - Carta Bioclimática com TRY para a cidade de Colatina/ES	31
Figura 2.11 - Carta Bioclimática com TMY2 para a cidade de Colatina/ES.....	31
Figura 2.12 - Temperatura de bulbo seco relacionada aos limites de conforto de Givoni – TRY	32
Figura 2.13 - Temperatura de bulbo seco relacionada aos limites de conforto de Givoni – TMY2	33
Figura 2.14 - Frequência de ocorrência de TBS ao longo do ano - TRY	34
Figura 2.15 - Frequência de ocorrência de TBS ao longo do ano – TMY2.....	34
Figura 2.16 - Frequência de ocorrência de direção de ventos– TRY.....	35
Figura 2.17 - Frequência de ocorrência de direção de ventos – TMY2	35
Figura 2.18 - Gráfico das Médias mensais de Radiação Global Horizontal.....	37
Figura 3.1 - Informações sobre Colatina/ES segundo a classificação o programa ZBBR.....	47
Figura 3.2 - Superposição do mapa de potencial eólico sobre o mapa da Zona 8 da ABNT.....	49
Figura 3.3 - Carta Bioclimática adaptada e suas estratégias de condicionamento.	57

Figura 3.4 - Representação gráfica do clima.....	58
Figura 3.5 - Carta bioclimática para Colatina/ES com base nas normas climatológicas do arquivo TMY2.....	65
Figura 3.6 - Carta Bioclimática de Colatina/ES sobre adaptação Carta Givoni. ..	65
Figura 3.7 - Mapa do ES com cidades da NBR15220-3	66
Figura 4.1 - Planta Unidade Habitacional (UH)	84
Figura 4.2 - Planta do edifício com indicação da UH monitorada	84
Figura 4.3 - Localização edificação	85
Figura 4.4 - Fachada da edificação onde se localiza a Unidade Habitacional (UH)	86
Figura 4.5 - Zonas térmicas do modelo da UH.....	89
Figura 4.6 - Modelo gerado Sketchup com a UH estudada em destaque	89
Figura 4.7 - Correlação entre TBS externa e estação Incaper/ medição local para inverno.....	92
Figura 4.8 - Diagrama metodológico de simulação e análise	98

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Percentual de dados registrados pela estação	21
Tabela 2.2 - Relação dos períodos com falhas nos dados	21
Tabela 2.3 - Análise de dados para confecção do TRY	23
Tabela 2.4 - 1ª classificação dos anos de acordo com a metodologia descrita por Stamper (1977, apud Pereira et al., 2004)	23
Tabela 2.5 - Análise de dados para confecção do TMY2.....	24
Tabela 2.6 - Meses que representam o TMY2 para Colatina/ES.....	24
Tabela 2.7 - Comparação de frequência de ocorrência de ventos por orientação, em porcentagem– TRY x TMY2	35
Tabela 2.8 - Médias mensais de radiação global horizontal	36
Tabela 3.1 - Critérios para Classificação dos Climas pela Proposta 03	62
Tabela 3.2 - Critérios para Classificação dos Climas pela Proposta 04	63
Tabela 3.3 - Resultados para Colatina/ES com base nos arquivos climáticos TMY2 e TRY	68
Tabela 3.4 – Zonas bioclimáticas de Colatina/ES segundo Proposta 01	68
Tabela 3.5 – Parte da tabela de classificação dos municípios brasileiros, segundo a Proposta 01 com critérios para definição das Zonas Bioclimáticas ...	69
Tabela 3.6 – Graus hora de frio e calor e respectiva Zona Bioclimática segundo a proposta 02	69
Tabela 3.7 - Classificação dos Climas segundo a Proposta 03 da revisão do ZBB.	70
Tabela 3.8 - Classificação dos Climas segundo a Proposta 04 da revisão do ZBB.	71
Tabela 3.9 - Classificação dos Climas segundo a ASHRAE Standard 90.1	72
Tabela 4.1 - Resultados das simulações comparadas com as medições	95
Tabela 4.2 - GhR obtidos nas simulações e a relação de cidades das cidades analisadas com os GhR de Colatina_TMY.....	101
Tabela 4.3 - Graus hora de calor e frio dos arquivos climáticos	102

Tabela 4.4 - GhR obtidos nas simulações e a relação com os GhR do TMY2 de Colatina segundo as propostas 01 a 04 de revisão do ZBB.104

Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Modelo de cabeçalho de dados usados no Analysis SOL-AR e Analysis Bio.....	30
Quadro 2.2 - Modelo de cabeçalho de dados usados no EnergyPlus	30
Quadro 2.3 - Comparação das principais estratégias bioclimáticas – TRY x TMY2	31
Quadro 3.1 - Dados dos municípios	48
Quadro 3.2 - Velocidade dos ventos na altura das aberturas do edifício, a 1,5m e 6m do solo.....	50
Quadro 3.3 - Equivalência de nomenclatura entre propostas de revisão do ZBB existentes no LabEEE e neste trabalho.....	51
Quadro 3.4 - Fontes dos dados adotados para proposta 01 de revisão.....	52
Quadro 3.5 - Fontes dos dados adotados de Médias Mensais de Temperaturas Máximas (Tmax) e Mínimas (Tmin).....	53
Quadro 3.6 - Primeira hipótese de critérios para definição das Zonas Bioclimáticas.	54
Quadro 3.7 - Fontes dos Dados Climáticos da proposta 03.	54
Quadro 3.8 - Fontes dos Dados Climáticos da proposta 04.	55
Quadro 3.9 - Terminologia usada por RORIZ (2012a) para revisão	59
Quadro 3.10 - Proposta 01 com critérios para definição das Zonas Bioclimáticas	60
Quadro 3.11 - Definição das 16 Zonas Bioclimáticas.....	61
Quadro 3.12 - Terminologias usadas na proposta 03	61
Quadro 3.13 - Definição das Zonas Climáticas Internacionais pela ASHRAE Standard 90.1	64
Quadro 3.14 - Critérios para classificação bioclimática.....	67
Quadro 4.1 - Configuração do modelo de calibração/ simulação.	90
Quadro 4.2 - Características das cidades analisadas	97
Quadro 4.3 - Quadro com materiais usados nas simulações e suas respectivas propriedades térmicas.....	99

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AMA - Amplitude Média Anual.

Amp - Amplitude Média mensal.

ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

ASHRAE - International Technical Society Organized to Advance The Arts And Sciences Of Heating, Ventilation, Air-Conditioning And Refrigeration.

C_T - Capacidade Térmica.

DM - Diferença Média.

dpA - Desvio Padrão de Amplitude.

dpT - Desvio Padrão de Temperatura média.

EQM - Erro Quadrático Médio.

GhC - Graus-horas de calor

GhF - Graus-horas de frio.

GhR – Graus-hora de resfriamento

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Incaper - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural.

Inmet - Instituto Nacional de Meteorologia.

NASA - National Aeronautics and Space Administration.

RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações para edifícios comerciais, de serviços e públicos.

RTQ-R - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações para edifícios residenciais.

TBS - Temperatura de Bulbo Seco.

TMA - Temperatura Média Anual.

TMY - Typical Meteorological Year (Ano Meteorológico Típico).

TRY - Test Reference Year (Ano Climático de Referência).

U - Transmitância Térmica.

α - Absortância solar.

RESUMO

AMORIM, Alexandre Cypreste, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2015. **Análise de métodos de determinação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro a partir do estudo de caso de Colatina – ES.** Orientadora: Joyce Correna Carlo.

O desempenho térmico e energético de uma edificação é relacionado diretamente com as condições climáticas, representadas principalmente pela temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade e radiação solar, além de outras variáveis. Neste contexto, a utilização de dados climáticos é essencial para que profissionais da área de projeto possam conceber edificações dentro do conceito de arquitetura bioclimática. No Brasil, onde as edificações, em geral, representam 52% do consumo de energia elétrica, a concepção de edificações levando em conta o conhecimento das características climáticas onde estas serão executadas torna-se importante ferramenta para isto. Trabalhar com a integração entre edificação e clima desde a concepção do edifício é condição favorável a que se tenha um desempenho ambiental adequado, como também um bom nível de conforto aos seus usuários. O desenvolvimento e conhecimento de zonas bioclimáticas possibilita a concepção de edifícios que possuam estratégias direcionadas para construções que sejam adequadas a cada zona em particular. Nesta ótica, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adequação dos componentes construtivos de paredes na cidade de Colatina/ES, conforme critérios de desempenho propostos no RTQ-R, de acordo com os métodos de determinação do zoneamento bioclimático brasileiro (atual e revisão). O método consistiu na obtenção de dados para confecção de arquivos climáticos (TRY e TMY2) para Colatina/ES. Com os arquivos climáticos criados, identificou-se o enquadramento bioclimático adequado para Colatina/ES de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220-03 e de suas propostas de revisão. Depois, para análise do desempenho de componentes construtivos, uma edificação real escolhida na cidade de Colatina/ES foi simulada no EnergyPlus, aplicando-se os arquivos climáticos de Colatina/ES, Vitória/ES e Linhares/ES e Aimorés/MG. Os resultados mostraram que pelo atual zoneamento, Colatina/ES é classificada como ZB8, assim como Vitória e Linhares. Pelas propostas de revisão, a cidade de Colatina/ES poderia ser classificada como uma zona diferente de todas as outras ou na mesma zona de

Aimorés/MG, dependendo da proposta de revisão do Zoneamento, demonstrando que a escolha do método de revisão pode apresentar resultados bem diferentes em termos de classificação. Ao se analisar os resultados por método de simulação, o desempenho dos componentes construtivos demonstraram uma proximidade com a proposta 03 de revisão do Zoneamento Bioclimático, na qual Colatina/ES não se insere em nenhuma zona bioclimática das outras cidades analisadas.

ABSTRACT

AMORIM, Alexandre Cypreste, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2015. **Analysis of Determination Methods for Brazilian Bioclimatic Zoning based on the case study of the city of Colatina, ES.** Adviser: Joyce Correia Carlo.

The thermal performance and energy use in buildings is directly related to weather conditions, mainly represented by air temperature, wind and, humidity, solar radiation, and other variables. In this context, weather history is essential for professionals who designs buildings under the concept of bioclimatic architecture. In Brazil, where buildings represent 52% of electricity consumption turns the knowledge of weather conditions into, an important tool for civil constructions. An integration between a weather-designed construction and local weather allows an adequate environmental performance, as well as a good comfort level for users. The development and knowledge of bioclimatic zones allows the design of buildings with specific properties for each particular zone. Using this concept as a starting point, this study aims to evaluate the suitability of non load-bearing masonry wall of buildings in the city of Colatina (Espírito Santo State), according to RTQ-R proposed performance criteria in RTQ-R, considering Brazilian Bioclimatic Zoning (current and review proposals) method. The method consists in obtaining weather data for creating typical weather year files (test reference year - TRY and typical meteorological year - TMY) to the city of Colatina. From these weather files and according to Brazilian Bioclimatic Zoning, it was stated in which bioclimatic zone the city of Colatina belonged. Then, in order to analyse building's walls performance, thermal models were simulated in EnergyPlus program, considering, an local residential building in Colatina,. The following cities' weather files were applied: Colatina, Vitória, Linhares, and Aimorés. Results indicated that for the current bioclimatic zoning, Colatina is classified as ZB8, as well as Vitoria and Linhares. By review proposals, the city of Colatina could be classified in a different bioclimatic zone or in the same bioclimatic zone of Aimorés. When analyzing the results by simulation method, the performance of non load-bearing masonry wall components demonstrate that Colatina is not included in the expected Bioclimatic Zone.

1. INTRODUÇÃO

O ser humano vem, desde a pré-história, buscando criar novas condições para sua habitação, modificando o ambiente construído ou natural (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007). No início, a caverna foi seu refúgio para abrigo do sol e da chuva. Assim, mesmo que de forma intuitiva, ele aprendia a se proteger das agressões do meio, das intempéries e dos animais, buscando segurança e conforto (RUAS, 1999). O homem usava o clima e suas variações a seu favor ao observar as estações para obter o máximo de conforto térmico possível de se alcançar.

Porém, apesar do conceito de arquitetura bioclimática não ser recente, percebe-se que mesmo hoje, no início do séc. XXI, muitos projetos não refletem esta preocupação com o meio. O ato de construir não se encontra dissociado dos riscos de impactos ambientais tendo em vista que, inevitavelmente, o processo de construção interfere no meio ambiente, desequilibrando o ecossistema local e todo o envoltório sensitivo humano. O urbanismo e a arquitetura precisam ser adequados ao clima local para que se possa construir espaços capazes de dar condições de conforto ao homem.

Tendo como base o paradigma do desenvolvimento sustentável, a etapa de planejamento do projeto de arquitetura requer a adoção de critérios projetuais visando à adequação ao clima, e entre arquitetura e meio ambiente, exigindo dos projetistas a adoção de posturas ambientais na criação de espaços que satisfaçam as necessidades e expectativas dos usuários com o menor impacto sobre o meio. Edificações concebidas antes da revolução industrial tinham, por parte dos projetistas, um compromisso com os condicionantes climáticos impostos pelo meio. Porém, com a evolução dos sistemas de iluminação e climatização artificial tem se observado, da parte de alguns projetistas, uma desvinculação dos condicionantes climáticos, fazendo com que a edificação seja concebida partindo de uma maior liberdade formal e, por consequência, as questões climáticas locais têm sido em muitos casos, deixadas de lado. Este processo acarreta em construções com custos operacionais mais elevados e dependentes destes novos sistemas artificiais de controle lumínico e térmico dos ambientes internos (CARTANA, 2006).

Considerando-se todas as variáveis que podem afetar o conforto térmico e a questão de conservação de energia nos edifícios, as propriedades termofísicas da envoltória são importantes porque separam o ambiente exterior e interior (PEREIRA; GHISI, 2011), permitindo ao usuário maior condição de conforto com melhor desempenho da edificação.

Neste raciocínio, Yoshida (2006) afirma que a questão da economia de energia como fator importante na qualidade das habitações evidenciou-se com o início da crise energética mundial no início dos anos 1970. Com a crise energética de 2001 no Brasil, o país passou a adotar várias ações que tinham por objetivo conservar e estimular o uso racional de energia nas edificações, para que não fosse preciso investir apenas no aumento da geração de energia hidroelétrica (sua principal matriz energética) e nem na implantação de outras fontes de energia (renováveis ou não)¹. “As exigências atuais relativas à conservação de energia e conforto humano apontam para projetos de edificações que apresentem um desempenho global adequado” (FONTANELLA; SOUZA, 2009, p. 633).

Várias ações públicas referentes à conservação de energia foram implementadas desde então, para que as edificações pudessem oferecer melhores condições de desempenho térmico ao usuário sem, contudo, abrir mão de possibilitar reduzir o consumo de energia. Dentre as principais ações pode-se citar a inclusão dos edifícios comerciais, de serviços, públicos e residenciais no Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro. Os critérios para avaliação estão nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C para edifícios comerciais, de serviços e públicos (BRASIL, 2010) e RTQ-R (BRASIL, 2012) para edificações residenciais, base do subprograma conhecido como PBE Edifica.

Vale ressaltar que, mesmo antes do conceito de eficiência energética se intensificar no Brasil, a Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) já vinha desenvolvendo trabalhos que buscavam iniciar um processo de normatização referente ao desempenho térmico para habitações de interesse social, desde 1988, por intermédio do Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. Deste

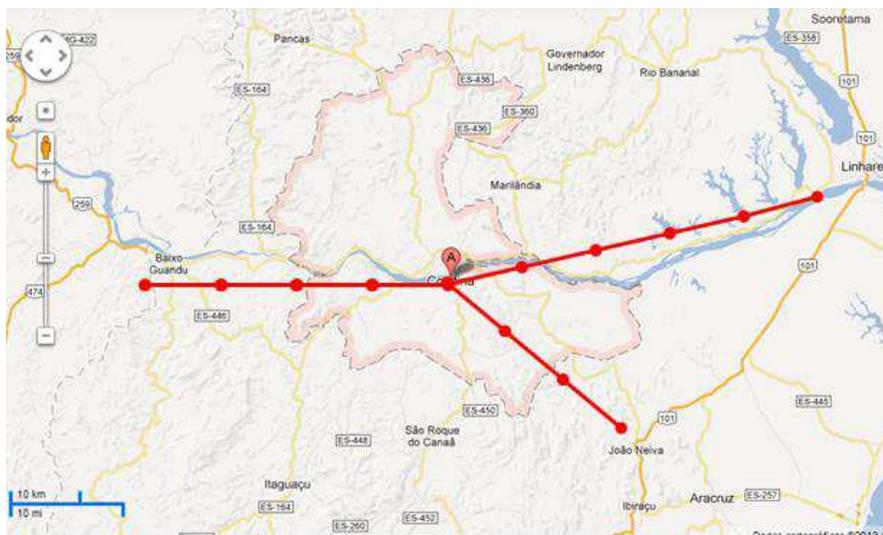
¹ Apesar de o intuito original da proposta ser a diminuição do consumo e não se precisar investir tanto em aumento de oferta, isto não aconteceu plenamente. Em reportagens, a Abiape (Associação Brasileira dos Investidores em Autoprodução de Energia) afirma que no ano de 2013, 40% do volume de energia planejado não entrou efetivamente em circulação por atrasos em projetos de transmissão e em processos de licitação e, em contrapartida, a demanda por energia cresceu em 11%.

trabalho, resultou o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, que é apresentado como Parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005). Porém, desde sua publicação, alguns questionamentos têm surgido no tocante ao limite de utilização, geográfica e tipológica, e sua real adequabilidade, posto que o território brasileiro é muito extenso e com particularidades regionais.

Desde então, vários pesquisadores passaram a defender a necessidade de estudos específicos para os índices e zonas de conforto térmico-ambiental devido à diversidade climática do território brasileiro (BRASIL, 2005; RORIZ, 2012). Um dos principais argumentos para a revisão refere-se aos fatores regionais que devem ser incluídos no estabelecimento dos parâmetros de desempenho para as edificações. Há uma recorrente reprodução de tipologias arquitetônicas sem que as mesmas demonstrem uma preocupação com as especificidades dos climas regionais, fazendo com que uma mesma tipologia seja adotada em várias cidades com características bem distintas (BRASIL, 2005).

Um dos exemplos que se pode citar é o caso da cidade de Colatina/ES. A NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) classifica a cidade de Colatina/ES como Zona Bioclimática 8, a mesma de Belém/PA, assim como Vitória/ES e Salvador/BA, que são outros exemplos de cidades que fazem parte desta Zona Bioclimática. No entanto, a cidade de Colatina está bem próxima, menos de 50 km (figura 1.1), da cidade de Aimorés/MG, localizada na divisa com o estado do Espírito Santo e que, pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220 (ABNT, 2005), está inserida na Zona Bioclimática 5. As cidades de Colatina e Aimorés possuem praticamente a mesma latitude e altitude, que segundo o IBGE (2013), são: latitude de 19°29' S e altitude de 68,90 m, e latitude de 19°29' S e altitude de 82,47m, respectivamente.

Figura 1.1 - Mapa de Colatina e municípios vizinhos



Fonte: alterado sobre <https://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl>

Pelo atual zoneamento, quase todo o estado do Espírito Santo é classificado como Zona Bioclimática 8, sendo que pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) somente as cidades de Conceição da Barra, Linhares, São Mateus, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim aparecem na relação das 330 cidades, a partir das quais os climas foram classificados. As demais cidades do estado do Espírito Santo foram classificadas por métodos de interpolação pela sua localização geográfica. Com isto, o estado possui cidades com características climáticas adversas, mas que se encontram situadas numa única Zona Bioclimática.

Assim como boa parte das cidades do Espírito Santo, Colatina não possui dados climáticos coletados em estação no município, razão pela qual a definição de sua zona bioclimática seguiu o método de interpolação. Entretanto, o município de Marilândia/ES se situa próximo a Colatina/ES, a aproximadamente 17 km, e possui uma estação meteorológica automática do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) em operação desde 2010, que pode contribuir com a classificação climática desta região específica.

Segundo Roriz (2012), a NBR 15220-3 surgiu especificamente para tratar de Habitações Unifamiliares de Interesse Social, mas passou a ser usada para qualquer tipo de edificação devido à ausência de outro regulamento de normatização. No entanto, o Brasil possui, desde 2010, o RTQ-R, que trata do desempenho de todo tipo de edificações residenciais, o que o torna um instrumento mais abrangente para

avaliação de desempenho das edificações e que, assim como a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), também trata de parâmetros diferenciados para cada Zona Bioclimática.

Outra norma existente no Brasil, e que trata de desempenho de edificações habitacionais é a recém revisada NBR 15575 (ABNT, 2013). Em seu escopo, esta norma traz algumas indicações da NBR 15220 (ABNT, 2005), como o Zoneamento Bioclimático. Para cada zona climática, ela define um dia típico de inverno e um dia típico de verão, sendo que estes dias típicos foram estabelecidos com base na temperatura do ar, na umidade relativa do ar, na velocidade do vento e na radiação solar incidente para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano, respectivamente, segundo a média observada num número representativo de anos.

A NBR 15575 (ABNT, 2013), assim como os RTQs (BRASIL, 2010; BRASIL, 2012), preveem a avaliação de desempenho térmico através de simulações pelo software EnergyPlus. Por esta norma, deve-se simular quando a transmitância térmica e/ou capacidade térmica forem insatisfatórias segundo os critérios e métodos estabelecidos nas suas partes 4 e 5. Porém, Sorgatto, Melo e Lamberts (2013) analisaram o método de simulação de desempenho térmico da NBR 15575/2013 e constataram que o método da norma apresenta algumas limitações na avaliação por meio dos dias típicos de inverno e verão, pois a simulação pode apresentar diferentes resultados, dependendo de como os dias típicos de inverno e verão são configurados. Foi proposto, então, que a avaliação do desempenho térmico da edificação seja feito pelo método dos graus-hora de resfriamento e aquecimento, mesmo método adotado pelo RTQ-R (BRASIL, 2012) e nesta pesquisa.

Por ser recente, o processo de certificação das habitações pelo RTQ-R (publicado em 2010) se apresenta como uma realidade próxima, porém tanto a indústria da construção civil, quanto os seus profissionais, não estão devidamente preparados para pensar as edificações dentro de um panorama de conforto com máxima eficiência energética. Nesse aspecto, Cartana (2006) já afirmava em sua pesquisa que entre os profissionais que foram entrevistados, boa parte apresentava mais facilidade na compreensão de fenômenos que são exemplificados visualmente, sendo o comportamento da insolação um dos exemplos desta situação. Porém, quando se trata de fenômenos que necessitam de maior compreensão dos princípios físicos

envolvidos no processo, como as propriedades térmicas dos elementos construtivos, foi identificado um nível de importância atribuído pelos profissionais entrevistados.

O RTQ-R (BRASIL, 2012) é um importante instrumento de avaliação sobre desempenho das edificações, e assim como a NBR 15575/2013, faz uso da classificação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro para estabelecer níveis de eficiência para cada zona. Porém, o atual Zoneamento Bioclimático passa por um processo de revisão quanto à classificação das zonas bioclimáticas que não tratará, em um primeiro momento, sobre o desempenho térmico das edificações, deixando esta abordagem para uma etapa posterior. A importância de utilizar instrumentos que possuam, em seu escopo, métodos para se fazer este tipo de avaliação, baseiam-se em Roriz (2014, p. 01), que afirma:

O objetivo atual se limita a estabelecer um Mapeamento dos Climas no Brasil. Na próxima etapa e por meio de simulações computacionais, poderão ser definidos Zoneamentos Bioclimáticos específicos para diferentes tipologias construtivas (habitação, comércio, indústria, etc.) e identificadas as respectivas estratégias construtivas a serem recomendadas.

Os resultados desta pesquisa contribuirão para se instituir parâmetros de desempenho, bem como definir estratégias de projeto para Colatina/ES, permitindo que se analise a real adequação do atual Zoneamento Bioclimático Brasileiro para a região e sua inserção nas propostas de revisão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Avaliar quais são as zonas bioclimáticas de Colatina/ES de acordo com os métodos de determinação do zoneamento bioclimático brasileiro, atual e em revisão, e de análises de desempenho térmico dos componentes de paredes com o uso de indicadores do RTQ-R.

1.1.2 Específicos

- I. Criar arquivo climático para a região de Colatina, usando dados da estação automática de Marilândia/ES.
- II. Identificar quais as zonas bioclimáticas de Colatina/ES segundo as diferentes classificações;
- III. Medir e simular o desempenho de uma edificação real, segundo as recomendações construtivas do RTQ-R (BRASIL, 2012) para a cidade de Colatina/ES com o arquivo climático criado.
- IV. Avaliar o desempenho térmico da edificação frente às opções de Zoneamento Bioclimático Brasileiro vigente e das suas propostas de revisão

1.2 Hipóteses

A hipótese geral do trabalho é que a região onde se situa Colatina/ES pode estar inserida em uma Zona Bioclimática não adequada pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), constante na NBR 15220-03/2005, ou que o ZBB não apresenta parâmetros suficientes para definir o clima da região, uma vez que a zona bioclimática de Colatina/ES foi definida pelo método de interpolação de dados devido à ausência de dados meteorológicos locais quando da publicação da NBR 15220-3. Um dos pressupostos iniciais que determinam esta suspeita é o fato de o Zoneamento, desde sua publicação, ser objetivo de questionamentos por profissionais e pesquisadores posto que a ZBB é muito extensa e engloba cidades com características climáticas muito diferentes.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em um total de cinco capítulos, sendo o capítulo 01 constituído de uma breve introdução e justificativa para o desenvolvimento do trabalho, juntamente com os objetivos, hipóteses e premissas básicas.

No capítulo 02 é feita uma discussão sobre arquivos climáticos e sua importância no processo de simulação, com apresentação de obtenção de dados em estação meteorológica, dos processos de tratamento dos dados obtidos e a confecção do arquivo para a região de Colatina/ES. Isto permite análises em programas computacionais para análise bioclimática (AnalysisBio e Analysis SOL-AR), e

programas de simulação termoenergética (EnergyPlus), com dados mais próximos de uma realidade local, e não mais com utilização de arquivos disponíveis apenas para municípios mais distantes.

O capítulo 03 discute, baseado nos arquivos climáticos gerados, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e a inserção da região de Colatina/ES na classificação existente na NBR 15220-03 e das propostas de alteração do referido. Assim, a região estudada foi inserida na discussão sobre processo de revisão com base em dados locais.

O capítulo 04 descreve o processo de simulação, no programa EnergyPlus, de uma edificação existente, comparando os resultados obtidos com as temperaturas medidas no local em dois períodos distintos: verão e inverno. Posteriormente, foram feitas simulações utilizando-se os cálculos de Graus-hora, segundo metodologia descrita no RTQ-R, com os arquivos climáticos de Colatina/ES, Aimorés/MG Vitória/ES e Linhares/ES. Os resultados de graus-hora obtidos com a simulação para as quatro cidades, com utilização de materiais com diferentes transmitâncias térmicas, capacidades térmicas e absorvância solar, possibilitaram verificar o desempenho da edificação em Colatina/ES, e desempenho da mesma edificação para outras cidades já existentes na NBR 15220-3, permitindo análise por comparação de desempenho.

Cada um destes três últimos capítulos apresenta uma estrutura de artigo contendo Introdução, Objetivo, Material e Método, as Discussões e Conclusões.

O capítulo 05 apresenta as principais conclusões da pesquisa, e as sugestões para futuros trabalhos que podem ser desenvolvidos a partir dos resultados desta dissertação.

1.4 Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15220-3** - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais - Desempenho : Parte 1 : Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2013.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. EDUFAL. Maceió, 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. Eficiência energética em habitações de interesse social. Brasília, 2005. 113 p. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/132/titulo/Cadernos+MCidades+9+-+Eficiencia+Energetica+em+Habitacoes+de+Interesse+Social>>. Acesso em: 22 jul. 2014.

BRASIL. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria nº 372, **de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria nº 18, **de 16 de janeiro de 2012**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

CARTANA, R. P. **Oportunidades e limitações para bioclimatologia aplicada ao projeto arquitetônico**: estudo de caso em Florianópolis – SC.. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 2006.

FONTANELLA, M. S.; SOUZA, H. A. de. Avaliação de Índices de Conforto Térmico entre os Universitários na Cidade de Ouro Preto. In: X Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído. Natal, 2009. **Anais...**Natal, ENCAC-ELAC, p.632-641.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE): http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tab_ela1a.shtm. Acesso em 29 de maio de 2013.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, V. 43, p. 3391-3399, 2011.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em 20 de maio de 2013.

RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 3**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2014. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em 23 de julho de 2014.

RUAS, Á. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo – SP. Ministério do trabalho – FUNDACENTRO: Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do trabalho, 1999.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá**, Brasília, n. 12, p. 13-22, 2014.

YOSHIDA, R. **Das Normas em Conforto Térmico ao Projecto de Arquitectura. Estudo de Caso para Edifícios de Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 – Brasil**. (Tese de Doutorado). Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2006.

2. CRIAÇÃO DE ARQUIVO CLIMÁTICO PARA REGIÃO DE COLATINA/ES

RESUMO

A bioclimatologia parte da premissa de que a concepção das edificações deve ser de acordo com o clima local. O desempenho térmico e energético de uma edificação é relacionado diretamente com as condições climáticas, representadas principalmente pela temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade e radiação solar, além de outras variáveis. Desta forma, o tratamento e disponibilização dos dados climáticos são essenciais para que profissionais da área de projeto possam conceber edificações dentro do conceito de arquitetura bioclimática. Porém, na área da meteorologia, os dados climáticos disponíveis em larga escala apoiavam as variadas atividades ligadas à aviação e agricultura e, o uso destes dados em aplicações ligadas a área de arquitetura ou engenharia tem recebido atenção apenas nos últimos 50 anos aproximadamente. Quando o Zoneamento Bioclimático Brasileiro foi publicado, ele se baseou em dados de 330 cidades, sendo que as demais foram classificadas pelo método de interpolação. Porém, desde o início do séc. XXI, o Brasil passou a contar com várias estações automáticas que permitem o tratamento de dados e criação de arquivos para simulações e análises com realidades mais próximas dos locais de estudo. O objetivo deste capítulo é criar arquivos climáticos que representem uma situação mais próxima do clima da cidade de Colatina/ES para o uso em programas computacionais, utilizando dados da estação meteorológica do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). Os métodos adotados foram a obtenção dos dados utilizados, os tratamentos destes dados e, por fim, a confecção dos arquivos climáticos de formato Ano Climático de Referência (TRY) e o Ano Meteorológico Típico (TMY2) para utilização em programas específicos de análises de conforto e simulação. Os dados disponíveis na estação automática do Incaper possibilitou a criação de arquivos climáticos mais próximos à realidade de Colatina/ES, possibilitando análises do clima local, sendo necessário porém que seja feita ainda uma revisão destes arquivos com dados gerados nos próximos anos.

Palavras-chave: arquivos climáticos, dados meteorológicos, desempenho energético.

2.1 Introdução

Segundo Lamotta et al. (2008), a bioclimatologia parte da premissa de que a concepção das edificações deve ser de acordo com o clima local. Tavares e Amorim (2011) afirmam ainda que o desempenho térmico e energético de uma edificação é relacionado diretamente com as condições climáticas, representadas principalmente pelas variáveis: temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade e radiação solar, além de outras variáveis.

A obtenção de bons níveis de conforto em um projeto terá relação direta com as características desse clima (CARLO; LAMBERTS, 2005). Guimarães, Amorim e Carlo (2014) afirmam que o uso de dados climáticos na concepção de projetos arquitetônicos tem grande abrangência, que vai desde as aplicações qualitativas conceituais e tem avançado para análises quantitativas por meio de programas computacionais. Desta forma, o tratamento e disponibilização dos dados climáticos são essenciais para que profissionais da área possam conceber edificações dentro do conceito de arquitetura bioclimática.

As condições climáticas externas como temperatura do ar, umidade e radiação, além de outras variáveis influenciam diretamente o desempenho térmico e energético de uma edificação (TAVARES; AMORIM, 2011). Estas variáveis são importantes para se trabalhar com programas computacionais que simulam o desempenho térmico de edificações, sejam eles para cálculos simplificados de consumo de energia de uma edificação, ou mesmo para simulações termoenergéticas mais complexas (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998). Para CRAWLEY et al. (2008), vários programas computacionais de análise energética e do desempenho ambiental de edifícios foram desenvolvidos nos últimos 50 anos. Existem desde programas mais simples até outros programas mais abrangentes. Estes programas têm como premissa a utilização de dados climáticos locais para gerar resultados e os mais complexos necessitam que os dados climáticos sejam horários, configurando um ano inteiro (8760 horas).

Porém, Barnaby e Crawley (2011) e Pereira et al. (2004) afirmam que na área da meteorologia, historicamente, os dados climáticos disponíveis em larga escala apoiavam as variadas atividades ligadas à aviação e agricultura e, muitas vezes,

ocorria uma inadequação destes dados, por terem sido gerados para subsidiar o planejamento agrícola.

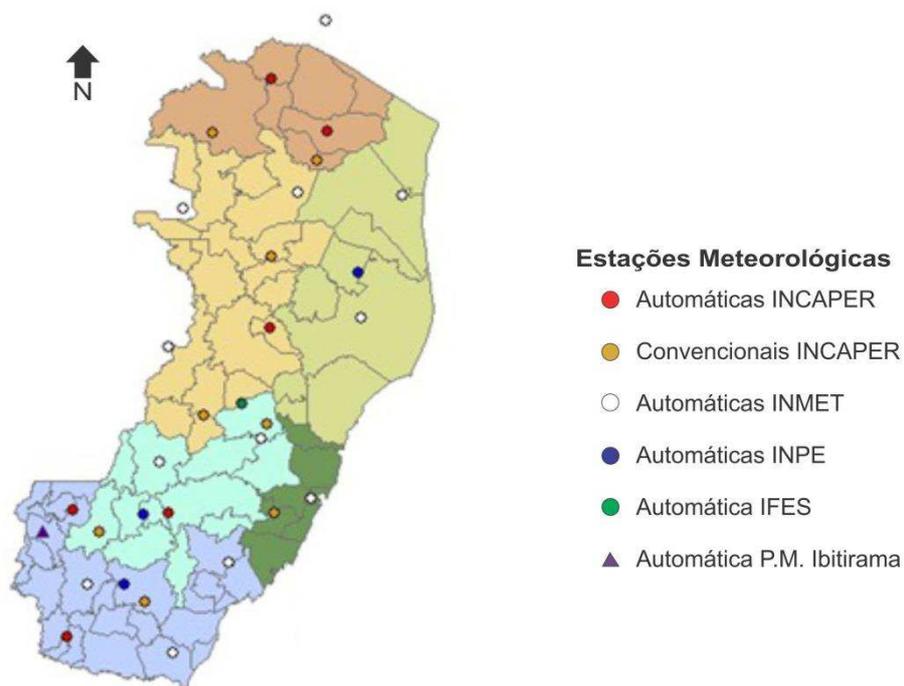
Neste contexto geral, a situação brasileira não era diferente, e a falta de dados meteorológicos tratados de forma adequada dificultava a atuação dos profissionais interessados neste tema, bem como o desenvolvimento de pesquisas nesta área. Porém, iniciativas como as de Goulart, Lamberts e Firmino (1998), Roriz, Ghisi e Lamberts (1999), Pereira et al. (2004), Carlo e Lamberts (2005), e Rossi, Dumke e Krüger (2009) foram mudando este panorama e o tratamento de dados climáticos voltados para simulações e estudos na área das edificações começaram a se fazer presentes.

Entretanto, ainda há que se considerar a discussão sobre a qualidade dos dados que são disponibilizados. Carlo e Lamberts (2005) e Roriz (2012) alertam que a maioria dos dados climáticos registrados no Brasil traz lacunas, nem sempre apresentando a qualidade mínima desejável e, muitas vezes, encontram-se limitações específicas para certa localidade em estudo. Até a década de 2000 havia uma escassez de estações que mediam a radiação solar (CARLO; LAMBERTS, 2005 e PEREIRA et al., 2004). Rossi, Dumke e Krüger (2009) já alertavam que algumas estações apresentavam problemas de distribuição geográfica e, em alguns casos, estas se encontravam inoperantes ou não forneciam todos os dados. Porém, a partir do início da década de 2010, é possível se obter estações de medições de dados climatológicos a um custo mais baixo, sendo exigido apenas aferições e manutenções para se obter dados confiáveis².

Até o início deste século, as estações eram manuais, sendo que as automáticas começaram a entrar em operação a partir dos anos 2000. Utilizando o estado do Espírito Santo como exemplo, podemos ver que atualmente existem 28 estações meteorológicas instaladas, sendo que destas, 20 são estações meteorológicas automáticas que registram dados horários (figura 2.1), tanto as do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) quanto às do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper).

² I Inmet disponibiliza através de um documento denominado NOTA TÉCNICA No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET, onde discrimina as principais informações sobre uma Estação Meteorológica Automática e os procedimentos para se firmar convênios com instituições parceiras a fim de se instalar as estações e garantir a operacionalidade do sistema ao longo dos anos.

Figura 2.1 - Mapa do ES com as Estações Meteorológicas



Fonte: Adaptado de <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=bol>

Ainda assim, segundo Roriz (2012b), boa parte dos dados climáticos registrados no Brasil ainda trazem lacunas ou não apresentam uma qualidade mínima desejável. As Normais Climatológicas do período 1961-1990, “mesmo após serem revistas pelo Inmet, ainda suscitam dúvidas sobre sua plena confiabilidade” (RORIZ, 2012b). Mesmo com os registros de dados horários pelas estações, nem todos os dados que são necessários para as simulações na área de edificações são medidos, exigindo assim cálculos complementares.

Roriz (2012a) ressalta que na realização do zoneamento constante da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) uma equipe de pesquisadores baseou-se apenas em Normais Climatológicas de pouco mais de 300 municípios, sendo os demais classificados por método de interpolação. Já para a primeira proposta de revisão do zoneamento, os dados medidos eram de 610 municípios, correspondendo a 11% dos 5564 municípios existentes no Brasil. A segunda proposta de revisão já contém dados de 1265 cidades. E mais recentemente, Roriz (2013) relata que para propor uma nova revisão, os dados medidos somavam 1131 lugares do território brasileiro, que somados aos dados obtidos através de satélites da NASA, chegaram a 1513. Ainda que alguns

destes lugares não sejam sedes de municípios, os seus dados contribuem para detalhar o mapa climático do país e ajudar no processo de revisão.

Se já houve um avanço no aumento do número de estações, elas ainda podem apresentar lacunas nos dados coletados. Atualmente existem vários trabalhos publicados, tais como Pereira et al. (2004), Carlo, Lamberts (2005), Rossi, Dumke e Krüger (2009), Tavares e Amorim (2011), que descrevem métodos de tratamento dos dados, tanto os existentes quanto os que necessitam de cálculos, para criar um arquivo climático completo para uso em diversos programas de simulação.

Goulart (1993) afirma que Association of Heating, Ventilation, Air-Conditioning and Refrigeration Engineers (ASHRAE) define duas fontes para ano climático que foram desenvolvidas para cálculos de energia e que são utilizados nos Estados Unidos: o Test Reference Year (TRY ou Ano Climático de Referência) e o Typical Meteorological Year (TMY2 ou Ano Meteorológico Típico). A partir dos anos 1970, a ASHRAE encomendou projetos de pesquisa para desenvolver métodos de criação de arquivos climáticos (CHAN et al., 2006). Primeiro foi desenvolvido e aplicado o método TRY, preparado pelo National Climatic Center, e mais tarde o método TMY2, preparado pelo Sandia National Laboratories nos EUA (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

Como complemento para esta base, propõe-se a criação de arquivo climático para Colatina/ES, inexistente até o momento, para apresentar o método detalhado de tratamento dos dados que podem contribuir para a geração de outros arquivos climáticos. A cidade de Colatina/ES, assim como outras cidades brasileiras, não possui uma estação meteorológica instalada dentro de seus limites, porém Marilândia/ES, município vizinho a Colatina/ES e que até os anos 1980 era um distrito desta cidade, possui uma estação meteorológica do Incaper cujos dados só recentemente foram considerados no processo de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, e que servirão de base também para a criação dos arquivos de que trata este capítulo.

2.2 Objetivo

Criar arquivos climáticos que representem uma situação mais próxima do clima da cidade de Colatina/ES para o uso nos programas computacionais EnergyPlus, Analysis Bio e SolAr, utilizando dados da estação meteorológica do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper).

2.3 Procedimentos metodológicos

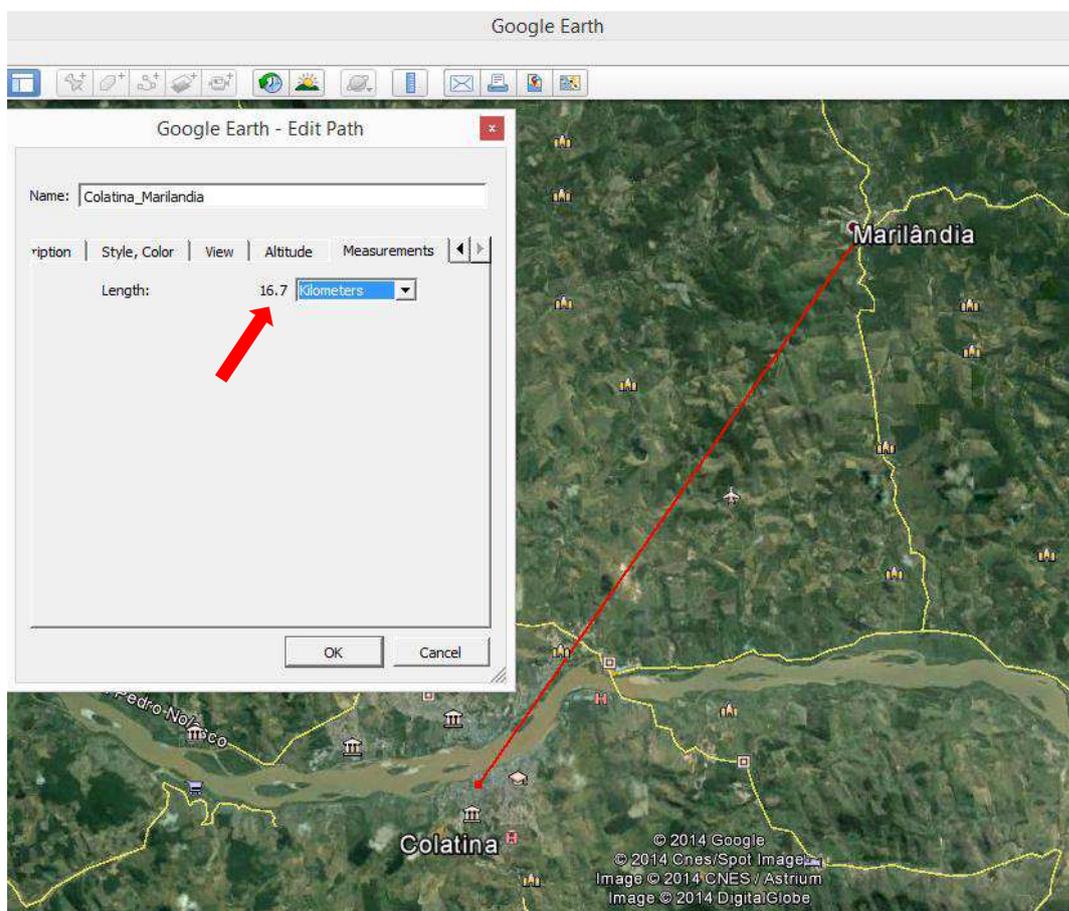
Os materiais e métodos adotados nesta pesquisa para a obtenção de dados e confecção do arquivo climático para Colatina/ES são descritos neste item. Em primeiro lugar, descreve-se o local da obtenção dos dados utilizados, depois como foram feitos os tratamentos destes dados, e por fim a confecção dos arquivos climáticos Ano Climático de Referência (TRY) e o Ano Meteorológico Típico (TMY2). Com estes arquivos criados, geraram-se dados para inserção em programas como o AnalysisBio, e SolAr do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, permitindo-se a construção da carta bioclimática baseada no método de Givoni com as principais estratégias para a região, bem como a Rosa dos ventos. Também foi gerado um arquivo tipo *.epw* para ser usado no programa de simulação termo-energética EnergyPlus, criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir dos programas BLAST e DOE-2. O foco das análises foi garantir a qualidade dos dados referentes aos tratamentos de informações registradas pela estação e dos modelos numéricos adotados para os parâmetros calculados.

2.4 Local da obtenção dos dados

Os dados meteorológicos foram obtidos na estação climática do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), localizada no município de Marilândia/ES. A rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no Espírito Santo, não possui Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática na região de estudo deste trabalho. As estações mais próximas situam-se em Linhares/ES e Vitória/ES, sendo que a primeira encontra-se a 60 km de distância e a segunda a 90 km, aproximadamente.

Desta forma, optou-se pelo uso dos dados da estação do Incaper, por ser a estação mais próxima de Colatina/ES. Na figura 2.2, pode-se ver a distância, em linha reta, entre as cidades de Colatina/ES e Marilândia/ES, altitude de 83m e 106m respectivamente, que é de aproximadamente 17 km. Esta distância equivale a de boa parte das estações climáticas existentes em relação aos grandes centros urbanos, como exemplo de São Paulo e Niterói e a diferença de altitude não impacta de forma significativa nos dados.

Figura 2.2 - Distância entre as cidades de Colatina e Marilândia



Fonte: Google Earth

A Fazenda Experimental do Incaper localizada em Marilândia/ES conta com duas estações de medição. Uma é não automática (figura 2.3), existente desde a década de 1970 que coleta dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar e precipitação, registrados em 03 horários distintos ao longo do dia (9h, 15h e 21h). A segunda é uma estação meteorológica automática, modelo Vaisala HydroMet™ System MAWS100 (figuras 2.4, 2.5 e 2.6). Estas estações estão instaladas na seguinte localização: latitude - 19,40° S, longitude - 40,54° W e altitude -

106 m. A estação automática está em operação desde 2010, registrando dados de hora em hora.

Figura 2.3 - Estação convencional Incaper



Fonte: Fotografia do autor

Figura 2.4 - Estação automática do Incaper



Fonte: manual da estação disponível em <http://www.vaisala.com/en/products/automaticweatherstations/Pages/maws100.aspx>

Figura 2.5 - Estação automática e convencional do Incaper



Fonte: Fotografia do autor

Figura 2.6 - Estação automática Incaper



Fonte: Fotografia do autor

Os principais dados fornecidos pela estação automática são: pressão atmosférica (hPa), temperatura de bulbo seco (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar global (Wh/m²), direção do vento (°), velocidade de vento (m/s) e precipitação (mm). O horário da coleta dos dados segue o padrão Universal Time Coordinated (UTC).

Ainda hoje, podem ocorrer alguns problemas na coleta de dados horários de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, direção do vento, velocidade do vento, nebulosidade ou mesmo pressão. Para dados de radiação solar, no Brasil aceitava-se que programas calculassem esses dados, como o DOE 2.1-E. Porém, a partir do início de 2000, com o trabalho desenvolvido por Pitta (2001), passou-se a exigir que pelo menos esses dados fossem calculados para o caso específico brasileiro.

A estação do Incaper, ao contrário de algumas outras, fornece dados de radiação solar global, o que permite, através do método existente em Pitta (2001) usar as fórmulas de Duffie e Beckmann (1980) para cálculos complementares de radiação.

Para Carvalho et al. (2002), a criação do arquivo TRY “consiste de um ano típico representativo de um determinado lugar geográfico considerando-se um período mínimo de 10 anos consecutivos de séries de dados climáticos”; Goulart (2010, apud TAVARES; AMORIM, 2011) ressalta que “é importante dar preferência para uma série de anos mais atuais, mesmo que seja uma série menor que 10 anos”.

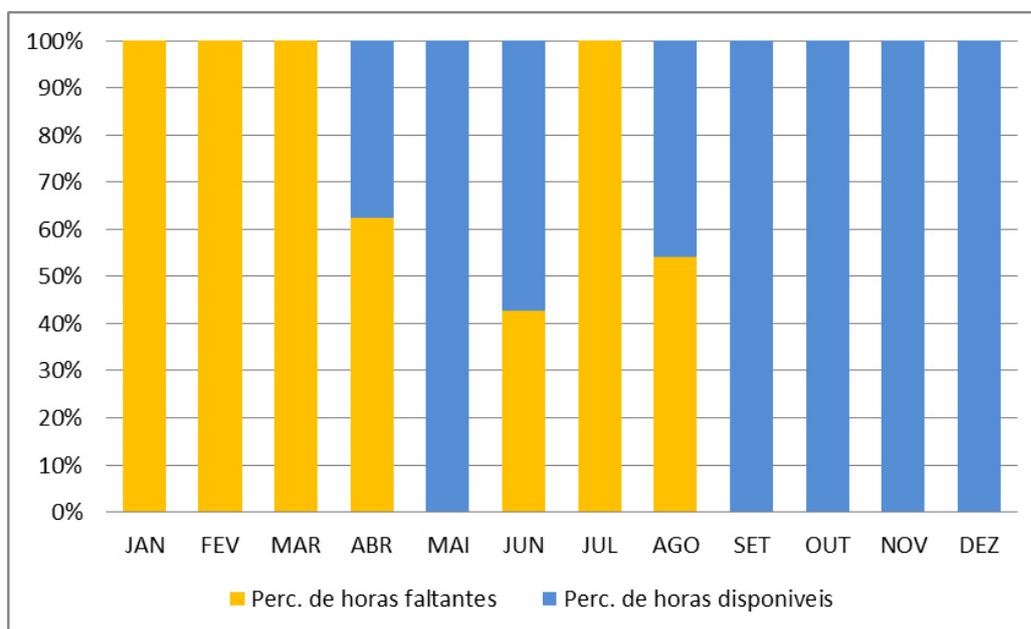
Assim, para a confecção do arquivo climático para a região de Colatina/ES, adotou-se os dados provenientes da estação automática, que possui dados medidos horários e mais completos do que os da manual.

2.5 Tratamento de dados

O método de tratamento dos dados coletados na estação automática consistiu em se verificar se os dados fornecidos eram consistentes e sem muitas lacunas para se trabalhar. Posteriormente, foram feitas as correções necessárias para se gerar os anos climáticos de referência (TRY e TMY2). O arquivo TRY consiste na eliminação de anos cujos dados contêm temperaturas médias mensais extremas, altas ou baixas, até que se obtenha apenas um ano de dados médios, consistindo em um ano em que não ocorreram temperatura extremas. Já o arquivo TMY2, consiste na reunião dos meses sem extremos de temperatura provenientes de diferentes anos. Isto gera um ano climático que nunca existiu efetivamente, mas que apresenta temperaturas sem extremos para cada mês.

Os dados disponibilizados pelo Incaper possuíam algumas lacunas nas medições. No primeiro ano de funcionamento da estação, 2010, alguns meses foram descartados pelo elevado número de dados faltantes, o que tornaria o tratamento destes dados não confiáveis. Na figura 2.7, observa-se que os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro foram considerados satisfatórios, enquanto os demais, ou tinham 100% de ausência de dados, ou apresentavam um pequeno percentual de horas disponíveis variando de 57% (junho) a 37% (abril).

Figura 2.7 - Gráfico com percentual de horas faltantes no ano de 2010



Fonte: Elaborado pelo autor

Vale ressaltar que o mês de maio foi descartado, apesar de possuir os dados medidos para as 744 horas do mês (100% de disponibilidade dos dados), pois os meses anteriores mostraram-se bastante incompletos. Assim este mês não foi considerado pela não confiabilidade dos dados, já que era a época em que a estação estava sendo implantada e passava por testes.

Nos anos seguintes, a estação meteorológica registrou quase o total dos dados previstos para medir, tendo ocorrido pequenas falhas no mês de outubro de 2011 (98% do total de horas válidas). Os anos de 2012 e 2013 também apresentaram quase 100% dos dados registrados, ocorrendo poucas falhas. Destaque apenas para o mês de maio de 2012 que registrou 95% dos dados e o mês de março de 2013 com 99% dos dados registrados.

A tabela 2.1 resume o percentual de horas com registros de dados pela estação, estando realçados os meses em que o percentual foi abaixo de 10%.

Tabela 2.1 - Percentual de dados registrados pela estação

	2010	2011	2012	2013
Janeiro	0%	100%	100%	100%
Fevereiro	0%	100%	100%	100%
Março	0%	100%	100%	99,2%
Abril	37%	100%	100%	100%
Maio	100%	100%	95,3%	100%
Junho	57%	100%	100%	100%
Julho	0%	100%	100%	100%
Agosto	46%	100%	100%	100%
Setembro	100%	100%	100%	100%
Outubro	100%	98%	100%	100%
Novembro	100%	100%	100%	100%
Dezembro	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaborada pelo autor

A tabela 2.2 relaciona os períodos com falhas nos dados e detalha quando ocorreram as falhas. É importante ressaltar que, quando a estação apresentava algum horário com dados não medidos, esta ausência era para todos os dados, não ocorrendo de se ter, por exemplo, a medição de temperatura para certo horário e a ausência de umidade ou ventilação para este mesmo horário.

Tabela 2.2 - Relação dos períodos com falhas nos dados

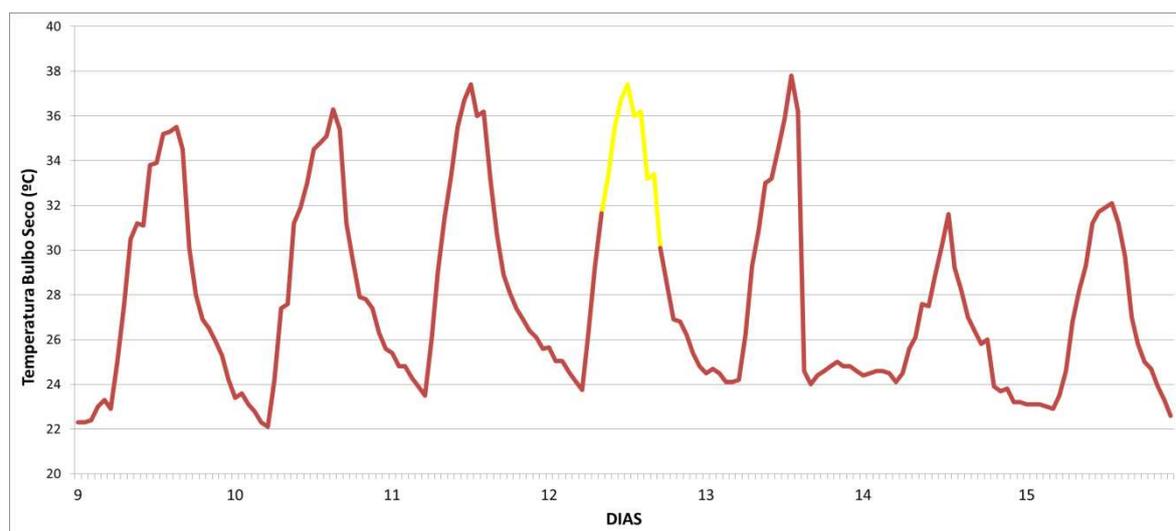
ANO	MÊS	DIA	HORA
2011	out	12	22 e 23
2012	mai	15	14, 17 e 22
2012	mai	16	09, 15, 18, 19 e 23
2012	mai	18	00, 01, 04, 07, 08, 19, 20 e 23
2012	mai	19	00, 04, 06, 10, 12, 16 e 19
2012	mai	20	02, 06, 15, 17 a 19 e 21
2013	mar	12	09 a 15

Fonte: Elaborada pelo autor

Para a geração dos arquivos climáticos, é importante que os dados estejam completos. Carlo e Lamberts (2005) citam que, quando existem dados ausentes e o número de horas sem dados não ultrapassou seis horas consecutivas, o procedimento consiste em interpolar os valores ausentes. Porém, quando o número de horas com dados ausentes for superior a seis horas consecutivas, então se analisa qual a tendência dos três dias anteriores e três dias posteriores do intervalo ausente para se ajustar os dados. Dessa forma, o método de preenchimento dos dados faltantes copia as horas correspondentes de algum dos dias anteriores ou posteriores, seguindo a tendência da curva, seja de temperatura de bulbo seco ou radiação. Nos casos em que as lacunas encontradas se estendiam por vários dias consecutivos, os tratamentos foram considerados ineficientes, e os meses em questão foram descartados da compilação dos arquivos climáticos.

Tendo-se detectado os dias e horários que necessitavam de ajustes nos dados, detectou-se que a maioria seria tratada por interpolação, pois as lacunas eram de menos de seis horas consecutivas. A figura 2.8 representa a situação em que havia uma lacuna de seis horas com dados faltantes e preenchidos, segundo o processo descrito por Carlo e Lamberts (2005).

Figura 2.8 - Gráfico contendo o tratamento dos dados ausentes, completando os dados de dias anteriores.



Fonte: Elaborado pelo autor

2.6 Seleção do Ano Climático para projeto e simulação

Conforme Goulart (1993), a ASHRAE recomenda o ano climático de referência (TRY) e o ano meteorológico típico (TMY2) para fins de projeto de edificações. Após esta fase, e com o auxílio de uma planilha eletrônica, calcularam-se as médias mensais para o período de anos disponibilizados e fez-se a observação dos dados, destando-se quando ocorriam as temperaturas mais quentes e mais frias, para se proceder a retirada destes meses, conforme método descrito por Stamper (1977, *apud* Pereira *et. al.*, 2004). A tabela 2.3 apresenta a análise dos dados para a confecção do arquivo TRY.

Tabela 2.3 - Análise de dados para confecção do TRY

Ano/ T (°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2010	nulo	23,06	24,07	24,78	26,65							
2011	26,52	26,97	25,61	24,17	21,54	20,85	20,23	21,96	21,62	23,11	22,99	24,94
2012	25,46	25,6	25,92	24,89	21,94	22,35	21,2	20,77	22,7	24,47	24,42	27,81
2013	26,73	26,95	26,31	23,5	22,24	21,79	21,45	21,41	22,87	23,21	24,78	25,62

Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo com Pereira et al. (2004), a determinação do ano climático de referência, de acordo com a metodologia TRY, segue duas classificações, onde elimina-se os anos com os meses com temperaturas extremas (quente e frio), conforme na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - 1ª classificação dos anos de acordo com a metodologia descrita por Stamper (1977, *apud* Pereira et al., 2004)

Mês	Ano	T (°C)	Mês	Ano	T (°C)
Jan mais quente	2013	26,73			
Jul mais frio	2011	20,23			
Fev mais quente					
Ago mais frio					

Fonte: Elaborada pelo autor

Como o período de coleta de dados na estação é inferior a 10 anos, conseguiu-se a definição do TRY já pela primeira classificação, eliminando-se o ano de 2013 por ter o janeiro mais quente e o ano de 2011 por ter o julho mais quente. Assim, definiu-se 2012 como o ano de referência climática para Colatina/ES. Como a série de dados é curta, pelo pouco tempo de funcionamento da estação automática do Incaper, no futuro o arquivo deverá ser atualizado com os dados que serão registrados a cada ano.

Após esta primeira definição, fez-se também a análise dos dados para a criação do arquivo TMY2, que consiste na eliminação dos meses individuais com as médias máximas e mínimas extremas. Usando-se a mesma base de dados tratada para a criação do arquivo TRY, as médias mensais dos meses analisados foram usadas para eliminar os meses mais quentes e mais frios. Este processo foi feito até que restassem 12 meses para compor o arquivo. A tabela 2.5 mostra a análise de dados para confecção do TMY2, onde os meses selecionados estão destacados em cinza. A tabela 2.6 apresenta os respectivos meses e anos que compõe o TMY2 para Colatina/ES.

Tabela 2.5 - Análise de dados para confecção do TMY2

T (°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2010	nulo	23,06	24,07	24,78	26,65							
2011	26,52	26,97	25,61	24,17	21,54	20,85	20,23	21,96	21,62	23,11	22,99	24,94
2012	25,46	25,6	25,92	24,89	21,94	22,35	21,2	20,77	22,7	24,47	24,42	27,81
2013	26,73	26,95	26,31	23,5	22,24	21,79	21,45	21,41	22,87	23,21	24,78	25,62

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 2.6 - Meses que representam o TMY2 para Colatina/ES

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMY2	2011	2013	2012	2011	2012	2013	2012	2013	2013	2010	2012	2013

Fonte: Elaborada pelo autor

2.7 Definição de métodos de cálculo de dados complementares

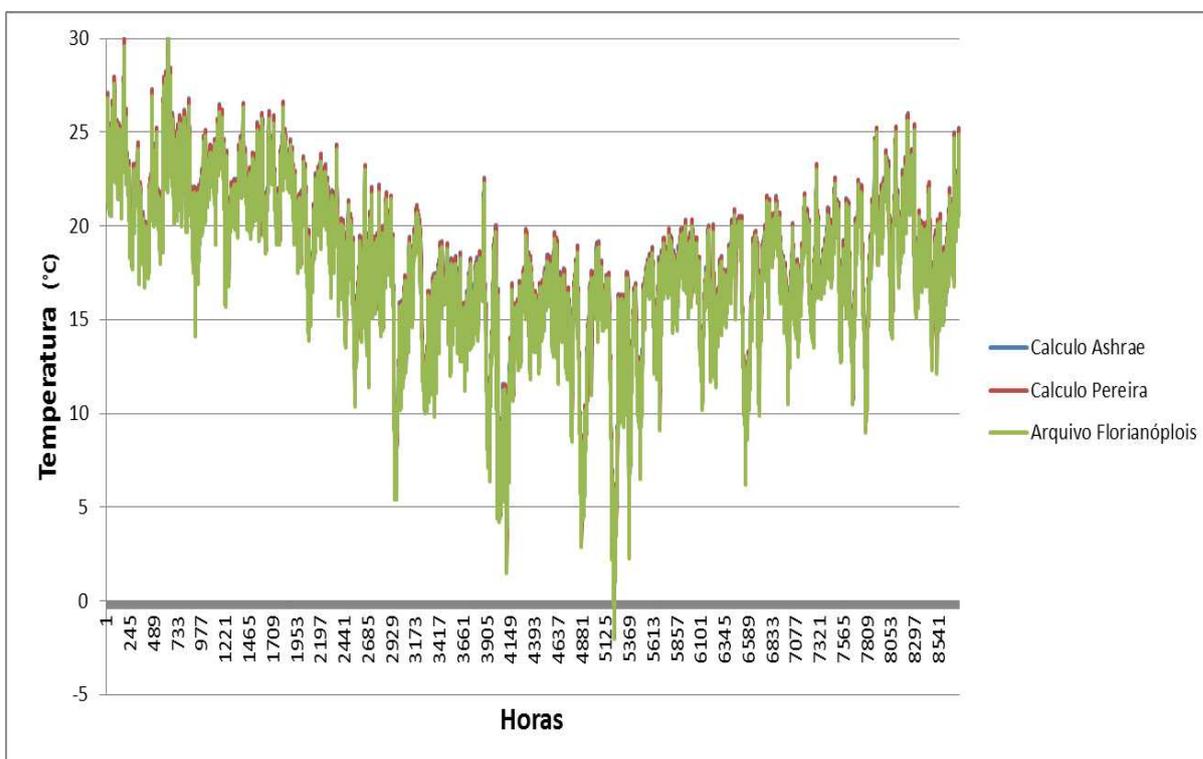
Para as análises bioclimática e de conforto para a região de Colatina/ES, foi necessário, após a definição dos anos climáticos típico e de referência, a criação de arquivos para inserção em programas específicos, como Analysis Bio e Analysis SOLAR, desenvolvidos pelo LABEEE, e EnergyPlus, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Estes programas necessitam de alguns dados de entrada que a estação meteorológica do Incaper não mede, como temperatura de bulbo úmido, temperatura de ponto de orvalho, entalpia, razão de umidade, bem como tratamento dos dados de radiação solar.

Foram usadas duas metodologias básicas para cálculo dos dados inexistentes: a da Ashrae Fundamentals Handbook, Chapter 6, Psychrometrics (2005), e a aplicada por Pereira et al. (2004). Em ambos os casos, para se aferir a confiabilidade dos métodos,

eles foram reproduzidos com os dados do arquivo climático de Florianópolis/SC, considerando-se a sua confiabilidade, por ser um arquivo tratado e testado pelo LabEEE. Após esta etapa, comparou-se os dados resultantes das duas metodologias mencionadas e comparou-se com os dados existentes no arquivo de Florianópolis/SC.

A figura 2.9 contém a comparação da temperatura de ponto de orvalho obtida pelos dois métodos de cálculo nas 8760 horas do ano. Em geral, o método de cálculo da Ashrae se aproximou bem mais dos dados do arquivo climático de Florianópolis do que o método de cálculo de Pereira et al. (2004). Usando-se a temperatura de ponto de orvalho como exemplo, enquanto a diferença máxima entre temperatura calculada pelo método Ashrae foi de 0,50 °C, pelo método de Pereira et al. (2004), esta diferença chegou a 6,0°C, sendo que apenas 11% dos dados apresentaram diferenças maiores que 1°C. Com base nesta verificação, decidiu-se usar o método da Ashrae para todos os cálculos. Esta escolha também ocorreu após resposta de Roriz (2014), onde o mesmo recomendava o uso da Ashrae para cálculos complementares.

Figura 2.9 - Sobreposição de Temperatura de ponto de orvalho pelos dois métodos de calculo



Fonte: Elaborada pelo autor

2.8 Cálculo de parâmetros complementares não medidos pela estação do Incaper

2.8.1 Temperatura de Bulbo Úmido

Esta variável foi obtida pelo programa Psychros, no qual se insere os dados de TBS e UR, e obtêm-se os valores de TBU. Os demais dados foram obtidos da Ashrae Handbook of Fundamentals (2005).

2.8.2 Entalpia

A entalpia de uma mistura de gases perfeitos é igual à soma das entalpias parciais individuais dos componentes, podendo o seu valor para o ar úmido ser definido pela equação 2.1 (ASHRAE, 2005):

$$h = h_{da} + w \times h_g \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo:

h_{da} : entalpia específica para ar seco (kJ/kg_{da});

h_g : entalpia específica para ar úmido (kJ/kg_{da});

w : razão de umidade do ar (%).

Fonte: ASHRAE (2005)

A entalpia específica para ar seco e a entalpia específica para ar úmido são estabelecidas pela Ashrae conforme indicado nas equações 2.2 e 2.3.

$$h_{da} \approx 1,006TBS \quad \text{Equação 2.2}$$

$$h_g \approx 2501 + 1,86TBS \quad \text{Equação 2.3}$$

Sendo:

TBS: temperatura de bulbo seco

2.8.3 Radiação Solar

São três os fatores que influenciam a quantidade de radiação solar incidente sobre o topo da atmosfera terrestre: a época do ano, o período do dia e a latitude. Porém, a

radiação solar é uma das variáveis que nem sempre é medida pelas estações climáticas (CARLO; LAMBERTS, 2005).

Pitta (2001) desenvolveu um estudo para a cidade de Florianópolis/SC, onde investiga a aplicabilidade de modelos para estimar a irradiação solar global em superfícies horizontais, a partir de observações de dados diários de cobertura de nuvens e da duração e brilho do sol. A partir deste trabalho, Carlo e Lamberts (2005) avaliaram dois métodos para estimativa de radiação solar direta: o método de Kasten e o método de Pitta. No presente estudo, os resultados levaram à escolha do método desenvolvido por Pitta (2001), com adaptações para o cálculo da radiação solar global horizontal horária em todas as capitais brasileiras.

Guimarães e Carlo (2010) desenvolveram pesquisa para criação do arquivo climático de Viçosa/MG, e neste estudo estimaram a radiação solar direta e difusa utilizando as equações de Duffie e Beckmann (1980), base do estudo e da planilha desenvolvidos por Pitta (2001).

Na série de dados obtidas da estação do Incaper, foi detectado que alguns parâmetros de radiação solar estavam ausentes, como radiação direta normal e radiação difusa horizontal. Além disso, era necessário calcular a radiação extraterrestre global horizontal e radiação extraterrestre direta normal.

Portanto, a radiação extraterrestre global horizontal foi calculada com a tabela desenvolvida com base nos estudos de Pitta (2001), enquanto a radiação solar difusa horizontal e a radiação direta normal foram estimadas a partir dos dados de radiação global horizontal, calculadas conforme a equação 2.4, obtida em Duffie e Beckman (1980).

$$I_d/I = 1,00 - 0,09 kt \quad \text{se } kt \leq 0,22,$$

$$I_d/I = 0,9511 - 0,1604kt + 4,388kt^2 - 16,6388kt^3 + 12,336kt^4 \dots \text{se } 0,22 < kt \leq 0,80, \quad \text{Equação 2.4}$$

$$I_d/I = 0,165 \dots \text{se } kt \geq 0,80$$

Sendo:

I_d : radiação difusa horizontal horária

I : radiação global horizontal horária

I_0 : radiação extraterrestre global horizontal horária

k_t : índice de nebulosidade do céu

Segundo Duffie e Beckmann (1980), o índice de nebulosidade do céu ou índice de cobertura de nuvens (k_t) é a razão entre a radiação global horizontal e a radiação solar extraterrestre, conforme equação 2.5.

$$k_t = I/I_0 \quad \text{Equação 2.5}$$

Tendo-se a radiação difusa, foi calculada a radiação direta horizontal, que é a diferença entre a radiação global e radiação difusa. Segundo Duffie e Beckmann (1980), a radiação solar direta normal pode ser estimada a partir de dados de radiação direta horizontal, e calculada conforme a equação 2.6.

$$I_{bn} = I_b / \cos \theta \quad \text{Equação 2.6}$$

Sendo:

I_{bn} : radiação direta normal

I_b : radiação direta horizontal

θ : altitude solar (graus ou radianos) a partir do plano horizontal.

Duffie e Beckmann (1980) apresentam o $\cos \theta$ pela equação 2.7.

$$\cos \theta = (1,0 - \cos^2 \delta \times \sin^2 \omega) \quad \text{Equação 2.7}$$

Sendo:

δ = declinação (graus ou radianos)

ω = ângulo horário (graus ou radianos)

A radiação extraterrestre direta normal é obtida ao se corrigir o ângulo de incidência em relação aos valores da radiação extraterrestre global horizontal. Assim, a radiação extraterrestre direta normal foi calculada pela equação 2.8.

$$I_{on} = I_o / \theta \quad \text{Equação 2.8}$$

Onde:

I_{on} : radiação extraterrestre direta normal

I_o : radiação extraterrestre global horizontal

θ : altitude solar (graus ou radianos)

2.8.4 Temperatura de ponto de orvalho

Outra variável necessária para a criação dos arquivos para uso nos programas de simulação e análise de conforto e que a estação climática não media foi a temperatura de ponto de orvalho (T_o). Segundo a Ashrae (2005), a temperatura de ponto de orvalho é a temperatura na qual o vapor d'água atinge o ponto de saturação sob a mesma pressão.

Esta é então a temperatura na qual a saturação ocorre quando o ar é resfriado a pressão constante e sem adição ou mesmo remoção de vapor d'água. Seria então a temperatura na qual, com uma mesma pressão, a quantidade de vapor presente na atmosfera atinge sua máxima concentração (VIANELLO; ALVES, 2012).

A temperatura de ponto de orvalho foi calculada conforme a equação 2.9 da Ashrae Handbook Fundamentals (2005), recomendada para temperaturas acima de 0°C.

$$T_o = C_{14} + C_{15}\alpha + C_{16}\alpha^2 + C_{17}\alpha^3 + C_{18} (p_w)^{0,1984} \quad \text{Equação 2.9}$$

Sendo:

T_o : temperatura de ponto de orvalho (°C)

α : $\ln p_w$

p_w : pressão de vapor (kPa)

C_{14} : 6,54

C_{15} : 14,526

C_{16} : 0,7389

C₁₇ : 0,09486

C₁₈ : 0,4569

2.9 Confeção de arquivos para programas de simulação

Após o tratamento de dados e a inserção de todos os parâmetros calculados em um arquivo, este foi salvo na extensão *.csv (separado por vírgulas) permitindo a conversão para o formato *epw* no Weather Statistics and Conversions do programa EnergyPlus.

O quadro 2.1 mostra o formato de cabeçalho para arquivos com extensão *.csv necessários à utilização nos programas Analysis SOL-AR e Analysis Bio. E o quadro 2.2 mostra o formato da planilha para extensão de arquivo *.epw, utilizado pelo programa EnergyPlus. Em ambos os casos, os parâmetros que não eram fornecidos pela estação e precisaram de cálculos específicos estão ressaltados nos quadros.

Quadro 2.1 - Modelo de cabeçalho de dados usados no Analysis SOL-AR e Analysis Bio

Mês	Dia	Hora	TBS (°C)	TBU (°C)	T. Pto Orvalho {C}	Pressão atmosférica (Pa)	Umidade {kg/kg}
Umidade Relativa (%)	Densidade do ar {kg/m ³ }	Entalpia {BTU/LB}	Velocidade dos ventos (m/s)	Direção do vento (graus)	Cobertura Total de Nuvens {decimas}	Radiação Horizontal Extraterreste {Wh/m ² }	
Radiação Global Horizontal {Wh/m ² }		Radiação Direta {Wh/m ² }		Radiação Direta Normal {Wh/m ² }		Radiação Difusa Horizontal {Wh/m ² }	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 2.2 - Modelo de cabeçalho de dados usados no EnergyPlus

Date	HH:MM	Datasource	Dry Bulb Temperature {C}	Dew Point Temperature {C}	Relative Humidity {%}	Atmospheric Pressure {Pa}
Extraterrestrial Horizontal Radiation {Wh/m ² }	Global Horizontal Radiation {Wh/m ² }	Direct Normal Radiation {Wh/m ² }	Diffuse Horizontal Radiation {Wh/m ² }	Wind Direction {deg}	Wind Speed {m/s}	Precipitable Water {mm}

Fonte: Elaborado pelo autor

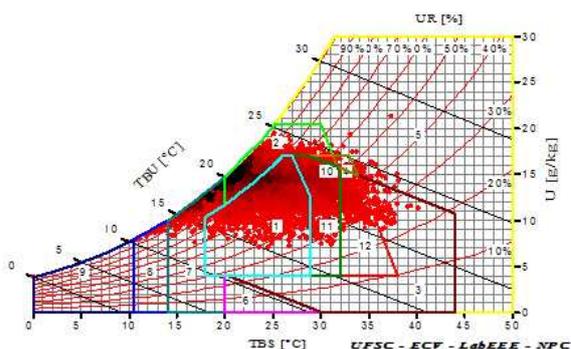
2.10 Resultados e Discussões

Com os arquivos climáticos criados para Colatina/ES, procedeu-se à avaliação bioclimática visando estabelecer as suas principais estratégias bioclimáticas, bem como comparar os dois métodos de criação dos arquivos climáticos.

2.10.1 Carta Bioclimática

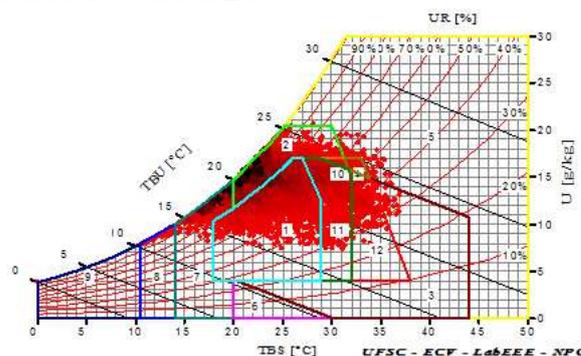
As figuras 2.10 e 2.11 mostram as cartas bioclimáticas dos dois arquivos gerados (TRY e TMY2); o quadro 2.3 apresenta a comparação entre as principais estratégias fornecidas pelo programa AnalysisBio para os dois arquivos climáticos criados para Colatina/ES.

Figura 2.10 - Carta Bioclimática com TRY para a cidade de Colatina/ES



Fonte: Adaptado do programa AnaylisBio

Figura 2.11 - Carta Bioclimática com TMY2 para a cidade de Colatina/ES



Fonte: Adaptado do programa AnaylisBio

Quadro 2.3 - Comparação das principais estratégias bioclimáticas – TRY x TMY2

Análises/ Estratégias		Arquivos		
		TRY	TMY2	(TRY-TMY2)/TRY
Horas em conforto		33,1%	31,8%	3,9%
Desconforto	Total	66,9%	68,2%	1,9%
	Calor	49,4%	51,3%	3,8%
	Ventilação	43,5%	45,7%	5,1%
	Alta inércia para resfriamento	17,2%	16,3%	5,2%
	Resfriamento Evapotativo	17,7%	15,6%	11,9%
	Ar Condicionado	0,4%	0,7%	75,0%
	Frio	17,4%	16,9%	2,9%
	Aquecimento solar/Inércia Térmica	16,8%	16,4%	2,4%
	Aquecimento Solar Passivo	0,6%	0,5%	16,7%
	Aquecimento Artificial	0%	0%	0,0%
	Umificação	0%	0%	0,0%
Sombreamento		81,9%	81,8%	0,1%

Fonte: Adaptado do programa AnalysisBio

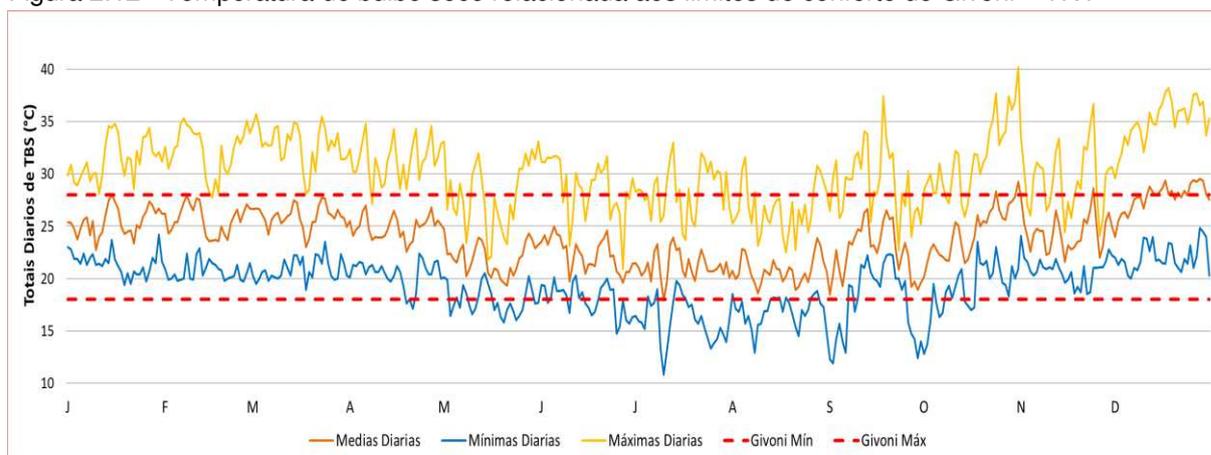
Constata-se que percentualmente as diferenças são pequenas entre os dois arquivos, com exceção para o uso do ar-condicionado. Em ambos os casos a ventilação é a principal estratégia para o desconforto por calor. Em relação ao desconforto por frio, a estratégia aquecimento solar/ inércia térmica é indicada para 16% das horas do ano para os dois arquivos climáticos. Vale ressaltar, no entanto, que a série de anos para confecção do arquivo é pequena, sendo necessária nova análise com a obtenção de dados relativos a um número maior de anos.

2.10.2 Análise de TBS e Conforto

Utilizando-se os mesmos dados de temperatura e umidade dos arquivos climáticos, foram feitas as análises de Colatina/ES, para se identificar os níveis de conforto e desconforto anual para cada arquivo climático, com o auxílio de um arquivo para consulta e manipulação dos dados para a realização de análises estatísticas baseadas nos parâmetros de Givoni.

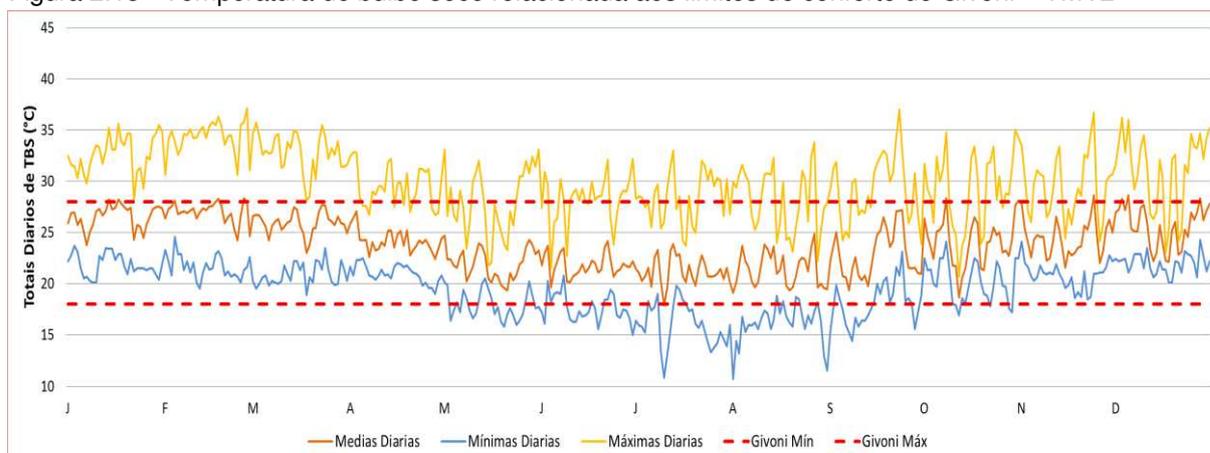
As figuras 2.12 e 2.13 mostram o gráfico de comportamento das TBS dos dois arquivos climáticos ao longo de todo o ano. Observa-se um comportamento bem similar dos dois arquivos ao longo do ano, sendo que o arquivo TMY2 apresenta temperaturas acima de 35°C em março, outubro e novembro, enquanto o arquivo TRY alcança estes picos nos meses de outubro, novembro e dezembro.

Figura 2.12 - Temperatura de bulbo seco relacionada aos limites de conforto de Givoni – TRY



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2.13 - Temperatura de bulbo seco relacionada aos limites de conforto de Givoni – TMY2

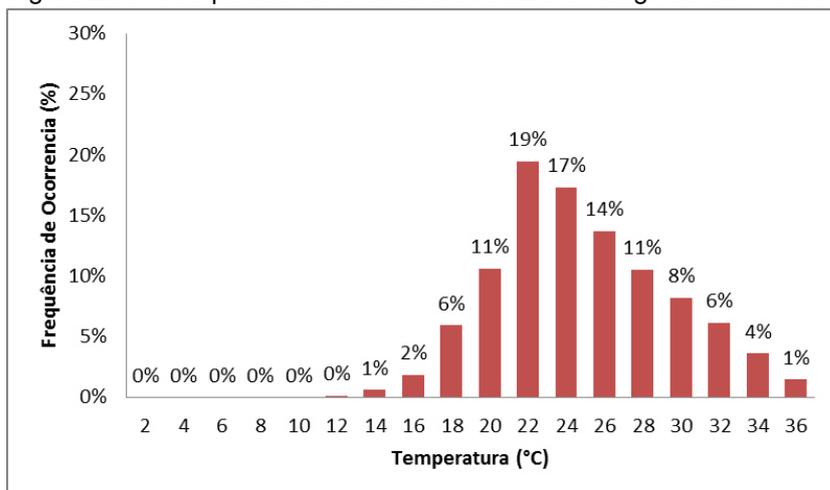


Fonte: Elaborado pelo autor

No mês de dezembro, o arquivo TRY apresenta uma média mais elevada do que o TMY2, porém isto já havia sido detectado quando se fez a seleção dos meses para criação dos arquivos, pois o ano de 2012 (ano base do arquivo TRY) apresentou a maior média de todos os anos ($27,81^{\circ}\text{C}$), e o arquivo TMY2 utilizou o mês de dezembro de 2013 que apresentou média com 2°C a menos ($25,62^{\circ}\text{C}$), obtendo-se desta forma algumas máximas diárias dentro da zona de conforto. Constata-se também que o arquivo TRY apresenta as mínimas diárias no mês de outubro bem fora da zona de conforto. No resto do ano, o comportamento dos dois métodos de criação de arquivos se aproxima, até porque o arquivo TMY2, em sua criação, utilizou quatro meses do ano de 2012 e nos demais meses as diferenças das médias mensais não foram tão significativas, exceção feita a dezembro.

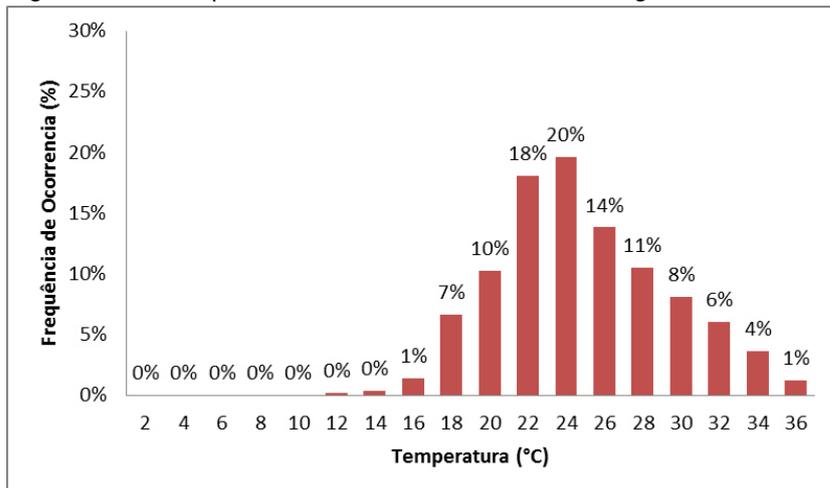
As figuras 2.14 e 2.15 mostram a frequência de ocorrência de TBS ao longo do ano para os dois arquivos climáticos, em que observa-se uma diferença pequena entre os dois métodos. Exceção para a faixa de temperatura de 24°C , em que o arquivo TMY2 possui uma frequência de ocorrência de 3% a mais, sendo que para as demais faixas os valores se equivalem.

Figura 2.14 - Frequência de ocorrência de TBS ao longo do ano - TRY



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2.15 - Frequência de ocorrência de TBS ao longo do ano – TMY2

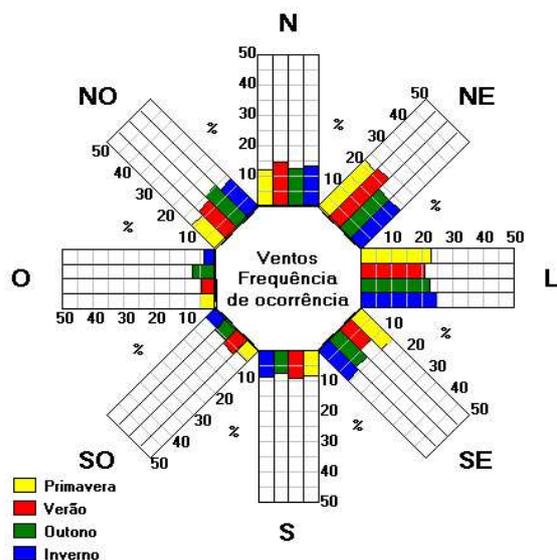


Fonte: Elaborado pelo autor

2.10.3 Frequência de ocorrência entre ventos

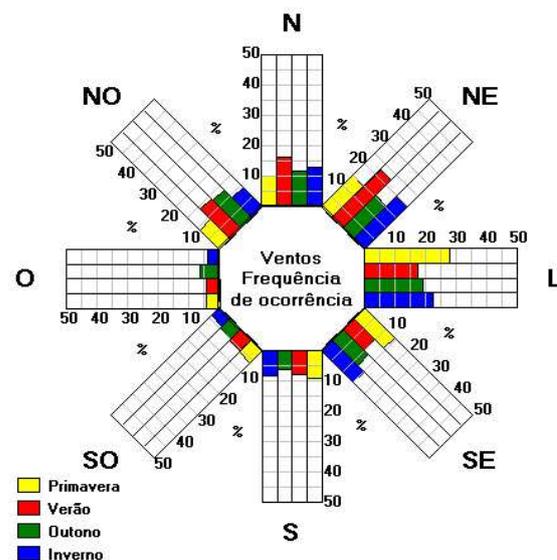
Procedeu-se também à análise da frequência de ocorrência da ventilação nos dois arquivos com o auxílio do programa Analysis SOL-AR. As figuras 2.16 e 2.17 mostram a rosa dos ventos com as frequências de ocorrência de ventilação para os dois arquivos.

Figura 2.16 - Frequência de ocorrência de direção de ventos– TRY



Fonte: Analysis SOL-AR

Figura 2.17 - Frequência de ocorrência de direção de ventos – TMY2



Fonte: Analysis SOL-AR

Em ambos os casos, as maiores frequências estão nas orientações NE e L, sendo que no período de primavera o arquivo TMY2 apresenta uma menor ocorrência na orientação NE comparado ao TRY. A tabela 2.7 mostra a comparação de frequência de ocorrência de ventos entre os dois arquivos climáticos para as quatro estações do ano e orientações, estando em destaque os momentos em que a diferença é igual ou maior que 2%.

Tabela 2.7 - Comparação de frequência de ocorrência de ventos por orientação, em porcentagem– TRY x TMY2

Orientação/ estação ano	Primavera		Verão		Outono		Inverno	
	TRY	TMY2	TRY	TMY2	TRY	TMY2	TRY	TMY2
N	12,01	9,88	14,37	16,24	12,26	11,59	13,21	12,63
NE	21,38	14,42	22,82	22,49	18,10	15,09	18,28	19,66
L	22,87	27,69	20,80	17,42	22,19	19,14	25,00	22,29
SE	14,42	13,91	9,81	9,81	12,67	12,08	14,01	14,99
S	8,35	9,00	8,78	7,93	7,19	6,24	8,50	8,32
SO	5,06	5,61	6,53	5,07	5,44	4,36	4,58	3,47
O	5,01	3,80	4,32	4,08	7,50	6,15	3,56	3,69
NO	10,90	9,09	12,58	13,47	14,65	12,67	12,86	9,03

Fonte: Elaborada pelo autor com dados do Analysis SOL-AR

O período em que ocorreu a maior diferença foi na primavera para a orientação leste, com o arquivo TMY2 apresentando uma diferença de quase 5% a mais de frequência de ocorrência do que o TRY, e para o mesmo período, na orientação nordeste, esta diferença chega a 7%. Considerando que a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) recomenda como principal estratégia de condicionamento térmico para a ZB8 a ventilação cruzada, as diferenças nos resultados de frequência de ocorrência nas principais orientações (N, NE e L), entre os dois tipos de arquivos climáticos, reforça o fato de que a definição do método de confecção dos arquivos pode gerar resultados bem diferentes para as análises.

2.10.4 Radiação Global Horizontal

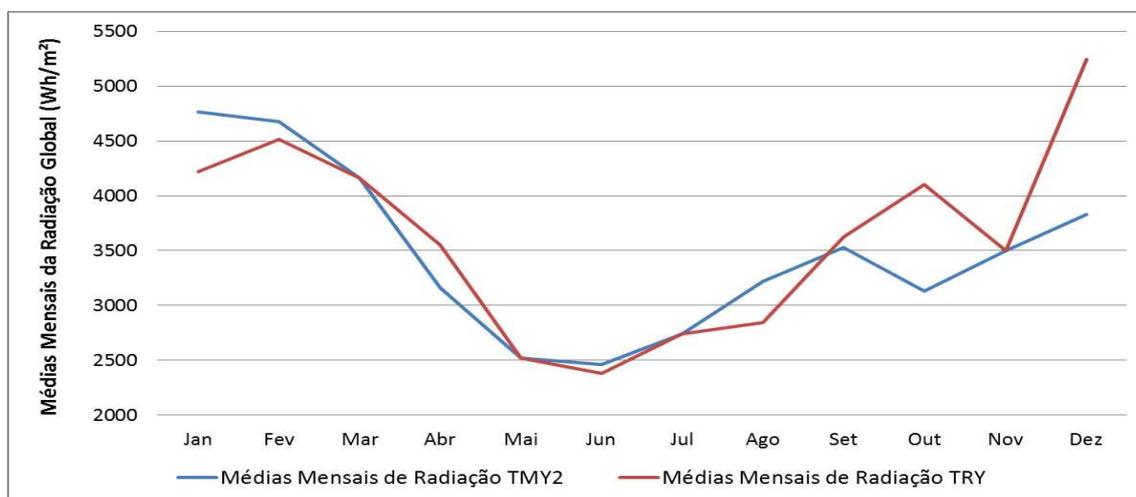
Usando-se os dados de radiação global horizontal, registrada pela estação meteorológica, fez-se a análise dos dois arquivos, com as médias mensais. A tabela 2.8 e figura 2.18 apresentam as médias mensais da radiação solar horizontal dos dois arquivos climáticos.

Tabela 2.8 - Médias mensais de radiação global horizontal

Médias Mensais de Radiação Global (Wh/m²)		
Mês	TMY2	TRY
Janeiro	4765,19	4219,60
Fevereiro	4681,07	4517,09
Março	4160,61	4160,82
Abril	3162,23	3554,25
Mai	2517,61	2517,75
Junho	2463,90	2378,95
Julho	2741,19	2741,36
Agosto	3222,87	2843,34
Setembro	3529,30	3621,9
Outubro	3128,16	4101,61
Novembro	3500,20	3500,13
Dezembro	3830,52	5242,58

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 2.18 - Gráfico das Médias mensais de Radiação Global Horizontal



Fonte: Elaborado pelo autor

Nos meses mais quentes, como os do período de outubro a fevereiro, existe uma diferença principalmente em dezembro, quando esta diferença chega a 1.412,06 Wh/m². Em novembro, os valores não têm alterações, pois o mês de novembro que compõe o arquivo TMY2 é o mesmo do arquivo TRY (novembro de 2012). Apesar de dados de radiação não serem considerados no método de confecção do arquivo climático empregado nesta pesquisa, esta diferença pode ser significativa em simulações termoenergética.

2.11 Conclusões

Apesar de já existir um número maior de estações meteorológicas espalhadas pelo território brasileiro nesta segunda década do século XXI, um problema que os profissionais e pesquisadores ligados à área de desempenho energético das edificações ainda enfrentam é a indisponibilidade ou mesmo a inadequação dos dados climáticos disponíveis. Aliado a isto, muitas das estações com medições automáticas horárias são recentes, e em alguns casos o acesso a estes dados não é tão simples. Há, portanto uma necessidade de se facilitar o acesso aos dados climáticos medidos para os pesquisadores.

Muitas vezes, a inexistência de um arquivo climático mais próximo da realidade de onde se deseja projetar acaba por induzir o profissional ou pesquisador a ter que trabalhar com arquivos existentes para cidades que se encontram longe do local do objeto estudado ou a ser projetado. É necessária a implantação de novas estações automáticas nas cidades brasileiras, aperfeiçoando-se cada vez mais o processo de obtenção de dados.

A metodologia apresentada neste capítulo foi desenvolvida em outros trabalhos, o que permitiu a criação do arquivo climático com os dados do Incaper, apesar de uma aparente complexidade nos cálculos de dados inexistentes. Isto permitiu seguir os procedimentos já existentes e, se realizar análises de conforto. As duas principais metodologias de cálculos descritas neste trabalho (ASHRAE e Pereira) são válidas e possibilitam resultados satisfatórios para os parâmetros que não são fornecidos pela estação meteorológica e que são necessários à criação dos arquivos climáticos. A escolha pelo método da ASHRAE baseou-se pelos seus resultados serem mais próximos na comparação com um arquivo climático confiável já existente.

Os arquivos criados pelas duas metodologias de seleção de ano climático, utilizadas neste trabalho, apresentaram resultados bem próximos no que se refere às estratégias de projeto segundo as recomendações do programa AnalysisBio. A análise de frequência de ocorrência da TBS mostrou uma variação pequena entre os dois arquivos para alguns meses. Porém análises de ventilação e radiação já mostram que o método de confecção do arquivo climático pode apresentar resultados diferentes quando estes dados forem importantes para análises, possibilitando uma indução a erro de projeto.

A série de dados disponíveis na estação automática do Incaper, apesar de recentes, possibilitou a criação de arquivos climáticos com dados mais próximos à realidade de Colatina/ES, sendo necessário que seja feita ainda uma revisão destes arquivos à medida que novos dados sejam registrados, possibilitando a criação de arquivos que sejam mais representativos pela existência de um maior número de dados.

2.12 Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15220-3** - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**. New York, cap. 6. 2005

BARNABY, C.S.; CRAWLEY, D.B. "Weather data for building performance simulation" In _____ **Building Performance Simulation For Design and Operation**. Spon Press, 2011. p. 37 – 55.

CARLO, J; LAMBERTS, R. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Florianópolis. SC: Departamento de Engenharia Civil, UFSC, 2005. Relatório.

CRAWLEY, D. B., HAND, J. W., KUMMERT, M., GRIFFITH, B. T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **Building and Environment**, Oxford, 2008, v. 43, p 661-673

CARVALHO, H. J. M.; ARAÚJO, T. G. H.; SILVA, F. A. G. Tratamento de dados climáticos da cidade de João Pessoa - PB, para o uso em projetos de arquitetura. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Foz do Iguaçu. **Anais...** ENTAC. p 327-336, 2002

CHAN, A. L. S; CHOW, T. T; FONG, S. K. F.; LIN, J. Z. Generation of a typical meteorological year for Hong Kong. **Energy Conversion and Management**, v. 47, p. 87–96, 2006.

DUFFIE, J. A.; BECKMANN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1980. 919 p.

GOULART, S. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações**. 1993. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

GOULART, S. Metodologia para identificação do TRY [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Laura Resende Tavares (lauraresende@yahoo.com.br) em 7 de julho de 2010.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2a edição. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GUIMARAES, I.; CARLO, J. Desenvolvimento do arquivo climático de Vicososa para simulação computacional de desempenho termo-energético. In: SIMPOSIO DE PESQUISA E EXTENSAO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 1., 2010, Vicososa. **Anais eletrônicos**...Vicososa: UFV (DAU). Disponível em: <http://www.dau.ufv.br/simpex.au/?area=simpex_au>. Acesso em: 20 jan. 2013.

GUIMARÃES. Í. B. B.; AMORIM, A. C., CARLO, J. C. Comparação estatística e por simulação de arquivos climáticos TRY e TMT, desenvolvidos para a cidade de Viçosa – MG. In: **Anais**... Conferência Internacional REGSA 2014. Energias Renováveis, Eficiência Energética e Desenvolvimento. Florianópolis, Santa Catarina.

LAMOTTA, M. G.; LABAKI, L. C. Dez Anos Depois: Estudo do Clima de Campinas. Caracterização e Proposição de Recomendações de Projeto para Climas Compostos em 1998 e em 2008 – O Que Mudou In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009, **Anais**... Natal, ENCAC-ELAC 2009. CDROM.

PEREIRA, I; ALVES, T; PINHEIRO, R; ASSIS, E. Metodologia de Tratamento de Dados Climáticos para Inserção em Softwares de Simulação Energética de Edifícios. In: I Conferencia Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 2004, **Anais**... São Paulo, ENCAC-ENTAC 2004. CDROM.

PITTA, T. O. **O Estudo de Métodos Diretos e Indiretos de Estimativa de Irradiação Solar Global Diária Horizontal a partir de Observações Superficiais de Cobertura Total de Nuvens em Florianópolis, SC**. 2001. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012a. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 20 de maio de 2013.

RORIZ, M. **Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012b. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 20 de maio de 2013.

RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 2**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2013. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 19 de setembro de 2014.

RORIZ, M. Arquivos Climáticos [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Alexandre Cypreste Amorim (cypreste@ifes.edu.br) em 19 de março de 2014.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS R. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. In ___ **Anais...** X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.

ROSSI, F. A.; DUMKE, E.; KRUGER E. L. Atualização do Ano Climático de Referência para Curitiba. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009, **Anais...** Natal, ENCAC-ELAC 2009. CDROM.

STAMPER, E. **Weather Data. ASHRAE Journal.** Feb. 1977. p.47.

TAVARES, L. R.; AMORIM, C. N. D. Elaboração do arquivo climático horário da cidade de Uberlândia-MG para simulação de desempenho energético segundo o RTQ-C. In: **Anais...** XI ENCAC, VII ELACAC 2011, Búzios, RJ.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações.** 2 ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 460p.

3. ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

RESUMO

Nos últimos quarenta anos, o ambiente, os edifícios e a questão energética, dentro de uma escala global, são assuntos de extrema importância para as profissões que lidam com a área de projeto e edificações. No Brasil, onde as edificações, em geral, representam 52% do consumo de energia elétrica, as principais medidas e normas com foco na economia de energia surgiram após a crise energética de 2001. Neste cenário, a concepção de edificações levando em conta o conhecimento das características climáticas onde estas serão executadas torna-se importante ferramenta para isto. Trabalhar com a integração entre edificação e clima desde a concepção do edifício permite que se tenha um desempenho ambiental adequado, como também um bom nível de conforto aos seus usuários. O desenvolvimento e conhecimento de zonas bioclimáticas possibilita a elaboração de edifícios que possuam estratégias direcionadas para construções que sejam adequadas a cada zona em particular. O objetivo do capítulo é identificar quais as zonas bioclimáticas em que Colatina/ES se insere no Zoneamento Bioclimático Brasileiro tanto, no contexto atual existente pela NBR 15220-03, quanto nas propostas de alteração do referido Zoneamento e na classificação climática da ASHRAE Standard 90.1. Para isto, o método consistiu em utilizar os dados dos arquivos climáticos de Colatina/ES e aplicar cada uma das metodologias empregadas nas definições de Zoneamento Bioclimático. As análises mostraram que o método escolhido interfere diretamente na classificação climática de Colatina/ES, fazendo com que a região estudada possa ser classificada na mesma zona climática das cidades vizinhas ou em zonas diferentes. O processo de revisão que hoje está em discussão evidencia a percepção de algumas discrepâncias encontradas em várias localidades do país, demonstrando que apesar de existirem várias metodologias para a definição de zonas bioclimáticas, ainda não se tem uma definição de qual delas é a mais adequada, o que indica a necessidade de estudos para se aprofundar nestas questões.

Palavras-Chave: Zoneamento bioclimático. Arquivos climáticos.

3.1 Introdução

O desenvolvimento e conhecimento de zonas bioclimáticas possibilita a concepção de edifícios que possuam estratégias direcionadas para construções adequadas ao seu clima local. Neste contexto, existem várias normas que tratam deste assunto. No âmbito mundial, pode-se citar o International Energy Conservation Code (IECC) existente desde 1998, que é um código relacionado ao desempenho térmico das edificações. O IECC é um código norte-americano de eficiência energética para edificações climatizadas artificialmente. Ele fornece diretrizes para o projeto de envoltórias e, as suas componentes de acordo com um zoneamento climático. Outro exemplo internacional é o código português denominado Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) de 2006. Pelo RCCTE, existem nove zonas climáticas em Portugal, para as quais as estratégias bioclimáticas para verão e inverno foram estipuladas com aplicação do Diagrama Bioclimático de Givoni (ROCHA; ASSIS; GONÇALVES, 2009).

Analisando-se uma situação como a brasileira, em que até o fim do século passado havia pouca cobertura do território pelas estações climatológicas e, conseqüentemente, várias lacunas de dados climáticos satisfatórios para a área de arquitetura e engenharia, estudos que tratem de zoneamento bioclimático mostram-se como importante elemento de melhoria para entendimento dos climas locais e conseqüentemente, para o ato de projetar de forma adequada (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012). A existência de um mapeamento sistemático dos dados climáticos, que sejam traduzidos em estratégias mais aplicáveis para projetos, podem facilitar o entendimento e proporcionar a adoção de práticas mais comprometidas com a qualidade ambiental dos espaços.

Entretanto, o território brasileiro é extenso e possui uma larga diversidade climática com particularidades para cada região. Este fato demonstra a necessidade de uma identificação dessas características e, conseqüentemente, o agrupamento de suas principais zonas bioclimáticas, buscando-se formular diretrizes construtivas para cada uma destas zonas. Porém, ainda encontram-se alguns limitadores para a construção de um mapeamento que seja mais preciso e completo. Uma das limitações mais significativas encontrada na definição do Zoneamento Bioclimático Brasileiro foi a ausência de séries históricas completas de dados climáticos, e também um número

reduzido de estudos sobre este tema em várias localidades brasileiras (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2011). Neste contexto, Roriz (1999) cita que menos de 4% dos mais de 5.500 municípios brasileiros possuíam dados climáticos publicados. Pezzopane et al. (2012) afirmam que a caracterização dos elementos relativos ao clima ainda é feita de modo pontual em algumas estações meteorológicas. Desta forma, cria-se uma situação em que o conhecimento do clima e de sua variabilidade no território é possível a partir de procedimentos de interpolação espacial de dados climáticos. Esta interpolação consiste num procedimento para previsão de valores desconhecidos, utilizando-se valores conhecidos das regiões vizinhas.

Pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), o território brasileiro foi dividido em 6500 células, cada uma caracterizada pela sua posição geográfica e pelas variáveis climáticas de médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais das temperaturas mínimas e as médias mensais das umidades relativas do ar. Porém, para apenas 330 destas células, contou-se com dados das Normais Climatológicas medidos entre 1930 a 1990 (ABNT, 2005). Para as demais regiões, os climas foram estimados pelo método de interpolação e Colatina/ES é um dos municípios brasileiros que teve seus dados obtidos por este último método.

Desde 2012, algumas propostas de revisão da NBR15220-3 (ABNT, 2005) referentes a parte de classificação dos climas no Brasil foram disponibilizadas no site do LabEEE para que pesquisadores pudessem contribuir com este trabalho. Esta revisão foi decorrente de inúmeras críticas apresentadas ao zoneamento desde a sua publicação em 2005. Roriz (2012a) ressalta que as críticas realizadas são justificadas, pois se referem à imprecisão na caracterização climática de cidades brasileiras. Da publicação do Zoneamento em 2005 até as atuais propostas de revisão, o número de estações meteorológicas capazes de fornecer dados confiáveis aumentou de 330 para 1513 locais com dados climáticos disponíveis, reduzindo o número de localidades cuja zona bioclimática seja definida por métodos de interpolação.

O conhecimento específico do clima na região de Colatina/ES, com base nos dados climáticos obtidos em uma estação meteorológica do Incaper, possibilita analisar a região estudada, seja no contexto do atual Zoneamento Bioclimático Brasileiro, seja pelas propostas de revisão que se encontram em desenvolvimento.

3.2 Objetivo

O objetivo do capítulo é identificar quais as zonas bioclimáticas de Colatina/ES de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220-03 e de suas propostas de revisão, permitindo-se assim que a região estudada seja inserida nesta discussão.

3.3 Zoneamento Bioclimático Brasileiro – NBR15220/2005

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro surgiu de um trabalho iniciado em 1988 pelo Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído. Desde esta época, o Grupo vinha trabalhando para iniciar um processo brasileiro para normalização sobre o tema de requisitos mínimos aceitáveis de desempenho térmico para habitações de interesse social. Na década de 1990, Silva (1994) propôs um zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação, utilizando as normais climatológicas de 204 cidades brasileiras, e propôs 13 zonas bioclimáticas obtidas através do cruzamento de estratégias de resfriamento e de aquecimento bioclimático.

Segundo Roriz, Ghisi e Lamberts (1999), em 1991 realizou-se o "*Primeiro Encontro Nacional Sobre Normalização Quanto ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações*" e muitos passos foram dados para o estabelecimento das Normas Brasileiras no âmbito do desempenho térmico. Desta forma, buscando-se unificar e oficializar o processo, foi criada a Comissão de Estudos sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações, que estava vinculada ao Comitê Brasileiro de Construção Civil da Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT).

Do trabalho desta Comissão, surgiram quatro temas de trabalho, sendo que um deles, o de Procedimentos de Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações Populares, foi encarregado de formular um texto que contivesse apenas diretrizes construtivas para a otimização do desempenho térmico de habitações de interesse social (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999).

Somente no ano de 2005 este quarto item foi transformado em um texto, sendo parte integrante da NBR 15220, estando presente na parte 3 desta norma como:

Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005).

Para a definição deste Zoneamento, dividiu-se o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas classificadas como relativamente homogêneas quanto ao clima, e para cada uma destas zonas, elaborou-se uma série de recomendações técnico-construtivas que aperfeiçoam o desempenho térmico das edificações, buscando sua melhor adequação climática (ABNT, 2005).

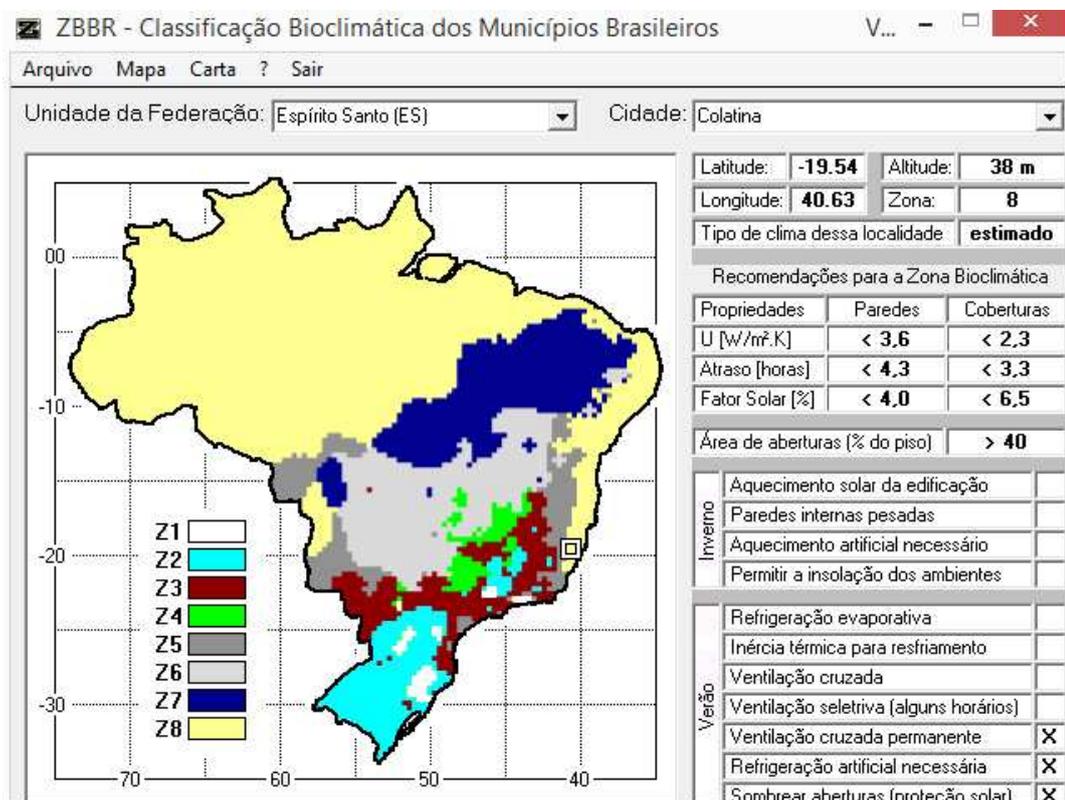
A metodologia que foi utilizada para a definição do atual zoneamento baseou-se nos desvios da zona de conforto adaptada do diagrama psicrométrico proposto por Givoni em 1992 (ABNT, 2005). A classificação das cidades brasileiras foi feita com dados das normais climatológicas divulgadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para 330 cidades, e estas foram utilizadas também para se estimar, pelo método de interpolação, o clima das demais cidades (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012).

Porém, segundo ABNT (2005), para 330 destas células, utilizaram-se os dados das Normais Climatológicas medidos de 1961 a 1990 em 206 cidades (4% do total), e dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos de 1931 a 1960 em 124 cidades (2% do total), sendo que o País possui 5561 cidades, segundo o IBGE (2013), o que demonstra a pouca expressividade dos dados levantados na época. Segundo Roriz (2012a), desde a publicação da NBR 15220, inúmeras críticas ao zoneamento surgiram referentes à imprecisão na caracterização climática de cidades brasileiras. Há também o argumento de que, devido à variação regional, faz-se necessário o estudo específico para os índices e zonas de conforto térmico-ambiental. Trabalhos como os de Pereira e Assis (2005), Bogo (2008) e Martins, Bittencourt e Krause (2012), apresentam questionamentos sobre o atual Zoneamento Bioclimático Brasileiro (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2014).

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) cita apenas cinco cidades do estado do Espírito Santo em seu texto, sendo elas: Conceição da Barra, Linhares, São Mateus, Vitória e Cachoeiro de Itapemirim. O mapa do Zoneamento constante da norma não permite análises precisas devido a sua baixa resolução, sendo assim, a confirmação de qual zona o município de Colatina/ES está inserido foi feita com o auxílio do programa

ZBBR³ - Zoneamento Bioclimático do Brasil (RORIZ, 2004). Pela figura 3.1, a zona bioclimática na qual está inserida Colatina/ES é a Zona Bioclimática 8.

Figura 3.1 - Informações sobre Colatina/ES segundo a classificação o programa ZBBR



Fonte: Roriz (2004)

O quadro 3.1 mostra os dados referentes às respectivas latitudes e altitudes dos principais municípios da região de Colatina/ES comparados com Belém/PA e Aimorés/MG, com base nos dados do IBGE e da NBR15220-3, sendo que a primeira cidade faz parte da mesma zona bioclimática de Colatina/ES e está distante mais de 2000 km, enquanto a segunda, faz parte da zona bioclimática 5 e está distante apenas 50 km.

³ Programa desenvolvido para classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros.

Quadro 3.1 - Dados dos municípios

UF	Município	Latitude	Altitude ortométrica (m)	Zona Bioclimática, segundo a NBR15220-3
ES	Baixo Guandu	19 ° 29 ' S	72,75	8
ES	Colatina	19 ° 29 ' S	68,90	8
ES	João Neiva	19 ° 44 ' S	61,08	8
ES	Linhares	19 ° 34 ' S	9,41	8
ES	Marilândia	19 ° 24 ' S	92,28	8
ES	Vitoria	20 ° 18 ' S	21,53	8
MG	Aimorés	19 ° 29 ' S	82,47	5
PA	Belém	01 ° 24 ' S	33,84	8

Fonte: IBGE e NBR 15220-3/2005

Vale ressaltar que Vitória/ES, Belém/PA e Aimorés/MG têm normais climatológicas, e estas normais foram as bases para a determinação do Zoneamento Bioclimático, enquanto para Colatina/ES não se tem estes dados. Como a Zona Bioclimática de Colatina/ES foi determinada pelo método de interpolação linear com as cidades próximas, surgem os questionamentos de sua ideal inserção no atual Zoneamento.

3.4 Zoneamento Bioclimático Brasileiro – Revisão 2010/2014

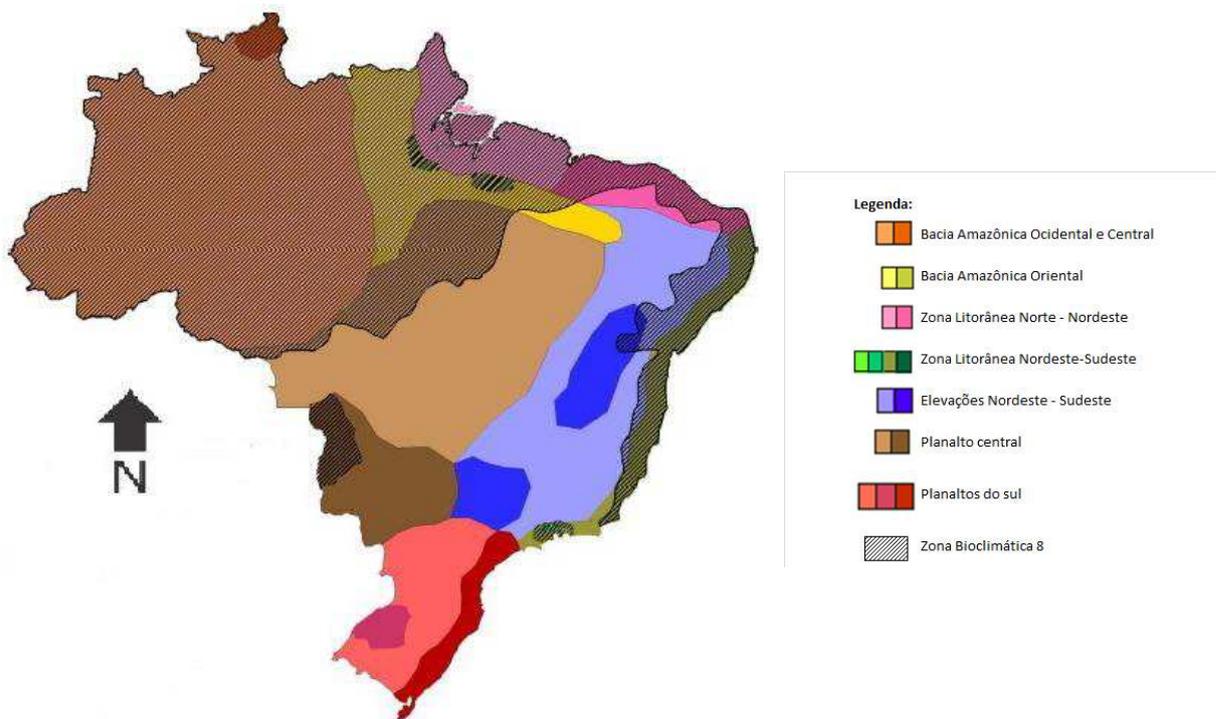
Apesar das considerações e questionamentos feitos sobre a adequação do zoneamento vigente, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) vem cumprindo um papel importante nos indicativos de melhoria do desempenho térmico das habitações de interesse social no país. Porém, passados nove anos desde sua publicação, algumas considerações já foram feitas com uma discussão de uma revisão deste Zoneamento.

Roriz (2012a) cita que o atual zoneamento foi elaborado com o objetivo específico de atender às Habitações Unifamiliares de Interesse Social, porém, por ser durante anos o único material disponível nas normas técnicas brasileiras, ele é aplicado para qualquer tipo de edificação sem distinções, o que muitas vezes acarreta análises

equivocadas sobre a adequação climática destas edificações. Não obstante, o Zoneamento é adotado por outras normas e regulamentos posteriores à NBR 15520-3 e que tratam de outras tipologias construtivas. São exemplos a NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais e os Regulamentos Técnicos sobre Eficiência Energética (RTQ-C e RTQ-R) do INMETRO.

Com base nestas questões, há um consenso entre vários pesquisadores brasileiros, que atuam nesta área específica, que existe a necessidade de se fazer uma revisão do Zoneamento. Uma das críticas feitas ao atual zoneamento está presente em Brasil (2005), quando foi feita uma sobreposição do mapa do Zoneamento Bioclimático Brasileiro e o mapa eólico do Brasil. Nesta sobreposição, foi possível perceber que cidades como Manaus/ AM, Belém/PA e Vitória/ES possuem diferentes disponibilidades de vento e necessitam de um tratamento diferenciado na adoção das estratégias, mesmo estando situadas na mesma zona bioclimática – ZB8. Lima (2008) mostrou essa situação ao compilar e traduzir os dados presentes em Bastos, Barroso-Krause e Beck (2006), gerando a superposição do mapa de potencial eólico sobre o mapa da Zona 8 da ABNT (figura 3.2).

Figura 3.2 - Superposição do mapa de potencial eólico sobre o mapa da Zona 8 da ABNT



Fonte – Adaptado de Lima (2008)

Ainda, no quadro 3.2, vê-se a grande variação da velocidade dos ventos na altura das aberturas do edifício, a 1,5m e 6m do solo, onde se verifica os diferentes regimes de ventos que atuam em cada região do país. Na ZB8, ela varia de 0,53 a 4,7 m/s para a altura de 1,5m e de 1,7 a 6,6 m/s na altura de 6m.

Quadro 3.2 - Velocidade dos ventos na altura das aberturas do edifício, a 1,5m e 6m do solo

REGIÃO		Porção da Região	V vento (m/s) a 1,5 m	V vento (m/s) a 6 m
	Bacia Amazônica Ocidental e Central	Geral	< 0,53	< 1,7
		Norte	2,2 - 3,3	3,7 - 5,5
	Bacia Amazônica Oriental	Geral	< 0,8	< 1,9
		Elevações	1,8 - 2,0	4,0 - 5,0
	Zona Litorânea Norte - Nordeste	Norte	1,4 - 2,0	4,2 - 6,3
		Sul	2,6 - 3,9	4,4 - 6,6
	Zona Litorânea Nordeste-Sudeste	Norte	2,5 - 2,9	4,7 - 5,3
			3,1 - 4,7	4,2 - 6,0
		Rio (RJ)	-	1,4
			0,67	3
	Elevações Nordeste - Sudeste		1,6 - 2,0	3,6 - 4,5
		Geral	1,5 - 2,0	3,1 - 4,2
	Planalto central	Norte	1,1 - 1,5	1,8 - 2,5
		Sul	1,8 - 2,2	3,1 - 3,7
	Planaltos do sul	Geral	1,4 - 1,7	3,0 - 3,6
		Elevações	1,8 - 2,0	3,8 - 4,4
		Litoral sul	> 3,0	> 4,6

Fonte – Adaptado de Lima (2008)

Mais recentemente Ferreira, Souza e Assis (2014) desenvolveram estudos comparando o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e a classificação climática proposta por Nimer (1979). Neste trabalho, constatou-se que na comparação dos mapas das duas classificações climáticas, houve pouca correspondência entre as mesmas. Enquanto Nimer (1979) aborda vários conceitos da climatologia dinâmica, tais como as diferenças que existem nos extremos de temperaturas e a duração destas e também as distribuições de chuvas e duração de climas secos, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro considerou apenas os dados mensais de temperatura média e umidade relativa.

Ao longo destes anos, e com a contribuição de vários pesquisadores do Brasil, várias propostas surgiram para a revisão do atual Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Ao contrário do existente na NBR 15220-3, as propostas de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro limitam-se à divisão do território brasileiro em zonas com algum nível de homogeneidade climática, sem abordar as recomendações construtivas específicas para cada zona, como consta na NBR 15220-3, deixando para estudos

futuros a definição das recomendações construtivas específicas para cada zona (RORIZ, 2012a).

Até o momento já foram feitas cinco propostas de revisão (a proposta denominada versão 2.1 foi desconsiderada neste trabalho pois foi substituída logo depois pela versão 3.0), cada uma tendo uma nomenclatura própria. Para facilitar a leitura deste trabalho e se padronizar as informações, o quadro 3.3 apresenta uma equivalência de nomenclatura entre propostas de revisão do ZBB existentes no LabEEE e neste trabalho.

Quadro 3.3 - Equivalência de nomenclatura entre propostas de revisão do ZBB existentes no LabEEE e neste trabalho.

Nomenclatura LabEEE	Data de lançamento	Nomenclatura adotada
Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro	Jan./ 2012	Proposta 01
Segunda proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Do Brasil	Ago./ 2012	Proposta 02
Classificação de climas do Brasil – versão 2	Nov./ 2013	Proposta 03
Classificação de climas do Brasil – versão 3	Mar./ 2014	Proposta 04

Fonte: produção do próprio autor

Na proposta 01, de janeiro de 2012, a base de dados climáticos disponíveis foi dividida em três grupos. O Grupo 1 contém dados de Média Mensal da Temperatura Mínima do Ar (Tmin) e Média Mensal da Temperatura Máxima do Ar (Tmax), ambas temperatura de bulbo seco, medidas pelo INMET; abrange 610 municípios com dados medidos e corresponde a 11% dos municípios existentes no Brasil. O Grupo 2, cujos valores de temperaturas mínimas e médias foram obtidos por Regressão Linear Múltipla, possui 4954 municípios, onde as temperaturas mínimas e médias foram estimadas por meio de regressões. Tendo estas temperaturas como base, suas respectivas amplitudes foram calculadas. E, por fim, o Grupo 3, cujos valores foram obtidos por interpolação dos pontos no país situados fora das sedes municipais, devido à falta de dados confiáveis de altitudes. Desta forma, foram obtidos por

interpolação os dados de temperaturas médias e mínimas de todos estes pontos. O território brasileiro foi dividido em 233.455 células quadradas, cada uma tendo aproximadamente 6 km de lado e as interpolações foram desenvolvidas por meio do programa Surfer-9 (RORIZ, 2012a). O quadro 3.4 mostra as fontes dos dados adotados para primeira proposta de revisão.

Quadro 3.4 - Fontes dos dados adotados para proposta 01 de revisão.

Grupo	Número de locais	Fonte dos dados
1	400	Dados horários históricos no período 2000 a 2010 das estações automáticas do INMET
1	22	Dados diários históricos do período 2000 a 2010 de estações convencionais do INMET
1	188	Normais climatológicas - Período 1961 a 1990
2	4954	Temperaturas mínimas e médias foram estimadas por meio de regressões
3	-	233455 células quadradas de 6 km de lado com dados interpolados no programa Surfer-9

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Roriz (2012a)

Observa-se que, por esta proposta de revisão, há ainda um número restrito de cidades que possuem dados obtidos através das medições do INMET (o grupo 1 corresponde a apenas 11% dos municípios brasileiros). Barnaby e Crawley (2011) citam que, historicamente, os dados climáticos em larga escala apoiavam as variadas atividades ligadas à aviação e agricultura e seu uso em aplicações ligadas a área de arquitetura ou engenharia tem recebido atenção apenas mais recentemente. De fato, mesmo tendo havido um aumento do número de estações, a primeira proposta do novo zoneamento ainda conta com pouco mais de 10% do território nacional com dados registrados por estações meteorológicas.

Ao contrário do existente na NBR 15220-3, a proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro limita-se à divisão do território brasileiro em zonas com algum nível de homogeneidade climática, sem abordar as recomendações construtivas específicas para cada zona como consta na NBR 15220-3, deixando para estudos futuros a definição das recomendações construtivas específicas para cada zona (RORIZ, 2012a).

Após a divulgação da proposta 01, várias críticas e sugestões foram feitas por pesquisadores, identificando-se aspectos que poderiam ser aperfeiçoados, assim como caminhos que poderiam ser percorridos para melhorar a qualidade do trabalho.

A proposta 02, de agosto de 2012, surgiu como opção para substituir a anterior e foi submetida à apreciação do Grupo de Discussão que foi instituído no âmbito da ANTAC para rever o Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Nesta proposta, os dados de 11 fontes, monitorados em 1265 lugares do território nacional foram compilados. Mesmo que alguns destes lugares não constituam sedes de municípios, os seus dados contribuem para detalhar o mapa climático do país (RORIZ, 2012b). O quadro 3.5 apresenta as fontes de dados monitorados mostrando que já são 11 fontes que disponibilizam informações de 1281 lugares, ampliando a base de dados.

Quadro 3.5 - Fontes dos dados adotados de Médias Mensais de Temperaturas Máximas (Tmax) e Mínimas (Tmin)

Código da fonte	Número de lugares	Fonte
1	345	Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990). Edição revista e ampliada (BRASIL, 2009)
2	237	Arquivos EPW (EnergyPlus Weather File) que constam da base da ANTAC (RORIZ, 2012)
3	37	Normais Climatológicas do Brasil (1931-1960). (BRASIL, 1969)
4	19	Estações convencionais do INMET (período entre 2000 e 2010)
5	306	Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento [www.agritempo.gov.br/].
6	151	CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Estado de São Paulo. [www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline]
7	6	SIMEHGO - Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás [www.simego.sectec.go.gov.br]
8	3	SEPLAN-MT - Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso [www.zsee.seplan.mt.gov.br]
9	3	Dissertação de Mestrado de Maria da Graça Pimentel, UFPEL, 2007 [http://www.ufpel.edu.br/meteorologia/pos-graduacao/dissertacoes]
10	9	SIMGE - Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais [www.simge.mg.gov.br/base_dados/index.html]
11	168	Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente [http://hidroweb.ana.gov.br/]

Fonte: RORIZ (2012b)

Segundo Roriz (2012b), as principais diferenças entre as duas propostas está no aumento do número de pontos com dados coletados e a forma de se estimar as temperaturas para os pontos que não tiveram seus dados medidos. O quadro 3.6 apresenta as principais diferenças, onde se vê que por esta última proposta duplicou o número de pontos com coleta de dados.

Quadro 3.6 - Primeira hipótese de critérios para definição das Zonas Bioclimáticas.

Aspecto	Proposta 1	Proposta 2
Número de pontos com dados medidos	610	1281
Estimativas de temperaturas em pontos sem dados medidos.	a) Equações de regressão para sedes de municípios b) Interpolação para os pontos restantes	a) Dados medidos por satélite a cada grau de latit. e longit. b) Interpolação para os pontos restantes
Compatibilização entre dados medidos em diferentes períodos	Não	Sim

Fonte: RORIZ (2012b)

Já em 2013, após várias contribuições de pesquisadores, foi lançada a proposta 03, contando com novas fontes de dados, incluindo os dados da estação do Incaper no Espírito Santo, conforme se verifica no item 6 do quadro 3.7. Segundo Roriz (2013) o principal objetivo desta proposta é estabelecer um mapeamento dos climas do Brasil, sendo que, posteriormente, através de simulações computacionais, poderão ser definidos Zoneamentos Bioclimáticos que sejam específicos para as diferentes tipologias e, desta forma, identificar as estratégias construtivas mais recomendadas para cada tipologia.

Quadro 3.7 - Fontes dos Dados Climáticos da proposta 03.

Num.	Qty.	Fontes
1	263	BDMEP-INMET (Estações convencionais 1970-2012)
2	136	INMET 2009: Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990). Edição revista e ampliada
3	30	Normais Climatológicas do Brasil (1931-1960). (BRASIL, 1969)
4	14	Arquivos EPW (EnergyPlus Weather File) que constam da base da ANTAC (RORIZ, 2012)
5	598	Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento [www.agritempo.gov.br/].
6	6	INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
7	43	CEPAGRI - Clima dos Municípios Paulistas
8	145	Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente [http://hidroweb.ana.gov.br/]
9	18	Berkeley University [http://berkeleyearth.org/data]
10	6	SIMEHGO - Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás [www.simego.sectec.go.gov.br]
11	3	SEPLAN-MT - Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso [www.zsee.seplan.mt.gov.br]
12	3	SIMGE - Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais
13	119	CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Estado de São Paulo. [www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline]
14	86	www.bdclima.cnpm.embrapa.br (apenas Tmed)
15	43	Diversos (Teses, Monografias, Artigos, Relatórios, etc.)
Total	1513	
16	248	Cidades de países vizinhos - Berkeley University [http://berkeleyearth.org/data]

Fonte: RORIZ (2013)

Esta proposta conta com dados medidos em 1131 lugares do território brasileiro, além de dados que foram obtidos através de satélites pela NASA. Assim, o número de cidades brasileiras aumentou para 1513, além da inclusão de 230 cidades de outros

países sul-americanos, uma vez que estes dados contribuirão para o processo de interpolação dos mapas resultantes (RORIZ, 2013).

Já em março de 2014, houve uma proposta de melhoria da versão anterior, considerando-se que, até o momento, era dada preferência às médias obtidas com base em períodos históricos mais longos. Por esta razão, utilizou-se apenas 14 arquivos em formato epw da base da ANTAC, disponíveis no site do LabEEE. Porém, percebeu-se que os arquivos em formato epw seriam necessários para simulações computacionais que estão contempladas para uma próxima etapa da revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, com vistas às recomendações construtivas, fazendo com que os 413 arquivos epw fossem considerados na proposta 04 (RORIZ, 2014). O quadro 3.8 apresenta a alteração das fontes dos dados climáticos da proposta 04, com o aumento do número de arquivos epw.

Quadro 3.8 - Fontes dos Dados Climáticos da proposta 04.

Num.	Quant	Fontes dos dados
1	110	BDMEP-INMET (Estações convencionais 1970-2012)
2	101	Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990). (BRASIL, 2009)
3	30	Normais Climatológicas do Brasil (1931-1960). (BRASIL, 1969)
4	413	Arquivos EPW da base da ANTAC (RORIZ, 2012)
5	401	Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeor. do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento [www.agritempo.gov.br/].
6	6	INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
7	30	CEPAGRI - Clima dos Municípios Paulistas
8	145	Agência Nacional de Águas [http://hidroweb.ana.gov.br/]
9	18	Berkeley University [http://berkeleyearth.org/data]
10	6	SIMEHGO - Sistema de Meteor. e Hidrol. do Estado de Goiás [www.simego.sectec.go.gov.br]
11	3	SEPLAN-MT [www.zsee.seplan.mt.gov.br]
12	3	SIMGE - Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais
13	117	CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Estado de São Paulo. [www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline]
14	86	www.bdclima.cnpm.embrapa.br (apenas Tmed)
15	42	Diversos (Teses, Monografias, Artigos, Relatórios, etc.)
16	226	Países vizinhos - Berkeley University [http://berkeleyearth.org/data]
17	1067	NASA (satélite)

Fonte: RORIZ (2014).

Nesta versão, o número de cidades brasileiras somam 1511, pois duas foram excluídas por estarem repetidas, além da manutenção de 226 cidades de outros

países sul-americanos. Com isto, há um esforço contínuo para que a revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro ocorra, cada vez mais, com um maior número de cidades que representem o clima local através de dados obtidos das mais variadas fontes, fazendo com que o número de 330 cidades do Zoneamento em vigor tenha aumentado para mais de 1500, representando hoje 27 % municípios brasileiros, e não mais apenas 6% como foi na criação da NBR 15220.

3.5 Métodos de classificação bioclimática

O método do trabalho consiste na utilização dos dados constantes dos arquivos climáticos de Colatina/ES (TRY e TMY2) para fazer a análise das propostas de Zoneamento Bioclimático, verificando a inserção de Colatina/ES, tanto na versão do atual Zoneamento Bioclimático Brasileiro, constante da NBR 15220/2005, quanto nas versões de propostas de Revisão do Zoneamento e na ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE, 2010). Cada uma destas versões tem uma metodologia própria para classificar os climas. Algumas usam dados de médias das temperaturas máximas e mínimas, outras trabalham com graus hora ou com amplitudes térmicas. Sendo assim, cada método de análise é explicado a seguir.

A base de dados para criação dos arquivos climáticos de Colatina/ES foi a estação Meteorológica do Incaper, situado em Marilândia/ES (distante 17 km do local de estudo), sendo esta a cidade mais próxima de Colatina com uma base de medições meteorológicas. Conforme descrito no capítulo 2 deste trabalho, os dados climáticos foram tratados segundo métodos específicos o que possibilitou a criação de arquivos climáticos para a análise.

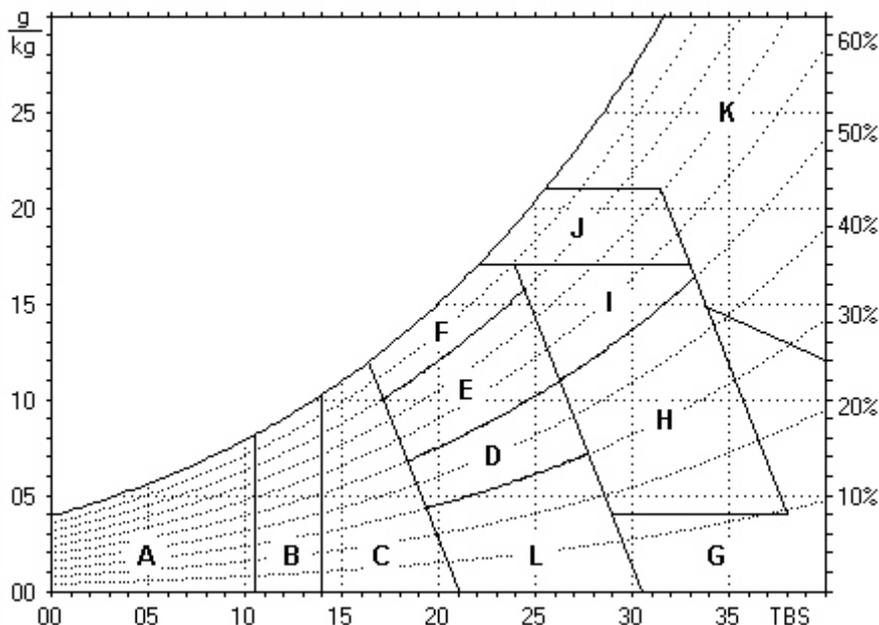
3.5.1 Método da NBR 15220

Segundo Roriz, Ghisi e Lamberts (1999), o atual zoneamento baseou-se em adaptações efetuadas sobre a Carta Bioclimática de Givoni, sem o intuito de questionar os seus fundamentos teóricos.

A figura 3.3 mostra a carta adaptada pela metodologia proposta por Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) para a definição do atual Zoneamento. A zona de conforto da carta original ficou dividida em duas sub-zonas e uma com umidades relativas entre 30 e

50%- zona D, outra com umidades entre 50 e 80% - zona E (RORIZ; GHISI; LAMBERTS; 1999).

Figura 3.3 - Carta Bioclimática adaptada e suas estratégias de condicionamento.



Fonte: Roriz, Ghisi e Lamberts(1999)

Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) explicam que na carta adaptada a estratégia de ventilação sofreu uma divisão em duas zonas (J e I), sendo que a zona J só se aplica quando altas temperaturas se conjugam com altas umidades. Também foi necessária a criação da zona F, onde se recomenda a substituição do ar úmido interior pelo ar exterior mais seco. Esta última zona exige taxas de ventilação mais baixas do que a zona J.

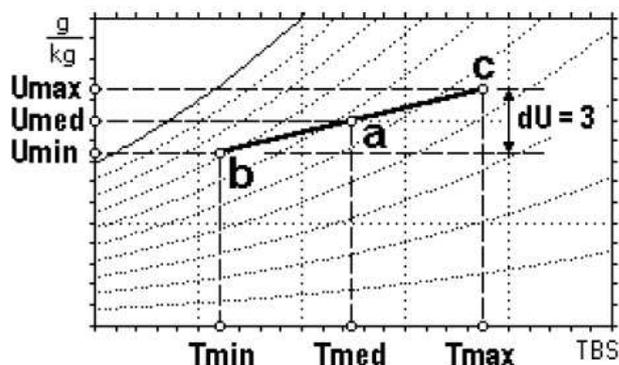
Utilizando-se esta carta adaptada, procedeu-se a inserção dos dados mensais de temperatura e umidade do ar, para cada mês, sendo que se utilizou a temperatura média das mínimas, a temperatura média das máximas e a média mensal da umidade relativa. A temperatura média foi calculada segundo a equação 3.1.

$$T_{med} = (T_{min} + T_{max}) / 2$$

Equação 3.1

Pela figura 3.4 verifica-se que na interseção entre T_{med} e UR marca-se um ponto definido como ponto "a", cuja correspondente à umidade absoluta é considerada como média do mês (U_{med}).

Figura 3.4 - Representação gráfica do clima



Fonte: Roriz, Ghisi e Lamberts (1999).

Adotando-se a variação média diária da umidade absoluta do ar igual a três gramas de vapor d'água por quilograma de ar seco, estabeleceu-se que a U_{min} (umidade absoluta correspondente a T_{min}) é igual $U_{med} - 1,5$ (g vapor / kg ar seco) e a $U_{máx}$ (umidade absoluta correspondente a $T_{máx}$) é igual $U_{med} + 1,5$ (g vapor / kg ar seco). Posteriormente, acha-se um ponto "b" na interseção entre as retas que passam por T_{min} e U_{min} e um ponto "c" na interseção entre as retas que passam por T_{max} e U_{max} (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999). O segmento de reta "bc" é definido como o representativo para todas as horas de um dia médio do mês considerado.

Esta operação é repetida para os 12 meses do ano, obtendo-se desta forma as porcentagens de cada estratégia para o ano.

3.5.2 Método das propostas de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A Proposta 01, de janeiro de 2012, constante em Roriz (2012a), trabalha com o aumento do número de zonas bioclimáticas de oito para 20. A Proposta 02, constante em Roriz (2012b) aumenta o número de zonas de oito para 16. Posteriormente, em 2013 e 2014, surgiram as Propostas 3 e 4. Estas novas propostas estabelecem um número total de 24 zonas bioclimáticas. Vale ressaltar que a Proposta 03 sofreu algumas alterações e recebeu uma versão com 32 zonas bioclimáticas, mas esta foi revista e a versão mais atual (Proposta 04) mantém as 24 zonas.

Cada proposta traz em si algumas particularidades de métodos para classificação dos climas de cada localidade. As duas primeiras propostas apresentadas em 2012 trabalham com a terminologia apresentada no quadro 3.9.

Quadro 3.9 - Terminologia usada por RORIZ (2012a) para revisão

$T_{min}(m)$: Média Mensal da Temperatura Mínima do Ar	$(m) = \text{mês}$
$T_{max}(m)$: Média Mensal da Temperatura Máxima do Ar	$(m) = \text{mês}$
$T_{med}(m)$: Média Mensal da Temperatura do Ar.	$T_{med}(m) = [T_{min}(m) + T_{max}(m)]/2$
$A_{med}(m)$: Média Mensal da Amplitude Térmica	$A_{med}(m) = T_{max}(m) - T_{min}(m)$
T_{med} : Média Anual da Temperatura do Ar.	$T_{med} = \left[\sum_{m=1}^{12} T_{med}(m) \right] / 12$
A_{med} : Média Anual da Amplitude Térmica.	$A_{med} = \left[\sum_{m=1}^{12} A_{med}(m) \right] / 12$

Fonte: Roriz (2012a)

Segundo Roriz (2012b), existem vários métodos de classificação climática, cada um voltado para diferentes objetivos, sejam destinados a agricultura, biologia ou mesmo geologia. O objetivo principal da Proposta 01 foi estabelecer um método que permita dividir o território brasileiro em um número de zonas que possam refletir da melhor maneira possível a diversidade climática do Brasil no que se refere ao comportamento térmico e energético de edificações. Conforme Roriz (2012b), esta tarefa é extremamente complexa e envolve aspectos polêmicos entre os diversos pesquisadores da área. Adotar critérios que sejam excessivamente rigorosos podem resultar em uma excessiva quantidade de zonas. Por outro lado, critérios que sejam muito genéricos, tendem a mascarar as diferenças climáticas que possam ser de extrema significância para o comportamento térmico e energético de edificações.

Na Proposta 01 do zoneamento, cada um destes parâmetros foi dividido em intervalos, cujos limites foram definidos tomando-se por base as análises dos dados climáticos das 610 estações do denominado Grupo 1. Roriz (2012a) verificou que com pequenas alterações nos limites estabelecidos ocorrem diferenças significativas no que se refere à abrangência das zonas.

O quadro 3.10 apresenta a primeira proposta de critérios para definição das Zonas Bioclimáticas no Brasil, baseado no cruzamento dos resultados das temperaturas médias anuais com as amplitudes médias anuais. Os valores de dT são dados pela

diferença entre a maior e a menor Temperatura Média Mensal e dA pela diferença entre a maior e a menor Amplitude Térmica Mensal.

Quadro 3.10 - Proposta 01 com critérios para definição das Zonas Bioclimáticas

			TmedAno ≤ 20		20 < TmedAno ≤ 26		TmedAno > 26
			dT ≤ 8.4	dT > 8.4	dT ≤ 5.4	dT > 5.4	
			A1	A2	B1	B2	C1
AmedAno ≤ 10	dA ≤ 2.3	D1	Z1: A1D1	Z5: A2D1			
	dA > 2.3	D2	Z2: A1D2	Z6: A2D2			
AmedAno > 10	dA ≤ 2.3	E1	Z3: A1E1	Z7: A2E1			
	dA > 2.3	E2	Z4: A1E2	Z8: A2E2			
AmedAno ≤ 10	dA ≤ 3.6	D1			Z9: B1D1	Z13: B2D1	
	dA > 3.6	D2			Z10: B1D2	Z14: B2D2	
AmedAno > 10	dA ≤ 3.6	E1			Z11: B1E1	Z15: B2E1	
	dA > 3.6	E2			Z12: B1E2	Z16: B2E2	
AmedAno ≤ 10	dA ≤ 4.2	D1					Z17: C1D1
	dA > 4.2	D2					Z18: C1D2
AmedAno > 10	dA ≤ 4.2	E1					Z19: C1E1
	dA > 4.2	E2					Z20: C1E2

Fonte: Roriz (2012a)

A Proposta 02 de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro que foi formulada aplica dois parâmetros para classificação dos climas: total anual de graus-horas de calor (GhC) e total anual de graus-horas de frio (GhF). Estes parâmetros foram definidos baseados nos intervalos confortáveis de temperatura obtidos na Carta Bioclimática proposta por Givoni, ou seja, 18 a 28 °C, sendo 18°C é o limite inferior da Zona de Conforto e 28 °C o limite superior para diferentes taxas de umidade (RORIZ, 2012b).

Assim como a proposta anterior, há a certeza que os métodos de classificação climática são muitos e cada um com seu objetivo específico, e que a tarefa é dividir o território brasileiro em zonas que reflitam a diversidade climática do país em relação ao comportamento térmico e energético de edificações da melhor forma possível (RORIZ, 2012b).

Sendo assim, os indicadores foram calculados pelas fórmulas constantes das equações 3.1 e 3.2.

$$\text{GhC} = \sum_{m=1}^{12} \mathbf{Tmax(m)} - \mathbf{28} \quad (\text{se a Tmax (m)} > 28^\circ \text{C}) \quad \text{Equação 3.2}$$

$$\text{GhF} = \sum_{m=1}^{12} \mathbf{18} - \mathbf{Tmin(m)} \quad (\text{se a Tmin(m)} < 18^\circ \text{C}) \quad \text{Equação 3.3}$$

Sendo:

Tmax(m): Média das temperaturas máximas do mês “m”

Tmin(m): Média das temperaturas mínimas do mês “m”

Desta forma, chegou-se à uma nova proposta de Zoneamento, com 16 zonas separadas pelos intervalos de GhC e GhF conforme apresentado no quadro 3.11.

Quadro 3.11 - Definição das 16 Zonas Bioclimáticas

GhC	GhF				
	> 65	45-65	25-45	5-25	≤5
≤5	ZB 1	ZB 2	ZB 3	ZB 4	ZB 5
5-25	ZB 6	ZB 7	ZB 8	ZB 9	ZB 10
25-45	--	--	ZB 11	ZB 12	ZB 13
45-65	--	--	--	ZB 14	ZB 15
> 65	--	--	--	--	ZB 16

Fonte: Roriz (2012b)

A proposta seguinte traz, além de um aumento das fontes de dados climáticos tratados para 1513, outra metodologia de critérios para classificação dos climas, incluindo o cálculo do desvio padrão da média mensal das temperaturas médias diárias e desvio padrão da amplitude da média mensal, conforme quadro 3.12 com as terminologias utilizadas nesta versão.

Quadro 3.12 - Terminologias usadas na proposta 03

Variável Climática	Cálculo
Tmax: Média mensal das Temperaturas Máximas diárias	
Tmin: Média mensal das Temperaturas Mínimas diárias	
Tmed: Média mensal das Temperaturas Médias diárias	$Tmed = (Tmax+Tmin)/2$
TMA: Temperatura Média Anual	$TMA = [\sum_{n=1}^{12} Tmed_{(n)}] / 12$
Amp: Amplitude Média mensal	$Amp = Tmax - Tmin$
AMA: Amplitude Média Anual	$AMA = [\sum_{n=1}^{12} Amp_{(n)}] / 12$
dpT = Desvio Padrão de Tmed	$dpT = \{ [\sum_{n=1}^{12} T(Tmed_{(n)} - TMA)^2] / 11 \}^{0.5}$
dpA = Desvio Padrão de Amp	$dpA = \{ [\sum_{n=1}^{12} T(Amp_{(n)} - AMA)^2] / 11 \}^{0.5}$

Fonte: Roriz (2013)

Segundo Roriz (2013), o objetivo desta proposta foi evitar que existissem grupos com um número inexpressivo de cidades. Então foi feita uma divisão da base de dados em três grupos de Temperatura Média Anual (TMA), sendo eles classificados com os seguintes intervalos: $TMA \leq 21$; $21 < TMA < 26$ e $TMA \geq 26$. A tabela 3.1 mostra a proposta de classificação por este método com 24 zonas bioclimáticas.

Tabela 3.1 - Critérios para Classificação dos Climas pela Proposta 03

TMA	dpT	AMA	dpA	GRUPO
≤21	≤3,3	≤10,6	≤0,75	1
			>0,75	2
		>10,6	≤0,95	3
			>0,95	4
	>3,3	≤12,6	≤1,15	5
			>1,15	6
		>12,6	≤2,4	7
			>2,4	8
21 a 26	≤3,2	≤10,5	≤1,1	9
			>1,1	10
		>10,5	≤0,8	11
			>0,8	12
	>3,2	≤12,0	≤1,0	13
			>1,0	14
		>12,0	≤1,9	15
			>1,9	16
>26	≤3,0	≤9,5	≤0,9	17
			>0,9	18
		>9,5	≤1,2	19
			>1,2	20
	>3,0	≤11,6	≤1,4	21
			>1,4	22
		>11,6	≤1,3	23
			>1,3	24

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Roriz (2013)

Seguindo a mesma lógica de cálculos e acatando a sugestão de vários pesquisadores, a Proposta 03 recebeu uma atualização, onde os intervalos de temperatura média anual (TMA) aumentaram para quatro, fazendo com que o número de zonas bioclimáticas aumentasse para 32. Porém esta versão foi logo modificada para a Proposta 04. Além disto, esta nova versão retorna à classificação do clima com três intervalos de temperatura média anual (TMA) conforme tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Critérios para Classificação dos Climas pela Proposta 04

TMA	dpT	AMA	dpA	GRUPO
≤21,0	≤3,0	≤11,1	≤1,0	1
			>1,0	2
		>11,1	≤1,6	3
			>1,6	4
	>3,0	≤10,2	≤0,7	5
			>0,7	6
		>10,2	≤0,9	7
			>0,9	8
>21,0/ ≤25,0	≤2,1	≤10,6	≤1,0	9
			>1,0	10
		>10,6	≤1,4	11
			>1,4	12
	>2,1	≤11,9	≤1,1	13
			>1,1	14
		>11,9	≤2,1	15
			>2,1	16
>25,0	≤1,1	≤9,6	≤1,0	17
			>1,0	18
		>9,6	≤1,8	19
			>1,8	20
	>1,1	≤10,7	≤1,2	21
			>1,2	22
		>10,7	≤1,6	23
			>1,6	24

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Roriz (2014)

Vale ressaltar que entre as propostas 3 e 4, apesar de se manter apenas três intervalos de abrangência para a TMA, na Proposta 03 a segunda faixa incluía TMA com valores de 21°C a 26°C e na Proposta 04, a TMA com abrangência de 21°C a 25°C (Tabela 3.2). Esta pequena alteração influencia diretamente nas classificações dos municípios conforme se verificará nos resultados.

3.5.3 Método ASHRAE Standard 90.1/2007

Em 1989, os Estados Unidos publicaram a ASHRAE Standard 90.1, que estabelece requisitos mínimos para projetos de edificações eficientes. Ela traz uma classificação climática de várias partes do mundo, inclusive de algumas cidades do Brasil. Para caracterizar o clima de uma cidade, ASHRAE Standard 90.1 usa o método de graus-dia que estabelece uma diferença de temperatura entre a temperatura média diária a uma temperatura base de 10° C para os cálculos de graus dia de resfriamento

(cooling degree-day – CDD) e, 18° C para os cálculos de graus dia para aquecimento (heating degree-day – HDD).⁴

Quadro 3.13 - Definição das Zonas Climáticas Internacionais pela ASHRAE Standard 90.1

Numero da Zona	Nome	Crítérios térmicos
1	Muito quente e Úmido (1A), Seco (1B)	$5000 < CDD_{10^{\circ}C}$
2	Quente e úmido (2A), Seco (2B)	$3500 < CDD_{10^{\circ}C} \leq 5000$
3A e 3B	Ameno e úmido (3A), Seco (3B)	$2500 < CDD_{10^{\circ}C} \leq 3500$
3C	Litorâneo ameno	$CDD_{10^{\circ}C} \leq 2500$ e $HDD_{18^{\circ}C} \leq 2000$
4A e 4B	Úmido (4A), seco (4B)	$CDD_{10^{\circ}C} \leq 2500$ e $2000 < HDD_{18^{\circ}C} \leq 3500$
4C	Litorâneo misto	$2000 < HDD_{18^{\circ}C} \leq 3000$
5 ^a , 5B e 5C	Frio e úmido(5A), seco (5B) e litorâneo (5c)	$3000 < HDD_{18^{\circ}C} \leq 4000$
6 ^a e 6B	Frio e úmido(6A), seco (6B)	$4000 < HDD_{18^{\circ}C} \leq 5000$
7	Muito frio	$5000 < HDD_{18^{\circ}C} \leq 7000$
8	Sub-antártico	$7000 < HDD_{18^{\circ}C}$

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de ASHRAE (2010)

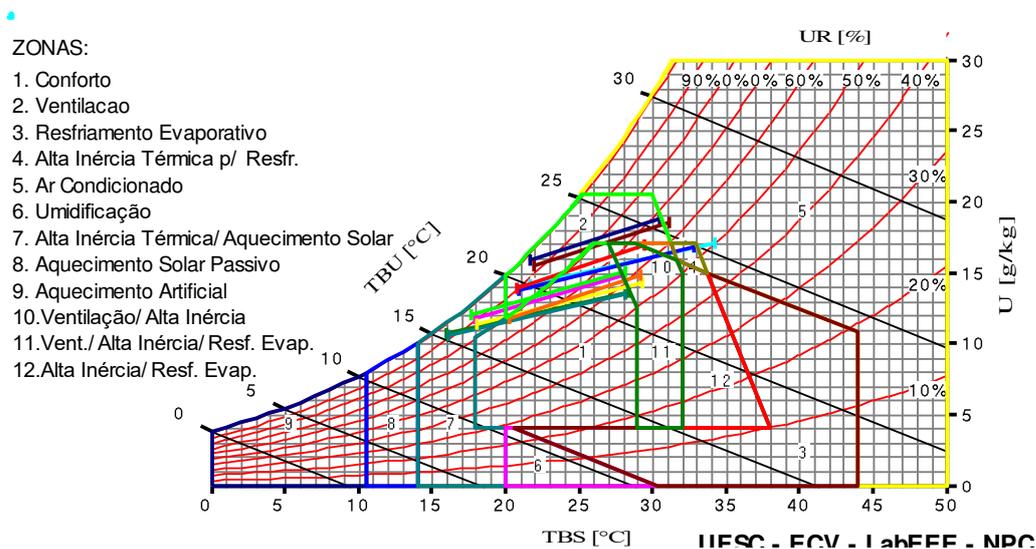
3.6 Discussão e resultados

3.6.1 Análise pela NBR 15220

As médias das temperaturas médias mensais, a média das máximas, a média das mínimas, a média da umidade relativa do ar e a média de pressão que compuseram a carta bioclimática para Colatina/ES são mostrada na figura 3.5.

⁴ No caso do CDD, o método estabelece que, quando a temperatura média for superior a 10°C, verifica-se a diferença graus-dias são necessários para resfriamento durante um ano completo, para o HDD, quando a temperatura média for inferior a 18°C, verifica-se a diferença de quantos graus-dias são necessários para aquecimento ao longo de um ano. O quadro 3.13 mostra as definições das Zonas Climáticas Internacionais estabelecidas pela norma e as classificações conforme os valores de CDD e HDD.

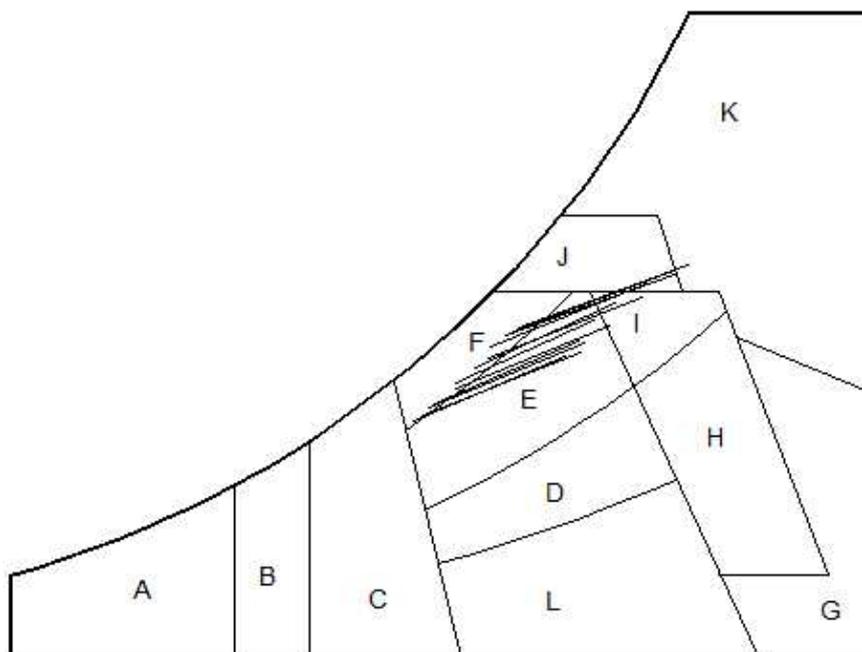
Figura 3.5 - Carta bioclimática para Colatina/ES com base nas normais climatológicas do arquivo TMY2



Fonte: AnalysisBio

Em seguida, a figura foi adaptada à carta adaptada por Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) conforme a figura 3.6.

Figura 3.6 - Carta Bioclimática de Colatina/ES sobre adaptação Carta Givoni.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Considerando os resultados obtidos com a inserção das Normais Climatológicas no AnalysisBio e, posteriormente, a sua inserção na carta bioclimática adaptada de Givoni, obteve-se as principais estratégias apresentadas para Colatina/ES com as respectivas percentagens das horas correspondentes à cada estratégia. Para se determinar este percentual, calculou-se o comprimento total de cada uma das 12 linhas (referentes aos 12 meses do ano) e o comprimento que cada linha ocupava em cada uma das zonas. Seguindo a metodologia de Roriz, Ghisi e Lamberts (1999), os valores menores que 1% foram desprezados. Em seguida, foram selecionadas as três principais estratégias, exceto a da região "E" (que é relativa a conforto).

Encontraram-se assim os seguintes resultados:

F – 16.25%, J - 9.87%, I - 3.28%.

A Norma 15220-3/2005 estipula para as cidades do Espírito Santo as seguintes estratégias:

- Conceição da Barra - FIJ
- São Mateus - FIJ
- Linhares - FIJ
- Vitória – FIJ
- Cachoeiro de Itapemirim - FIJK

A figura 3.7 mostra as cidades citadas na Norma 15220-3/2005 com sua localização no estado do Espírito Santo.

Figura 3.7 - Mapa do ES com cidades da NBR15220-3



Fonte: Adaptado do Google Earth

Segundo Roriz, Ghisi e Lamberts (1999), utilizando-se o quadro 3.14, percorre-se o mesmo de cima para baixo procurando a primeira Zona cujos critérios correspondam às estratégias características do clima analisado.

Quadro 3.14 - Critérios para classificação bioclimática

Zona	A	B	C	D	H	I	J
1	SIM					NÃO	NÃO
2	SIM						
3		SIM		NÃO	NÃO		
4		SIM					
5			SIM	NÃO	NÃO		
6			SIM				
7					NÃO		
8				NÃO			

Fonte: Roriz, Ghisi e Lamberts (1999)

Analisando-se assim os resultados encontrados para Colatina/ES pela inserção das normais climatológicas do arquivo climático local, concluiu-se que Colatina, por analogia, segue o determinado para os demais municípios do Estado, ou seja, Colatina/ES está inserida na ZB8 pelo atual Zoneamento Bioclimático.

3.6.2 Análise pelas propostas de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Utilizando-se os dados dos arquivos climáticos TRY E TMY2 definidos para Colatina/ES como base, procedeu-se à análise por cada método de revisão proposto para se verificar a inserção do município de Colatina.

Pelo método da proposta 01, que estabelece 20 zonas (com base na média mensal da temperatura média e média das amplitudes, diferenças entre maior e menor temperatura e maior e menor amplitude), os dados dos arquivos climáticos de Colatina/ES forneceram indicaram sua inserção na ZB16, conforme tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Resultados para Colatina/ES com base nos arquivos climáticos TMY2 e TRY

Dados	Arquivo Climático	
	Colatina_TMY	Colatina_TRY
TMedAno	24,88	24,94
dT	5,85	6,80
AmedAno	10,61	11,08
dA	3,93	4,26
Classificação	Z16	Z16

Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se que o método de confecção do arquivo climático não influenciou a classificação, sendo que, em ambas as situações, Colatina/ES estaria inserida na mesma zona. Por esta proposta de Zoneamento Bioclimático, Colatina seria inserida em uma zona bioclimática diferente de Vitória/ES, o que hoje não ocorre. A tabela 3.4 apresenta a classificação dos municípios mais próximos de Colatina/ES que possuem estações do Inmet (Linhares/ES e Aimorés/MG), a capital do estado (Vitória/ES), além de Colatina/ES.

Tabela 3.4 – Zonas bioclimáticas de Colatina/ES segundo Proposta 01

Cidade	Código	Zona Bioclimática
Vitória	B1D2	10
Linhares	B1D1	9
Aimorés	B2D1	13
Colatina_TMY	B2E2	16
Colatina_TRY	B2E2	16

Fonte: Elaborada pelo autor

A região de Colatina/ES não faria parte de nenhuma das zonas bioclimáticas estabelecidas para os municípios vizinhos, pertencendo à zona bioclimática 16. O resultado também contradiz o que está colocado na proposta de revisão (tabela 3.5) cuja classificação indica Colatina na ZB10 com dados obtidos por equações de regressão.

Tabela 3.5 – Parte da tabela de classificação dos municípios brasileiros, segundo a Proposta 01 com critérios para definição das Zonas Bioclimáticas

UF	Município	Latitude	Longitude	Zona	Código	Fonte
ES	Cachoeiro do Itapemirim	-20,833	-41,111	15	B2E1	1
ES	Cachoeiro do Itapemirim	-20,849	-41,113	15	B2E1	2
ES	Cariacica	-20,278	-40,444	10	B1D2	1
ES	Castelo	-20,611	-41,167	16	B2D2	1
ES	Colatina	-19,556	-40,611	10	B1D1	1

Fonte: Adaptado de Roriz (2012a)

Na Proposta 02, novamente o cálculo foi feito com os dois arquivos climáticos (TRY e TMY2) para se verificar a inserção de Colatina/ES no Zoneamento proposto e se haveria alteração entre um método ou outro para a criação do arquivo climático. A tabela 3.6 apresenta os resultados encontrados. Como nesta segunda versão do Zoneamento Bioclimático não consta uma tabela de classificação dos municípios como ocorreu na primeira versão, foi necessário se calcular os intervalos de GhC e GhF para as cidades próximas de Colatina/ES, que seriam Linhares/ES e Aimorés/MG, e também da capital Vitória/ES.

Tabela 3.6 – Graus hora de frio e calor e respectiva Zona Bioclimática segundo a proposta 02

Arquivo Climático	GhF	GhC	Zona
Colatina_TMY2	34,3	26,20	ZB13
Colatina_TRY	33,8	31,07	ZB13
Vitoria	35,4	17,75	ZB10
Aimores	33,6	26,72	ZB13
Linhares	33,8	17,96	ZB10

Fonte: Elaborada pelo autor

Por esta proposta, constata-se que Linhares e Vitória fariam parte de uma mesma zona, ao contrário do que ocorre na proposta anterior, e Colatina/ES insere-se na mesma zona bioclimática de Aimorés/MG. Vale lembrar que o método desta proposta trabalha com um número menor de zonas bioclimáticas, quatro a menos do que o método anterior.

Os métodos descritos na Proposta 03 e Proposta 04 aumentam o número de zonas bioclimáticas para 24. Outro fator a ser considerado é que a base de dados do Incaper

passou a ser usada como fonte de dados climáticos, fazendo com que o município de Marilândia seja incluído na classificação.

Pela Proposta 03, os cálculos indicam que a cidade de Colatina/ES se insere em uma zona diferente da zona de Marilândia/ES. Isto ocorreu porque foram usados dados climáticos distintos aos arquivos de Colatina/ES. Estes foram confeccionados com 4 anos de medições de uma estação automática, enquanto Marilândia/ES, usou dados da estação convencional em funcionamento desde os anos 70, além dos dados da estação automática. No entanto, houve uma proximidade na classificação das zonas bioclimáticas, ficando Colatina/ES na zona 12 e Marilândia/ES na zona bioclimática 13. A tabela 3.7 mostra a classificação de Colatina/ES e demais municípios pelo método da Proposta 02.

Tabela 3.7 - Classificação dos Climas segundo a Proposta 03 da revisão do ZBB.

DADOS	TMA	dpT	AMA	dpA	GRUPO
Colatina_TMY2	24,9	2,1	10,6	1,5	12
Colatina_TRY	24,9	2,1	11,1	1,3	12
Vitoria	25,1	2,0	7,1	0,4	9
Aimores	26,0	3,5	12,0	1,1	23
Linhares	24,4	2,6	9,1	0,7	9
Marilandia	24,7	3,3	11,6	0,6	13

Fonte: Elaborada pelo autor

Sendo:

TMA: Temperatura Média Anual

Amp: Amplitude Média mensal

AMA: Amplitude Média Anual

dpT = Desvio Padrão de Tmed

dpA = Desvio Padrão de Amp

A Proposta 04, que altera a faixa de abrangência dos dados, tanto de TMA, AMA, dpT e dpA, apresentou um fato que até então não havia ocorrido nas outras propostas de revisão. Pela primeira vez, o método classificação foi sensível ao tipo de arquivo climático usado. Enquanto o arquivo TMY2 insere Colatina/ES na zona bioclimática 10, o arquivo TRY insere Colatina/ES na zona bioclimática 11. Além disso, ocorreu um distanciamento maior da zona de Colatina/ES para a zona de Marilândia/ES. A tabela

3.8 apresenta a situação de Colatina/ES e demais municípios pelo método da Proposta 04.

Tabela 3.8 - Classificação dos Climas segundo a Proposta 04 da revisão do ZBB.

DADOS	TMA	dpT	AMA	dpA	GRUPO
Colatina_TMY2	24,9	2,1	10,6	1,5	10
Colatina_TRY	24,9	2,1	11,1	1,3	11
Vitoria	25,1	2,0	7,1	0,4	21
Aimores	26,0	3,5	12,0	1,1	23
Linhares	24,4	2,6	9,1	0,7	13
Marilandia	24,7	3,3	11,6	0,6	13

Fonte: Elaborada pelo autor

Sendo:

TMA: Temperatura Média Anual

Amp: Amplitude Média mensal

AMA: Amplitude Média Anual

dpT: Desvio Padrão de Tmed

dpA: Desvio Padrão de Amp

Esta diferença de classificação da zona bioclimática para Colatina/ES ocorrida pelos arquivos criados por metodologias diferentes (TRY e TMY2) se explica uma vez que a amplitude média anual acabou influenciando mais, apesar da variação entre o arquivo TMY2 e TRY ser bem pequena. Comparado com a Proposta 03, uma pequena mudança de casa decimal já mudou os parâmetros de sensibilidade da classificação. Como o arquivo TMY2 trabalha com meses de anos diferentes, a amplitude média anual não representou um ano real, visto que é elaborado com dados de meses de diferentes anos. Guimarães, Amorim e Carlo (2013) já haviam indicado que o uso de diferentes métodos para criar arquivos climáticos poderia apresentar diferenças em simulações devido a outros fatores (radiação, direção e velocidade dos ventos) que compõem um arquivo climático. Estas diferenças se apresentavam menores pelas temperaturas por ser o parâmetro base para selecionar os dados de um arquivo.

Silva, Almeida e Ghisi (2013), ao analisar dados de arquivos TRY e TMY da cidade de Florianópolis, também detectaram diferenças entre temperaturas de bulbo seco e umidade relativa entre os arquivos citando que, mesmo que as diferenças de temperatura pareçam pequenas, a umidade relativa pode apontar para diferentes

resultados. De fato, Pernigotto et al. (2014) afirmam que, quando se tem um baixo número de anos no conjunto de dados para o desenvolvimento do arquivos TRY, a representatividade das variáveis meteorológicas ou as necessidades de energia pode variar significativamente em diferentes localizações. Aliado a isto, alterações microclimáticas próximas à estação que registra os dados podem também influenciar os resultados na composição dos arquivos climáticos quando utiliza-se anos diferentes.

3.6.3 Análise pela ASHRAE Standard 90.1/2010

A tabela 3.9 apresenta os graus dia de resfriamento (CDD) e graus dia para aquecimento (HDD) resultados obtidos para os municípios de Colatina, Vitória, e Linhares no Espírito Santo e Aimorés/MG. Em destaque estão as cidades presentes na Standard 90.1 (ASHRAE, 2010).

Tabela 3.9 - Classificação dos Climas segundo a ASHRAE Standard 90.1

Cidade	Latitude	Longitude	Elev	HDD18	CDD10	Zona
Belém	1,43 S	48,48 W	24	0	6418	1
Rio de Janeiro	22,90 S	43,17 W	5	8	5382	1
Salvador	13,00 S	38,52 W	51	0	5992	1
São Paulo	23,50 S	46,62 W	795	248	4011	2
Colatina_TMY2	19,24 S	40,45 W	92	0	5070	1
Colatina_TRY	19,24 S	40,45 W	92	0	5093	1
Vitória	20,18 S	40,19 W	21	0	5255	1
Aimorés	19,29 S	41,05 W	82	0	5353	1
Linhares	19,34 S	39,57 W	9,41	0	5211	1

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2010)

Observa-se que as cidades analisadas no estado do Espírito Santo, bem como outras cidades brasileiras tendem a fazer parte de uma única zona climática já que os valores da norma ASHRAE Standard 90.1 trabalham com temperaturas que tendem a abranger o máximo possível de climas do mundo, fazendo com que um país de extensão continental como o Brasil possua apenas duas zonas diferentes.

O método da AHRAE Standard 90.1 constitui mais um método de classificação climática, assim como outros existentes no mundo. Walsh, Labaki e Cóstola (2014) ressaltam que apesar da quantidade de métodos utilizados para estudar e caracterizar os climas, ainda não existe um consenso sobre qual deles é o mais efetivo. Embora diversos países tenham pesquisadores dedicados a fornecer bases para estabelecimento de normas de desempenho térmico, existem vários fatores que interferem nesta classificação, como características geográficas preponderantes de um lugar, além da disponibilidade e qualidade das informações climáticas deste local. A análise pelo método internacional reforça o quanto as condições locais são de extrema importância para a classificação climática de uma região.

3.7 Conclusões

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro é hoje uma realidade, independente dos questionamentos sobre suas adequações. O processo de revisão que hoje está em discussão evidencia a percepção de algumas discrepâncias encontradas em várias localidades do país, observadas em vários estudos e pesquisas feitas desde a publicação da NBR15220-3.

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram a importância de se estabelecer quais metodologias deverão ser usadas para se definir as zonas bioclimáticas. O comparativo do zoneamento atual, colocando a cidade de Colatina/ES e várias outras cidades do estado do Espírito Santo em uma única Zona Bioclimática, no caso a ZB8, com as metodologias de revisão já mostram que os municípios da região norte/noroeste do ES podem apresentar climas diferenciados entre si e diferentes ao da capital, Vitória. Enquanto na metodologia da primeira revisão Colatina/ES e Aimorés/MG estariam em uma mesma zona bioclimática, nas demais propostas isto não ocorre. Assim como Linhares/ES e Colatina/ES que hoje estão na mesma zona bioclimática, passam a ser inseridas em zonas diferenciadas pelas metodologias de revisão.

Propostas muito genéricas, como a do atual Zoneamento ou, mais ainda, da ASHRAE Standard 90.1, tendem a não representar bem a classificação climática de locais tão distintos em relação a relevo ou disponibilidade de ventos e, assim tendem a mascarar diferenças climáticas significativas para o desempenho das edificações e

conforto de seus usuários. Por outro lado, critérios que sejam rigorosos demais com definição de várias faixas para classificação de zonas bioclimáticas, podem resultar em uma excessiva quantidade de zonas e, desta forma, gerar equívoco nas classificações, tal como a separação do TRY e TMY2 de Colatina/ES em duas zonas distintas.

Outro fator a ser considerado é a sensibilidade do método da proposta 04 que coloca a possibilidade de um mesmo município, Colatina/ES, ser inserido em duas zonas climáticas distintas em função do arquivo climático escolhido. Uma pequena mudança de valores nas casas decimais na amplitude média anual e desvio padrão de amplitude, já seria suficiente para os arquivos climáticos de Colatina/ES serem inseridos numa mesma zona bioclimática. Esta sensibilidade pode influenciar diretamente nas classificações dos municípios em função do método de confecção de arquivos escolhido. A própria mudança de classificação que ocorre com a cidade de Vitória/ES quando se analisa a proposta 03 e 4 demonstra este cuidado.

O próprio esforço da equipe de pesquisadores em se obter cada vez mais dados medidos e, por consequência, a diminuição de localidades com definições por interpolações, reforça a importância de se ter dados medidos cada vez mais próximos das localidades que se pretende pesquisar, permitindo que o estudo do clima possa colaborar na etapa de projeto. As definições climáticas do local podem interferir diretamente nas recomendações e estratégias de condicionamento térmico para cada local. Este estudo demonstra que, apesar de se ter várias opções de metodologias para a definição de zonas bioclimáticas, ainda não se tem uma definição de qual delas é a mais adequada, o que indica a necessidade de estudos para se aprofundar nestas questões.

3.8 Referências Bibliográficas

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 90.1/2010**: Energy Standard for Building Except LowRise Residential Buildings. Atlanta, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15220-3** - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BARNABY, C.S.; CRAWLEY, D.B. "Weather data for building performance simulation" In _____ **Building Performance Simulation For Design and Operation**. Spon Press, 2011. p. 37 – 55.

BASTOS, L.; BARROSO-KRAUSE, C.; BECK, L. **Potential of Natural Ventilation in a Tropical Climate**. Cadernos do PROARQ 10. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.fau.ufrj.br/proarq>. Acesso em: jul. 2014.

BOGO, A. J. Limitações Quanto Aos Parâmetros De Desempenho Térmico e Estratégias Bioclimáticas Recomendadas pela Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social. **Núcleo de pesquisa em tecnologia da arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo**. São Paulo. 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Eficiência energética em habitações de interesse social**. Brasília, 2005. 113 p. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/132/titulo/Cadernos+MCidades+9+-+Eficiencia+Energetica+em+Habitacoes+de+Interesse+Social>. Acesso em: 22 jul. 2014.

FERREIRA, C.; SOUZA, H. A.; ASSIS, E. S. Estudo do clima brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió. **Anais... ENTAC**. p 429-438, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE): http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tabela1a.shtm. Acesso em 29 de maio de 2013.

GUIMARÃES. Í. B. B.; AMORIM, A. C., CARLO, J. C. Comparação estatística e por simulação de arquivos climáticos TRY e TMT, desenvolvidos para a cidade de Viçosa – MG. In: **Anais... Conferência Internacional REGSA 2014. Energias Renováveis, Eficiência Energética e Desenvolvimento**. Florianópolis, Santa Catarina.

LIMA, A. J.O. **Diretrizes para alta qualidade ambiental de fóruns judiciais de 1ª e 2ª instâncias em região de clima quente e úmido**. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L.; KRAUSE, C. B. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: Reflexões sobre o semiárido nordestino. In: **Anais... XI ENCAC, VII ELACAC 2011**, Búzios, RJ.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. de L. B. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr./jun. 2012.

NIMER, E. Um Modelo Metodológico de Classificação de Climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 41, p. 59-89, out/dez, 1979.

PEREIRA, I; ASSIS, E. S. D. Discussão da classificação Bioclimática de Belo Horizonte proposta pelo projeto de Norma de desempenho das edificações. In: VIII ENCAC E IV ELACAC, 2005, Maceio. **Anais...** Maceio: 2005. p. 1490 - 1499.

PERNIGOTTO, G.; PRADA, ALESSANDRO; CÓSTOLA, D.; GASPARELLA, A.; HENSEN, J. L.M. Multi-year and reference year weather data for building energy labelling in north Italy climates. **Energy and Buildings**, v. 72, p. 62-72. 2014.

PEZZOPANE, J. E. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. R. M; CECÍLIO, R. A. **Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo**. 1. ed. Alegre: CAUFES, 2012. v. 1. 178p .

ROCHA, A. P. A.; ASSIS, E. S.; GONÇALVES, W. B. Zoneamento Bioclimático do Estado de Minas Gerais: aperfeiçoamento dos resultados. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009, **Anais...** Natal, ENCAC-ELAC 2009. CDROM.

RORIZ, M. Um Método Para a Interpolação de Dados Climáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Antac, 1999.

RORIZ, M.. **ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL**. São Carlos: UFSCar, 2004. Programa que fornece a classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Disponível em: < http://www.roriz.eng.br/download_6.html>. Acesso em: 15 fev. 2014.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012a. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 20 de maio de 2013.

RORIZ, M. **Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2012b. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 20 de maio de 2013.

RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 2**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2013. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 23 de julho de 2014.

RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 3**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2014. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 23 de julho de 2014.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS R. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. In: **Anais...X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Fortaleza, 1999.

SILVA, A. C. S. B. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para fins de edificação**. 1994. 124f. Dissertação (mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 1994.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Comparação da eficiência energética da envoltória de habitações de interesse social pelos métodos prescritivo e simulação do RTQ-R. In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Brasília, 2013, **Anais...Brasília, ENCAC-ELAC 2013**.

WALSH, A.; LABAKI, L.; CÓSTOLA, D. Panorama do Zoneamento Bioclimático nas Américas. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió. **Anais... ENTAC**. p 994-1003, 2014.

4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

RESUMO

As simulações computacionais dos projetos de edificações tornaram-se ferramentas poderosas para análises dos possíveis impactos que os projetos podem ocasionar ao meio ambiente, especialmente quando se fala de consumo energético e desempenho térmico. A simulação tem potencial para contribuir nas decisões projetuais, e permite prever as consequências advindas das decisões tomadas no momento presente. A simulação computacional é multidisciplinar, envolvendo áreas de arquitetura, engenharia mecânica, fenômenos comportamentais e de climatologia e que, por isso, destaca-se como uma importante ferramenta de avaliação energética. Atualmente no Brasil, existem algumas normas que tratam do desempenho de edificações: a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a NBR 15575 (ABNT, 2013) e o RTQ-R. Tanto a NBR 15575 quanto o RTQ-R preveem o uso de simulações para análises, sendo que o último trabalha com o método de graus hora de resfriamento. O método proposto neste trabalho para avaliação da edificação estudada segue o método de graus-hora do RTQ-R para se comparar o desempenho da edificação com os arquivos climáticos das cidades próximas a Colatina/ES, verificando com qual arquivo climático, da base de dados da ANTAC, Colatina/ES mais se assemelha. O objetivo deste capítulo é simular uma edificação real escolhida na cidade de Colatina/ES, utilizando-se o programa EnergyPlus, aplicado a arquivos climáticos das cidades de Colatina/ES, Vitória/ES, Linhares/ES e Aimorés/MG para análise de componentes construtivos adequados à(s) Zona(s) Bioclimática(s) de Colatina. Verificou-se a importância da simulação no papel do desenvolvimento de propostas metodológicas para se definir as zonas bioclimáticas uma vez que as simulações fornecem resultados mais abrangentes que consideram, além dos fatores ligados à temperatura do ar, questões de extrema relevância para o desempenho térmico de uma edificação que são a umidade do ar, ventos e radiação solar.

Palavras-Chave: simulação, graus hora de resfriamento, arquivos climáticos.

4.1 Introdução

Nos últimos 40 anos vários países desenvolveram ferramentas de simulação computacional buscando estimular o desenvolvimento de edificações que fossem energeticamente mais eficientes (SCARDUELLI; WESTPHAL; LAMBERTS, 2005). As simulações computacionais dos projetos de edificações tornaram-se ferramentas poderosas para análises dos possíveis impactos que os projetos podem ocasionar ao meio ambiente, especialmente quando falamos de consumo energético e desempenho térmico.

Venâncio e Pedrini (2011a) argumentam que a influência das simulações nas decisões dos projetos de arquitetura para o bom desempenho térmico e energético das edificações é reconhecida e se os profissionais as adotarem em seus métodos projetuais a abordagem dos aspectos de desempenho no projeto pode resultar em ganhos de eficiência nas construções. A simulação é uma forma de se prever o desempenho termoenergético de uma edificação e fornecer subsídios de análise sobre as decisões a serem tomadas, tem potencial para contribuir nas decisões projetuais e permite prever as consequências advindas das decisões tomadas no momento presente (WILLIAMSON, 2010).

Cada vez mais, as edificações precisam responder às necessidades dos seres humanos, proporcionando espaços de moradia e trabalho, sem, contudo, abdicar das condições de conforto dos usuários. Porém, desde as crises de energia ocasionadas pela escassez do petróleo nos anos 70, a da Guerra do Golfo nos anos 90, ou mesmo a crise energética vivida no Brasil no início dos anos 2000, e mesmo agora em 2015⁵, percebeu-se que as edificações não podem mais negligenciar os aspectos ambientais e os requisitos relativos à sustentabilidade. Neste contexto, as simulações computacionais das edificações tornam-se ferramentas poderosas no auxílio ao trabalho de arquitetos e engenheiros.

Porém, o uso destas ferramentas ainda é pouco expressivo pelos escritórios dos projetistas no Brasil, enquanto novos programas foram desenvolvidos no mesmo

⁵ No início de 2015, especialistas do setor energético já alertavam para um grave problema de abastecimento ocasionado por três motivos: o governo baixou tarifas em um momento em que o custo crescia, o que incentivou o uso perdulário e criou um problema nas distribuidoras. O governo também atrasou algumas obras de geração e transmissão e fez leilões de energia, privilegiando preço baixo. A falta de chuva, que provocou uma queda dos níveis de água dos reservatórios.

período. Uma possível razão para isto pode ser a falta de treinamento dos profissionais no uso destes programas (WESTPHAL; LAMBERTS, 2005).

Segundo Venâncio e Pedrini (2011b), a base para as decisões de projeto passam frequentemente por conhecimentos que os arquitetos adquirem na sua experiência, com base em análises de soluções observadas em projetos de outros arquitetos e/ou em recomendações gerais existentes sobre o assunto. Os profissionais deveriam adotar durante seu processo projetual avaliações que não perpassem apenas por aspectos qualitativos, mas que também encontrem suporte em avaliações quantitativas. Desta forma, entende-se que o uso da simulação computacional aplicado à prática projetual arquitetônica pode auxiliar e melhorar a tomada de decisões (VENÂNCIO; PEDRINI, 2011a).

A simulação computacional é multidisciplinar, envolvendo áreas de arquitetura, engenharia mecânica, fenômenos comportamentais e de climatologia, e que por isso se destaca como uma importante ferramenta de avaliação energética (PEREIRA; GHISI, 2011). Segundo Carlo (2008), a simulação pode ser entendida como modelos que servem para a previsão de alguns aspectos relativos ao desempenho termoenergético, utilizados na comparação entre um projeto e outro projeto de referência, onde pode-se analisar alternativas de projeto e assim, comparar a operação esperada em uma edificação com a operação real desta, auxiliando no cálculo de vários aspectos relativos ao desempenho das edificações. Estes modelos permitem analisar alternativas ainda na fase de projeto e comparar a operação que se espera de uma edificação com a operação real desta. Várias interações tratadas no processo de simulação são complexas que vão lidar com uma diversidade de condições, onde se pode prever as cargas térmicas, as condições do ambiente interno tais como a temperatura e umidade, o consumo de energia, entre outros (CARLO, 2008).

Uma simulação trabalha com simplificações de uma realidade complexa, e os modelos podem ser definidos como uma entidade que representa outra entidade, e permitem a seus usuários explorar, entender e prever certas propriedades e comportamento do objeto de estudo (MAHDARI, 2004). Estas simplificações permitem a investigação dos vários fenômenos envolvidos nas trocas térmicas e no consumo de energia de uma edificação.

Segundo Bhandari, Shrestha e New (2012) a modelagem por calibração dos edifícios residenciais e comerciais ganhou importância nos últimos anos, principalmente no chamado mercado do “retrofit”. Neste contexto, os arquivos climáticos locais desempenham um papel importante para fazer as calibrações dos modelos que se pretende simular, e em alguns casos são feitas medições externas no momento em que ocorrem as medições internas para se comparar os resultados medidos e simulados no processo de calibração.

Segundo Westphal (2007, pág.2), “a calibração consiste no processo iterativo no qual o usuário ajusta os parâmetros de seu modelo para que o programa simule adequadamente o desempenho térmico e energético da edificação”, porém é necessário se manipular algumas variáveis de entrada por meio de ferramentas de simulação detalhadas. Assim, o processo de calibração consiste em comparar resultados da simulação com valores de referência visando corrigir erros e reduzir incertezas do modelo (GALVARRO, 2013).

Para este trabalho, será usado o programa EnergyPlus, que é um programa capaz de simular o desempenho térmico e energético com todos os sistemas que compõem a edificação e que terão influência direta em seu desempenho, além de trabalhar com as informações climáticas horárias do local, com a descrição dos componentes construtivos do edifício e sua forma, bem como os padrões de uso e ocupação, a carga dos equipamentos e a potência instalada em sistemas de iluminação. O programa é capaz de realizar simulações horárias usando o método do balanço térmico e realizar análise das cargas térmicas em função dos fechamentos da envoltória, dos equipamentos, do sistema de iluminação, dos usuários e das trocas de ar (CRAWLEY et al., 2008).

Crawley et al. (2008) afirmam que o EnergyPlus é um programa com código modular, estruturado com base nas características mais populares e as capacidades do BLAST e DOE-2.1e. Este programa visa fornecer um código computacional capaz de calcular a carga térmica da edificação bem como prever o consumo de energia do sistema de climatização. Segundo Pereira e Ghisi (2011), o EnergyPlus é capaz de estimar as trocas térmicas, índices de iluminação e taxas de consumo energético dos edifícios a partir de modelo físico. Carlo e Lamberts (2010, p. 30) dizem que:

[...] o EnergyPlus é aprovado pelo método BESTEST da Norma 140 (ASHRAE, 2004). Realiza simulações do desempenho energético anual do edifício por meio do método de balanço térmico, fornecendo consumos por uso final calculados de 15 em 15 minutos ou em intervalos de tempo ainda menores.

Atualmente no Brasil, existem algumas normas que tratam do desempenho de edificações. A NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social. A NBR 15575 (ABNT, 2013) traz algumas indicações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), como o Zoneamento Bioclimático, porém na NBR 15575 (ABNT, 2013) é definido o dia típico de inverno e o dia típico de verão para algumas cidades, sendo estes estabelecidos com base na temperatura do ar, a umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano respectivamente.

Embora use o zoneamento bioclimático constante da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece que, na falta de dados para a cidade que se quer analisar deve-se utilizar dados de uma cidade próxima com características climáticas semelhantes, dentro da mesma zona bioclimática. Porém, o número de cidades com estes dados é reduzido, e se o clima na cidade a ser estudada não for semelhante ao de nenhuma outra que tenha dados disponíveis na norma, a NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda evitar o método da simulação computacional.

Outro instrumento para avaliação de desempenho termoenergético das edificações é o RTQ-R (BRASIL, 2012), que especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à sua eficiência energética.

Tanto a NBR 15575 como o RTQ-R preveem a avaliação de desempenho térmico através de simulações pelo software EnergyPlus. Pela NBR 15575, a simulação deverá ser usada quando os valores obtidos para a transmitância térmica e/ou capacidade térmica forem insatisfatórios segundo os critérios e métodos estabelecidos nas partes 4 e 5 da mesma norma. O RTQ-R estipula dois métodos de avaliação: o prescritivo e o por simulação. Pelo primeiro método o desempenho térmico da envoltória da Unidade Habitacional é determinado pelo seu equivalente numérico estabelecido através das equações de regressão múltipla. No segundo método, o

desempenho da envoltória é determinado por meio de simulação computacional, através da modelagem da geometria da edificação e, a simulação pode ser feita para edificações naturalmente ventiladas ou para edificação condicionada.

Porém, ao analisar o método simulação de desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013), Sorgatto, Melo e Lamberts (2013) verificaram que ele apresenta algumas limitações quanto à avaliação através dos dias típicos de inverno e verão, pois a simulação pode apresentar diferentes resultados, dependendo de como os dias típicos de inverno e verão são configurados. Propuseram, então, que a avaliação do desempenho térmico da edificação seja feito através do método dos graus-hora de resfriamento e aquecimento, mesmo método adotado pelo RTQ e nesta pesquisa.

Este método utiliza uma temperatura base, independente de temperaturas de conforto, que consiste em uma temperatura de referência para quantificações. O indicador é dado pelo somatório anual de graus-hora, calculado para uma temperatura de base estabelecida em 26°C para resfriamento. Este cálculo é feito usando-se a temperatura operativa do ambiente. Versage (2009) já trabalhava com este método de análise, defendendo que este método de graus hora é uma maneira simples para análises, bem como um bom indicador para se “analisar o desempenho térmico de edificações residenciais naturalmente ventiladas, pois considera as condições de conforto do usuário sem condicionamento artificial”. O método proposto neste trabalho para avaliação da edificação estudada segue o método de graus-hora do RTQ-R para se comparar o desempenho da edificação com os arquivos climáticos das cidades próximas a Colatina/ES, e verificar, através de comparações, o desempenho da edificação em cada cidade e conseqüentemente, com qual arquivo climático da base de dados da ANTAC, Colatina/ES mais se assemelha.

4.2 Objetivo

O objetivo deste capítulo é simular uma edificação real da cidade de Colatina/ES, utilizando o programa EnergyPlus, aplicado a arquivos climáticos das cidades de

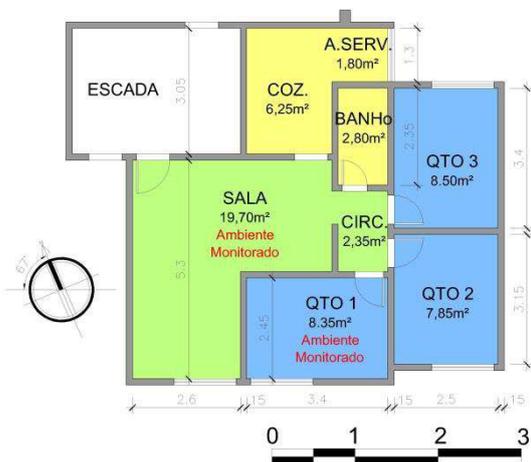
Colatina/ES, Vitória/ES, Linhares/ES e Aimorés/MG, para análise da adequação de componentes construtivos de paredes à(s) Zona(s) Bioclimática(s) de Colatina.

4.3 Descrição da edificação monitorada

Para os estudos de desempenho dos componentes construtivos das paredes, foi escolhida uma unidade habitacional (UH) ventilada naturalmente, situada na cidade de Colatina/ES, localizada na região noroeste do estado, latitude 19°29' S e longitude 40°45' W e altitude 68,90 m em relação ao nível do mar. Pela NBR 15220-3, a cidade está localizada na zona bioclimática 8.

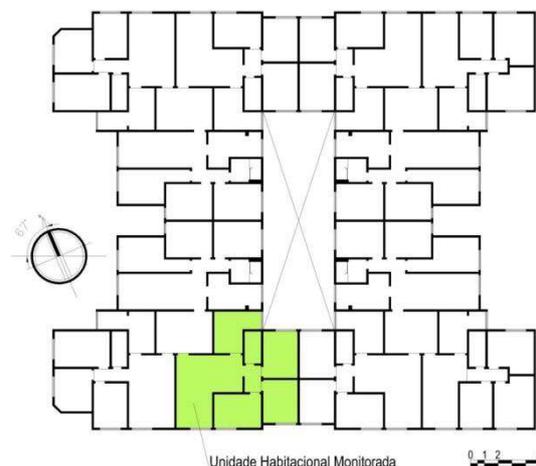
A unidade habitacional é composta por sala, cozinha, área de serviço, três quartos e um banheiro, totalizando 62, 23 m². (figura 4.1). A UH escolhida é parte de uma edificação multifamiliar, de três pavimentos e doze apartamentos por andar, onde residem quatro pessoas. As orientações das aberturas principais da UH estão voltadas a sudoeste, com dois ambientes voltados para um vão interno de iluminação e ventilação (figura 4.2).

Figura 4.1 - Planta Unidade Habitacional (UH)



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 4.2 - Planta do edifício com indicação da UH monitorada



Fonte: Elaborada pelo autor

O padrão de escolha da edificação residencial baseou-se em estudos encontrados em Morishita (2011), onde é indicado que o setor residencial responde por grande parcela de participação no consumo energético do país, totalizando 24,2% deste consumo (BRASIL, 2014).

Sobre o uso específico de uma unidade habitacional multifamiliar, a escolha baseou-se no fato de ser uma edificação onde haveria a possibilidade de acesso para as medições e, segundo pela representatividade desta tipologia dentro do cenário nacional, onde 65 % deste tipo de domicílio são de apartamentos de dois e três quartos: 42% dois quartos e 23% três quartos (IBGE, 2013).

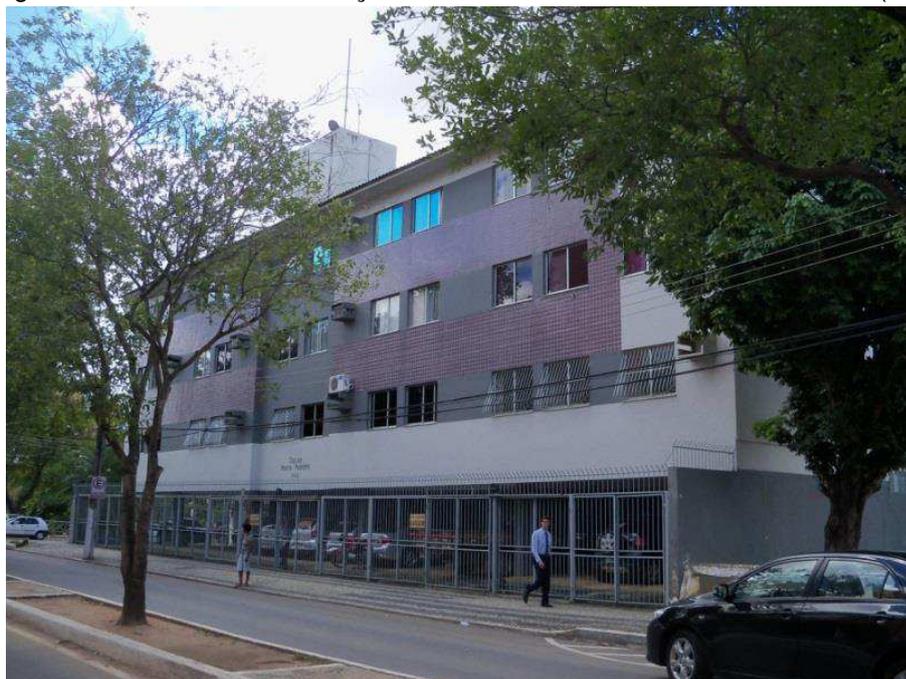
A edificação está localizada na zona central da cidade (figuras 4.3 e 4.4), construída com parede externa de tijolo de seis furos com reboco interno e revestimento externo cerâmico. A habitação escolhida mantém sua característica original (sem reformas), com quatro moradores.

Figura 4.3 - Localização edificação



Fonte: adaptado do Google Earth

Figura 4.4 - Fachada da edificação onde se localiza a Unidade Habitacional (UH)



Fonte: produção do próprio autor

4.4 Materiais e métodos

O programa Energyplus será usado para análise de desempenho termo-energético, permitindo simular a edificação estudada, desde a calibração do modelo até a verificação de seu desempenho com outros componentes construtivos.

4.4.1 Períodos de Monitoramento

Para este trabalho, utilizaram-se dados de monitoramento da edificação em dois períodos no ano de 2013. Um no período de verão, entre os dias 25 de janeiro e 02 de fevereiro, e outro no período de inverno, entre os dias 05 e 13 de julho. Cada um dos períodos teve duração média de 09 dias. As limitações e prazos para monitoramento, como tempo total de permanência dos aparelhos no local, ocorreram em função do acesso à edificação.

4.4.2 Variáveis Monitoradas

Para as medições no local, utilizou-se instrumentos de medição de variáveis ambientais térmicas Hobos *data loggers*, modelo HOBO U12, da marca Onset Computer Corporation. Estes aparelhos registram a temperatura do ar (de -20° C a

70° C), e umidade relativa do ar (de 5% a 95%) no ambiente interno e externo. Foram usados três registradores para medição da temperatura do ar e umidade relativa. As medições foram programadas para registrar os dados supracitados a cada 30 min, porém depois utilizou-se apenas os dados horários para efeito de comparações com os dados obtidos pela simulação computacional.

A ISO 7726 (ISO, 1996) recomenda que as medições ocorram, no caso de pessoas em pé, em três alturas diferentes: 0,1 m do piso para o nível do tornozelo, 1,1 m do piso no nível do abdomen e a 1,7 m do piso no nível da cabeça. No caso do apartamento, a altura de 1,1 m apresentava problemas de instalação dos equipamentos em móveis e devido à limpeza do local. Assim, ponderou-se as alturas entre nível da cabeça e abdomen e posicionou-se os aparelhos a uma altura de 1,4 m do piso para efetuar as medições. Os aparelhos foram fixados nas paredes ou apoiados sobre móveis na altura estipulada para evitar que os usuários mexessem nos mesmos.

Estes dados foram usados para efetuar a calibração do modelo computacional. Paralelo às medições internas, utilizou-se um Hobo instalado dentro de um abrigo desenvolvido no Latecae, onde o aparelho mantinha-se protegido da radiação solar direta. Esta medição externa foi usada para comparar com os dados horários medidos na estação meteorológica do Incaper para os mesmo dias e horários em que se monitorava a Unidade Habitacional.

4.5 Caracterização da cidade de Colatina/ES

Colatina possui clima quente, típico do vale do rio Doce, sendo o inverno seco. A maior ocorrência de chuvas ocorre de outubro a março, com uma pluviosidade média anual de 1100 milímetros. A topografia predominante é plano e ondulado respondendo por 60% da área total (INCAPER, 2011). O clima do município é do tipo Aw, e segundo a classificação de Köppen, caracteriza-se como clima tropical úmido com inverno seco (Silva et al., 2010).

O município de Colatina possui área territorial de 1.423 Km² e uma população de 111.365 habitantes (IBGE, 2009). Segundo Feitosa et al. (2001), a região é

caracterizada como terras quentes, acidentadas e secas e a temperatura mínima no mês mais frio varia entre 11,8 e 18°C e a temperatura média máxima no mês mais quente varia entre 30,7 e 34°C. Essas características correspondem a 90% da área do município.

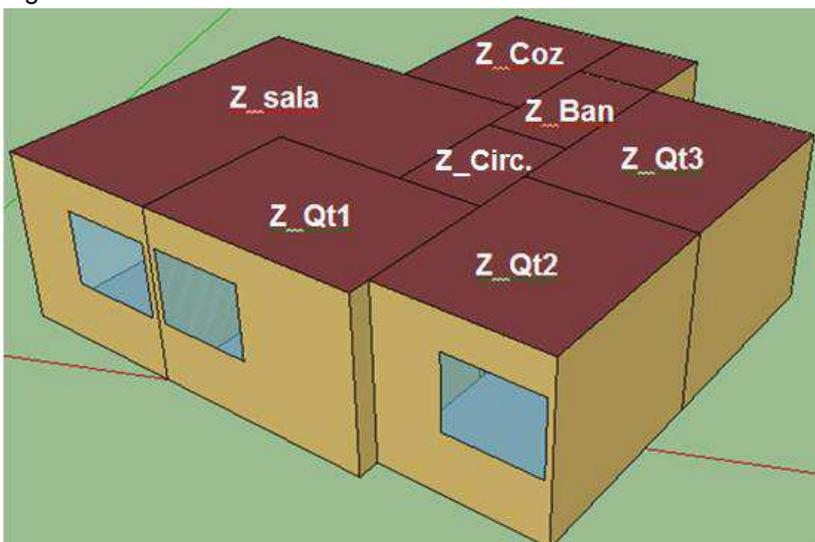
Pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro, constante na NBR 15220/3 (ABNT, 2005), a cidade de Colatina/ES está inserida na Zona Bioclimática 8, assim como Vitória/ES e Linhares/ES e grande parte das cidades de Espírito Santo. Esta zona é caracterizada como de clima quente e úmido.

4.6 Caso Base Calibração

A realização da calibração do modelo foi feita por meio da simulação computacional pelo programa EnergyPlus. Embora tenha havido a simulação do ano completo, somente os dados gerados para os dias em que foi feito o levantamento em campo foram analisados no processo de calibração térmica. Para a calibração, os dados de temperatura de bulbo seco (TBS) medidos externamente foram inseridos no arquivo climático TMY2 de Colatina/ES gerado no capítulo 2 deste trabalho, e os demais dados como ventilação, radiação e umidade foram extraídos dos dados da estação meteorológica nos dias e horários em que foram feitas as medições locais. A umidade relativa do ar também seria inserida com dados baseados em medições, porém devido a problemas nos equipamentos, esta variável não foi registrada no local.

A residência foi modelada com sete zonas térmicas, cada uma representando os seguintes ambientes: Sala, circulação, cozinha/ área de serviço, banheiro, quarto de casal, e os dois quartos de solteiro (figura 4.5). Zonas adjacentes foram modeladas para os apartamentos vizinhos ao apartamento de interesse. Desta forma, gerou-se um modelo de todo o bloco onde se insere a unidade habitacional estudada, e os apartamentos restantes foram configurados tendo seus cômodos inseridos como as zonas adjacentes ao objeto de estudo (figura 4.6).

Figura 4.5 - Zonas térmicas do modelo da UH



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.6 - Modelo gerado Sketchup com a UH estudada em destaque



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.1 Configuração do modelo

A definição dos materiais da construção para utilização na simulação foi feita conforme entrevista realizada com os moradores. As definições sobre padrão de ocupação, padrão de uso da iluminação, cargas internas de equipamentos e ventilação foram feitas seguindo as recomendações do RTQ-R (BRASIL, 2012). O quadro 4.1 mostra a configuração de cada parâmetro utilizado na configuração do modelo para calibração e simulação.

Quadro 4.1 - Configuração do modelo de calibração/ simulação.

(continua)

Parâmetros	Descrição	Item	Fonte
Parede	<p>Tijolo cerâmico seis furos de 09 cm com reboco. O reboco, interno e externo, é de argamassa com espessura de 2,5 cm.</p>	Construção	Entrevista no local e Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas LabEEE
Piso e cobertura	<p>O piso de toda a unidade habitacional foi modelado com uma camada de concreto, com 10 cm de espessura e com revestimento cerâmico para o piso do apartamento.</p>	Construção	Entrevista no local e Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas LabEEE
Janelas	Esquadria de alumínio com vidro liso 0,3 cm incolor. Modelada conforme medidas feitas no local.	Construção	Medições feitas no local
Portas	Porta lisa de madeira, e = 3 cm, modelada conforme medidas feitas no local.	Construção	Medições feitas no local
Taxa metabólica	Sala – 108 W, Quarto – 81 W e cozinha – 108 W	Padrão de ocupação	RTQ-R
Potência Instalada	Dormitórios – 5,0 DPI (W/m ²), sala – 6,0 DPI (W/m ²), demais cômodos 5,0 DPI (W/m ²).	Padrão de uso da iluminação	RTQ-R
Equipamentos	Potência – 1,5 W/m ² para um período de 24 horas	Cargas internas de equipamentos	RTQ-R

(conclusão)

Parâmetros	Descrição	Item	Fonte
Coefficiente de descarga (Cd)	0,60 para portas e janelas	Ventilação	RTQ-R
Coefficiente do fluxo de ar por frestas (Cq)	0,001 Kg/s.m	Ventilação	RTQ-R
Expoente do fluxo de ar (n)	0,65	Ventilação	RTQ-R
Coefficientes de pressão superficial (Cp)	Calculados pelo CP Generator (TNO, 2008)	Ventilação	RTQ-R
Padrão de uso da ventilação natural através da estratégia de controle automático.	Por temperatura - abertura das janelas ocorre quando a temperatura do ar do ambiente é superior à temperatura externa ($T_{int} \geq T_{ext}$). Temperatura de referência – 20°C	Ventilação	RTQ-R

Fonte: Elaborado pelo autor

O RTQ-R determina que o padrão mínimo de ocupação para os dormitórios deve considerar duas pessoas, e a sala deve ser utilizada para todos os usuários da UH. Sendo assim, o modelo inicial de calibração foi configurado segundo estes critérios e seus horários de ocupação configurados segundo padrão do RTQ-R com diferenciação de uso para dias de semana e fins de semana.

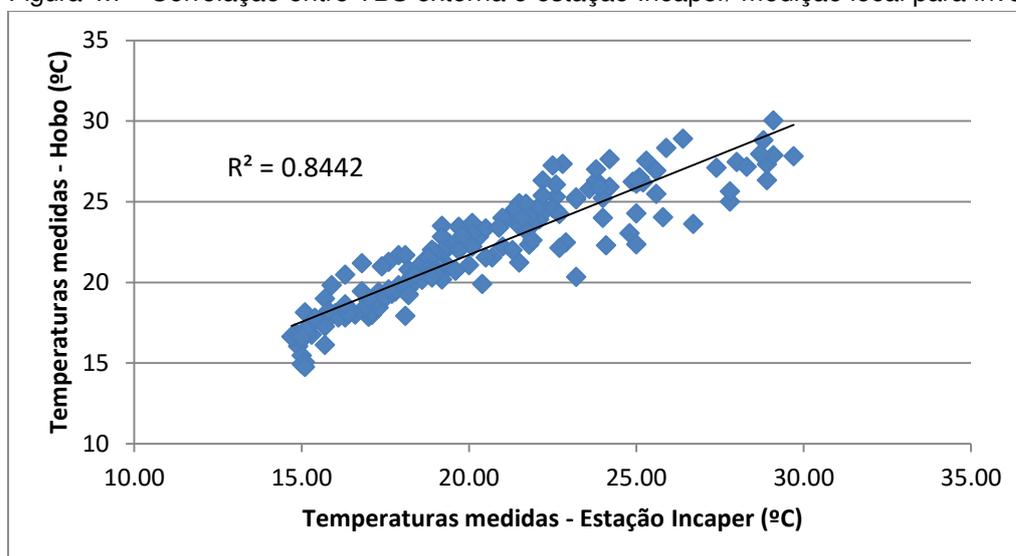
4.6.2 Preparação do arquivo climático para calibração

Pedrini (1997) afirma que as diversas variáveis que existem em um modelo, que são quantificadas sob a influência de inúmeros fatores, tornam este modelo passível de inúmeras combinações para um mesmo caso. “Essa variabilidade implica em diferentes graus de fidelidade do modelo para com o caso real, gerando imprecisões nos resultados” (PEREIRA, 2009).

O primeiro passo da calibração foi contornar um problema ocorrido nas medições externas com o registrador Hobo instalado, durante o período de verão, fazendo com que os dados de temperatura de bulbo seco não fossem confiáveis. Desta forma houve a necessidade de se fazer ajustes nestes dados para que os mesmos pudessem ser inseridos nos dados do arquivo climático para calibração.

Primeiramente, analisou-se a correlação entre os dados externos medidos em julho na UH com os dados da estação climática para mesmos dias e horas. Assim detectou-se uma boa correlação com o coeficiente de determinação (R^2) de 0,84, conforme figura 4.7.

Figura 4.7 - Correlação entre TBS externa e estação Incaper/ medição local para inverno



Fonte: Elaborado pelo autor

Optou-se por trabalhar com esta correlação para tratar os dados de janeiro devido à inviabilidade de se retornar no ano seguinte para refazer as medições. Na etapa seguinte, se analisou a correlação entre os dados de julho, separando os períodos diurnos e noturnos. Observou-se que esta relação se mantinha forte, com uma pequena perda no período diurno - $R^2 = 0,76$, e um ganho no período noturno - $R^2 = 0,91$.

A análise dos dados pelo coeficiente de determinação gerou equações, (4.1, 4.2 e 4.3). A equação 4.1 representa a correlação entre os dados de TBS da estação do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e a medição feita no local para o inverno considerando o dia todo. A equação 4.2

representa a correlação entre os dados de TBS da estação do Incaper e a medição feita no local para o inverno no período diurno e a equação 4.3 representa a mesma correlação entre os dados para o inverno no período noturno.

$$y = 0.8321x + 5.0581 \quad \text{Equação 4.1}$$

$$y = 0.7816x + 5.9207 \quad \text{Equação 4.2}$$

$$y = 1.0378x + 1.4396 \quad \text{Equação 4.3}$$

Estas equações permitiram calcular os dados de temperatura externa na UH para o período de verão. Para comparação e análise, criaram-se dois arquivos climáticos para simulação, o primeiro utilizando a equação 4.1 (sem divisão entre período noturno e diurno) e o segundo com as equações 4.2 e 4.3. Os resultados obtidos nas simulações, usando estes dois arquivos climáticos mostraram que não havia uma alteração significativa nos resultados. Desta forma, optou-se pelo segundo arquivo (diurno-noturno) por entender que este representaria melhor o comportamento de diferenças de temperatura entre o período em que há radiação solar nas superfícies externas (diurno) e o período em que esta radiação não se faz presente (noturno).

4.7 Procedimentos de calibração

Seguindo metodologia usada por Pereira (2009), os dados obtidos nas medições e nas simulações foram comparados, calculando-se o Erro quadrático médio e a diferença média. O erro quadrático médio mostra o erro absoluto que existe entre as grandezas que se quer analisar (medida e simulada). Desta forma, quanto menor for o EQM, mais próximos os dados simulados estão dos dados medidos. O erro quadrático médio foi calculado usando-se a equação 4.4, e a diferença média pela equação 4.5.

$$EQM = \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 / N \quad \text{Equação 4.4}$$

$$DM = \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) / N \quad \text{Equação 4.5}$$

Sendo:

EQM = Erro quadrático médio (°C),

DM = Diferença média (°C),

Y_i = temperatura horária obtida por simulação (°C),

X_i = temperatura horária medida na edificação (°C),

N = número de observações.

A diferença média permite visualizar qual foi a tendência do modelo gerado para calibração em relação aos dados que foram coletados no local. Sendo esta positiva, observa-se que os dados simulados, em média, são maiores que os dados medidos, e vice-versa.

Com base nestes dados, o modelo original, criado segundo os padrões do RTQ-R e chamado de caso base de calibração, sofreu alterações em alguns pontos de sua configuração, baseadas principalmente em determinadas possibilidades de uso sobre o comportamento dos moradores, até se chegar a valores próximos dos que considerados satisfatórios para comparação e validação do modelo. Não se alterou as configurações da envoltória (material da parede e das lajes de piso e teto) uma vez que o modelo já foi configurado segundo os materiais reais da construção, assumindo que as incertezas das propriedades dos materiais são menores que as de uso da edificação.

Baseado nas investigações de Pereira (2009), como método de calibração, determinou-se uma diferença máxima aceitável de até 2°C entre a temperatura simulada e a medida, e um EQM próximo a zero, uma vez que o apartamento não foi monitorado dia-a-dia para se fazer um mapeamento real de uso. Sendo assim, era de se esperar que ocorressem diferenças, principalmente, por conta dos hábitos dos moradores.

A tabela 4.1 mostra os modelos, com as principais alterações realizadas que foram consideradas, e os respectivos resultados para Sala (S) e Quarto (Q) para os dois períodos de medições (janeiro e julho), destacando-se os resultados onde a diferença entre temperatura simulada e temperatura medida foi maior que 2°C, tanto positivo quanto negativo.

Tabela 4.1 - Resultados das simulações comparadas com as medições

Nº	DESCRIÇÃO	Diferença entre Temp. simulada e a Temp. medida (°C)								EQM			
		Temperatura máxima				Temperatura mínima				Janeiro		Julho	
		S	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S	Q
1	Modelo com definições do RTQ-R	1,6	2,6	1,6	1,1	-1,7	-2,0	-1,3	-1,9	0,8	1,3	0,5	0,6
2	Modelo RTQ-R com alteração do número de pessoas no quarto de 2 para 1	1,6	2,2	1,5	0,9	-1,7	-2,2	-1,3	-2,1	0,8	1,0	0,5	0,9
3	Modelo anterior com alteração do número de pessoas no quarto de 1 para 0,5	1,6	2,2	1,5	0,9	-1,7	-2,2	-1,3	-2,1	0,8	1,0	0,5	0,9
4	Modelo anterior (3) mudando os padrões de ocupação do quarto no período das 24h as 7h	1,5	2,1	1,5	0,8	-1,7	-2,1	-1,3	-2,1	0,8	0,9	0,5	1,0
5	Modelo anterior (4), mudando os padrões de ocupação das 21h as 24h	1,5	2,0	1,5	0,8	-1,7	-2,2	-1,3	-2,1	0,8	0,9	0,5	0,9
6	Modelo anterior (5) com mudança no padrão de uso do quarto, estabelecendo taxas metabólicas diferentes para horários dia e noite	1,5	2,0	1,5	0,8	-1,7	-1,5	-1,3	-1,9	0,8	0,9	0,5	0,9
7	Modelo anterior (6) alteração do número de pessoas na sala para 3	1,4	2,0	1,3	0,8	-1,5	-1,5	-1,3	-1,9	0,7	0,9	0,4	0,9
8	Modelo anterior (7) alteração do número de pessoas na sala para 2	1,2	2,0	1,1	0,8	-1,3	-1,5	-1,3	-1,9	0,5	0,9	0,4	0,9

Fonte: Elaborado pelo autor

As principais alterações foram feitas no padrão de uso da UH, sendo que o quarto foi o que apresentou as maiores diferenças. No modelo 3, alterou-se a configuração de uso para meia pessoa, uma vez que o quarto é ocupado por uma criança, de estatura baixa e magra.

Constata-se nos resultados das simulações, quando comparados às medições, que o modelo 06 já havia apresentado resultados de diferenças na temperatura inferiores a 2°C, porém mais algumas tentativas foram feitas para se obter um EQM o mais próximo de zero. Na comparação, os erros quadráticos da sala ficam na faixa de 0,5, enquanto no quarto, estas ficaram mais próximos de 1,0.

Realmente, as alterações mais efetivas foram àquelas referentes à ocupação da UH. Novas configurações em dados de ventilação (como coeficiente de descarga para portas e janelas) produziram poucas alterações, só apresentando diferenças mais

significativas quando se fazia grandes mudanças nestes valores. Porém, estas possibilidades foram descartadas por se entender que se distanciam muito do indicado pelo RTQ-R.

Ao se analisar porque as diferenças entre simuladas e medidas foram maiores no quarto, verificou-se que a disposição de colocação do Hobo pode ter sido fator preponderante. Ambos foram colocados na mesma altura, porém por questões de layout e disposição de espaço, o Hobo da sala ficou mais próximo do meio do ambiente e o do quarto não. Vale destacar também que os dados de temperatura do ar das medições foram obtidos a 1,10 m de altura aproximadamente, e nem sempre no centro do ambiente (caso do quarto), e estes ambientes não apresentam uma distribuição uniforme com relação aos fluxos de ar. Conforme Pereira (2009), a simulação, por outro lado, fornece valores temperatura do ar para o centro ambiente, considerando que cada ambiente é homogêneo termicamente. Outro fator preponderante é o maior volume de ar do ambiente da sala do que no quarto, o que acarretou uma maior estabilidade térmica da sala. O quarto apresentou as maiores diferenças de temperatura sempre nos horários de ocupações mais altas e nas horas mais quentes.

Porém, o processo de medições serviu para se verificar como as temperaturas medidas no local se aproximaram das temperaturas registradas pela estação meteorológica, o que forneceu maior confiança em relação ao arquivo climático gerado para representar a realidade do local estudado.

4.8 Simulações

Após a calibração, o caso base foi criado usando a geometria da edificação existente e uso segundo o RTQ-R. Foram realizadas alterações nos materiais de parede e nas orientações da edificação que geraram alternativas para análise comparativa da UH com os arquivos climáticos das cidades da região.

O método adotado para avaliação da edificação estudada segue o método de graus-hora do RTQ-R, e a UH avaliada é simulada da seguinte forma: cada uma das quatro orientações da edificação foi simulada com os cinco arquivos climáticos

diferentes – os arquivos climáticos TRY e TMY2 de Colatina/ES⁶, Vitória/ES (ZB8), Linhares/ES (ZB8) e Aimorés/MG (ZB5).

A avaliação foi realizada com a média dos GhR das quatro orientações para sala e quarto separadamente. O quadro 4.2 apresenta as características das cidades analisadas.

Quadro 4.2 - Características das cidades analisadas

UF	Município	Lat./ Long.	Distancia de Colatina (Km)	ZB segundo NBR15220-3
ES	Colatina	19°29' S/ 40° 45' W	-	8
ES	Linhares	19°34' S/ 39°57' W	62,46	8
ES	Vitoria	20°18' S/ 40°19' W	92,42	8
MG	Aimorés	19°29' S/ 41°05' W	45,90	5

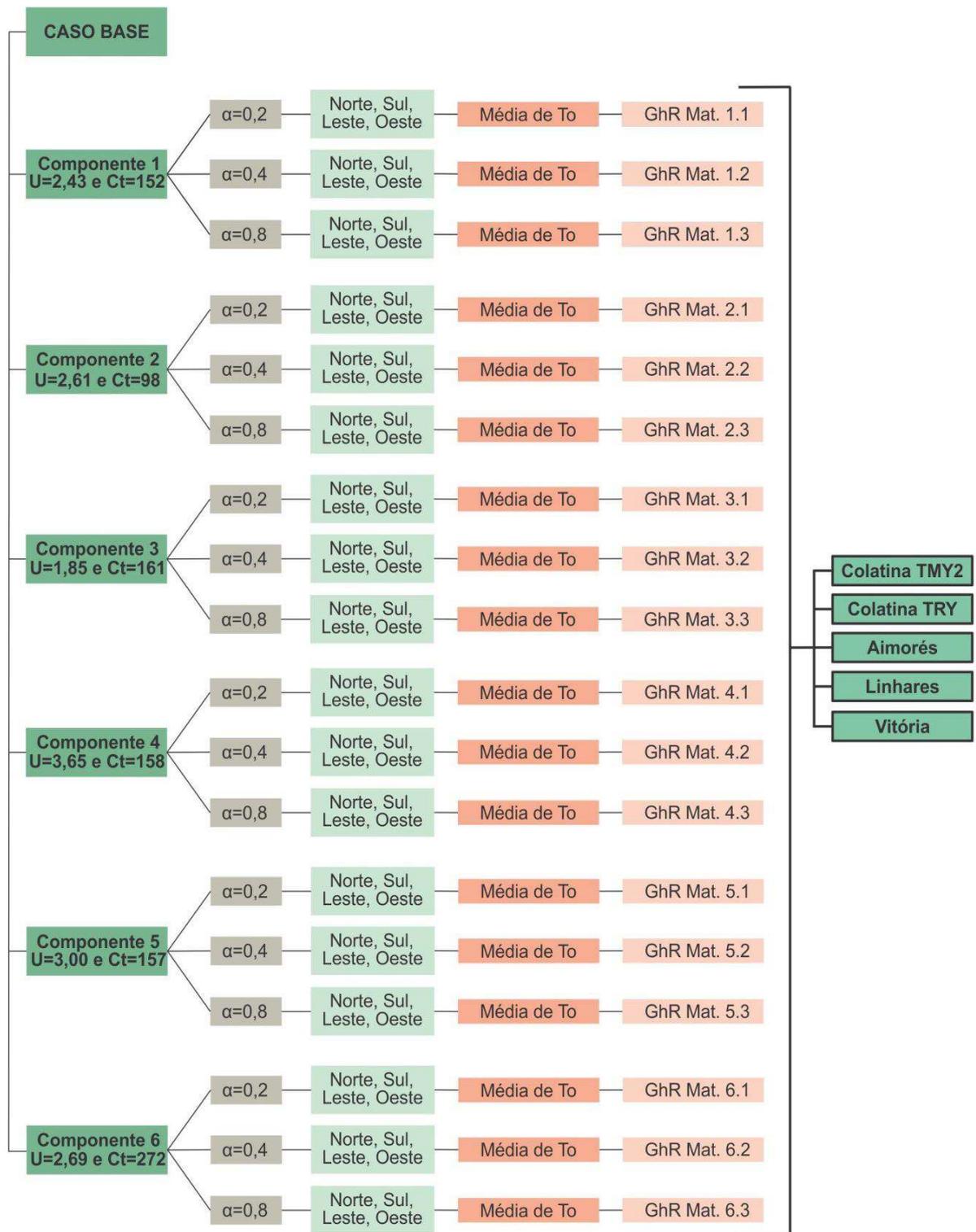
Fonte: IBGE, NBR 15220-3/2005 e Google Earth

As alterações de materiais são referentes aos pré-requisitos da envoltória do RTQ-R (transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes externas). A análise do GhR foi realizada frente ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro e suas propostas de revisão. A figura 4.8 mostra o diagrama metodológico de simulação e análise, onde a altera-se as propriedades dos componentes das paredes com diferentes absorvâncias (0,2, 0,4 e 0,8).

O quadro 4.3 mostra os componentes selecionados, sendo sua escolha baseada variabilidade de opções de capacidade térmica e transmitância térmica. A opção por tijolos cerâmicos, blocos de concreto e tijolo maciço foi direcionada por serem os mais usuais na prática construtiva da cidade.

⁶ Cidade onde se quer verificar os parâmetros de conforto e sua melhor inserção no Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

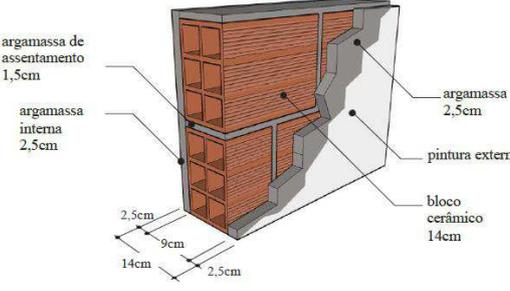
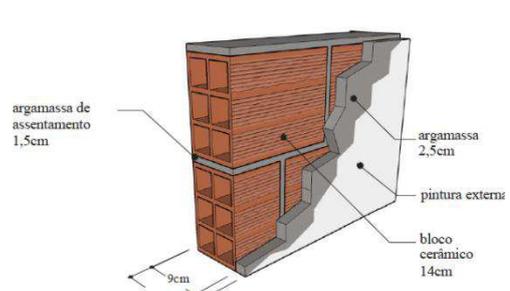
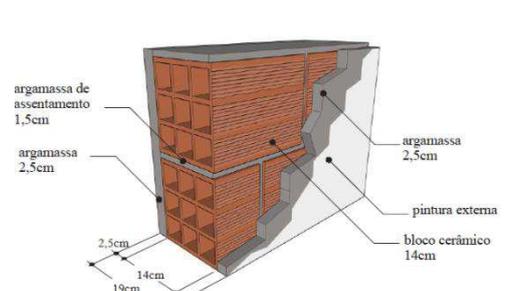
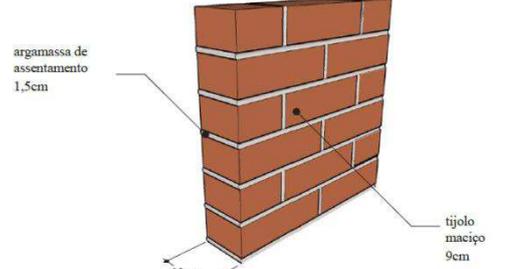
Figura 4.8 - Diagrama metodológico de simulação e análise



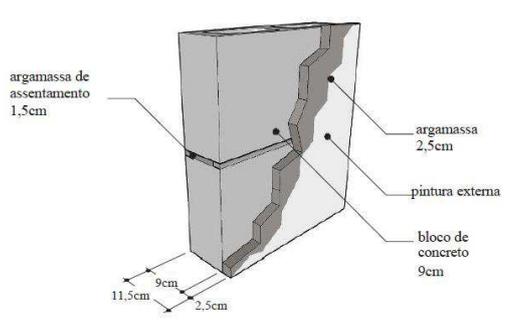
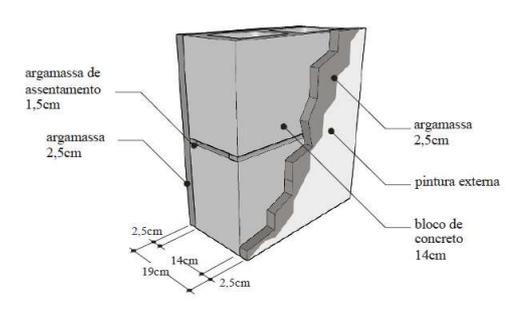
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 4.3 - Quadro com materiais usados nas simulações e suas respectivas propriedades térmicas

(continua)

Nº	Componente	Descrição	Transmissão Térmica - U [W/(m²K)]	Capacidade Térmica - C _T [kJ/m²K]	Absortância solar - α
1		<p>Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0) cm</p> <p>Argamassa Interna (2,5 cm)</p> <p>Argamassa Externa (2,5 cm)</p>	2,43	152	0,2 0,4 0,8
2		<p>Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0) cm</p> <p>Argamassa Interna (2,5 cm)</p> <p>Sem revestimento interno</p>	2,61	98	0,2 0,4 0,8
3		<p>Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0) cm</p> <p>Argamassa Interna (2,5 cm)</p> <p>Argamassa Externa (2,5 cm)</p>	1,85	161	0,2 0,4 0,8
4		<p>Tijolo maciço (10,0 x 6,0 x 22,0) cm</p> <p>Sem revestimento externo</p> <p>Sem revestimento interno</p>	3,65	158	0,2 0,4 0,8

(conclusão)

Nº	Componente	Descrição	Transmissão Térmica - U [W/(m²K)]	Capacidade Térmica - C _T [kJ/m²K]	Absortância solar - α
5		Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0) cm Argamassa Interna (2,5 cm) Sem revestimento interno	3,00	157	0,2 0,4 0,8
6		Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0) cm Argamassa Interna (2,5 cm) Argamassa Externa (2,5 cm)	2,69	272	0,2 0,4 0,8

Fonte: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros – LabEEE

Para se comparar o desempenho de cada componente usando arquivos climáticos distintos, os GhR foram analisados tendo o arquivo TMY2 de Colatina/ES como referência.

4.9 Resultados

A análise parte da premissa que, para um mesmo componente e arquivo climático, os GhR serão menores onde houver a menor absorvância solar. Posto isto, a tabela 4.2 apresenta a comparação dos dados de GhR obtidos nas simulações e a relação das cidades analisadas com os resultados para Colatina/ES, arquivo TMY2. Observa-se que, para todas as cidades, a alteração da absorvância solar das paredes de 0,2 para 0,4 produziu um aumento de 17% a 24% dos GhR para todos os componentes e para

todas as cidades analisadas. Já a alteração da absorvância solar de 0,4 para 0,8 fez com que o aumento de GhR fosse de 26% a 37% em todas as situações.

Tabela 4.2 - GhR obtidos nas simulações e a relação de cidades das cidades analisadas com os GhR de Colatina_TMY.

Componente	Cômodo	Graus hora Resfriamento					Zoneamento Bioclimático Brasileiro - NBR 15220-3				
		Aimorés	Colatina_TMY2	Colatina_TRY	Linhares	Vitória	Aimorés	Colatina_TRY	Linhares	Vitória	
		ZB5	ZB8	ZB8	ZB8	ZB8					
Componente 1 U=2,43 W/(m²K) Ci=152 kJ/m2K	abs. solar 0,2	Sala	18.628	12.275	13.214	15.392	13.677	52%	8%	25%	11%
		Quarto	21.995	14.996	16.045	18.388	19.433	47%	7%	23%	30%
	abs. solar 0,4	Sala	23.985	16.106	17.171	19.197	17.439	49%	7%	19%	8%
		Quarto	27.675	19.288	19.658	22.676	24.139	43%	2%	18%	25%
abs. solar 0,8	Sala	34.873	24.289	25.453	27.689	25.930	44%	5%	14%	7%	
	Quarto	38.832	28.100	29.306	31.767	33.947	38%	4%	13%	21%	
Componente 2 U=2,61 W/(m²K) Ci=98 kJ/m2K	abs. solar 0,2	Sala	18.602	12.321	13.288	15.446	13.739	51%	8%	25%	12%
		Quarto	22.075	15.180	16.257	18.521	19.613	45%	7%	22%	29%
	abs. solar 0,4	Sala	23.832	16.066	17.188	19.160	17.454	48%	7%	19%	9%
		Quarto	27.601	19.346	20.529	22.652	24.151	43%	6%	17%	25%
abs. solar 0,8	Sala	34.576	24.132	25.412	27.422	25.886	43%	5%	14%	7%	
	Quarto	38.674	28.027	29.352	31.526	33.797	38%	5%	12%	21%	
Componente 3 U=1,85 W/(m²K) Ci=161 kJ/m2K	abs. solar 0,2	Sala	20.663	13.766	14.661	17.067	15.135	50%	7%	24%	10%
		Quarto	24.495	16.909	17.901	20.605	21.626	45%	6%	22%	28%
	abs. solar 0,4	Sala	25.770	17.478	18.436	20.774	18.776	47%	5%	19%	7%
		Quarto	29.918	21.086	22.103	24.817	26.211	42%	5%	18%	24%
abs. solar 0,8	Sala	35.929	25.230	26.236	28.839	26.833	42%	4%	14%	6%	
	Quarto	40.327	29.429	30.513	33.427	35.453	37%	4%	14%	20%	
Componente 4 U=3,65 W/(m²K) Ci=158 kJ/m2K	abs. solar 0,2	Sala	15.323	10.008	10.911	12.808	11.409	53%	9%	28%	14%
		Quarto	17.875	12.029	13.047	14.950	16.030	49%	8%	24%	33%
	abs. solar 0,4	Sala	21.071	14.062	15.216	16.851	15.438	50%	8%	20%	10%
		Quarto	23.921	16.514	17.710	19.398	20.960	45%	7%	17%	27%
abs. solar 0,8	Sala	33.314	23.148	24.552	26.207	24.859	44%	6%	13%	7%	
	Quarto	36.411	26.222	27.629	29.350	31.798	39%	5%	12%	21%	
Componente 5 U=3,00 W/(m²K) Ci=157 kJ/m2K	abs. solar 0,2	Sala	20.087	13.471	14.208	16.735	14.778	49%	5%	24%	10%
		Quarto	23.713	16.405	17.255	20.062	21.015	45%	5%	22%	28%
	abs. solar 0,4	Sala	25.145	17.191	17.956	20.471	18.413	46%	4%	19%	7%
		Quarto	28.979	20.538	21.360	24.202	25.529	41%	4%	18%	24%
abs. solar 0,8	Sala	35.592	25.291	26.054	28.904	26.754	41%	3%	14%	6%	
	Quarto	39.536	29.080	29.959	33.065	35.022	36%	3%	14%	20%	
Componente 6 U=2,69 W/(m²K) Ci=272 kJ/m2K	abs. solar 0,2	Sala	20.452	13.703	14.277	16.914	14.936	49%	4%	23%	9%
		Quarto	24.225	16.759	17.446	20.412	21.363	45%	4%	22%	27%
	abs. solar 0,4	Sala	25.655	17.548	18.112	20.823	18.669	46%	3%	19%	6%
		Quarto	29.681	21.081	21.723	24.797	26.064	41%	3%	18%	24%
abs. solar 0,8	Sala	36.099	25.756	26.215	29.354	27.077	40%	2%	14%	5%	
	Quarto	40.294	29.769	30.393	33.790	35.655	35%	2%	14%	20%	
Intervalos	Máximo		40.327	29.769	30.513	33.790	35.655	53%	9%	28%	33%
	Mínimo		15.323	10.008	10.911	12.808	11.409	35%	2%	12%	5%

Fonte: Elaborado pelo autor

Sendo:

	Varição entre dados comparados abaixo de 10%
	Varição entre dados comparados de 10% a 15%
	Varição entre dados comparados de 16% a 20%
	Varição entre dados comparados de 20% a 35%
	Varição entre dados comparados acima de 35%

Os GhR máximos ocorreram com o componente 3 (bloco cerâmico de 14 cm de espessura e argamassa nos dois lados) com menor transmitância térmica , $U = 1,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, e localizado na ZB5. Este componente também apresentou o maior valor de GhR para o arquivo climático TRY de Colatina/ES. Vale ressaltar também que, quando se fez a análise de graus hora de calor (GhC) e graus hora de frio (GhF), usando os limites de temperatura de conforto estabelecidos por Givoni, estes dois arquivos climáticos apresentaram os maiores GhC, como demonstrado na tabela 4.3⁷. Outro dado relevante foi que o componente 6 (bloco de concreto de 14 cm de espessura), de maior capacidade térmica ($272 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$) apresentou os maiores GhR para os demais arquivos climáticos (Colatina TMY2, Linhares e Vitória), sendo que os GhR máximos dos componentes 03 e 06 foram bem próximos, sendo suas diferenças de aproximadamente 1%.

Tabela 4.3 - Graus hora de calor e frio dos arquivos climáticos

Cidade	GhC	GhF
Colatina_TMY2	4645	1078
Colatina_TRY	5197	1160
Vitoria	3115	354
Aimores	4645	237
Linhares	2689	196

Fonte: Elaborado pelo autor

O componente 04 (tijolo maciço com 10 cm de espessura), que é o componente de maior transmitância térmica de todos utilizados, $U = 3,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, foi o que apresentou os menores GhR para todas as cidades simuladas. Porém, se a análise for feita separando-se sala e quarto, o componente 4 continua gerando o menor GhR para a sala em todas as situações, enquanto componente 06 (bloco de concreto de 14 cm de espessura) o apresenta para o quarto em Vitória/ES.

O componente 06 tem o valor médio de transmitância térmica dentre todos os componentes analisados, porém é o componente que apresenta a maior capacidade

⁷ Os GhR foram usados para o ambiente interno da habitação, enquanto as nomenclaturas GhC e GhF foram usadas para análise dos arquivos climáticos.

térmica, $C_t = 272 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Entretanto, ao analisar somente a sala, o componente 06 com $\alpha = 0,8$ apresenta o maior valor de GhR para todas as cidades, exceto para o arquivo TRY de Colatina, que apresenta o maior valor com o componente 03 (bloco cerâmico de 14 cm de espessura) e $\alpha = 0,8$, sendo que a diferença entre o componente 03 e 06 para este arquivo climático é bem pequena, GhR de 26. 236 para o componente 03 e 26.215 para o componente 06.

O pior desempenho foi identificado nos componentes 03 e 06, que apresentam a menor transmitância térmica e a maior capacidade térmica, respectivamente, também se refletem quando se analisa apenas os GhR do quarto. O componente 03 tem maior GhR para os arquivos climáticos de Aimorés e TRY de Colatina, e o componente 06 os maiores GhR para os arquivos climáticos TMY2 de Colatina, Linhares e Vitória.

As simulações mostram que os componentes com maior espessura de parede (19 cm no total), que tem a menor transmitância térmica (componente 03) ou maior capacidade térmica (componente 06) e, obviamente com maior absorvância solar, apresentaram os piores desempenhos, sugerindo o uso de paredes leves e refletoras como está previsto na NBR 15220-3.

Os métodos de criação do arquivo climático para Colatina/ES não geraram diferenças significativas entre si nas simulações, sendo que a diferença de GhR não ultrapassou 10%.

Constata-se também que, pelo método de simulação, confirma-se o que foi apresentado no capítulo 3 deste trabalho, onde Colatina/ES e Aimorés/MG não estariam na mesma zona bioclimática, pois seus GhR máximo e mínimo em relação ao arquivo Colatina-TMY2 estão em intervalos claramente distintos, sendo de 35% a 53% para Aimorés/MG e de 2% a 9% para Colatina-TRY. Porém, surgem os questionamentos sobre a real adequação em se considerar Linhares/ES e Vitória/ES na mesma zona bioclimática de Colatina/ES, ao contrário do que ocorre quando se faz a análise apenas pelas normais climatológicas na carta adaptada de Givoni. Embora estejam na mesma zona bioclimática pela classificação vigente da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), há diferenças quantificadas pelo GhR, de 13% a 28% entre Linhares e Colatina-TMY2 e de 5 a 33 % entre Vitória e Colatina-TMY2.

Considerando que Roriz (2014) cita que em uma etapa posterior à revisão, as simulações computacionais serão realizadas para auxiliar nas análises. Sendo assim, utilizando os mesmos valores de GhR calculados com as simulações, analisou-se também a relação entre os cinco arquivos climáticos das quatro cidades, para verificar qual das propostas de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro se aproxima mais das análises obtidas com os resultados das simulações,

A tabela 4.4 contém a comparação dos dados máximos e mínimos de GhR obtidos nas simulações e a relação com as propostas 01 a 04 de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Constata-se que a proposta 01, que amplia o número de zonas bioclimáticas para 20, apresenta coerência com as simulações, pois insere cada uma das cidades analisadas em uma ZB diferente, assim como são diferentes os seus intervalos de variação em relação a Colatina-TMY2. Ao contrário, a proposta 02 insere Colatina/ES e Aimorés/MG numa mesma ZB, no caso a ZB 13, enquanto as discrepâncias de desempenho da habitação são evidentes, com diferenças variando de 35% a 53% para Aimorés. Já as propostas 03 e 04 mantêm Colatina e Aimorés em zonas bioclimáticas diferentes entre si, e diferentes também de Vitória e Linhares. Porém, a proposta 03, apresenta maior coerência tanto pelo método de análises de temperaturas (apresentado no capítulo 3), quanto pelas simulações, pois os intervalos de GhR da habitação nestas duas localidades são os únicos que se sobrepõem. Os GhR da habitação em Linhares estão contidos no intervalo dos GhR de Vitória. Já a proposta 04 coloca Colatina (TRY e TMY2) em duas zonas bioclimáticas diferentes, porém constata-se, pelas simulações, que o método de criação do arquivo climático para Colatina não apresentou diferenças significativas entre eles, sendo a faixa de diferenças entre de 2% a 9%.

Tabela 4.4 - GhR obtidos nas simulações e a relação com os GhR do TMY2 de Colatina segundo as propostas 01 a 04 de revisão do ZBB.

Graus hora Resfriamento		Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro																			
		Proposta 1				Proposta 2				Proposta 3				Proposta 4							
Intervalo	Aimorés	Colatina TMY2	Colatina TRY	Linhares	Vitória	Aimorés	Colatina TRY	Linhares	Vitória	Aimorés	Colatina TRY	Linhares	Vitória	Aimorés	Colatina TRY	Linhares	Vitória				
						ZB13	ZB16	ZB9	ZB10	ZB13	ZB13	ZB10	ZB10	ZB23	ZB12	ZB09	ZB09	ZB23	ZB11	ZB13	ZB21
Máximo	40.327	29.769	30.513	33.790	35.655	53%	9%	28%	33%	53%	9%	28%	33%	53%	9%	28%	33%	53%	9%	28%	33%
Mínimo	15.323	10.008	10.911	12.808	11.409	35%	2%	12%	5%	35%	2%	12%	5%	35%	2%	12%	5%	35%	2%	12%	5%

Fonte: Elaborado pelo autor

4.10 Conclusão

Após a escolha dos materiais da envoltória, pelas suas propriedades relativas aos pré-requisitos do RTQ-R (transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes externas), e com a realização das simulações, comparando quatro cidades com os cinco arquivos climáticos, concluiu-se que o material 04, com a maior transmitância térmica entre todos analisados, foi o que gerou melhor desempenho com os cálculos de GhR para todos os arquivos climáticos, quando se trabalhou com o fator solar mais baixo. Como as simulações foram feitas tendo como foco principal a mudança dos componentes de parede da envoltória, o tamanho das aberturas para ventilação não foi modificado, bem como não foram inseridas proteções solares. A habitação estudada apresentou um melhor desempenho com os arquivos climáticos da cidade de Colatina/ES, enquanto os piores resultados GhR foram para Aimorés/MG.

Os resultados das simulações sugerem que as diretrizes construtivas propostas pelo zoneamento bioclimático da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) são pertinentes quanto à absorvância solar. O RTQ-R, em seus pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes zonas bioclimáticas, estabelece para a ZB8 que as paredes podem ter valor de $U \leq 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, para $\alpha \leq 0,6$. Sendo assim, os materiais analisados atenderiam a este pré-requisito com α de 0,2 ou 0,4. Os componentes que apresentaram pior desempenho possuíam a menor transmitância térmica (componente 03) e a maior capacidade térmica (componente 06), porém ambos eram os de maior espessura, enquanto o componente 04 (com maior transmitância) obteve os melhores resultados.

A partir dos resultados que foram obtidos, é possível verificar a importância de se determinar critérios metodológicos para a definição das zonas bioclimáticas, dada a grande diversidade climática do país. Os resultados encontrados demonstraram uma heterogeneidade no desempenho em cidades que não estão tão distantes geograficamente. Nesse sentido, este trabalho reforça a importância de estudos e definição de metodologias para o estabelecimento de climas dentro do processo de projeto, a partir do momento que as possíveis diferenciações ou similaridades climáticas de cada local podem alterar consideravelmente as estratégias adotadas para cada cidade.

Até o presente momento, foram várias as propostas metodológicas para se definir zonas bioclimáticas, sendo que todas elas baseiam-se em dados de temperatura do ar, e ainda não há uma definição de qual delas é a mais adequada. Entretanto é importante se observar o papel das simulações nos resultados obtidos, pois estas fornecem resultados mais abrangentes que consideram, além dos fatores ligados à temperatura do ar, questões de extrema relevância para o desempenho térmico de uma edificação que são a umidade do ar, ventos e radiação solar. Neste contexto, a proposta 03 foi a que se mostrou mais coerente tanto pela análise de média de temperatura do ar bem como pelo método de simulação, classificando Colatina/ES em zonas bioclimáticas diferentes de Aimorés/MG, e não gerando diferenças na classificação de Colatina/ES nas zonas bioclimáticas, independente do método de confecção do arquivo climático.

Destaca-se também a importância do método de análise de desempenho da habitação por simulação, com alteração de componentes da envoltória para confirmação e determinação de qual método adotado para definição do zoneamento bioclimático é o mais adequado, uma vez que a simulação considera fatores de extrema importância para desempenho das habitações como ventos e radiação solar, extrapolando a análise apenas pelo método de temperatura do ar, podendo contribuir para novas metodologias de definição de um novo Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

4.11 Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais - Desempenho : Parte 1 : Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2013.

BHANDARI, M.; SHRESTHA, S.; NEW, J. Evaluation of weather datasets for building energy simulation. **Energy and Buildings**, Philadelphia, v. 49, p. 109–118, 2012.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – Ano Base 2013**. Relatório Síntese. 2014.

BRASIL. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria nº 18, **de 16 de janeiro de 2012**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação de eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Tese (doutorado em engenharia civil). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. 215p.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010.

CRAWLEY, D. B.; HANDB, J. W.; KUMMERTC, M. I; GRIFFITHD, B. T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. In: **Building and Environment**, v.43, p. 661–673, 2008.

FEITOSA, L.R.; STOCKING,M.; RESENDE, M. **Natural resources information systems for rural development: approaches for Espírito Santo State, Brasil**. Vitória, ES: INCAPER, 2001.

GALVARRO, S.F.S. **Estudo do impacto dos requisitos de sombreamento estabelecidos No Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) no desempenho termoenergético e luminoso de edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo). Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 138p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Síntese de indicadores sociais ano base 2012. Rio de Janeiro: IBGE. 2013.

INCAPER - Instituto capixaba de pesquisa assistência técnica e extensão rural. **Programa De Assistência Técnica e Extensão Rural - PROATER**, 2011. Vitória, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION – ISO. **ISO 7726: instruments and methods for measuring physical quantities**. 1996.

MAHDAVI, A. Reflections on computational building models. In: **Building and Environment**. Oxford: Elsevier, 2004 V. 39. pp. 913-925

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. (Tese de doutorado). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 232p.

PEDRINI, A. **Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, V. 43, p. 3391-3399, 2011.

PEREIRA, C.D. **A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 124p.

RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 3**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2014. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>, acessado em 23 de julho de 2014.

SCARDUELLI, F. A.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Aplicação do método Bestest no Energyplus para treinamento em simulação do desempenho térmico de edificações. In: **Anais... ENCAC – ELACAC 2005**, Maceió, Alagoas. p. 1796 – 1805.

SILVA, J.G. F.; ULIANA, E. M. ; PIMASSONI, L. H. S.; RAMOS, H. E. A. Probabilidade de Ocorrência de Dias Chuvosos e Precipitação Mensal e Anual para o Município de Colatina –ES. **Anais... XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia Belém/PA**, 2010.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá**, Brasília, no 12, p. 13-22, 2014.

TNO Building Research. **Cp Generator**. Disponível em: <<http://cpgen.bouw.tno.nl/cp>>. Acesso em: abr. 2014.

VENÂNCIO, R.. PEDRINI, A. Investigando o projeto de envoltória: questionário sobre prática arquitetônica e desempenho térmico. In: **Anais... XI ENCAC, VII ELACAC 2011a**, Búzios, RJ.

VENÂNCIO, R.. PEDRINI, A. Modos projetuais de simulação térmica: conceitos, definições e aplicação. In: **Anais... XI ENCAC, VII ELACAC 2011b**, Búzios, RJ.

VERSAGE, R. S. **Ventilação natural e desempenho térmico em edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 96p.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.. Simulação energética de edificações no programa energyplus utilizando dados das normais climatológicas. In: **Anais...** ENCAC – ELACAC 2005, Maceió, Alagoas. p. 2183 – 2192.

WESTPHAL, F.S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

WILLIAMSON, T. J. Predicting building performance: the ethics of computer simulation. **Building Research & Information**, v. 38, p. 401-410, 2010.

5. CONCLUSÃO GERAL

O objetivo geral do trabalho, de avaliar quais as zonas bioclimáticas de Colatina/ES, pelos métodos de determinação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro e por meio de análises de desempenho térmico dos componentes de paredes, direcionou o trabalho para estudos e confecção de arquivos climáticos de uma localidade mais próxima à realidade de Colatina/ES e que pudessem ser usados nas simulações comparados com arquivos de outras cidades do ES e MG.

Desta forma, a primeira parte do trabalho consistiu na obtenção e tratamento de dados climáticos de uma estação meteorológica do Incaper, o que possibilitou a criação de arquivos por dois métodos, o TMY2 e TRY. Isto permitiu análises em programas computacionais para análise bioclimáticas (AnalysisBio e Analysis SOLAR), com dados mais próximos da realidade do município em estudo, e não mais com utilização de arquivos disponíveis para municípios distantes. Estas análises baseadas na carta bioclimática de Givoni com o auxílio do programa computacionais, além de análises estatísticas, demonstraram que relativo a dados de temperaturas do ar, as estratégias bioclimáticas sugeridas não se diferem muito em relação ao método de criação do arquivo, porém análises de dados relativos à radiação e ventos mostram-se um pouco mais sensíveis ao método escolhido para criação do arquivo climático.

Posteriormente, estes dados obtidos com a criação dos arquivos climáticos foram analisados segundo as metodologias descritas para criação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, tanto a atual, presente na NBR 15220-3, quanto às propostas de revisão. Os resultados obtidos demonstraram a importância de se estabelecer a metodologia usada para definição das zonas bioclimáticas. Confirmou-se, através dos dados obtidos na estação meteorológica do Incaper, que a cidade de Colatina/ES situa-se na mesma zona bioclimática de várias outras cidades do estado do Espírito Santo pelo atual zoneamento, a ZB8. Portanto, o método de interpolação adotado atualmente se confirma. Porém, as metodologias de revisão do zoneamento que estão disponíveis no site do LabEEE demonstram que os municípios da região norte/noroeste do ES podem apresentar climas diferenciados entre si e diferentes ao de Vitória/ES. Enquanto numa proposta de revisão Colatina/ES e Aimorés/MG se situam numa mesma zona bioclimática, no atual zoneamento e em outras propostas isto não

ocorre. Assim como Linhares/ES e Colatina/ES que, se hoje estão na mesma zona bioclimática, são classificadas em zonas diferenciadas pelas metodologias de revisão.

Os critérios para se estabelecer as zonas podem provocar resultados bem distintos em função de pequenas variações. Isto se comprovou quando se analisou a proposta 04, onde o método de criação do arquivo climático interferiu diretamente na classificação do município de Colatina/ES, fazendo com que o mesmo fosse classificado ou na ZB10 (TMY2) ou na ZB11 (TRY). A sensibilidade desta proposta também fez com que o município de Vitória/ES fosse classificado como ZB9 na proposta 03, a mesma de Linhares/ES, e pela pequena variação de critérios da proposta 04, estas duas cidades são classificadas em zonas bioclimáticas distintas, sendo Vitória/ES na ZB21 e Linhares/ES na ZB13.

Com base nas avaliações sobre as revisões do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, e a classificação de Colatina/ES em cada uma das propostas, utilizou-se os arquivos climáticos TMY2 e TRY de Colatina/ES em simulações no programa EnergyPlus para se verificar o desempenho da edificação analisada, comparando os resultados com o desempenho da edificação para as cidades próximas a Colatina/ES, bem como a capital do estado, Vitória/ES. O critério para avaliação do desempenho utilizou o método de graus-hora de resfriamento, descrito no RTQ-R, sendo avaliados componentes das paredes com diferentes valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes externas.

Os resultados das simulações reforçaram as diretrizes construtivas indicadas na NBR 15220-3/2005 principalmente sobre absorvância solar, uma vez a norma recomenda que as paredes para a ZB8 sejam leves e refletoras, com $U \leq 3,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, para fator solar menor que 4%.

Pelos pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica, o RTQ-R recomenda que a ZB8 deva ter paredes com $U \leq 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, quando o $\alpha \leq 0,6$, o que faz com que o material 04 (melhor desempenho nas simulações) atenda a estes pré-requisitos desde que sejam usados valores de α entre 0,2 e 0,4. Não se avaliou a classificação da envoltória pelo método de etiquetagem, pois não se poderia afirmar o desempenho da UH apenas pela análise de componentes das paredes,

sendo que vários outros fatores influenciam nesta classificação, como área de ventilação, sombreamentos.

Foi possível verificar a importância na determinação dos critérios metodológicos para a definição das zonas bioclimáticas, dada a grande diversidade climática do país. Os resultados encontrados nas simulações demonstraram uma heterogeneidade no desempenho em cidades que não estão tão distantes geograficamente. As análises presentes no capítulo 3 do trabalho foram baseadas em dados de temperatura do ar, uma vez que as metodologias de definições de zonas bioclimáticas presentes tanto na NBR 15220-03/2005, quanto nas propostas de revisão, utilizam a estes dados como principal parâmetro de análise. No entanto, os resultados das simulações mostram que outros fatores precisam ser levados em consideração, tais como ventos e radiação solar, pois são de extrema relevância para questões de desempenho térmico de uma edificação e podem contribuir significativamente para a definição de um novo Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

Pelos dois métodos de análise, por médias de temperatura do ar ou por simulações, pode-se concluir que a proposta 03 da revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro foi a que se mostrou mais coerente em seus critérios de classificação. O método de análise de desempenho pela simulação, utilizando o cálculo de GhR para verificação das propostas de zoneamento, se confirmou como um método adequado e que pode ter continuidade para outras características da edificação, além de servir para analisar as classificações dos arquivos climáticos, bem como se definir diretrizes construtivas para cada zona bioclimática, como está previsto para etapas posteriores de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

5.1 Limitações do trabalho

As principais limitações encontradas nesta pesquisa estão relacionadas aos dados climáticos obtidos. A estação do Incaper, apesar de não estar na cidade de Colatina/ES, situa-se a uma distância bem similar às estações de grandes centros urbanos. No entanto devido a sua recente implantação, os dados para confecção dos arquivos climáticos abrangeram uma pequena parcela de tempo, três anos e meio, mesmo que se utilizando os anos mais recentes até o momento.

Outro problema encontrado foi na realização das medições na UH, uma vez que o equipamento que registrou as temperaturas externas no período de verão apresentou problemas, fazendo com que fosse necessário estabelecer correlação entre os dados medidos na estação e os do local da habitação, para se gerar o arquivo de calibração. Outro fator a ser observado é a questão de locais para instalação do equipamento de medição, em função da distribuição de mobiliário da UH, para que os dados medidos possam fornecer com maior exatidão parâmetros quando a calibração do modelo computacional mostra-se relevante.

5.2 Recomendações para futuros trabalhos

Durante o desenvolvimento deste trabalho detectou-se algumas outras possibilidades de pesquisa como complemento às análises feitas. Sendo assim, propõem-se algumas recomendações de ações e pesquisas que possam ser realizadas no aprimoramento destas análises:

- Obtenção de dados climáticos dos próximos anos para atualização dos arquivos climáticos para a região;
- Analisar o desempenho de edificações implantadas diretamente sobre o solo;
- Analisar o desempenho de apartamentos de cobertura;
- Analisar o efeito do sombreamento no desempenho das edificações nas simulações;
- Analisar o efeito da alteração dos vãos de abertura de ventilação para os materiais empregados nesta pesquisa.