



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



ROBERTA BASTOS DE OLIVEIRA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL
DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL PARA ATENDIMENTO DA ABNT NBR
15575:2013

UBERLÂNDIA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ROBERTA BASTOS DE OLIVEIRA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL
DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL PARA ATENDIMENTO DA ABNT NBR
15575:2013

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão.

UBERLÂNDIA

2017

ROBERTA BASTOS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO
VERTICAL DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL PARA ATENDIMENTO
DA ABNT NBR 15575:2013**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Civil.

Profa. Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão
Presidente da banca - Orientadora

Profa. Dra. Andrielli Moraes de Oliveira
Membro

Profa. Dra. Leila Aparecida de Castro Motta
Membro

Aluna Roberta Bastos de Oliveira
Orientanda

UBERLÂNDIA

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as pessoas que conheci, pelo conhecimento adquirido, e por estar vencendo mais uma etapa em minha vida. À minha Senhora Aparecida por sempre interceder por mim, sobretudo nos momentos em que achei que não conseguiria mais.

Aos meus pais, Joana e Adailton, ao meu irmão Mateus e ao meu companheiro Gabriel, por todo apoio, amor, carinho e compreensão que sempre me deram, e por sempre incentivarem os meus estudos e os meus sonhos.

À professora e orientadora Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão pela disponibilidade, dedicação, amizade, por me encorajar a alçar novos vãos e me ensinar que sou capaz de superar todos os desafios.

Às minhas amigas e parceiras ao longo dos 5 anos de faculdade: Alana, Jennifer, Júlia, Laura e Natália, que sempre estiveram ao meu lado, chorando e sorrindo comigo, e onde estarão minhas maiores saudades.

À minha madrinha Eny, e aos meus queridos amigos Gilda e José Divino, que cada um ao seu modo, não mediram esforços para me ajudar em tudo o que foi preciso.

Ao professor Caio Frederico e Silva e ao discente Vinícius Bazan Delaverde da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, por toda a disposição e atenção prestadas durante as simulações no *Energy Plus*.

À Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Civil, ao PET Engenharia Civil e a todos os professores, pelos ensinamentos, apoio e carinho que sempre recebi.

A todos os amigos, que de alguma forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A ABNT NBR 15575:2013 trata do desempenho em edificações habitacionais a partir das exigências dos usuários para a edificação e seus sistemas. Dentre todas as avaliações propostas pela norma, tem-se o desempenho térmico, que é analisado a partir da comparação entre as temperaturas internas e externas para avaliação do desempenho no verão e no inverno, além de fornecer uma temperatura de referência de um “dia típico” de acordo com a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Nesse contexto, esse trabalho de conclusão de curso tem por objetivo avaliar o desempenho térmico de uma edificação, a partir da análise do sistema de vedações verticais, um dos mais simples de ser alterado e/ou adaptado para o alcance das exigências mínimas. A pesquisa conduzida nesse trabalho avaliou o desempenho térmico de uma habitação de interesse social (HIS) construída com paredes de concreto moldado *in loco* na cidade de Uberlândia/MG. As análises foram realizadas utilizando o software *Energy Plus* simulando o projeto real, para verificar se existe algum local mais quente ou mais frio em seu interior. Também procurou-se justificar o comportamento da edificação simulando também a inexistência de esquadrias externas e às quatro possibilidades de orientação das fachadas em relação ao sol. Como resultados, observou-se que o desempenho térmico mínimo no inverno foi atendido com folga. No verão, entretanto, o desempenho mínimo somente foi atingido quando se utilizou as temperaturas médias internas em comparação com a temperatura do “dia típico”. Já quanto à temperatura média externa e quanto as máximas, interna e externa, o comportamento apresentou-se bem aquém do desejado. Analisou-se então alternativas para aumentar o desempenho do projeto. Ao se isolar a cobertura e utilizando revestimento externo não aderido, o desempenho térmico mínimo no verão não foi atingido. Em relação às temperaturas operativas no projeto real, verificou-se que elas apenas se encontram dentro da zona de conforto do usuário quando foram utilizadas as médias das mesmas.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitação de interesse social. Paredes de concreto moldado *in loco*.

ABSTRACT

ABNT NBR 15575: 2013 addresses performance in residential buildings based on user requirements for the building and its systems. Among all the evaluations proposed by the standard, we have the thermal performance, which is analyzed from the comparison between internal and external temperatures for performance evaluation in summer and winter, in addition to providing a reference temperature of a "typical day" according to the bioclimatic zone in which the building is inserted. In this context, the goal of this work is to evaluate the thermal performance of a building, based on the analysis of its walls, one of the simplest to be altered and / or adapted to obtain the minimum requirements. The research conducted in this work evaluated the thermal performance of a housing of social interest (HIS) built with molded concrete walls *in loco* in Uberlândia/ MG. The analyzes were performed using the Energy Plus software by simulating the real project, to verify if there is a hotter or colder location in its interior. It was tried to justify the behavior of the building by simulating also the inexistence of external frames, and the four possibilities of facades orientation in relation to the sun. As results, it was observed that the minimum thermal performance in winter was attended easily. In the summer, however, the minimum performance was only reached when internal average temperatures were compared with the temperature of the "typical day", as for the average external temperature, while the maximum, internal and external, the performance presented unsatisfactory. Alternatives were then analyzed to increase project performance. By isolating the roof and using external ventilated façade, the minimum thermal performance in the summer was not reached. Regarding the operating temperatures in the real project, it was verified that they are only within the comfort zone of the user when they are compared with the average ones.

Keywords: Thermal performance. Social interest housing. Molded concrete walls *in loco*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVO.....	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 Resgate histórico das habitações de interesse social no Brasil.....	10
3.2 Sistemas construtivos adotados no PMCMV	12
3.3 Avaliação de desempenho em habitações	15
3.4 Paredes de concreto	23
3.4.1 Processo construtivo.....	25
4 METODOLOGIA.....	29
4.1 Apropriação de dados	30
4.2 Dados climáticos	31
4.3 Simulação computacional.....	33
4.3.1 Cenários simulados.....	34
4.3.2 Primeiro passo	36
4.3.3 Segundo passo	36
4.3.4 Terceiro passo.....	37
4.3.5 Quarto passo	38
4.4 Apresentação e análise dos resultados.....	38
5 RESULTADOS	39
5.1 Avaliação da temperatura interna das zonas térmicas no projeto real.....	39
5.1.1 Avaliação do desempenho térmico no verão.....	39
5.1.2 Avaliação do desempenho térmico no inverno.....	41
5.1.3 Avaliação do conforto térmico do usuário	43
5.2 Avaliação do projeto arquitetônico	45
5.2.1 Avaliação do desempenho térmico para o projeto sem esquadrias externas.....	45
5.2.2 Avaliação do desempenho térmico para o projeto real variando a posição solar....	49
5.3 Alternativas para o projeto	55
5.3.1 Avaliação do desempenho térmico para o projeto com revestimento externo não aderido	55
5.3.2 Avaliação do desempenho térmico para o projeto com a cobertura isolada	58
6 Conclusão	61
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A	70

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a preocupação com o desempenho mínimo das edificações ganhou espaço em anos recentes e foi expressa de forma documental na publicação da ABNT NBR 15575:2013, norma que estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os principais sistemas que compõem as edificações. Um dos tópicos que gerou grande expectativa e interesse na norma brasileira é o quesito desempenho térmico. Isso justifica-se porque, nos anos recentes, a busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas é um tema preeminente no Brasil e no mundo (OLIVEIRA *et al.* 2014).

Como Rotta (2009) afirma, a pouca importância dada à fase de projeto e especificação tem gerado edificações de baixa qualidade construtiva, totalmente desvinculadas às questões de desempenho das edificações e conforto do usuário. Vincula-se a essa situação a necessidade de se produzir em larga escala novas unidades habitacionais, que têm feito com que a construção de habitações de interesse social (HIS) seja padronizada em todo o território nacional, sem haver uma preocupação com as características regionais, principalmente no que diz respeito à avaliação do desempenho térmico das moradias, fator também ponderado por Oliveira *et al.* (2014).

Muitas edificações apresentam temperaturas internas elevadas no verão e/ou baixas no inverno, proporcionando desconforto térmico aos usuários, por calor e/ou por frio. Nesses casos, verifica-se normalmente a má utilização das características climáticas locais na fase de projeto da edificação. O uso favorável da ventilação natural e a seleção adequada de materiais de construção e sistemas construtivos podem determinar que o ambiente construído seja termicamente confortável.

De acordo com INMETRO (2012), a envoltória de uma edificação pode ser definida como um conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tais como fachadas, empenas, cobertura, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem, com exceção dos pisos, estejam eles ou não em contato com o solo. Favretto (2016) acrescenta ainda que, essa envoltória é composta por duas classes de elementos: os transparentes (janelas, aberturas e afins) e os opacos (paredes, lajes, telhados, etc.), que filtram as transferências de calor que ocorrem entre os ambientes interno e externo da construção. Dessa

forma, em se tratando de HIS, que possuem uma menor área desses elementos transparentes, e a maioria delas não possui sistema de condicionamento artificial, os elementos opacos passam a impactar diretamente em seu conforto térmico, requisitando várias estratégias que possibilitem o bem-estar do usuário.

Para avaliar o desempenho térmico de edificações é necessário verificar a conformidade dos ambientes em função das exigências humanas de conforto térmico (MACIEL, 2013). A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) apresenta três métodos para avaliação do desempenho térmico de uma edificação: o simplificado, a simulação computacional e a medição real.

Sorgato, Melo e Lamberts (2014) avaliam que, apesar de os métodos simplificados fornecerem uma ferramenta rápida para a avaliação do desempenho da edificação, podem compreender uma incerteza considerável em seus resultados. Muitas vezes estes métodos podem comprometer o processo de análise da edificação em questão. Assim, apesar do uso de programas de simulação energética para avaliação do desempenho exigir um conhecimento mais amplo e complexo, a utilização deste método pode viabilizar que o efeito de cada fator interveniente no desempenho térmico seja analisado isoladamente.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a avaliação do desempenho térmico de um projeto real de uma HIS na cidade de Uberlândia/MG construída com a tipologia de paredes de concreto moldado *in loco*. Tem-se, portanto, o propósito de averiguar se a edificação em questão atende aos limites prescritos na ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) e ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) para o nível mínimo de desempenho.

Mais especificamente, o sistema de vedação vertical foi avaliado a partir da condição real de execução do projeto da HIS selecionada. Também foram analisadas as diversas possibilidades em relação à orientação solar e à utilização de revestimento externo não aderido no desempenho térmico da edificação. Além disso, foi realizada a verificação da interferência dos sistemas de cobertura e esquadrias nas trocas térmicas e desempenho.

Para isso, este trabalho foi dividido em: revisão bibliográfica, metodologia, resultados e conclusão. Na primeira parte, fez-se um resgate histórico quanto ao surgimento das habitações de interesse social no Brasil, o desenvolvimento de novas tecnologias construtivas. Constatam também nessa parte a análise das possibilidades contempladas na literatura e nas normas técnicas para verificação de desempenho nas edificações, sobretudo o desempenho térmico.

Na metodologia, tem-se o desenvolvimento deste trabalho propriamente dito, onde estão descritas todas as etapas necessárias para as simulações realizadas, contemplando os programas utilizados e suas peculiaridades, as considerações feitas e quais os cenários simulados para a avaliação do desempenho térmico da habitação em estudo em se tratando do sistema de vedação vertical. Apresenta-se então na seção de resultados, os valores obtidos para as temperaturas nas simulações, expostos por meio de gráficos, e faz-se uma análise crítica dos mesmos.

Por fim, tem-se a conclusão do trabalho, embasada na revisão bibliográfica, amparada pelas simulações explicitadas na metodologia, e justificada por meio dos resultados apresentados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resgate histórico das habitações de interesse social no Brasil

A questão do déficit de moradias no Brasil é bastante atrelada às políticas públicas. Nesse contexto, diversos foram os programas do governo, desde o Estado Novo instituído em 1930, que visavam solucionar a problemática do crescimento acelerado da população urbana no Brasil. A ideia de que o Estado deveria garantir condições dignas de moradia e, para isso, investir em recursos públicos e fundos sociais, foi criada a partir de então.

Rubin e Bolfe (2014) destacam que, entre as décadas de 1940 e 1960, a política de habitação consistia na oferta de crédito imobiliário pelas Caixas Econômicas e pelos Institutos de Aposentadorias e Pensões (IAPS) ou por bancos incorporadores imobiliários.

Ainda na década de 1960, a questão habitacional passa a ser tratada de forma mais intensa e efetiva com a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH), que se estruturava com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e cujos conjuntos habitacionais

podiam ser financiados por ele ou por grandes indústrias (BONDUKI, 2008). Paralelamente, a construção civil encontrava-se em crescente industrialização e, na década de 1960, tem-se a introdução dos elementos pré-fabricados.

Segundo Bonduki (1999), o período entre 1960 e 1980 teve como característica predominante da produção habitacional a busca da eficácia, voltada para a produção em série e em grande escala, tentando solucionar o déficit habitacional mesmo sem atenção às necessidades dos usuários.

O BNH foi extinto em 1986, suas funções e encargos foram transferidos para a Caixa Econômica Federal e a política urbana e habitacional existente no país foi desarticulada. A partir de 1995, tem-se a retomada nos financiamentos de habitação e saneamento com base nos recursos do FGTS.

Com a criação do Ministério das Cidades em 2003 e a implantação do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) em 2007, foram feitos investimentos em várias áreas como a infraestrutura, os setores de habitação e saneamento e a urbanização de assentamentos precários. Além disso, em 2004, foi promulgada a Lei 10.931, de incentivo ao crédito imobiliário. Ghidetti (2005) destaca que a instituição dessa Lei trouxe uma série de inovações e incentivos ao setor da construção civil.

Em 2009 foi lançado o programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), que contribuiu para a recuperação da economia no terceiro trimestre de 2009, tornando o setor de construção civil brasileiro responsável por 4% do PIB nesse ano, segundo Romagnoli (2012). De fato, houve um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil acima do PIB Nacional, conforme ilustrado nas Figura 1 e 2.

Figura 1 - Variação do PIB Nacional e da Construção Civil de 2003 a 2013

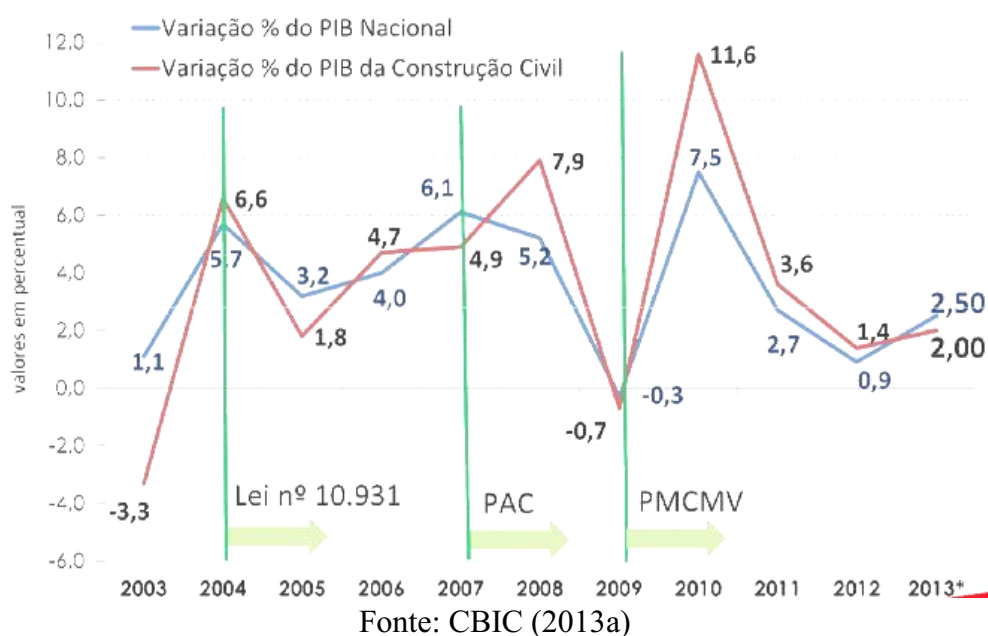


Figura 2 – Dados do PMCMV no período entre 2009 e 2015



Fonte: CEF (2016)

3.2 Sistemas construtivos adotados no PMCMV

A construção civil conta com diversos sistemas construtivos abrangendo desde os mais convencionais aos mais inovadores. Porém, nem todos eles são tipicamente utilizados na construção de HIS. Telli e Librelotto (2014) catalogaram 27 sistemas construtivos para essa tipologia habitacional, onde 6 são sistemas construtivos com matérias-primas reaproveitáveis, 17 pré-fabricados (concreto, metal, madeira e cerâmica), 2 com moldagem *in loco* e 2 que reutilizam materiais industrializados que seriam descartados. Os autores apontam que os sistemas construtivos mais utilizados atualmente no Brasil são: construção em concreto armado com revestimento termo-acústico em EPS; paredes de concreto moldadas *in loco*;

sistema construtivo em *steel frame*; alvenaria estrutural com blocos de concreto; paredes de PVC e concreto; módulos e componentes pré-fabricados em madeira; painéis de concreto armado; estrutura em concreto armado com vedação em alvenaria; painéis de lâminas de madeira e chapas de fibrocimento; contêineres e sistema construtivo em *wood frame*.

Dentre esses sistemas possíveis, os custos variam de acordo com a disponibilidade de matéria-prima e mão-de-obra que, muitas vezes, precisa ser especializada devido à tecnologia aplicada e ao modo de execução que tem se industrializado cada vez mais. Monteiro Filha *et al.* (2010) enfatiza que, embora a solução apontada para o problema das HIS no país seja a promoção da construção industrializada em massa, o que implica na padronização de produtos e processos, no aumento da produtividade e na redução das perdas, a importância da reorganização da cadeia produtiva da construção, expansão e capacitação da mão-de-obra, principalmente a qualificada, são essenciais para o alcance do objetivo.

Nesse sentido, com o lançamento do PMCMV, foram criados o PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat) e o SINAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas), com o objetivo de regulamentar as construções e a utilização de sistemas construtivos nas edificações financiadas pelo programa em face do amplo leque de possibilidades construtivas.

O Ministério das Cidades (2017a) define o PBQP-H como um instrumento do Governo Federal cuja meta é organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e da modernização produtiva por meio da avaliação da conformidade de empresas de serviços e obras, melhoria da qualidade de materiais, formação e requalificação de mão-de-obra, normalização técnica, capacitação de laboratórios, avaliação de tecnologias inovadoras, informação ao consumidor e promoção da comunicação entre os setores envolvidos. Já o SINAT pode ser definido como a sintetização de procedimentos para a avaliação de novos produtos para a construção, quando não existem normas técnicas prescritivas específicas aplicáveis ao produto.

O SINAT é responsável por publicar Diretrizes, os quais são documentos de referência contendo orientações para avaliação técnica de produtos inovadores, incluindo requisitos e critérios de desempenho, bem como métodos de avaliação a serem adotados na avaliação técnica. A partir dessas diretrizes, pode ser emitida uma DATec (Documento de Avaliação

Técnica), que contém os resultados dessa avaliação e as condições de execução/ operação, uso e manutenção de um produto inovador específico. As ITAs (Instituição Técnica Autorizada) tem a função de propor essas Diretrizes, conduzir as avaliações e elaborar DATecs de sistemas inovadores e convencionais, além de elaborar Fichas de Avaliação de Desempenho de sistemas convencionais. Sendo assim, para que um sistema inovador seja empregado em um empreendimento do PMCMV, ele deve ser avaliado no âmbito do SINAT e possuir DATec (Ministério das Cidades, 2017b).

Entre os sistemas inovadores já homologados, o de parede de concreto moldada *in loco* já encontra-se amplamente em uso nos empreendimentos do PMCMV. O Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA, 2015) aponta em relatório lançado em 2015 que as paredes de concreto haviam sido feitas sob medidas para atender aos programas de habitação popular, principalmente em empreendimentos com escala grande de uso. Dos fatores que influenciaram o crescimento das paredes de concreto moldadas *in loco* em relação aos demais sistemas pode-se destacar: a velocidade de execução, a credibilidade da tecnologia; e a propagação dessa técnica pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) por meio de seminários e reportagens.

A velocidade de execução é algo bastante valorizado nos empreendimentos do PMCMV pois existem metas estabelecidas relacionadas à quantidade de unidades habitacionais a serem vendidas, como mostra a Figura 3 sobre a expectativa para 2017. Nesse sentido, as paredes de concreto moldadas *in loco* sobressaem-se, pois tem-se a produtividade ampliada com a tecnologia utilizada, onde pode-se produzir mais em menos tempo.

Figura 3 - Metas de 2017 para o Programa Minha Casa Minha Vida



Fonte: Brasil (2017)

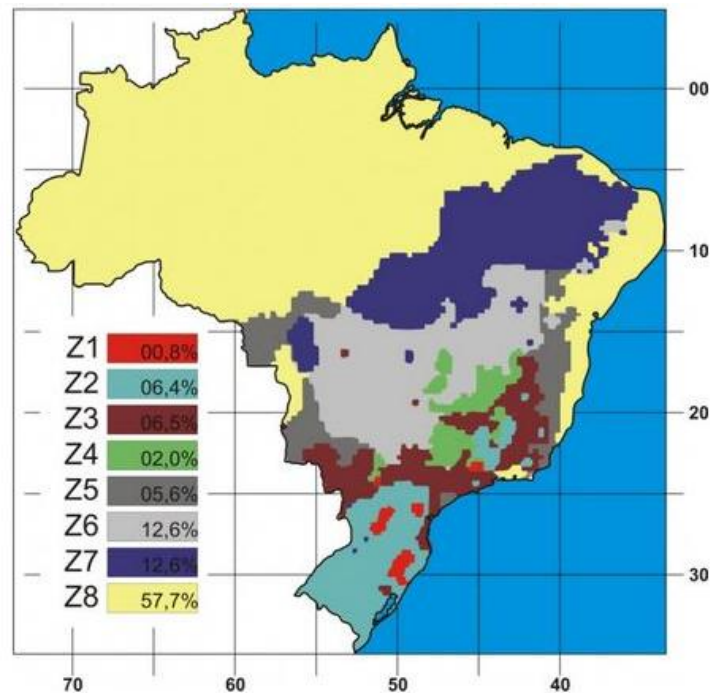
A credibilidade atribuída à tecnologia deve-se, sobretudo, à normatização da mesma, desde 2012, pela ABNT NBR 16055 (ABNT, 2012) – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – que contém os procedimentos de execução, projeto e requisitos mínimos, entre eles os de isolamento térmico e acústico, já adequados às exigências da norma de desempenho ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

3.3 Avaliação de desempenho em habitações

Em 2013, entrou em vigor no Brasil a ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) que estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações. Ela aplica-se a edificações habitacionais com qualquer número de pavimentos, geminadas ou isoladas, e busca atender aos requisitos dos usuários, referindo-se aos sistemas construtivos, independentemente de seus materiais constituintes, do sistema construtivo adotado e da tecnologia empregada.

Uma das exigências dessa norma refere-se ao desempenho térmico das edificações. Sobre esse aspecto, a ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas (Figura 4) relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, tem-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, por meio de sua melhor adequação climática.

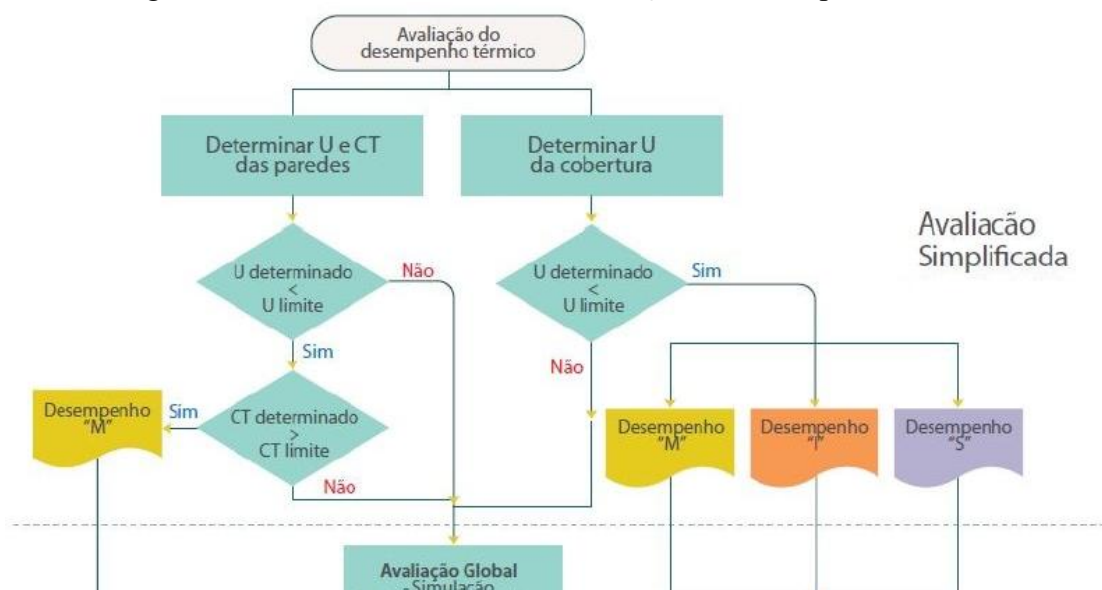
Figura 4 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220-3 adaptado por Giacomelli (2012)

Para a avaliação da adequação das habitações, a norma propõe o método simplificado no qual a análise é feita comparando-se os dados obtidos nos cálculos para a transmitância (U) e capacidade térmica das paredes e cobertura (CT) com os limites estabelecidos pela norma para a verificação do desempenho térmico mínimo (M), inferior (I) ou superior (S) (Figura 5).

Figura 5 - Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico



Fonte: adaptado de CBIC (2013b)

Os resultados são então confrontados com os limites estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4 (2013b) para o atingimento ou não dos níveis mínimo, intermediário ou superior de desempenho. Caso os resultados sejam insatisfatórios, deve-se realizar a simulação computacional.

Especificamente para a avaliação dos sistemas de vedações verticais pelo método simplificado, a ABNT NBR 15575-4 (2013b) prescreve mais dois requisitos: adequação de paredes externas e aberturas para ventilação. Em relação ao primeiro, deve-se aplicar os critérios da transmitância e capacidade térmicas que proporcionem o desempenho térmico mínimo, conforme apresentado na Tabela 1. Paredes com o mesmo valor de transmitância térmica podem ter desempenhos distintos se os valores de absorvância (α) forem diferentes.

Tabela 1 - Critérios para avaliação da transmitância e capacidade térmicas de paredes externas

Transmitância térmica U (W/ m².K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		
Capacidade térmica - CT (kJ/ m².K)		
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8	
$CT \geq 130$	Sem exigência	

Fonte: adaptado de ABNT (2013b)

A absorvância (α) expressa a capacidade da superfície em questão de absorver radiação solar, e a emissividade (ϵ), a capacidade de uma superfície de emitir calor. Depende, portanto, da cor, brilho e das propriedades do material. A ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) apresenta alguns valores para esses dois parâmetros, expressos na Tabela 2.

Tabela 2 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12/ 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65/ 0,80	0,85/ 0,95
Telha de barro	0,75/ 0,80	0,85/ 0,95
Tijolo aparente	0,65/ 0,80	0,85/ 0,95
Reboco claro	0,30/ 0,50	0,85/ 0,95
Revestimento asfáltico	0,85/ 0,98	0,90/ 0,98
Vidro incolor	0,06/ 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40/ 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35/ 0,80	0,15/ 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT (2005a)

Quanto às aberturas para ventilação, as fachadas devem apresentar aberturas com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes de longa permanência (salas, cozinhas e dormitórios). Em geral, a legislação específica do local da obra prevê essas aberturas mínimas. Caso não haja, a ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) determina a porcentagem de área dessas aberturas para atingir o nível mínimo de desempenho, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Área mínima de ventilação em dormitórios e sala de estar

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
	Aberturas médias	Aberturas grandes
M (mínimo)	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso (região Norte do Brasil)
		$A \geq 8\%$ da área do piso (regiões Nordeste e Sudeste do Brasil)
O valor de A é obtido através da relação entre a área efetiva da abertura de ventilação do ambiente pela área de piso do ambiente. Nas zonas 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: adaptado de ABNT (2013b)

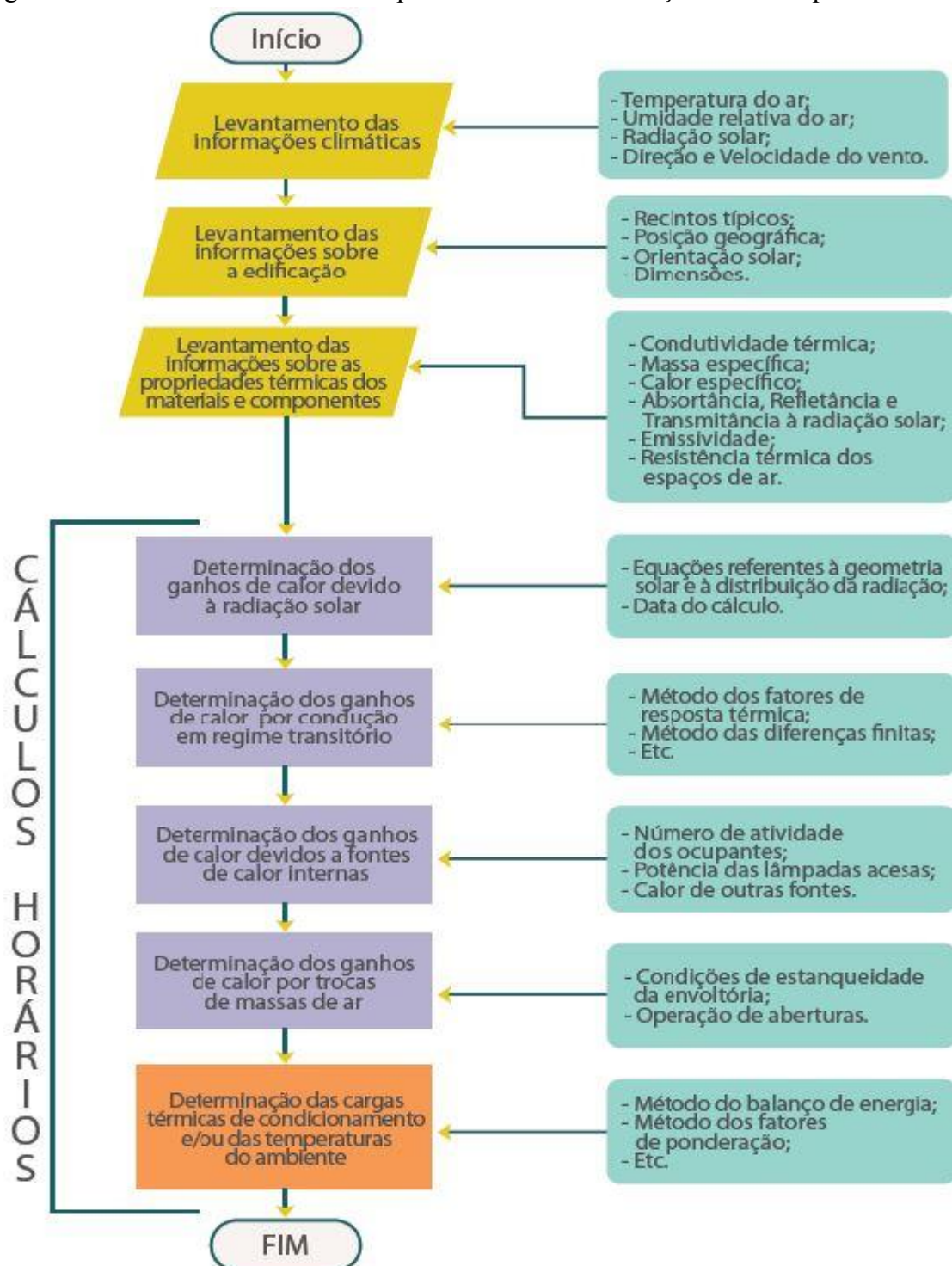
A avaliação simplificada prevê para as paredes de fachada apenas o nível mínimo (M) de atendimento, que é obrigatório. No caso de desejar-se classificação do sistema em fachadas em níveis superiores (I – intermediário e S – Superior), também haverá necessidade de realizar-se a simulação/ avaliação detalhada.

Na hipótese de os critérios acima não serem atendidos, tem-se o método de medições e o procedimento de análise por meio de simulações utilizando o programa *Energy Plus*, conforme indicado pela ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). No método de medição, ocorre a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela norma, mas por meio da realização de medições em edificações ou em protótipos construídos, entretanto tem caráter meramente informativo e não deve se sobrepor aos demais procedimentos.

De forma geral os *softwares* de simulação do comportamento térmico de edificações devem reunir as características básicas indicadas conforme o fluxograma ilustrado na Figura 6. Dentre os passos de uma simulação, o guia CBIC (2013b) sugere que seja feito um levantamento das informações climáticas e das características da edificação a ser avaliada, abordando aspectos como temperatura e umidade relativa do ar, posição geográfica, orientação solar e dimensões da edificação. Em seguida, deve-se levantar também os dados referentes às propriedades térmicas dos materiais e componentes dos sistemas, como condutividade térmica, absorvância, refletância e transmitância à radiação solar que são imprescindíveis para a simulação.

Com todos esses parâmetros definidos, parte-se então para os cálculos por meio das equações, métodos e ponderações característicos de cada *software*, cujo objetivo final deve ser a determinação das cargas térmicas de condicionamento e/ou as temperaturas do ambiente, que serão necessárias para a conclusão das análises.

Figura 6 - Características necessárias para softwares de avaliação do desempenho térmico



Fonte: CBIC (2013b)

Para a geometria do modelo de simulação, deve-se tomar a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica e tomando como pior situação um cômodo na extremidade da habitação com orientação geográfica mais crítica do ponto de vista térmico (NEMER, 2016).

Nesse sentido, a ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estabelece dois requisitos a serem atendidos para a unidade habitacional: exigências de desempenho no verão (Tabela 4a) e exigências de desempenho no inverno (Tabela 4b), estabelecendo os valores máximos e mínimos de temperatura, por meio de uma comparação entre o interior da edificação e o ambiente externo.

Tabela 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de (a)verão e (b) inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M (mínimo)	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

(a)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M (mínimo)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, esse critério não deve ser verificado.
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

(b)

Fonte: ABNT (2013)

Silveira (2014) interpreta que, nessa etapa, o desempenho individual de cada componente construtivo dá lugar ao desempenho global da edificação. Devem ser consideradas, além das variáveis tratadas na avaliação simplificada, outras variáveis que irão influenciar diretamente no comportamento térmico da edificação, tais como orientação do edifício, tipologia da edificação, renovação de ar nos ambientes, dados climáticos, dentre outros. Embora requeira um trabalho mais detalhado, tem-se maior possibilidade de obtenção do desempenho requerido, visto que a quantidade de variáveis a serem tratadas aumenta consideravelmente.

Ressalta-se que os dados das propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos devem ser obtidos em laboratório com métodos de ensaio normatizados, ou na ausência desses, pode-se utilizar os disponibilizados pela ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) como referência.

A ABNT NBR 15575-1 (2013a) estabelece que, para a realização das simulações computacionais, para edificações em fase de projeto, devem ser utilizados como referência os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno da cidade. Um dia típico é por ela definido como um dia real caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal segundo a média do período dos últimos 10 anos, para o dia mais quente e mais frio do ano, para as análises de desempenho no verão e no inverno, respectivamente.

Sorgato *et al.* (2012) ponderam a diferença entre “dia típico” e “dia de projeto” de verão ou inverno. Definem um dia típico como aquele facilmente encontrado em uma situação real, por representar condições médias que podem ocorrer com maior frequência. Em contrapartida, o método de simulação da ABNT NBR 15575-1 (2013a) refere-se a um dia de projeto, que apresenta temperaturas extremas que acontecem geralmente a cada 30 anos e não representam a condição normal de temperatura.

Sorgato *et al.* (2012) e Zanoni (2015) recomendam que, para uma análise mais palpável e próxima da realidade, as temperaturas do arquivo climático sejam analisadas e comparadas ao longo de todo o ano, totalizando 8760 horas. Barbosa *et al.* (2003), sugere que seja utilizado o total de horas anuais em que as temperaturas internas obtidas por simulação ou monitoramento apresentam-se fora dos limites de temperatura da zona de conforto.

Além desses parâmetros que influenciam diretamente no desempenho térmico, tem-se fatores indiretos como a geração de calor interno advindo de pessoas, computadores e sistemas de iluminação artificial, que é menor em residências porque a ocupação é menor do que em um edifício comercial. Assim, nesse caso, os ganhos de calor por meio das superfícies externas (paredes e cobertura) e das aberturas existentes (superfícies envidraçadas), assim como as condições de exposição à insolação e à ventilação são os principais fatores determinantes do desempenho térmico (LAMBERTS *et al.* 2010).

Conforme definido por Menezes (2006), entende-se por conforto térmico a satisfação manifestada com relação às condições térmicas do ambiente. Além da temperatura e outros fatores físicos, envolve também variáveis pessoais que tornam sua definição subjetiva, podendo ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal ou físico. Do ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, um ambiente é confortável quando suas condições permitem a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termorreguladores, propiciando um balanço térmico do organismo humano com o meio ambiente.

Embora o foco deste trabalho seja o desempenho térmico, sabe-se que o conforto do usuário também deve ser considerado. Para a análise do conforto, Lamberts (2005) destaca a temperatura operativa. Ela resume as perdas da temperatura do corpo, que está submetido a um ambiente real com efeitos desiguais por todos os lados. É uma temperatura teórica que provoca uma perda de calor equivalente a todos os fenômenos que provocam esta perda caso o corpo estivesse em um ambiente imaginário submetido apenas a uma temperatura homogênea.

Maciel (2006) sugere que os projetistas já tenham um conhecimento do contexto climático e das suas conseqüências para o edifício, a fim de serem aplicados já no primeiro estágio do projeto, definindo-se assim as estratégias para o alcance do desempenho e conforto térmicos, e também da eficiência energética. A autora propõe também uma combinação de legislação e medidas que estimulem positivamente a adoção de questões bioclimáticas e ambientais nos projetos de edificações. Segundo ela, essas questões não são consideradas muitas vezes pela grande quantidade de dados requeridos pela maioria das ferramentas de análise de desempenho, conduzindo o arquiteto a tomar decisões arbitrárias e prematuras para poder definir um modelo aceitável para a ferramenta.

3.4 Paredes de concreto

Entende-se por parede de concreto, aquela cuja estrutura seja autoportante, moldada no local, com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede (ABNT, 2012).

A ABNT NBR 16055 (ABNT, 2012) estabelece os requisitos básicos para as paredes de concreto de massa específica normal (compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3), moldadas *in loco*, com fôrmas removíveis. É aplicada às paredes submetidas à carga axial, com ou sem flexão, concretadas com todos os elementos que farão parte da construção final, como: detalhes da fachada, armaduras distribuídas e localizadas, instalações elétricas e hidráulicas, quando embutidas. Considera as lajes incorporadas ao sistema por solidarização com as paredes, tornando o sistema monolítico (funcionamento de placa e membrana). Seu campo de atuação abrange as edificações simplificadas, isto é, com no máximo 5 pavimentos, além de outras especificações, tais como: vão livre máximo de 4 metros e sobrecarga máxima de 300 kgf/m^2 nas lajes; máximo de 3 metros de piso a piso; espessura mínima de 10 cm e dimensões em planta de no mínimo 8 metros.

O concreto deve seguir também às outras especificações das normas afins vigentes, dentre elas a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) que determina o cobrimento das armaduras das paredes de acordo com a classe de agressividade ambiental em que a estrutura está sujeita.

Cintra (2017) avaliou as propriedades térmicas de painéis de concreto, tomando um como referência, sem aditivos, e outros quatro com variação do teor de ar aprisionado/incorporado (3%, 8%, 11%, 12%), considerando-se temperaturas do período de verão brasileiro. Os ensaios realizados apresentaram resultados de desempenho térmico com diferenciais de temperaturas pequenos e valores muito próximos para todos os concretos estudados. A autora aponta que, esse resultado se deve a semelhança entre os tipos de concretos ensaiados, por possuírem massas específicas próximas e acima de 2000 kg/m^3 , uma vez que os teores de ar incorporado obtidos nos concretos foram baixos para se conseguir uma mudança significativa em seus desempenhos térmicos.

Sacht (2008) também analisou diversos painéis de concreto variando sua espessura (8, 10 e 12 cm) e sua massa específica (1600, 1800, 2000, 2200 e 2400 kg/m^3) e observou que, essa variação na massa específica pouco afetou os resultados. Em contrapartida, verificou que a espessura ocasiona maior influência nas temperaturas e que, dentre os painéis analisados, o que apresentou melhor desempenho apresentava massa específica de 2400 kg/m^3 e espessura de 12 cm.

Ainda de acordo com os experimentos de Cintra (2017), quanto à condutividade térmica, os concretos com ar incorporado apresentaram menores valores comparados ao concreto de referência, mas com diferença não significativa. Porém, destaca que, o valor obtido para esse parâmetro (0,966 W/m.K) foi muito abaixo do que a ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) especifica para concretos normais (1,75 W/m.K). Quanto à transmitância térmica, a autora inferiu que, os concretos com diferentes proporções de ar incorporado atenderam aos requisitos das normas com a espessura da parede igual a 10 cm, desde que aplicados em superfícies com absorvância menor que 0,6 e nas zonas bioclimáticas 3 a 8. Por fim, conclui que, pequenas quantidades de ar incorporado, até 12%, não são suficientes para se obter uma melhora no desempenho térmico do concreto.

Costa (2013) discorre sobre o desempenho de paredes de concreto moldadas *in loco* em dois condomínios horizontais na percepção dos usuários, nas cidades de Alvorada e Santa Cruz do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, entregues aos moradores entre os anos de 2009 e 2011. Em geral, sua Avaliação Pós-Ocupação (APO) apontou que é um sistema muito bem recebido e que gera uma grande satisfação por parte dos moradores. Os pontos negativos mais enfatizados estão ligados às instalações elétricas e hidrossanitárias.

Em relação ao conforto térmico, as perguntas feitas por Costa (2013) direcionaram os condôminos para uma comparação com sua moradia anterior. Como resultados, uma quantidade considerável caracterizou a moradia como boa ou excelente em relação à temperatura no verão e ruim ou péssima no inverno. Em suma, os dados apresentados são de que 55% responderam positivamente ao desempenho térmico e 45% que não consideravam boas as temperaturas no inverno e no verão. Ressalta-se que, APO's apresentam resultados subjetivos e muito particulares, e que diversos outros fatores devem ser levados em consideração para a análise dos resultados obtidos.

3.4.1 Processo construtivo

As fundações são do tipo radier, construído com espaço excedente em relação à espessura dos painéis externos das fôrmas, permitindo o apoio e facilitando a sua montagem. Antes da concretagem, as tubulações devem ser posicionadas e dispostas conforme gabarito do projeto de instalação (Carvalho, 2012).

Para o correto posicionamento das fôrmas das paredes, traça-se sobre o radier já concretado, as linhas conforme a planta baixa do projeto arquitetônico, marcando as faces internas e externas das paredes. São utilizados distanciadores plásticos, cuja função é assegurar a espessura correta e garantir o cobrimento do concreto durante a concretagem. São colocadas também armaduras de espera para interligar a fundação às telas de aço das paredes. (Figura 7)

Figura 7 - Marcação no radier, espaçadores de plástico e armaduras de espera para as paredes



Fonte: A autora (2017)

As telas de aço eletrossoldadas são utilizadas conforme o dimensionamento estrutural e, conforme Silva (2011), são geralmente em malhas de 10 cm x 10 cm e diâmetro de 4,2 mm. São posicionadas no eixo vertical da parede. As aberturas para portas e janelas já são previstas, com reforços de vergalhões nos vãos das mesmas. Além disso, os eletrodutos verticais para instalações elétricas, telefônicas e hidráulicas e os espaçadores plásticos já devem ser posicionados entre as telas. (Figura 8)

Figura 8 - Telas, espaçadores e eletrodutos posicionados para colocação das fôrmas nas paredes



Fonte: A autora (2017)

Em seguida, inicia-se a montagem dos painéis das fôrmas com a utilização de grampos ou pinos para as conexões e deve obedecer a distribuição indicada na planta executiva. Utiliza-se também escoras prumadoras, pois mantêm os painéis em pé e permitem o ajuste milimétrico dos prumos das paredes. Segundo ABCP (2008), normalmente, inicia-se a montagem dos painéis pela parede hidráulica (banheiro ou cozinha), colocando-se primeiro os painéis de canto, formando um “L” e depois os painéis da face interna da parede hidráulica. Esta escolha é importante, pois permite posicionar as tubulações exatamente no centro da parede.

As fôrmas podem ser metálicas, plásticas, mistas ou trepantes (para múltiplos pavimentos). Depois de posicionada a fôrma da laje, coloca-se também a tela de aço para sua armação. Silva (2011) sugere que a desfôrma seja realizada no mínimo 15 horas após a concretagem. A Figura 9 mostra fôrmas de alumínio já posicionadas para a concretagem e a Figura 10 a tela para armação da laje e os eletrodutos para instalações.

Figura 9 - Fôrmas de alumínio fixadas para a concretagem



Fonte: A autora (2017)

Figura 10 - Armadura da laje posicionada (telas) e eletrodutos para instalações



Fonte: A autora (2017)

A espessura mínima das paredes com altura de até 3 metros deve ser de 10 centímetros, permitindo-se 8 centímetros nas paredes internas de edificações de até dois pavimentos. (ABNT, 2012). Quanto ao concreto, a propriedade fundamental é a boa trabalhabilidade que possibilita o preenchimento completo das fôrmas sem segregações e também um bom acabamento da superfície. Conforme aponta ABCP (2008), são quatro os tipos de concreto possíveis de serem aplicados nesse sistema construtivo: concreto celular; com alto teor de ar incorporado até 9%; com agregados leves ou com baixa massa específica; e concreto convencional ou auto-adensável.

O concreto convencional ou auto-adensável é bastante utilizado, pois pode ser aplicado a qualquer tipologia além de ter uma aplicação rápida feita por bombeamento e dispensar o uso de vibradores uma vez que a mistura apresenta elevada plasticidade. Em geral, adiciona-se a esse tipo de concreto aditivo superplastificante, que perde seu efeito aproximadamente 40 minutos depois de adicionado ao concreto.

A ABNT NBR 16055 (ABNT, 2012) determina que, a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) deve ser dimensionada conforme a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) e não deve ser superior a 40 MPa. Para assegurar a trabalhabilidade deve-se verificar a consistência por meio do *flow* (espalhamento) conforme as especificações de projeto. Silva (2011) aponta que, a resistência característica à compressão do concreto, aos 28 dias, deve ser de 25 MPa e a resistência mínima na desfôrma após 15 horas, de 1,8 MPa; e que o abatimento do tronco do cone recomendado para a consistência do concreto é de 22 ± 2 cm.

Após o concreto atingir a sua resistência e elasticidade prevista em projeto, a desfôrma deve ser realizada sem choques, para evitar o aparecimento de fissuras por ações mecânicas. Os painéis devem passar por limpeza para a retirada da argamassa aderida e receber o agente desmoldante. Quanto à cura, existem dois métodos principais de cura: cura por molhagem e cura por membrana (películas impermeáveis/ agentes de cura) e seu início deve ocorrer logo após a desfôrma. (ABCP, 2008). Em relação às lajes, todo o seu dimensionamento deve seguir a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), e para a cobertura, são aceitos quaisquer tipos de sistemas.

O principal atributo do sistema é o conceito de industrialização de materiais e equipamentos, mecanização, modulação, controle tecnológico, multifuncionalidade e qualificação da mão-de-obra. É necessário atentar para o excelente padrão dos sistemas de fôrmas e para o tipo de concreto empregado. Se executado corretamente, o sistema admite pintura ou textura diretamente sobre o concreto acabado (UFSC, 2010).

4 METODOLOGIA

Esse trabalho realiza uma avaliação do desempenho térmico de um projeto real de uma HIS construída com paredes de concreto, por meio de simulações realizadas com o *software EnergyPlus*. Para isso, fez-se necessário a apropriação dos dados com visita *in loco*; a determinação da zona bioclimática da cidade de Uberlândia e obtenção do arquivo climático

com as características do local e então, a simulação dos cenários pré-determinados. Com as simulações realizadas, avaliou-se os resultados obtidos por meio de gráficos, comparando-os com os requisitos normativos.

4.1 Apropriação de dados

A HIS selecionada para a realização deste trabalho trata-se de uma residência localizada na zona oeste da cidade de Uberlândia construída com a tipologia paredes de concreto moldado *in loco*, amplamente utilizada no município. As características da habitação e do loteamento foram obtidas a partir da avaliação dos projetos e de visitas ao canteiro de obras e se encontram descritas no Quadro 1 e na Figura 11.

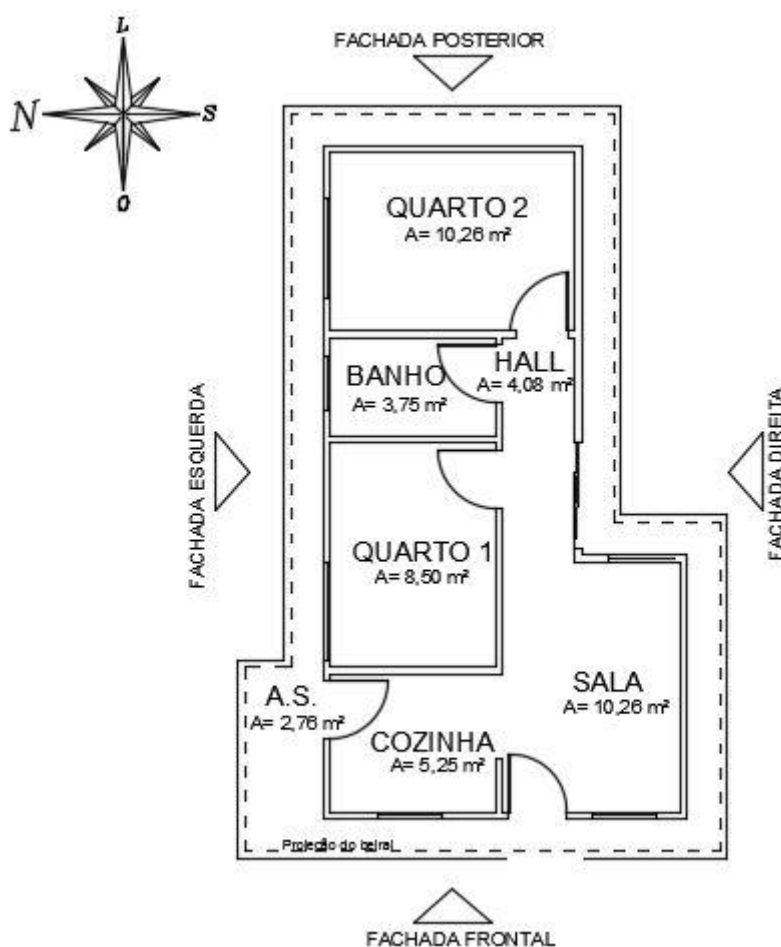
Quadro 1 - Características gerais da HIS

Dimensões do terreno	8,20 m x 25 m
Área do terreno	205 m ²
Área construída	45 m ²
Fundação	Radier
Cômodos	Sala, cozinha, 2 quartos, banheiro, e área de serviço externa
Processo construtivo	Paredes e laje de concreto armado moldado <i>in loco</i>
Pé-direito	2,60 m
Cobertura	Estrutura metálica, telha de concreto de espessura 12 mm e beiral de 50 cm
Esquadrias	Janelas de vidro liso comum com 6 mm de espessura
	Duas portas externas de alumínio e vidro e uma de correr, de vidro liso temperado com 10 mm de espessura
	Portas internas de madeira
Acabamentos	Interno com gesso e externo com textura na cor bege
	Espessura em torno de 0,5 cm

Fonte: A autora (2017)

O Apêndice A mostra as quatro fachadas da edificação expostas à luz solar para os equinócios de outono e primavera: 21 de março e 23 de setembro, e para os solstícios de inverno e verão: 21 de junho e 21 de dezembro, respectivamente. As condições de exposição foram verificadas para os horários de 8h, 12h e 16h para esses quatro dias. Adotou-se então, a situação mais crítica em relação à posição solar, com a fachada esquerda orientada para o Norte para que os quartos recebessem a maior incidência solar possível.

Figura 11 - Planta baixa da HIS do Residencial Village Pequís I



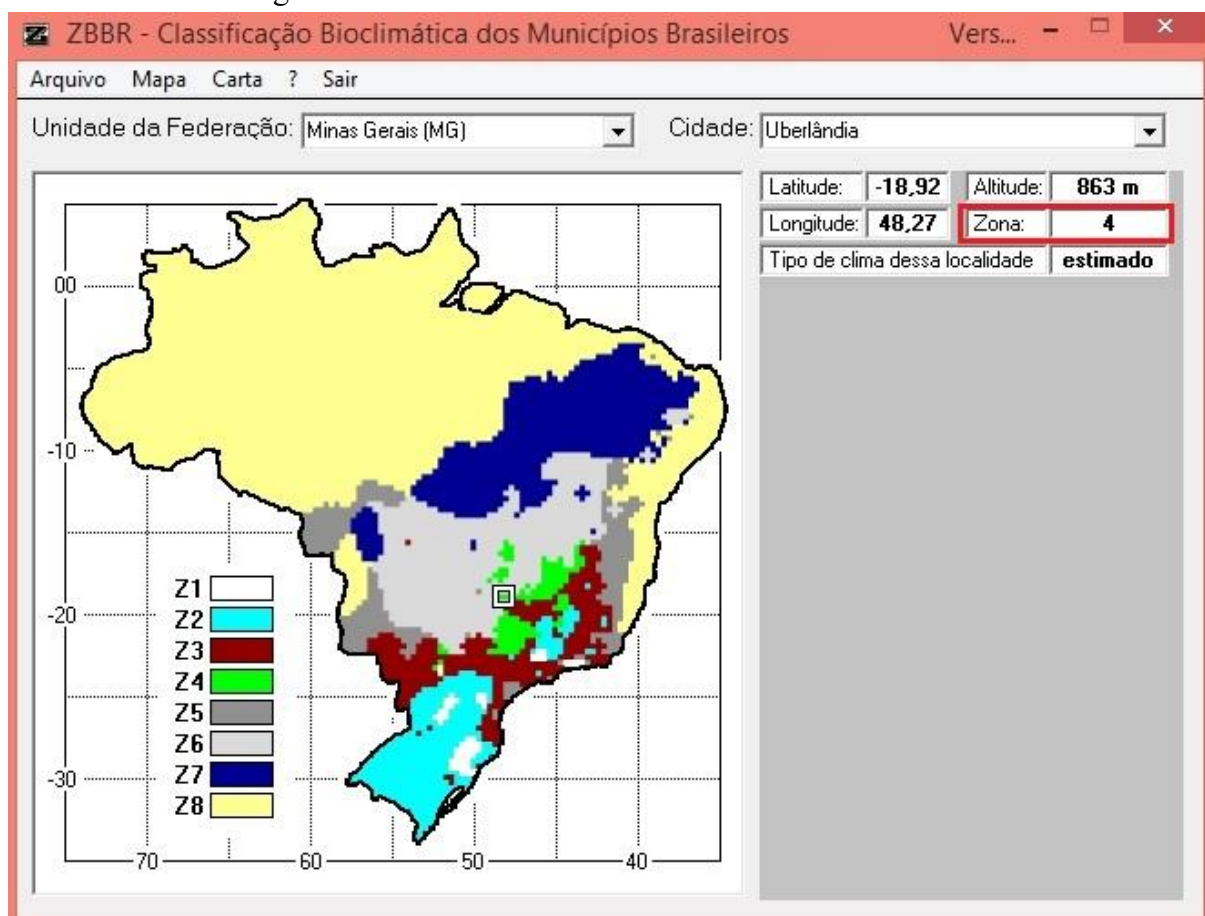
Fonte: A autora adaptado de Villa Pequís I (2017)

4.2 Dados climáticos

Quanto ao zoneamento bioclimático brasileiro, o estado de Minas Gerais possui 6 zonas bioclimáticas e a cidade de Uberlândia/MG encontra-se na fronteira de três zonas (ZB3, ZB4 e ZB6). Fez-se necessário então a determinação da zona bioclimática da cidade pelo programa ZBBR¹, cujo resultado está apresentado na Figura 12.

¹ Programa ZBBR (Zoneamento Bioclimático do Brasil) desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) em <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr>> em 2004.

Figura 12 - Zoneamento Bioclimático de Uberlândia/MG



Fonte: adaptado de ZBBR (2004)

A cidade de Uberlândia/MG pertence então à zona bioclimática 4, que tem como referência a cidade de Brasília/DF. Segundo a ABNT NBR 15575-1 (2013a), as temperaturas dos dias típicos são: 31,2°C para o verão e 10°C para o inverno. Nesse contexto, para o desempenho térmico no verão, a temperatura interna da edificação deveria ser menor ou igual a 31,2°C e no inverno, maior ou igual a 10°C acrescida de 3°C. Sabe-se que esses limites de temperatura definidos não representam de fato o clima típico desses municípios e que principalmente, definem fronteiras muito extremas para o que seria considerada a zona de conforto do usuário.

Em relação ao desempenho da edificação no verão e no inverno, é necessária a caracterização dos meses que representam de fato essas estações para a cidade de Uberlândia/MG, de clima tropical de altitude, semelhante ao da cidade de Brasília/DF. Braga e Amorim (2004) definem dois períodos distintos para esse clima: verão chuvoso de outubro a abril e inverno seco de maio a setembro.

Para a zona de conforto da cidade de Uberlândia/MG, embora seja um critério subjetivo e sem um parâmetro definido, LabEEE (2017) estabeleceu esses limites de temperatura pelo modelo adaptativo que considera as temperaturas não como constantes e sim variáveis de acordo com a estação e as temperaturas as quais as pessoas estão acostumadas (Tabela 5). Ou seja, a abordagem adaptativa considera fatores físicos e psicológicos que interagem na percepção térmica.

Tabela 5 – Limites de temperatura da zona de conforto de Uberlândia/MG

Mês	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)
Janeiro	21,42	28,42
Fevereiro	21,55	28,55
Março	21,94	28,94
Abril	21,67	28,67
Maio	20,82	27,82
Junho	20,70	27,70
Julho	20,62	27,62
Agosto	21,11	28,11
Setembro	21,96	28,96
Outubro	21,81	28,81
Novembro	21,56	28,56
Dezembro	21,81	28,81

Fonte: adaptado de LabEEE (2017)

4.3 Simulação computacional

Para utilização do *EnergyPlus*, fizeram-se necessários outros programas, plug-ins e extensões: *SketchUp*, *Euclid* e arquivo IDF, nessa ordem. O *SketchUp* é um *software* de modelagem tridimensional, possui interface amigável e versão em português e funciona apenas como meio gráfico para inserção de dados para simulação.

Delaverde (2016) resume as funções de cada um desses programas dentro da simulação. O *Euclid*, por exemplo, é um plug-in para o *SketchUp*, que funciona como plataforma gráfica para modelagem e simulação do *EnergyPlus*, transformando o modelo padrão de inserção de dados em formato de editor de texto em um palco visual de modelagem, capaz de visualizar tanto as geometrias como dados de entrada simplificados. O *Euclid* faz, portanto, o papel da introdução dos dados no arquivo IDF por meio de artefatos gráficos.

O arquivo IDF, por sua vez, é o arquivo padrão para simulação do *EnergyPlus*. É nele que são inseridos os dados referente à modelagem e, posteriormente, submetido aos algoritmos matemáticos do *software* para realização da simulação. Os seus dados podem ser visualizados e alterados em um editor de texto. É neste arquivo que todo o modelo é configurado para simulação e nele ficam salvas todas as características do modelo, desde a volumetria e localização, até cargas e materiais, por exemplo.

Silva (2009) define uma simulação energética com base numa metodologia de três passos resumidamente. O primeiro seria a criação do modelo no programa, introduzindo os vários dados que definem o edifício, como é o caso da sua geometria, dimensões e constituição. O segundo, o momento em que programa corre a simulação calculando o proposto pelo utilizador, tendo em conta um arquivo de dados climáticos proposto pelo mesmo. Por fim, a análise dos resultados e suas conclusões, elaborando, se for o caso, análises de sensibilidade das várias variáveis inerentes ao edifício.

Quanto ao modelo introduzido, foram necessárias adaptações em relação ao modelo real com o objetivo de simplificar a simulação que se apresenta relativamente complexa. Nesse sentido, foram desconsiderados os pisos e revestimentos cerâmicos. As portas externas foram consideradas todas em alumínio, sem vidro, com exceção da porta de correr que dá acesso ao hall da habitação.

Para a cobertura, retirou-se os componentes de sombreamento, nesse caso, o beiral, e representou-se tudo como uma superfície plana com três camadas (telha de concreto, ar e laje de concreto). No caso das telhas de concreto, utilizou-se as mesmas propriedades da parede de concreto. Além disso, foram desconsideradas a presença de edificações ou vegetação no entorno, deixando as paredes expostas e as janelas desobstruídas.

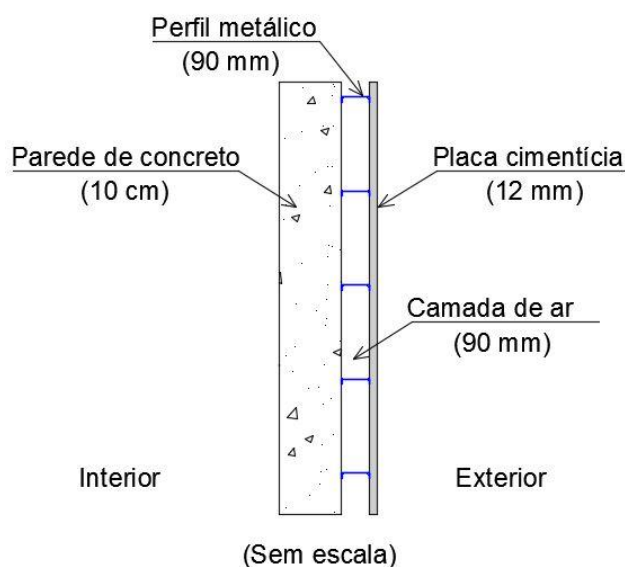
4.3.1 Cenários simulados

Em se tratando das simulações, foi avaliado o desempenho térmico da edificação nas seguintes situações: projeto real; projeto alterado sem esquadrias externas; projeto alterado com revestimento externo não aderido, e projeto alterado com cobertura hipoteticamente isolada. Nessas, a fachada esquerda (quartos) foi orientada para o Norte, obtendo-se assim a

condição mais desfavorável por ser a mais exposta ao sol durante o dia todo. Além disso, foram analisadas também 4 possibilidades de orientação solar para o projeto real.

Para o revestimento externo não aderido, optou-se pela utilização de perfil metálico e placas cimentícias, por serem compatíveis com a utilização em fachadas expostas aos agentes climáticos. Quanto ao perfil metálico, foi adotado o menor encontrado no mercado (90 mm) e placa cimentícia de 12 mm de espessura. A Figura 13 contém um esquema dessa alternativa simulada.

Figura 13 – Esquema do revestimento externo não aderido



Fonte: A autora (2017)

A Tabela 6 contém as propriedades de cada um desses materiais, cujos valores foram inseridos no arquivo IDF e processados pelo *EnergyPlus*. Em relação ao concreto, tomou-se como referência os dados obtidos por Cintra (2017), com os seus ensaios realizados em um painel de concreto de referência de 10 cm de espessura. Os demais foram consultados na ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) e aqueles que apresentaram variações em suas densidades, adotou-se os comercialmente encontrados. Cabe ressaltar que o *software* não considera nenhuma informação quanto à absorvância, que depende da cor das fachadas.

Tabela 6 - Espessura e propriedades térmicas dos materiais inseridos no arquivo IDF

Material	Espessura (m)	Condutividade térmica - λ (W/(m.K))	Densidade de massa aparente - ρ (kg/m ³)	Calor específico - c (J/(kg.K))
alumínio	0,035	230	2700	880
concreto	0,10	0,966	2452,58	1000
lã de rocha	0,048	0,045	32	750
madeira	0,035	0,15	600	1340
placa cimentícia	0,012	0,65	1600	840
vidro comum	0,006/ 0,010	1	2500	840

Fonte: adaptado de Cintra (2017) e ABNT (2005a)

4.3.2 Primeiro passo

O primeiro passo consiste na edição do arquivo IDF configurando-o com as características relativas ao projeto, localização e materiais desejados, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Principais dados inseridos no arquivo

Variáveis	Dados do projeto
Nome do projeto	Casa Pequís
Ângulo em relação ao norte	180°
Características geográficas	Latitude, longitude, altitude e fuso-horário
Materiais	alumínio
	concreto
	lã de rocha
	madeira
	placa cimentícia
	vidro comum

Fonte: A autora (2017)

4.3.3 Segundo passo

A segunda etapa é referente à criação da volumetria utilizando o *Euclid/SketchUp*. Cada ambiente foi considerado como uma zona térmica tendo, portanto, 4 zonas, e cada uma delas com sua respectiva cobertura. A Figura 14 mostra as zonas térmicas inseridas separadamente no *SketchUp*. As paredes internas são definidas dentro do programa para possibilitar as trocas térmicas entre as zonas, combinando-se as faces sobrepostas.

É também nessa fase em que se atribui os componentes construtivos criados no arquivo IDF na volumetria criada. Indica-se então a composição de cada elemento da edificação (paredes, esquadrias e laje/cobertura) e, conseqüentemente, suas propriedades inseridas no estágio anterior e que foram gravadas no arquivo IDF.

Figura 14 - Divisão dos ambientes em zonas térmicas



Fonte: A autora (2017)

4.3.4 Terceiro passo

No terceiro passo, tem-se a inserção do arquivo climático de referência e as configurações finais para a simulação. O LabEEE (2016) disponibiliza todos os arquivos climáticos desenvolvidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) no ano de 2016. Estes, são dados medidos nas estações automáticas do INMET, com extensão *.epw*, para o programa *EnergyPlus*.

O arquivo climático da cidade de Uberlândia apresentou erros durante a simulação, não sendo possível concluí-la. Dessa forma, utilizou-se a base de dados referente à cidade de Brasília/DF que, conforme a ABNT NBR 15220-3 (2005b), pode servir de referência para as demais cidades pertencentes à zona bioclimática 4.

4.3.5 Quarto passo

O quarto passo contempla a simulação em si com todos os dados inseridos nas etapas anteriores e na configuração de quais resultados se deseja obter. Dentre os diversos arquivos de saída (*outputs*), o de extensão *csv*, editável em planilha eletrônica, resume as principais temperaturas: de bulbo seco (temperatura do ar) externa e interna e a temperatura operativa, de cada zona. Parte-se então para a análise dos resultados.

4.4 Apresentação e análise dos resultados

Para cada simulação foram comparadas as seguintes situações:

- Desempenho no verão: avaliação das temperaturas máximas mensais de cada zona comparadas às temperaturas externas máxima mensais e temperaturas médias de cada zona comparadas ao critério do “dia típico”;
- Desempenho no inverno: avaliação das temperaturas mínimas mensais de cada zona comparadas às temperaturas externas mínimas mensais e temperaturas médias de cada zona comparadas ao critério do “dia típico”.

Vale ressaltar que, para atender aos requisitos da ABNT NBR 15575-1 (2013a) para a simulação computacional, no verão as temperaturas internas devem ser menores ou iguais à temperatura externa. E no inverno, as temperaturas internas devem ser maiores que a externa acrescida de 3°C. Quanto ao critério do “dia típico”, para o verão, a temperatura interna da edificação deveria ser menor ou igual a 31,2°C e no inverno maior ou igual a 10°C acrescida de 3°C.

5 RESULTADOS

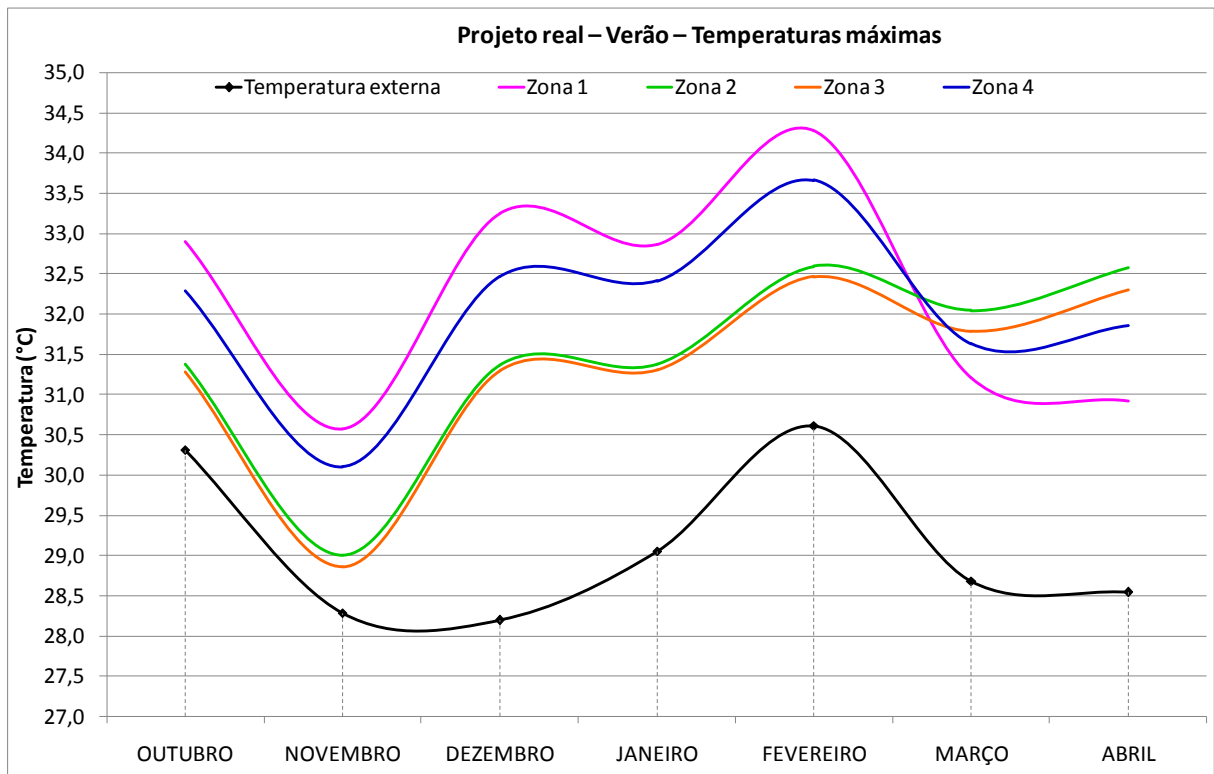
5.1 Avaliação da temperatura interna das zonas térmicas no projeto real

Na primeira análise, adotou-se como situação mais crítica em relação à posição solar, a fachada esquerda orientada para o Norte para que os quartos recebessem a maior incidência solar possível. Nessa simulação, tem-se o desempenho do projeto real de todas as zonas da edificação no verão (Figura 15) e no inverno (Figura 16).

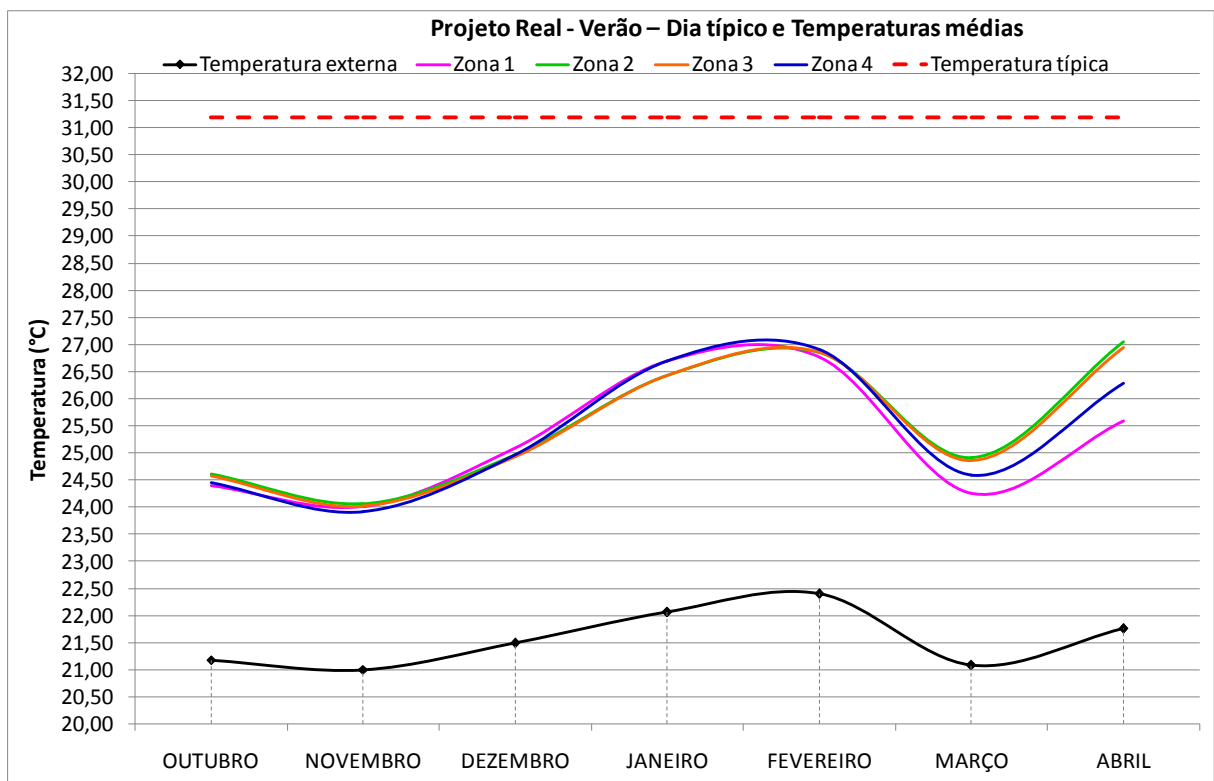
5.1.1 Avaliação do desempenho térmico no verão

Nota-se na Figura 15a que, com a avaliação das temperaturas máximas mensais, nenhuma zona atingiu temperatura menor que a externa em nenhum mês do verão e, portanto, o desempenho mínimo não foi atingido para as condições reais da edificação. Em contrapartida, a avaliação da média das temperaturas mensais atenuou significativamente as temperaturas de todos os ambientes, tornando os comportamentos muito semelhantes e por esse motivo, o desempenho mínimo no verão em todas as zonas estaria atendido pelo critério do “dia típico”, mas em relação à temperatura média externa, continua não sendo alcançado conforme mostrado na Figura 15b.

Figura 15 – Projeto real - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas máximas (a) e médias (b) no verão



(a)



(b)

Fonte: A autora (2017)

Ainda para o caso real no verão, analisando as temperaturas máximas externas, percebe-se que a zona 1 apresentou-se como a mais quente ao longo de mais de 70% dos meses do verão, seguida pelas zonas 4, 2 e 3. Entre fevereiro e março essa situação foi invertida da seguinte forma: zonas 2, 3, 4 e 1, da mais quente para a mais fria, mantendo-se assim até o fim de abril.

Quanto às temperaturas médias, não há uma predominância de um ambiente mais quente em relação ao outro por apresentarem temperaturas similares em todos os meses, com amplitude média em torno de 0,25°C, atingindo no máximo 1,48°C de diferença entre as zonas 1 e 2 em abril. Destaca-se que a mesma similaridade entre as temperaturas foi verificada nos meses de fevereiro a abril para as temperaturas médias: as zonas 4 e 1 apresentaram as menores temperaturas.

Para uma avaliação mais crítica dos valores apresentados, faz-se necessário avaliar a exposição de cada ambiente em relação à orientação solar na condição da fachada esquerda orientada para o Norte. A Tabela 8 mostra a área e orientação das fachadas de cada zona da edificação.

Tabela 8 – Área e orientação das fachadas de cada zona (fachada esquerda para o Norte)

Zona	Fachada total (m²)	Proporção da Fachada Norte (%)	Proporção da Fachada Sul (%)	Proporção da Fachada Leste (%)	Proporção da Fachada Oeste (%)
1	42,90	13,3%	44,2%	9,1%	33,3%
2	9,10	100,0%	-	-	-
3	4,16	100,0%	-	-	-
4	25,48	29,6%	29,6%	40,8%	-

Fonte: A autora (2017)

Dessa forma, é possível justificar o fato de a zona 1 ser a mais quente durante o verão pois tem maior área de fachada exposta ao sol, ou seja, observa-se pela tabela 10 que, 56% da sua área de fachada está orientada para norte, leste e oeste.

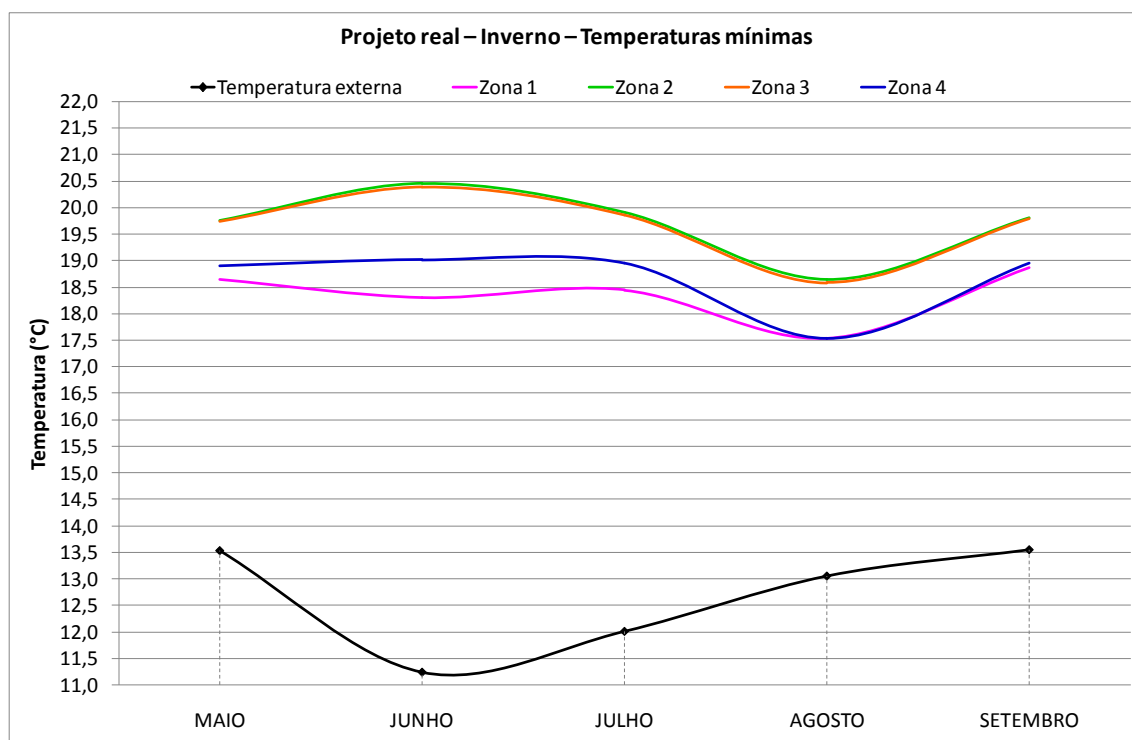
5.1.2 Avaliação do desempenho térmico no inverno

Quanto ao desempenho no inverno (Figura 16), o desempenho mínimo para o projeto real, caracterizado pela temperatura interna maior que a externa acrescida de 3°C, é atingido para os dois critérios (temperaturas mínimas e médias) em todas as zonas. Nas duas situações

avaliadas as zona 2 e 3 apresentam-se como as mais quentes de maio a setembro e a zona 1 como a mais fria nesse mesmo período.

As zonas 2 e 3 tem trajetórias muito parecidas porque tem 100% de suas fachadas orientadas para o norte, que é também o alvo da maior quantidade de insolação. O comportamento da zona 1 deve-se ao fato de esta possuir a maior área de exposição e por grande parte dela estar voltada para o sul, que recebe menos insolação (Tabela 8).

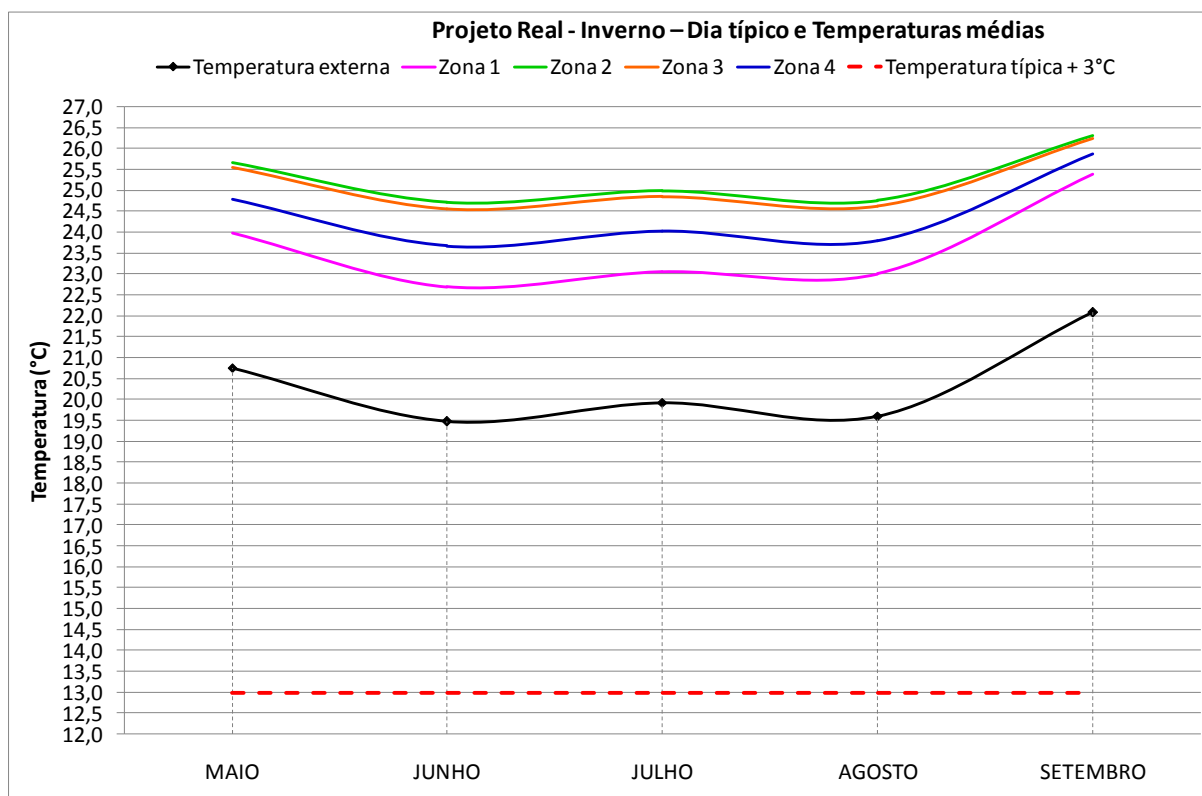
Figura 16 – Projeto real - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas mínimas (a) e médias (b) no inverno



(a)

Fonte: A autora (2017)

Continuação Figura 16 – Projeto real - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas mínimas (a) e médias (b) no inverno



(b)

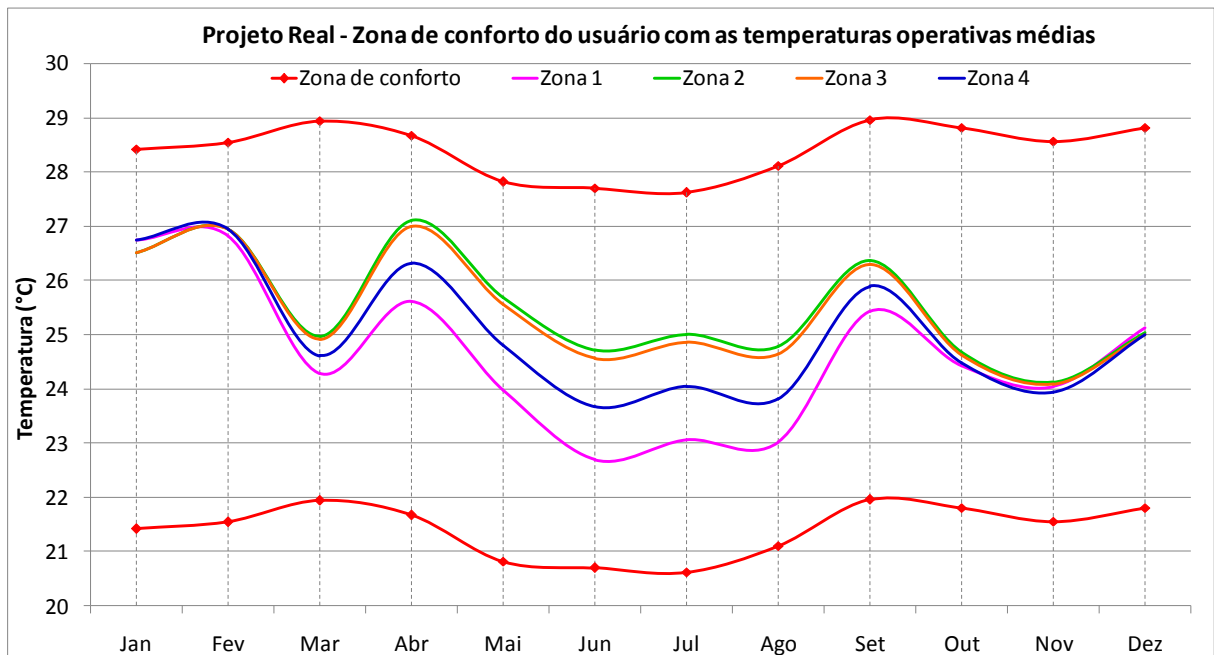
Fonte: A autora (2017)

5.1.3 Avaliação do conforto térmico do usuário

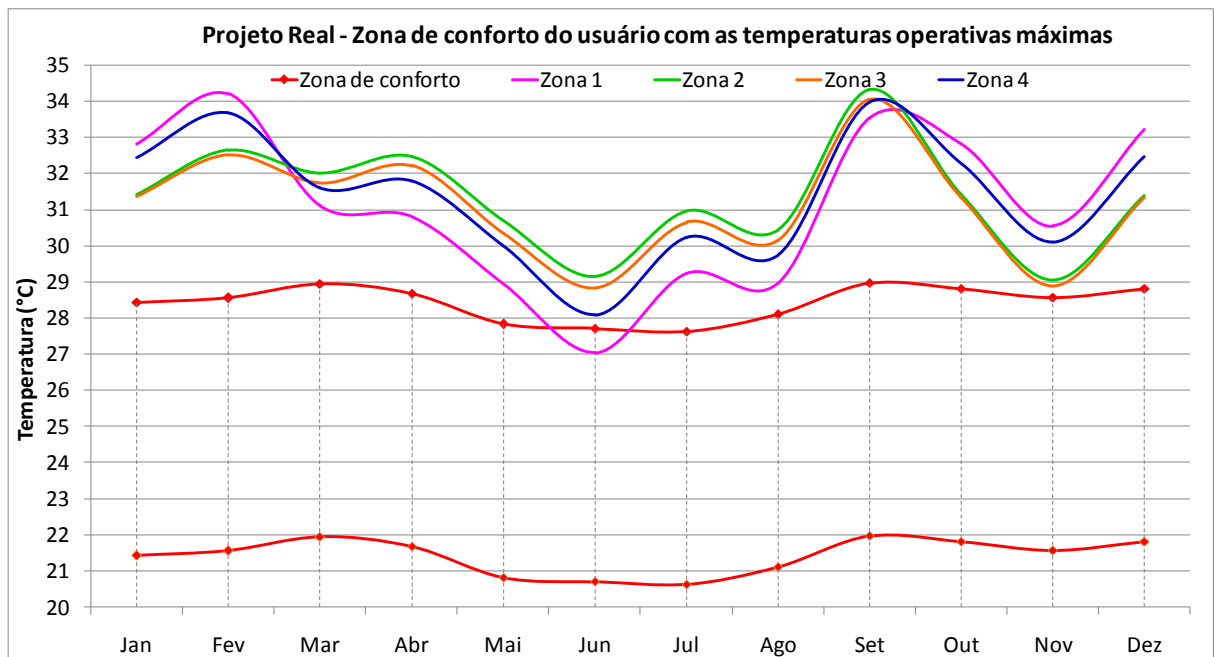
Quanto ao conforto do usuário, foram utilizadas as temperaturas operativas de cada ambiente da edificação e sua comparação com a zona de conforto de Uberlândia/MG estabelecida pelo LabEEE (2017), cujos limites estão expostos na Tabela 5.

A Figura 17 contém os resultados obtidos para essa análise. Para esse critério, percebe-se que as condições reais da HIS em questão já atendem ao que se estabeleceu como zona de conforto do usuário em termos de temperatura operativa média (Figura 17a). Porém em comparação com as temperaturas operativas máximas (Figura 17b) e mínimas (Figura 17c), que seriam as mais críticas, a zona de conforto não é alcançada.

Figura 17 – Projeto real - Avaliação zona de conforto do usuário a partir das temperaturas operativas médias (a), máximas (b) e mínimas (c) no ano todo



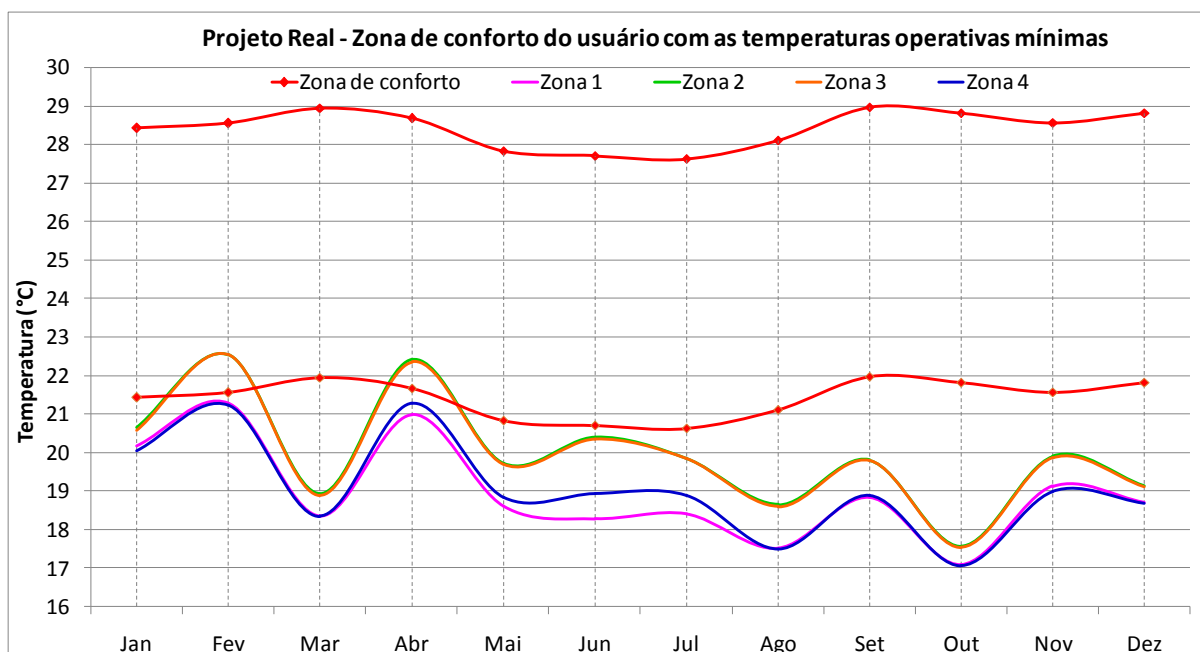
(a)



(b)

Fonte: A autora (2017)

Continuação Figura 17 - Avaliação zona de conforto do usuário a partir das temperaturas operativas médias (a), máximas (b) e mínimas (c) no ano todo para o projeto real



(c)

Fonte: A autora (2017)

5.2 Avaliação do projeto arquitetônico

O desempenho término mínimo não foi atingido no verão com as condições reais de projeto conforme mostrado no item 5.1.1. Faz-se necessário então a determinação do que influencia para que as temperaturas internas sejam sempre maiores que as externas de outubro a abril. Dessa forma, foi simulada a edificação sem as aberturas, para avaliação da influência das esquadrias externas na temperatura interna e a interferência da orientação solar das fachadas.

5.2.1 Avaliação do desempenho térmico para o projeto sem esquadrias externas

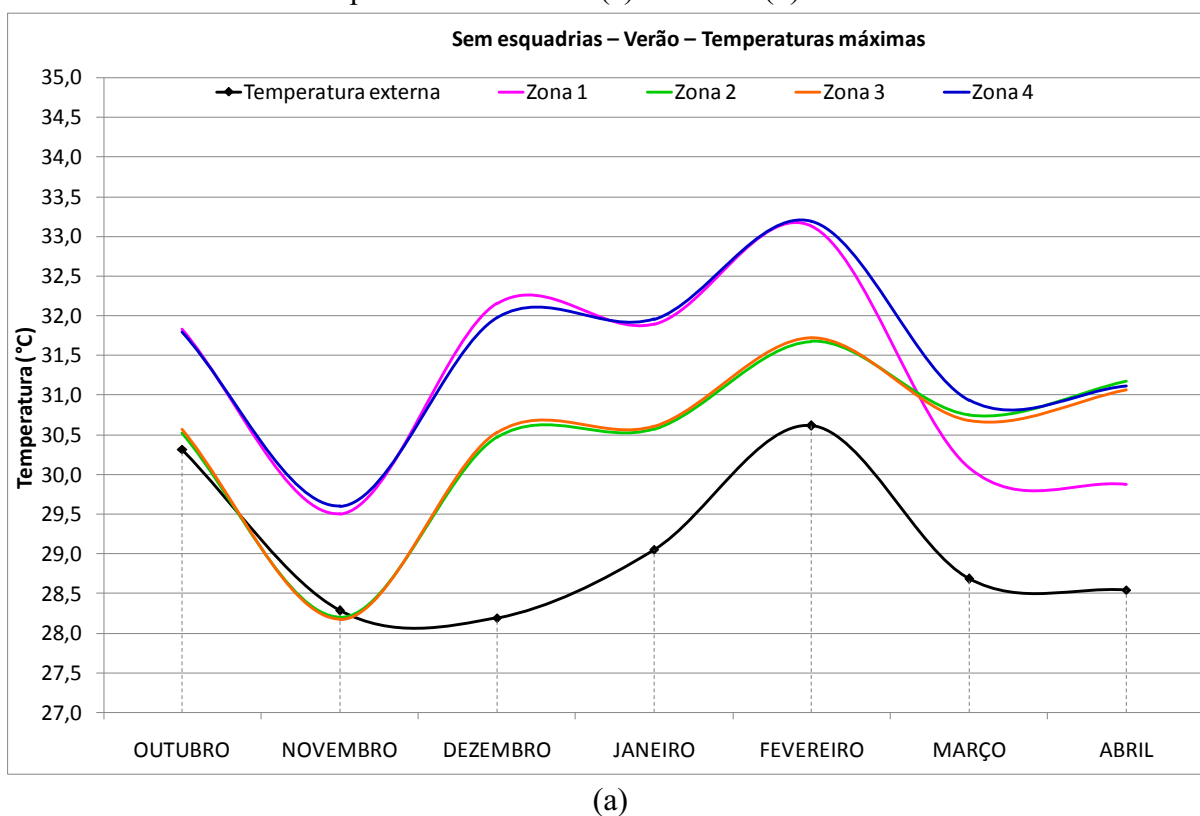
A Figura 18 apresenta o desempenho da edificação no verão e a Figura 19 no inverno, na condição citada.

Em relação ao projeto real (Figura 15a), comparando as temperaturas máximas, observa-se que as temperaturas internas reduziram com uma amplitude de aproximadamente 0,46°C a 1,39°C (Figura 18a). Observa-se especificamente que a zona 4 permaneceu com alta temperatura de fevereiro a abril, enquanto a zona 1 passou a ser mais fria nesse mesmo

período. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que a zona 4 possui menos aberturas em relação à sua área em planta, e portanto, houve uma menor interferência da retirada da esquadria na sua temperatura interna.

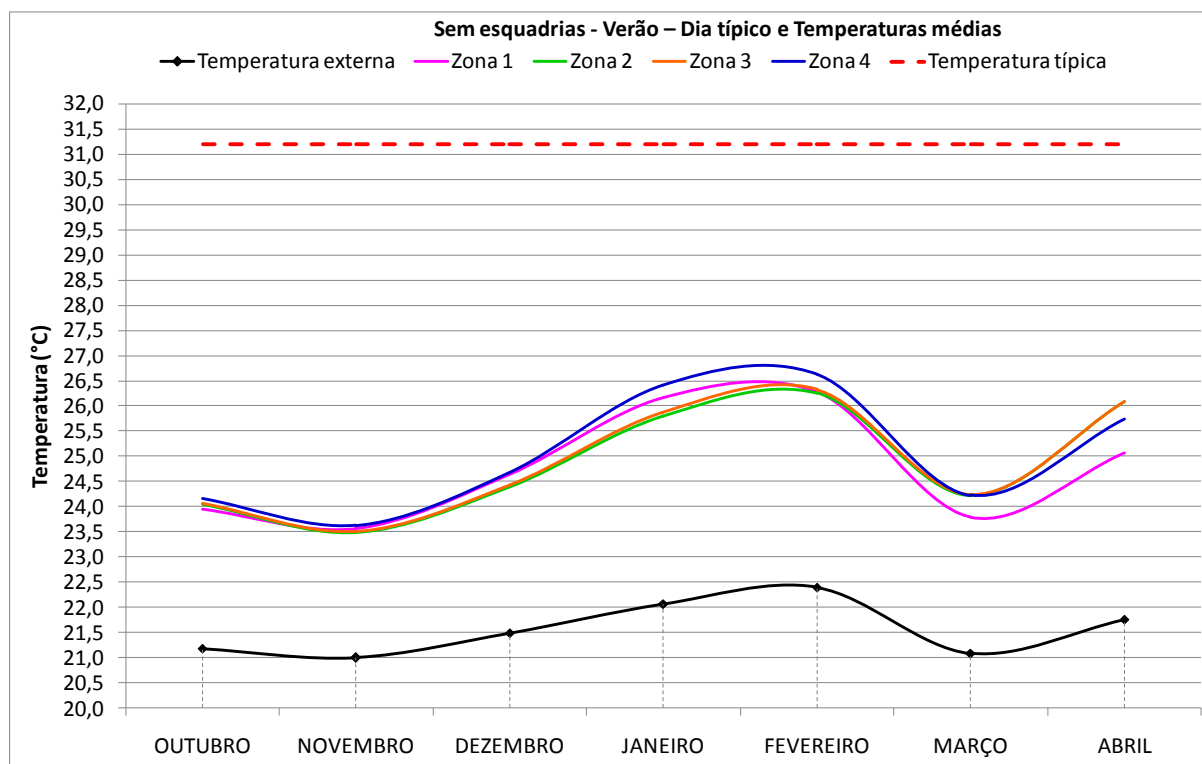
Já em relação às temperaturas internas médias (Figura 18b), não foi observada mudança significativa em relação ao projeto real (Figura 15b). Nota-se, em geral, que em ambas as comparações os ambientes internos permaneceram mais quentes que o externo com trajetórias semelhantes às do projeto real.

Figura 18 – Sem esquadrias - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas máximas (a) e médias (b) no verão



Fonte: A autora (2017)

Continuação Figura 18 – Sem esquadrias - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas máximas (a) e médias (b) no verão

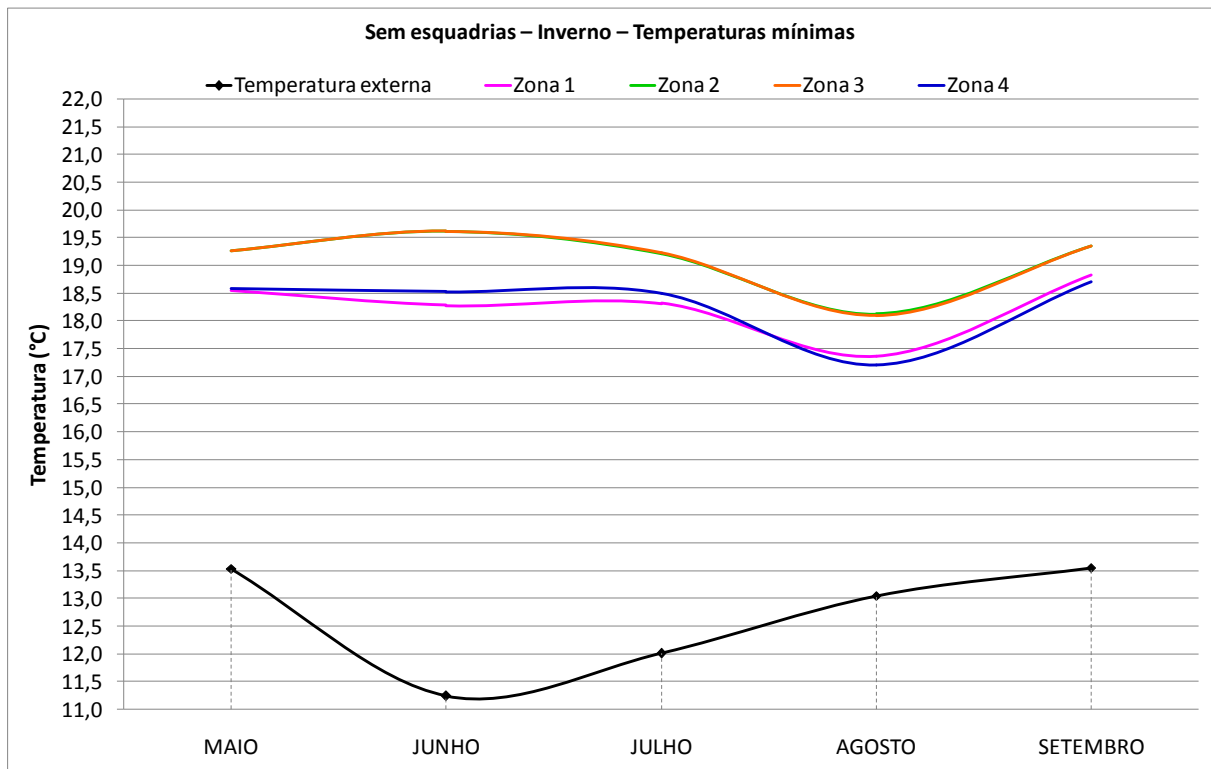


(b)

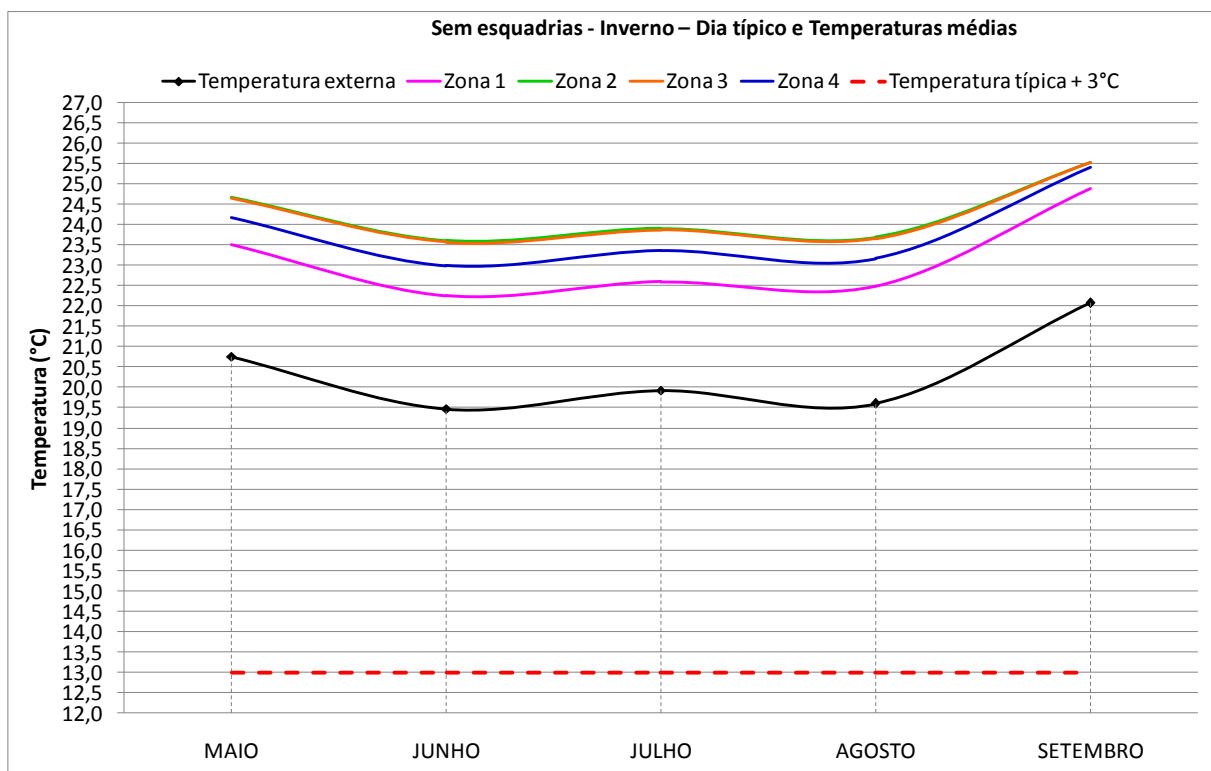
Fonte: A autora (2017)

Em relação ao inverno, o desempenho térmico permaneceu acima do mínimo normativo avaliando ambas as temperaturas mínimas e médias. Quanto às temperaturas mínimas expostas na Figura 19a, não foi observada nenhuma mudança quando comparada ao projeto real na Figura 16a. Já em relação às temperaturas médias mostradas na Figura 19b, notou-se a mesma tendência de variação entre as zonas, porém com temperaturas em torno de um grau menores em relação ao projeto real (Figura 16b).

Figura 19 – Sem esquadrias - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas mínimas (a) e médias (b) no inverno



(a)



(b)

Fonte: A autora (2017)

Nesse contexto, apesar da diminuição das temperaturas, pode-se concluir que as esquadrias utilizadas no projeto real, embora não possuam venezianas, não interferem no desempenho térmico da edificação no verão.

5.2.2 Avaliação do desempenho térmico para o projeto real variando a posição solar

Uma segunda hipótese para avaliar o desempenho térmico do projeto refere-se ao posicionamento da habitação em relação à posição solar. Assim, foi simulada a mudança de orientação da fachada esquerda em relação aos quatro pontos cardeais principais (norte, sul, leste e oeste) e a comparação entre elas por zona para o verão (Figura 20) com as temperaturas máximas e para o inverno (Figura 21) com as temperaturas mínimas.

No verão, as curvas das temperaturas internas da zona 1 (Figura 20a) apresentaram trajetórias parecidas para todas as orientações, com diferenças de $0,57^{\circ}\text{C}$ a $1,30^{\circ}\text{C}$. Tal comportamento pode estar relacionado ao fato de essa zona apresentar paredes externas em três fachadas diferentes.

Quanto à zona 2 (Figura 20b), esta apresentou menor temperatura interna quando a fachada esquerda esteve voltada para o norte ou para o sul até meados de fevereiro. O desempenho da zona 3 (Figura 20c) apresentou-se praticamente igual ao da zona 2, provavelmente porque ambas contêm apenas uma parede externa e voltadas para a mesma fachada.

Pelo comportamento das temperaturas internas da zona 4 (Figura 20d) pode-se concluir que a fachada esquerda para o sul acarretou em menores temperaturas internas ao longo do ano para esse ambiente. Observa-se nessa situação que houve uma queda na temperatura interna a partir do mês de fevereiro quando a fachada esquerda estava voltada para o leste.

Em suma, as menores temperaturas das zonas 1 (Figura 21a) e 4 (Figura 21d) no verão foram obtidas quando a fachada esquerda esteve voltada para o sul e das zonas 2 (Figura 21b) e 3 (Figura 21c), com a orientação para o norte. Logo, não há uma orientação que seja mais predominante na variação da temperatura interna.

Além disso, ainda que as temperaturas tenham reduzido na ordem de $1,30^{\circ}\text{C}$ em um determinado ponto, as zonas térmicas permaneceram sem atingir sequer o desempenho

térmico mínimo no verão para nenhuma das quatro orientações simuladas, pois se mantiveram sempre acima da temperatura externa.

Para um melhor entendimento do comportamento de cada zona em relação à orientação solar, tem-se as Tabelas 9 a 12, com as áreas expostas em cada direção.

Tabela 9 - Área e orientação das fachadas de cada zona (fachada esquerda para o Norte)

Zona	Fachada total (m²)	Proporção da Fachada Norte (%)	Proporção da Fachada Sul (%)	Proporção da Fachada Leste (%)	Proporção da Fachada Oeste (%)
1	42,90	13,3%	44,2%	9,1%	33,3%
2	9,10	100,0%	-	-	-
3	4,16	100,0%	-	-	-
4	25,48	29,6%	29,6%	40,8%	-

Fonte: A autora (2017)

Tabela 10 - Área e orientação das fachadas de cada zona (fachada esquerda para o Sul)

Zona	Fachada total (m²)	Proporção da Fachada Norte (%)	Proporção da Fachada Sul (%)	Proporção da Fachada Leste (%)	Proporção da Fachada Oeste (%)
1	42,90	44,2%	13,3%	33,3%	9,1%
2	9,10	-	100,0%	-	-
3	4,16	-	100,0%	-	-
4	25,48	29,6%	29,6%	-	40,8%

Fonte: A autora (2017)

Tabela 11 - Área e orientação das fachadas de cada zona (fachada esquerda para o Leste)

Zona	Fachada total (m²)	Proporção da Fachada Norte (%)	Proporção da Fachada Sul (%)	Proporção da Fachada Leste (%)	Proporção da Fachada Oeste (%)
1	42,90	9,1%	33,3%	132,7%	40,0%
2	9,10	-	-	-	100,0%
3	4,16	-	-	-	100,0%
4	25,48	40,8%	-	29,6%	29,6%

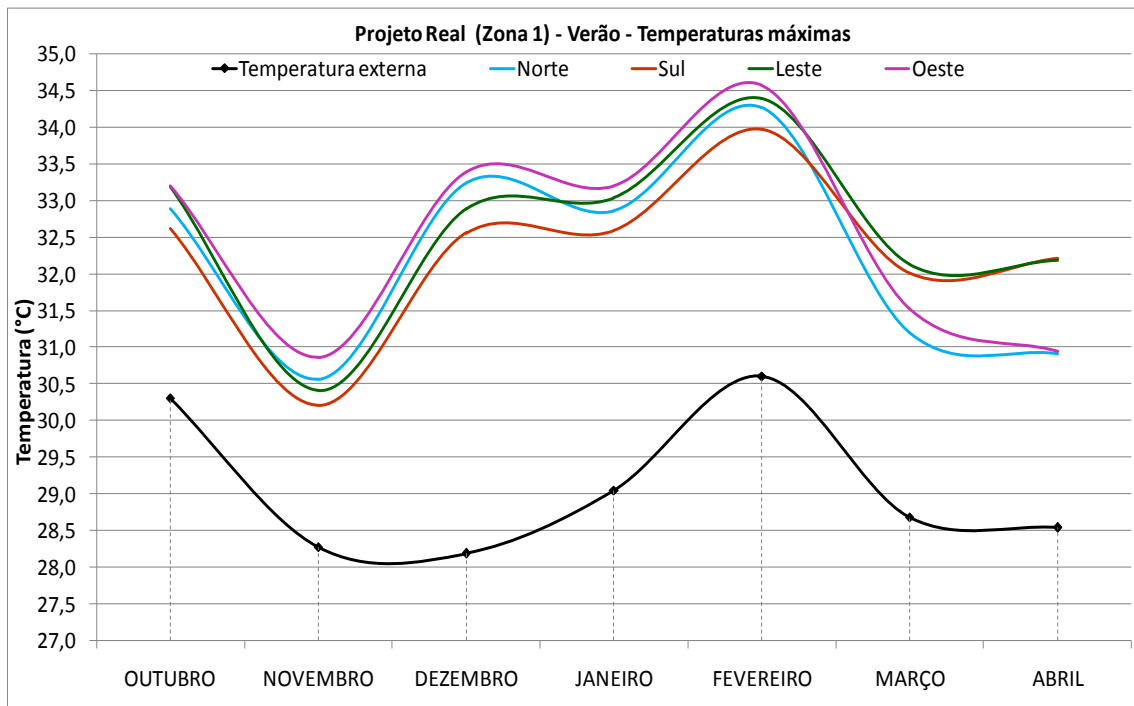
Fonte: A autora (2017)

Tabela 12 - Área e orientação das fachadas de cada zona (fachada esquerda para o Oeste)

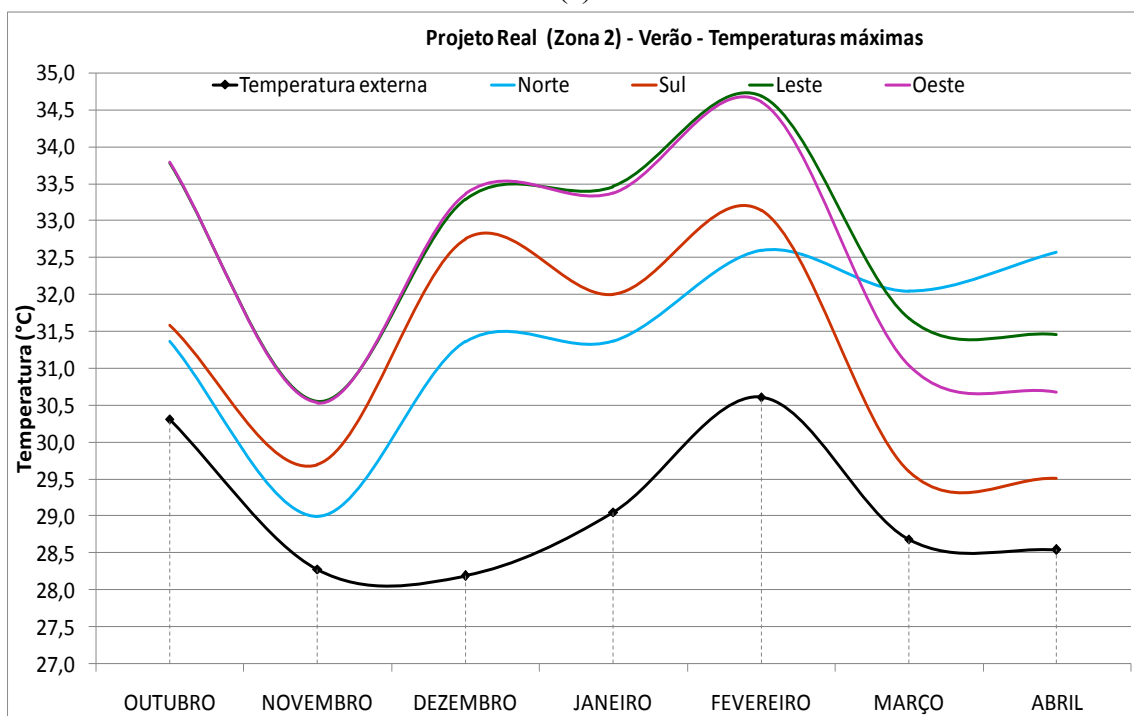
Zona	Fachada total (m²)	Proporção da Fachada Norte (%)	Proporção da Fachada Sul (%)	Proporção da Fachada Leste (%)	Proporção da Fachada Oeste (%)
1	42,90	33,3%	9,1%	13,3%	44,2%
2	9,10	-	-	100,0%	-
3	4,16	-	-	100,0%	-
4	25,48	-	40,8%	29,6%	29,6%

Fonte: A autora (2017)

Figura 20 - Avaliação da temperatura interna em cada zona da edificação no verão a partir das temperaturas máximas variando a orientação das fachadas



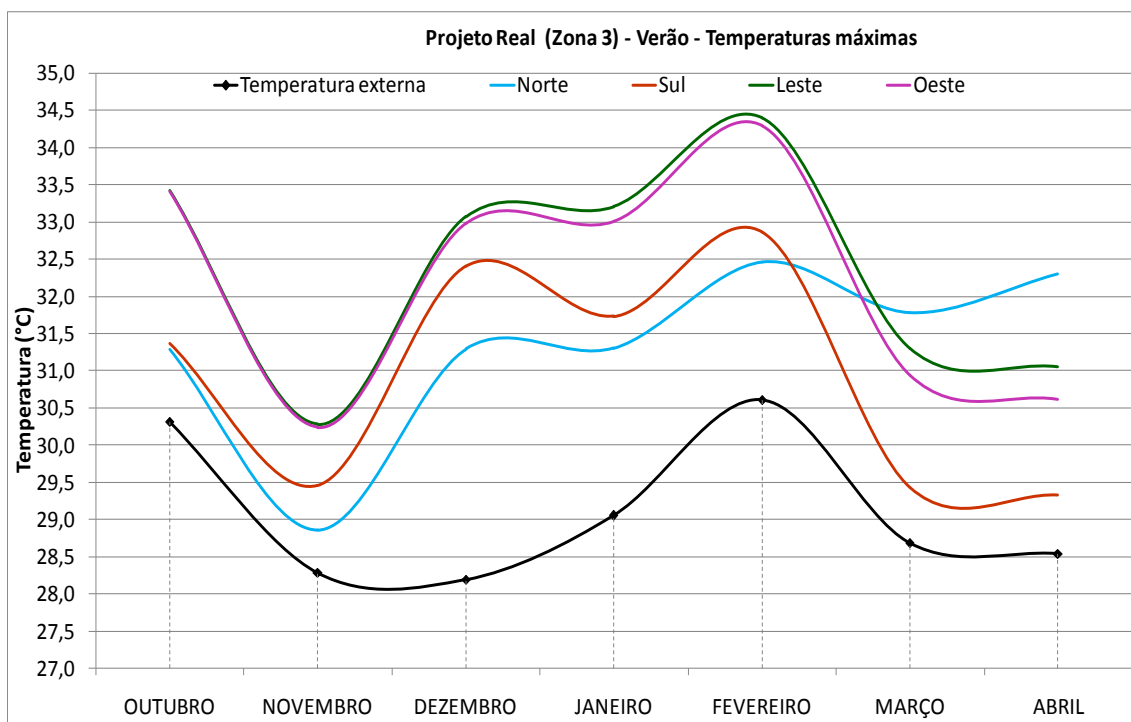
(a)



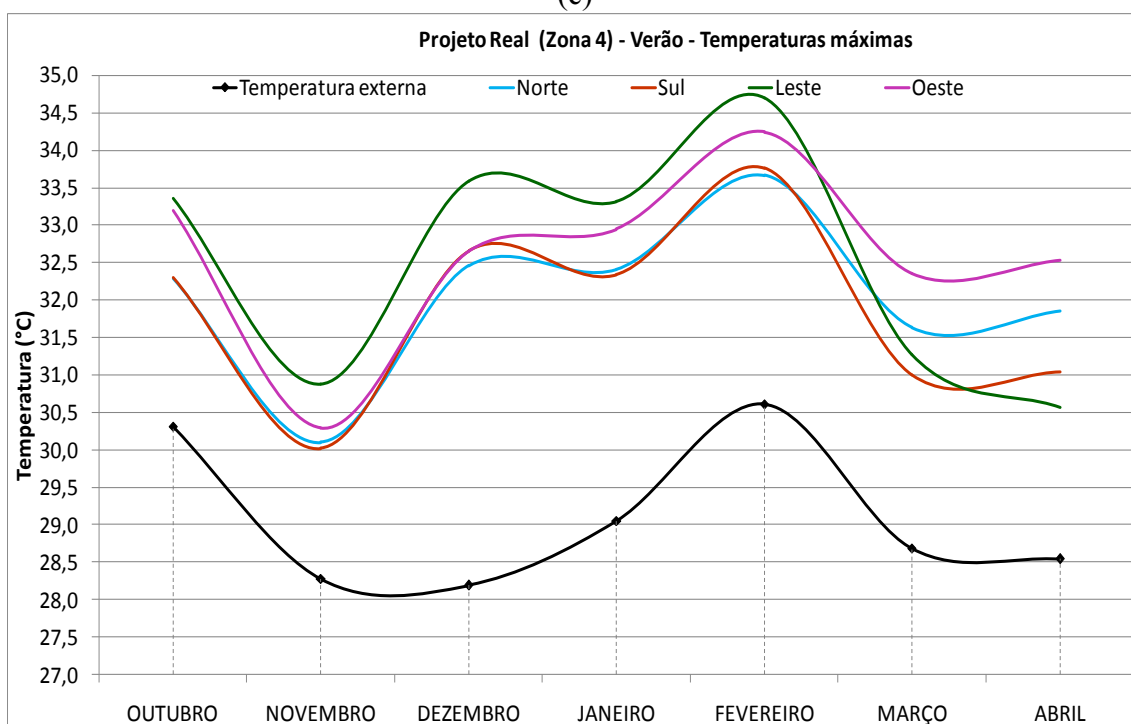
(b)

Fonte: A autora (2017)

Continuação Figura 20 - Avaliação da temperatura interna em cada zona da edificação no verão a partir das temperaturas máximas variando a orientação das fachadas



(c)



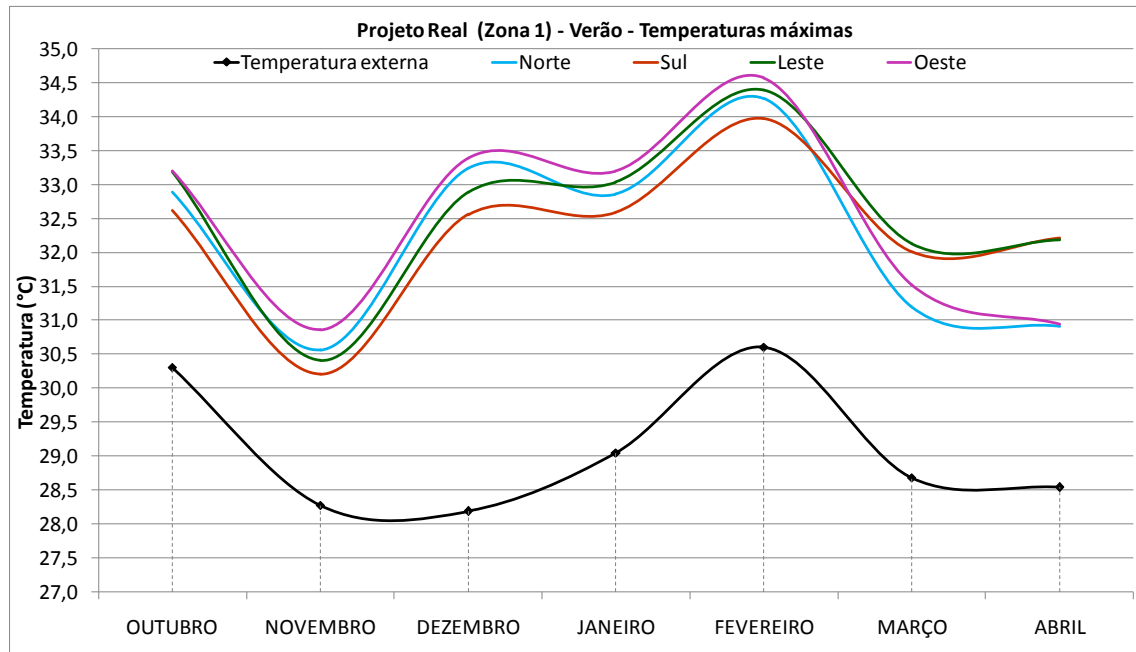
(d)

Fonte: A autora (2017)

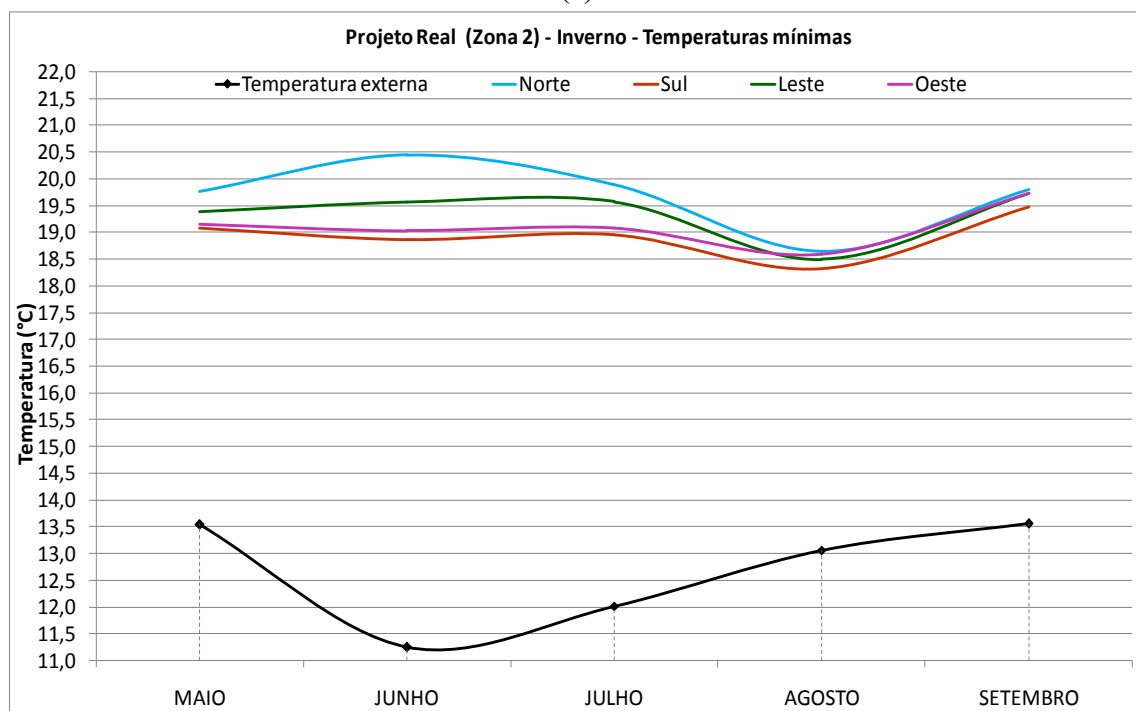
Já no inverno, embora as variações nas temperaturas internas tenham sido pequenas diante da modificação de orientação das fachadas, elas se mantiveram no mínimo 3°C acima da

temperatura externa e, portanto, o desempenho térmico mínimo para o inverno continuou observado em todos os meses da estação.

Figura 21 - Avaliação da temperatura interna em cada zona da edificação no inverno a partir das temperaturas mínimas variando a orientação das fachadas



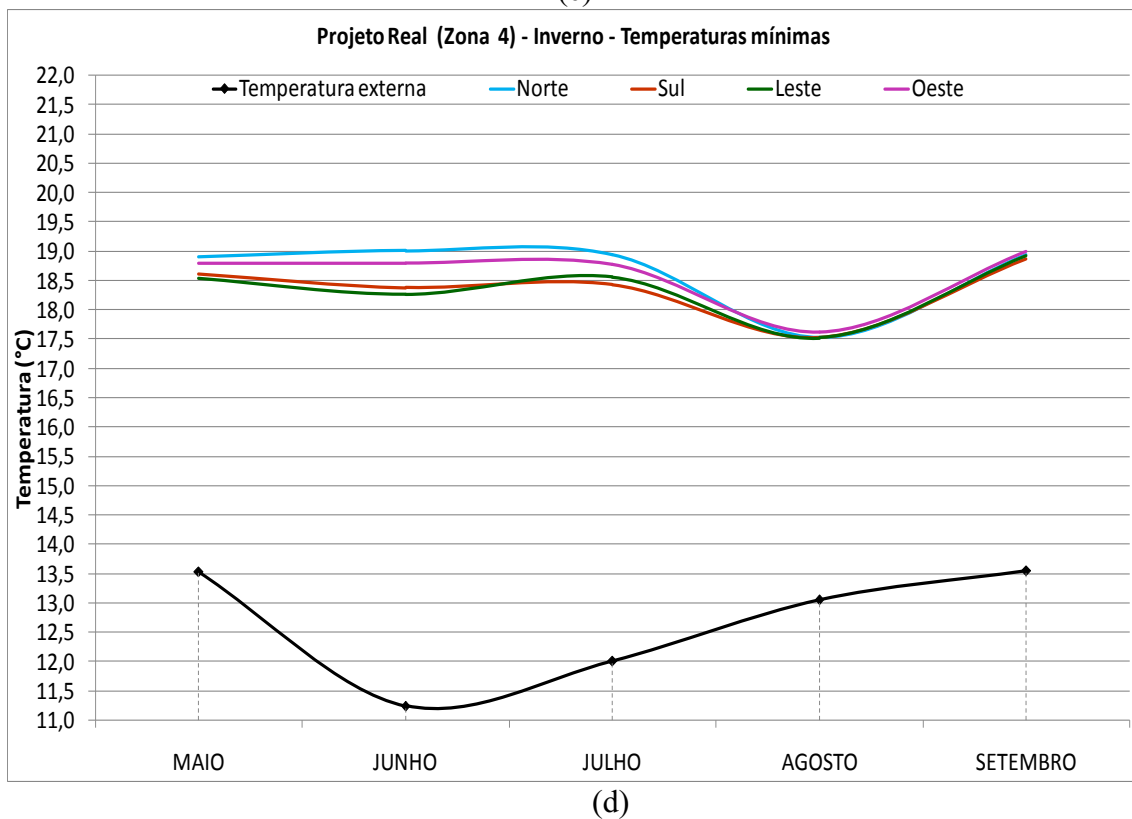
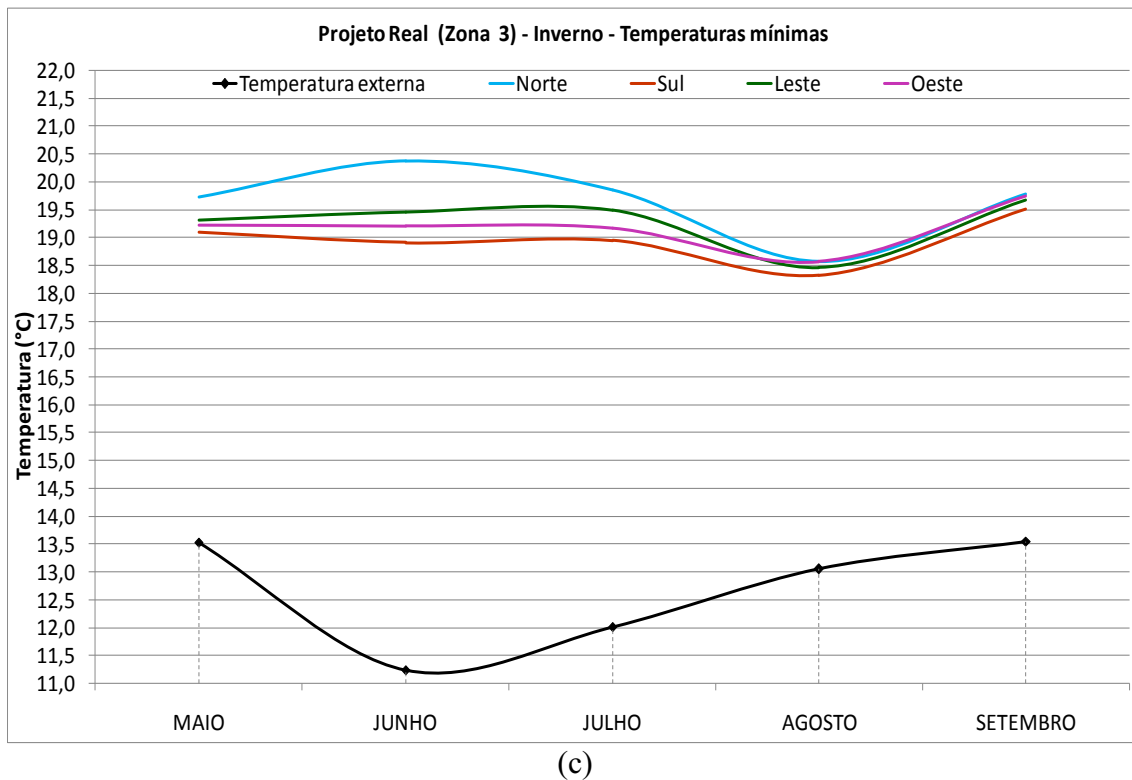
(a)



(b)

Fonte: A autora (2017)

Continuação Figura 21 - Avaliação da temperatura interna em cada zona da edificação no inverno a partir das temperaturas mínimas variando a orientação das fachadas



Fonte: A autora (2017)

5.3 Alternativas para o projeto

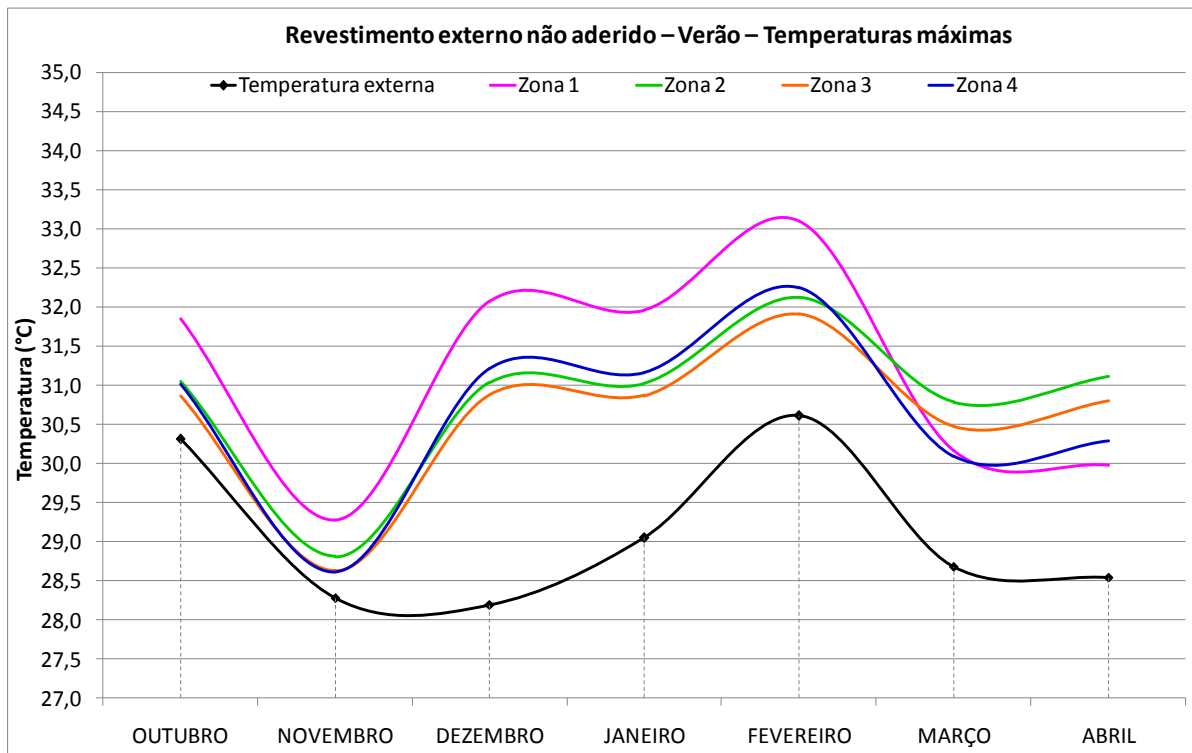
Partindo do pressuposto que, em um empreendimento real, o método construtivo utilizado (paredes de concreto moldadas *in loco*) não será alterado uma vez que o investimento para a compra das fôrmas é muito alto, este estudo optou por propor alterações no projeto que não alterem a configuração da edificação, mas que modifiquem o desempenho térmico.

5.3.1 Avaliação do desempenho térmico para o projeto com revestimento externo não aderido

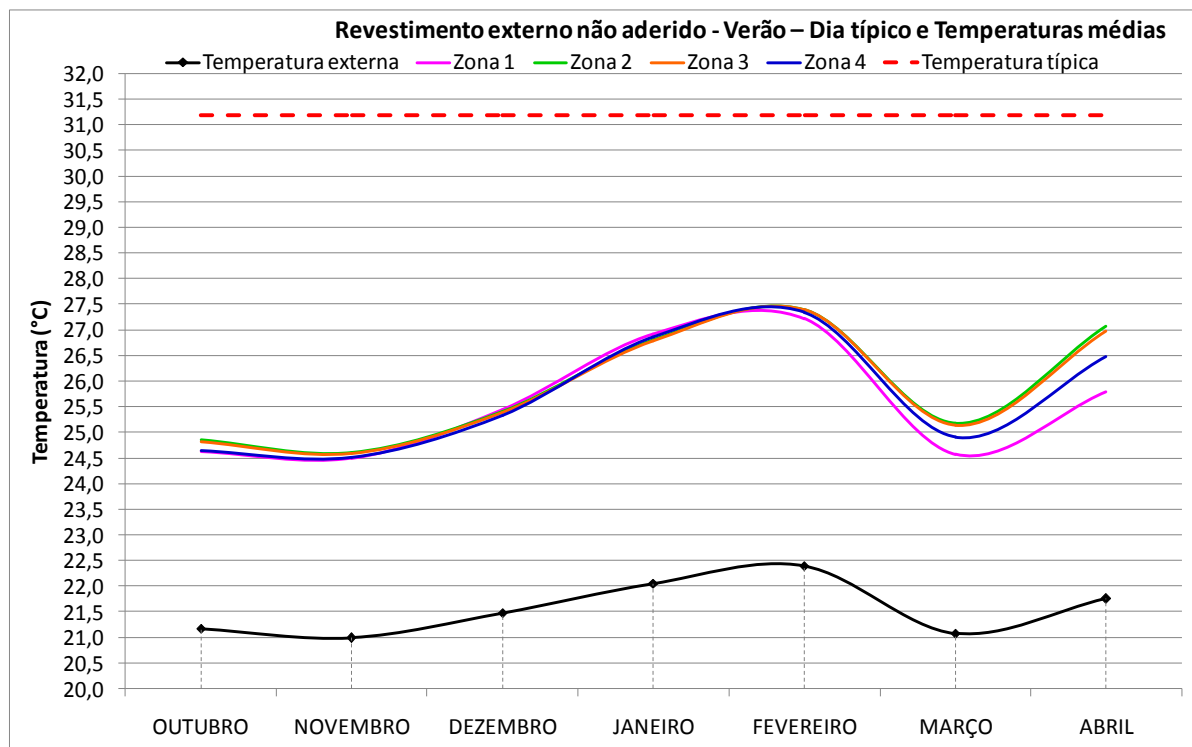
O primeiro cenário avaliado considera a adoção de perfil de aço (90 mm) e placa cimentícia de 12 mm, em todas as fachadas da edificação, atuando como revestimento externo não aderido. A Figura 22 mostra o comportamento das temperaturas para o desempenho térmico no verão e a Figura 23 no inverno.

Quanto à análise para as temperaturas máximas (Figura 22a), as trajetórias das temperaturas internas das zonas muito se assemelhou às do projeto real, com redução em torno de 1°C para algumas zonas em alguns períodos, porém ainda maiores que a temperatura externa. Em relação às médias (Figura 22b), tem-se novamente uma atenuação significativa das temperaturas de todos os ambientes, fazendo com que as curvas se coincidam e que o desempenho no verão pelo critério do “dia típico” continue sendo alcançado, mas em relação à temperatura média externa o desempenho permaneceu abaixo do mínimo normativo.

Figura 22 – Revestimento externo - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas máximas (a) e médias (b) no verão



(a)

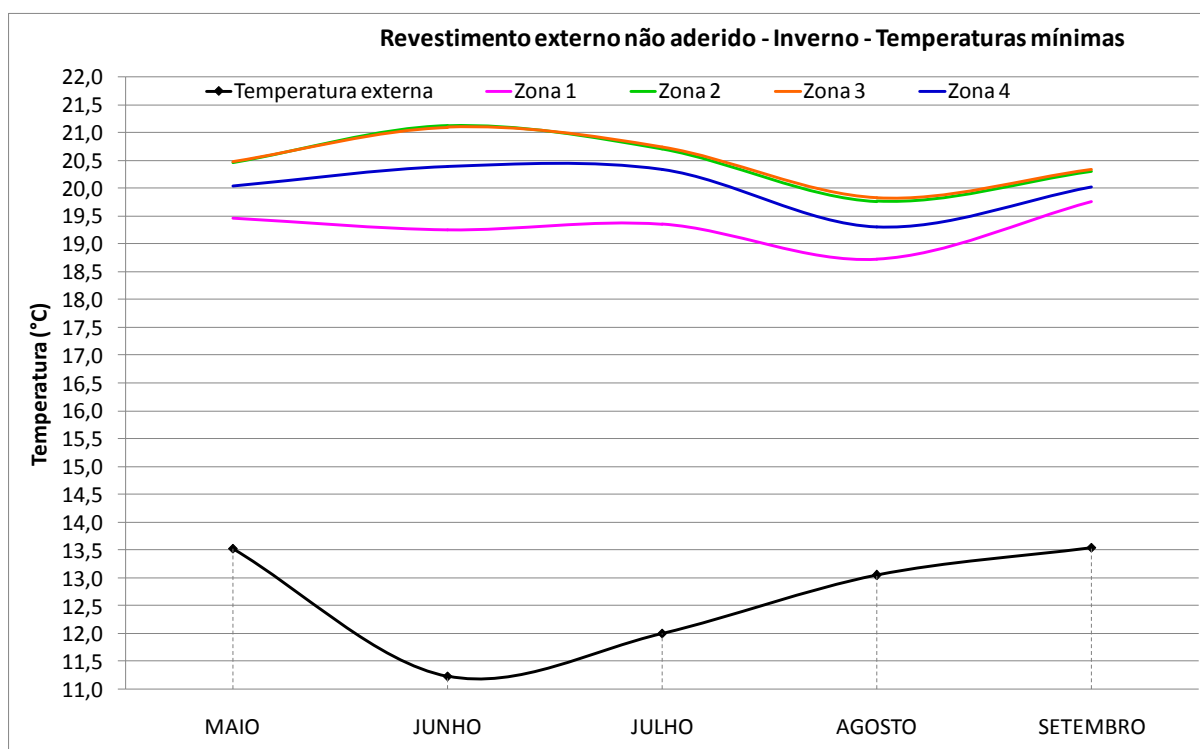


(b)

Fonte: A autora (2017)

Quanto às temperaturas mínimas (Figura 23a), nota-se que as temperaturas internas aumentaram em torno de 1°C quando comparadas à situação real (Figura 16a). Já em relação às temperaturas médias no inverno (Figura 23b), percebe-se que houve um comportamento muito similar ao projeto real (Figura 16 b). Embora tenha havido algumas modificações, em ambos os critérios o desempenho térmico mínimo no inverno continua sendo atendido.

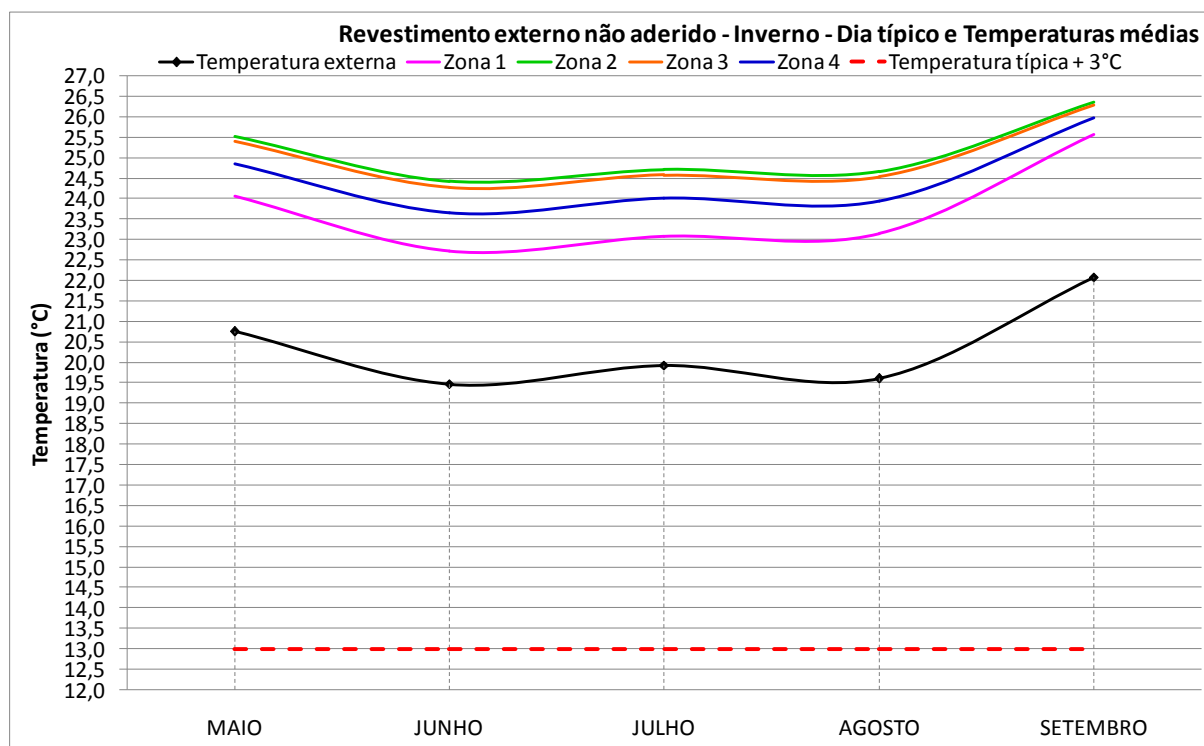
Figura 23 – Revestimento externo - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas mínimas (a) e médias (b) no inverno



(a)

Fonte: A autora (2017)

Continuação Figura 23 – Revestimento externo - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas mínimas (a) e médias (b) no inverno



(b)

Fonte: A autora (2017)

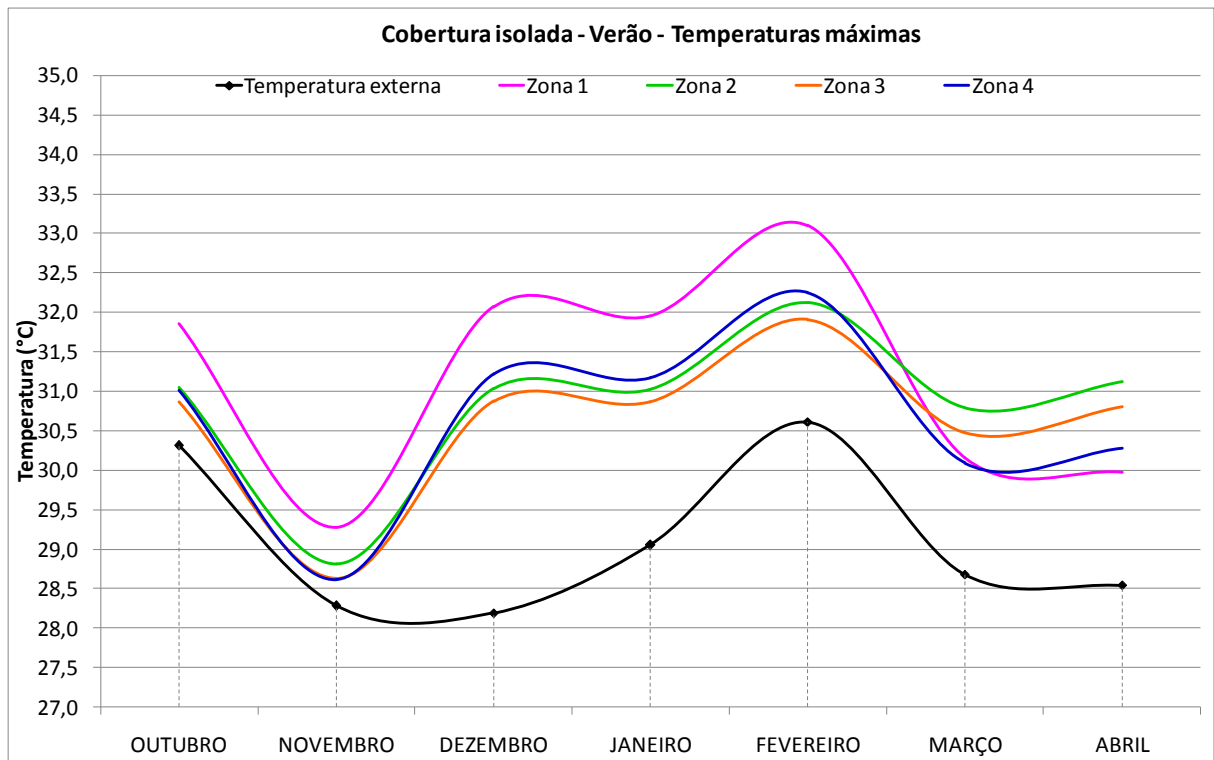
5.3.2 Avaliação do desempenho térmico para o projeto com a cobertura isolada

Como segunda alternativa, isolou-se hipoteticamente a cobertura com lã de rocha para averiguar a sua influência nas trocas térmicas dos ambientes. Os resultados obtidos para os meses de verão são apresentados na Figura 24 e para os meses de inverno na Figura 25.

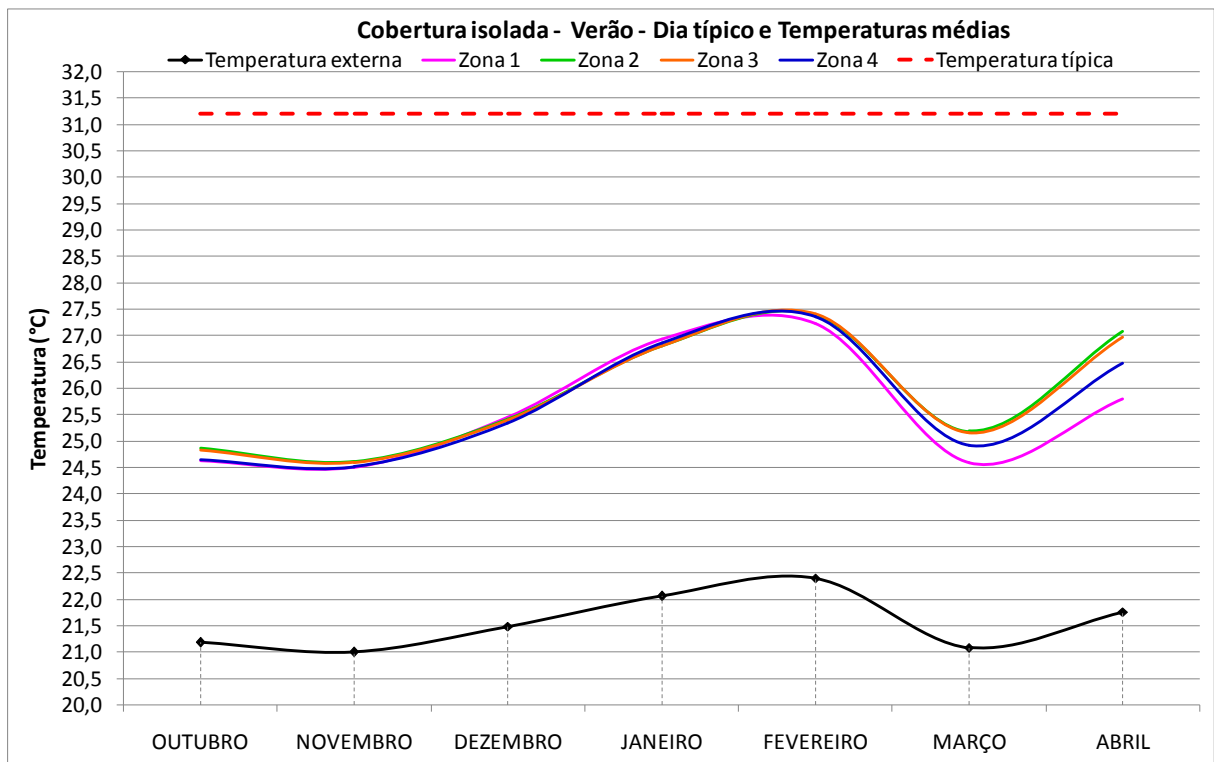
Os resultados permanecem os mesmos: desempenho mínimo no verão não foi atingido avaliando a temperatura máxima, mas está garantido quando observado apenas as temperaturas médias, comparadas com o dia típico.

Também nesse cenário o desempenho mínimo no inverno foi atingido. Observa-se ainda que nos dois períodos do ano, os ambientes internos com a cobertura isolada se mostraram bastante parecidos com a situação real (Figura 16) em termos de desempenho térmico.

Figura 24 – Cobertura isolada - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas máximas (a) e médias (b) no verão



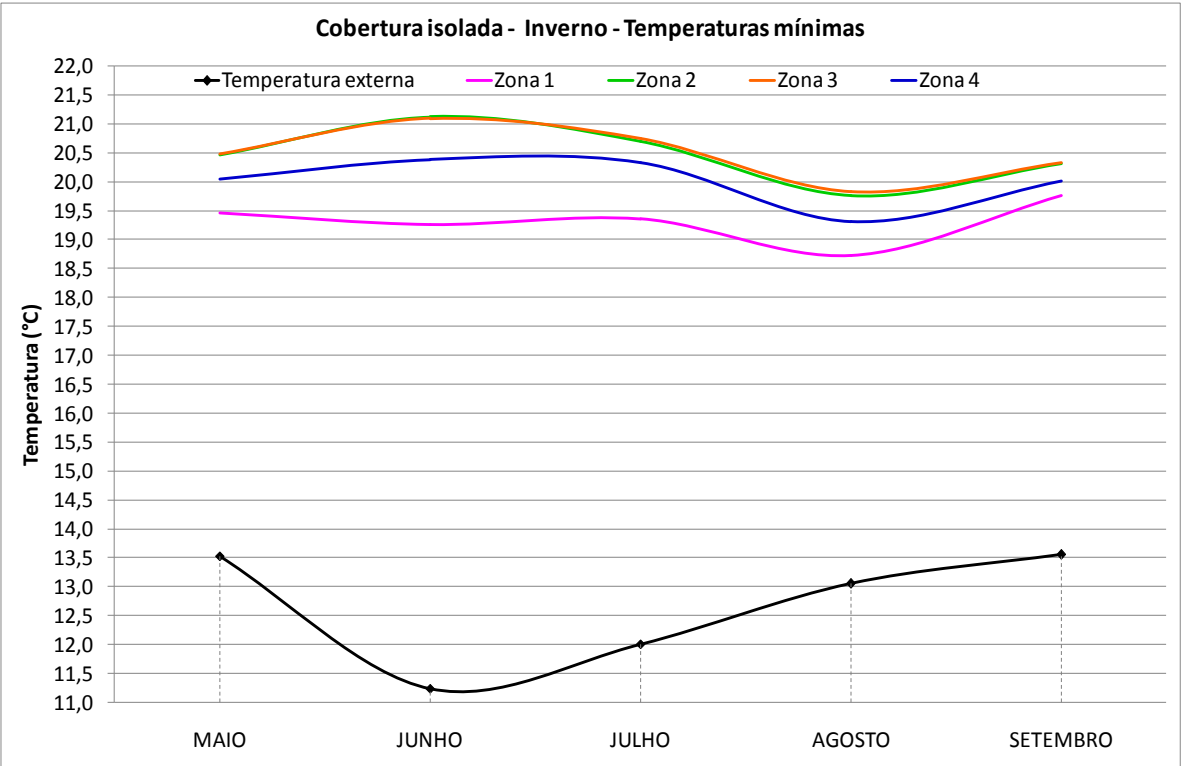
(a)



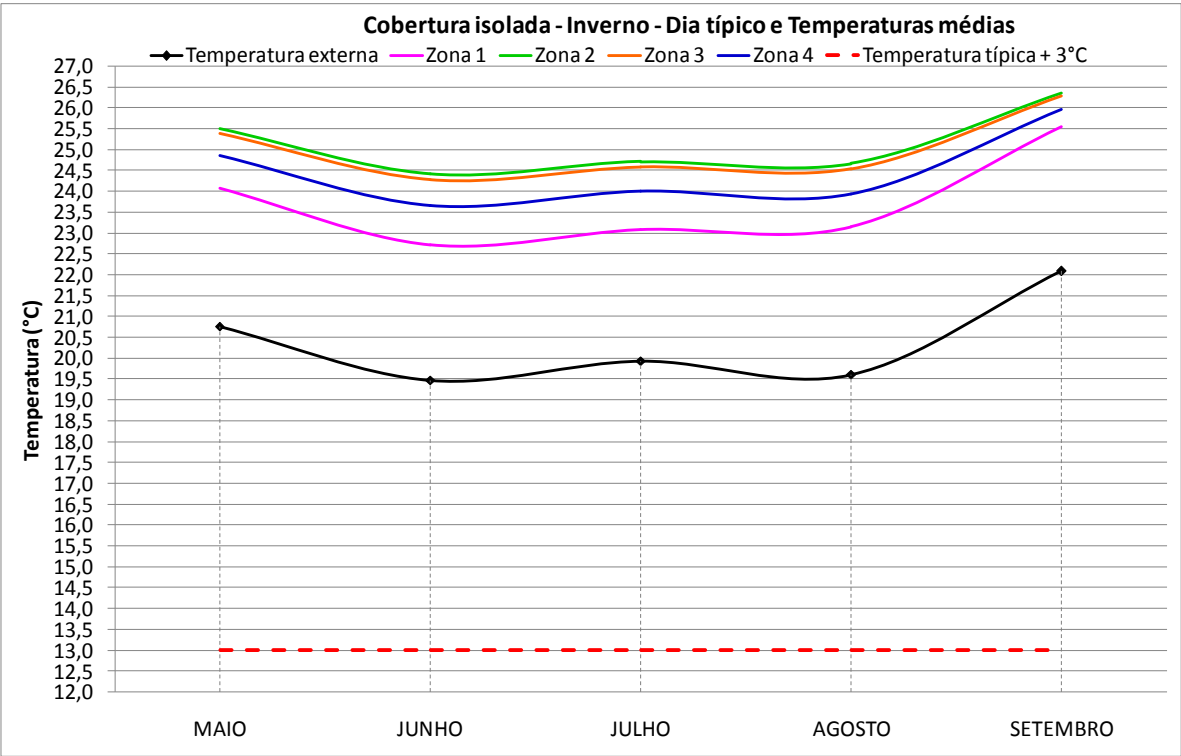
(b)

Fonte: A autora (2017)

Figura 25 – Cobertura isolada - Avaliação da temperatura interna na edificação a partir das temperaturas mínimas (a) e médias (b) no inverno



(a)



(b)

Fonte: A autora (2017)

6 CONCLUSÃO

Avaliando o projeto real, percebe-se que o desempenho mínimo no verão não foi atingido na avaliação das temperaturas máximas bem como na avaliação das temperaturas médias quando comparadas às respectivas temperaturas externas. No entanto, as temperaturas internas médias quando comparadas com o dia típico permitem avaliar o desempenho como dentro do critério mínimo. Já no inverno o desempenho mínimo foi alcançado nas duas situações.

A análise das temperaturas operativas do projeto real permite inferir que o usuário somente estaria em condição de conforto quando avaliada as temperaturas médias. Em contrapartida, quando da avaliação das temperaturas operativas máximas e mínimas, em geral, o usuário estaria em situação de desconforto térmico.

Em relação à simulação sem as esquadrias externas, apesar de não possuírem dispositivo de sombreamento (venezianas), pode-se inferir que não são as responsáveis pelo desempenho abaixo do mínimo no verão.

Pelas análises das quatro orientações solares da edificação, muito embora tenha sido observada uma pequena variação na temperatura interna, o desempenho permaneceu abaixo do mínimo. O isolamento da cobertura apresentou-se como a alternativa de projeto mais eficiente, porém não suficiente para o cumprimento do desempenho mínimo no verão.

Uma observação constante ao longo das análises foi em relação à avaliação das temperaturas médias. Pontua-se que, como para qualquer outro dimensionamento corriqueiro, quando utilizadas as condições mais críticas, trabalha-se a favor da segurança, logo, nas situações em que forem atingidas, o objeto a ser dimensionado estará preparado para a solicitação, o que não ocorre com a utilização de valores médios por haver uma compensação desses. Em se tratando do desempenho térmico de edificações, entende-se que o mesmo procedimento deve ser seguido para que o mesmo seja atingido em qualquer situação durante o ano todo.

Outro ponto observado diz respeito ao desempenho térmico mínimo no inverno, que foi alcançado em todas as simulações, porque as temperaturas internas se mantiveram sempre acima da externa e da temperatura do “dia típico”, ambas acrescidas de 3°C. Entretanto, deve-se fazer uma análise crítica quanto aos critérios para o desempenho no inverno uma vez que a

ABNT NBR 15575-1 (2013a) só estabelece os limites mínimos que as temperaturas devem superar sem a delimitação de temperaturas máximas. Pode ser que uma determinada temperatura interna no inverno supere alguma no período de verão, por exemplo, mas que ainda assim estaria dentro do permitido no inverno.

Corroborando com as análises feitas por Cintra (2017) pelo método simplificado e de medição, e diante dos resultados das simulações apresentadas, conclui-se que o desempenho térmico de uma edificação pode ser analisado sob diferentes perspectivas e, consequentemente, apresentar diferentes resultados, e muitas vezes confusos entre si.

Os critérios normativos muitas vezes se destoam uns dos outros, enquanto deveriam convergir para resultados similares. Dessa forma, cada avaliador diante de uma situação específica poderia utilizar o método ou critério que fosse mais conveniente.

De maneira global pode-se concluir que a edificação avaliada não atinge os requisitos mínimos de desempenho térmico. E, portanto, esse projeto não deveria ser implementado. É importante observar que outros critérios não foram avaliados tais como: irradiância solar, orientação e volume de chuvas, e interferência do entorno. Sugere-se que essas avaliações sejam feitas em trabalhos futuros além da reprodução deste trabalho com o arquivo bioclimático de Uberlândia, para zona bioclimática 4.

REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Parede de concreto: Coletânea de aditivos 2007/2008**. São Paulo, 2008. Disponível em: < http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/Parede_de_concreto_coletanea_ativos.pdf>. Acesso em 15 out. 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações (Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 1 ed. 21 p. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações (Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 1 ed. 23 p. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e Procedimentos. 1 ed. 35 p. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 1: Requisitos gerais). 1 ed. 60 p. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE). 1 ed. 57 p. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 1 ed. 238 p. Rio de Janeiro, 2014.

BARBOSA, M. J.; CARBONARI, B. M. T.; SAKAMOTO, J.; ADACHI, A. Z.; CORTELASSI, E. M.; SILVA JUNIOR, E. B.; ZANON, M. V. Aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos de avaliação de desempenho para subsidiar a elaboração e revisão de normas técnicas. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)**, Coletânea Habitare: Normalização e Certificação na Construção Habitacional, Porto Alegre, v. 3, p. 134-173, 2003. ISBN 85-89478-03-3. Disponível em: <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/119.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

BONDUKI, N. **Origens da Habitação Social no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Estação Liberdade, 1999.

BONDUKI, N. **Política habitacional e inclusão social no Brasil: revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula**. Revista Eletrônica de Arquitetura, 2008. Disponível em: <http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_05_180908.pdf>. Acesso em: 01 out. 2017.

BRAGA, D. K.; AMORIM, C. N. D. Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília. **I Conferência latino-americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído**, São Paulo, p.18-21, 2004. ISBN 85-89478-08-4. Disponível em: < <http://coral.ufsm.br/lasac/patrimonio2.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

BRASIL. **Entenda as novas regras do Minha Casa Minha Vida**. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/acompanhe-planalto/noticias/2017/02/entenda-as-novas-regras-do-minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 08 out. 2017.

CARVALHO, P. P. **Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado na zona bioclimática 2 brasileira**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CBCA. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Sistemas construtivos para habitação popular**. 2015. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7066>>. Acesso em: 15 out. 2017.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Balanco Nacional da Indústria da Construção**. Visão do setor privado. Brasília, 2013a. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Balanco_2013.pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013**. 2013. 308 p. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013b.

CEF. **Caixa Econômica Federal**. Minha Casa Minha Vida reduz déficit habitacional do país. Brasil, Economia, 2016. Disponível em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=3528>>. Acesso em: 17 out. 2017.

CINTRA, L. B. **Avaliação das propriedades térmicas de concretos com ar incorporado**. 2017. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

COSTA, L. J. D. da. **Paredes de concreto moldadas in loco em condomínios horizontais: avaliação de desempenho pelos usuários**. 2013. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

DELAVERDE, V. B. **Guia simulacional do desempenho energético no projeto arquitetônico**. 2016. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2016.

FAVRETTO, Ana Paula Oliveira. **Regression Models to Assess the Thermal Performance of Brazilian Low-Cost Houses: consideration of opaque envelope**. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016

GHIDETTI, F. A. **Lei de incentivo ao setor da construção civil**. 2005. Disponível em: <<http://www.buscalegis.ufsc.br/revistas/files/anexos/8455-8454-1-PB.htm>>. Acesso em: 01 out. 2017.

GIACOMELLI. **Arquitetura Bioclimática: Zona Bioclimática**. 2012. Disponível em: <<http://blog.giacomelli.com.br/2012/05/30/arquitetura-bioclimatica-zona-bioclimatica/>>. Acesso em: 12 out. 2017.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria n. 018/2012. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética edificações**

residenciais. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

LabEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos INMET 2016.** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

LabEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. **Dados climáticos e estratégias bioclimáticas.** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2017. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/>>. Acesso em: 14 out. 2017.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações.** Notas de aula. Florianópolis, 2005. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT25022013164631.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico.** Florianópolis: UFSC/ LabEEE, 2010. v.1. 123 p.

MACIEL, A. A. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico.** 2006. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2006.

MACIEL, A. C. F. **Energia incorporada de fachadas ventiladas: Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília – DF.** 147 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS.** 130 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

Ministério das Cidades. **O PBQP-H.** Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/pbqp_apresentacao.php>. Acesso em: 05 out. 2017a.

_____. **Sistema Nacional de Avaliações Técnicas.** Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 05 out. 2017b.

MONTEIRO FILHA, D. C.; COSTA, A. C. R. da; FALEIROS, J. P. M.; NUNES, B. F. **Perspectivas do investimento: 2010-2013:** Construção civil no Brasil: investimentos e desafios. 2010. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/31/BNDES_Perspectivas_do_Investimento_2010_13.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

NEMER, P. C. da C. **Avaliação do sistema construtivo paredes de concreto moldado no local a luz das normas técnicas vigentes.** 2016. 106 f. TCC (Especialização) - Curso de Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

OLIVEIRA, R. D.; VILELA, C. T. de S.; SOUZA, R. V. G.; SILVA, R. M. Análise do desempenho térmico de envoltórias em concreto no Brasil. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)**, p.1655-1664, novembro 2014. Maceió, 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_74.pdf>. Acesso em: 05 out. 2017.

ROMAGNOLI, A. J. **O Programa “Minha Casa, Minha Vida” na política habitacional brasileira: continuidades, inovações e retrocessos.** 2012. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Política, Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

ROTTA, Renata. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria - RS.** 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

RUBIN, G. R.; BOLFE, S. A. **O desenvolvimento da habitação social no brasil. Ciência e Natura**, [s.l.], v. 36, n. 2, p.201-213, 14 maio 2014. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x11637>. Disponível em: <<http://oaji.net/articles/2017/1602-1487076445.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2017.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concretos moldados *in loco*: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos**. 2008. 286 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SILVA, P. M. A. **Aplicação do programa *EnergyPlus* como ferramenta do projecto de comportamento térmico de edifícios de habitação**. 2009/2010. 153 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

SILVA, F. B. Sistemas Construtivos: Paredes de concreto armado moldadas in loco. **Téchne**, n. 167. São Paulo: Pini, 2011. Disponível em: < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/167/artigo286799-1.aspx>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

SILVEIRA, F. M. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15575 e ASHRAE 55**. 2014. 266 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2014.

SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2012. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

SORGATO, M.; 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. ISSN 1679-0944. Disponível em:

<<http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/viewFile/12205/8544>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

TELLI, F. H.; LIBRELOTTO, L. I. **Sistemas Construtivos Aplicados à HIS - etapa 2**. Relatório final apresentado ao PIBIC – CNPq. (2013-2014). Centro Tecnológico (CTC), Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2014. 20 p. Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/168913/\[Relatório Final\] Francielli Hang Telli 02-09-2014 PIBIC 2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/168913/[Relatório%20Final]%20Francielli%20Hang%20Telli%2002-09-2014%20PIBIC%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 14 out. 2017.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Tecnologias, sistemas construtivos e tipologias para habitações de interesse social em reassentamentos. **Paredes de concreto moldadas “in loco”**. Ficha catalográfica-3. Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/paredes-de-concreto/>>. Acesso em: 14 out. 2017.

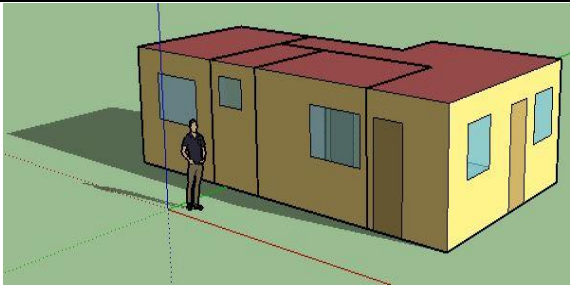
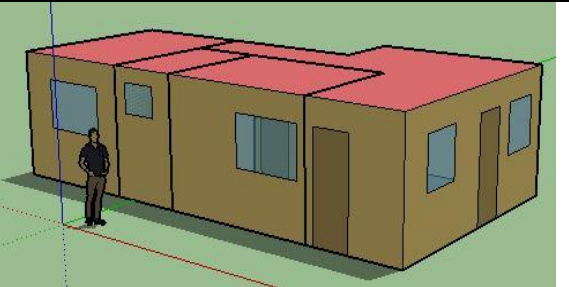
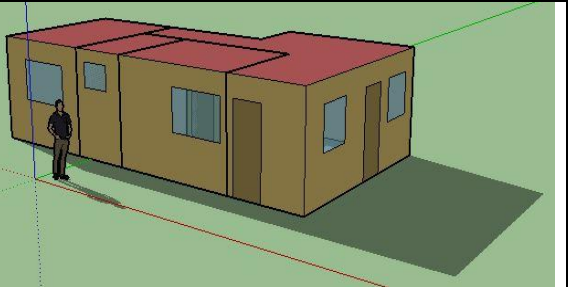
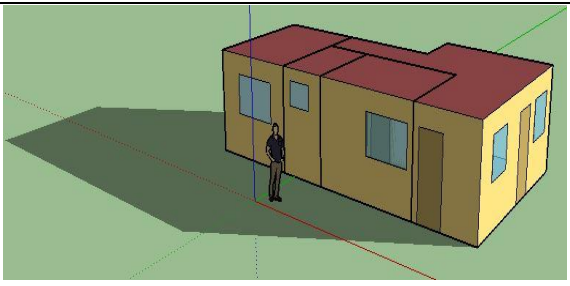
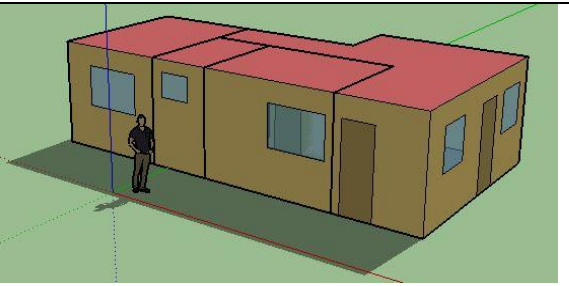
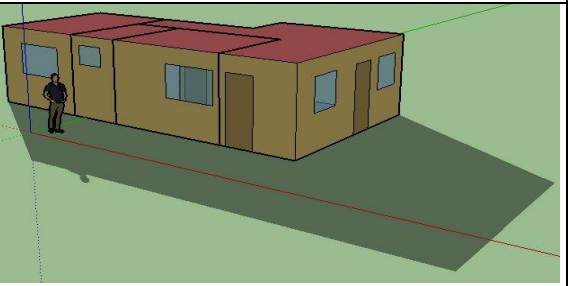
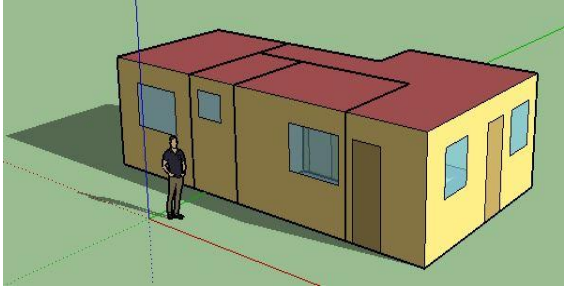
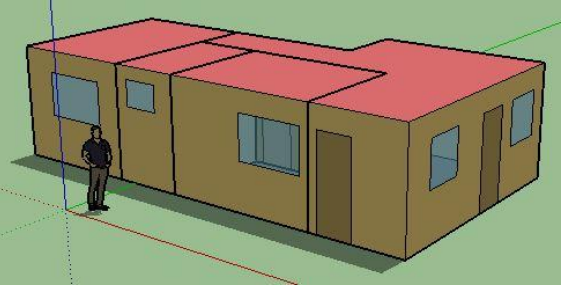
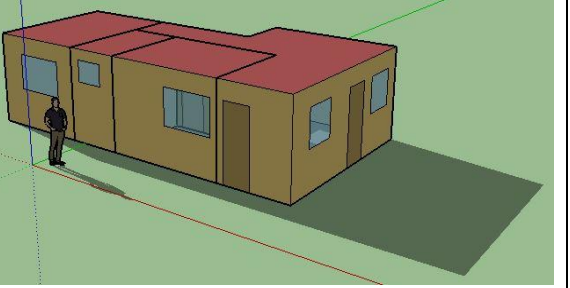
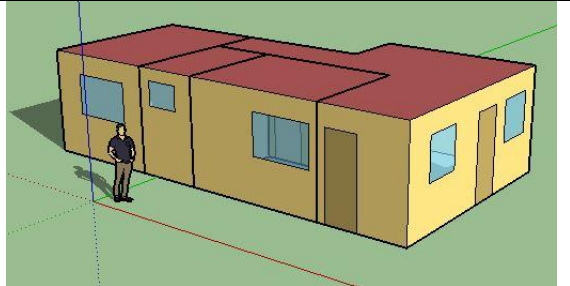
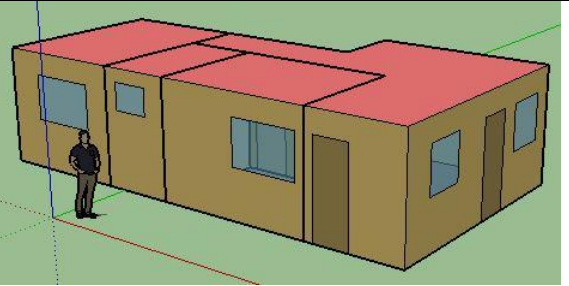
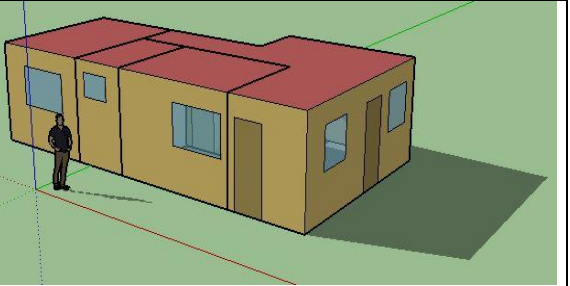
ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higratérmico de fachadas em Brasília**. 2015. 293 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2015.

APÊNDICE A

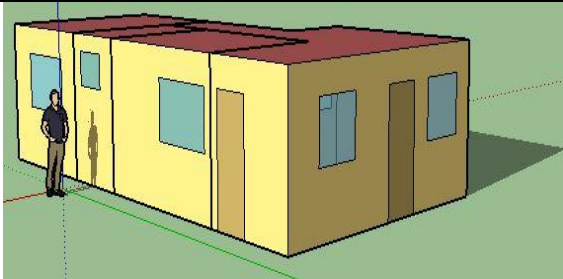
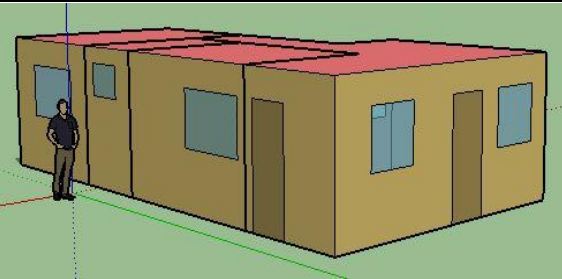
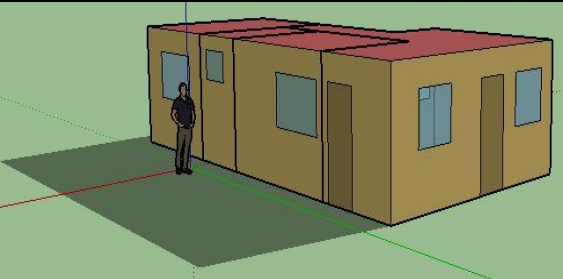
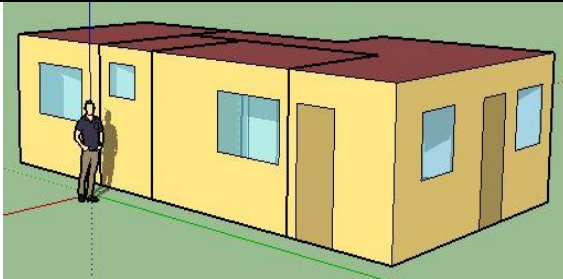
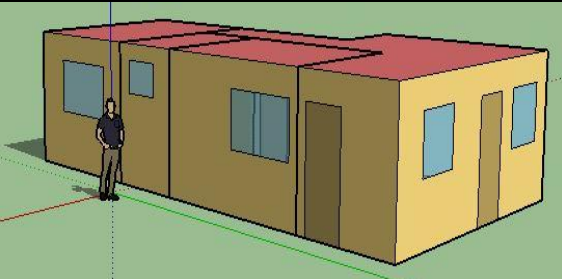
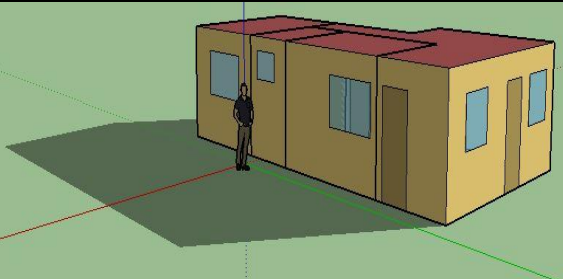
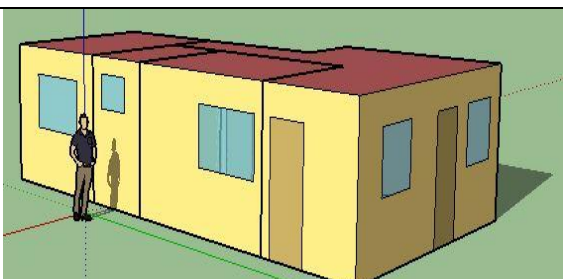
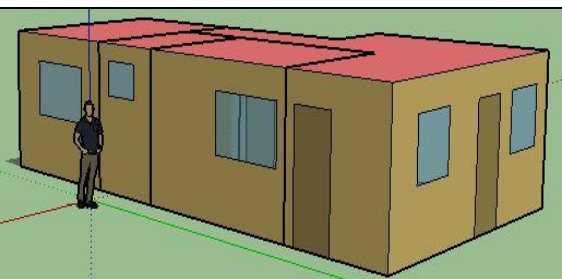
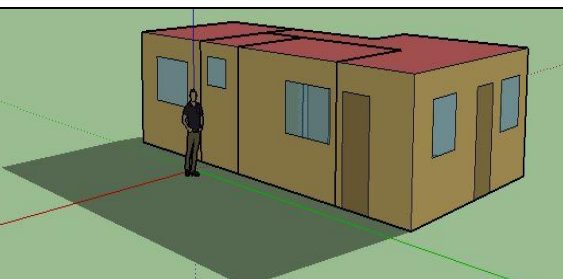
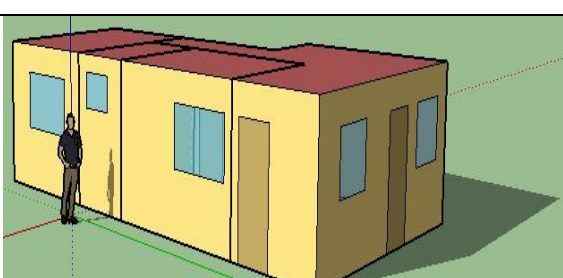
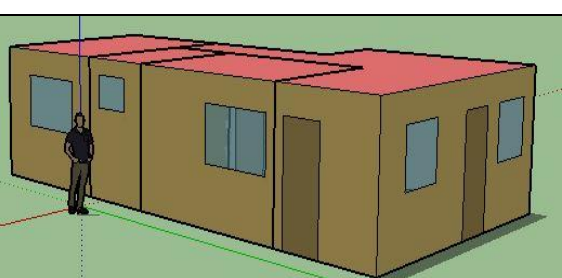
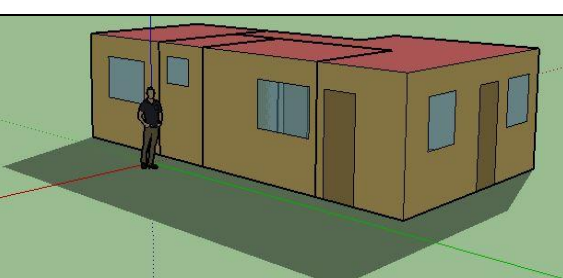
Apêndice A1 - Fachada esquerda voltada para o Norte

	8h	12h	16h
21/mar			
21/jun			
23/set			
21/dez			

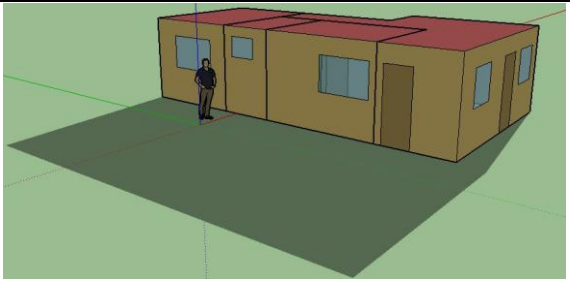
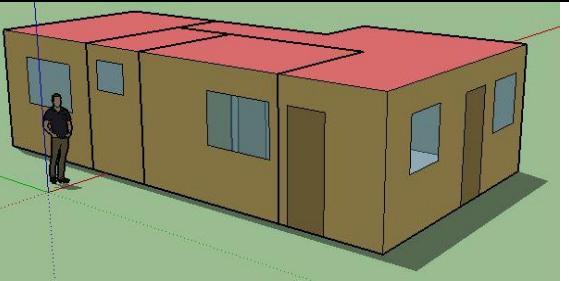
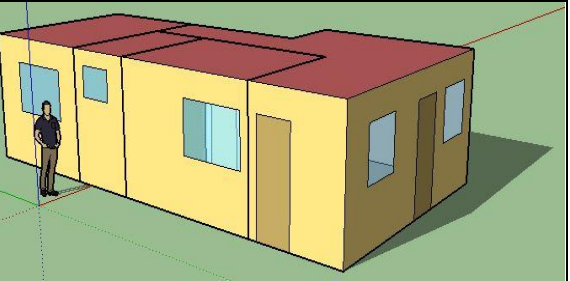
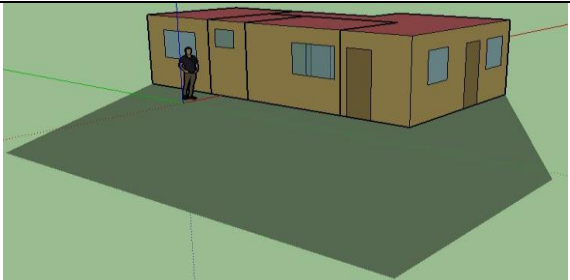
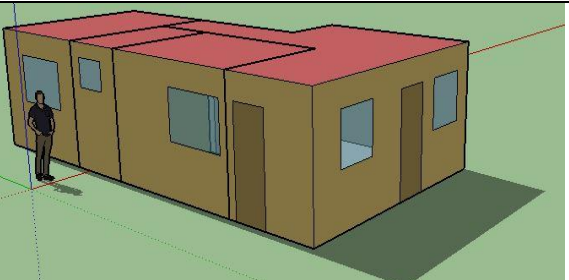
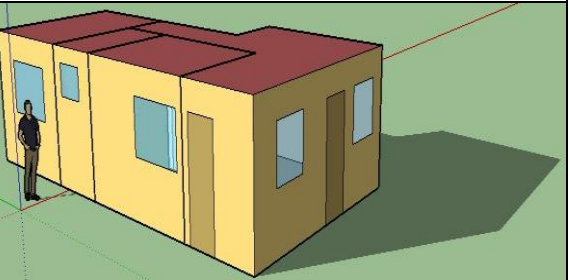
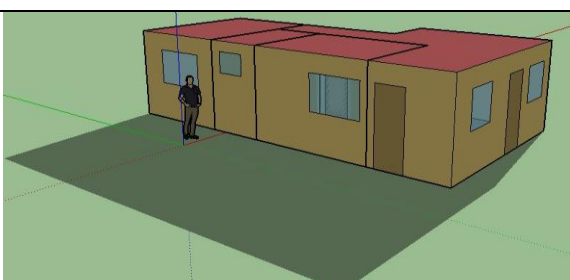
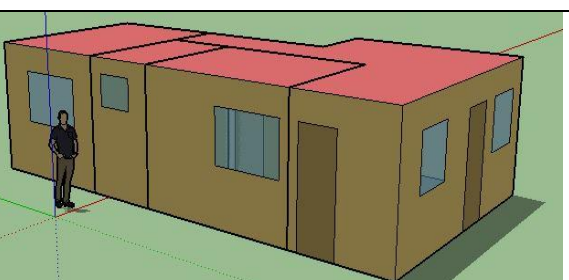
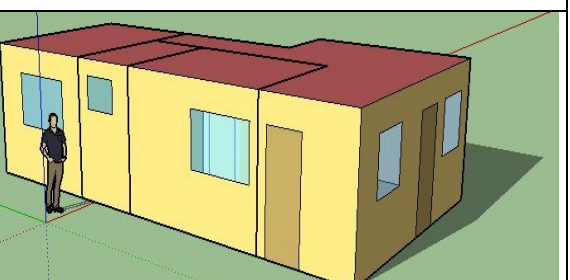
Apêndice A2 - Fachada esquerda voltada para o Sul

	8h	12h	16h
21/mar			
21/jun			
23/set			
21/dez			

Apêndice A3 - Fachada esquerda voltada para o Leste

	8h	12h	16h
21/mar			
21/jun			
23/set			
21/dez			

Apêndice A4 - Fachada esquerda voltada para o Oeste

	8h	12h	16h
21/mar			
21/jun			
23/set			
21/dez	