

RAPHAEL MELO BORGES

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE UNIDADES HABITACIONAIS
CONSTRUÍDAS NO CONJUNTO HABITACIONAL BENJAMIN JOSÉ CARDOSO EM
VIÇOSA-MG**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B732a
2013

Borges, Raphael Melo, 1983-
Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG / Raphael Melo Borges. – Viçosa, MG, 2013.
xiii, 145f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 109-114.

1. Engenharia - Projetos e construções. 2. Edifícios -
3. Propriedades térmicas. 3. Edificações – Normas. 4. Programa
Minha Casa Minha Vida (Brasil). I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 624.1

RAPHAEL MELO BORGES

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE UNIDADES HABITACIONAIS
CONSTRUÍDAS NO CONJUNTO HABITACIONAL BENJAMIN JOSÉ CARDOSO EM
VIÇOSA-MG**

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

APROVADA: 28 de junho de 2013

Aline Werneck Barbosa de Carvalho

Joyce Correna Carlo

Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá
(Orientador)

Aos meus pais, Arai e Maria José.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

Ao Dr. ACGT, orientador e amigo, pelos vários ensinamentos extrínsecos à academia; por ser um exemplo de profissional e de ser humano; e pelo privilégio de ser seu orientado.

À Professora Aline W. B. de Carvalho, pelos ensinamentos, que veem desde a graduação.

Aos meus pais, Arai e Maria José, e aos meus irmãos, Aloísio e Maria, pelo apoio incondicional em todas as etapas cumpridas.

Aos meus amigos, pela compreensão e companheirismo.

À minha esposa Luiza, amiga e companheira de todas as horas, por fazer parte da minha vida e pelo inestimável auxílio durante as medições.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade e à CAPES, via programa REUNI, pela concessão da bolsa de estudo.

Às pessoas dos laboratórios de Ergonomia do Departamento de Engenharia Florestal, de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola e de Comportamento Ambiental do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, pela cessão dos equipamentos utilizados nesse trabalho.

Aos Moradores do Conjunto Habitacional Benjamim José Cardoso que acolheram nossa solicitação e, gentilmente, permitiram medições de variáveis ambientais em suas casas.

À amiga Lucineia, que facilitou o contato com os demais moradores do conjunto, e permitiu que a sua casa fosse a base operacional dos trabalhos de campo. Agradeço também pelos amores em pedaços e pelos demais quitutes que tive o privilégio de experimentar.

A Deus por ter me mantido durante todo esse tempo, por me dar forças para lutar e não desistir, por ter colocado pessoas boas no meu caminho e por me manter debaixo do seu amor.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| Lista de figuras | vii |
| Lista de quadros | ix |
| Lista de tabelas | xi |
| Resumo | xii |
| Abstract | xiii |
| | |
| 1 Introdução | 14 |
| 1.1 Antecedentes..... | 14 |
| 1.2 Justificativa e relevância do trabalho..... | 15 |
| 1.3 Objetivos..... | 16 |
| 1.3.1 Objetivo geral | 16 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 16 |
| | |
| 2 Revisão de literatura | 17 |
| 2.1 A evolução da política habitacional brasileira..... | 17 |
| 2.2 Iniciativas do governo em prol da qualidade e do desempenho das habitações..... | 21 |
| 2.2.1 PBQP-H..... | 21 |
| 2.2.2 Selo Casa Azul | 23 |
| 2.3 O Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV | 24 |
| 2.4 Desempenho ambiental de habitações..... | 25 |
| 2.4.1 Desempenho térmico | 26 |
| 2.4.2 Desempenho acústico | 32 |
| 2.5 Normas brasileiras de desempenho ambiental..... | 37 |
| 2.5.1 Norma de desempenho térmico | 37 |
| 2.5.1.1 NBR 15220..... | 37 |
| 2.5.1.2 NBR 15575..... | 39 |
| 2.5.2 Normas de desempenho acústico..... | 43 |
| 2.5.2.1 NBR 10151..... | 43 |
| 2.5.2.2 NBR 10152..... | 44 |
| 2.5.2.3 NBR 12179..... | 45 |
| 2.5.2.4 NBR 15575..... | 48 |

| | |
|---|------------|
| 3 Metodologia | 53 |
| 3.1 Caracterização do local e do objeto de estudo..... | 53 |
| 3.1.1 A cidade de Viçosa..... | 53 |
| 3.1.2 O Conjunto Habitacional Benjamim José Cardoso | 54 |
| 3.1.3 Seleção das unidades | 61 |
| 3.1.3.1 Seleção para as medições de inverno | 61 |
| 3.1.3.2 Seleção para as medições de verão | 64 |
| 3.1.4 Descrição das unidades habitacionais selecionadas | 66 |
| 3.2 Análise de desempenho ambiental | 66 |
| 3.2.1 Análise térmica..... | 66 |
| 3.2.2 Análise acústica | 70 |
| 3.3 Avaliação do ponto de vista do usuário..... | 73 |
| 4 Resultados e análises | 75 |
| 4.1 Desempenho térmico | 75 |
| 4.1.1 Análise pelo método simplificado | 75 |
| 4.1.2 Avaliação pelo método de medições <i>in loco</i> | 77 |
| 4.1.2.1 Inverno | 77 |
| 4.1.2.2 Verão | 82 |
| 4.2 Desempenho acústico | 85 |
| 4.3 Opinião dos usuários | 95 |
| 4.3.1 Conforto térmico | 97 |
| 4.3.2 Conforto auditivo..... | 101 |
| 5 Conclusões | 104 |
| 5.1 Conclusões gerais | 104 |
| 5.2 Recomendações | 106 |
| 5.3 Sugestões para trabalhos futuros | 107 |
| 5.4 Recomendações | 109 |
| 5.5 Sugestões para trabalhos futuros | 110 |
| Referências Bibliográficas | 111 |
| Apêndice 1 | 117 |
| Apêndice 2 | 123 |

| | |
|-------------------------|------------|
| Apêndice 3 | 127 |
| Apêndice 4 | 131 |
| Apêndice 5 | 133 |
| Apêndice 6 | 142 |
| Anexo 1 | 144 |
| Anexo 2 | 146 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Estrutura organizacional do PBQP-H | 22 |
| Figura 2 – Organismo humano – máquina térmica | 27 |
| Figura 3 – Transmissão de calor por um fechamento | 29 |
| Figura 4 – Exemplo de curvas de variação de temperaturas externa e interna de um recinto..... | 30 |
| Figura 5 – Trocas de calor através de elementos opacos | 30 |
| Figura 6 – Trocas de calor através de elementos transparentes ou translúcidos | 31 |
| Figura 7 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro | 38 |
| Figura 8 – Nomograma – Tempo Ótimo de Reverberação | 47 |
| Figura 9 – Mapa com a localização de Viçosa..... | 54 |
| Figura 10 – Foto panorâmica do CHBJC tirada do alto da caixa d’água | 55 |
| Figura 11 – Etapa final da execução do conjunto habitacional | 55 |
| Figura 12 – <i>Playground</i> | 56 |
| Figura 13 – Estação de tratamento de esgoto | 56 |
| Figura 14 – Acessos ao conjunto habitacional estudado | 57 |
| Figura 15 – Foto aérea da época da construção..... | 57 |
| Figura 16 – Implantação do conjunto habitacional | 59 |
| Figura 17 – Planta baixa da unidade tipo | 60 |
| Figura 18 – Planta baixa com ampliação | 60 |
| Figura 19 – Modelo de janela e porta externas | 61 |
| Figura 20 – Mapa de seleção das unidades para as medições de inverno | 63 |
| Figura 21 – Mapa de seleção das unidades para as medições de verão | 65 |
| Figura 22 – Abrigo externo dos equipamentos <i>data logger</i> | 68 |
| Figura 23 – Pontos de medição de temperatura superficial de paredes..... | 69 |
| Figura 24 – Curva de calibração para termômetro de infravermelho..... | 69 |
| Figura 25 – Pontos de medição – Avaliação do desempenho acústico | 71 |
| Figura 26 – Exemplo de Gráfico de comparação da temperatura do ar interna em unidades de acordo com a cor da pintura..... | 79 |

| | |
|--|-----|
| Figura 27 – Análise pela carta bioclimática adaptada de Givoni proposta pela NBR 15220-3 | 84 |
| Figura 28 – Resultados totais da avaliação de desempenho acústico..... | 86 |
| Figura 29 – Resultado da avaliação de desempenho acústico na U-062..... | 87 |
| Figura 30 – Resultado da avaliação de desempenho acústico na U-052..... | 87 |
| Figura 31 – Localização das unidades em que entrevistas foram realizadas | 96 |
| Figura 32 – Setorização quanto às condições de conforto térmico (desconforto por frio) manifestado pelos moradores durante as entrevistas | 99 |
| Figura 33 – Setorização quanto às condições de conforto térmico (desconforto por calor) manifestado pelos moradores durante as entrevistas | 100 |
| Figura 34 – Setorização quanto às condições de conforto auditivo manifestado pelos moradores durante as entrevistas | 103 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Aberturas para ventilação..... | 38 |
| Quadro 2 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa..... | 39 |
| Quadro 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão..... | 41 |
| Quadro 4 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno | 41 |
| Quadro 5 – Transmitância térmica de paredes externas..... | 41 |
| Quadro 6 – Capacidade térmica de paredes externas..... | 41 |
| Quadro 7 – Áreas mínimas de aberturas para ventilação | 42 |
| Quadro 8 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica | 42 |
| Quadro 9 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)..... | 44 |
| Quadro 10 – Valores recomendados da diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,W}$, para ensaios de campo | 49 |
| Quadro 11 – Índice recomendado de redução sonora ponderado da fachada, R_W , para ensaios de laboratório | 49 |
| Quadro 12 – Valores recomendados da diferença padronizada de nível, ponderada entre ambientes, $D_{nT,W}$, para ensaios de campo | 50 |
| Quadro 13 – Índice de redução sonora ponderado dos componentes construtivos, R_W , para ensaios de laboratório | 51 |
| Quadro 14 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa ($D_{2m,nT,W}$) | 51 |
| Quadro 15 – Índice de redução sonora ponderado da cobertura (R_W) | 51 |
| Quadro 16 – Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,W}$ para ensaios de campo | 52 |
| Quadro 17 – Características arquitetônicas, construtivas e sociais das unidades selecionadas..... | 66 |
| Quadro 18 – Análise das propriedades térmicas dos fechamentos..... | 76 |
| Quadro 19 – Análise da relação abertura/piso..... | 77 |
| Quadro 20 – Quadro resumo da avaliação do desempenho térmico pelo método de campo no período de inverno | 80 |
| Quadro 21 – Quadro resumo da avaliação do desempenho térmico pelo método de campo no período de verão | 83 |
| Quadro 22 – Distribuição dos dados coletados e mapeados na carta de Givoni adaptada | 85 |

| | |
|--|----|
| Quadro 23 – Dados de pressão sonora coletados | 88 |
| Quadro 24 – Avaliação do desempenho acústico..... | 90 |
| Quadro 25 – Perda de transmissão sonora (calculada para frequência de 1000Hz)..... | 93 |
| Quadro 26 – Tempo de reverberação considerando a unidade desocupada (calculado)..... | 94 |
| Quadro 27 – Tempo de reverberação considerando a unidade ocupada (calculado) | 94 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Valores dB(A) e NC..... | 45 |
|------------------------------------|----|

RESUMO

BORGES, Raphael Melo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2013. **Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no conjunto habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG.** Orientador: Antônio C. Gonçalves Tibiriçá.

Uma das principais medidas do Governo para combater o déficit habitacional foi a criação do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que visa incentivar a produção de novas unidades habitacionais e a aquisição por diferentes faixas de renda. Assim como alguns dos programas que o antecederam, o PMCMV tem sido marcado pela repetição de soluções construtivas e arquitetônicas, que não consideram fatores climáticos ou ambientais. No caso do Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso (CHBJC), em Viçosa-MG, foi adotado um projeto de casa térrea com dois quartos, muito semelhante a modelos que vêm sendo executados em outras regiões do país. Em face das condições climáticas e ambientais de Viçosa-MG, localizada na zona bioclimática 3, fazem-se necessários estudos acerca da adequabilidade do modelo utilizado, uma vez que a unidade padrão, executada no CHBJC, já vem sendo replicada em outros conjuntos da cidade. Em vista dessa lacuna e dos dispositivos normativos para desempenho ambiental de edificações habitacionais, o presente trabalho objetivou analisar o desempenho térmico e acústico da edificação-tipo construída no CHBJC e destacar os aspectos que mais influenciam nos resultados dessas análises. Os procedimentos metodológicos adotados compreenderam a determinação das propriedades térmicas (NBR 15220:2003) e acústicas (NBRs 10151:2000, 10152:1987 e 12179:1992), entrevistas exploratórias e medições *in loco* de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, temperatura de superfície e pressão sonora. Para a análise dos dados, utilizaram-se os requisitos e critérios definidos pela NBR 15575:2013. Constatou-se que as unidades não atendem ao nível mínimo de desempenho térmico na análise pelo método simplificado; pelo método de medições *in loco*, as unidades apresentaram desempenho térmico acima do nível mínimo no verão, mas, na maioria dos casos, não atendem ao nível mínimo de desempenho no inverno. Também se constatou que os requisitos e critérios constantes na NBR 15220 não foram observados na elaboração do projeto arquitetônico. Quanto ao desempenho acústico, em 83% das situações avaliadas o requisito analisado, isolamento acústico de vedações externas, foi atendido. Ainda que as unidades analisadas não tenham atendido a todos os requisitos definidos pelas normas, medidas como, por exemplo, alterar a configuração das janelas e portas e da massa térmica das paredes, pode melhorar o desempenho das unidades do conjunto e de outros conjuntos a serem construídos na região.

ABSTRACT

BORGES, Raphael Melo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June de 2013. **Analysis of thermal and acoustic performance of constructed housing units in housing complex Benjamin José Cardoso in Viçosa-MG.** Adviser: Antônio C. Gonçalves Tibiriçá.

One of the main measures of the Government to tackle the housing shortage was the creation of the Minha Casa Minha Vida (MCMV) , which aims to encourage the production of new housing units and the acquisition by different income groups. As some of the programs that preceded it , the MCMV has been marked by repetition of architectural and construction solutions that do not consider environmental or climatic factors . In the case of Housing Benjamin José Cardoso (CHBJC) in Viçosa-MG , we adopted a design -story house with two bedrooms , very similar to models that have been implemented in other regions of the country . In the face of climatic and environmental conditions of Viçosa-MG , located in bioclimatic zone 3 , are made necessary studies on the suitability of the model used , since the standard unit , performed in CHBJC , is now being replicated in other sets city . In view of this gap and regulatory provisions for environmental performance of residential buildings , this study aimed to examine the thermal and acoustic performance of building - type built in CHBJC and highlight aspects that influence the results of these analyzes . The methodological procedures comprised the determination of thermal properties (NBR 15220:2003) and acoustic (NBR 10151:2000 , 10152:1987 and 12179:1992) , exploratory interviews and on-site measurements of dry bulb temperature , relative humidity , temperature surface and sound pressure . For data analysis , we used the requirements and criteria set by the NBR 15575:2013 . It was found that the units do not meet the minimum level of thermal performance analysis by simplified method , the method of in situ measurements , the units showed thermal performance above the minimum in summer, but in most cases , do not meet the level minimum performance in winter. Also found that the requirements set out in and critérios NBR 15220 were not observed in the preparation of architectural design . As for the acoustic performance in 83 % of cases evaluated the requirement analysis , acoustic insulation of external seals , has been met. Although the analyzed units have not met all the requirements set by the standards, measures such as , for example, change the configuration of the windows and doors and the thermal mass of the walls , can improve the performance of the units of the set and other sets to be constructed in the region .

1

Introdução

1 Introdução

1.1 Antecedentes

Segundo Bonduki (2004), apesar de sempre ter existido habitações precárias no Brasil o problema só foi reconhecido pelo governo na década de 1880, quando o país enfrentou sua primeira crise habitacional.

Desde então, a questão habitacional já sofreu inúmeras intervenções governamentais. Num primeiro momento, essas intervenções se deram em nível de saneamento básico e posturas normativas. Mais tarde, com o agravamento da situação, o governo interveio mais diretamente com a criação de órgãos e programas voltados para a provisão habitacional, como a FCP (Fundação da Casa Popular), os IAPs (Institutos de Aposentadoria e Pensão), o BNH (Banco Nacional da Habitação), as Cohabs (Companhias de Habitação Popular) e mais recentemente com o PMCMV (Programa Minha Casa Minha Vida).

Instituído em 7 de julho de 2009, o PMCMV tem como objetivo “[...] criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais ou requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais[...]” (BRASIL, 2009, Art. 1º), amenizando o déficit habitacional brasileiro que, segundo dados do Ministério das Cidades, correspondia no ano de 2008 a 5,572 milhões de unidades. (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010).

Assim como alguns dos programas habitacionais que o antecederam, o PMCMV tem sido marcado pela repetição de soluções construtivas e arquitetônicas que não consideram os fatores regionais. Moreno e Souza (2011, p. 2) ressaltam que essa produção massificada “[...] acaba por acarretar em produção de unidades habitacionais que não têm como parâmetro as características climáticas, culturais e ambientais do local onde se encontram, podendo um mesmo padrão de habitação ser visto em todas as regiões do país”.

Com o intuito de melhorar a qualidade e o desempenho das habitações, respeitando as características locais, e incentivar a criação e o uso de novas tecnologias, foram instituídos o PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat), o Selo Casa Azul, a NBR 15220 e a NBR 15575.

No entanto, com exceção do PBQP-H, que já tem mais de 3000 construtoras participantes cadastradas e faz monitoramento da qualidade de 25 tipos de materiais ou componentes, o reflexo dessas iniciativas no mercado da habitação social ainda é discreto e carece de estudos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013d).

1.2 Justificativa e relevância do trabalho

Por meio do PMCMV, foram construídas mais de um milhão de unidades habitacionais e a previsão é que esse número cresça ainda mais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013c). No entanto, observa-se que a atuação do programa vem sendo marcada pela repetição dos projetos que, na maior parte das vezes, são implantados sem levar em consideração aspectos regionais e locais. Além da repetição dos projetos, outro aspecto a ser questionado é a qualidade e o desempenho ambiental dessas unidades construtivas. Destaca-se a importância do estudo acerca do desempenho das unidades habitacionais, tendo em vista a contínua replicação desses projetos.

Como ferramenta de verificação do desempenho das edificações habitacionais tem-se a NBR 15575. Todavia, estudos a respeito dessa norma são incipientes. Trabalhos pioneiros, como os desenvolvidos por Neto e Bertoli (2010), Curcio e Silva (2009) e Grigoletti e Sattler (2010), utilizam a NBR 15575 para análise de alguns aspectos do desempenho ambiental. No entanto, são necessários mais estudos sobre esse tema, principalmente nesse momento, em que essa norma entra em vigor após passar por processo de revisão.

Por fim, destaca-se a relevância desse trabalho como estímulo à utilização da NBR 15575 pelo setor da construção civil. Segundo Borges (2008, p. 24); “A norma brasileira de desempenho de edifícios só será efetivamente aplicada se houver a percepção, pelos agentes do setor, de que sua adoção é um valor, seja em termos econômicos, técnicos, sociais ou para o ambiente dos negócios”. O presente trabalho contribui para essa percepção na medida em que mostra a validade da norma, sendo aplicada num conjunto habitacional de interesse social.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho termoacústico da edificação-tipo do PMCMV construída no Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso, em Viçosa-MG.

1.3.2 Objetivos específicos

- compreender como têm sido as intervenções do governo brasileiro na problemática das habitações destinadas a classes economicamente menos favorecidas;
- caracterizar e analisar as partes materiais constituintes e os sistemas construtivos utilizados na construção das unidades habitacionais do conjunto objeto de estudo;
- identificar e analisar situações de incômodos higrotérmicos e auditivos nas unidades habitacionais selecionadas;
- analisar o desempenho termoacústico das unidades habitacionais selecionadas;
- propor recomendações, sob o ponto de vista do desempenho termoacústico, de unidades habitacionais do tipo das analisadas.

2

Revisão de literatura

2 Revisão de literatura

2.1 A evolução da política habitacional brasileira

A questão habitacional no Brasil, entendida e tratada como problema de natureza pública, começou a ser notada pelas autoridades no final do Império, quando as atividades urbanas ligadas ao complexo cafeeiro e seus trabalhadores mal alojados começaram a representar uma ameaça à saúde pública. Nessa época, as preocupações governamentais com a questão habitacional se restringiam aos problemas que agravavam as condições de higiene das habitações. Essas primeiras intervenções do poder público se deram em três frentes de ação: legislação urbanística, planos de saneamento básico e estratégia de controle sanitário (BONDUKI, 2004).

A partir do governo provisório de Vargas, houve uma mudança de postura em relação à questão habitacional. Pressionado pela população, que começava a ver o déficit habitacional como um problema social, Vargas reconheceu a questão como um problema do Estado, incorporando em 1937 a provisão habitacional no campo de atuação dos IAPs. No decorrer dos seus 27 anos de atuação no campo habitacional, os IAPs produziram cerca de 124.000 unidades habitacionais, excluindo o Plano C¹. Além do grande número de unidades construídas, os IAPs foram reconhecidos pela qualidade dos seus projetos, dos pontos de vista arquitetônico e urbanístico. Apesar desse reconhecimento, os IAPs sofreram várias críticas² (BONDUKI, 2004).

Ainda no período populista, após a vitória de Dutra nas eleições, foi criada em 1946 a FCP, que coexistiu com os IAPs até o golpe militar em 1964. A FCP tinha em seu anteprojeto “[...]”

¹ Plano C – Empréstimos hipotecários feitos a qualquer pessoa física ou jurídica, bem como outras operações imobiliárias que o instituto julgasse conveniente, no sentido de obter uma constante e mais elevada remuneração de suas reservas (BONDUKI, 2004, p. 104).

² Para um estudo mais aprofundado dos objetivos e resultados dos IAPs ver: BONDUKI, 2004.

os elementos fundamentais para uma reforma da atuação do Estado no setor: centralização da gestão, fontes permanentes de recurso e uma visão abrangente que buscava articular a produção de moradia com o desenvolvimento urbano” (BONDUKI, 2004, p. 117). No entanto, após mudanças nas diretrizes, o projeto, que tinha como objetivo uma política habitacional de largo alcance e fazia a opção pela casa própria, acabou se restringindo à construção de unidades habitacionais na sua maioria de aluguel.

Em 1964, após o golpe militar, foi criada uma série de instrumentos para provisão habitacional, entre eles o BNH, órgão que tratava mais diretamente da questão, produzindo ou concedendo crédito para produção de conjuntos habitacionais. Suas metas eram “[...] bastante ambiciosas: acabar num prazo de 4 anos com o déficit habitacional, estimado na época em 8 milhões de unidades” (LORENZETTI, 2001, p. 17). No entanto, essas metas não foram cumpridas devido, dentre outras razões, à incompatibilidade das parcelas dos imóveis com a renda da clientela que se pretendia atingir. No final do seu período de atuação, o BNH deixou um saldo de 4 milhões de unidades habitacionais produzidas, das quais apenas 1,1 milhões foram destinados à parcela da população que ganhava menos de cinco salários mínimos (LORENZETTI, 2001). Além de produzir um número de unidades habitacionais bem aquém da sua meta inicial, o BNH sofreu várias críticas pela repetição de projetos tipo em locais diferentes, sem levar em consideração questões geográficas ou ambientais.

Da extinção do BNH até a criação da Política Nacional de Habitação (PNH-1996), o Brasil passou por uma forte crise no setor habitacional, reflexo da crise econômica do final do governo militar. Esse período foi marcado pela inconstância das políticas habitacionais e pela redução dos financiamentos para as camadas menos favorecidas da população. O cenário de crise exigia medidas que reduzissem os custos e melhorassem o desempenho e a eficiência dos processos de produção da habitação. Essa necessidade, aliada ao grande potencial de investimentos e à geração de empregos do setor, estimulou a criação de programas de incentivo às inovações tecnológicas e à qualidade do setor, como o PRONAT (Programa Nacional de Tecnologia da Habitação), em 1991, e o PROTECH (Programa de Difusão de Tecnologia para a Construção de Habitação de Baixo Custo) em 1993. Mais tarde esses programas foram incorporados ao PBQP (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade) através do Subprograma Setorial da Qualidade e Produtividade da Indústria da Construção Civil. Esses foram os primeiros programas governamentais a tratarem diretamente das questões de tecnologia e qualidade das habitações.

No governo FHC (Fernando Henrique Cardoso), houve a descentralização da atuação governamental nos setores da habitação, saneamento e infraestrutura. Os estados e municípios ficaram responsáveis pela provisão de habitação enquanto ao governo federal cabiam as funções normativas e reguladoras, exercidas através de medidas provisórias, portarias e instruções normativas da SEPURB (Secretaria de Política Urbana). Os programas criados entre 1995 e 2000 beneficiaram 1.443.169 famílias. Apesar do grande número de famílias atendidas, “[...] a ação da SEPURB caracterizou-se por uma retração do setor institucional” (BRASIL, 2004, p.11): houve uma redução contínua dos quadros técnicos e da sua capacidade de atuação no problema habitacional. Um marco importante desse período, em prol da qualidade das habitações, foi a criação do PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat), com o objetivo principal de aumentar a eficiência de toda a cadeia produtiva da habitação (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013d).

No início do governo Lula, em 2003, houve uma grande reestruturação das políticas urbanas. Nesse ano foi criado o Ministério das Cidades, que passou a ser responsável pela Política de Desenvolvimento Urbano e conseqüentemente pela Política Setorial de Habitação. Houve também uma mudança na maneira de se tratar a provisão habitacional, que aparece num sentido mais amplo, e engloba o direito à infraestrutura, saneamento, transportes coletivos, equipamentos e serviços urbanos e sociais. O governo também passou a incentivar a população a participar na elaboração das políticas públicas através das conferências da cidade. Essas conferências resultaram na criação do Conselho das Cidades e conseqüentemente no nascimento da nova Política Nacional de Habitação (PNH-2004). Ainda nesse período, em maio de 2008, foi publicada a NBR 15575, uma das primeiras normas do país a estabelecer parâmetros que permitem avaliar o desempenho de edificações³, ao contrário das usuais normas prescritivas, que definem como os sistemas devem ser construídos. A NBR 15575 marca um avanço das normas brasileiras na direção do incentivo às novas tecnologias e da qualidade das edificações.

No final do governo Lula, a Caixa Econômica Federal lançou o Selo Casa Azul, que tem por objetivo:

³ O desempenho de edificações está associado à sua qualidade e ao seu comportamento, quando submetidas a condições normais de utilização (DARDENGO, 2010).

[...] reconhecer os projetos de empreendimentos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais, avaliados a partir de critérios vinculados aos seguintes temas: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais. (JOHN; PRADO, 2010, p. 5).

Buscou-se estimular, dessa forma, o uso racional dos recursos naturais, a redução dos custos de manutenção dos edifícios e das despesas mensais de seus moradores e a conscientização dos agentes envolvidos sobre as vantagens das construções sustentáveis (JOHN; PRADO, 2010).

Um mês após o lançamento do Selo Casa Azul, o governo federal instituiu o PMCMV com o objetivo de “criar mecanismos de incentivo à produção e à aquisição de novas unidades habitacionais pelas famílias com renda mensal de até 10 (dez) salários mínimos, que residam em qualquer dos Municípios brasileiros” (BRASIL, 2009). O programa apresenta características inovadoras ao contexto brasileiro, conciliando uma política de subsídios a um grande fortalecimento do mercado imobiliário, permitindo que as construtoras promovam empreendimentos em parceria com a esfera pública, mas também de forma independente. A meta inicial da primeira etapa do PMCMV era construir 1 milhão de unidades habitacionais, meta que foi alcançada no final de agosto de 2012 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012). Entretanto, em relação à qualidade construtiva das unidades, várias críticas têm sido levantadas. O que tem sido percebido é a falta de qualidade na execução, a repetição de projetos, a desconsideração de aspectos locais e climatológicos e o desrespeito às normas técnicas.

Lançado oficialmente pela presidente Dilma Rousseff no dia 12/04/2012, a segunda etapa do programa, o PMCMV-2, tem como meta chegar até 2014 a 3,4 milhões de moradias contratadas, sendo que 2 milhões desse total foram contratadas até final de janeiro de 2013 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013c). Contudo, antes de pensarem no número de moradias a ser construídas, os agentes do setor devem estar atentos aos desafios propostos pelo Selo Casa Azul e pelo PBQP-H e aos requisitos e critérios de desempenho definidos pela NBR 15575 e por outras normas técnicas, lembrando que:

Ao se projetar uma habitação, é necessário aproveitar ao máximo as condições bioclimáticas e geográficas locais, estimular o uso de construções de baixo impacto ambiental, garantir a existência de áreas permeáveis e arborizadas, adotar técnicas e sistemas que propiciem o uso eficiente de água e energia, bem como realizar a adequada gestão de resíduos. (JOHN; PRADO, 2010, p. 5).

2.2 Iniciativas do governo em prol da qualidade e do desempenho das habitações

2.2.1 PBQP-H

No ano 1998, em cumprimento aos compromissos firmados na assinatura da Carta de Istambul (Conferência do Habitat II/1996), foi criado o PBQP-H, que tem como meta organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva. Na busca dessas metas, o programa desenvolve várias ações, dentre as quais se destacam: 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 público e privado. A gestão, que é compartilhada entre os setores público e privado, viabiliza-se através das discussões técnicas, nas quais são respeitadas a capacidade de resposta de cada setor e as diferentes realidades nacionais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013d).

Inserido na estrutura do Ministério das Cidades, o PBQP-H se organiza por meio de uma estrutura matricial (Figura 1), na qual: a Coordenação Geral delibera sobre as formas de implantação do programa e acompanha e avalia os projetos; os fóruns de representantes estaduais coordenam as atividades dos programas nos estados; o CTECH (Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação) acompanha as atividades referentes à inovação tecnológica no setor e o GAT (Grupo de Assessoramento Técnico) tem a incumbência de auxiliar os projetos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013d).

A estrutura ainda é composta de nove projetos entre os quais se destacam, o SiAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras), o SiMaC (Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos) e o SiNAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica).

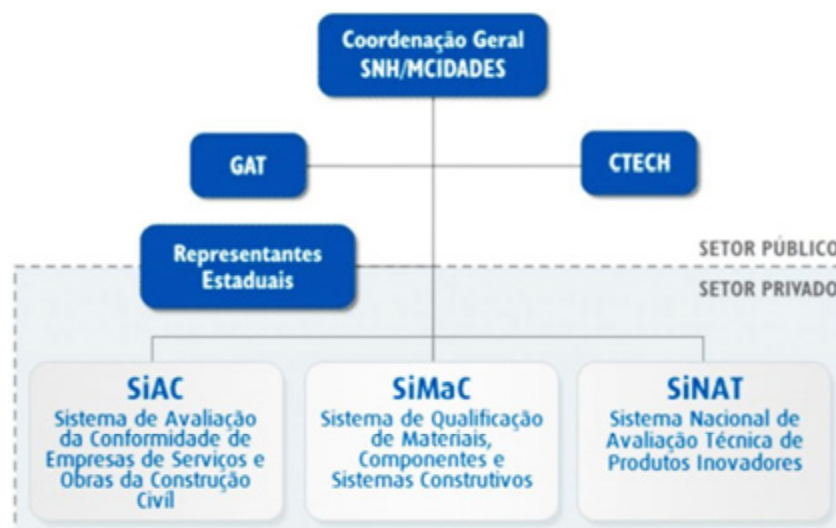


Figura 1 – Estrutura organizacional do PBQP-H
 Fonte: <http://www4.cidades.gov.br/pbqp-h/estrutura.php>

O SiAC tem o objetivo de avaliar a conformidade do sistema de gestão da qualidade das empresas de serviços e obras, considerando as características específicas da atuação dessas empresas no setor da construção civil. Suas ações se baseiam nas normas técnicas da ABNT e na série de normas ISO 9000. O SiMAC tem por objetivo elevar o percentual de conformidade com as normas técnicas dos produtos que compõem a cesta básica de materiais de construção⁴. Ele atua através dos programas setoriais de qualidade e das associações de produtores de materiais e componentes, que são responsáveis pela definição dos indicadores de conformidade técnica. Os principais objetivos do SiNAT são: padronizar procedimentos para a avaliação de novos produtos, quando os mesmos não forem abrangidos por normas técnicas; garantir que os aspectos importantes para o desempenho das edificações sejam considerados nas avaliações; e, assegurar que haja isonomia de resultados da avaliação de um mesmo produto, quando submetido a processos de avaliação de diferentes Instituições Técnicas Avaliadoras (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013d).

Atualmente, o PBQP-H conta com mais de 3000 empresas ativas no SiAC e com 25 tipos de materiais e componentes monitorados pelo SiMAC, sendo que 14 deles com 81,5% de conformidade e outros 5 com mais de 90% de conformidade com as normas da ABNT. Segundo o Ministério das Cidades, o PBQP-H também tem ajudado e introduzir a cultura da qualidade dentro da administração pública (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013d).

⁴ A cesta básica de materiais de construção compreende três grandes grupos: materiais e componentes estruturais e de alvenarias, materiais e componentes de coberturas e acabamentos e materiais e componentes de sistemas hidráulicos e elétricos. (JESUS, 2002, p. 37).

2.2.2 Selo Casa Azul

Lançado oficialmente no dia 02 de junho de 2009 pela CAIXA (Caixa Econômica Federal), o Selo Casa Azul é o primeiro sistema de classificação da sustentabilidade de projetos habitacionais lançado no Brasil.

O Selo, que se aplica a todos os tipos de projetos habitacionais financiados pela CAIXA, “é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes [...]” (JOHN; PRADO, 2010). Com o selo, a CAIXA pretende incentivar o uso racional de recursos naturais na construção de empreendimentos, reduzir o custo de manutenção dos edifícios e as despesas mensais de seus usuários, bem como promover a conscientização de empreendedores e moradores sobre as vantagens das construções sustentáveis.

Para se candidatar ao selo, o empreendimento deve atender a todos os requisitos que já são exigidos pelos programas e linhas de créditos da CAIXA, às regras da Ação Madeira Legal e à legislação de acessibilidade. Além dessas exigências preliminares existem 53 critérios (Indicadores de Boas Práticas) que são organizados nas categorias: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais. Por meio do atendimento dos indicadores de boas práticas, são definidos os níveis do selo (bronze, prata ou ouro). Para obtenção do selo nível bronze, devem ser atendidos os 19 critérios obrigatórios, para o nível prata devem ser atendidos os 19 obrigatórios mais 6 de livre escolha e para o nível ouro devem ser atendidos os 19 obrigatórios mais 12 de livre escolha. Após o atendimento dos itens em projeto esses são verificados durante o curso da obra.

Dentre os critérios obrigatórios encontram-se Desempenho Térmico – Vedações – e Desempenho Térmico – Orientação ao Sol e Ventos –. O objetivo da CAIXA com esses dois critérios é buscar a melhoria do conforto térmico dos usuários das habitações, fazendo “com que a arquitetura tenha uma resposta térmica adequada ao local em que está inserido o projeto” (JOHN; PRADO, 2010, p. 57). A CAIXA indica que para o cumprimento desses dois indicativos de boas práticas devem ser atendidos os requisitos, critérios e recomendações definidos pelas NBR 15575 e NBR 15220.

Pode ser observado que o Selo Casa Azul contempla várias facetas do desempenho das edificações, incluído o desempenho térmico, levando em consideração fatores regionais e

locais. No entanto, o Selo ainda é pouco difundido principalmente entre os usuários, os quais não exigem esse tipo de certificação das empresas. Também faltam incentivos para que as empresas se sintam atraídas a participar. Em 2013, os únicos incentivos estão ligados ao *marketing* promovido pela CAIXA (eventos, feirão, *site* e imprensa) e pelas próprias empresas, que passam a poder usar o Selo nas suas estratégias.

2.3 O Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV

O PMCMV, instituído pela Lei Federal nº. 11.977, de 07 de julho de 2009, e regulamentado pelo Decreto nº. 6.962, de 17 de setembro de 2009, tem como finalidade incentivar a produção e aquisição de novas unidades habitacionais ou requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais, para famílias com renda mensal de até R\$ 5.000,00 (BRASIL, 2009).

Sua estrutura se encontra dividida entre dois programas: o PNHU (Programa Nacional de Habitação Urbana), que tem como objetivo subsidiar a produção e a aquisição de imóvel para os segmentos populacionais com renda familiar mensal até R\$ 5.000,00 e o PNHR (Programa Nacional de Habitação Rural), que tem a finalidade de subsidiar a produção ou reforma de moradia aos trabalhadores rurais cuja renda familiar anual bruta não ultrapasse R\$ 60.000,00. As fontes de recursos utilizadas nos programas são o FGTS (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço), o FAR (Fundo de Arrendamento Residencial), o FDS (Fundo de Desenvolvimento Social) e ofertas públicas de recursos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013b).

O PMCMV tem dois objetivos: incentivar a oferta de empregos através do incentivo à construção civil e reduzir o déficit habitacional no Brasil. Com características inéditas no contexto brasileiro, o programa concilia política de subsídios à população de baixa renda e grande favorecimento ao mercado imobiliário, considerando que construtoras podem promover os empreendimentos em parcerias com estados, municípios e cooperativas, mas também independentemente destes.

Os empreendimentos voltados para a faixa de renda mais baixa podem ser apresentados em duas tipologias: casas térreas ou prédios de apartamentos. A tipologia I (casas térreas) deve compreender: sala, dois dormitórios, cozinha, área de serviço (externa), circulação e banheiro. A área útil da unidade, sem a área de serviço, deve ser de 32m². A cobertura deve ser de telhas cerâmicas com forro de madeira ou PVC, as janelas de ferro ou alumínio e as portas preferencialmente de madeira. Além disso, os projetos das unidades habitacionais devem

prever ampliação e incluir, como parâmetro de sustentabilidade, aquecimento solar. A Tipologia II (apartamentos) deve ter os mesmos compartimentos das casas térreas, no entanto a área útil dos apartamentos deve ser de 37 m². Os prédios devem ter de 4 a 5 pavimentos, sendo 4 unidades habitacionais por pavimento (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013a).

Segundo o ministro Aguinaldo Ribeiro (Ministério das Cidades), até o final de janeiro de 2013 foram investidos no programa 156 bilhões de reais e já foram entregues mais de um milhão de unidades habitacionais. De acordo com o ministro, o MCMV gerou ainda um impacto positivo em relação ao PIB brasileiro de 0,8%, por meio da geração de empregos e movimentação da cadeia produtiva. A próxima meta é contratar 3,4 milhões de novas moradias até 2014 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013c).

Apesar do grande número de moradias construídas e das metas ambiciosas, o programa tem sido alvo de várias críticas quanto à qualidade das habitações e à localização dos conjuntos habitacionais. A pesquisadora Ermínia Maricato, em entrevista ao jornal Tribuna do Norte, critica a periferação dos conjuntos habitacionais construídos por meio do PMCMV afirmando que “é importante que haja recursos, mas política urbana é controle do uso e ocupação do solo. É isso que favorece o meio ambiente, dá sustentabilidade e justiça social” (POLÍTICA..., 2012). Outra conhecida pesquisadora da área, Raquel Rolnik, faz também duras críticas ao programa: “O processo de produção de habitação que corre a todo vapor em nosso país está completamente desvinculado de um processo de qualificação da produção e gestão das cidades” (ROLNIK, 2012).

Por um lado, o PMCMV, sem dúvida, representa um avanço para a política habitacional brasileira: a estrutura bem organizada e a existência de um fundo garantidor vêm se mostrando capazes de promover uma produção habitacional sem precedentes. No entanto, o programa tem como desafio criar mecanismos capazes de garantir bom desempenho construtivo e social dessas habitações.

2.4 Desempenho ambiental de habitações

Um das facetas mais importantes do desempenho das edificações é o desempenho ambiental, principalmente em se tratando de habitações de interesse social. Como exposto anteriormente, as condições de conforto e desempenho ambiental não têm sido uma das principais preocupações das políticas habitacionais, e os aspectos relacionados às condições bioclimáticas e geográficas muitas vezes não são considerados.

2.4.1 Desempenho térmico

O desempenho térmico de uma edificação é resultado da sua interação com o ambiente térmico que a envolve. Sendo assim, a condição de conforto numa edificação depende das condições de exposição, o que inclui condições climáticas, de implantação e de uso. Os principais agentes e variáveis ambientais climáticas relevantes são a temperatura e a umidade do ar, a velocidade e a direção dos ventos e a radiação solar. As condições de implantação são a latitude e a longitude, a topografia e a orientação solar. E as condições de uso são o número de ocupantes, as atividades desenvolvidas, os equipamentos utilizados, a quantidade produzida de calor e vapor d'água e a taxa de renovação de ar no ambiente. Outro aspecto importante é o desempenho térmico da edificação, assim como dos seus materiais e componentes constituintes. Nesse sentido, grandezas como forma e dimensão da edificação, transmitância, atraso térmico, refletância à radiação solar, emissividade das superfícies, capacidade térmica, calor específico e massa específica dos materiais devem caracterizar o comportamento térmico de uma edificação (SPANNENBERG, 2006).

Para melhor compreensão de como esses fatores e variáveis interferem no nível de desempenho térmico das edificações, é importante entender como o organismo humano reage a esses estímulos, como funcionam os mecanismos de trocas térmicas, como se manifesta a radiação solar e como se dão as interferências dos fatores regionais e arquitetônicos. Com o intuito de elucidar essas questões, nessa parte do trabalho se faz uma revisão sobre esses temas.

O organismo humano

A temperatura interna do corpo humano é sempre constante (homeotermia). Em situações normais, essa temperatura se mantém entre os limites de 36,5°C a 37,5°C. Já a temperatura da pele fica em torno de 30°C, nas extremidades, e de 34°C a 35°C, no corpo, do tronco à cabeça (GEMELLI, 2009).

Frota e Schiffer (2001) comparam o organismo dos homeotérmicos com uma máquina térmica que produz energia por meio de reações químicas internas, sendo a principal delas a combinação do carbono obtido na alimentação, e do oxigênio extraído do ar pela respiração. A esse processo de produção de energia se dá o nome de metabolismo (Figura 2). Cerca de 20% da energia adquirida através do metabolismo é transformada em trabalho, sendo os 80% restantes convertidos em calor e usados para manter a temperatura do corpo constante. A

quantidade de calor gerado depende da atividade desenvolvida pelo indivíduo. O calor gerado internamente no corpo é dissipado no ambiente por meio das trocas secas (condução, convecção e radiação) e pelas trocas úmidas (evaporação do suor e da água dos pulmões) (MORAES, 1999).

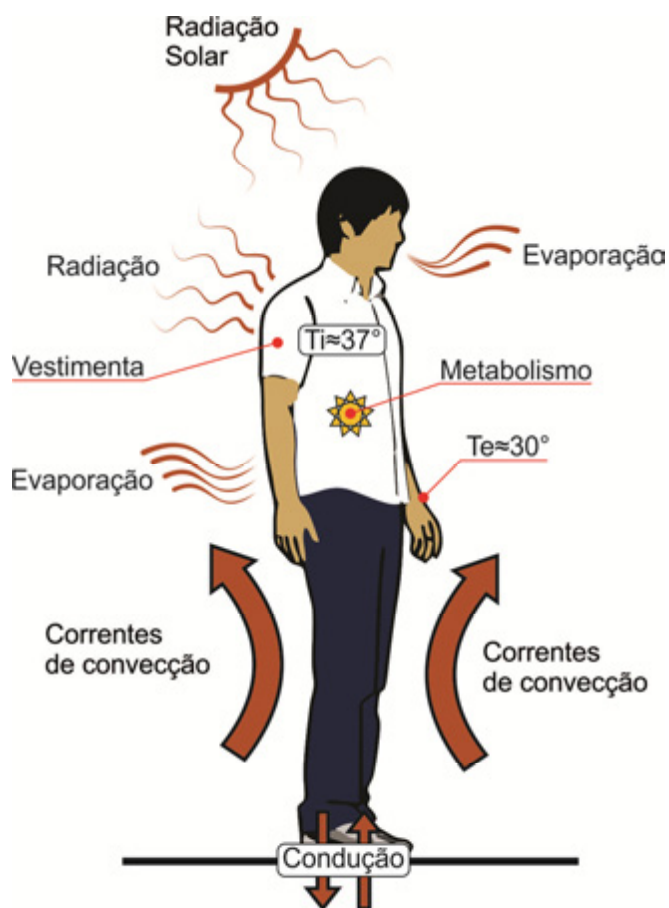


Figura 2 – Organismo humano – máquina térmica

Nas situações em que o ambiente não apresenta condições térmicas adequadas, o organismo ativa seus mecanismos de termorregulação. O acionamento desses dispositivos gera uma sensação de desconforto térmico, uma vez que necessitam de energia para funcionar, causando ao corpo um estado de fadiga (GEMELLI, 2009). Segundo Frota e Schiffer (2001, p. 20), “o organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade”.

Mecanismos de trocas térmicas

Segundo Peralta (2006, p. 19), “Para melhor compreensão da influência do clima sobre as edificações é fundamental conhecer, sobretudo, o processo de trocas térmicas, as quais são responsáveis pelo desempenho térmico de edificações [...]”. Para que existam trocas térmicas

entre dois corpos, eles devem estar em temperaturas diferentes ou deve haver mudança de estado de agregação. As trocas térmicas que envolvem variação de temperatura são denominadas trocas secas (convecção, condução e radiação), e quando há mudança do estado de agregação são chamadas de trocas úmidas (evaporação e condensação).

Trocas térmicas secas

Nos processos de trocas térmicas secas os fluxos sempre ocorrem devido à diferença de temperatura, sob a forma de calor sensível. Para os fins de pesquisa e para as dimensões, os materiais e os sistemas construtivos adotados no Conjunto Habitacional Benjamim José Cardoso, admitiu-se fluxo de calor unidirecional em regime permanente. Para isso, os elementos teóricos foram trabalhados, do conceitual para o aplicado, quanto aos seguintes tópicos:

– Convecção

A convecção acontece por meio de um processo de transporte de energia que combina condução de calor, armazenamento de energia e movimentos de massa. A convecção natural ocorre quando o ar entra em contato com uma superfície em temperatura mais alta, ganha energia térmica, fica menos denso e sobe, ou quando após entrar em contato com uma superfície em temperatura mais baixa perde energia térmica, fica mais denso e desce (PERALTA, 2006). Quando se trata de superfícies verticais, as trocas térmicas por convecção são intensificadas pelo ar em movimento. Nesse caso, mesmo que o movimento do ar seja devido a causas naturais, como o vento, o mecanismo de troca é considerado convecção forçada (FROTA; SCHIFFER, 2001).

– Condução

De acordo com Frota e Schiffer (2001, p. 34), condução é a “troca de calor entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes do corpo que estejam a temperaturas diferentes”. A condução ocorre entre partes de um corpo sólido por meio da transferência de calor das moléculas mais quentes para as mais frias (PERALTA, 2006).

– Radiação

Radiação é o mecanismo de troca térmica entre dois corpos que se encontram afastados um do outro, através de sua capacidade de emitir e de absorver calor radiante por ondas eletromagnéticas (FROTA; SCHIFFER, 2001). Parte da energia térmica presente em todos os

corpos é trocada sob a forma de energia radiante, por emissão e absorção. Trocas térmicas por radiação não dependem de um meio material para se propagar e podem acontecer até mesmo no vácuo (PERALTA, 2006).

– Transmitância térmica - U

Os mecanismos de trocas térmicas em uma situação real não se manifestam separadamente. Nos processos de transmissão de calor num fechamento vertical ou horizontal, ocorrem convecção e radiação na superfície interna, condução através do fechamento e convecção e radiação na superfície externa (Figura 3). O fluxo de calor total englobando todos esses processos é definido como transmitância térmica (U), ou coeficiente global de transferência de calor (PERALTA, 2006). A transmitância térmica de um fechamento pode ser calculada conforme metodologia descrita na segunda parte da NBR 15220.

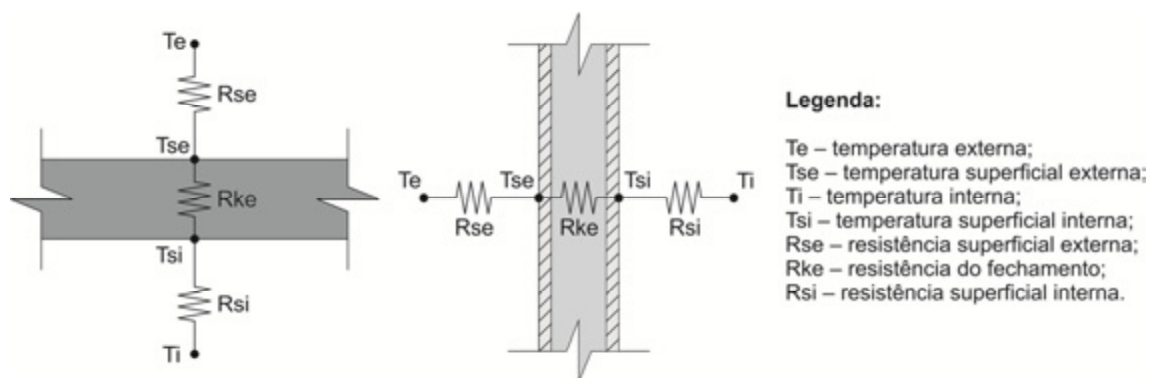


Figura 3 – Transmissão de calor por um fechamento

– Inércia térmica

De acordo com Gemelli (2009, p. 32), “a grande função das paredes externas de uma edificação deve ser atrasar a transferência de calor do exterior para o interior, e amenizar as temperaturas internas das amplitudes térmicas que ocorrem externamente”. Nessa citação constam os dois fenômenos que compõem o conceito de inércia térmica: atraso e amortecimento térmico. Frota e Schiffer (2001, p. 48) complementam dizendo que “o atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica, a qual é função da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica da parede”.

Souza, Amparo e Gomes (2011) apontam a capacidade térmica da envoltória como um parâmetro importante no controle do ganho e perda de calor da edificação e afirmam que o uso da inércia térmica pode contribuir para a diminuição da amplitude térmica do ar interno em relação à temperatura exterior (Figura 4).

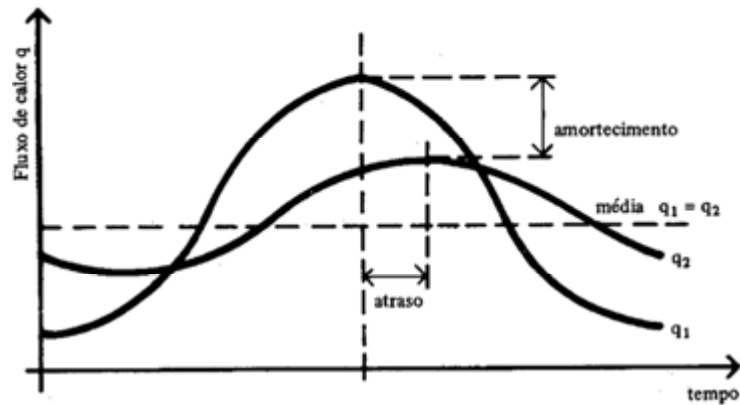


Figura 4 – Exemplo de curvas de variação de temperaturas externa e interna de um recinto
 Fonte: Frota e Schiffer, 2001, p. 51

– **Radiação solar**

Quando a radiação solar incide sobre os fechamentos de uma edificação, eles desencadeiam uma série de fenômenos térmicos que sempre resultam num ganho de calor, o qual será função da intensidade da radiação e das características térmicas dos materiais empregados. Segundo Labaki (1995 apud MORAES, 1999, p. 33) “dependendo das superfícies atingidas pela radiação, diferentes processos ocorrerão: absorção, reflexão e transmissão da radiação solar. Independentemente de qual desses processos seja o predominante, [...]”, os elementos das edificações, quando expostos a radiação solar podem ser classificados como: elementos opacos ou elementos transparentes ou translúcidos (FROTA; SCHIFFER, 2001). Em elementos opacos expostos a radiação solar os mecanismos de trocas térmicas ocorrem conforme esquematizado na Figura 5.

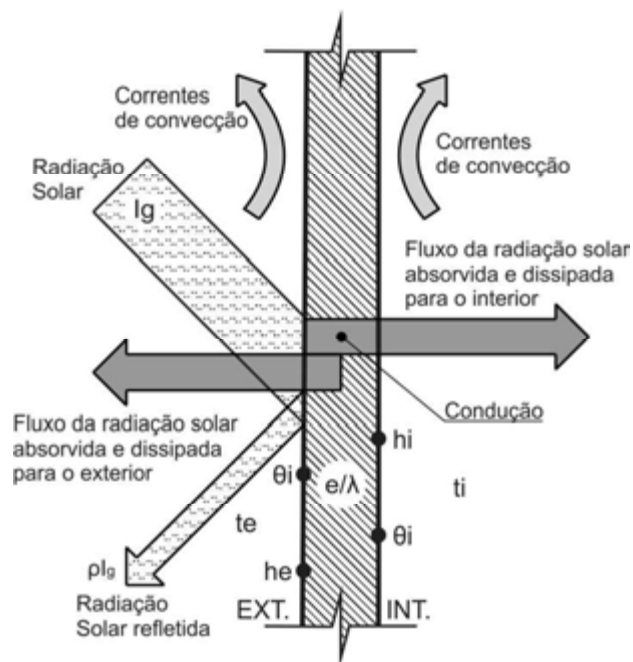


Figura 5 – Trocas de calor através de elementos opacos

Nos elementos transparentes ou translúcidos expostos a radiação solar, os mecanismos de trocas térmicas ocorrem conforme esquematizado na Figura 6.

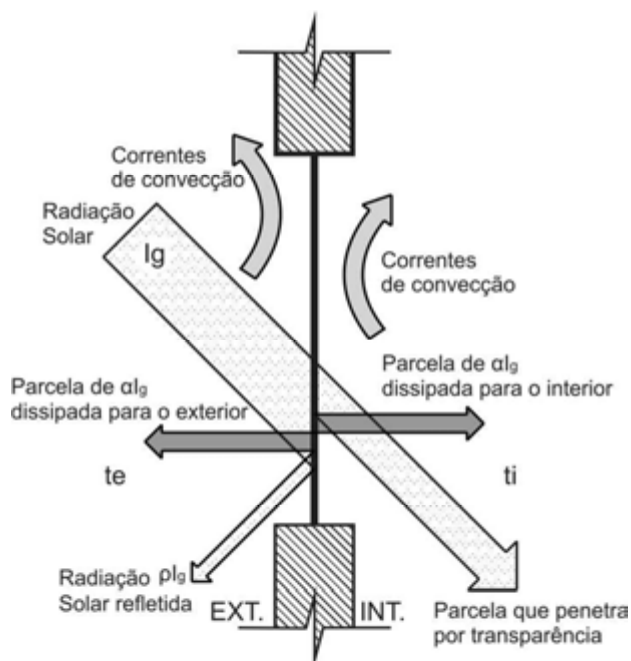


Figura 6 – Trocas de calor através de elementos transparentes ou translúcidos

Influência dos fatores locais e dos elementos arquitetônicos

Fatores locais como latitude, topografia, ventilação e proximidade com grandes massas de água e de vegetação influenciam diretamente no comportamento térmico das edificações. Maciel (2006, p. 4) afirma que “o conhecimento de determinada região permite o estabelecimento de parâmetros entre as condições de conforto térmico e as atividades desenvolvidas pelas pessoas em determinados ambientes”.

O desempenho térmico das edificações também é influenciado pela escolha e definição dos elementos constituintes das edificações. A composição material e a escolha da cor superficial dos fechamentos horizontais e verticais e o tamanho e o posicionamento das aberturas têm reflexo direto no comportamento térmico das edificações.

Considerações

Como visto, o desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores que dizem respeito tanto ao local de implantação quanto às características do corpo edificado propriamente dito. Vale a pena ressaltar que as condições climáticas externas interferem diretamente nas condições de conforto dentro das edificações e que duas edificações idênticas podem apresentar níveis de desempenho diferentes quanto implantadas em locais distintos.

Sendo assim, ao contrário do que vem sendo historicamente praticado nos programas habitacionais brasileiros, um mesmo projeto não deve ser repetido indiscriminadamente em várias regiões do país, sob pena de ter o seu desempenho térmico comprometido.

2.4.2 Desempenho acústico

Segundo Correia (2009, p. 36), “a poluição sonora é uma das formas de poluição ambiental que mais tem se elevado nos últimos anos [...]”. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) apontam que a poluição sonora é a terceira maior causadora de doenças ambientais em países europeus, depois da poluição atmosférica e da exposição passiva à fumaça de cigarros (BELOJEVIC; KIM; KEPHALOPOULOS, 2012). Altos níveis de ruído podem provocar distúrbios do sono, irritabilidade, conflitos sociais, hipertensão, dor de cabeça, liberação de hormônios como cortisol e adrenalina, estresse e outras perturbações físicas e emocionais (QUEIROZ, 2007) e (FERREIRA; ZANNIN, 2007).

Santos (2004) ressalta a necessidade de se avaliar o ruído ambiental e de criar mecanismos para proteger a população contra a poluição sonora e adverte que esse tipo de poluição não é um problema exclusivo de grandes cidades, mas vem cada vez mais atingindo cidades do interior. Duarte e Viveiros (2007) apontam a importância de estudos de comportamento acústico das edificações, principalmente em países tropicais como o Brasil, onde, geralmente, as construções apresentam grande número de aberturas e têm baixa densidade na envoltória.

As principais fontes de ruído causadoras de desconforto acústico em conjuntos habitacionais são a conversação de vizinhos, os latidos de cães, as brincadeiras de crianças, eletrodomésticos e o tráfego de veículos. Utley e Buller (1988, *apud* NETO; BERTOLI, 2010) afirmam que o ruído da vizinhança (vizinhos, crianças e animais) é a uma das fontes de ruído que mais causa desconforto, ficando atrás somente do ruído gerado pelo tráfego rodoviário. Esses incômodos e desconfortos mostram “a necessidade de haver um bom isolamento acústico entre unidades residenciais e entre ambientes internos da mesma unidade residencial” (NETO; BERTOLI, 2010, p. 170).

Segundo França, Niemeyer e Santos (2011), as tipologias mais usadas em habitações de interesse social no Brasil apresentam baixa qualidade acústica, aproximando-se em muitos casos dos limites de insalubridade. Várias vezes a falta de recursos, a tendência de se usar materiais de vedação ou esquadrias com baixo desempenho acústico e a existência de falhas no projeto, associadas a características comportamentais de geração de ruídos pelos

moradores acabam comprometendo o desempenho acústico das unidades habitacionais. É importante salientar que a população tem pouco conhecimento e acesso a recursos de correção acústica (forros, revestimentos e esquadrias especiais), e que essas soluções na sua maioria são onerosas, o que dificulta qualquer adequação acústica na fase de ocupação do espaço.

O desempenho acústico de uma edificação é em grande parte reflexo das decisões tomadas na fase projeto em função do programa de necessidades. A combinação de aspectos como relações de densidade e proximidade entre unidades, tipologias adotadas, local de implantação, disposições internas dos cômodos, escolha dos materiais, componentes e suas superfícies, atividades desenvolvidas nos ambientes, nível de sigilo exigido nos compartimentos e existência de frestas nos fechamentos, é em grande parte responsável pelo desempenho acústico das edificações.

Apesar disso, esses quesitos poucas vezes são levados em consideração na fase de elaboração de projetos de habitações de interesse social (FRANÇA; NIEMEYER; SANTOS, 2011). Neto (2009, p.1) adverte sobre a importância de se pensar em conforto acústico ainda na etapa de projeto: “É importante que se pense em conforto acústico ainda durante o projeto porque depois de concluída a edificação pode ser mais difícil, dispendioso ou até mesmo impossível de se realizar as devidas adequações para atingir as condições mínimas de conforto”. Sendo assim, as questões acústicas típicas de habitações de interesse social devem ser solucionadas na fase projetual.

Ornstein e Roméro (1992, p. 223) afirmam que os principais fatores que definem o nível de conforto acústico são: o grau de controle do ruído, a inteligibilidade⁵ do som e o tempo de reverberação. Gemelli (2009) ressalta que o conforto acústico depende também dos materiais, das espessuras, dos componentes e das superfícies, sendo estes os principais responsáveis pela distribuição do som no ambiente, pela sua inteligibilidade, pelo tempo de reverberação e pelo controle do ruído.

⁵ Cordeiro (1996, apud ZWIRTES, 2006) define a inteligibilidade da palavra como sendo a relação entre o número de sentenças, palavras ou sílabas entendidas e o número de sentenças, palavras ou sílabas faladas.

A capacidade dos elementos componentes dos sistemas construtivos, de isolar o ruído de modo a não perturbar as atividades cotidianas dos usuários, é uma grande determinante do desempenho e conseqüentemente do conforto acústico. O bom isolamento acústico da habitação é a garantia de um repouso adequado e de condições ambientais favoráveis de trabalho, estudo e lazer, evitando o desgaste psíquico e uma série de conseqüências negativas à saúde e à produtividade das pessoas (SPANNENBERG, 2006, p. 65).

Sendo assim, para obter conforto acústico é importante pensar no isolamento acústico. “O desconforto acústico surge quando o nível de ruído ao redor atrapalha a execução de algumas atividades que necessitam de um certo nível de silêncio. Surgindo o desconforto físico, surge o desconforto psicológico” (NETO, 2009, p. 9). O desconforto gerado pelo ruído depende de fatores como: nível de pressão sonora e duração do ruído, número de repetições do evento ruidoso, tarefa desenvolvida durante a ocorrência do ruído, sensibilidade física e psicológica individual e experiências anteriores dos receptores ou usuários (NETO, 2009).

Para se entender melhor as questões ligadas ao desconforto auditivo, a diferenciação dos termos som e ruído é importante. Segundo Schmid (2005, apud GEMELLI, 2009, p. 42), som pode ser definido como “a vibração mecânica do meio em frequência e intensidade tais que possam sensibilizar [agradavelmente] o aparelho auditivo humano.” Ruído, por sua vez, é definido por Polli (2007, p. 31) como sendo “todo som desagradável ao ser humano”. Spannenberg (2006, p. 66) complementa essa ideia ao definir ruído como sendo “todo som indesejável à atividade de interesse, que interfira nas atividades e nos objetivos dos espaços”.

O ruído presente num determinado ambiente e que não diz respeito ao objeto de apreciação auditiva é denominado ruído de fundo ou ruído ambiente. Esse tipo de ruído é resultado da combinação de várias fontes existentes em uma comunidade (máquinas, veículos, pássaros, construções, ruídos domésticos, ruídos de comércio e atividades de lazer), o que pode dificultar o seu controle (SANTOS, 2004). “O ruído de fundo introduz um certo grau de mascaramento sobre a fonte de interesse de modo a interferir na capacidade de compreensão do indivíduo” (ZWIRTES, 2006, p. 17).

Os ruídos podem se propagar tanto pelo ar como por estruturas sólidas. Os ruídos originados e transmitidos pelo ar são denominados ruídos aéreos e os ruídos gerados por forças aplicadas diretamente na estrutura (vibrações ou impactos) e transmitidos pelas estruturas são chamados de ruídos de impacto ou de percussão.

Um ruído também pode ser classificado como intermitente, impulsivo ou tonal. O ruído intermitente é produzido em ciclos: por exemplo, quando um automóvel passa por vez, fazendo com que o nível de ruído aumente e diminua rapidamente. O ruído impulsivo apresenta picos de energia acústica com duração menor do que 1s e que se repetem a intervalos maiores do que 1s: por exemplo, martelagens, bate-estacas, tiros e explosões. Os ruídos tonais apresentam sons puros, como o som de apitos ou zumbidos (NAGEM, 2004) e (ABNT, 2000).

As fontes sonoras por sua vez podem ser classificadas como pontuais ou lineares. Uma fonte é classificada como pontual quando a distância entre a fonte e o receptor é, aproximadamente, cinco vezes maior que a maior dimensão da fonte sonora. Já as fontes lineares apresentam uma de suas dimensões muito maior em relação à outra: por exemplo, um longo cano transportando um fluido turbulento, ou uma série de fontes pontuais organizadas em linha operando simultaneamente. Nas fontes lineares, o som se dissipa cilíndricamente e o nível de pressão sonora é o mesmo em todos os pontos equidistantes do eixo da(s) fonte(s). Quando a energia sonora é irradiada por uma fonte ela sofre atenuação do meio até chegar ao receptor. Nas fontes pontuais o nível de pressão sonora decresce $6\text{dB}^{(A)}$ quando se dobra a distância entre o ouvinte e a fonte. Para fontes lineares, o nível de pressão sonora decresce $3\text{dB}^{(A)}$ quando se dobra a distância entre o receptor e a fonte (NAGEM, 2004).

Desse modo, o efeito do ruído no ser humano depende do tipo de ruído, do tipo da fonte sonora, da intensidade com que o som chega ao ouvido do receptor e também da sua frequência.

O ouvido humano tem a capacidade de converter a variação de pressão do ar gerada pela onda sonora em estímulo nervoso, que ao chegar ao cérebro, produz a sensação auditiva. Um dos parâmetros que caracteriza a onda sonora é a sua frequência. O ouvido humano é capaz de perceber sons dentro da faixa de frequência⁶ de 20 a 20000Hz; no entanto o ser humano tem sensibilidade diferente a frequências distintas. Para uma frequência de 1000Hz, a pressão sonora percebida pelo ouvido humano varia de $2,10^{-5}\text{Pa}$ a 20Pa (SANTOS, 2004). Segundo Nagem (2004, p.17) “um som cujas maiores componentes estão nas altas frequências e/ou que contém tons puros, normalmente é mais incômodo. Em relação à variação do ruído com o

⁶ Frequências baixas são características de sons graves enquanto frequências altas são características de sons agudos.

passar do tempo, geralmente um ruído intermitente e/ou impulsivo perturba mais do que um som contínuo”.

Segundo a NBR 15575, as edificações devem gerar conforto acústico a seus usuários e, para isso, elas devem apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere a ruídos aéreos provenientes do exterior da habitação, e isolamento acústico adequado entre os compartimentos internos (ABNT, 2008). A transmissão sonora através de paredes, portas, janelas etc. está relacionada com a sua massa: quanto mais espessa e pesada é a parede, mais ela isola os ruídos aéreos; esse princípio é conhecido como Lei das Massas⁷. No entanto, altas frequências são mais facilmente isoladas que baixas frequências (POLLI, 2007).

Portas e janelas são considerados pontos críticos no isolamento acústico, pois apresentam em geral pouca massa e frestas entre seus painéis. É importante que nos elementos construtivos não existam orifícios ou frestas por onde o som possa escapar. A existência de frestas pode até invalidar todo o isolamento acústico de um ambiente (SPANNENBERG, 2006).

Neto (2009) afirma que, apesar do conceito formal de desempenho acústico não ser compreendido pela maioria da população, a ausência de conforto acústico está cada vez mais perceptível e a exigência de morar ou trabalhar em ambientes acusticamente confortáveis está se tornando cada vez mais frequente. Além disso, a autora aponta que a privacidade é um requisito que os moradores desejam encontrar ao regressar do trabalho para a sua residência. Sendo assim, o conforto acústico não deve ser visto como artigo de luxo e sim como necessidade ligada à saúde, ao bem-estar e à qualidade de vida. Nesse sentido, trabalhos que abordem o tema são extremamente importantes para despertar a atenção de outros setores da sociedade para a importância do desempenho acústico de unidades e conjuntos habitacionais construídos para as camadas mais carentes da população.

⁷ De acordo com a Lei das Massas, o índice de redução sonora aumenta 6dB(A) cada vez que a frequência ou a massa são dobradas. A Lei das Massas é válida somente para o ângulo de incidência normal à partição; entretanto, o som que incide num fechamento provém de todas as direções (POLLI, 2007).

2.5 Normas brasileiras de desempenho ambiental

2.5.1 Norma de desempenho térmico

Segundo Akutsu (1988 apud SPANNENBERG, 2006, p. 56), “A avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste basicamente em verificar se o ambiente interno atende ou não a um conjunto de requisitos prefixados em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico”. Duas das normas brasileiras estabelecem requisitos e critérios para avaliação do desempenho térmico de edificações habitacionais (as NBRs 15220 e 15575) e podem ser usadas para essa verificação, sendo que a NBR 15575 abarca um maior número de requisitos e critérios e estabelece níveis de desempenho.

2.5.1.1 NBR 15220

A norma técnica NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações –, publicada em setembro de 2003, é dividida em cinco partes. A primeira parte contém definições, símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações. Na sua segunda parte, a norma apresenta o método de cálculo de várias propriedades térmicas como: transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar de elementos e componentes de edificações e, no seu final, contém exemplos de cálculo.

Na sua terceira parte, a norma apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. O zoneamento bioclimático estabelecido na norma divide o território brasileiro em oito zonas, relativamente homogêneas em termos de clima. A partir do zoneamento, a norma apresenta recomendações e diretrizes construtivas. A cidade de Viçosa-MG se encontra localizada na Zona Bioclimática 3 (Figura 7).

Para a Zona Bioclimática 3, a norma recomenda: utilizar aberturas médias (Quadro 1); que os dispositivos de sombreamentos das aberturas possam admitir a entrada de radiação solar durante o inverno; o uso de paredes externas do tipo leve refletora; e, que a cobertura seja do tipo leve isolada (Quadro 2). Além disso, a norma também ressalta como estratégias de condicionamento térmico passivo: explorar a ventilação cruzada, no verão, e obter aquecimento solar da edificação no inverno. Ao falar mais especificamente de Viçosa-MG, a norma recomenda também a desumidificação dos ambientes através da renovação do ar. No Anexo B da sua terceira parte, a norma apresenta uma adaptação da carta bioclimática de

Givoni, a partir da qual foram definidas as estratégias bioclimáticas a serem usadas em cada zona.

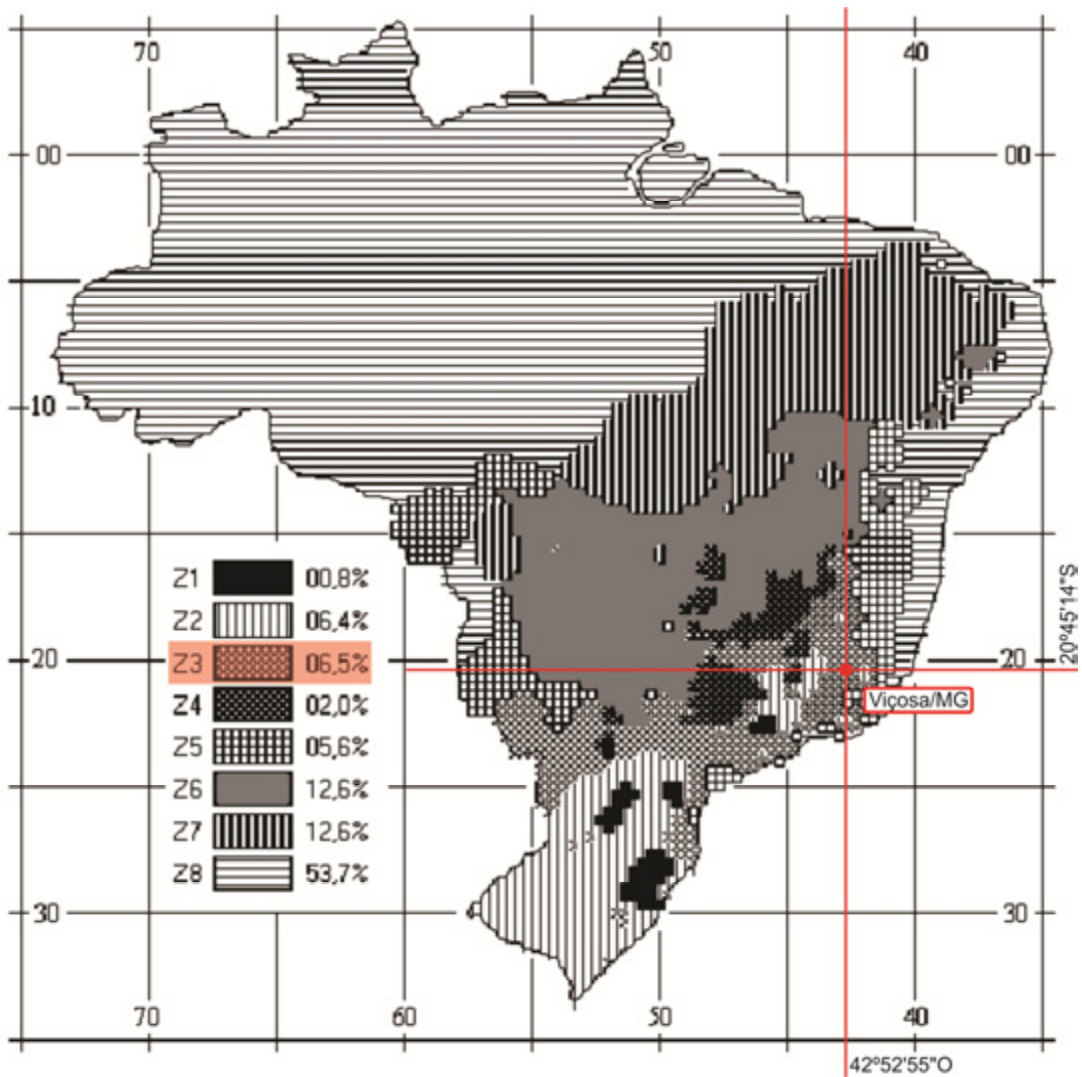


Figura 7 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220-3, 2003

Quadro 1 – Aberturas para ventilação

| Aberturas para ventilação | A (em % da área de piso) |
|---------------------------|--------------------------|
| Pequenas | $10\% < A < 15\%$ |
| Médias | $15\% < A < 25\%$ |
| Grandes | $A > 40\%$ |

Fonte: ABNT NBR 15220-3, 2003, p. 17

Quadro 2 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

| Vedações externas | | Transmitância térmica - U W/m ² .K | Atraso térmico - φ Horas | Fator solar - FS _o % |
|-------------------|----------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| Paredes | Leve | $U \leq 3,00$ | $\varphi \leq 4,3$ | FS _o $\leq 5,0$ |
| | Leve refletora | $U \leq 3,60$ | $\varphi \leq 4,3$ | FS _o $\leq 4,0$ |
| | Pesada | $U \leq 2,20$ | $\varphi \geq 6,5$ | FS _o $\leq 3,5$ |
| Coberturas | Leve isolada | $U \leq 2,00$ | $\varphi \leq 3,3$ | FS _o $\leq 6,5$ |
| | Leve refletora | $U \leq 2,30.FT$ | $\varphi \leq 3,3$ | FS _o $\leq 6,5$ |
| | Pesada | $U \leq 2,00$ | $\varphi \geq 6,5$ | FS _o $\leq 6,5$ |

Fonte: ABNT NBR 15220-3, 2003, p. 17

A quarta e quinta partes da norma apresentam dois métodos para medição da resistência térmica e da condutividade térmica (método da placa quente protegida e método do fluxímetro, respectivamente).

A NBR 15220 trata de forma específica cada região do país, discriminando particularidades de várias cidades brasileiras. As diretrizes e recomendações feitas para a Zona Bioclimática 3, mais especificamente para a cidade de Viçosa-MG, têm se mostrado coerentes com o clima local.

2.5.1.2 NBR 15575

A Norma Técnica ABNT NBR 15575 – Desempenho para Edificações Habitacionais de até Cinco Pavimentos – publicada em maio de 2008, foi revisada e passou a vigorar em junho de 2013. Seu objetivo é estabelecer critérios mínimos de desempenho que atendam às exigências dos usuários de edificações habitacionais de até cinco pavimentos.

A NBR 15575 estrutura-se em seis partes: requisitos gerais; sistemas estruturais; pisos internos; sistemas de vedações verticais internas e externas; sistemas de coberturas; e, sistemas hidrossanitários. Os requisitos e critérios utilizados na avaliação do desempenho térmico encontram-se distribuídos nas partes 1, 4 e 5.

A primeira parte da norma (requisitos gerais), no seu anexo A, estabelece dois procedimentos para avaliação do desempenho térmico. De acordo com essa parte da norma, o desempenho térmico pode ser avaliado pelo método de simulação computacional ou por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Pelo método de medições *in loco*, a norma indica que deve ser medida a temperatura de bulbo seco no centro dos dormitórios e

salas, a 1,20m do piso. Para medições em conjuntos habitacionais, independentemente da latitude, deve-se escolher uma ou mais unidades que atendam as seguintes condições:

- verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte;
- inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste;
- caso as orientações das janelas dos recintos não correspondam exatamente às especificações anteriores, priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

Em seu item A.1.6 consta:

Período de medição: o dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Recomenda-se, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local. (ABNT NBR 15575-1, 2013, p. 42).

Salienta-se que a norma não é clara quanto aos dados de temperatura externas a serem utilizados na análise. Ao mesmo tempo em que diz que o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local a norma indica que a análise deve ser feita utilizando os valores do ar externo apresentados nas suas tabelas A.2 e A.3. Nesse trabalho o dia típico caracterizado pelos valores de temperatura medidos *in loco*.

A norma também não apresenta os motivos pelos quais só deverão ser utilizados na análise os dados coletados no terceiro dia da sequência de medição. A avaliação dos dados coletados é feita por meio das tabelas E.1 e E.2 do anexo E da norma, a seguir reproduzidos como Quadro 3 e Quadro 4.

Quadro 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

| Nível de desempenho | Critérios | |
|---------------------|--|---|
| | Zonas 1 a 7 | Zona 8 |
| M | $T_{i,max} \leq T_{e,max}$ | $T_{i,max} \leq T_{e,max}$ |
| I | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$ |
| S | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$ | $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$ |

$T_{i,max}$ 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 ANBT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15775-1, 2008

Quadro 4 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

| Nível de desempenho | Critérios | |
|---------------------|--|--|
| | Zonas bioclimáticas 1 a 5 | Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8 |
| M | $T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$ | Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado |
| I | $T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$ | |
| S | $T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$ | |

$T_{i,min}$ 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 ANBT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15775-1, 2008

Na quarta e quinta partes (Requisitos para sistemas de vedação verticais externas e internas e Requisitos para sistemas de cobertura, respectivamente), a norma apresenta os requisitos e critérios para a avaliação do desempenho térmico por um método simplificado. A avaliação pelo método simplificado consiste na verificação de algumas propriedades térmicas que devem ser calculadas conforme procedimentos apresentados na segunda parte da NBR 15220.

O primeiro requisito apresentado pela NBR 15575-4 é “adequação de paredes externas”, sob os critérios de ‘transmitância térmica de paredes externas’ (Quadro 5) e ‘capacidade térmica de paredes externas’ (Quadro 6).

Quadro 5 – Transmitância térmica de paredes externas

| Transmitância Térmica (U) W/m ² .K | | |
|---|-------------------------|------------------|
| Zonas 1 e 2 | Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 | |
| $U \leq 2,5$ | $\alpha^a \leq 0,6$ | $\alpha^a > 0,6$ |
| | $U \leq 3,7$ | $U \leq 2,5$ |

^a α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-4, 2008

Quadro 6 – Capacidade térmica de paredes externas

| Capacidade térmica de paredes externas (CT) KJ/m ² .K | |
|--|----------------------------|
| Zona 8 | Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 |
| Sem exigências | ≥ 130 |

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-4, 2008

O próximo requisito apresentado é “aberturas para ventilação”, que traz o critério ‘áreas mínimas de aberturas para ventilação’ (Quadro 7). Esse requisito só se aplica aos ambientes de permanência prolongada (salas, cozinha e dormitórios).

Quadro 7 – Áreas mínimas de aberturas para ventilação

| Nível de desempenho | Aberturas para Ventilação (A) % da área do piso ^a | | |
|---------------------|--|------------------------------|------------------------------|
| | Zonas 1 a 6 Aberturas médias | Zona 7 Aberturas pequenas | Zona 8 Aberturas pequenas |
| Mínimo | A ≥ 8 | A ≥ 5 | A ≥ 15 |

^aNas zonas 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-4, 2008

O último requisito da NBR 15575-4 é “sombreamento das aberturas localizadas nos dormitórios em paredes externas”, sob o critério ‘sombreamento das aberturas’. Para atender esse critério, as janelas dos dormitórios devem ter dispositivos de sombreamento, externos ao vidro, de forma a permitir o controle do sombreamento. Esse critério é questionável, uma vez que dependendo da latitude de implantação da edificação, da orientação da abertura e de outros fatores locais os dispositivos de sombreamento podem não ser necessários e até prejudicar desempenho térmico da edificação.

Na NBR 15575-5:2008 é apresentado um único requisito, “isolamento térmico da cobertura”, sob o critério ‘transmitância térmica’ (Quadro 8).

Quadro 8 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica

| Transmitância térmica (U) W/m ² K | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| Zonas 1 e 2 | Zonas 3 a 6 | | Zonas 7 e 8 ¹⁾ | | Nível de desempenho |
| U ≤ 2,3 | α ¹⁾ ≤ 0,6 | α ¹⁾ > 0,6 | α ¹⁾ ≤ 0,4 | α ¹⁾ > 0,4 | M |
| | U ≤ 2,3 | U ≤ 1,5 | U ≤ 2,3 FV | U ≤ 1,5 FV | |
| U ≤ 1,5 | α ¹⁾ ≤ 0,6 | α ¹⁾ > 0,6 | α ¹⁾ ≤ 0,4 | α ¹⁾ > 0,4 | I |
| | U ≤ 1,5 | U ≤ 1,0 | U ≤ 1,5 FV | U ≤ 1,0 FV | |
| U ≤ 1,0 | α ¹⁾ ≤ 0,6 | α ¹⁾ > 0,6 | α ¹⁾ ≤ 0,4 | α ¹⁾ > 0,4 | S |
| | U ≤ 1,0 | U ≤ 0,5 | U ≤ 1,0 FV | U ≤ 0,5 FV | |

¹⁾ Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220/2.

Fonte: ABNT NBR 15575-5, 2008

Ao se ler a seção A.6 da NBR 15575:2003, para dúvida quanto ao critério de análise que deve ser usado para avaliação do desempenho térmico pelo método de medições *in loco*.

2.5.2 Normas de desempenho acústico

São quatro as principais normas brasileiras que tratam do conforto e do desempenho acústico das edificações. São elas a NBR 10151, a NBR 10152, a NBR 12179 e mais recentemente a NBR 15575. A primeira define condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades e especifica um método para a medição. A segunda fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes. A terceira fixa critérios para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados. Já a NBR 15575, aborda vários aspectos do desempenho de edificações habitacionais de até cinco pavimentos, inclusive quanto ao desempenho acústico.

2.5.2.1 NBR 10151

A NBR 10151:2000 – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento – tem como objetivo fixar condições para avaliação do ruído em comunidades. Essa norma especifica um método para a medição do ruído e apresenta critérios para avaliação dos ruídos externos.

O método proposto pela norma recomenda que as medições externas sejam feitas afastadas aproximadamente 1,2m do piso e pelo menos 2m de quaisquer superfícies refletoras. Para as medições internas, a norma aconselha que sejam feitas pelo menos três leituras distintas por ambiente, se possível afastadas entre si pelo menos 0,5m. O nível de pressão sonora do ambiente será a média aritmética dos três valores medidos. A norma também indica que as leituras devem ser feitas com o ambiente em condições reais de uso e a uma distância de no mínimo 1m de qualquer superfície. Quando os ruídos apresentarem características especiais, como caráter impulsivo ou componentes tonais, eles devem ser corrigidos. Na impossibilidade de atender essa recomendação deverá ser feita a descrição da situação de medição no relatório.

Quanto aos equipamentos, deve ser utilizado nas medições um medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) que atenda às especificações da IEC 60651 para tipo 0, tipo 1 ou tipo 2. O aparelho deve ser calibrado antes e após cada série de medições com um calibrador acústico que atenda às especificações da IEC 60942, devendo ser classe 2, ou melhor. Quando

o equipamento não execute medição automática do L_{Aeq} ⁸, deve ser utilizada a Equação 1 para a correção.

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad \text{Eq. 1}$$

sendo: L_i o nível de pressão sonora de cada leitura [em dB] e n o número total de leituras.

A avaliação do ruído externo tem como referência o Quadro 9, no qual o nível de pressão sonora corrigido L_c deve ser comparado com o nível de critério de avaliação NCA. O nível corrigido L_c para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente, L_{Aeq} .

Quadro 9 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

| Tipos de áreas | Diurno | Noturno |
|--|--------|---------|
| Áreas de sítios e fazendas | 40 | 35 |
| Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas | 50 | 45 |
| Área mista, predominantemente residencial | 55 | 50 |
| Área mista, com vocação comercial e administrativa | 60 | 55 |
| Área mista, com vocação recreacional | 65 | 55 |
| Área predominantemente industrial | 70 | 60 |

Fonte: ABNT NBR 10151, 2000, p. 3

2.5.2.2 NBR 10152

A NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico – de dezembro de 1987, tem o objetivo de fixar níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico de vários tipos de ambientes internos. Os critérios fixados pela norma se encontram na Tabela 1.

⁸ Nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo o intervalo de medição (ABNT, 2000).

Tabela 1 – Valores dB(A) e NC⁹.

| Locais | dB(A) | NC |
|---|-------|-------|
| Hospitais | | |
| Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos | 35-45 | 30-40 |
| Laboratórios, Áreas para uso do público | 40-50 | 35-45 |
| Serviços | 45-55 | 40-50 |
| Escolas | | |
| Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho | 35-45 | 30-40 |
| Salas de aula, Laboratórios | 40-50 | 35-45 |
| Circulação | 45-55 | 40-50 |
| Hotéis | | |
| Apartamentos | 35-45 | 30-40 |
| Restaurantes, Salas de Estar | 40-50 | 35-45 |
| Portaria, Recepção, Circulação | 45-55 | 40-50 |
| Residências | | |
| Dormitórios | 35-45 | 30-40 |
| Salas de estar | 40-50 | 35-45 |
| Auditórios | | |
| Salas de concertos, Teatros | 30-40 | 25-30 |
| Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo | 35-45 | 30-35 |
| Restaurantes | 40-50 | 35-45 |
| Escritórios | | |
| Salas de reunião | 30-40 | 25-35 |
| Salas de gerência, Salas de projetos e de administração | 35-45 | 30-40 |
| Salas de computadores | 45-65 | 40-60 |
| Salas de mecanografia | 50-60 | 45-55 |
| Igrejas e Templos (Cultos meditativos) | 40-50 | 35-45 |
| Locais para esporte | | |
| Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas | 45-60 | 40-55 |

Notas: a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.

b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde (ver Nota **a** do Capítulo 1).

Fonte: ABNT NBR 10152, 1987, p. 2

2.5.2.3 NBR 12179

A NBR 12179 – Tratamento acústico em recintos fechados – de abril de 1992 tem por objetivo fixar os critérios fundamentais para a execução de tratamentos acústicos em recintos

⁹ O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, e o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. (ABNT, 1987, p.2)

fechados. Essa norma apresenta um roteiro para o desenvolvimento do tratamento acústico e dois métodos para o cálculo do tempo de reverberação. Para recintos nos quais o som é difuso (coeficiente médio de absorção menor ou igual a 0,30), deve-se usar para cálculo do tempo de reverberação o método de Sabine (Equação 2).

$$t_r = \frac{0,161.V}{\sum S_n \cdot \alpha_n} \quad \text{Eq. 2}$$

sendo: t_r é o tempo de reverberação do recinto [em s], V é o volume do recinto [em m³], S_n são as áreas das superfícies internas do recinto [em m²] e α_n são os coeficientes de absorção sonora das várias superfícies interiores e demais elementos absorventes do recinto.

Quando o coeficiente médio de absorção é maior que 0,30 deve ser usado o método de Eyring (Equação 3).

$$t_r = \frac{0,161.V}{-2,3.S \cdot \log(1-\alpha_m)} \quad \text{Eq. 3}$$

sendo: t_r é o tempo de reverberação do recinto [em s], V é o volume do recinto [em m³], S é a área total das superfícies do recinto [em m²] e α_m é o coeficiente médio ponderado de absorção sonora das superfícies interiores do recinto.

A norma também apresenta uma lista com o coeficiente de absorção acústica de diversos materiais e um nomograma (Figura 8), no qual é possível determinar o tempo ótimo de reverberação para vários tipos de recintos.

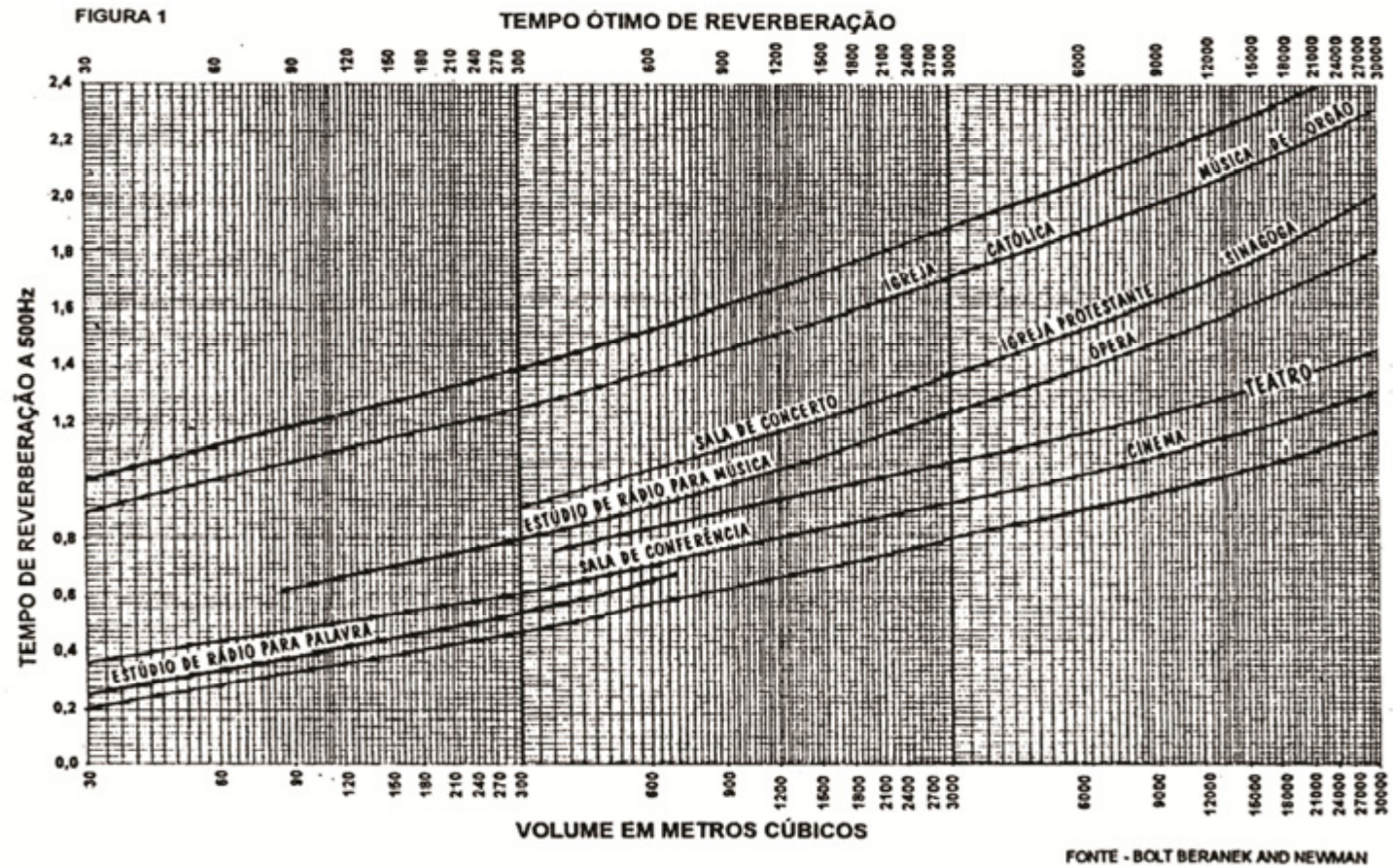


Figura 8 – Nomograma – Tempo Ótimo de Reverberação
 Fonte: ABNT NBR 12179, 1992, p. 9

2.5.2.4 NBR 15575

A NBR 15575 aborda o desempenho acústico das edificações nas suas partes 1, 3, 4, 5. O primeiro requisito apresentado na sua parte 1 é “isolação acústica de vedações externas”, que tem o critério ‘nível tolerável de ruído no interior da habitação’. A norma especifica também que a avaliação desse critério deve ser feita a partir dos limites de ruídos em ambientes internos, de acordo com a NBR 10152. Para atingir o nível mínimo de desempenho, define que “a edificação submetida aos limites de estímulos sonoros externos especificados na ABNT NBR 10151, deve atender aos limites especificados pela ABNT NBR 10152.”

O segundo requisito definido é “isolação acústica entre ambientes”, que tem o critério ‘isolação ao som aéreo entre pisos e paredes internas’; nesse segundo requisito, a NBR 15575-1 indica que os pisos e vedações verticais devem ser projetados de forma a atender aos requisitos estabelecidos pelas NBR 15575, partes 3 e 4. O último requisito apresentado na parte 1 é “ruídos por impacto e ruídos de equipamentos”, que especifica o critério ‘ruídos gerados por impactos ou vibrações’. Nesse requisito, a norma indica que devem ser seguidos os métodos de ensaios descritos na NBR 15575, partes 3, 4, 5 e 6, e a análise dos dados deve ser feita tomando como base os limites especificados nas NBRs 10152 e 10151.

O primeiro dos dois requisitos apresentados pela NBR 15575-3 é “ruído de impacto em piso”, que usa o critério ‘ruídos de impactos aéreos para ensaios de campo’. Para avaliação desse critério, a norma indica dois métodos: o método de engenharia e o método simplificado; em ambos são executadas medições em todos os entrespisos do edifício e os valores de $L'_{nT,W}$ encontrados devem ser inferiores a 80dB para que o nível mínimo de desempenho seja atingido. O segundo requisito apresentado é “isolamento de ruídos aéreos dos pisos entre unidades habitacionais”, que tem o critério ‘diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes ($D_{nT,W}$) ou índice de redução sonora ponderada para pisos (R_W)’. Observa-se que os requisitos e critérios apresentados nessa terceira parte da norma só se aplicam a edificações de múltiplos pavimentos.

A NBR 15575-4 define apenas um requisito, com quatro critérios para sua avaliação. O requisito definido é “níveis de ruído admitidos na habitação” e o primeiro critério que ele apresenta é ‘diferença padronizada de nível ponderada’, promovida pela vedação externa (fachada e cobertura, no caso de casas térreas, e somente fachada, nos edifícios multipiso) em ensaios de campo. Esse critério indica que devem ser avaliados os ambientes dormitórios e sala de estar e os ensaios devem seguir o método de campo, conforme a ISO 140-5 ou o método simplificado descrito na ISO 10052. No caso de conjuntos, devem ser selecionadas as unidades representativas e devem ser avaliados os dormitórios dessas unidades. As medições

devem ser executadas com portas e janelas fechadas. O critério é avaliado segundo o Quadro 10.

Quadro 10 – Valores recomendados da diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, para ensaios de campo

| Sistema | $D_{2m,nT,w}$ dB | $D_{2m,nT,w}+5$ dB | Nível de desempenho |
|--|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Vedação externa de dormitórios | 25 a 29 | 30 a 34 | M - recomendado |
| | 30 a 34 | 35 a 39 | I |
| | ≥ 35 | ≥ 39 | S |
| NOTA Para vedação externa de cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas. | | | |

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2008, p. 24

O segundo critério é “índice de redução sonora ponderado dos elementos construtivos da fachada pelo ensaio de laboratório”. Nesse critério, deve-se usar a ISO 140-3 para determinar os valores do índice de redução sonora R e a ISO 717-1 para determinação do valor do índice de redução sonora ponderado, R_w . Nesse caso, o nível mínimo (M) de desempenho é recomendado, mas não obrigatório. A avaliação dos resultados deve ser feita com o auxílio do Quadro 11.

Quadro 11 – Índice recomendado de redução sonora ponderado da fachada, R_w , para ensaios de laboratório

| Sistema | R_w dB | $R_w + 5$ dB | Nível de desempenho |
|---------|-------------|-----------------|---------------------|
| Fachada | 30 a 34 | 35 a 39 | M - recomendado |
| | 35 a 39 | 40 a 44 | I |
| | ≥ 39 | ≥ 45 | S |

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2008, p. 25

O terceiro critério é ‘diferença padronizada de nível, ponderada entre ambientes em ensaio de campo (vedações verticais internas)’. Nesse critério, deve-se usar o método descrito na ISO 140-4 ou o método simplificado apresentado pela ISO 10052 para determinar os valores da diferença padronizada de nível, D_{nT} . Deve-se utilizar também o procedimento especificado na ISO 717-1 para determinação do valor da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre os ambientes a partir do conjunto de valores de diferença padronizada de nível. Nesse critério, as medições também devem ser feitas com as portas e janelas dos ambientes fechadas e o nível mínimo (M) de desempenho é recomendável, mas não obrigatório. A análise dos dados deve ser feita a partir do Quadro 12.

Quadro 12 – Valores recomendados da diferença padronizada de nível, ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaios de campo

| Elemento | $D_{nT,w}$ [dB] | Nível de desempenho |
|---|-----------------|---------------------|
| Parede de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores, <i>halls</i> e escadaria nos pavimentos-tipo | 30 a 34 | M - recomendável |
| | 35 a 39 | I |
| | ≥ 40 | S |
| Parede de dormitórios entre uma unidade habitacional e corredores, <i>halls</i> e escadaria nos pavimentos-tipo | 40 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥ 50 | S |
| Parede entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas | 45 a 49 | M |
| | 50 a 54 | I |
| | ≥ 55 | S |
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) | 40 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥ 50 | S |

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2008, p. 25

O quarto e último critério do requisito é ‘índice de redução sonora ponderado, R_w , entre ambientes pelo ensaio de laboratório’. Nesse critério, devem ser seguidas as mesmas normas indicadas no critério anterior para determinação dos valores de diferença padronizada de nível, D_{nT} . Da mesma forma que os dois critérios anteriores, o nível mínimo (M) de desempenho é apenas recomendado, mas não obrigatório. A avaliação dos dados deve ser feita por meio do Quadro 13.

A quinta parte da norma estabelece dois requisitos para avaliar o desempenho acústico. O primeiro deles é “isolacão acústica da cobertura devida a sons aéreos (fontes de emissão externas)”, que é avaliado por meio de dois critérios: ‘isolacão acústica da cobertura devida a sons aéreos para casas térreas pelo ensaio de campo’ e ‘índice de reduçáo sonora ponderado da cobertura pelo ensaio de laboratório’. No primeiro, os ensaios de campo podem ser feitos pelo método de campo especificado pela ISO 140-5 ou pelo método simplificado da ISO 10052. Os dois critérios devem ser executados com as portas e janelas fechadas. Os resultados devem ser avaliados pelo Quadro 14.

No caso do segundo critério, os ensaios para determinacão dos valores do índice de reduçáo sonora (R) deve-se utilizar a ISO 140-3 e para a determinacão do índice de reduçáo ponderado (R_w) deve ser usado o procedimento especificado na ISO 717-1. A avaliacão dos resultados deve ser feita segundo o Quadro 15.

Quadro 13 – Índice de redução sonora ponderado dos componentes construtivos, R_w , para ensaios de laboratório

| Elemento da edificação | Índice de redução sonora ponderado R_w dB | Nível de desempenho |
|---|---|---------------------|
| Parede de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de corredores, <i>halls</i> e escadaria nos pavimentos-tipo | 35 a 39 | M - recomendado |
| | 40 a 44 | I |
| | ≥ 45 | S |
| Parede de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores, <i>halls</i> e escadaria nos pavimentos-tipo | 45 a 49 | M |
| | 50 a 54 | I |
| | ≥ 55 | S |
| Parede entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas | 50 a 54 | M |
| | 55 a 59 | I |
| | ≥ 60 | S |
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) | 45 a 49 | M |
| | 50 a 54 | I |
| | ≥ 55 | S |

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2008, p. 26

Quadro 14 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa ($D_{2m,nT,w}$)

| Elemento | $D_{2m,nT,w}$ dB | $D_{2m,nT,w}+5$ dB | Nível de desempenho |
|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Vedação externa (fachada + cobertura) | 30 a 34 | 35 a 39 | M |
| | 35 a 39 | 40 a 44 | I |
| | ≥ 40 | ≥ 45 | S |

Fonte: ABNT NBR 15575-5, 2008, p. 26

Quadro 15 – Índice de redução sonora ponderado da cobertura (R_w)

| Elemento | R_w dB | $R_w + 5$ dB | Nível de desempenho |
|-----------|-------------|-----------------|---------------------|
| Cobertura | 35 a 39 | 40 a 44 | M |
| | 40 a 44 | 45 a 49 | I |
| | ≥ 45 | ≥ 50 | S |

Fonte: ABNT NBR 15575-5, 2008, p. 27

O segundo requisito apresentado pela NBR 15575-5 é “isolamento de ruído de impacto para as coberturas acessíveis de uso coletivo”, que usa o critério ‘isolamento de ruídos de impactos em coberturas acessíveis de uso coletivo’. Nesse critério as medições podem ser feitas tanto pelo método de engenharia, conforme descrito na ISO 140-7, como pelo método simplificado especificado na ISO 10052. Os dados levantados nas medições devem ser avaliados pelo Quadro 16.

Quadro 16 – Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nt,W}$ para ensaios de campo

| Elemento | $L'_{nt,W}$ dB | Nível de Desempenho |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|
| Cobertura acessível, de uso coletivo | 56 a 65 | <i>M</i> |
| | 46 a 55 | <i>I</i> |
| | < 45 | <i>S</i> |

Fonte: ABNT NBR 15575-5, 2008, p. 28

Na 15757-6, é apresentado o requisito “limitação de ruídos”, que tem os critérios ‘velocidade de escoamento da água’ e ‘ruídos gerados por vibrações’. A atender ao primeiro critério, o projeto deve atender as NBR 5626, NBR 7198, NBR 10844 e NBR 10152. Já para atender ao segundo, o projeto deve prever dispositivos para eliminação de ruídos e apresentar a avaliação das justificativas técnicas.

Para a análise dos requisitos e critérios definidos pelas partes 3, 4 e 5 da NBR 15575 é necessária a instalação de equipamentos fixos no interior das unidades e, em alguns, casos também é necessário que as portas e janelas sejam fechadas. Na avaliação do desempenho acústico de edificações em uso, essas práticas invasivas podem atrapalhar a rotina dos usuários de tal maneira que inviabilize a análise desses requisitos.

3 Metodologia

Por uma questão de organização, a metodologia foi dividida em três blocos: avaliação do ponto de vista do usuário, caracterização do objeto de estudo e avaliação do desempenho ambiental. No bloco ‘avaliação do ponto de vista do usuário’, são descritos os métodos utilizados para se obter a opinião dos usuários a respeito do conforto ambiental de suas residências. No bloco ‘caracterização do objeto de estudo’ faz-se uma descrição do conjunto habitacional, no nível urbano e no nível das edificações. O bloco ‘avaliação do desempenho ambiental’, mostra quais foram os procedimentos utilizados para a avaliação técnica do desempenho térmico e acústico das edificações selecionadas.

3.1 Caracterização do local e do objeto de estudo

3.1.1 A cidade de Viçosa

Situada na Zona da Mata de Minas Gerais, a cidade de Viçosa tem área aproximada de 299km², 649m de altitude e faz divisa com as cidades de Teixeiras, Guaraciaba, Paula Cândido, Coimbra, Cajuri, São Miguel do Anta e Porto Firme. O município tem população de 72.220 habitantes sem contabilizar a grande população flutuante (estudantes), que é uma forte característica da cidade (IBGE, 2010).

Quanto à localização, o município dista 225 km de Belo Horizonte, 385 km do Rio de Janeiro, 650 Km de São Paulo, 980 km de Brasília e 410 km de Vitória (Figura 9). A interligação de Viçosa com essas capitais é por rodovias, existindo linhas de ônibus diretas (UFV, 2011).

Em Viçosa é marcante a presença da UFV (Universidade Federal de Viçosa) que, a partir da sua federalização em 1969, levou a cidade a uma fase de renovação sociocultural e econômica. A expansão da UFV com a criação de novos cursos e postos de trabalho atraiu

muitas pessoas de todo o Brasil e de outros países, o que acabou gerando uma enorme demanda por serviços públicos e por moradias.



Figura 9 – Mapa com a localização de Viçosa

Esse cenário levou vários empresários e empreendedores da cidade a investirem na construção de moradias, o que acabou por aquecer o mercado da construção civil e gerou uma forte especulação imobiliária. No entanto, o mercado se focou na provisão de moradias para os estudantes, deixando de lado a parcela mais pobre da população. Esse processo culminou num déficit significativo de unidades habitacionais voltadas para a classe com baixa renda. Dados do Ministério das Cidades identificam que o déficit habitacional de Viçosa-MG em 2009 era de 490 unidades (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

3.1.2 O Conjunto Habitacional Benjamim José Cardoso

Com o objetivo de atender parte dessa demanda por moradias populares, foi protocolado no Instituto de Planejamento do Município de Viçosa o Processo 003/09 que trata da aprovação de projeto do Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso, primeiro conjunto habitacional construído em Viçosa (Figura 10). O empreendimento aprovado consistiu na construção de 132 unidades habitacionais térreas (Figura 11), uma praça com playground (Figura 12) e uma estação de tratamento de esgotos (Figura 13) no local conhecido como “Coelhas”, que se localiza no bairro Santa Clara. Em 29/12/2009 foi emitido o alvará autorizando a execução do empreendimento; em junho de 2011 as obras foram concluídas e em 19 de setembro de 2011 as moradias foram entregues aos proprietários (VIÇOSA, 2011).



Figura 10 – Foto panorâmica do CHBJC tirada do alto da caixa d'água
Fonte: http://4.bp.blogspot.com/-A6FEde57Uc/TIGr_IwsnUI/AAAAAAAAAILE/S-ox5qGLVL8/s1600/by+paty+freitas+2011+%252822%2529.JPG



Figura 11 – Etapa final da execução do conjunto habitacional
Fonte: Arquivo pessoal Sérgio Weber Lopes



Figura 12 – *Playground*



Figura 13 – Estação de tratamento de esgoto
Fonte: Instituto de Planejamento Municipal de Viçosa

Apesar de geograficamente próximo ao centro da cidade, o menor trajeto deste ao local “Coelhas” é de difícil acesso, o que gera transtornos aos deslocamentos dos moradores. Esse principal acesso ao conjunto habitacional é pela Rua Morro do Cruzeiro, uma via com aclive acentuado e que, mesmo asfaltada, não permite a circulação de ônibus. Assim, o transporte público se faz pelo acesso que passa pelo bairro Vale do Sol, um circuito mais plano, mas que

A malha viária do CHBJC é composta de dez vias (Figura 16). Na parte de cota mais alta do terreno estão localizadas as ruas Prof^ª Valéria Martins de Freitas e Fernando Monteiro Rocha e a reservatório de água que atende ao conjunto habitacional. Na parte de cota mais baixa, estão localizadas: as ruas Vereador Chiquito Izidoro, Vereadora Dandara Guimarães e Vereador Rui Barbosa; o *playground*; e a estação de tratamento de esgoto (Figura 13). Na parte central do conjunto, estão as ruas Francisco Antônio Sousa Campos, Dr. Zimar Sari e Alexandre Miguel Sari. Outras duas ruas cortam longitudinalmente todo o loteamento: Rua José Chequer e Rua Euter Paniago. O ponto de ônibus está localizado no cruzamento da Rua Dr. Zimar Sari com a Rua José Chequer.

O conjunto habitacional apresenta um padrão urbanístico diferenciado ao do restante da cidade: todas as ruas têm 7m de largura e são calçadas com bloquetes hexagonais de concreto; as calçadas têm 2m de largura e são de concreto sarrafeado; aproximadamente de duas em duas unidades foi plantada uma árvore; também foram instaladas lixeiras em todos os encontros de ruas, mas muitas foram arrancadas pelos próprios moradores que as levaram para suas residências, onde ganharam novos usos.

Outro aspecto que chama atenção no conjunto de casas é que foram pintadas de forma aleatória com cinco cores padrão (Figura 10 e Figura 11). As cores utilizadas foram amarelo canário, vermelho cardinal, verde capim-limão, azul laguna e laranja tangerina, denominações associadas neste caso ao fabricante de tintas Suvinil.

O *playground*, na parte baixa do conjunto, é dotado de três brinquedos: uma plataforma com quatro escorregadores, um cavalete com seis gangorras e uma ponte. Os brinquedos são de aço, pintados com cores vivas e têm a forma de bichos (duas centopeias e um dinossauro). Além dos brinquedos, também havia: 7 bancos no *playground* dispostos em duas linhas paralelas (Figura 12). No entanto, um desses bancos foi destruído pelo impacto de um veículo desgovernado.

As edificações construídas nesse conjunto habitacional, assim como em vários outros construídos através do PMCMV, usam uma tipologia padrão que é sugerida pela Caixa Econômica Federal. Cada unidade tem dois quartos, uma sala, uma cozinha e um banheiro, que totalizam 40,34m² (Figura 17).



Figura 16 – Implantação do conjunto habitacional¹⁰

¹⁰ Curvas de nível do terreno original

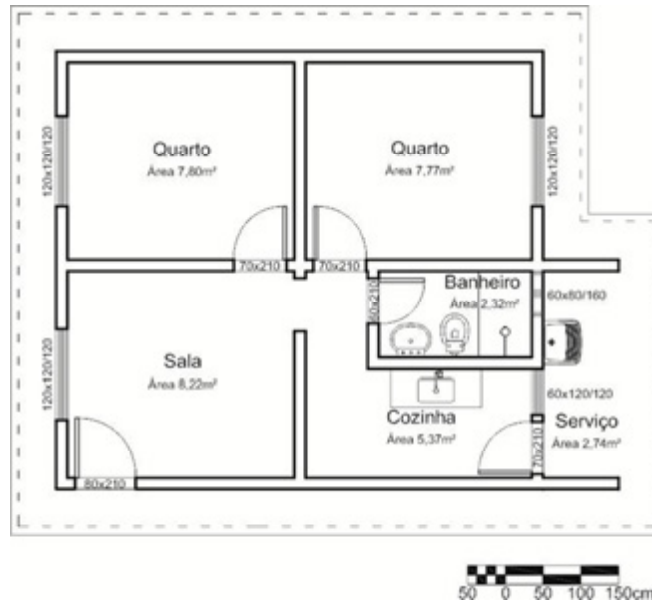


Figura 17 – Planta baixa da unidade tipo

Também foi previsto em projeto a adição de um quarto (Figura 18). Entretanto, como se pode constatar no local, há várias edificações cujo posicionamento no respectivo lote já é um empecilho à execução da ampliação prevista em projeto.



Figura 18 – Planta baixa com ampliação

O sistema construtivo empregado também é bastante comum em todo o Brasil. As casas foram erguidas com paredes autoportantes de blocos de concreto sobre um *radier* também de concreto moldado *in loco*. O subsistema cobertura é constituído por um telhado cerâmico de duas águas sustentado por uma estrutura metálica e um forro de PVC. Quanto ao piso, a cozinha e o banheiro apresentam piso cerâmico; os demais compartimentos da edificação

foram entregues somente com o contrapiso executado. Nas janelas e portas externas foram utilizadas esquadrias de chapa metálica dobrada e vidros comuns transparentes de 4mm (Figura 19). As portas são de madeira, tipo prancheta.



Figura 19 – Modelo de janela e porta externas
Fonte: Catálogo da Minas Sul

Quanto aos usuários, à época dos levantamentos iniciais moravam no CHBJC aproximadamente 500 pessoas: 55% do sexo feminino e 45% do sexo masculino; 30% desse total são crianças (menos de 12 anos), 17% são adolescentes (12 a 17 anos), 31% são adultos jovens (18 a 35 anos), 20% são adultos de meia idade (36 a 64) e 2% são idosos (65 anos ou mais).

3.1.3 Seleção das unidades

3.1.3.1 Seleção para as medições de inverno

O procedimento para definir as unidades onde realizar as medições técnicas no período de inverno foi:

- (I) tendo como referência as respostas dos moradores, quando questionados por meio de entrevista semiestruturada, sobre a possibilidade de se realizar levantamentos técnicos nas suas residências, as unidades em que os moradores se disponibilizaram a receber os pesquisadores sem restrições de horário foram separadas e marcadas no mapa com a cor verde, as unidades em que os moradores permitiram que fossem feitas as medições, mas com restrições de horário, foram marcadas com a cor amarela e as unidades em que não era possível fazer medições foram marcadas com a cor vermelha;

dessa forma, pôde-se visualizar espacialmente quais eram as unidades aptas a receberem os pesquisadores para as medições;

(II) no passo seguinte, o conjunto foi dividido em três parcelas: uma na área de cota mais elevada no terreno, outra na área de cota mais baixa do terreno e a última na área de cota média do terreno. Esse procedimento pode ser visualizado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Para a avaliação do desempenho térmico em conjuntos habitacionais por meio de medições no período de inverno, de acordo com a NBR 15575 deve-se escolher uma ou mais unidades com uma janela de dormitório ou de sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste (ABNT, 2008). Constatado que as casas com fachada principal norte atendiam a essas condições, foram selecionadas três unidades com fachada principal norte, uma em cada parcela do terreno. As unidades selecionadas foram: U-122, U-052 e U-062. Também foram selecionadas, de forma complementar, três unidades com fachada principal voltada para leste e três unidades com a fachada principal voltada para oeste. As unidades selecionadas com fachada principal leste foram a U-068, a U-090 e a U-125, e com fachada principal oeste foram a U-063, a U-097 e a U-126.

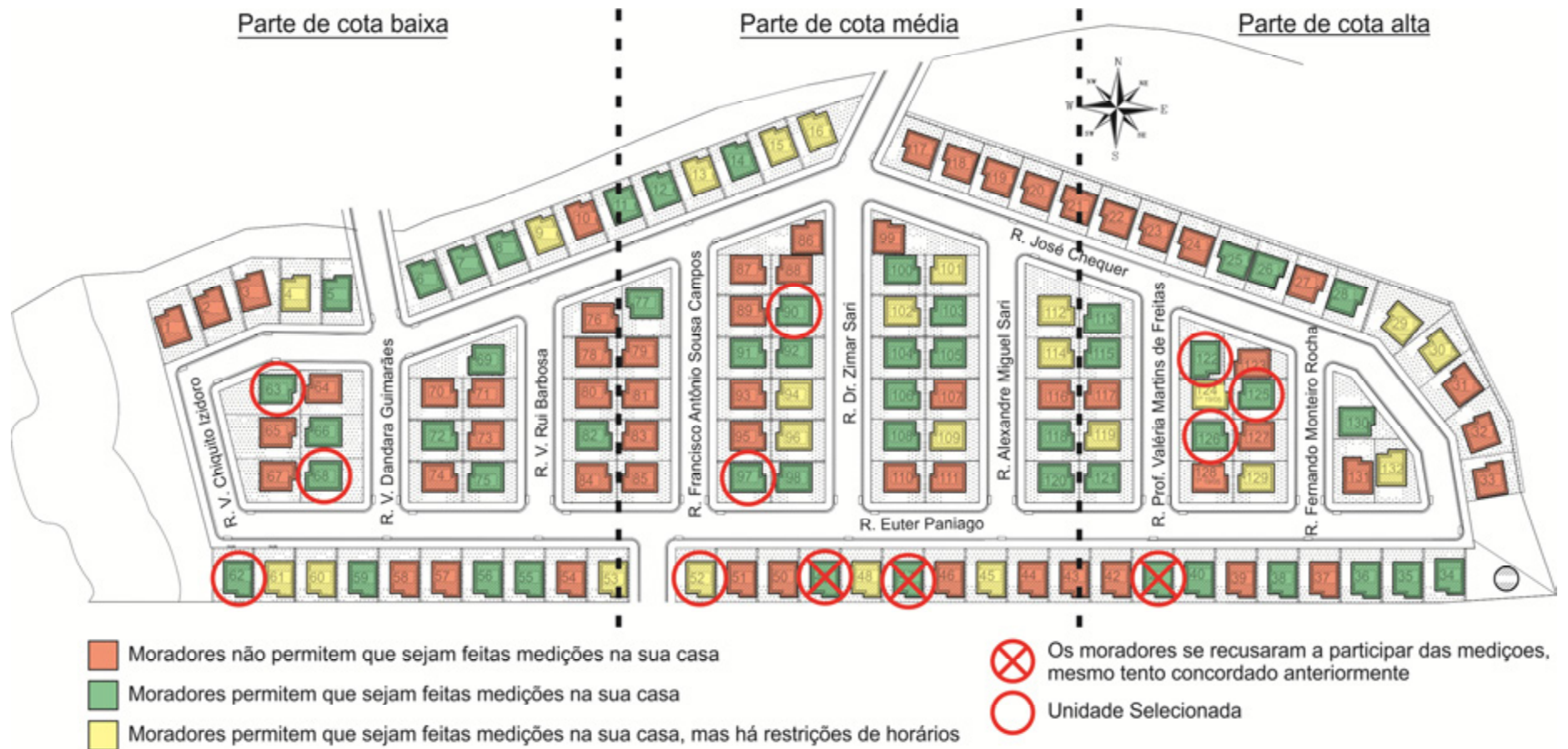


Figura 20 – Mapa de seleção das unidades para as medições de inverno

3.1.3.2 Seleção para as medições de verão

A seleção das unidades para as medições de verão partiu do mesmo mapa utilizado para seleção das unidades para medições de inverno. Esse mapa sofreu apenas uma atualização, na qual as unidades U-049 e U-047 foram marcadas com a cor vermelha, pois seus moradores se recusaram a participar das medições de inverno. Para avaliação do desempenho térmico por meio de medições no período de verão, optou-se pela seleção de um número menor de unidades, uma em cada parcela do conjunto, o que reduziu o período de medições e possibilitou que fossem feitas medições simultâneas em todas as unidades selecionadas. Segundo a NBR 15575:2008, para medições no período de verão devem ser selecionadas unidades com janela de um dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte (ABNT, 2008). Verificou-se que as unidades com fachada frontal oeste atendiam a esses quesitos. Sendo assim, foram pré-selecionadas uma unidade com fachada principal oeste em cada uma das partes do conjunto, buscando-se preservar unidades em que haviam sido feitas medições no período de inverno. As unidades pré-selecionadas foram U-063, U-097 e U-126. No entanto, os moradores da unidade U-126 se recusaram a participar da pesquisa, pois um deles estava temporariamente com dificuldades de locomoção. Sendo assim, foi selecionada a U-130, que também atende às condições impostas pela norma apesar de ter a planta baixa espelhada em relação a U-063 e U-097 (Figura 21).

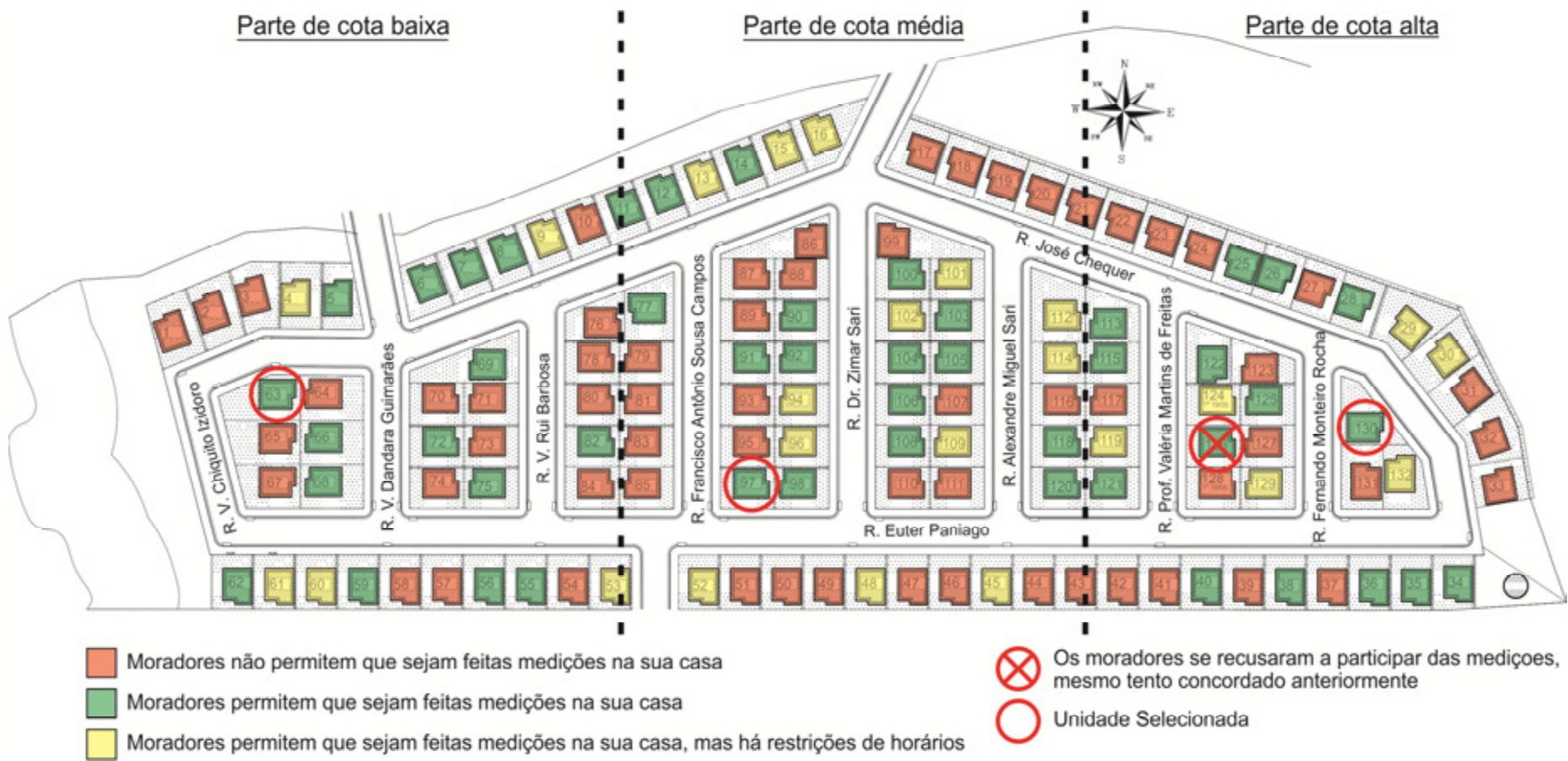


Figura 21 – Mapa de seleção das unidades para as medições de verão

3.1.4 Descrição das unidades habitacionais selecionadas

A partir do momento em que foram entregues e entraram em uso, as unidades habitacionais começaram a sofrer intervenções. Essas intervenções se dão em vários níveis, desde adaptações de leiaute até a construção de novos compartimentos, o que tende a influenciar no desempenho ambiental dessas unidades. Além disso, fatores como número, gênero e idade dos moradores, existência de equipamentos geradores de calor e de ruídos e as atividades desenvolvidas em cada ambiente influenciam diretamente no comportamento térmico e acústico das unidades. Sabendo-se disso, no presente trabalho restringiram-se tais especificidades nas unidades selecionadas. A caracterização de cada unidade está descrita nos Apêndices 5 e 6, uma síntese das principais características é apresentada no Quadro 17.

Quadro 17 – Características arquitetônicas, construtivas e sociais das unidades selecionadas

| Características arquitetônicas, construtivas e sociais | | | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------|---|---------------------|--------------------------------|
| Unidade | Orientação da fachada frontal | Cor das paredes externas | Modificações já feitas nas casas | Número de moradores | Data em que a casa foi ocupada |
| U-052 | norte | laranja | -varanda nos fundos do lote; -muro em torno do terreno; -piso cerâmico nos quartos e na sala; -substituição do tanque de lavar roupas. | 4 | 24/09/2011 |
| U-062 | norte | vermelha | -varanda nos fundos do lote; -cerca em torno do terreno; -piso cerâmico nos quartos e na sala. | 4 | 10/10/2011 |
| U-063 | oeste | laranja | -cerca em torno do terreno; -piso cerâmico nos quartos e na sala. | 4 | 10/2011 |
| U-068 | leste | laranja | -cerca em torno do terreno; -piso cerâmico nos quartos e na sala. | 3 | 16/09/2011 |
| U-090 | leste | vermelha | -muro em torno do terreno; -piso cerâmico nos quartos e na sala. | 3 | 10/2011 |
| U-097 | oeste | verde | -piso cerâmico nos quartos e na sala; -box no banheiro. | 6 | 16/09/2011 |
| U-122 | norte | verde | -cerca em torno do terreno; -piso cerâmico nos quartos e na sala. | 3 | 25/09/2011 |
| U-125 | leste | amarela | -piso cerâmico nos quartos e na sala; -escada na entrada da casa. | 4 | 23/09/2011 |
| U-126 | oeste | amarela | -piso cerâmico nos quartos e na sala. | 2 | 09/2011 |
| U-130 | oeste | vermelha | -cerca em torno do terreno; -piso cerâmico nos quartos e na sala. | 1 | 11/2011 |

3.2 Análise de desempenho ambiental

3.2.1 Análise térmica

A metodologia utilizada para a coleta de dados e análise do desempenho térmico das unidades foi dividida em três etapas:

- 1ª) determinação das propriedades térmicas (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar) de todos os fechamentos existentes nas unidades, de acordo com a 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). Também foi calculada a

relação entre a área efetiva de aberturas para ventilação e a área de piso. Os resultados obtidos nos cálculos foram organizados em planilhas eletrônicas e analisados por meio dos requisitos e critérios definidos pela NBR 15575 e das recomendações e diretrizes estipuladas pela NBR 15220.

Da NBR 15575-4 (Requisitos para sistemas de vedação verticais externas e internas), foram utilizados para a avaliação os seguintes requisitos:

- (i) adequação de paredes externas, para os critérios transmitância térmica de paredes externas e capacidade térmica de paredes externas;
- (ii) aberturas para ventilação, para o critério áreas mínimas de aberturas para ventilação; e,
- (iii) sombreamento das aberturas localizadas dos dormitórios em paredes externas, para o critério sombreamento das aberturas.

Da NBR 15575-5 (Requisitos para sistemas de cobertura), foi utilizado na análise o requisito isolamento térmica da cobertura, para o critério transmitância térmica. Com relação às recomendações e diretrizes definidas pela NBR 15220, foram utilizadas na análise as Tabelas C.1e C.2 da norma (Quadro 1 e Quadro 2).

- 2^a) realização das medições *in loco* durante o período do inverno, realizadas nas unidades pré-selecionadas dos dias 13 a 27 de julho de 2012, durante dois dias em cada unidade, iniciando-se às 8h e encerrando-se às 20h. Nas unidades U-062 e U-126 não foi possível realizar as medições em dois dias seguidos como previsto. Na U-062, os moradores se recusaram a receber o pesquisador após o primeiro dia de medição; depois de uma nova conversa, na qual foram novamente expostas as motivações da pesquisa e o quanto seria importante realizar pelo menos mais um dia de medição, os moradores permitiram que as medições prosseguissem; as medições na U-062 foram realizadas nos dias 24/07/2012 e 26/07/2012. Na U-126, durante as últimas medições do primeiro dia (14/07/2012), houve um problema com um dos equipamentos (câmera termográfica) e as medições foram suspensas até que o problema fosse sanado; as medições foram retomadas no dia 18/07/2012.

Durante os trabalhos de campo foram realizadas leituras de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa utilizando equipamentos do tipo *data logger* HOBO, da marca Onset, modelos U12-012, U12-013 e U10-003. Os equipamentos foram programados para fazer leituras de meia em meia hora e foram posicionados sobre as superfícies de trabalho e o mais afastado fosse possível das paredes. Esse posicionamento foi adotado com a intenção interferir o mínimo possível na rotina dos moradores. Foi colocado um equipamento em

cada compartimento das unidades, com exceção do banheiro, e um externo. O equipamento externo foi colocado dentro de um abrigo de PVC ventilado e revestido de papel alumínio para bloquear os efeitos da radiação solar direta (Figura 22). O abrigo de PVC foi confeccionado conforme o modelo utilizado por Fialho (2009).



Figura 22 – Abrigo externo dos equipamentos *data logger*

O abrigo foi fixado ao solo por meio de uma haste também de PVC que o mantinha a 150cm do solo e a 2m de qualquer outra superfície. Foram realizadas leituras da temperatura superficial de paredes internas e externas, dos pisos e dos tetos. Para as leituras de temperatura de superfície foi utilizado um termômetro de infravermelho da marca INSTRUTHERM, modelo TI-890. Foram definidos 20 pontos para leitura da temperatura superficial de paredes em cada unidade e um ponto no teto e no piso por compartimento; a distribuição dos pontos foi feita conforme a Figura 23. Também foram feitas fotos termográficas das fachadas das unidades, porém, devido a problemas no equipamento, as fotos não foram usadas nesse trabalho.

- 3^a) realização das medições *in loco* sob condições de verão, realizadas durante os dias 10, 11 e 12 do mês de dezembro de 2012, simultaneamente nas três unidades durante os três dias, seguindo os mesmos procedimentos utilizados para as medições do período de inverno. Nas leituras de temperaturas de superfícies foram usados dois termômetros de infravermelho da marca INSTRUTHERM, um do modelo TI-890 e outro do modelo TI-860 com número de série 12019515. O termômetro modelo TI-890 foi usado como parâmetro para a calibração, conforme a Figura 24.

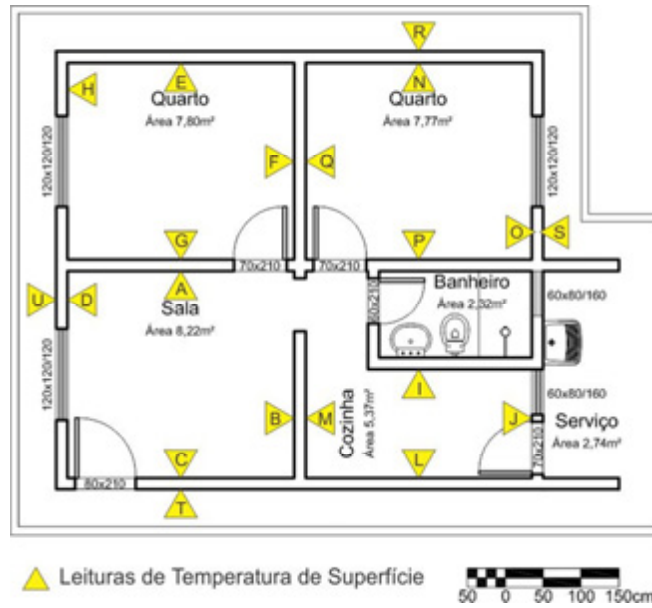


Figura 23 – Pontos de medição de temperatura superficial de paredes

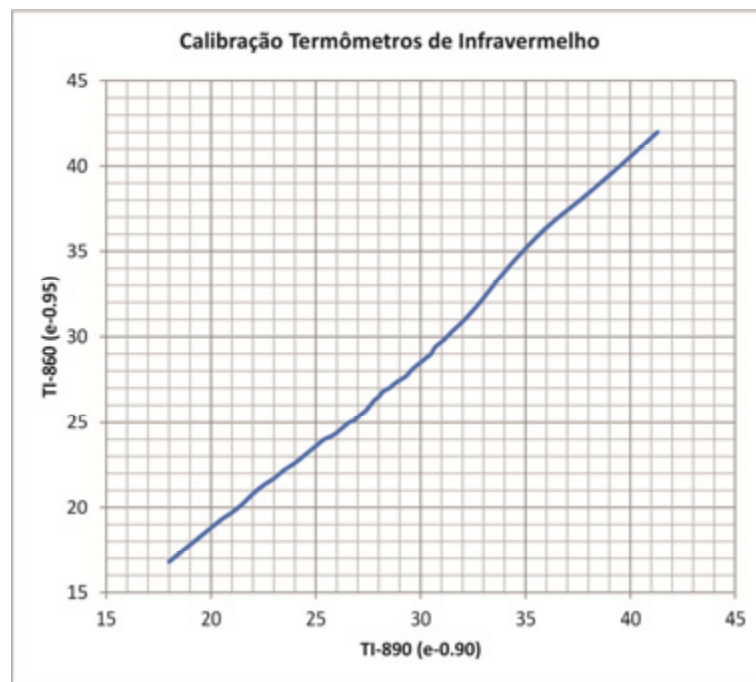


Figura 24 – Curva de calibração para termômetro de infravermelho

Para facilitar a análise, os dados foram processados em planilhas eletrônicas (Anexo 1), as quais facilitaram a avaliação do desempenho térmico, feita recorrendo-se às tabelas E.1 e E.2 do Anexo E da da NBR 15575-1 (Quadro 3 e Quadro 4). Os resultados obtidos foram confrontados com a opinião do usuário manifestada nas entrevistas. Também foram determinados fluxos de calor através das paredes (Equação 4), considerando regime permanente e fluxo unidirecional.

$$q = U. (t_{se} - t_{si}) \quad \text{Eq. 4}$$

onde: q é a densidade de fluxo de calor, U é a transmitância térmica do fechamento [em $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$], t_{se} é a temperatura superficial externa [em $^{\circ}\text{C}$] e t_{si} é a temperatura superficial interna [em $^{\circ}\text{C}$].

Posteriormente os dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa medidos na parte externa das unidades foram lançados na carta bioclimática adaptada apresentada pela NBR 15220-3, por meio da qual foi possível identificar quais leituras foram feitas em condições de conforto térmico e quais são as principais estratégias bioclimáticas indicadas para o local.

Adicionalmente, foram feitas comparações entre a temperatura interna de unidades que têm a mesma cor ou a mesma orientação. Também foram comparadas as temperaturas internas das unidades que foram medidas com a mesma condição de céu. Para facilitar comparação e a análise dos dados foram montados gráficos de comparação (Apêndices 1 e 2).

3.2.2 Análise acústica

Para análise do desempenho acústico, foram realizadas medições *in loco*, utilizando-se os procedimentos da ABNT NBR 10151. As medições ocorreram concomitantemente com as medições de inverno da parte térmica, dos dias 13 a 27 do mês de julho de 2012, durante dois dias em cada unidade selecionada e em seis horários distintos: 8h, 10h, 12h, 14h, 18h e 20h. Pelos motivos já informados anteriormente, nas unidades U-062 e U-126 não foi possível realizar as medições em dois dias seguidos. Todas as medições foram efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente. Em alguns casos não foi possível realizar as medições em todos os horários estabelecidos, pois os moradores estavam repousando ou haviam saído de casa. Para as medições internas, foram definidos três pontos em cada cômodo, distantes pelo menos 1m de qualquer superfície e 0,5m entre si. As únicas exceções foram no banheiro, onde não foram feitas medições, e na cozinha onde, devido às suas dimensões reduzidas, as três leituras foram realizadas em um mesmo ponto localizado no centro geométrico do compartimento (Figura 25). Sendo assim, foram realizadas três leituras, espaçadas 5 segundos uma da outra, por compartimento, em cada horário proposto. O L_{Aeq} foi calculado a partir dos três valores medidos, utilizando-se a Equação 1, apresentada na página 49.

As medições externas foram realizadas a 1,2m do piso e pelo menos 2m de qualquer superfície refletora. Foi definido um ponto por unidade selecionada; em cada horário proposto também foram feitas três medições e intervaladas de 5 segundos, sendo o L_{Aeq} obtido por meio da

Equação 1. As medições foram realizadas com um medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) da marca EXTECH, modelo 407735, nº de série 981205110, equipado com protetor de espuma para prevenir o efeito do vento. O equipamento foi calibrado antes de cada série de medições com um calibrador da marca HOMIS, modelo 895, ref. H304-013. As medições foram feitas com o medidor de nível de pressão sonora ajustado para a frequência de 1000Hz¹¹ e resposta rápida. Os dados obtidos foram tabulados e organizados em planilhas eletrônicas (Anexo 1).

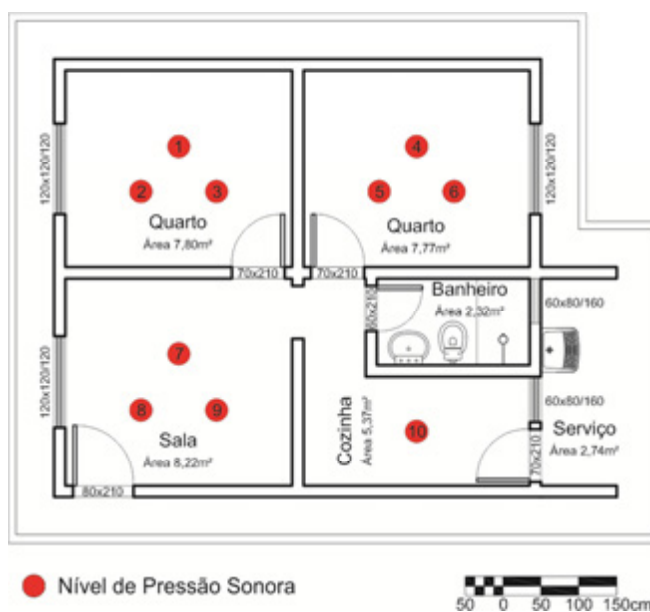


Figura 25 – Pontos de medição – Avaliação do desempenho acústico

Os resultados obtidos a partir dos dados coletados foram avaliados segundo o critério ‘nível tolerável de ruído no interior da habitação’, definido pela ABNT 15575. Esse critério define, para atingir o nível mínimo de desempenho, que “a edificação, submetida aos limites de estímulos sonoros externos especificados na ABNT NBR 10151, deve atender aos limites especificados pela ABNT NBR 10152 [...]” (ABNT NBR 15575-1, 2008, p. 20). Não foram utilizados outros requisitos definidos pela NBR 15575, pois os demais envolvem procedimentos invasivos que prejudicariam a rotina e a privacidade dos moradores. Os dados das medições externas foram primeiramente avaliados pela ABNT NBR 10151 (Quadro 9). Foi considerado período noturno de 22h até 7h para dias úteis (incluindo o sábado) e de 22h até 9h para o domingo e feriados. De acordo com a Lei de Ocupação, Uso do Solo e Zoneamento do Município de Viçosa, o conjunto habitacional se encontra localizado na Zona

¹¹ A maior parte dos ruídos encontrados em locais com essas características estão na faixa de 500Hz a 1000Hz.

Residencial 1. A legislação municipal não define nenhum critério específico para a avaliação do desempenho acústico da zona, mas estabelece que a normalização brasileira seja atendida (VIÇOSA, 2000).

Os dados das medições internas foram avaliados pela NBR 10152 (Tabela 1). Devido à falta de parâmetros específicos para a avaliação dos níveis de pressão sonora encontrados no ambiente cozinha residencial, foram adotados os mesmos critérios utilizados para avaliação dos ambientes ‘salas de estar’. Foi feita a verificação da dispersão dos dados em cada ponto (série de três dados).

No passo seguinte, os resultados da avaliação dos dados internos foram confrontados com os resultados da avaliação dos dados externos. Nessa etapa, foi verificado se quando os ruídos externos estão dentro da faixa de conforto os ruídos internos atingem níveis aceitáveis ou de conforto. Os resultados obtidos nas avaliações também foram confrontados com as condições de conforto auditivo manifestadas pelos moradores durante as entrevistas.

De forma complementar, foi calculada a perda de transmissão sonora (PTS) dos fechamentos que compõem a envoltória da edificação tipo. Para o cálculo foi utilizada a Equação 5.

$$PTS = 18.\log m + 12.\log f - 25,4 \quad \text{Eq. 5}$$

onde: *PTS* é a perda de transmissão sonora do fechamento [em dB], *f* é a frequência [em Hz], *m* é a massa do material [em kg].

Os dados obtidos foram posteriormente organizados em planilhas eletrônicas e analisados.

Além disso, também foi calculado o tempo de reverberação de cada recinto da unidade tipo. No cálculo, foram analisadas duas situações: (i) unidade desocupada e (ii) unidade mobiliada e ocupada. Para a situação (ii), foi considerado um mobiliário similar ao encontrado nas unidades durante os trabalhos de campo: na Sala, um jogo de sofás e uma estante; no Quarto 1, uma cama de casal e um armário; no Quarto 2, duas camas de solteiro e um armário; na Cozinha, um fogão, uma geladeira e um armário. Quanto à ocupação, foram consideradas três pessoas na sala, duas em cada quarto e uma na cozinha. O cálculo foi feito por meio do método de Sabine (Equação 2), uma vez que coeficiente médio de absorção encontrado nos recintos foi menor que 0,30. Os valores do coeficiente de absorção acústica adotados no cálculo foram obtidos na Tabela 2 do Anexo 2 da NBR 12179. O valor do coeficiente de absorção acústica por pessoa foi admitido como metade do valor referente a

‘uma pessoa com cadeira’ ($f=500\text{Hz}$). Os resultados obtidos foram confrontados com o tempo ótimo de reverberação obtido no nomograma apresentado na NBR 12179 (Figura 8).

3.3 Avaliação do ponto de vista do usuário

Tão importante quanto a análise técnica do desempenho ambiental das edificações, é entender como os aspectos acústicos influenciam no conforto dos usuários. Nesse sentido, obteve-se a opinião e informações dos usuários a respeito do conforto ambiental nas suas residências. O método utilizado para obtenção desses dados foi por meio de entrevista semiestruturada. No roteiro elaborado para as entrevistas (Anexo 2), constaram questões relativas à composição do núcleo familiar, das formas de ocupação do espaço e aspectos quanto às condições de conforto ambiental. Os moradores também foram indagados sobre a possibilidade de realizar levantamentos técnicos nas suas residências.

Por meio das entrevistas, foram feitos os primeiros contatos com os moradores do conjunto habitacional. Essa fase do trabalho foi importante para que se pudesse conhecer o perfil da população do local objeto de estudo e se obtivesse uma primeira leitura do que os moradores pensam e expressam sobre as condições de exposição ambientais nas suas moradias. As entrevistas também foram úteis para apresentar a pesquisa e tornar o tema mais familiar aos moradores do conjunto habitacional.

No período de 19/05/2012 a 25/07/2012, foram feitas tentativas de contatos com moradores de todas as 132 unidades do conjunto, com a pretensão de realizar entrevista com pelo menos um morador de cada unidade. No entanto, quando o morador não se dispunha a receber os pesquisadores, ou quando após três tentativas não fosse encontrada nenhuma pessoa em casa, não eram feitas novas tentativas de contato com moradores da unidade.

Foi possível realizar entrevistas em 108 unidades, sendo as respostas reunidas, organizadas e analisadas, resultando na confecção de mapas de diagnósticos, por meio dos quais foi possível identificar, por exemplo, em quais áreas do conjunto habitacional existem mais manifestações por parte dos moradores com relação a desconforto auditivo e térmico. Foram criados os seguintes mapas de diagnósticos: setorização quanto às condições de conforto auditivo manifestado pelos moradores durante as entrevistas; setorização quanto às condições de conforto térmico (desconforto por calor) manifestado pelos moradores durante as entrevistas; e setorização quanto às condições conforto térmico (desconforto por frio) manifestado pelos

moradores durante as entrevistas. Numa etapa seguinte, os mapas de diagnósticos foram confrontados com as análises técnicas de desempenho ambiental.

4 Resultados e análises

4.1 Desempenho térmico

4.1.1 Análise pelo método simplificado

Nessa primeira etapa da análise do desempenho térmico, as propriedades térmicas, calculadas conforme a metodologia apresentada na NBR 15220-2, foram avaliadas pelos requisitos e critérios definidos pela NBR 15575-4 e NBR 15575-5 e pelas diretrizes e recomendações apresentadas pela NBR 15220-3. Para facilitar a visualização dos dados, os requisitos “adequação de parede externas”, “isolamento térmico da cobertura” e de parte das recomendações da NBR 15220 foram avaliados e estão apresentados no Quadro 18.

Esse quadro permite constatar que apenas as paredes externas pintadas de amarelo e laranja atendem ao requisito “adequação de paredes externas”. Quanto às diretrizes da NBR 15220 para paredes, só as pintadas de amarelo atendem a todas as recomendações. Também se constata que a cobertura das unidades não atende ao requisito “isolamento térmico da cobertura” e nem as recomendações da NBR 15220 para coberturas.

O terceiro requisito avaliado pelo método simplificado tem a ver com a existência de dispositivos de ‘sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas dos dormitórios’, conforme exposto na seção 2.5.1. As unidades construídas no CHBJC não possuem nenhum tipo de dispositivo de sombreamento externo ao vidro, o que implica que o usuário não possui nenhuma possibilidade de controle de sombreamento e ou escurecimento, razão pela qual esse requisito não é atendido. No entanto, cabe ressaltar que a instalação de dispositivos de sombreamento deve ser feita em função da orientação das aberturas e das características locais para que estes não exerçam um efeito negativo no desempenho térmico das edificações.

Quadro 18 – Análise das propriedades térmicas dos fechamentos

| Propriedades Térmicas dos Fechamentos | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|------------|----------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Propr.\Fech. | Porta Ext. | Porta Int. | Vidro (Janela) | Paredes | | | Cobertura | | | |
| | | | | Situação Encontrada | Condição Prescrita | | Situação Encontrada | Condição Prescrita | | |
| | | | | | NBR 15220 | NBR 15575-4 | | NBR 15220 | NBR 15575-5 | |
| RT [m ² .K/W] | 0,17 | 0,35 | 0,17 | 0,35 | — | — | 0,47 | verão | — | — |
| | | | | | | | 0,23 | inverno | | |
| U [W/m ² .K] | 5,88 | 2,84 | 5,75 | 2,84 | ≤ 3,6 (parede leve e refletora) | ≤ 3,7 (AM-LA) ① | 2,14 | verão | ≤ 2,0 (cobertura leve e isolada) | ≤ 1,5 (α > 0,6) ③ |
| | | | | | | | 4,25 | inverno | | |
| CT [kJ/m ² .K] | 17,94 | 6,26 | 8,40 | 207,20 | — | ≥ 130 ② | 15,4 | | — | — |
| φ [horas] | 0,03 | 0,50 | 0,13 | 3,72 | ≤ 4,3 (parede leve e refletora) | — | 0,27 | | ≤ 3,3 (cobertura leve e isolada) | — |
| FS [%] | 21 | — | 86,37 | 7,96 | VD | ≤ 4,0 (parede leve e refletora) | — | 6,86 | ≤ 6,5 (cobertura leve e isolada) | — |
| | | | | 6,96 | VM | | | | | |
| | | | | 3,28 | AM | | | | | |
| | | | | 6,82 | LA | | | | | |
| | | | | 8,18 | AZ | | | | | |

Requisito: Adequação de paredes externas

- ① Critério: Transmitância térmica de paredes externas
- ② Critério: Capacidade térmica de paredes externas

Requisito: Isolamento térmico da cobertura

- ③ Critério: Transmitância térmica de coberturas

Legenda:

- O parâmetro atende ao critério analisado
- O parâmetro não atende ao critério analisado
- VD - Paredes verdes
- VM - Paredes vermelhas

- AM - Paredes amarelas
- LA - Paredes laranjas
- AZ - Paredes azuis
- α - Absortância à radiação solar

Para avaliação do requisito aberturas para ventilação”, a relação abertura/piso dos cômodos foi determinada e está apresentada no Quadro 19. Tanto a NBR 15575 quanto a NBR 15220 recomendam que em edificações construídas na Zona Bioclimática 3 sejam usadas janelas médias (v. seção 2.5.1), mas essas normas definem critérios diferentes para a avaliação. A NBR 15220 é mais rigorosa nesse ponto, definindo janelas médias como aquelas que possuem área de ventilação entre 15% e 25% da área de piso. Já a NBR 15575 define janelas médias, para a condição de desempenho mínimo quanto à ventilação, como sendo as janelas com mais de 8% da área do piso do ambiente em que ela está instalada. No entanto, a relação abertura/piso dos cômodos das unidades construídas no CHBJC não atende a nenhuma das normas.

Quadro 19 – Análise da relação abertura/piso

| Análise da relação Abertura/Piso | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Área do compartimento (m ²) | Área de ventilação (m ²) | Relação Abertura/Piso (%) | Critério NBR 15.575 | Critério NBR 15.220 | Legislação de Viçosa/MG |
| Sala | 8,22 | 0,54 | 6,57 | Aberturas Médias ≥ 8% | Aberturas Médias 15% < A < 25% | Comp. de uso prolongado ≥16,7% |
| Cozinha | 5,37 | 0,22 | 4,05 | | | |
| Quarto 1 | 7,80 | 0,54 | 6,92 | | | |
| Quarto 2 | 7,77 | 0,54 | 6,95 | | | |

Ao final da análise pelo método simplificado, constatou-se que as unidades não atendem ao nível mínimo de desempenho especificado por esse método e que as diretrizes e recomendações da NBR 15220-3 não foram seguidas na fase de projeto. Ou seja, o projeto tipo, que já havia sido construído em outras regiões do país, foi implantado sem maiores estudos de adequação ao clima de Viçosa-MG. Também foi possível constatar que as paredes pintadas com as cores amarelo e laranja apresentaram melhor desempenho, quando comparadas às paredes pintadas de outras cores.

Também chama a atenção, ao se analisar o Quadro 18, o desempenho da cobertura das unidades, abaixo do mínimo da condição prescrita, principalmente por ser a cobertura o componente das edificações que fica exposto durante o período diurno à radiação solar direta.

4.1.2 Avaliação pelo método de medições *in loco*

4.1.2.1 Inverno

No período de inverno, foram analisadas ao todo 9 unidades habitacionais ocupadas nas suas condições normais de uso, sendo feitas medições por dois dias em cada unidade, totalizando 18 situações analisadas. Nessas 18 situações, o nível mínimo de desempenho foi alcançado

três vezes, o nível intermediário de desempenho também três vezes e o nível superior de desempenho apenas uma vez (Quadro 20).

As unidades localizadas na parte de cota mais baixa do conjunto (U-062, U-063 e U-038) apresentaram melhor desempenho se comparadas às demais unidades analisadas. Em duas vezes essas unidades alcançaram o nível mínimo de desempenho, em duas vezes o nível intermediário de desempenho e uma vez o nível superior de desempenho. Possivelmente essas unidades obtiveram desempenho melhor que as demais por estarem menos sujeitas à ação dos ventos, por se localizarem na parte mais baixa do conjunto e serem protegidas por uma área de mata. No entanto, são necessários estudos complementares a respeito da influência da ventilação no desempenho térmico das unidades do conjunto.

As edificações com fachada frontal oeste obtiveram um melhor resultado na análise, alcançando em dois dias o nível intermediário de desempenho e em um dia o nível superior de desempenho. No entanto, foi observado que essa orientação, quando associada a paredes pintadas na cor amarela, não obtiveram bons resultados.

Quanto às unidades com fachada frontal norte, só a U-062 alcançou o nível mínimo de desempenho. No entanto, foi observado que mesmo não atingindo o nível mínimo de desempenho em todos os cômodos das unidades U-052 e U-122, edificações que também têm fachada frontal norte, o nível mínimo de desempenho foi alcançado nessas unidades em algum ambiente em cada dia de medição. Comparando-se o perfil de temperatura por compartimento, foi constatado nas unidades com fachada frontal oeste e leste que o ambiente que se destacou por apresentar perfis de temperaturas mais altas foi o Quarto 2, que tem janela orientada a leste nas unidades com fachada frontal oeste e janela orientada a oeste nas unidades com fachada frontal leste. Já nas unidades com fachada frontal orientada a norte, o ambiente que se destacou foi a Sala, que tem janela voltada para norte. O ambiente que apresentou um maior número de vezes os perfis mais baixos de temperaturas, em 11 dos 18 casos analisados, foi a cozinha; para esse ambiente, a sensação de desconforto por frio é agravada pelo hábito dos moradores de deixar a porta da cozinha aberta, o que aumenta os efeitos das correntes convectivas.

Através dos gráficos de comparação de temperatura das unidades (Apêndices 1 e 2)¹², foi possível identificar que as unidades pintadas externamente com a cor verde apresentaram temperaturas internas mais altas se comparadas com as unidades pintadas externamente de

¹² Ver exemplo de gráfico na Figura 26.

outras cores. Também foi observado que nas unidades com fachada frontal norte foram registradas temperaturas internas mais altas.

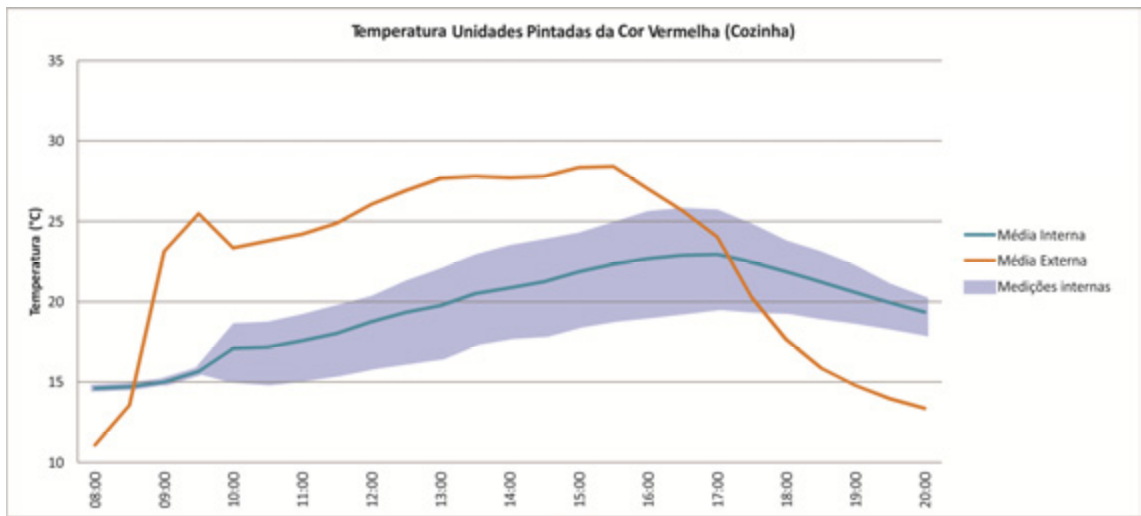


Figura 26 – Exemplo de Gráfico de comparação da temperatura do ar interna em unidades de acordo com a cor da pintura

Os resultados dos cálculos dos fluxos de calor referentes ao período e horários de medições mostraram que em 41,83% das medições do período de inverno o fluxo térmico foi negativo (do interior para o exterior) e em 58,17% das vezes o fluxo foi positivo (do exterior para o interior). Esse dado mostra que, em mais de 40% das ocorrências, as edificações estavam transferindo calor para o exterior.

Quadro 20 – Quadro resumo da avaliação do desempenho térmico pelo método de campo no período de inverno

| Avaliação do desempenho térmico no período de inverno (quadro resumo) | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| Unidade | Orientação | Cor | Dia da medição | Nível de desempenho alcançado | Compartimento com melhor desempenho | Compartimento com pior desempenho | Observações |
| U-052 | Fachada Frontal Norte | Laranja | 21/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Sala (N) | Quarto 2 (S) | Os ambientes Sala, Cozinha e Quarto 1 alcançaram o nível mínimo de desempenho |
| | | | 22/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Sala (N) | Cozinha (S) | Os ambientes Sala e Quarto 1 alcançaram o nível mínimo de desempenho |
| U-062 | Fachada Frontal Norte | Vermelha | 24/07/2012 | Nível Intermediário | Sala (N) | Cozinha (S) | |
| | | | 26/07/2012 | Nível Mínimo | Sala (N) | Cozinha (S) | |
| U-063 | Fachada Frontal Oeste | Laranja | 25/07/2012 | Nível Superior | Quarto 2 (L) | Sala (O) | |
| | | | 24/07/2012 | Nível Intermediário | Quarto 2 (L) | Sala (O) | |
| U-068 | Fachada Frontal Leste | Laranja | 26/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Quarto 2 (O) | Cozinha (O) | Os ambientes Quarto 1 e Quarto 2 alcançaram o nível mínimo de desempenho |
| | | | 27/07/2012 | Nível Mínimo | Quarto 2 (O) | Cozinha (O) | |
| U-090 | Fachada Frontal Leste | Vermelha | 20/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Quarto 1 (L) | Cozinha (O) | |
| | | | 21/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Sala (L) | Quarto 2 (O) | |

Observação: A orientação indicada nas colunas 'Compartimentos com melhor desempenho' e 'Compartimentos com pior desempenho' é referente à parede em que se localiza a janela.

(continua)

(continuação)

| Avaliação do desempenho térmico no período de inverno (quadro resumo) | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------------|-------------------------------|--|--|--|
| Unidade | Orientação | Cor | Dia da medição | Nível de desempenho alcançado | Compartimento com melhor desempenho | Compartimento com pior desempenho | Observações |
| U-097 | Fachada Frontal Oeste | Verde | 20/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Quarto 1 (O) | Cozinha (L) | Os ambientes Quarto 1 e Quarto 2 alcançaram o nível mínimo de desempenho |
| | | | 19/07/2012 | Nível Intermediário | Quarto 1 (O) | Cozinha (L) | |
| U-122 | Fachada Frontal Norte | Verde | 13/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Sala (N) | Quarto 1 (N) | O ambiente Sala alcançou o nível mínimo de desempenho |
| | | | 14/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Quarto 1 (N) | Quarto 2 (S) | O ambiente Quarto 1 alcançou o nível mínimo de desempenho |
| U-125 | Fachada Frontal Leste | Amarela | 18/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Quarto 2 (O) | Cozinha (O) | Os ambientes Sala, Quarto 1 e Quarto 2 alcançaram o nível mínimo de desempenho |
| | | | 19/07/2012 | Nível Mínimo | Quarto 2 (O) | Cozinha (O) | |
| U-126 | Fachada Frontal Oeste | Amarela | 14/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Quarto 2 (L) | Cozinha (L) | |
| | | | 18/07/2012 | Não alcançou o Nível Mínimo | Desempenho similar em todos os cômodos | Desempenho similar em todos os cômodos | |

Observação: A orientação indicada nas colunas 'Compartimentos com melhor desempenho' e 'Compartimentos com pior desempenho' é referente à parede em que se localiza a janela.

4.1.2.2 Verão

No período de verão, foram realizadas medições em três unidades habitacionais ocupadas, nas suas condições normais de uso, por três dias consecutivos em cada uma, totalizando nove situações de análise.

Os resultados mostram que no período de verão todas as situações atenderam pelo menos ao nível mínimo de desempenho, de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 15575. Quatro das situações obtiveram o nível superior de desempenho, quatro obtiveram o nível intermediário de desempenho e uma obteve o nível mínimo de desempenho (Quadro 21). Das três unidades analisadas, a que obteve o melhor desempenho foi a U-063, que tem paredes pintadas externamente da cor laranja e se localiza na parte de cota mais baixa do conjunto. Esse resultado provavelmente se deve à cor das paredes da unidade, que é mais clara se comparada às outras duas. A unidade que apresentou o pior nível de desempenho foi a U-097, que é pintada externamente na cor verde e se localiza na parte de cota média do conjunto.

Quanto à análise de perfis de temperaturas por compartimento, observou-se que a cozinha é o ambiente que apresentou um maior número de vezes perfis com temperaturas mais baixas (cinco dos nove casos), e o ambiente sala o que apresentou, em maior número de vezes, perfis com temperaturas mais altas (oito dos nove casos).

Já os resultados dos cálculos dos fluxos de calor referentes ao período e horários de medições mostram, considerando-se fluxo de calor permanente entre cada período das medições, que em 29,13% das medições do período de verão o fluxo térmico foi negativo (do interior para o exterior) e em 64,70% das vezes o fluxo foi positivo (do exterior para o interior), permanecendo no restante dos casos em situação de equilíbrio térmico. Esses dados mostram que, em quase 65% das ocorrências, as edificações estavam ganhando calor do exterior e consequentemente aumentando a sua temperatura interna.

Quadro 21 – Quadro resumo da avaliação do desempenho térmico pelo método de campo no período de verão

| Avaliação do desempenho térmico no período de inverno (quadro resumo) | | | | | | | |
|---|----------------------|----------|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Unidade | Orientação | Cor | Dia da medição | Nível de desempenho alcançado | Compartimento com melhor desempenho | Compartimento com pior desempenho | Observações |
| U-063 | Fachada Frotal Oeste | Laranja | 10/12/2012 | Nível Superior | Quarto 1 (O) | Sala (O) | |
| | | | 11/12/2012 | Nível Intermediário | Quarto 2 (L) | Sala (O) | |
| | | | 12/12/2012 | Nível Superior | Quarto 1 (O) | Cozinha (L) | |
| U-097 | Fachada Frotal Oeste | Verde | 10/12/2012 | Nível Intermediário | Quarto 2 (L) | Sala (O) | |
| | | | 11/12/2012 | Nível Mínimo | Cozinha (L) | Sala (O) | |
| | | | 12/12/2012 | Nível Superior | Cozinha (L) | Sala (O) | |
| U-130 | Fachada Frotal Oeste | Vermelha | 10/12/2012 | Nível Superior | Cozinha (L) | Sala (O) | |
| | | | 11/12/2012 | Nível Intermediário | Cozinha (L) | Sala (O) | |
| | | | 12/12/2012 | Nível Intermediário | Cozinha (L) | Sala (O) | |

Observação: A orientação indicada nas colunas 'Compartimentos com melhor desempenho' e 'Compartimentos com pior desempenho' é referente à parede em que se localiza a janela.

4.1.2.2.1 Análise pela carta adaptada de Givoni

Os dados de umidade relativa e temperatura do ar externo coletados foram mapeados numa carta adaptada de Givoni (Figura 27) e se distribuíram pelas zonas B, C, D, E, F, I, J, H e K. Em relação ao total dos dados coletados, a distribuição por zona se deu conforme o Quadro 22.

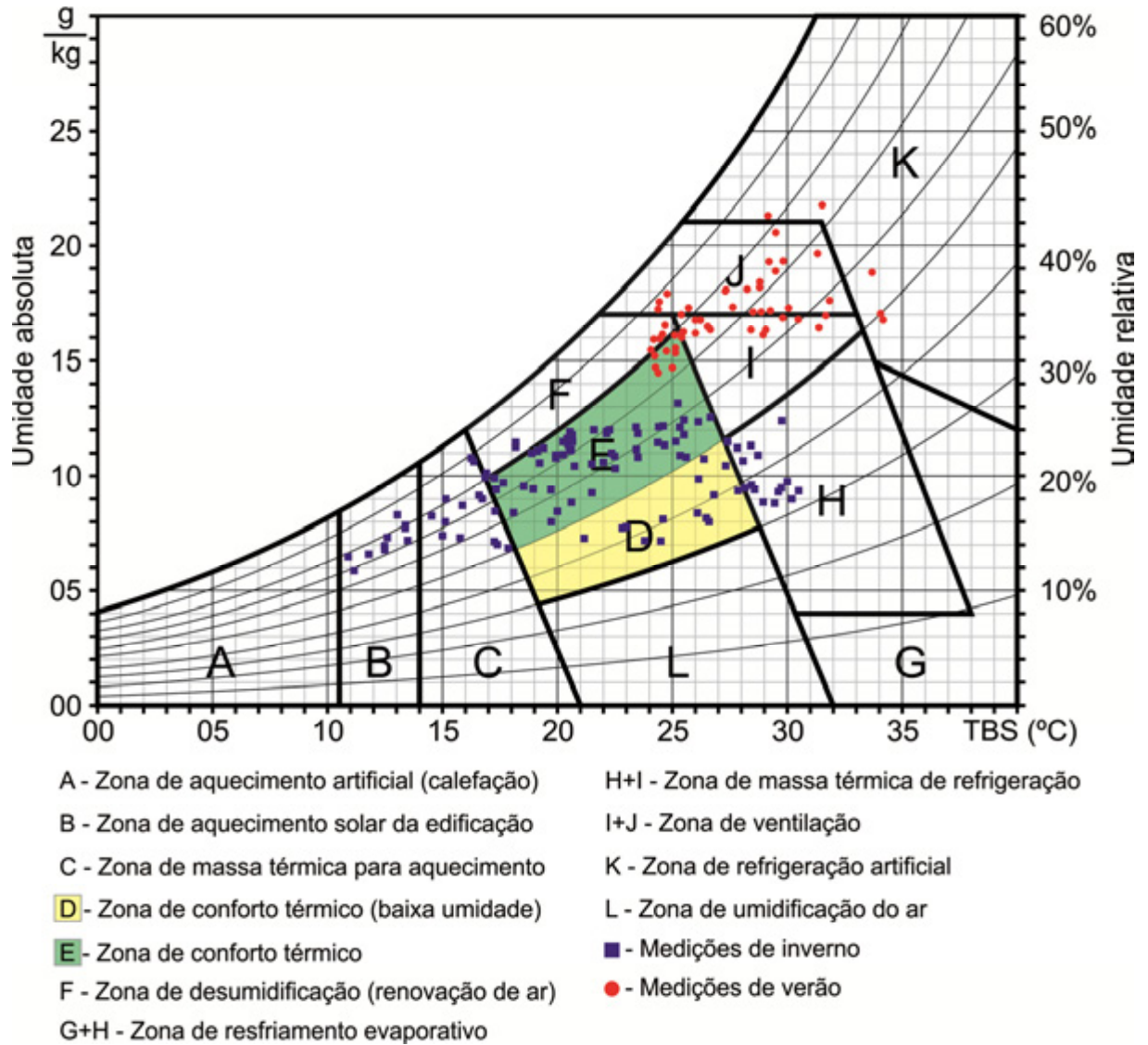


Figura 27 – Análise pela carta bioclimática adaptada de Givoni proposta pela NBR 15220-3

Quadro 22 – Distribuição dos dados coletados e mapeados na carta de Givoni adaptada

| Distribuição dos dados coletados e mapeados na carta de Givoni adaptada | | | | |
|---|-------|-------------------|---------------------------------------|---|
| Período de medição | Zona | Nº de ocorrências | Percentual (em relação ao período) | Percentual (em relação ao total das medições) |
| inverno | B | 10 | 9,01 | 6,06 |
| | C | 14 | 12,61 | 8,48 |
| | D | 14 | 12,61 | 8,48 |
| | E | 54 | 48,65 | 32,73 |
| | F | 3 | 2,70 | 1,82 |
| | H | 16 | 14,41 | 9,70 |
| | Total | 111 | - | - |
| Verão | E | 10 | 18,52 | 6,06 |
| | F | 5 | 9,26 | 3,03 |
| | I | 14 | 25,93 | 8,48 |
| | J | 20 | 37,04 | 12,12 |
| | K | 5 | 9,26 | 3,03 |
| | Total | 54 | - | - |

De acordo com a terceira parte da NBR 15220, as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Viçosa-MG são: aquecimento solar da edificação ‘B’, vedações internas pesadas (inércia térmica) ‘C’, desumidificação (renovação do ar) ‘F’ e ventilação cruzada ‘I+J’. Os resultados obtidos nesse trabalho também recomendam o uso dessas estratégias, confirmando as indicações da norma. No entanto, outra estratégia é apontada: o uso de massa térmica para refrigeração ‘I+H’. A adição da estratégia bioclimática ‘I+H’ se deve a influência de fatores locais do microclima da região de implantação do conjunto habitacional.

4.2 Desempenho acústico

Ao final do período de medições, 444 dados de pressão sonora foram coletados nos compartimentos internos das unidades e 114 dados na parte externa das edificações.

A partir dos dados coletados, considerando-se os limites estipulados pela NBR 10151 e pela NBR 10152, verificou-se que em 46% das medições externas os níveis de pressão sonora estavam acima do limite de conforto. Quanto às medições internas, 39% dos dados caracterizam situação de desconforto acústico, 36% foram classificados como aceitáveis e apenas 25% estavam dentro da faixa de conforto (Quadro 23 e Figura 28).

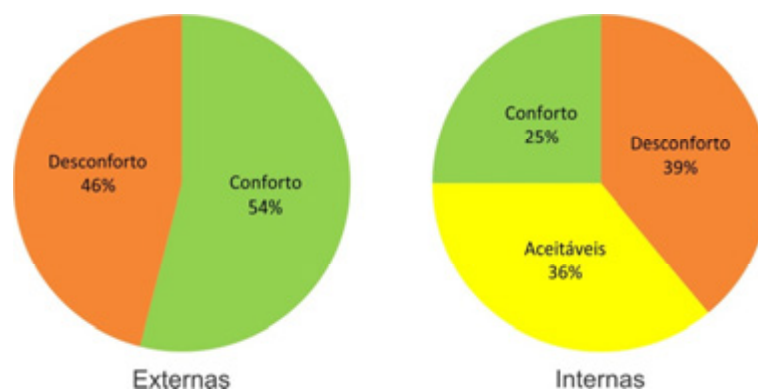


Figura 28 – Resultados totais da avaliação de desempenho acústico

Na condição de ser o conjunto habitacional uma área urbana estritamente residencial, constatou-se numa análise geral dos dados acústicos que as unidades localizadas na parte de cota mais alta do conjunto (U-122, U-125 e U-126) são as que apresentaram mais ocorrências de nível de critério de avaliação na faixa de conforto, tanto externa (ver seção 2.5.2.1, Quadro 9) como internamente (ver seção 2.5.2.2, Tabela 1).

Na parte baixa do conjunto, constatou-se que na U-062 as medições dos níveis de pressão sonora estiveram, na parte externa, dentro da faixa de conforto em 67% das vezes no dia 24/07/2012 e em 86% das vezes no dia 26/07/2012, e, dentro da edificação, os níveis de pressão sonora estiveram acima dos limites aceitáveis em 54% dos dados coletados no dia 24/07/2012 e em 64% dos coletados no dia 26/07/2012 (Figura 29). Portanto, dentro da unidade habitacional, tal situação caracteriza desconforto auditivo, e se deveu à geração de ruído interno.

Na parte intermediária do conjunto, a U-052 também se destaca das demais por apresentar externamente situação de desconforto em 50% dos dados do dia 21/07/2012 e em 57% dos dados do dia 22/07/2012, e, dentro da edificação, em e 83% dos dados medidos internamente no primeiro dia e 68% no segundo dia em situações de conforto ou aceitáveis (Figura 30). Esses dados aparentemente divergentes podem ser justificados pelo comportamento dos moradores, que durante a maioria das medições não utilizaram equipamentos que emitem som e nas ocasiões em que fizeram uso desse tipo de equipamento, o mesmo permaneceu com o volume baixo. Outro hábito da família que pode ter influenciado nos resultados é o fato de permanecerem a maior parte do tempo com as portas e janelas fechadas.

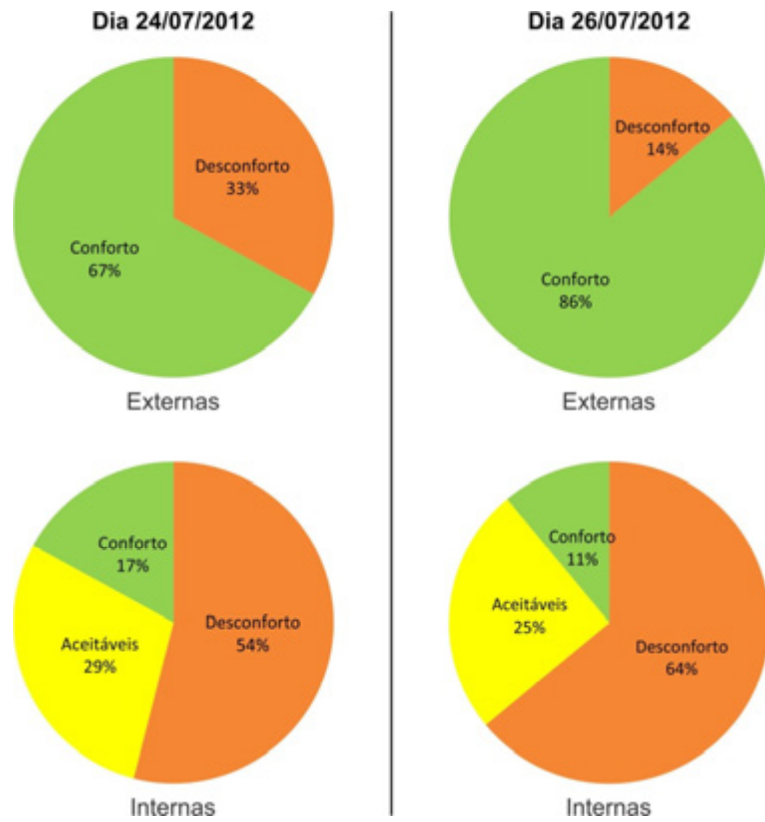


Figura 29 – Resultado da avaliação de desempenho acústico na U-062

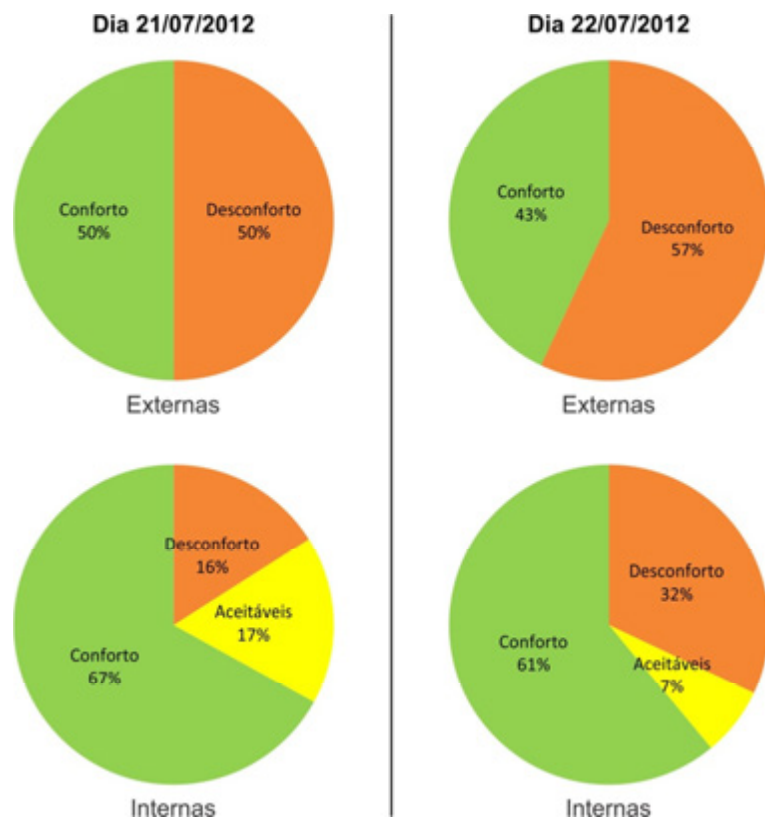


Figura 30 – Resultado da avaliação de desempenho acústico na U-052

Quadro 23 – Dados de pressão sonora coletados

| Compartimento/ Unidade | Horário | U-052 | | U-062 | | U-063 | | U-068 | | U-090 | | U-097 | | U-122 | | U-125 | | U-126 | |
|---------------------------|----------|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 21/07/2012 (sábado) | 22/07/2012 (domingo) | 24/07/2012 (terça) | 26/07/2012 (quinta) | 24/07/2012 (terça) | 25/07/2012 (quarta) | 26/07/2012 (quinta) | 27/07/2012 (sexta) | 20/07/2012 (sexta) | 21/07/2012 (sábado) | 19/07/2012 (quinta) | 20/07/2012 (sexta) | 13/07/2012 (sexta) | 14/07/2012 (sábado) | 18/07/2012 (quarta) | 19/07/2012 (quinta) | 14/07/2012 (sábado) | 18/07/2012 (quarta) |
| Cozinha | 8h | - | 35,3 | - | 39,8 | - | - | 61,3 | - | - | - | - | 52,2 | 42,5 | - | - | - | 68,0 | 42,2 |
| | 10h | 65,0 | 64,5 | 63,80 | 46,1 | 64,4 | 64,8 | 48,0 | 62,1 | 38,4 | 49,0 | 55,0 | 52,2 | 50,3 | - | 40,3 | 38,8 | 34,4 | |
| | 12h | 47,0 | 53,3 | 39,60 | 42,0 | 56,0 | 59,7 | 46,1 | 47,2 | 39,2 | 44,1 | 44,5 | 46,8 | 43,4 | 54,4 | 34,7 | 40,0 | 42,9 | 36,9 |
| | 14h | 31,4 | 31,6 | 42,50 | 64,8 | 55,9 | 58,2 | 47,8 | 47,8 | 35,4 | 54,0 | 38,4 | 42,4 | 47,0 | 45,7 | 41,8 | 50,3 | 43,6 | 43,0 |
| | 16h | 29,0 | 17,0 | 61,83 | 40,0 | 53,0 | 40,9 | 39,8 | 58,3 | 35,5 | 53,1 | 48,6 | 41,5 | 35,1 | 48,7 | - | - | 44,0 | 37,4 |
| | 18h | 36,5 | 55,4 | 46,00 | 51,8 | 48,0 | 54,3 | 43,7 | 48,8 | 51,4 | 57,4 | 46,9 | 51,7 | 39,5 | 49,3 | 50,2 | 41,1 | 45,3 | 40,5 |
| Quarto 1 | 8h | - | 15,7 | - | 36,6 | - | - | 41,8 | - | - | - | - | 59,9 | 36,4 | - | - | - | 34,4 | 36,8 |
| | 10h | 46,5 | 20,5 | 48,00 | 54,3 | 55,7 | 51,8 | 46,8 | 78,6 | 36,7 | 52,1 | 54,6 | 72,6 | 40,9 | 50,7 | - | 48,8 | 34,2 | 30,7 |
| | 12h | 40,3 | 23,8 | 37,00 | 46,7 | 40,8 | 51,7 | 40,3 | 40,0 | 37,3 | 41,1 | 44,8 | 43,1 | 42,8 | 41,0 | 31,5 | 35,1 | 33,1 | 44,8 |
| | 14h | 20,5 | 17,3 | 38,50 | 50,0 | 54,7 | 44,2 | 61,6 | 52,9 | 35,6 | 41,1 | 51,3 | 39,0 | 46,8 | 41,3 | 34,6 | 46,5 | 32,1 | 47,8 |
| | 16h | 25,3 | 48,0 | 65,70 | 39,8 | 50,1 | 40,5 | 52,6 | 42,8 | 31,7 | 39,0 | 44,8 | 36,8 | 34,0 | 49,1 | - | - | 35,1 | 40,5 |
| | 18h | 21,0 | 62,4 | 56,20 | 46,2 | 36,8 | 36,8 | 37,0 | 53,8 | 47,3 | 48,4 | 52,4 | 53,6 | 32,4 | 41,2 | 40,6 | 44,0 | 46,7 | 55,9 |
| Quarto 2 | 8h | - | 40,3 | - | 37,8 | - | - | - | - | - | - | - | 36,0 | 36,5 | - | - | - | 37,0 | 32,4 |
| | 10h | 46,3 | 21,2 | 53,94 | 46,6 | 74,0 | 77,4 | 49,8 | 47,9 | 35,6 | 51,3 | 41,8 | 50,0 | 43,9 | 54,4 | - | 38,1 | 31,7 | 32,1 |
| | 12h | 44,0 | 65,3 | 34,80 | 46,9 | 60,1 | 78,8 | 38,5 | 44,3 | 36,1 | 28,3 | 46,0 | 35,1 | 34,4 | 44,4 | 30,5 | 34,0 | 36,6 | 35,1 |
| | 14h | 20,0 | 16,3 | 43,90 | 51,8 | 63,2 | 50,6 | 54,7 | 42,1 | - | 44,3 | 34,4 | 41,7 | 33,3 | 56,3 | 53,6 | 44,8 | 51,7 | 34,8 |
| | 16h | 27,7 | 39,7 | 52,56 | 36,5 | 50,4 | 49,2 | 50,3 | 33,4 | - | 50,1 | 41,8 | 44,3 | 29,4 | 41,4 | - | - | 38,5 | 33,7 |
| | 18h | 26,5 | 61,1 | 43,00 | 69,6 | 42,8 | 56,7 | 43,9 | 45,8 | 40,9 | 52,7 | 46,6 | 50,8 | 31,7 | 40,7 | 37,1 | 44,2 | 47,6 | 36,8 |
| Sala | 8h | - | 16,3 | - | 36,2 | - | - | - | - | - | - | - | 39,0 | 49,8 | - | - | - | 50,1 | 32,8 |
| | 10h | 62,2 | 19,4 | 57,80 | 62,4 | 62,1 | 58,0 | 41,0 | 65,8 | 46,5 | 50,2 | 46,0 | 61,1 | 49,0 | 48,7 | - | 46,5 | 35,5 | 36,1 |
| | 12h | 44,4 | 27,3 | 35,1 | 59,6 | 51,5 | 59,0 | 39,0 | 45,5 | 37,0 | 37,6 | 60,2 | 61,2 | 47,7 | 66,8 | 31,7 | 43,5 | 33,6 | 41,8 |
| | 14h | 25,8 | 18,0 | 51,30 | 50,8 | 61,4 | 51,3 | 59,8 | 52,8 | 39,4 | 45,5 | 50,2 | 59,7 | 56,4 | 52,1 | 47,5 | 52,5 | 34,1 | 42,4 |
| | 16h | 26,0 | 17,6 | 51,80 | 45,9 | 58,0 | 39,5 | 46,2 | 39,1 | 42,5 | 29,8 | 56,4 | 57,4 | 40,6 | 47,7 | - | - | 39,4 | 53,8 |
| | 18h | 27,5 | 37,9 | 50,10 | 55,8 | 44,7 | 41,3 | 62,8 | 52,9 | 65,5 | 60,1 | 61,1 | 70,5 | 48,5 | 39,5 | 44,8 | 50,8 | 61,3 | 49,5 |
| P. Externo | 8h | - | 67,0 | - | 44,5 | - | - | 55,5 | - | - | - | - | 70,9 | 40,5 | - | - | - | 38,5 | 36,8 |
| | 10h | 68,0 | 51,0 | 50,30 | 44,1 | 53,0 | 55,7 | 51,6 | 63,0 | 55,1 | 53,1 | 53,0 | 59,4 | 41,0 | 58,7 | - | 44,1 | 39,4 | 43,8 |
| | 12h | 53,1 | 63,8 | 43,0 | 46,8 | 50,4 | 53,0 | 51,5 | 47,1 | 38,1 | 38,5 | 52,1 | 63,4 | 44,0 | 50,3 | 38,7 | 36,8 | 48,6 | 52,2 |
| | 14h | 41,8 | 49,4 | 33,00 | 53,5 | 63,8 | 56,6 | 50,4 | 40,7 | 49,8 | 42,5 | 60,7 | 57,1 | 39,0 | 52,0 | 52,8 | 61,8 | 45,1 | 45,1 |
| | 16h | 51,5 | 49,6 | 52,00 | 44,5 | 52,8 | 44,7 | 47,0 | 45,3 | 37,1 | 52,7 | 63,5 | 51,8 | 40,1 | 51,5 | 49,0 | 38,8 | 51,1 | 54,5 |
| | 18h | 39,0 | 41,0 | 43,50 | 49,7 | 51,5 | 48,2 | 55,2 | 56,2 | 56,1 | 61,7 | 49,2 | 51,2 | 42,8 | 48,8 | 37,8 | 37,2 | 52,3 | 48,9 |
| Análise ambiente Interno | Conf. | 16 | 17 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 7 | 3 | 2 | 1 | 10 | 2 | 6 | 4 | 11 | 12 |
| | Desc. | 4 | 9 | 13 | 18 | 16 | 17 | 11 | 10 | 4 | 13 | 12 | 14 | 5 | 11 | 2 | 5 | 6 | 4 |
| | Aceit. | 4 | 2 | 7 | 7 | 6 | 5 | 12 | 10 | 11 | 8 | 10 | 9 | 13 | 15 | 8 | 11 | 11 | 12 |
| | Total | 24 | 28 | 24 | 28 | 24 | 24 | 26 | 24 | 22 | 24 | 24 | 24 | 28 | 28 | 16 | 20 | 28 | 28 |
| | % Conf. | 67 | 61 | 17 | 11 | 8 | 8 | 12 | 17 | 32 | 13 | 8 | 4 | 36 | 7 | 38 | 20 | 39 | 43 |
| | % Aceit. | 17 | 7 | 29 | 25 | 25 | 21 | 46 | 42 | 50 | 33 | 42 | 38 | 46 | 54 | 50 | 55 | 39 | 43 |
| Análise ambiente Externo | Conf. | 3 | 3 | 4 | 6 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 5 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| | Desc. | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 5 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | Total | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 5 | 6 | 7 | 7 |
| | % Conf. | 50 | 43 | 67 | 86 | 17 | 33 | 29 | 50 | 67 | 50 | 33 | 33 | 71 | 29 | 80 | 83 | 71 | 71 |

Legenda:
 Situações em desconforto
 Situações aceitáveis
 Situações em conforto
 Medição não realizada

Maior valor encontrado internamente 78,8
 Maior valor encontrado externamente 70,9

Notas:
 Foram considerados os limites de pressão sonora para o ponto externo de 50 dB (dia) e 45 dB (noite), níveis estipulados pela NBR 10151;
 Para a análise também foram utilizados os níveis de conforto e limite aceitável de pressão sonora estipulados pela NBR 10152, 35-45 (dormitórios) e 40-50 (sala de estar);
 Devido à falta de parâmetros específicos para avaliação dos níveis de pressão sonora encontrados na cozinha foram adotados os mesmos níveis utilizados para avaliação do ambiente 'sala'.

Quanto à análise do requisito “isolação acústica de vedações externas” pelo critério ‘nível tolerável de ruído no interior da habitação’ da NBR 15575, verificou-se que no período e horários de medições (diurno) o nível de pressão sonora de 61 dos 114 dados externos se encontravam dentro dos limites de nível de critério de avaliação estabelecidos na Tabela 1 da NBR 10151. Os outros 53 dados oscilaram de 50dB(A) (NCA diurno pela NBR 10151) a 70,9dB(A) (máximo valor medido externamente no local).

Para os mesmos dias e horários, foram confrontados os níveis de pressão sonora na parte externa das unidades e dentro dos compartimentos, quanto ao atingimento dos níveis de pressão sonora para situação de conforto ou, eventualmente, aceitável (Quadro 24). Constatou-se que, em 74% das medições internas os níveis de pressão sonora estavam dentro dos limites de conforto ou aceitáveis. Se forem desconsiderados os horários em que foi constatada geração de ruído dentro da própria unidade habitacional, tem-se que 83% das medições internas atendiam as condições de conforto ou aceitáveis. Assim, na grande maioria dos casos analisados as unidades habitacionais atenderam o requisito.

Quadro 24 – Avaliação do desempenho acústico¹³

| U-052 | | | | | | U-062 | | | | | | U-063 | | | | | |
|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|
| 21/07/2013 | | | 22/07/2012 | | | 24/07/2012 | | | 26/07/2012 | | | 24/07/2012 | | | 25/07/2012 | | |
| Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade |
| 12 | Coz. | | 14 | Coz. | | 12 | Coz. | | 8 | Coz. | | 20 | Coz. | | 16 | Coz. | |
| | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | |
| | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | TV | | Q2 | TV |
| | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | |
| 14 | Coz. | | 16 | Coz. | | 14 | Coz. | | 10 | Coz. | | | | | 18 | Coz. | |
| | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | | | | Q1 | |
| | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | TV | | Q2 | TV | | | | | Q2 | TV |
| | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | | | | Sala | |
| 18 | Coz. | | 18 | Coz. | Conversas | 18 | Coz. | | 12 | Coz. | | | | | | | |
| | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | | | | | |
| | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | TV | | Q2 | TV | | | | | | |
| | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | | | | | |
| | | | | | | 20 | Coz. | | 16 | Coz. | | | | | | | |
| | | | | | | | Q1 | | | Q1 | | | | | | | |
| | | | | | | | Q2 | | | Q2 | | | | | | | |
| | | | | | | | Sala | | | Sala | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 18 | Coz. | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Q1 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Q2 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Sala | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 20 | Coz. | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Q1 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Q2 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Sala | | | | | | | |

Legenda:

- Laranja Situações em desconforto
- Amarelo Situações aceitáveis
- Verde Situações em conforto
- Cinza Medição não realizada

(continua)

¹³ No Quadro 24 os dados de pressão sonora internos nos horários em que os dados externos não superam o limite de NCA definido pela NBR 10151, foram separados do restante das medições para facilitar a avaliação pelo critério ‘nível tolerável de ruído no interior da habitação’ da NBR 15575.

(continuação)

| U-068 | | | U-090 | | | U-097 | | | | | |
|------------|--------------------------|------------|-------|--------------------------|-----------|------------|--------------------------|------------|------|--------------------------|-----------------|
| 26/07/2012 | | 27/07/2012 | | 20/07/2012 | | 21/07/2012 | | 19/07/2012 | | 20/07/2012 | |
| Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade |
| 16 | Coz. Q1 Q2 Sala | TV TV | 12 | Coz. Q1 Q2 Sala | | 12 | Coz. Q1 Q2 Sala | | 10 | Coz. Q1 Q2 Sala | Radio |
| 20 | Coz. Q1 Q2 Sala | TV | 14 | Coz. Q1 Q2 Sala | TV | 14 | Coz. Q1 Q2 Sala | | 18 | Coz. Q1 Q2 Sala | Conversas TV |
| | | | 16 | Coz. Q1 Q2 Sala | | 16 | Coz. Q1 Q2 Sala | | 20 | Coz. Q1 Q2 Sala | |
| | | | | | | 20 | Coz. Q1 Q2 Sala | | | | |

Legenda:

- Laranja Situações em desconforto
- Amarelo Situações aceitáveis
- Verde Situações em conforto
- Cinza Medição não realizada

(continua)

(continuação)

| U-122 | | | | | | U-125 | | | | | | U-126 | | | | | |
|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|--------------|------------|-------|-----------|
| 13/07/2012 | | | 14/07/2012 | | | 18/07/2012 | | | 19/07/2012 | | | 14/07/2012 | | | 18/07/2012 | | |
| Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade | Hora | Comp. | Atividade |
| 10 | Coz. | | 8 | Coz. | | 12 | Coz. | | 10 | Coz. | | 8 | Coz. | Panela Pres. | 8 | Coz. | |
| | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | |
| | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | |
| | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | |
| 12 | Coz. | | 18 | Coz. | | 16 | Coz. | | 12 | Coz. | | 10 | Coz. | | 12 | Coz. | |
| | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | |
| | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | |
| | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | |
| 14 | Coz. | | | | | 18 | Coz. | B. Bolo | 16 | Coz. | | 12 | Coz. | | 16 | Coz. | |
| | Q1 | | | | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | |
| | Q2 | | | | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | |
| | Sala | TV; GAME | | | | | Sala | | | Sala | | | Sala | | | Sala | |
| 16 | Coz. | | | | | 20 | Coz. | | 18 | Coz. | | 14 | Coz. | | 18 | Coz. | TV |
| | Q1 | | | | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | |
| | Q2 | | | | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | |
| | Sala | | | | | | Sala | TV | | Sala | TV | | Sala | | | Sala | |
| 18 | Coz. | | | | | | | | 20 | Coz. | | 20 | Coz. | TV | 20 | Coz. | TV |
| | Q1 | | | | | | | | | Q1 | | | Q1 | | | Q1 | |
| | Q2 | | | | | | | | | Q2 | | | Q2 | | | Q2 | |
| | Sala | | | | | | | | | Sala | | | Sala | | | Sala | |

Legenda:

| | | | |
|---------|--------------------------|-------|-----------------------|
| Laranja | Situações em desconforto | Verde | Situações em conforto |
| Amarelo | Situações aceitáveis | Cinza | Medição não realizada |

Quanto ao cálculo da perda de transmissão sonora dos fechamentos que compõem a unidade tipo, pode ser constatado pelo Quadro 25 que as principais deficiências do isolamento acústico da envoltória das unidades são as portas metálicas e as janelas (vidros). Na prática, o isolamento acústico proporcionado por esses dois elementos pode ser menor que o valor calculado, uma vez que no cálculo não foram consideradas as frestas existentes nas esquadrias.

Quadro 25 – Perda de transmissão sonora (calculada para frequência de 1000Hz)

| Material | Massa [kg/m ²] | PTS Final [dB] |
|----------------------------------|----------------------------|----------------|
| Paredes (bloco concreto 12cm) | 180 | 51 |
| Cobertura (telha+ar+forro) | | 40 |
| Portas metálicas | 4,71 | 23 |
| Portas prancheta comercial (3mm) | 1,35 | 32 |
| Vidro (4mm) | 10 | 29 |

Já os resultados do cálculo do tempo de reverberação de cada cômodo mostraram que se for admitida a situação unidade desocupada (sem considerar o efeito do mobiliário e das pessoas) o tempo de reverberação obtido é de 1,49s para a Sala, 3,64s para o Quarto 1, 3,65s para o Quarto 2 e 1,00s para a Cozinha (Quadro 26). Incluindo os efeitos devidos à ocupação, foi obtido o tempo de reverberação de 0,96s para a Sala, 1,5s para ambos os quartos e 0,90 para a Cozinha (Quadro 27). Tomando-se como referencial para avaliação o tempo de reverberação ótimo (TRO) apresentado no nomograma da p. 9 da NBR 12179:1992 (Figura 8), tem-se que para volumes até 30m³ o valor do tempo de reverberação deve ficar no intervalo de 0,2s a 1,0s¹⁴. Sendo assim, pôde ser constatado que na situação unidade desocupada apenas o tempo de reverberação calculado para a Cozinha encontra-se nesse intervalo. Considerando a situação unidade ocupada, os valores de tempo de reverberação calculados para a Sala e para a Cozinha encontram-se nesse intervalo.

¹⁴ O nomograma contido na NBR 12179 não apresenta valores específicos para o tempo ótimo de reverberação de edificações habitacionais, tendo sido, portanto, tomados por referência os valores da curva limite inferior e da curva limite superior.

Quadro 26 – Tempo de reverberação considerando a unidade desocupada (calculado)

| Ambiente | Volume | Alvenaria pintada e rebocada | | Forro de PVC | | Piso cerâmico | | Vidraça de janela | | Portas de madeira | | Portas de metal | | Abertura para outro ambiente | | Tempo de reverberação (segundos) |
|-----------|--------|------------------------------|---------------------|--------------|---------------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| | | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | |
| Sala | 22,19 | 24,93 | 0,02 | 8,22 | 0,01 | 8,22 | 0,03 | 1,44 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 1,68 | 0,04 | 1,47 | 1,00 | 1,49 |
| Quarto 01 | 21,06 | 27,32 | 0,02 | 7,80 | 0,01 | 7,80 | 0,03 | 1,44 | 0,02 | 1,47 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 1,00 | 3,64 |
| Quarto 02 | 21,06 | 27,27 | 0,02 | 7,77 | 0,01 | 7,77 | 0,03 | 1,44 | 0,02 | 1,47 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 1,00 | 3,65 |
| Cozinha | 14,50 | 24,34 | 0,02 | 5,37 | 0,01 | 5,37 | 0,03 | 0,72 | 0,02 | 2,73 | 0,03 | 1,68 | 0,04 | 1,47 | 1,00 | 1,00 |

Obs.

- 1) Tomando-se como referencial para avaliação do tempo de reverberação ótimo -TRO- o nomograma da NBR-12179:1992 (p.9), tem-se para volumes até 30m³ o valor de TRO na faixa de 0,2s a 1,0s;
- 2) O cálculo resultante não inclui os efeitos devidos à ocupação (pessoas, mobiliário).

Quadro 27 – Tempo de reverberação considerando a unidade ocupada (calculado)

| Ambiente | Vol. | Alvenaria pintada e rebocada | | Forro de PVC | | Piso cerâmico | | Vidraça de janela | | Portas de madeira | | Portas de metal | | Abertura para outro ambiente | | Pessoas | | Mobiliário | | Tempo de reverberação (segundos) |
|-----------|-------|------------------------------|---------------------|--------------|---------------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|---------------------|---------|---------------------|------------|---------------------|----------------------------------|
| | | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | Quant. | coef. Abs. (f=1kHz) | Área | coef. Abs. (f=1kHz) | |
| Sala | 22,19 | 24,93 | 0,02 | 8,22 | 0,01 | 8,22 | 0,03 | 1,44 | 0,20 | 0,00 | 0,03 | 1,68 | 0,04 | 1,47 | 1,00 | 3,00 | 0,22 | 2,00 | 0,20 | 0,96 |
| Quarto 01 | 21,06 | 27,32 | 0,02 | 7,80 | 0,01 | 7,80 | 0,03 | 1,44 | 0,20 | 1,47 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 0,22 | 6,32 | 0,10 | 1,50 |
| Quarto 02 | 21,06 | 27,27 | 0,02 | 7,77 | 0,01 | 7,77 | 0,03 | 1,44 | 0,20 | 1,47 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 0,22 | 6,32 | 0,10 | 1,50 |
| Cozinha | 14,50 | 24,34 | 0,02 | 5,37 | 0,01 | 5,37 | 0,03 | 0,72 | 0,02 | 2,73 | 0,03 | 1,68 | 0,04 | 1,47 | 1,00 | 1,00 | 0,22 | 1,00 | 0,05 | 0,90 |

Obs.

- 1) Tomando-se como referencial para avaliação do tempo de reverberação ótimo -TRO- o nomograma da NBR-12179:1992 (p.9), tem-se para volumes até 30m³ o valor de TRO na faixa de 0,2s a 1,0s;
- 2) O cálculo resultante não inclui os efeitos devidos à ocupação (pessoas, mobiliário);
- 3) O valor do coeficiente de absorção acústica por pessoa foi admitido como a metade do disponibilizado na tab. 2 da NBR12179:1992 (p.7), referente a 'uma pessoa com cadeira' (f=500Hz).

4.3 Opinião dos usuários

Das 132 unidades construídas no conjunto habitacional, em 108 moradias (82% das unidades) foi possível entrevistar pelo menos uma pessoa. Em uma das 24 unidades em que não houve entrevista, os moradores não se dispuseram a participar do processo de pesquisa e nas outras 23 foram feitas três tentativas de contato, porém os moradores não foram encontrados nas casas em nenhuma das ocasiões (Figura 31).

4.3.1 Conforto térmico

Quando questionados a respeito do conforto térmico proporcionado pela envoltória de suas casas, 60,7% dos moradores do CHBJC manifestaram sentir algum desconforto térmico por frio. Quanto ao desconforto por calor, 61% dos entrevistados também manifestaram sentir algum tipo de incômodo. A sala e o quarto 2 foram os ambientes mais apontados como desconfortáveis em épocas de frio e os quartos 1 e 2 foram apontados como os ambientes mais desconfortáveis no período quente.

A partir dos dados obtidos nas entrevistas, foi possível espacializar as manifestações de incômodo e identificar áreas do conjunto que apresentam um maior número de manifestações de desconforto, tanto por frio como por calor (Figura 32 e Figura 33). Na análise dessas áreas, foi possível perceber que na maioria das unidades que têm fachada frontal voltada para a Rua Euter Paniago não houve manifestação de incômodo térmico, tanto por frio como por calor. O melhor desempenho térmico dessas unidades provavelmente se deve à presença de uma área verde que faz divisa com os fundos dos lotes de todas as unidades.

Confrontando-se os resultados da avaliação do desempenho térmico com as manifestações dos usuários, foi possível constatar que, mesmo obtendo-se nível de desempenho acima do mínimo (medições de inverno), os moradores das unidades U-062 e U-063 manifestaram sentir incômodo por frio em um dos ambientes internos (Quarto 1 e Cozinha, respectivamente). No entanto, as unidades que obtiveram melhor desempenho nas medições de inverno se encontram fora das demarcações das áreas com maior número de manifestações de incômodo ao frio. Quanto às manifestações de incômodo por calor, das unidades medidas somente os moradores da U-097 manifestaram sentir incômodo em pelo menos um ambiente (Quarto 1). Esse resultado converge com a avaliação do desempenho térmico feita pelo método de campo, uma vez que apesar de todas as unidades terem alcançado o nível mínimo de desempenho, a U-097 apresentou a pior avaliação das três. Os ambientes mais apontados pelos moradores como termicamente incômodos, quando está fazendo frio, não correspondem aos ambientes com perfis de temperaturas mais baixos medidos. O mesmo ocorre com as manifestações de incômodo por calor, em que os ambientes mais apontados como incômodos não são os que apresentaram perfis de temperaturas mais altos durante as medições. Esse resultado, aparentemente contraditório, pode ser justificado pelos hábitos dos moradores. A maioria dos entrevistados desenvolvem atividades laborais fora do seu domicílio, ou seja, permanecem o período diurno fora de suas residências, retornando somente no período noturno. Após o regresso, os moradores, de forma geral, adotam uma postura de repouso,

permanecendo por maiores períodos nas salas e quartos, justamente os compartimentos apontados como incômodos tanto por frio quanto por calor. O fato de não permanecerem por longos períodos no ambiente cozinha, ambiente que apresentou os perfis de temperatura mais baixos, pode ter influenciado nas suas respostas e o mesmo não foi apontado como incômodo.



| Resultado da avaliação do desempenho térmico pelo método de campo no período de inverno | | | |
|--|---|---|---------------------|
| Não alcançou o nível mínimo | Nível mínimo | Nível intermediário | Nível superior |
| U-052; U-068 (26/07/2012); U-090; U-097 (20/07/2012); U-122; U-125 (18/07/2012); U-126. | U-062 (26/07/2012); U-068 (27/07/2012); U-125 (19/07/2012). | U-062 (24/07/2012); U-063 (24/07/2012); U-097 (19/07/2012). | U-063 (25/07/2012). |

- Regiões com maior número de manifestações de desconforto por frio
- Unidades em que foram realizadas as medições de inverno

Figura 32 – Setorização quanto às condições de conforto térmico (desconforto por frio) manifestado pelos moradores durante as entrevistas



| Resultado da avaliação do desempenho térmico pelo método de campo no período de verão | | | |
|---|---------------------|--|--|
| Não alcançou o nível mínimo | Nível mínimo | Nível intermediário | Nível superior |
| X | U-097 (11/12/2012). | U-063 (11/12/2012); U-097 (10/12/2012); U-130 (11/07/2012, 12/12/2012). | U-063 (10/12/2012, 12/12/2012); U-097 (12/12/2012); U-130 (10/12/2012). |

- Regiões com maior número de manifestações de desconforto por calor
- Unidades em que foram realizadas as medições de verão

Figura 33 – Setorização quanto às condições de conforto térmico (desconforto por calor) manifestado pelos moradores durante as entrevistas

4.3.2 Conforto auditivo

As entrevistas realizadas com os moradores permitiram identificar:

- (i) cinco zonas com um maior número de reclamações por desconforto auditivo;
- (ii) uma zona sem manifestações de incômodo;
- (iii) as principais fontes de ruído causadoras do incômodo (Figura 34).

A Zona 1 se localiza na parte de cotas mais baixas do conjunto e tem como principal fonte de ruído o *playground*, localizado muito próximo às unidades. No centro da Zona 2 se encontra a principal via de entrada para o conjunto e o ponto de ônibus, que é a principal fonte de ruído dessa zona. A Zona 3 está localizada no centro da parte de cota mais alta do conjunto e, da entrevista e de conversas informais com os moradores, pôde-se constatar que a principal fonte de ruído da zona é a U-115 (som alto; longos períodos com vozerio resultante de problemas de convivência familiar). A Zona 4 se localiza ao centro da via mais extensa do conjunto e a principal fonte de ruído nessa zona são os motores das motocicletas que circulam com mias frequência nas proximidades das unidades U-097 e U-110. A Zona 5 está localizada na parte de cotas mais altas do conjunto e no final da principal via; essa zona também tem como principal fonte de ruídos motocicletas que circulam próximas da esquina entre a Rua José Chequer e a Rua Euter Paniago. Já a Zona 6, que fica entre as zonas 3 e 5, é caracterizada pela ausência de manifestações de incômodo auditivo. As medições de pressão sonora realizadas dentro das unidades selecionadas confirmaram os resultados das entrevistas. Houve apenas duas divergências: na U-062 e na U-052. Apesar de a U-062 estar localizada muito próxima de unidades onde houve manifestação de incômodo por parte dos seus usuários, os moradores da U-062 alegaram não se sentir incomodados, mas as medições de pressão sonora feitas na parte interna da unidade mostraram que em apenas 41% das medições do dia 24/07/2012 e 36% das medições do dia 26/07/2012 alcançaram níveis de conforto ou aceitáveis, permanecendo a maior parte das vezes em situação de desconforto. Foi observado também que parte considerável do ruído presente na parte interna da U-062 é gerada pelos próprios moradores da edificação. Já na U-052, apesar de os moradores manifestarem sentir desconforto, os resultados das medições internas mostraram que na maior parte das vezes, 81% das medições do dia 21/07/2012 e 67% das medições do dia 22/07/2012, a pressão sonora dentro da unidade estava dentro dos níveis de conforto e aceitáveis.

Quanto à audibilidade e inteligibilidade da fala entre ambientes da mesma unidade, 53,3% dos 107 moradores entrevistados alegam não compreenderem conversas que estejam acontecendo no ambiente ao lado, na mesma residência, se todas as portas e janelas estiveram fechadas. No entanto, 42,0% dos entrevistados afirmaram compreender o conteúdo das conversas na mesma situação. Esses resultados indicam haver uma discordância entre as respostas, o que apresenta a necessidade de estudos mais aprofundados a esse respeito.



Porcentagem de medições de pressão sonora em condições de conforto ou aceitáveis

| | U-052 | | U-062 | | U-063 | | U-068 | | U-090 | | U-097 | | U-122 | | U-125 | | U-126 | |
|----------|----------|-----------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Dia 21 | Dia 22 | Dia 24 | Dia 26 | Dia 24 | Dia 25 | Dia 26 | Dia 27 | Dia 20 | Dia 21 | Dia 19 | Dia 20 | Dia 13 | Dia 14 | Dia 18 | Dia 19 | Dia 14 | Dia 18 |
| | (Sábado) | (Domingo) | (Terça) | (Quinta) | (Terça) | (Quarta) | (Quinta) | (Sexta) | (Sexta) | (Sábado) | (Quinta) | (Sexta) | (Sexta) | (Sábado) | (Quarta) | (Quinta) | (Sábado) | (Quarta) |
| Internas | 83% | 68% | 46% | 36% | 33% | 29% | 58% | 58% | 82% | 46% | 50% | 42% | 82% | 61% | 88% | 75% | 79% | 86% |
| Externas | 50% | 43% | 67% | 86% | 17% | 33% | 29% | 50% | 67% | 50% | 33% | 33% | 71% | 29% | 80% | 83% | 71% | 71% |

Figura 34 – Setorização quanto às condições de conforto auditivo manifestado pelos moradores durante as entrevistas

5

Conclusões

5 Conclusões

5.1 Conclusões gerais

Importante aspecto inicial para a realização deste trabalho de pesquisa foi o processo de levantamento e estudo do disponível na literatura sobre as principais políticas habitacionais no Brasil, com ênfase nos aspectos arquitetônicos e construtivos, nas ações para implementá-las e nos resultados alcançados. Com essa etapa da pesquisa, buscou-se identificar, ao longo do tempo, modelos de referência que têm sido adotados para edificações, particularmente para a produção de unidades habitacionais para as classes economicamente menos favorecidas. Ao final da etapa de revisão de literatura sobre a evolução da política habitacional brasileira (seção 2.1), pôde-se constatar, que problemas já identificados no atual Programa do Governo Federal, o Minha Casa Minha Vida, como por exemplo a repetição de soluções arquitetônicas sem considerar o clima e outros fatores locais, não são novidades no cenário das políticas habitacionais brasileiras. Outros programas que antecederam o PMCMV, como o do BNH ou dos IAPs sofreram o mesmo tipo de crítica durante a sua atuação. O que se percebe é que de uma política habitacional para outra são alterados os mecanismos de aquisição dos imóveis, as fontes de financiamento, os subsídios etc., mas a qualidade das habitações continua a mesma, principalmente no que diz respeito ao seu comportamento ambiental.

Quanto aos materiais constituintes e os sistemas construtivos das unidades analisadas no Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso, foi identificada a utilização de materiais de uso corrente na construção civil brasileira como: blocos estruturais de concreto, telhas cerâmicas, esquadrias de chapa metálica dobrada, entre outros. Os sistemas e subsistemas construtivos são de execução simples: alvenaria estrutural sobre um *radier* de concreto moldado *in loco*, com cobertura em telha cerâmica sustentada por um engradamento metálico. A partir da análise dos resultados obtidos pelo método simplificado pode-se concluir que a unidade tipo não atende ao nível mínimo de desempenho térmico por esse método. No entanto, as unidades com paredes pintadas externamente nas cores amarelo e laranja apresentam um melhor desempenho térmico em relação às unidades com paredes pintadas de

outras cores. Também pôde ser constatado que não foram feitos estudos aprofundados a respeito da adequação do projeto base ao clima de Viçosa-MG, uma vez que não há qualquer evidência de que as recomendações e diretrizes da NBR 15220 ou os requisitos e critérios da NBR 15575 tenham sido seguidos. Os resultados obtidos na avaliação do elemento cobertura requerem especial atenção quanto ao desempenho térmico do modelo arquitetônico e construtivo adotado causam preocupação, uma vez que a cobertura é o elemento das edificações que fica exposto por mais tempo a radiação solar direta, principalmente em latitudes como as da maior parte do território brasileiro.

Pelo método de avaliação do desempenho térmico por medições *in loco*, foi possível concluir que as unidades analisadas atendem ao nível mínimo de desempenho térmico no período de verão, mas apresentam, em geral, um desempenho térmico abaixo do mínimo prescrito para o período de inverno. Também foi constatado que as unidades com paredes pintadas externamente com a cor verde capim-limão obtiveram um perfil de temperatura mais alto no inverno se comparadas às unidades pintadas de outras cores. O mesmo não se repete no período de verão. No entanto, mesmo apresentando um desempenho inferior, se comparadas às unidades pintadas externamente com a cor comercial laranja tangerina, as unidades pintadas externamente com a cor verde capim-limão alcançaram o nível mínimo de desempenho térmico no período de verão. A cozinha, ambiente que apresentou os perfis de temperatura mais baixos durante as medições, pode ter esse resultado atribuído ao hábito dos moradores de deixar a porta da cozinha aberta. No entanto, constatou-se que esse hábito pode ser útil no verão, mas certamente desfavorável no inverno.

Quanto à análise pela carta adaptada de Givoni, conclui-se que estratégias como ventilação cruzada, uso de massa térmica tanto para refrigeração como para aquecimento e o aquecimento solar das edificações podem ser úteis para melhorar o desempenho térmico de edificações construídas na região onde o estudo foi realizado.

Da análise de desempenho acústico, pôde-se concluir que o requisito ‘isolamento acústico de vedações externas’ foi atendido em mais de 83% dos casos, o que correspondeu ao atendimento do nível mínimo de desempenho. Ainda que, do ponto de vista construtivo, esse possa ser considerado um bom resultado, há que se salientar que 39% das medições internas de nível de pressão sonora superaram o valor considerado limite aceitável pela NBR 10152 e 46% das externas apresentaram valores acima do valor limite para conforto estabelecido pela NBR 10151, o que ratifica as manifestações de incômodo auditivo dos moradores entrevistados. Também se confirmou que as principais fontes de ruído causadoras de incômodo são as geradas pelos próprios moradores, como os do *playground*, os provenientes

do ponto de ônibus ou, mesmo, os gerados em função das atividades cotidianas nas próprias moradias.

Quanto à perda de transmissão sonora, não só os cálculos previam como foi confirmado por meio das medições que as principais deficiências de isolamento acústico das unidades estão nos componentes funcionais portas de metal e janelas. Entretanto, a perda de transmissão sonora real proporcionada por esses componentes pode ser menor que a calculada, principalmente com a constatação da existência de frestas nas esquadrias, que não foram consideradas no cálculo.

Quanto à análise dos resultados do cálculo do tempo de reverberação, concluiu-se que o resultado obtido em alguns ambientes, mesmo considerando a presença de pessoas e o mobiliário, está fora da faixa de tempo ótimo de reverberação obtida pelo nomograma da NBR 12179.

5.2 Recomendações

Recomendações para melhorar o desempenho ambiental das unidades analisadas

- instalar dispositivos de sombreamento que possam ser controlados manualmente, como venezianas ou brises móveis, em dormitórios cujas janelas têm orientação oeste e norte;
- substituir os forros de PVC por componentes construtivos que proporcionem melhorias das características termoacústicas da cobertura.

Recomendações para construção de projetos semelhantes na cidade de Viçosa-MG

- utilizar paredes internas com maior inércia térmica;
- rever o projeto e o processo construtivo do subsistema cobertura, visando a melhorar o seu desempenho térmico;
- rever o projeto quanto à configuração das esquadrias, para que esses elementos funcionais proporcionem melhor comportamentos térmico, acústico e estrutural;
- utilizar aberturas maiores que atendam as relações abertura/piso indicadas pelas normas, quanto ao aspecto térmico;
- prever, na fase de planejamento do projeto urbanístico, que a localização de equipamentos urbanos, como pontos de ônibus e *playground*, não se traduzam em ou causem impactos acústicos para os moradores.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

No desenvolvimento desta pesquisa observaram-se ramificações e limitações do tema, que poderiam ser mais exploradas. Assim, algumas recomendações de trabalhos que podem colaborar com o desenvolvimento de conhecimento científico na área do desempenho ambiental das edificações e da habitação de interesse social, talvez até mesmo no próprio Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso, são:

- Avaliação do desempenho lumínico de unidades habitacionais construídas;
- Avaliação Pós-Ocupação (APO) do conjunto habitacional;
- Avaliação dos efeitos da ventilação no desempenho térmico das unidades habitacionais construídas.

Importante aspecto inicial para a realização deste trabalho de pesquisa foi o processo de levantamento e estudo do disponível na literatura sobre as principais políticas habitacionais no Brasil, com ênfase nos aspectos arquitetônicos e construtivos, nas ações para implementá-las e nos resultados alcançados. Com essa etapa da pesquisa, buscou-se identificar, ao longo do tempo, modelos de referência que têm sido adotados para edificações, particularmente para a produção de unidades habitacionais para as classes economicamente menos favorecidas. Ao final da etapa de revisão de literatura sobre a evolução da política habitacional brasileira (seção 2.1), pôde-se constatar, que problemas já identificados no atual Programa do Governo Federal, o Minha Casa Minha Vida, como por exemplo a repetição de soluções arquitetônicas sem considerar o clima e outros fatores locais, não são novidades no cenário das políticas habitacionais brasileiras. Outros programas que antecederam o PMCMV, como o do BNH ou dos IAPs sofreram o mesmo tipo de crítica durante a sua atuação. O que se percebe é que de uma política habitacional para outra são alterados os mecanismos de aquisição dos imóveis, as fontes de financiamento, os subsídios etc., mas a qualidade das habitações continua a mesma, principalmente no que diz respeito ao seu comportamento ambiental.

Quanto aos materiais constituintes e os sistemas construtivos das unidades analisadas no Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso, foi identificada a utilização de materiais de uso corrente na construção civil brasileira como: blocos estruturais de concreto, telhas cerâmicas, esquadrias de chapa metálica dobrada, entre outros. Os sistemas e subsistemas construtivos são de execução simples: alvenaria estrutural sobre um *radier* de concreto moldado *in loco*, com cobertura em telha cerâmica sustentada por um engradamento metálico. A partir da análise dos resultados obtidos pelo método simplificado pode-se concluir que a unidade tipo não atende ao nível mínimo de desempenho térmico por esse método. No

entanto, as unidades com paredes pintadas externamente nas cores amarelo e laranja apresentam um melhor desempenho térmico em relação às unidades com paredes pintadas de outras cores. Também pôde ser constatado que não foram feitos estudos aprofundados a respeito da adequação do projeto base ao clima de Viçosa-MG, uma vez que não há qualquer evidência de que as recomendações e diretrizes da NBR 15220 ou os requisitos e critérios da NBR 15575 tenham sido seguidos. Os resultados obtidos na avaliação do elemento cobertura requerem especial atenção quanto ao desempenho térmico do modelo arquitetônico e construtivo adotado causam preocupação, uma vez que a cobertura é o elemento das edificações que fica exposto por mais tempo a radiação solar direta, principalmente em latitudes como as da maior parte do território brasileiro.

Pelo método de avaliação do desempenho térmico por medições *in loco*, foi possível concluir que as unidades analisadas atendem ao nível mínimo de desempenho térmico no período de verão, mas apresentam, em geral, um desempenho térmico abaixo do mínimo prescrito para o período de inverno. Também pode ser constatado que, as unidades com paredes pintadas externamente com a cor verde capim-limão obtiveram um perfil de temperatura mais alto no inverno se comparadas às unidades pintadas de outras cores. O mesmo não se repete no período de verão. No entanto, mesmo apresentando um desempenho inferior, se comparadas às unidades pintadas externamente com a cor comercial laranja tangerina, as unidades pintadas externamente com a cor verde capim-limão alcançaram o nível mínimo de desempenho térmico no período de verão. A cozinha, ambiente que apresentou os perfis de temperatura mais baixos durante as medições, pode ter esse resultado atribuído ao hábito dos moradores de deixar a porta da cozinha aberta. No entanto, constatou-se que esse hábito pode ser útil no verão, mas certamente desfavorável no inverno.

Quanto à análise pela carta adaptada de Givoni, conclui-se que estratégias como ventilação cruzada, uso de massa térmica tanto para refrigeração como para aquecimento e o aquecimento solar das edificações podem ser úteis para melhorar o desempenho térmico de edificações construídas na região onde o estudo foi realizado.

Da análise de desempenho acústico, pôde-se concluir que o requisito ‘isolamento acústico de vedações externas’ foi atendido em mais de 83% dos casos, o que correspondeu ao atendimento do nível mínimo de desempenho. Ainda que, do ponto de vista construtivo, esse possa ser considerado um bom resultado, há que se salientar que 39% das medições internas de nível de pressão sonora superaram o valor considerado limite aceitável pela NBR 10152 e 46% das externas apresentaram valores acima do valor limite para conforto estabelecido pela NBR 10151, o que ratifica as manifestações de incômodo auditivo dos moradores

entrevistados. Também se confirmou que as principais fontes de ruído causadoras de incômodo são as geradas pelos próprios moradores, como os do *playground*, os provenientes do ponto de ônibus ou, mesmo, os gerados em função das atividades cotidianas nas próprias moradias.

Quanto à perda de transmissão sonora, não só os cálculos previam como foi confirmado por meio das medições que as principais deficiências de isolamento acústico das unidades estão nos componentes funcionais portas de metal e janelas. Entretanto, a perda de transmissão sonora real proporcionada por esses componentes pode ser menor que a calculada, principalmente com a constatação da existência de frestas nas esquadrias, que não foram consideradas no cálculo.

Quanto à análise dos resultados do cálculo do tempo de reverberação, concluiu-se que o resultado obtido em alguns ambientes, mesmo considerando a presença de pessoas e o mobiliário, está fora da faixa de tempo ótimo de reverberação obtida pelo nomograma da NBR 12179.

5.4 Recomendações

Recomendações para melhorar o desempenho ambiental das unidades analisadas

- instalar dispositivos de sombreamento que possam ser controlados manualmente, como venezianas ou brises móveis, em dormitórios cujas janelas têm orientação oeste e norte;
- substituir os forros de PVC por componentes construtivos que proporcionem melhorias das características termoacústicas da cobertura.

Recomendações para construção de projetos semelhantes na cidade de Viçosa-MG

- utilizar paredes internas com maior inércia térmica;
- rever o projeto e o processo construtivo do subsistema cobertura, visando a melhorar o seu desempenho térmico;
- rever o projeto quanto à configuração das esquadrias, para que esses elementos funcionais proporcionem melhor comportamentos térmico, acústico e estrutural;
- utilizar aberturas maiores que atendam as relações abertura/piso indicadas pelas normas, quanto ao aspecto térmico;
- prever, na fase de planejamento do projeto urbanístico, que a localização de equipamentos urbanos, como pontos de ônibus e *playground*, não se traduzam em ou causem impactos acústicos para os moradores.

5.5 Sugestões para trabalhos futuros

No desenvolvimento desta pesquisa observaram-se ramificações e limitações do tema, que poderiam ser mais exploradas. Assim, algumas recomendações de trabalhos que podem colaborar com o desenvolvimento de conhecimento científico na área do desempenho ambiental das edificações e da habitação de interesse social, talvez até mesmo no próprio Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso, são:

- Avaliação do desempenho lumínico de unidades habitacionais construídas;
- Avaliação Pós-Ocupação (APO) do conjunto habitacional;
- Avaliação dos efeitos da ventilação no desempenho térmico das unidades habitacionais construídas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 4p.

_____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4p.

_____. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992. 9p.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003. 21p.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003. 23p.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575-5**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2008.

BELOJEVIC, G.; KIM, R.; KEPHALOPOULOS, S. **Assessment of needs for capacity-building for health risk assessment of environmental noise: case studies**. Dinamarca: WHO, 2012, 38p.

BONDUKI, N. **Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria**. 4. ed. São Paulo: Estação Liberdade, 2004.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.

BRASIL. Lei n. 11977, de 7 de julho de 2009. **Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas**. Disponível em: < http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/Leis/L11977compilado_2009_07_07.pdf> Acesso em: 05 Fev. 2013.

_____. **Política Nacional de Habitação**. Cadernos MCidades Habitação, Brasília, v. 4, 2004.

CORREIA, C. M. P. **Conforto termo-acústico de uma habitação de baixo custo**. 2009. 93 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2009.

CURCIO, D. R.; SILVA, A. C. S. B. Análise qualitativa do desempenho térmico de empreendimentos de habitação de interesse social na cidade de Pelotas-RS. In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: X ENCAC/VI ELACAC, 2009. p. 978-987.

DARDENGO, Cássia Figueiredo Rossi. **Identificação de patologias e proposição de diretrizes de manutenção preventiva em edifícios residenciais multifamiliares da cidade de Viçosa-MG**. 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado) UVF. Viçosa, MG: UFV, 2010.

DUARTE, E. A. C.; VIVEIROS, E. B. Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação. **Rev. Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 7, n. 3, p. 159-159, Jul./Set. 2007.

FERREIRA, J. A. C.; ZANNIN, P. H. T. Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições *in situ* e simulação computacional. **Rev. Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 7, n. 2, p. 15-29, Abr./Jun. 2007.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. 2009. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.

FRANÇA, P.; NIEMEYER, M. L.; SANTOS, M. Análise de conforto acústico do Conjunto Habitacional Bento Ribeiro Dantas, e avaliação da interferência do ruído da via expressa linha amarela sobre as habitações. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: XI ENCAC/VII ELACAC, 2011.

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

GEMELLI, C. B. **Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: o caso da escola municipal de ensino fundamental Frei Pacífico**. 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Método de avaliação global de desempenho higrotérmico de habitação de interesse social para Porto Alegre – RS - Brasil. **Rev. Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 10, n. 2, p. 101-114, Abr./Jun. 2010. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/12067>>. Acesso em: 26 Fev. 2012.

IBGE. **Censo**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 05 de jun. 2011.

JESUS, C. N. **Programas setoriais da qualidade na construção civil no segmento de obras: implementação e análise crítica**. 2002. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. São Paulo, 2002.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. (Org.). **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras – Editora e Gráfica, 2010.

LORENZETTI, Maria Sílvia Barros. **A questão habitacional no Brasil**. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2001.

MACIEL, M. M. **Habitação em madeira no trópico úmido – avaliação do conforto térmico em protótipo de madeira na cidade de Belém-Pará.** 2006. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Programa Minha Casa, Minha Vida alcança a marca de 1 milhão de moradias construídas, afirma Dilma. **Blog do Planalto**, Brasília, 27 ago. 2012. Disponível em: <<http://blog.planalto.gov.br/programa-minha-casa-minha-vida-alcanca-a-marca-de-1-milhao-de-moradias-construidas-afirma-dilma/>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

_____. **Minha Casa Minha Vida.** Disponível em <http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/cartilha_minha_casa_minha_vida.pdf> Acesso em: 05 fev. 2013a.

_____. **Minha Casa, Minha Vida – PMCMV.** Disponível em <<http://www.cidades.gov.br/index.php/minha-casa-minha-vida>> Acesso em: 04 fev. 2013b.

_____. **Déficit habitacional 2008.** Brasília, 2010.

_____. Meta do Minha Casa Minha Vida é contratar 3,4 milhões de moradias até 2014, diz ministro das Cidades. **Blog do Planalto**, Brasília, 30 jan. 2013. Disponível em: <<http://blog.planalto.gov.br/meta-do-minha-casa-minha-vida-e-contratar-34-milhoes-de-moradias-ate-2014-diz-ministro-das-cidades/>>. Acesso em: 02 fev. 2013c.

_____. **Programa Brasileiro de Produtividade e Qualidade do Habitat.** Disponível em: <<http://www4.cidades.gov.br/pbqp-h/index.php>>. Acesso em: 04 fev. 2013d.

MORAES, O. **Avaliação do desempenho térmico de uma residência na região central de Campinas.** 1999. 227 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

MORENO, A. C. R. ; SOUZA, R. V. G. Análise de desempenho térmico em habitações de interesse social em Montes Claros-MG. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: XI ENCAC/VII ELACAC, 2011.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia.** 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

NETO, M. F. F. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais.** 2009. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.

NETO, M. F. F.; BERTOLI, S. R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmicos: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Rev. Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 10, n. 4, p. 169-180, Out./Dez. 2010. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/12178>>. Acesso em: 26 Fev. 2012.

OLIVEIRA, E.L. et al. **Demanda futura por moradias no Brasil 2003-2023: uma abordagem demográfica.** Brasília: Ministério das Cidades, 2009.

ORNSTEIN, S. W.; ROMÉRO, M. **Avaliação pós-ocupação do ambiente construído.** São Paulo, Studio Nobel, Editora da USP, 1992.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica.** 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

POLÍTICA urbana não é uma soma de obras. **Tribuna do Norte**, Natal, RN, 22 abr. 2012. Disponível em: <<http://tribunadonorte.com.br/noticia/politica-urbana-nao-e-uma-soma-de-obras/218295>>. Acesso em: 04 fev. 2013.

POLLI, T. **O isolamento acústico comparado aos investimentos financeiros em edifícios multifamiliares de Florianópolis.** 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

QUEIROZ, C. S. **Avaliação do isolamento sonoro nas fachadas de edifícios residenciais. estudo de caso: o processo evolutivo na Avenida Beira Mar / Florianópolis.** 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

ROLNIK, R. Moradia popular no lixo: imagens de um Brasil que precisamos encarar. **Blog Raquel Rolnik**, 12 abr. 2012. Disponível em < <http://raquelrolnik.wordpress.com/2012/04/12/moradia-popular-no-lixo-imagens-de-um-brasil-que-precisamos-encarar/> > Acesso em: 04 fev. 2013.

SANTOS, D. C. J. V. **Avaliação da aplicação da norma de ruído ambiental em municípios da região de São João da Boa Vista**. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

SOUZA, H. A.; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em *light steel framing*. **Rev. Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 11, n. 4, p. 113-128, Out./Dez. 2011.

SPANNENBERG, M. G. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: estudos de caso em Maraus-RS**. 2006. 189 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

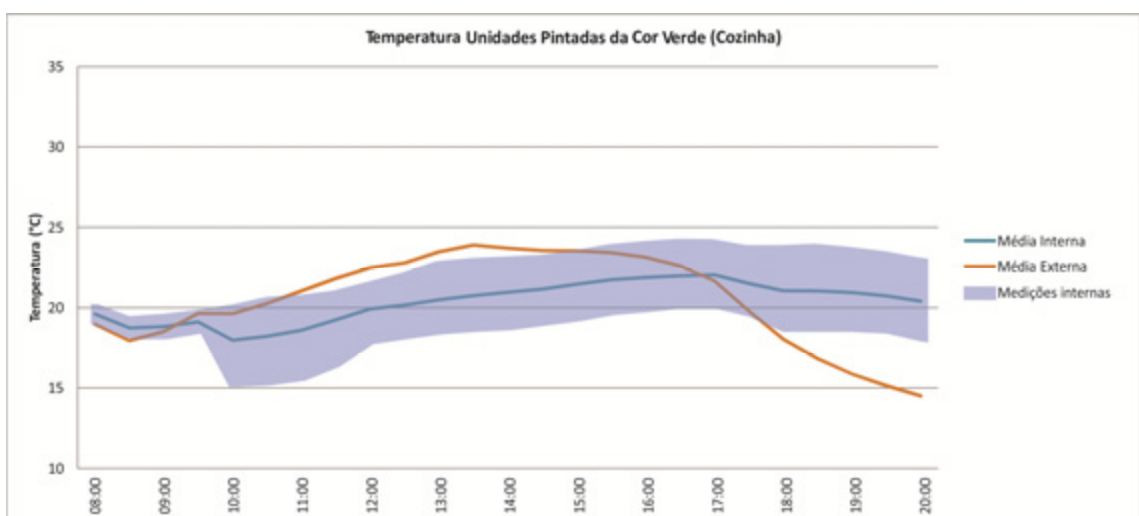
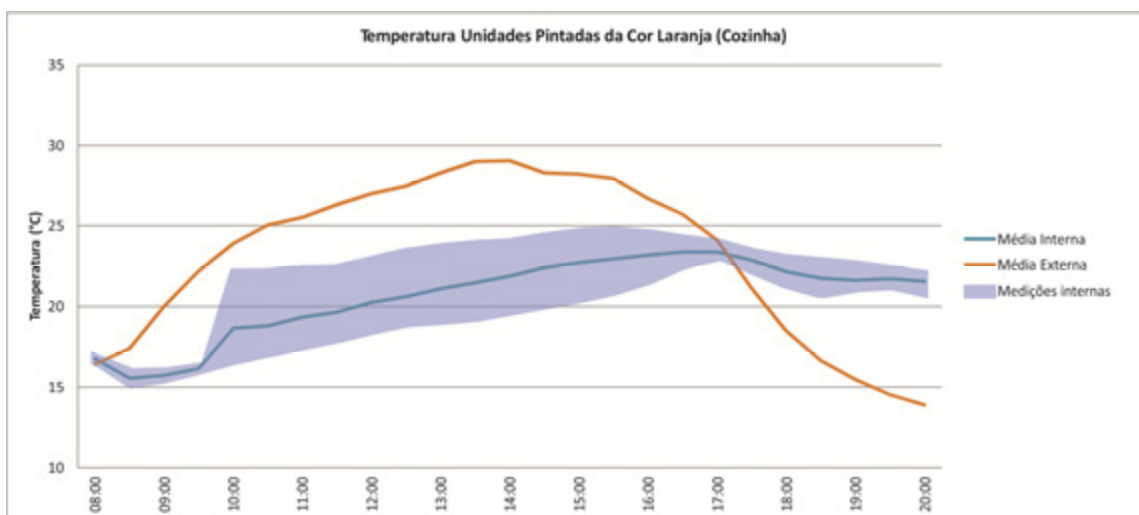
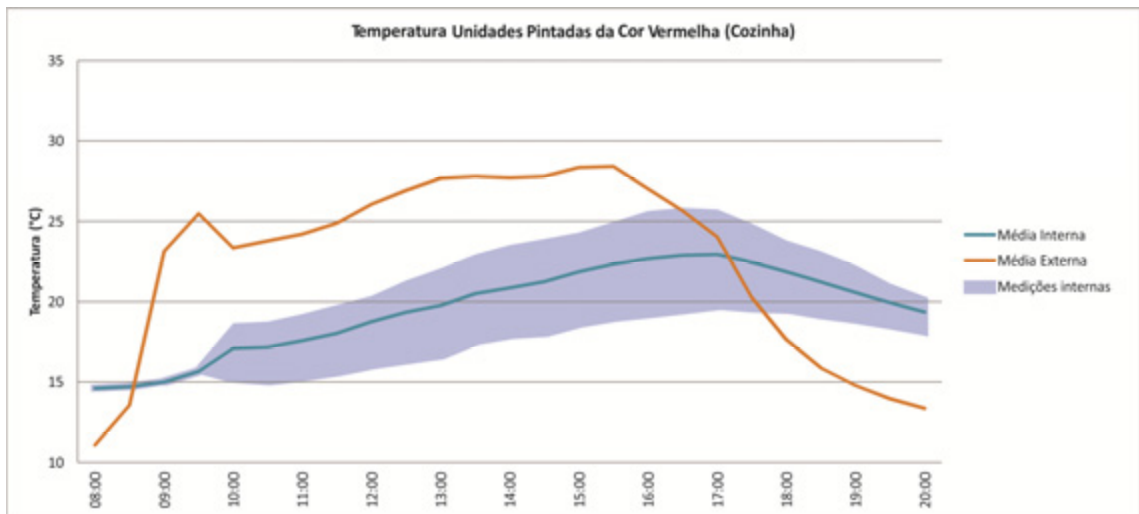
UFV. **A cidade de Viçosa**. Disponível em: <<http://www.ufv.br/>> Acesso em: 05 de jun. 2011.

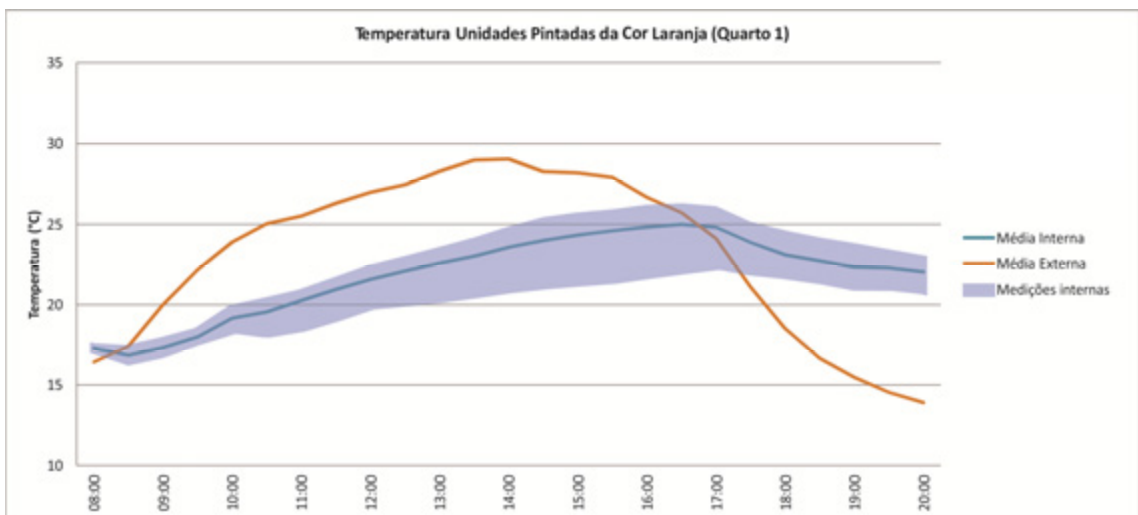
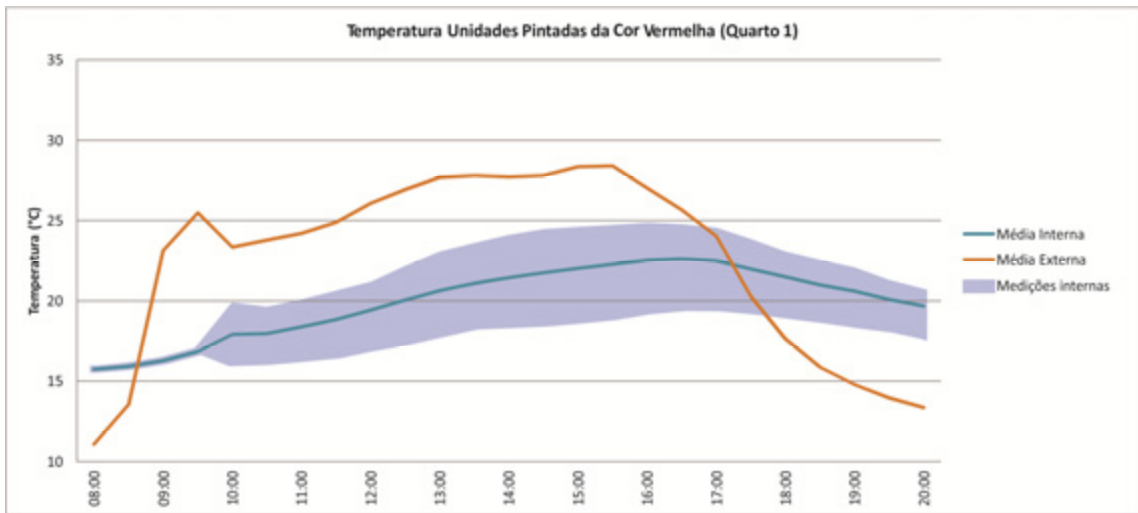
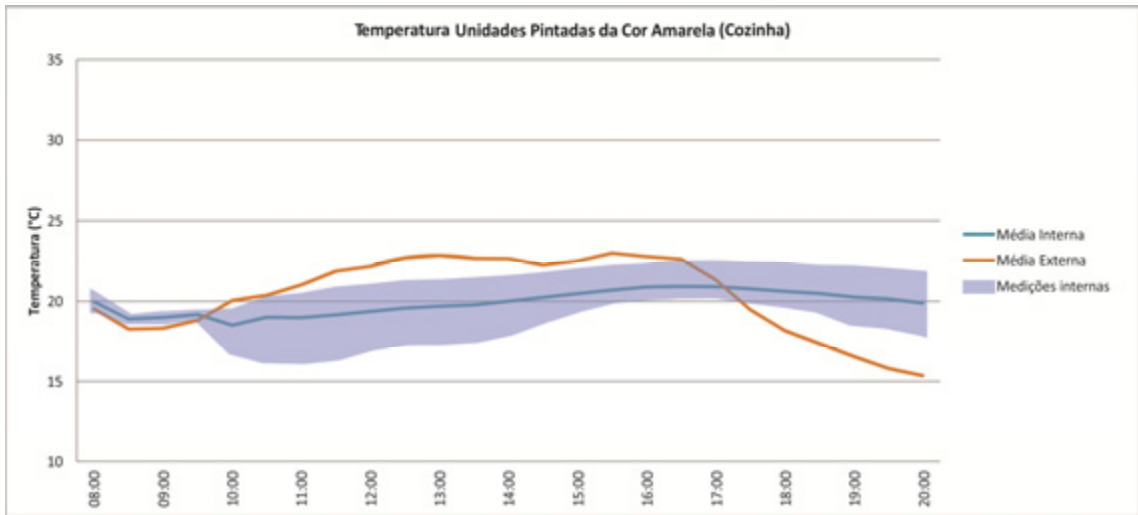
VIÇOSA, Lei n. 1420, de 21 de dezembro de 2000. **Institui a lei de ocupação, uso do solo e zoneamento do Município de Viçosa**, 2000.

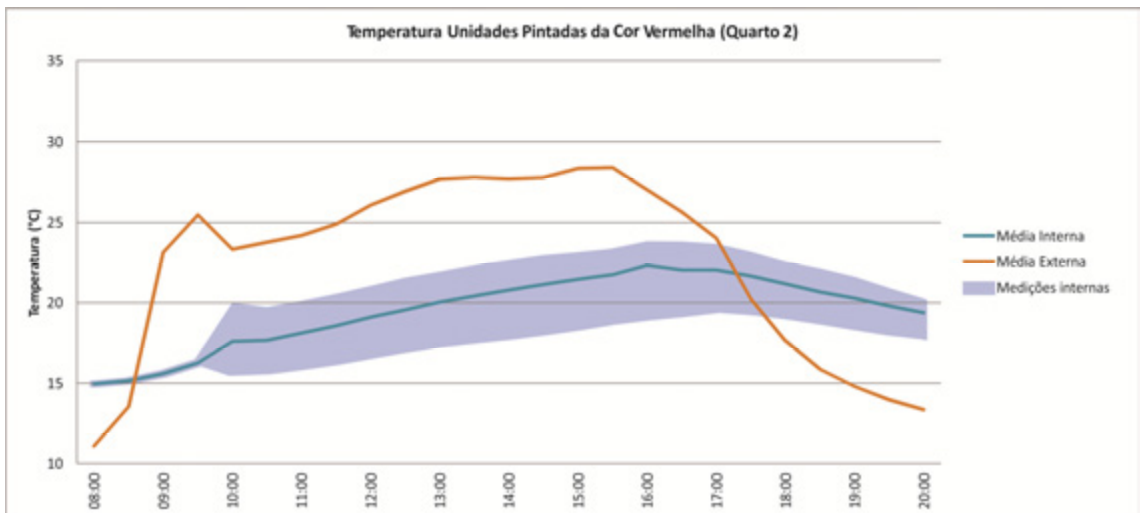
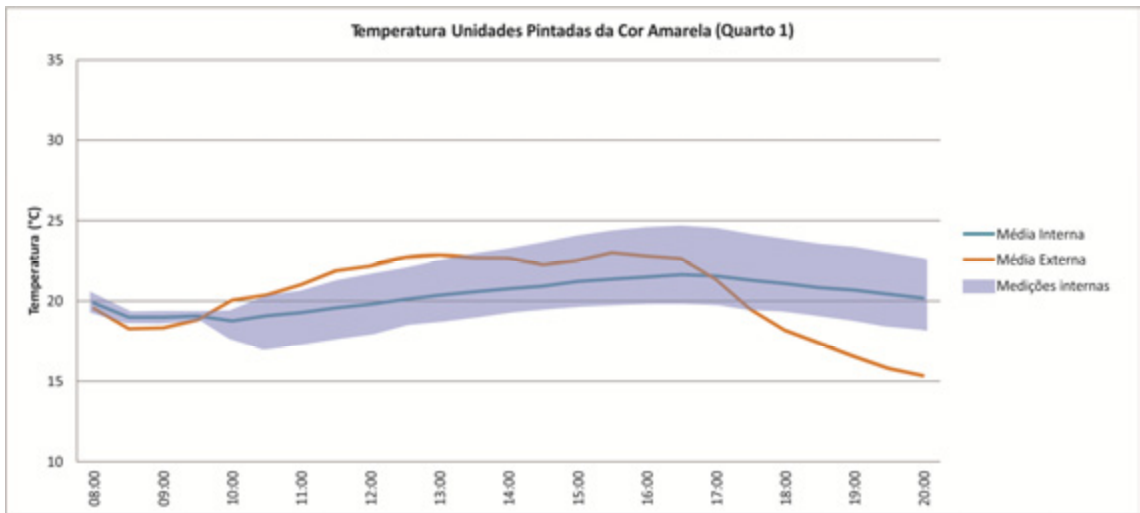
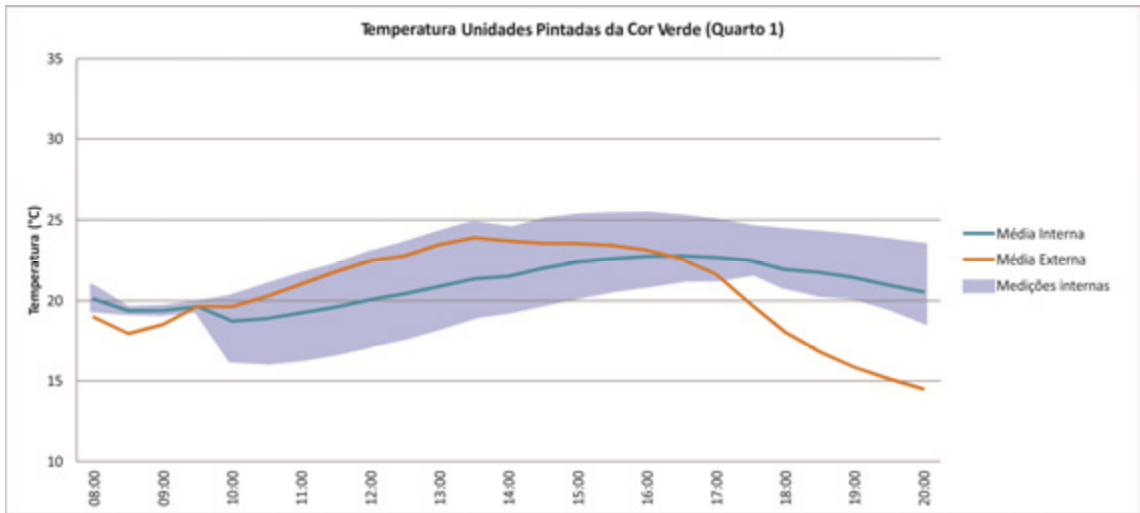
VIÇOSA, Prefeitura Municipal de. **132 famílias de Viçosa agora têm novo endereço: Conjunto Habitacional da Coelha**. 2011. Disponível em: <http://www.vicosa.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=723:132-familias-de-vicosa-agora-tem-novo-endereco-conjunto-habitacional-da-coelha-&catid=3:noticias&Itemid=37>. Acesso em: 20 de abr. 2012.

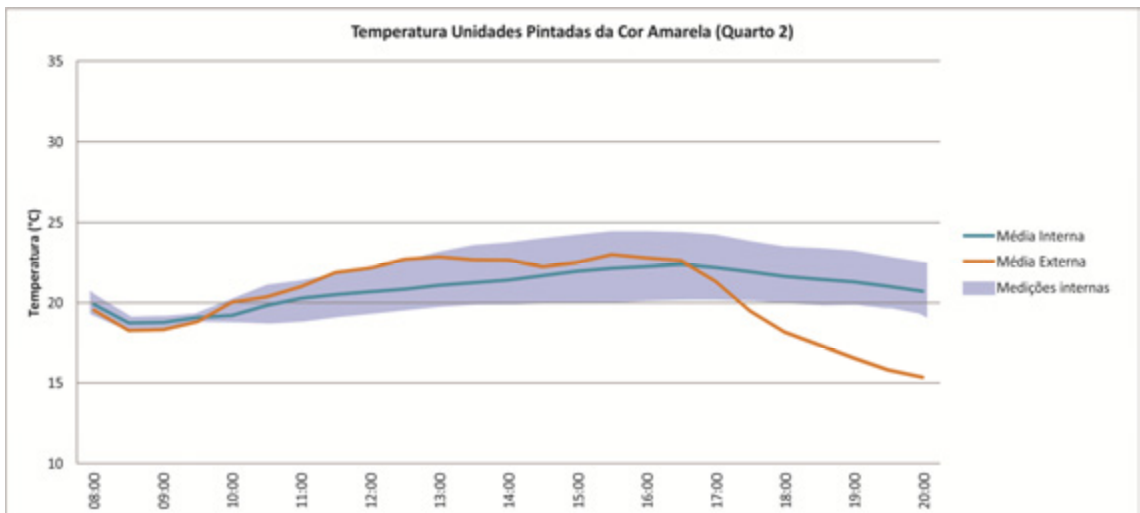
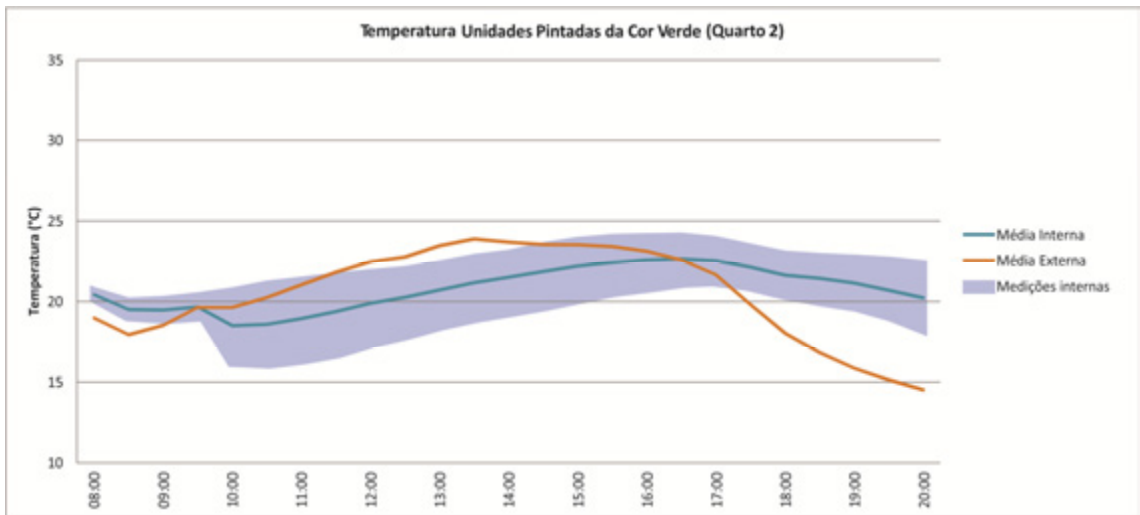
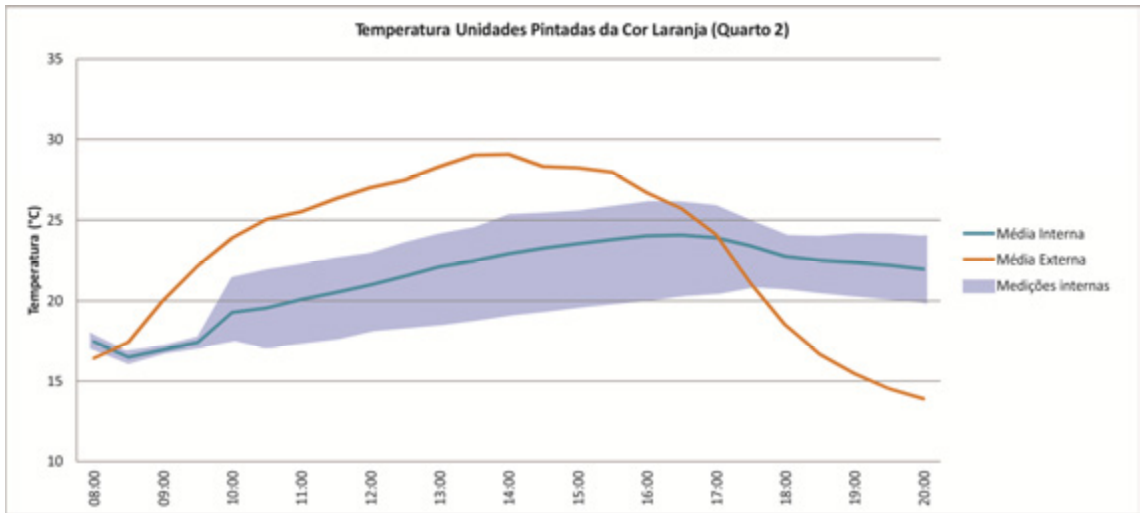
ZWIRTES, D. P. Z. **Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná**. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

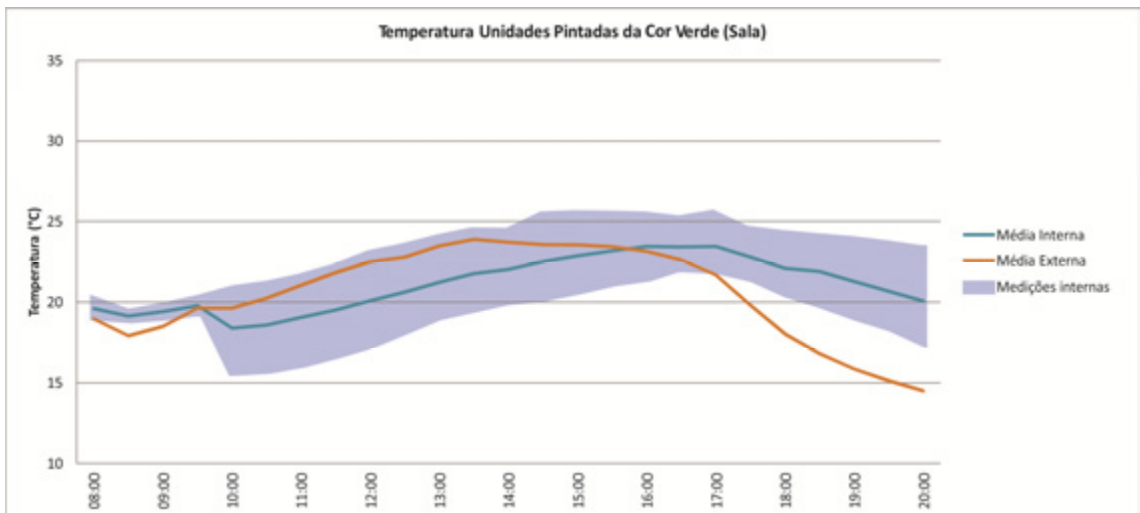
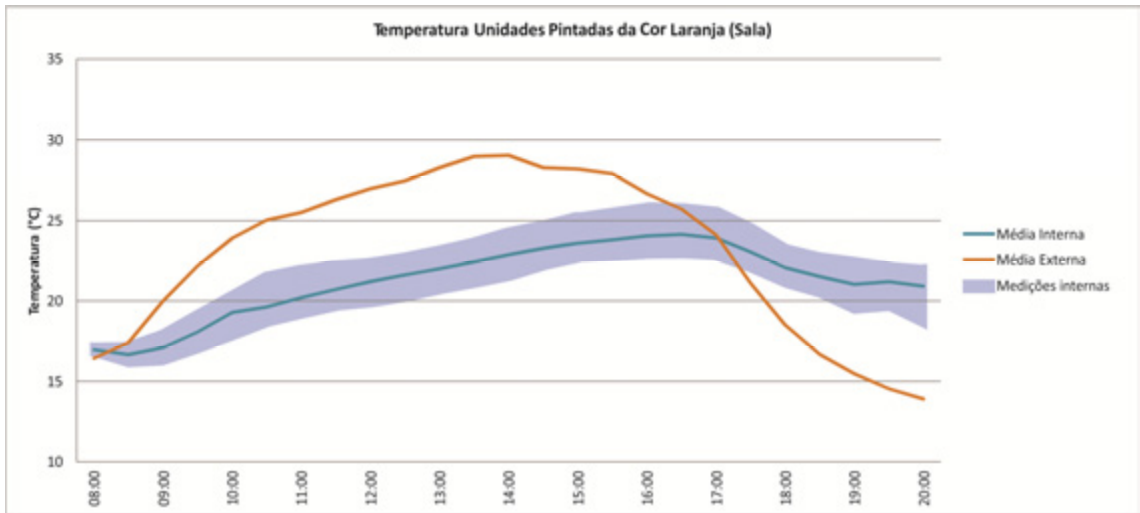
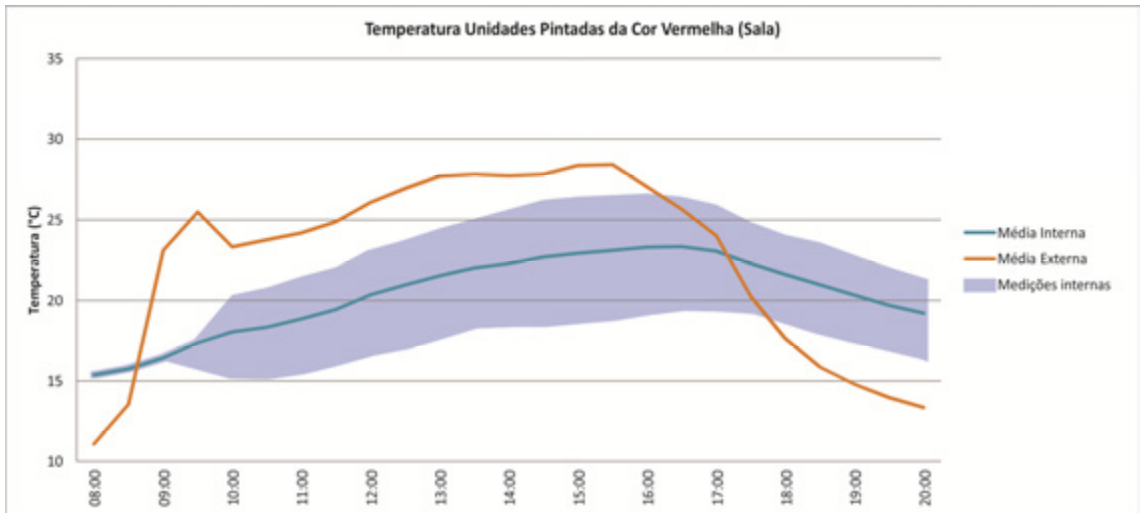
APÊNDICE 1 – Gráficos de comparação da temperatura do ar interna em unidades de acordo com a cor da pintura (medições de inverno)

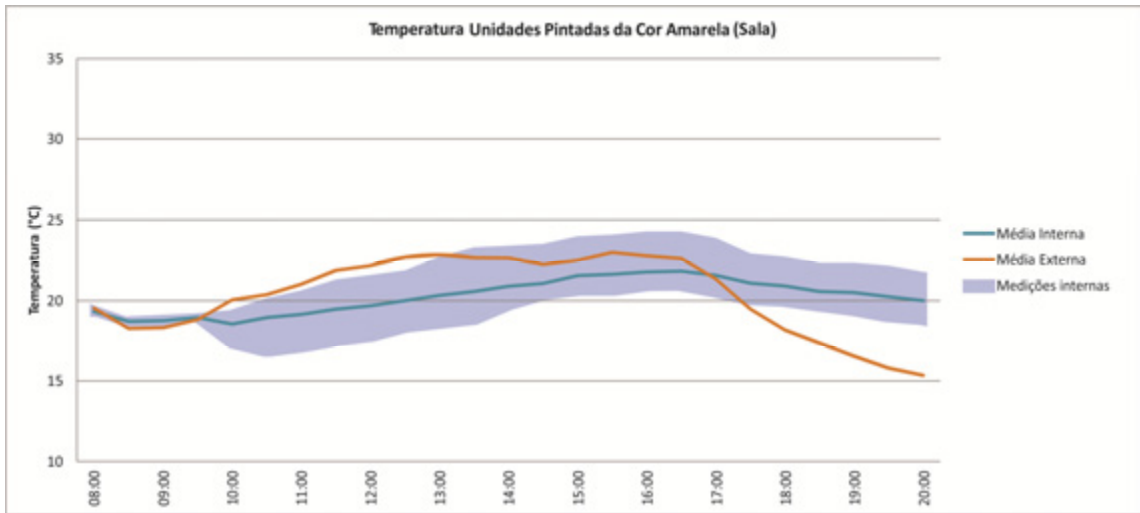




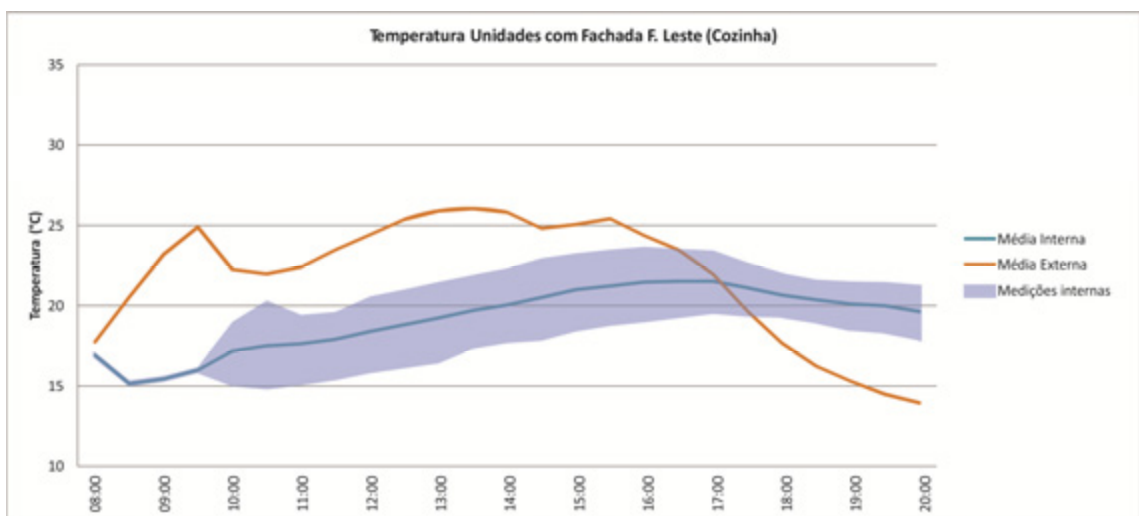
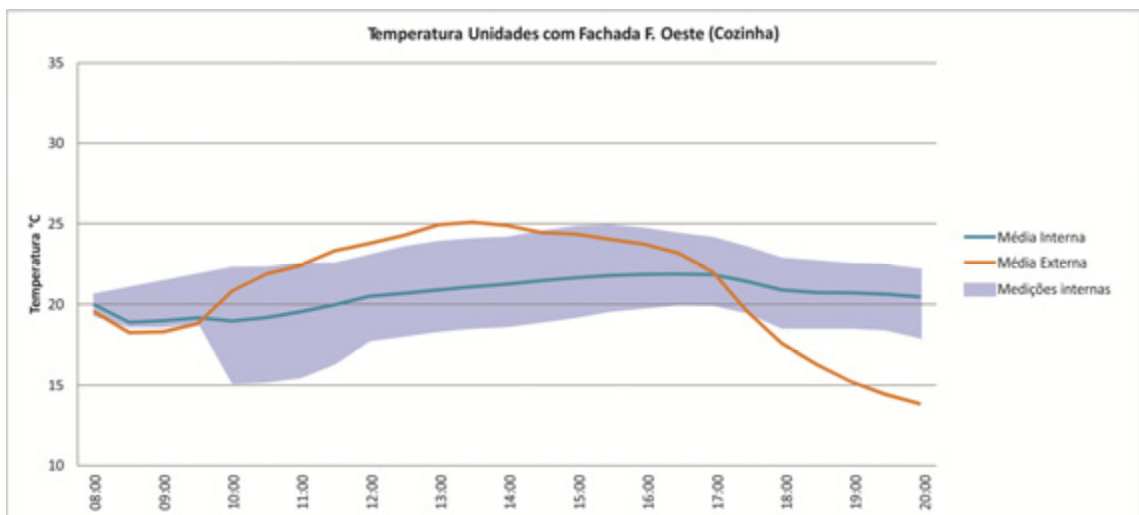
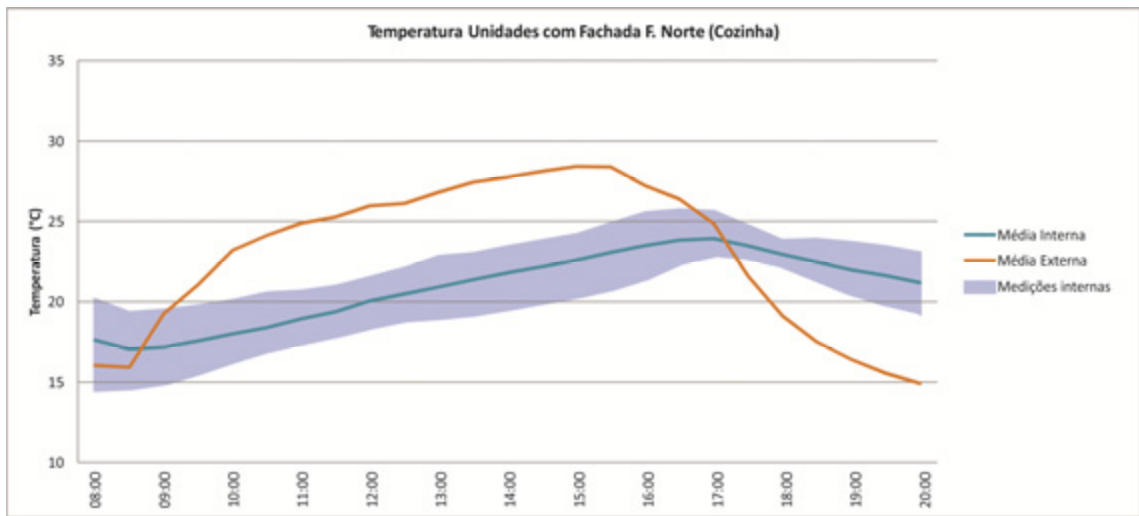


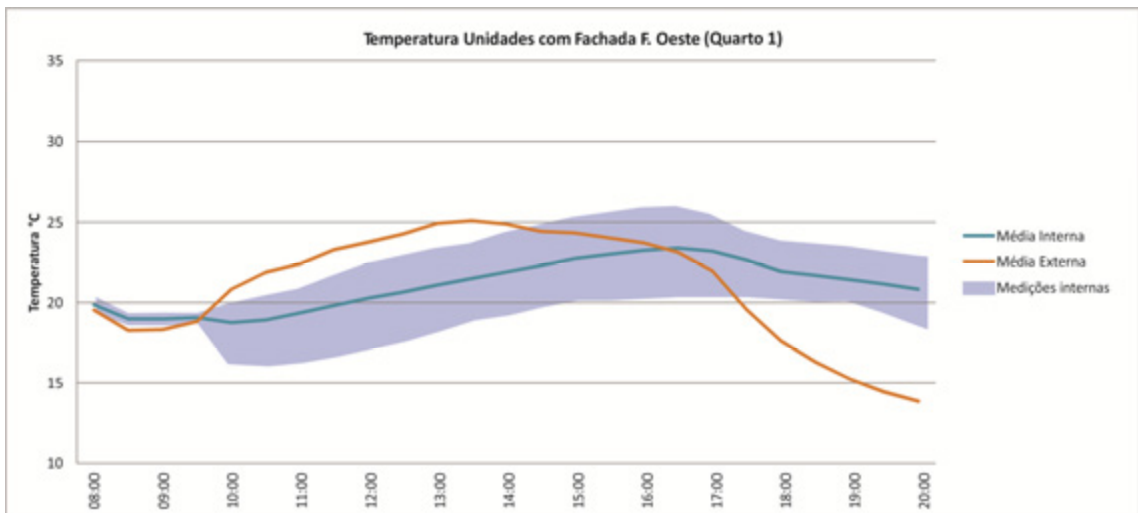
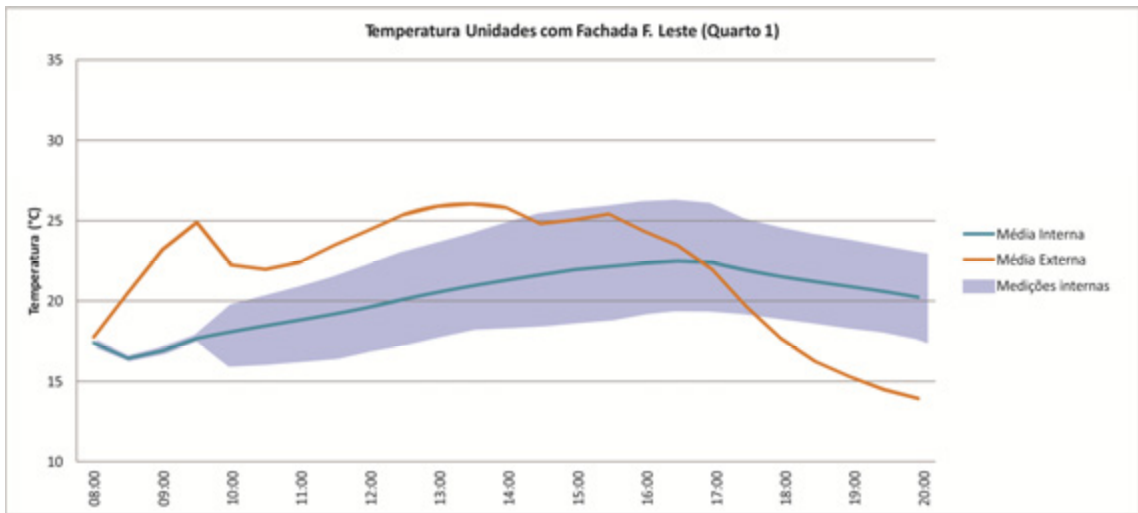
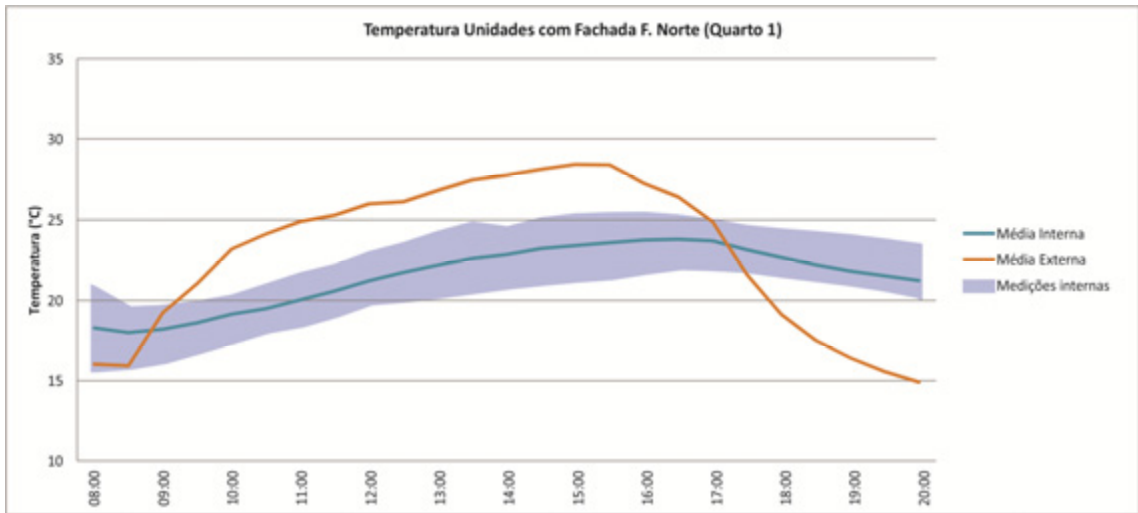


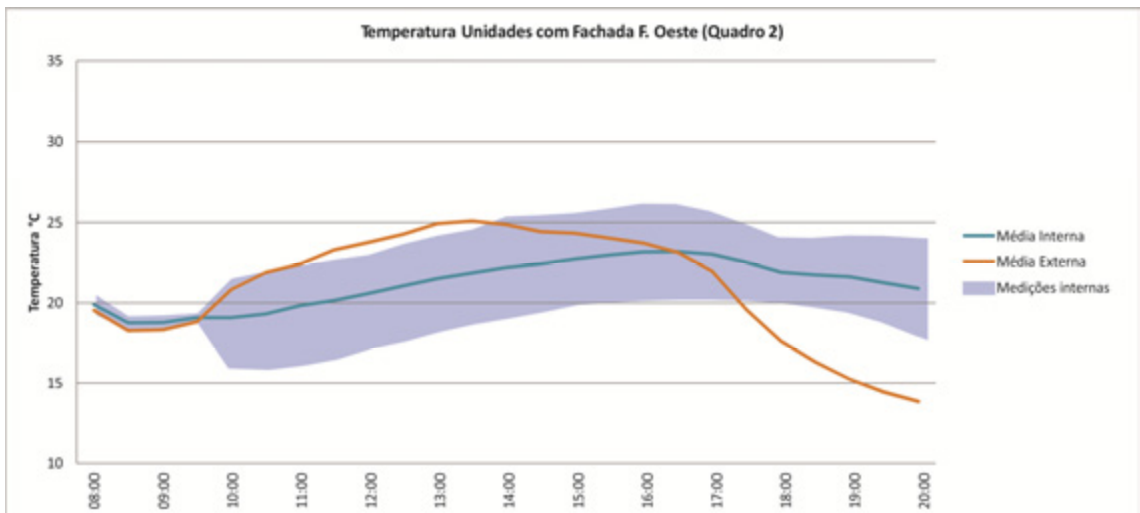
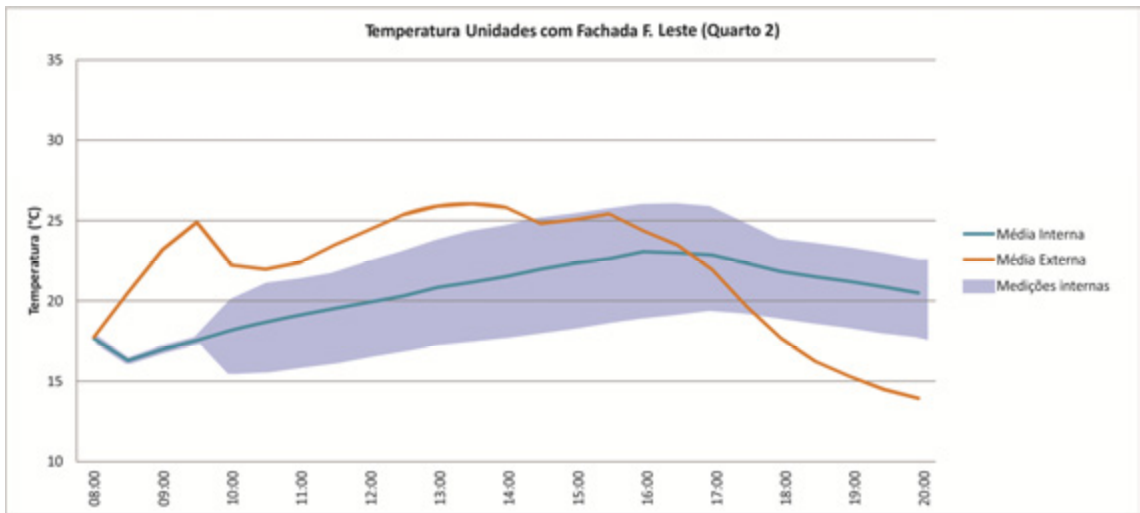
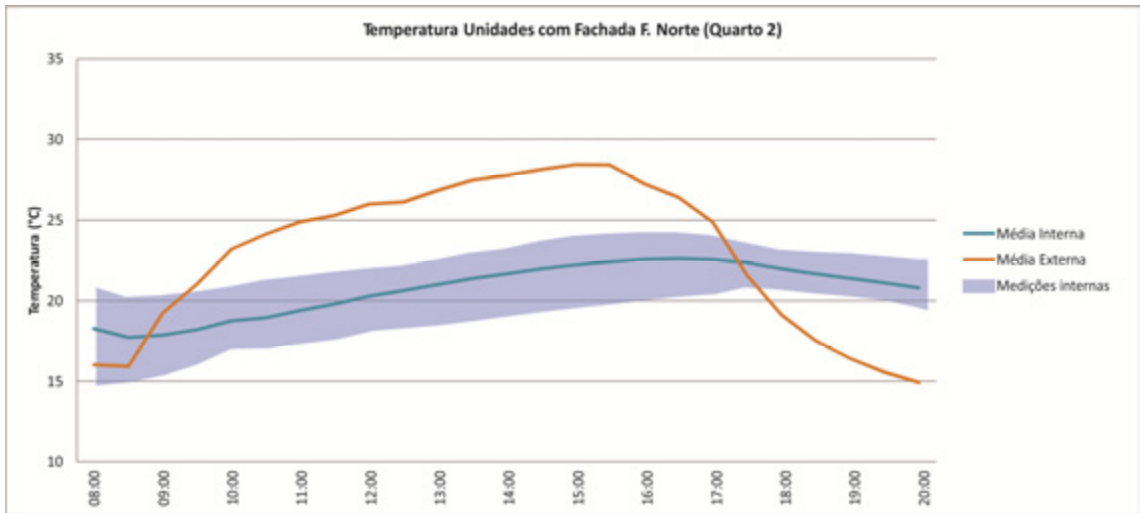


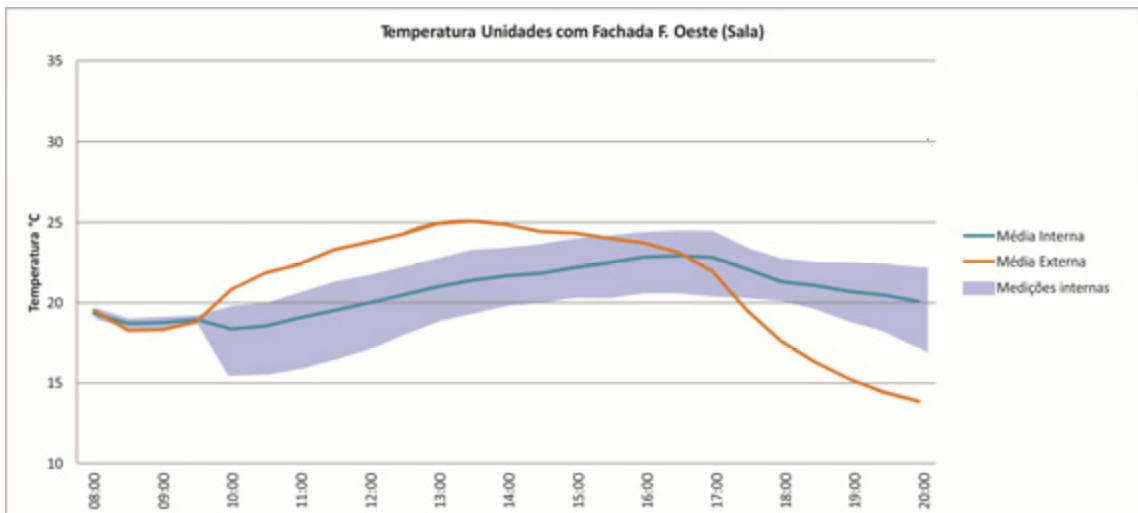
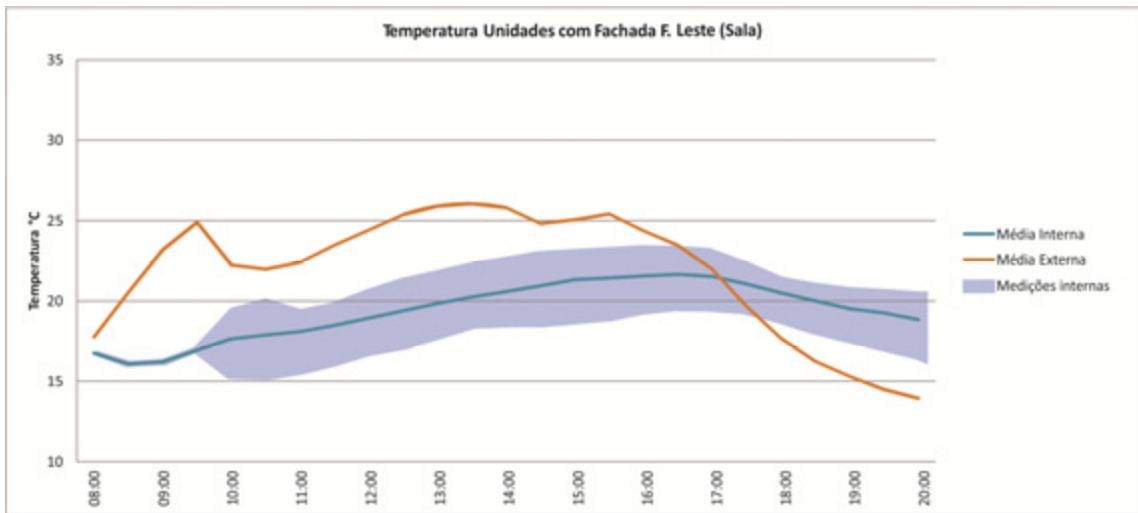
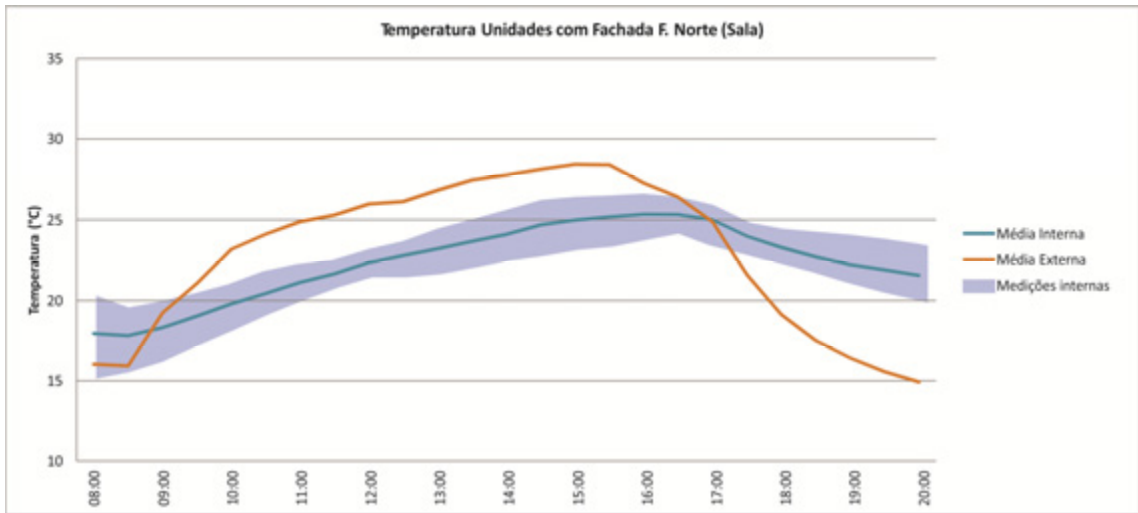


APÊNDICE 2 – Gráficos de comparação da temperatura do ar interna em unidades de acordo com a orientação (medições de inverno)

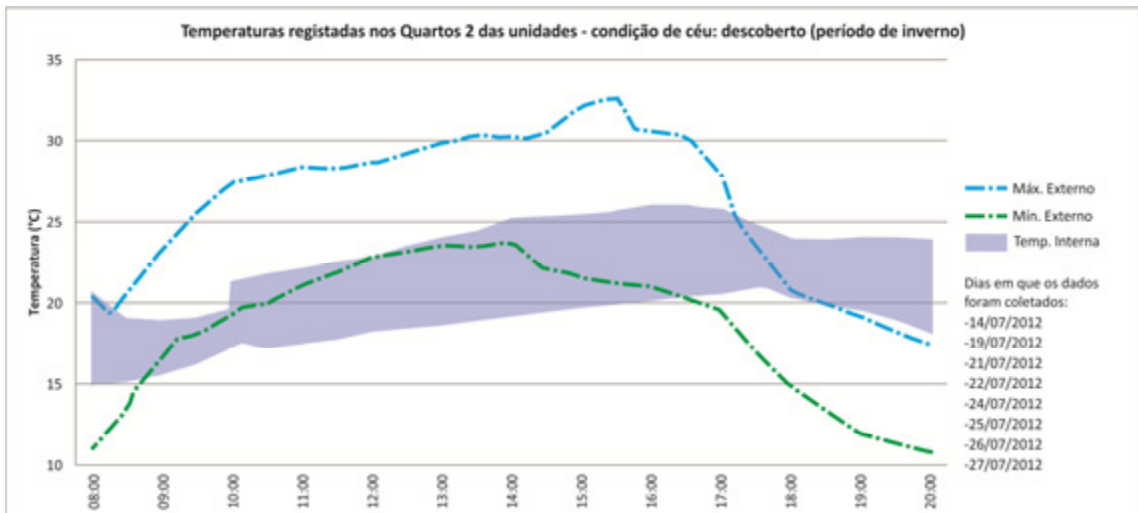
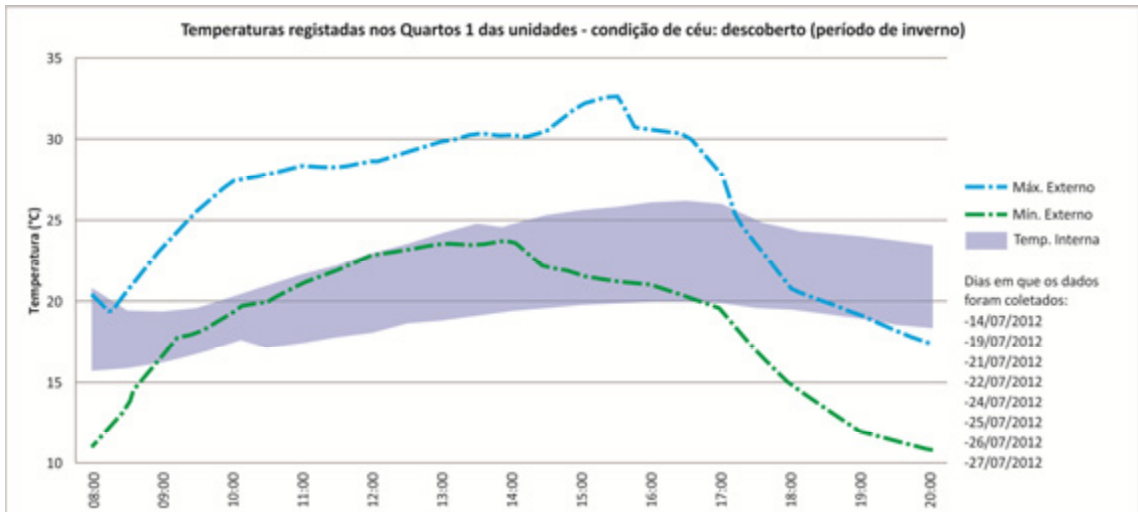
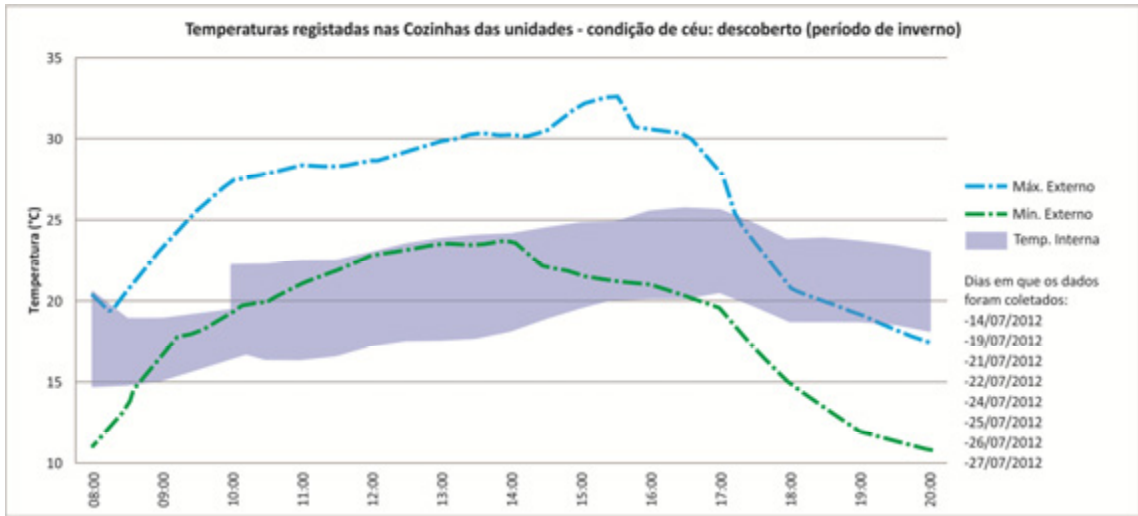


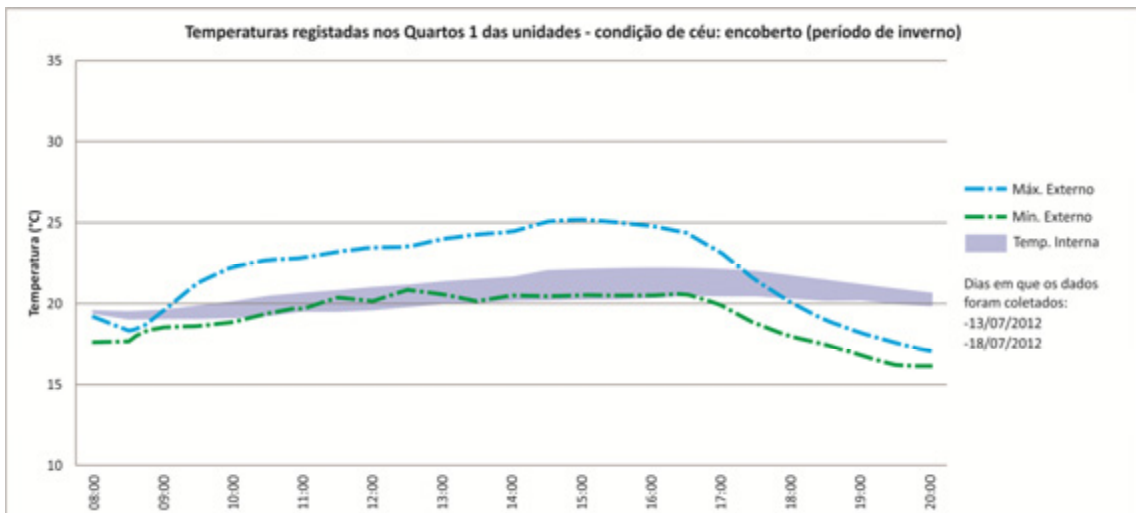
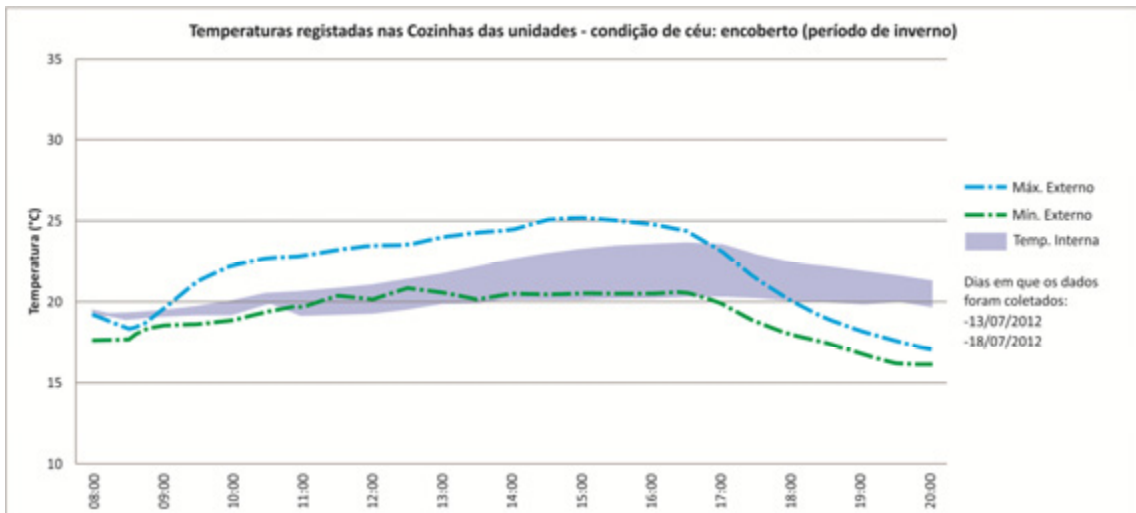
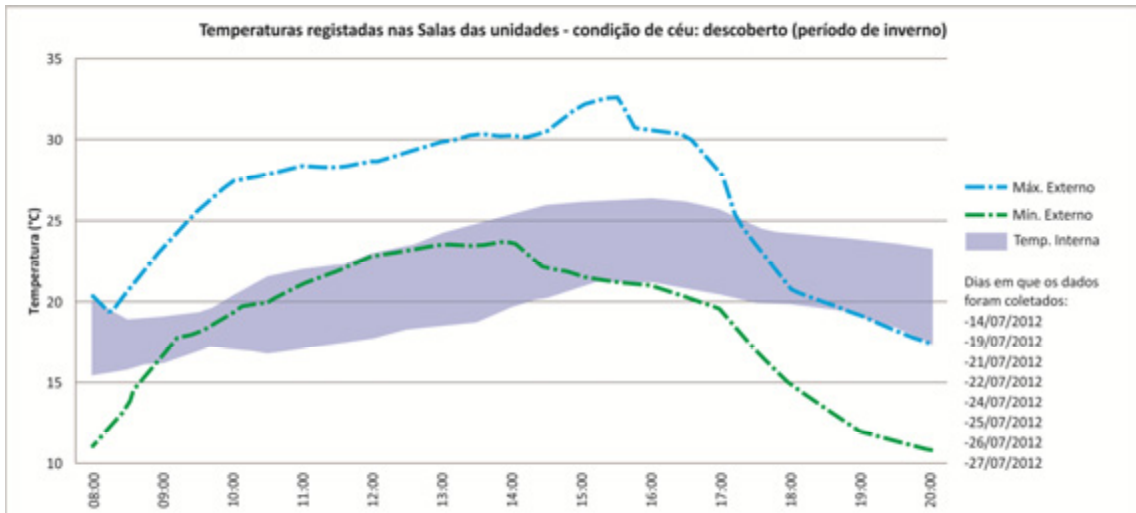


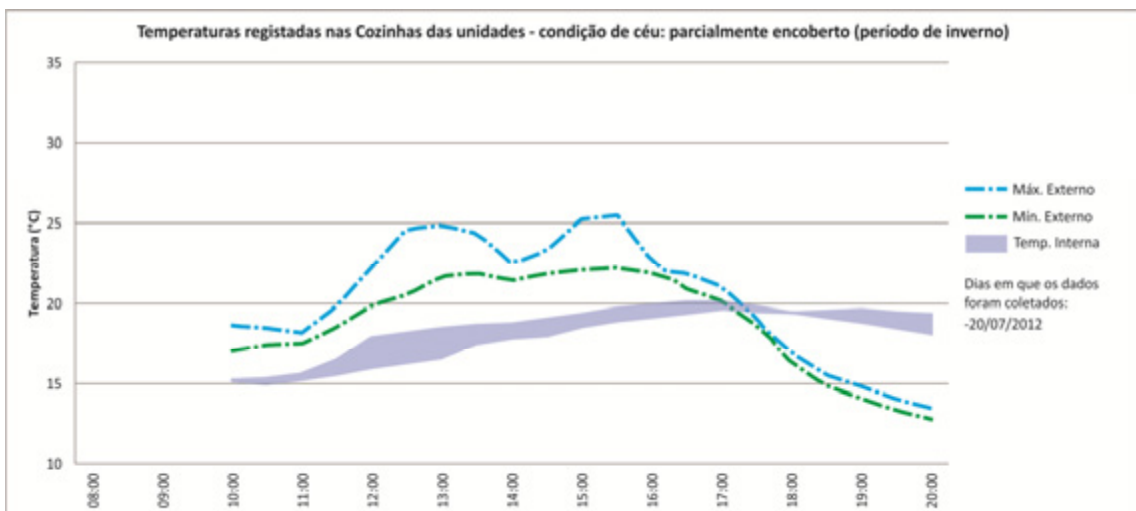
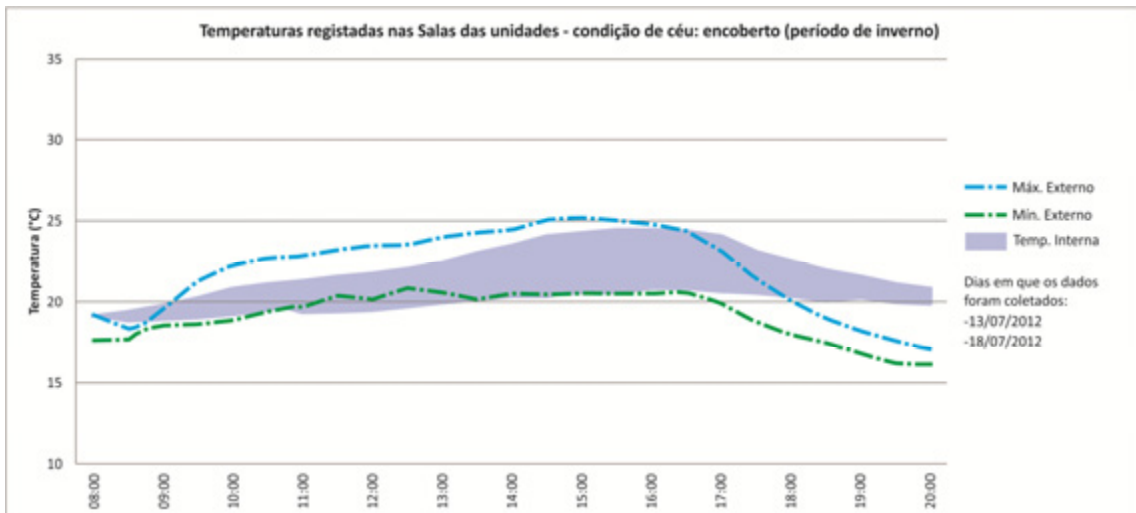
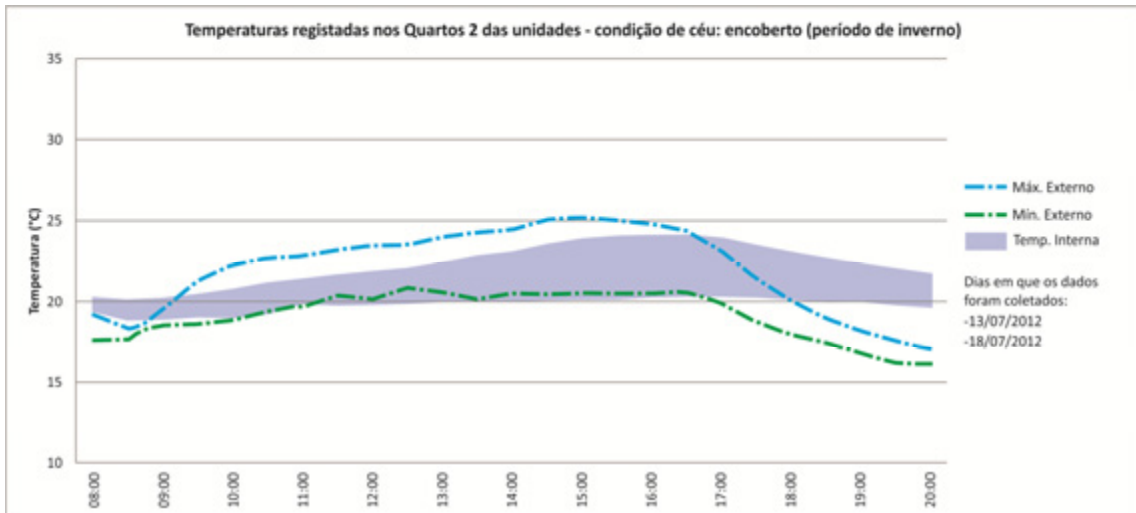


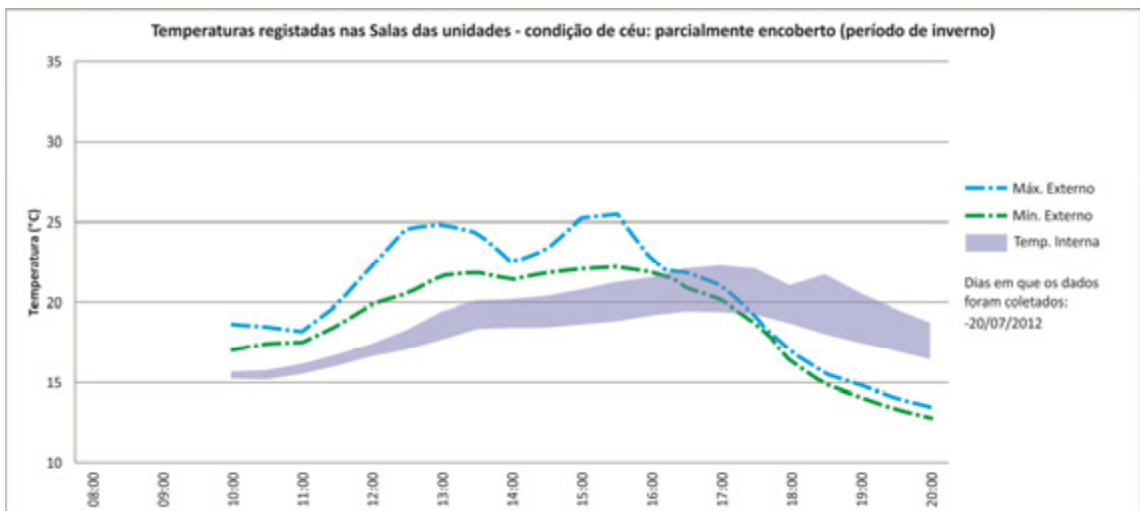
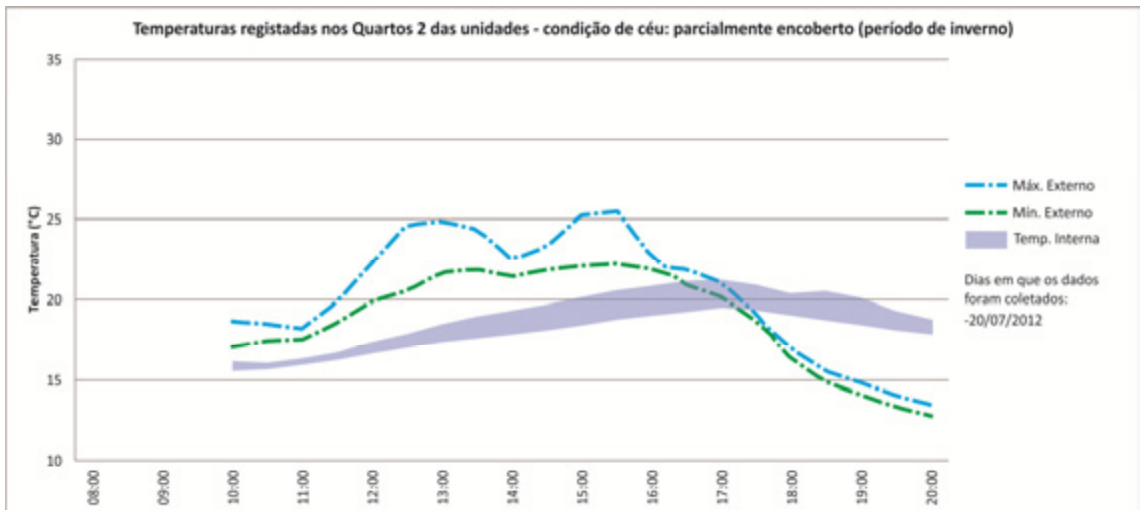
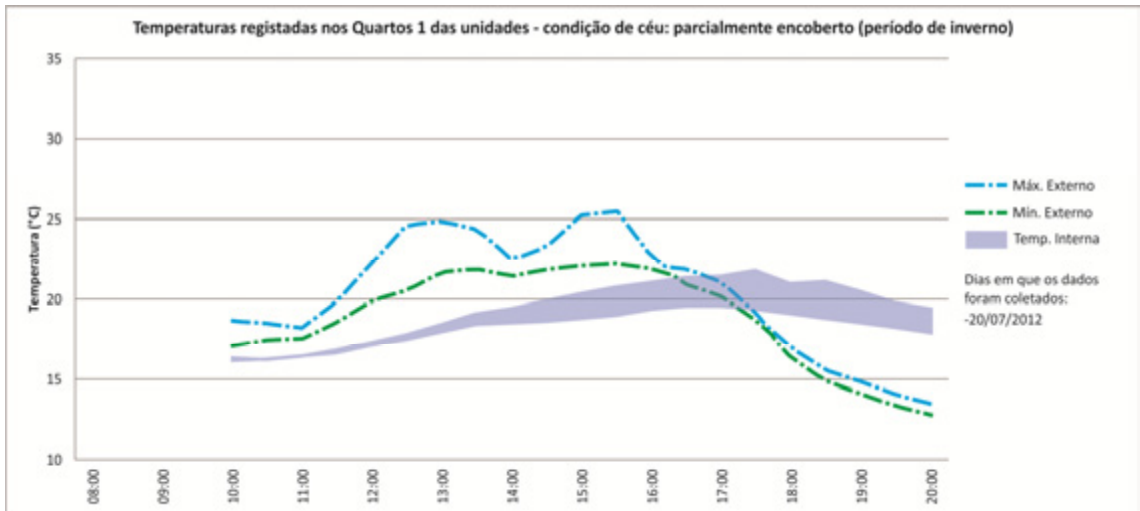


APÊNDICE 3 – Temperaturas registradas nas unidades durante as medições de inverno

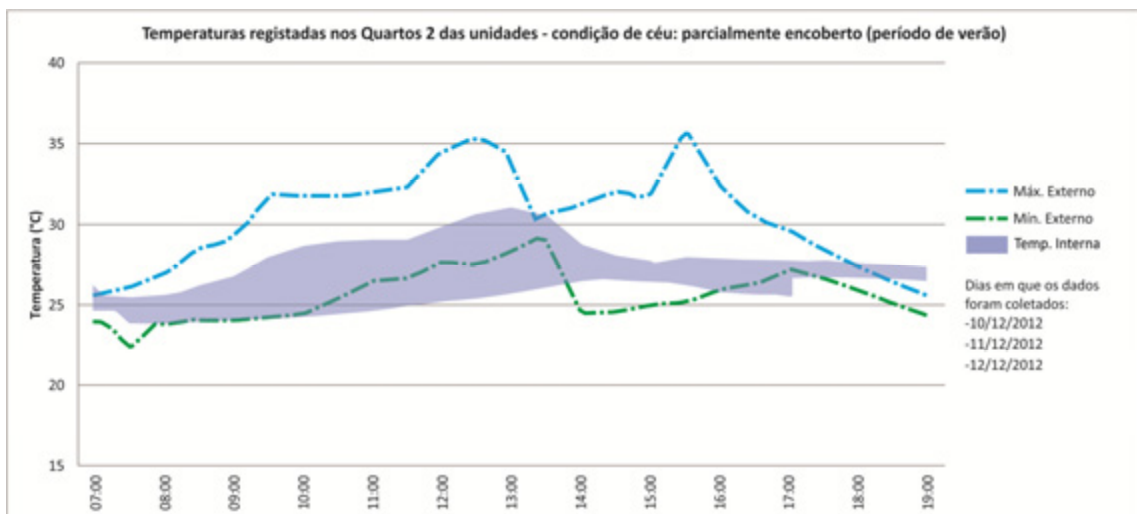
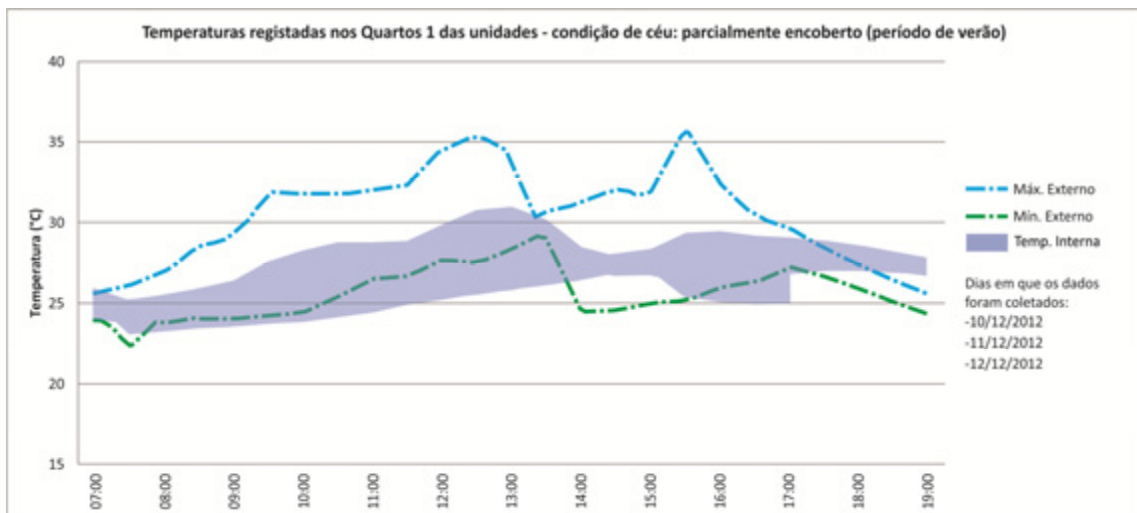
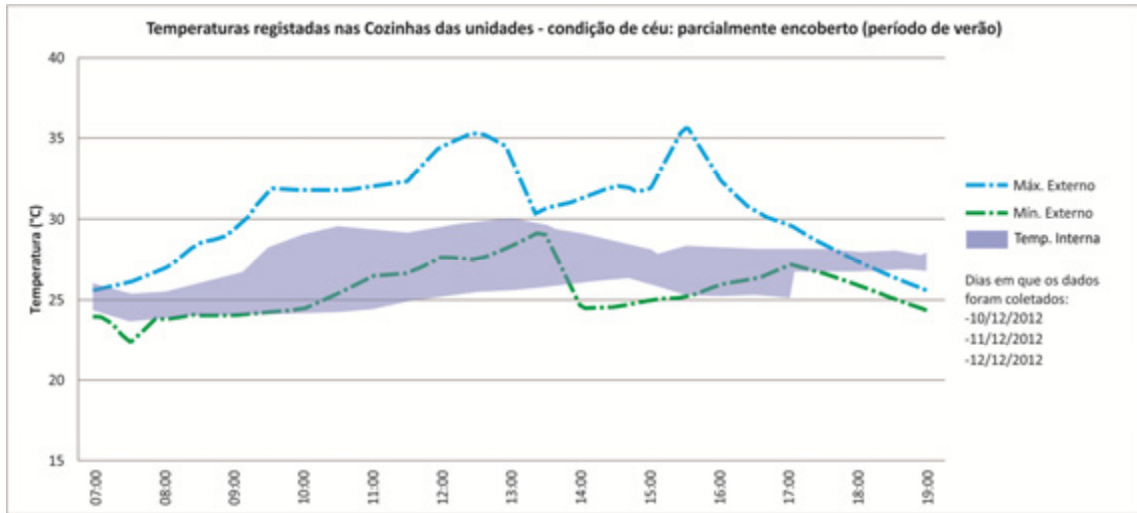


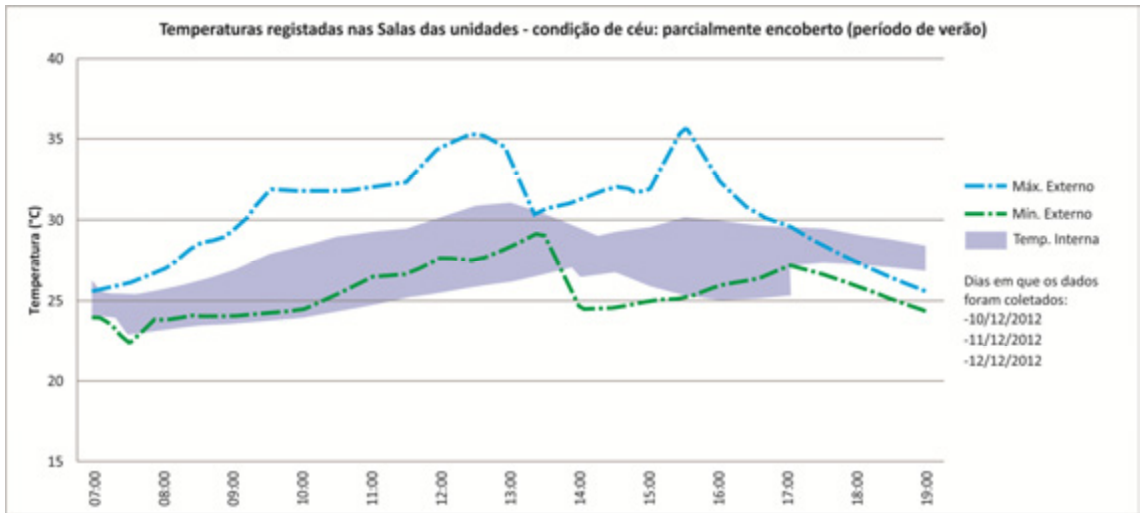






APÊNDICE 4 – Temperaturas registradas nas unidades durante as medições de verão





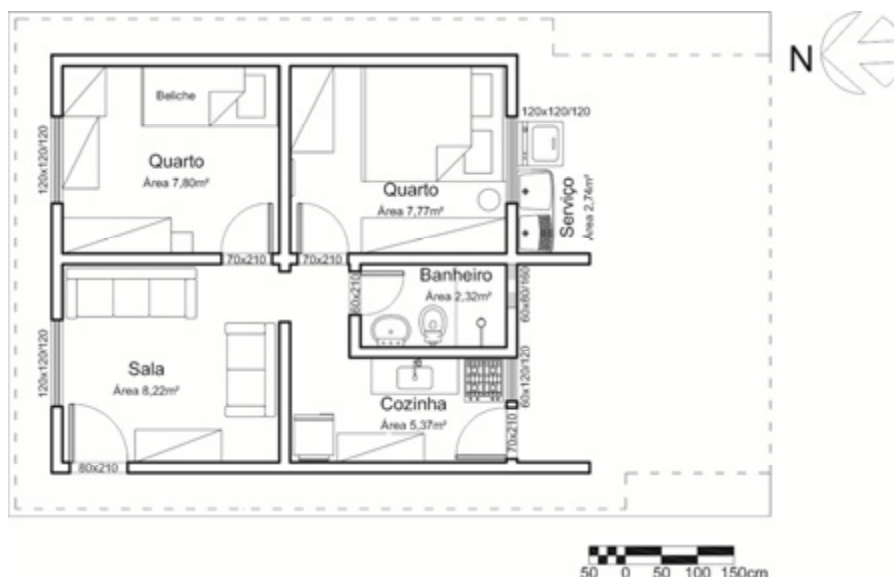
APÊNDICE 5 – Unidades selecionadas para as medições de inverno

U-052

A U-052 possui as paredes pintadas com a cor laranja, sua fachada principal tem orientação norte e é voltada para a Rua Euter Paniago. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) os fundos da casa, onde foi construída uma varanda que cobre toda área entre a parede sul e o limite do terreno, é voltado para uma área de pastagem; (ii) a lateral esquerda é voltada para uma rua sem denominação, que dá acesso a um caminho que corta a área de pastagem; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a U-051.

Além da varanda nos fundos, foram feitas outras modificações na casa: foi posto piso cerâmico nos cômodos que na ocasião de entrega da casa possuíam somente o contrapiso (Sala, Quarto 1 e Quarto 2); foi construído um muro nos fundos e nas duas laterais do terreno; o tanque de lavar roupas foi substituído e mudado de posição.

Na casa moram 4 pessoas: um homem de 30 anos, uma mulher de 24 anos e duas crianças (um menino de 2 anos e uma menina de 7 anos). A família se mudou para a unidade no dia 24/09/2011. Durante a semana, o casal saía de casa por volta das 7h para trabalhar e retornavam após 18h30. As crianças também não permaneciam em casa durante o dia, indo para a escola/creche e ficando o restante o tempo em casa de parentes.



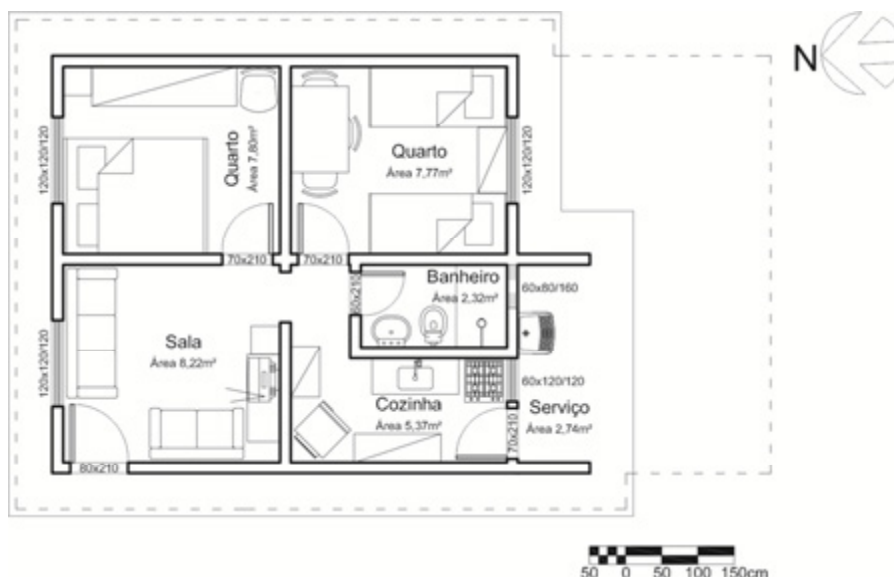
Planta baixa com leiaute da U-052 (medições de inverno)

U-062

A U-62 possui as paredes pintadas com a cor vermelha, sua fachada principal tem orientação norte e é voltada para a Rua Euter Paniago. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) nos fundos da casa foi construída uma varanda entre a parede sul e o limite do terreno, que é voltado para a área de pasto; (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com uma pequena estação de distribuição de energia; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a U-061. A unidade está localizada próximo ao *playground*.

Além da varanda nos fundos, foram feitas outras modificações na casa: foi construída uma cerca ao redor de todo o terreno; foi posto piso cerâmico nos cômodos que, na ocasião de entrega da casa, possuíam somente o contrapiso (Sala, Quarto 1 e Quarto 2); a pia da cozinha de material sintético foi substituída por uma bancada de granito preto com bojo da pia de aço inoxidável.

Na casa moram 4 pessoas: um homem de 34 anos, uma mulher de 24 anos e duas crianças (um menino de 4 anos e uma menina de 7 anos). A família se mudou para a unidade no dia 10/10/2011. Durante a semana a mulher saía de casa para trabalhar por volta das 7h e retorna depois das 18h30. O marido, então desempregado, permanecia em casa durante todo dia, saindo somente para levar e buscar as crianças na escola. A TV era mantida ligada durante todo o dia.



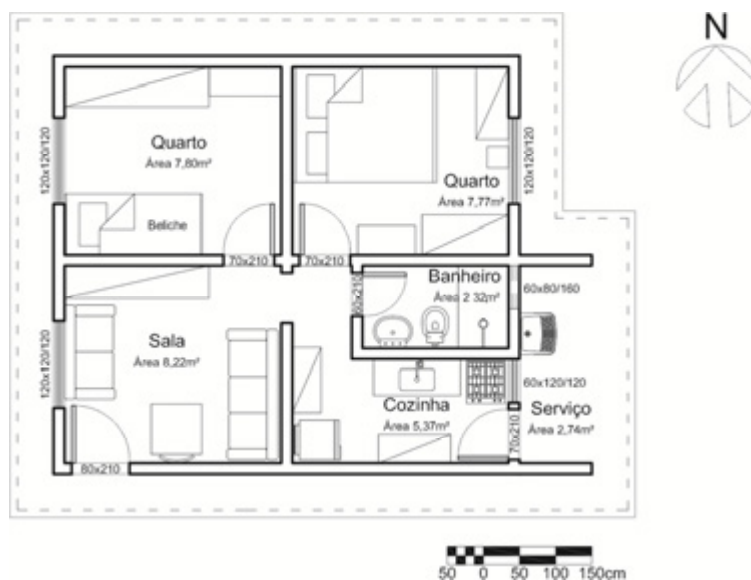
Planta baixa com leiaute da U-062 (medições de inverno)

U-063

A U-63 possui as paredes pintadas com a cor laranja, sua fachada principal tem orientação oeste e é voltada para a Rua Vereador Chiquito Izidoro. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) o terreno faz divisa pelos fundos com a U-064; (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a U-065; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a Rua José Chequer; (iv) sua fachada principal está localizada de frente para o *playground*. A área gramada na frente da casa é em torno de três vezes maior do que nas unidades que possuem o lote de tamanho regular (10x15m).

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: construção de cerca em torno de todo o terreno; assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2.

Na casa moram 4 pessoas: uma mulher de 42 anos, duas adolescentes (de 12 e 16 anos) e um menino de 11 anos. A família se mudou para a unidade em outubro de 2011. Durante a semana a mãe saía de casa por volta das 6h30 para trabalhar e retornava após as 18h. Os três filhos estudavam pela manhã e retornavam à casa na hora do almoço. À tarde a filha mais velha saía novamente para trabalhar. Durante o período da tarde e nos finais de semana os equipamentos de som e TV ficam ligados por horas seguidas.



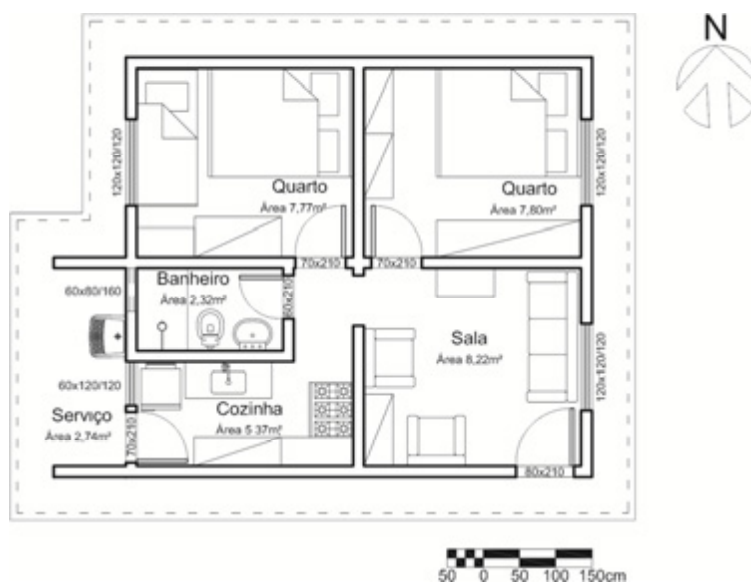
Planta baixa com leiaute da U-063 (medições de inverno)

U-068

A U-068 possui as paredes pintadas com a cor laranja, sua fachada principal tem orientação leste e é voltada para a Rua Vereadora Dandara Guimarães. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) o terreno faz divisa pelos fundos com a U-067, (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a U-066; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a Rua Euter Paniago.

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2; construção de cerca em torno de todo o terreno.

Na casa moram 3 pessoas: um homem de 47 anos, uma mulher de 60 anos e um adolescente 16 anos. A família se mudou para a casa no dia 16/09/2011. Durante a semana o homem e a mulher permaneciam a maior parte do dia em casa e saíam esporadicamente. O adolescente estudava pela manhã e permanecia o restante do tempo em casa. As TVs dos quartos permaneciam ligadas grande parte do dia e o som era ligado esporadicamente.



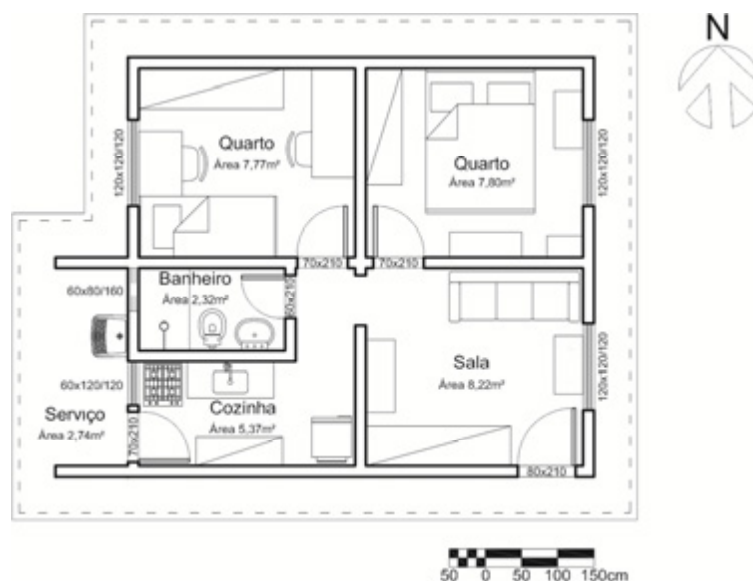
Planta baixa com leiaute da U-068 (medições de inverno)

U-090

A U-90 possui as paredes pintadas com a cor vermelha, sua fachada principal tem orientação leste e é voltada para a Rua Dr. Zimar Sari. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) pelos fundos o terreno faz divisa com a U-089; (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a U-088; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a U-092.

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2; construção de muro em torno de todo o terreno.

Na casa moram 3 pessoas: um homens de 62 anos, uma mulher de 53 anos e um jovem de 24 anos. A família se mudou para a casa em outubro de 2011. A mulher permanecia a maior parte do tempo na casa para atender os compradores da venda mantida na própria casa. O homem faz parte de uma banda de música e às vezes ensaiava em casa. O jovem trabalhava durante a noite e repousava durante o dia. A TV da sala permanecia ligada durante a maior parte do dia.



Planta baixa com leiaute da U-090 (medições de inverno)

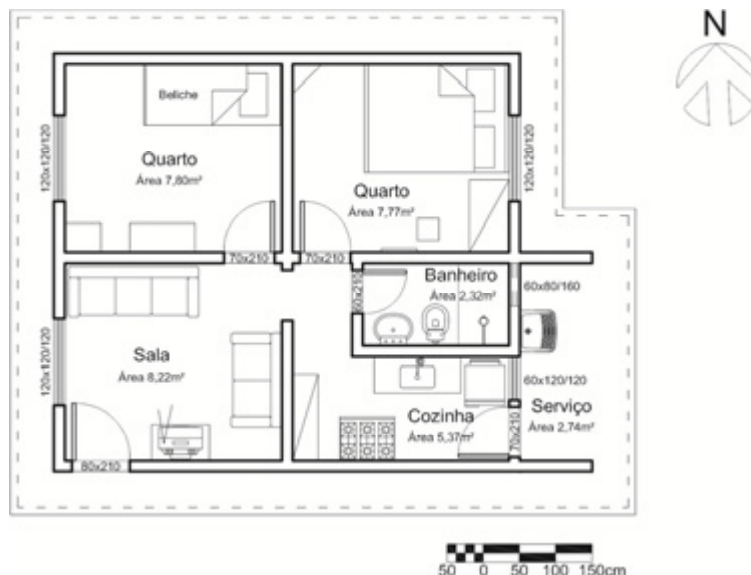
U-097

A U-97 possui as paredes pintadas com a cor verde, sua fachada principal tem orientação oeste e é voltada para a Rua Francisco Antônio Sousa Campos. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) o terreno faz divisa pelos fundos com a U-098; (ii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a U-095; (iii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a Rua Euter Paniago.

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2; foi colocado box no banheiro.

Na casa moram 6 pessoas: um homem de 33 anos, uma mulher de 30 anos, duas meninas (uma de 5 anos e outra de 7 anos), uma adolescente de 14 anos e um menino de 10 anos. A família se mudou para a casa no dia 16/09/2011. O casal permanecia em casa durante todo o dia, os filhos saíam de casa diariamente para ir à escola. A TV permanecia ligada durante toda a manhã e durante a noite. O homem utilizava um dreno da traqueia e por isso a porta e a janela do Quarto 2 (quarto do casal) permaneciam fechadas durante o dia, evitando assim a

entrada de insetos que poderiam bloquear o dreno. As crianças, quando não estão na escola, permaneciam a maior parte do tempo brincando na rua.



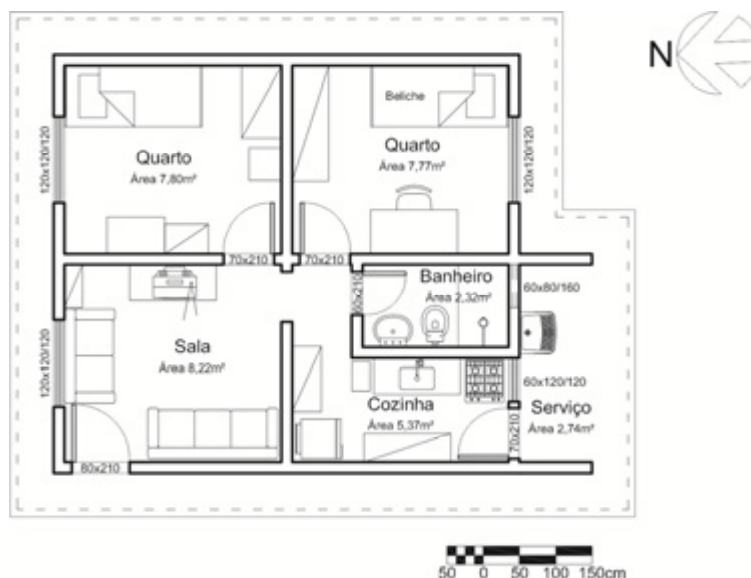
Planta baixa com leiaute da U-097 (medições de inverno)

U-122

A U-122 possui as paredes pintadas com a cor verde, a fachada principal tem orientação norte e é voltada para a Rua José Chequer. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) o terreno faz divisa pelos fundos com a U-124; (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a Rua Profa. Valéria Martins de Freitas; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a U-123.

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2; construção de cerca em torno de todo o terreno.

Na casa moram 3 pessoas: uma mulher de 40 anos, dois adolescente (de 12 e 15). A família se mudou para a casa no dia 25/09/2011. A mãe saía de casa às 6h30 para ir trabalhar e retornava às 19h. Os dois adolescentes frequentavam a escola pela manhã. Na parte da tarde o mais velho voltava para casa e o mais novo ia para a casa de um parente. A TV permanecia ligada durante todo o período da tarde.



Planta baixa com leiaute da U-122 (medições de inverno)

U-125

A U-125 possui as paredes pintadas com a cor amarela, sua fachada principal tem orientação leste e é voltada para a Rua Fernando Monteiro Rocha. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) pelos fundos o terreno faz divisa com a U-124; (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a U-123; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a U-127.

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2; construção de escada na entrada da casa.

Na casa moram 4 pessoas: mulheres de 17, 18 e 39 anos e um homem também de 18 anos. A família se mudou para a casa no dia 23/09/2011. As duas mulheres mais velhas e o homem saíam de casa por volta das 6h30 e voltavam à casa para almoçar por volta das 12h30. Retornavam ao trabalho às 13h30 e voltavam pra casa às 19h. A mulher mais nova frequentava a escola pela manhã e permanecia em casa durante a tarde. Na parte da tarde o som permanecia ligado e a TV era ligada durante a noite.



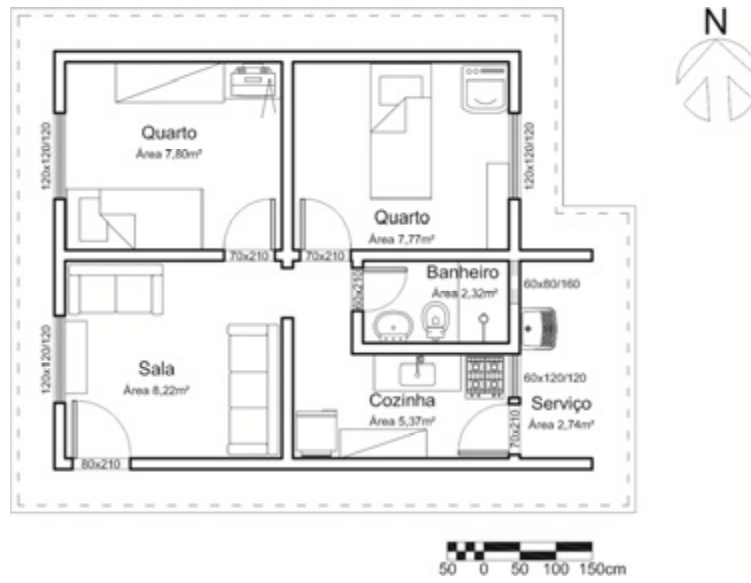
Planta baixa com leiaute da U-125 (medições de inverno)

U-126

A U-125 possui as paredes pintadas com a cor amarela, sua fachada principal tem orientação oeste e é voltada para a Rua Profª. Valéria Martins de Freitas. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) pelos fundos o terreno faz divisa com a U-127; (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a U-128; (iii) pela lateral direita a unidade faz divisa com a U-124.

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2.

Na casa moram 2 pessoas: um homem de 35 anos e uma mulher de 65 anos. A família se mudou para a casa em setembro de 2011. Os dois moradores permaneciam em casa durante todo o dia e saíam esporadicamente. Durante a noite a TV era ligada, porém as e as lâmpadas permaneciam desligadas.

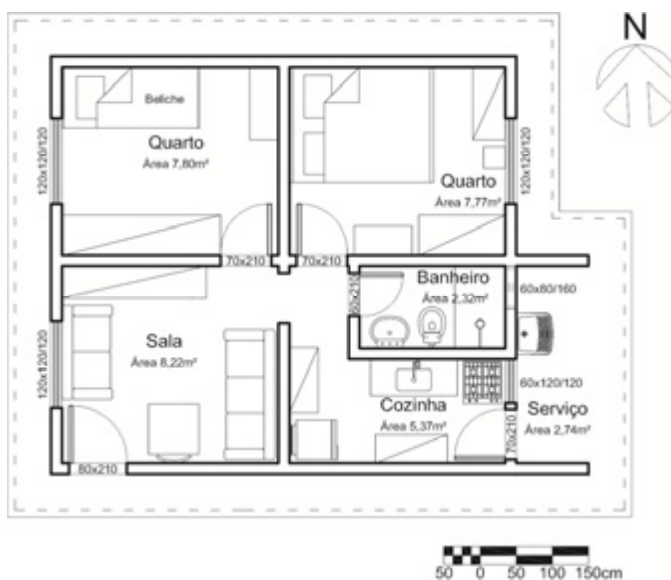


Planta baixa com leiaute da U-126 (medições de inverno)

APÊNDICE 6 – Unidades selecionadas para as medições de verão

U-063

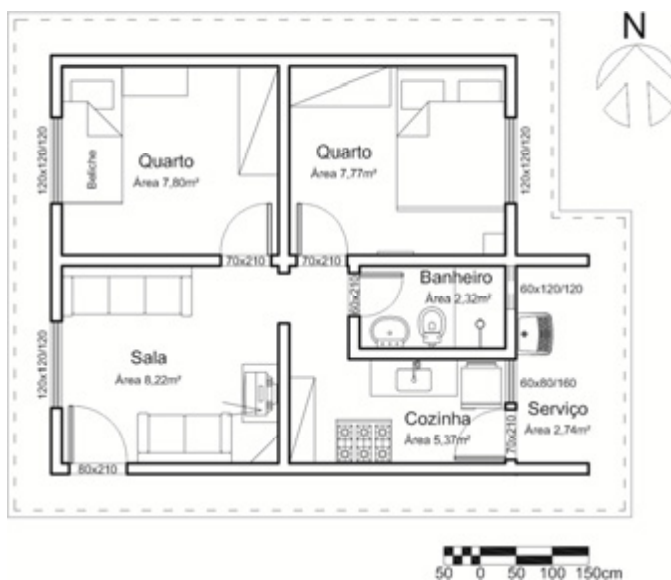
A U-063 não sofreu modificações entre as medições de inverno e de verão e a rotina dos seus moradores não foi alterada, mas a unidade sofreu algumas alterações de leiaute.



Planta baixa com leiaute da U-063 (medições de verão)

U-097

A U-097 não sofreu modificações entre as medições de inverno e de verão e a rotina dos seus moradores não foi alterada, mas a unidade sofreu algumas alterações de leiaute.



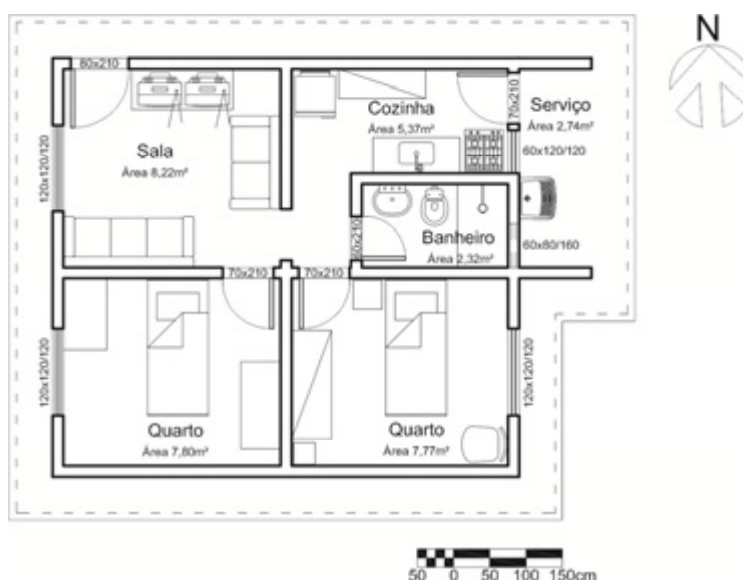
Planta baixa com leiaute da U-097 (medições de verão)

U-130

A U-130 possui as paredes pintadas com a cor vermelha, sua fachada principal tem orientação oeste e é voltada para a Rua Fernando Monteiro Rocha. Tendo-se como referência a visualização da fachada principal, (i) pelos fundos e pela lateral direita o terreno faz divisa com a Rua José Chequer; (ii) pela lateral esquerda a unidade faz divisa com a U-131.

Na unidade foram realizadas as seguintes modificações: assentamento de piso cerâmico na Sala, no Quarto 1 e no Quarto 2; construção e cerca em torno do terreno.

Na casa mora apenas um homem de 72 anos e ele se mudou para a casa em novembro de 2011. Ele permanece em casa durante todo o dia, na maior parte das vezes ele assistia televisão.



Planta baixa com leiaute da U-130 (medições de verão)

Anexo 1 – Modelo de planilha usada para o registro dos dados coletados em campo

| QUADRO DE MEDIÇÕES - ANÁLISE DE DESEMPENHO AMBIENTAL - UNIDADE 052 - DIA 21/07/2012 - COR DA CASA: LARANJA | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------|------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário | C. céu | C. sol | Temperatura do ar (°C) | | | | | Umidade relativa (%) | | | | |
| | | | Sala | Quarto 1 | Cozinha | Quarto 2 | P. externo | Sala | Quarto 1 | Cozinha | Quarto 2 | P. externo |
| 8h | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10h | PE | DE | 19,09 | 18,37 | 17,57 | 17,82 | 21,63 | 77,98 | 75,76 | 80,99 | 78,62 | 71,58 |
| 12h | DE | DE | 21,66 | 19,91 | 19,38 | 18,32 | 25,53 | 64,63 | 73,72 | 74,96 | 80,04 | 59,70 |
| 14h | DE | DE | 22,72 | 20,91 | 19,66 | 19,27 | 27,88 | 65,72 | 71,70 | 77,93 | 79,77 | 47,79 |
| 16h | DE | DE | 23,97 | 21,82 | 21,57 | 20,22 | 25,28 | 60,74 | 70,70 | 71,11 | 77,93 | 51,87 |
| 18h | NT | NT | 23,20 | 21,82 | 23,00 | 20,91 | 18,94 | 64,62 | 71,23 | 68,08 | 76,25 | 66,23 |
| 20h | NT | NT | 21,76 | 20,87 | 22,05 | 20,13 | 14,51 | 64,52 | 71,84 | 67,63 | 76,23 | 78,81 |
| Horário | C. céu | C. sol | Iluminância (Lux) | | | | | Pressão sonora (dB) | | | | |
| | | | Sala | Quarto 1 | Cozinha | Quarto 2 | P. externo | Sala | Quarto 1 | Cozinha | Quarto 2 | P. externo |
| 8h | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10h | PE | DE | 90,0 | 87,0 | 64,0 | 48,0 | 22200,0 | 48; 60; 66 | 43; 42; 50 | 60; 57; 69 | 44; 46; 48 | 72; 58; 64 |
| 12h | DE | DE | 60700,0 | 515,0 | 35,8 | 25,9 | 65000,0 | 30; 47; 45 | 42; 40; 38 | 47; 47; 47 | 44; 44; 44 | 52; 54; 68 |
| 14h | DE | DE | 551,0 | 290,0 | 70,9 | 17,7 | 55200,0 | 23; 25; 28 | 46; 20; 21 | 50; 34; 24 | 47; 20; 20 | 40; 43; 75 |
| 16h | DE | DE | 414,0 | 150,0 | 52,0 | 8,1 | 10000,0 | 24; 25; 28 | 26; 25; 25 | 30; 28; 29 | 25; 23; 31 | 49; 54; 50 |
| 18h | NT | NT | 32,0 | 37,9 | 20,9 | 15,3 | 0,2 | 24; 28; 29 | 17; 19; 24 | 22; 41; 29 | 23; 30; 22 | 40; 39; 38 |
| 20h | NT | NT | 33,8 | 36,8 | 13,0 | 16,3 | 0,2 | 41; 36; 26 | 20; 23; 19 | 39; 40; 40 | 14; 19; 15 | 57; 46; 39 |
| Horário | Condições dos cômodos durante as medições | | | | | | | | | | | |
| | Sala | Quarto 1 | Cozinha | Quarto 2 | P. externo | | | | | | | |
| 8h | - | - | - | - | - | | | | | | | |
| 10h | PF-JF-CF | PA-JF-CF | PA-JF-1P limpando | PA-JF-CF | rádio ligado na AS. | | | | | | | |
| 12h | PFJF-CA | PF-JF-CF | PF-JA | PF-JA-CA | rádio ligado na AS - som no vizinho | | | | | | | |
| 14h | PF-JF-CA | PF-JF-CF | PF-JF-CF | PF-JF-CF | som no vizinho - cachorro | | | | | | | |
| 16h | PF-JF-CA | PF-JF-CF | PF-JF-CF | PF-JF-CF | som no vizinho | | | | | | | |
| 18h | PF-JF-CA | PF-JF-CF | PF-JF-CF | PF-JF-CF | culito em um vizinho - crianças | | | | | | | |
| 20h | PF-JF-CA | PF-JF-CF | PF-JF-CF | PF-JF-CF | - | | | | | | | |
| Observações | | | | | | | | | | | | |
| Não foi possível realizar as medições das 8h, pois, os moradores estavam dormindo. A cortina da Sala é amarela, a do Quarto 1 é vermelha e a do Quarto 2 é branca. Escureceu às 18h. | | | | | | | | | | | | |
| Legenda: | | | | | | | | | | | | |
| PA - Porta Aberta | JA - Janela Aberta | CA - Cortina Aberta | TV - TV ligada | EN - Encoberto | | | | | | | | |
| PF - Porta Fechada | JF - Janela Fechada | CF - Cortina Fechada | SOM - Som ligado | DE - Descoberto | | | | | | | | |
| | JAF - Janela Entreaberta | CAF - Cortina Entreaberta | XP - N° de Pessoas | DE - Parcialmente Encoberto | | | | | | | | |

| QUADRO DE MEDIÇÕES - ANÁLISE DE DESEMPENHO AMBIENTAL - UNIDADE 052 - DIA 21/07/2012 - COR DA CASA: LARANJA | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|----------|---------|----------|--|---|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| Horário | Temperatura de Superfície (°C) | | | | | | | | | | | |
| | Sala | | | | Quarto 1 | | | | Cozinha | | | |
| | A | B | C-T | D-U | E-R | F | G | H-U | I | J-S | L-T | M |
| | AZ=272° | AZ=2° | AZ=92° | AZ=182° | AZ=272° | AZ=2° | AZ=92° | AZ=182° | AZ=272° | AZ=2° | AZ=92° | AZ=182° |
| 8h | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10h | 16,5 | 16,3 | 16,2 | 16,2 | 15,6 | 16,7 | 16,5 | 15,5 | 17,5 | 17 | 17,5 | 17,5 |
| 12h | 19,6 | 20 | 20,7 | 21,2 | 19,1 | 19 | 18,5 | 19,5 | 17,5 | 17,8 | 17,6 | 17,6 |
| 14h | 21 | 21,2 | 23,6 | 24,2 | 21,8 | 20,7 | 21,2 | 24,3 | 19,5 | 20,7 | 20,7 | 20 |
| 16h | 25,3 | 24 | 31 | 28 | 25 | 23,2 | 23,5 | 27 | 21,6 | 23,6 | 24,2 | 22,3 |
| 18h | 24 | 23,7 | 24,7 | 26 | 23,8 | 23,3 | 24 | 26,2 | 23,5 | 24,7 | 26,2 | 23,5 |
| 20h | 22,2 | 21,8 | 22,6 | 22,2 | 21,8 | 21,6 | 22,2 | 23,5 | 21,7 | 21,3 | 22,7 | 22,1 |
| Horário | Quarto 2 | | | | Externas | | | | Teto | | | |
| | N-R | O-S | P | Q | R [Q1;Q2] | S [Q2;B;C] | T [S;C] | U [Q1;S] | Sala | Quarto 1 | Cozinha | Quarto 2 |
| | AZ=272° | AZ=2° | AZ=92° | AZ=182° | AZ=92° | AZ=182° | AZ=272° | AZ=2° | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 8h | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10h | 16 | 15,6 | 17 | 16,8 | 19,5 | 16,5 | 19,1 | 21,6 | 19 | 20 | 19,8 | 19,7 |
| 12h | 17,5 | 16 | 17 | 17,5 | 23,1 | 22,5 | 25 | 32,8 | 24,2 | 24,5 | 22,3 | 22,2 |
| 14h | 20,2 | 18,3 | 19,1 | 19,6 | 23,6 | 24 | 27,6 | 33,7 | 26,3 | 26,3 | 25,3 | 24,2 |
| 16h | 21,6 | 19,6 | 20 | 20,8 | 22,6 | 23,1 | 33,6 | 31,3 | 28 | 25,5 | 24,2 | 25,3 |
| 18h | 23,5 | 21,5 | 21,6 | 22,8 | 20 | 21,3 | 23,5 | 22,6 | 23,1 | 23,1 | 23,7 | 22,2 |
| 20h | 20,5 | 19,6 | 20,5 | 21 | 17,5 | 18,1 | 17,5 | 16,7 | 19,7 | 19,1 | 19,5 | 19 |
| Horário | Piso | | | | Obs. | | | | | | | |
| | Sala | Quarto 1 | Cozinha | Quarto 2 | Não foi possível realizar as medições das 8h, pois, os moradores estavam dormindo. | | | | | | | |
| 8h | - | - | - | - | | | | | | | | |
| 10h | 17,6 | 18,2 | 18,5 | 18 | | | | | | | | |
| 12h | 21 | 20 | 18 | 18,1 | | | | | | | | |
| 14h | 23,3 | 20,7 | 19,8 | 19 | | | | | | | | |
| 16h | 24 | 22 | 20,1 | 20,5 | | | | | | | | |
| 18h | 22,5 | 21,5 | 21,5 | 20,7 | | | | | | | | |
| 20h | 20,7 | 20 | 19,5 | 19,1 | | | | | | | | |
| Legenda: | | | | | [Q1] - Superfície externa oposta ao Quarto 1 | [B] - Superfície externa oposta ao Banheiro | | | | | | |
| AZ - Azimute | | | | | [Q2] - Superfície externa oposta ao Quarto 2 | [S] - Superfície externa oposta à Sala | | | | | | |
| X-X - Superfícies Opostas | | | | | [C] - Superfície externa oposta à Cozinha | ■ - Superfícies Insoladas no momento da medição | | | | | | |

Anexo 2 – Modelo de entrevista aplicada aos moradores do conjunto

| | | | |
|---|--|---------------|-----------|
|  | UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Nº da Unidade | 11 |
| Data: 26/05/2012 | horário: 17:00h | céu: DE | sol: DE |

Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG Análise do desempenho ambiental de unidades habitacionais construídas

Entrevista semi-estruturada

Abordagem:

Bom dia! Estou trabalhando em um estudo de avaliação do conforto térmico, acústico e lumínico aqui do Conjunto Benjamin José Cardoso e gostaria de saber a sua opinião a respeito das condições ambientais da sua casa. Você pode me ajudar respondendo algumas perguntas?

| | |
|----------|--|
| 1 | Constituição do núcleo familiar (quantidade; gênero; idade). |
| F-49; | M-7. |

| | |
|-------------------------|---|
| 2 | Quando a sua família se mudou para essa casa? |
| 24 de setembro de 2011. | |

| | |
|--|--|
| 3 | Já foi feita alguma modificação na casa? Qual? |
| Sim, executou piso cerâmico sobre base desempenada e foram colocadas grades nas janelas. | |

| | |
|--|--|
| 4 | Em que cômodos você acha que a iluminação é boa durante o dia? Porquê? |
| Aqui pra ser sincera, no meu cômodo, eu acho que é boa em todos. Porque o quarto dos fundos, pro exemplo, agora ele tá escuro porque eu coloco, além da cortina, coisa pra escurecer, mas quando eu tô em casa eu abro tudo vem sol em cima da minha cama. Então a iluminação no geral aqui pra mim tá boa, assim solar você quer dizer natural né. É em todos. Dependendo do horário, não o dia tudo, mas dependendo do horário em todos. | |

| | |
|--|---|
| 5 | Em que cômodos você acha que a iluminação é ruim durante o dia? Porquê? |
| No banheiro, o banheiro eu acho mais escuro. | |

| | |
|--|---|
| 6 | Que cômodos da sua casa são desconfortáveis quando está fazendo frio? |
| Desconfortável? Só na sala mesmo que eu acho um pouquinho mais frio. Só na sala porque meu quarto eu acho super quente. Eu acho super quente meus quatinhos, quando eu fecho tudo então... Só deixo o vidro do banheiro, o vidro do banheiro eu deixo aberto, porque eu acho que uma casa tem que ter ventilação mesmo durante a noite. Você não pode abafar tudo né. Mas assim, tano fechadinho, esse forrinho (falando do forro de PVC) aqui ajudou muito sabe, esse forrinho ajuda a aquecer melhor quando tá frio. Porque eu acho que se não tivesse esse forrinho aqui ia ser mais frio, porque é telha né. Eu acho. Eu gosto da minha casinha. | |



Data: 26/05/2012

horário: 17:00h

céu: DE

sol: DE

7 Que cômodos da sua casa são desconfortáveis quando está fazendo calor?

Ah, o meu quarto. Meu quarto é mais quente [falando do quarto ao lado da cozinha].

8 Se as portas e janelas estiverem fechadas, os barulhos vindos da rua ou dos seus vizinhos incomodam você?

Oh, moço. Eu vou responder sinceramente pra você. Eu acho o seguinte: às vezes tem som alto sim, não aqui nos meus vizinhos não; esses aqui não, mas mais longe assim. Pra mim não me incomoda não. Eu não acho que me incomoda não, eu fico super sossegada. Eu acho que a gente tem que respeitar o espaço de cada um então.

9 Se duas pessoas estiverem conversando num tom normal de voz no quarto ao lado do seu, ambos os quartos com portas e janelas fechadas, é possível entender o que estão falando?

Consegue. Apesar que eu acabei de falar, eu não presto atenção, mas se quiser ouvir escuta. Eu que não faço questão né, mas escuta sim.

10 Nessa pesquisa haverá uma parte prática em que serão feitas medições de temperatura, de nível de ruído e de quantidade de luz. Essas medições serão feitas de duas em duas horas, das 8h às 20h, durante três dias nos meses de junho e dezembro. Você e sua família permitiriam que essas medições pudessem ser feitas na sua casa? [sim; se não, porque].

O morador permite que sejam feitas medições na sua residência.

11 Observações.

O nome da entrevistada é Terezinha.