



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO, LUMÍNICO E ACÚSTICO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES EM USO

Mena Cristina Marcolino Mendes (1); Marcio Minto Fabrício (2) César Imai (3)

(1) Doutora, Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil, mcmendes@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil, Avenida Colombo 5790, Jardim Universitário, Maringá-PR, 44-3011-4322

(2) Doutor, Professor Associado do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, marcio@sc.usp.br, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, Centro, São Carlos-SP, 16-3373-9279

(3) Doutor, Professor Associado, cesarimai@gmail.com, Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo Rodovia Celso Garcia (PR-445) Campus Universitário km 380, Londrina-PR 43-3371-4525

RESUMO

Os painéis de vedações industrializados autoportantes são sistemas construtivos inovadores, empregados em Habitação de Interesse Social (HIS), a partir do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Os painéis representam um aprimoramento do processo produtivo convencional. As tecnologias inovadoras são homologadas no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica e possuem Documento de Avaliação Técnica, que atesta o desempenho do produto. Porém, os ensaios laboratoriais não abrangem o comportamento, em uso, das vedações aplicadas em habitação de interesse social. O objetivo deste artigo é o de verificar, em uso, o desempenho térmico, lumínico e acústico das moradias, diferenciadas pela tecnologia construtiva: painéis de concreto armado moldados em formas de Policloreto de Vinila (PVC) e o sistema de painéis leves estruturados em madeira tratada (*Light Wood Frame*). Neste contexto, a Avaliação Pós-Ocupação (APO) foi adotada como estratégia de pesquisa por se tratar de um método que permite não apenas obter um parecer técnico, mas também aferir a percepção dos usuários. Os resultados mostram a necessidade de reavaliar os critérios de desempenho térmico, lumínico e acústico, para a re-homologação do sistema concreto-PVC em futuras aplicações em HIS. O sistema leve em madeira possui desempenho térmico e acústico satisfatório, porém em ambos os casos as ampliações prejudicaram o desempenho lumínico.

Palavras-chave: Avaliação Pós-Ocupação, inovação na construção, desempenho e conforto.

ABSTRACT

Industrialized self-supporting prefabricated building panels are part of the innovative construction system used in the social housing program Minha Casa Minha Vida (PMCMV). The panels represent an improvement in the conventional production process. Innovative technologies are approved under the Brazilian Technical Assessment System (SiNAT) and have technical assessment documentation certifying the performance of the product. However, laboratory tests have not covered the 'behavior in use' of the panels in social housing applications. The purpose of this article is to assess the thermal, lighting and acoustic performance in use of dwellings differentiated by the construction technology used: reinforced concrete panels molded in polyvinyl chloride (PVC) and a system of light panels structured in treated wood (*Light Wood Frame*). In this context, the Post-Occupancy Evaluation (POE) was adopted as a research strategy because it is a method that enables a technical assessment, as well as a complementary gauging of user perceptions. The results show the need to re-evaluate the criteria for thermal, lighting and acoustic performance for reapproval of the PVC-concrete system in future social housing applications. The thermal and acoustic performance of the light wood frame system was satisfactory, but in both cases the expansions impaired lighting performance.

Keywords: Post-Occupation Evaluation, innovation in construction, performance and comfort.

1. INTRODUÇÃO

A partir do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), a introdução de inovações tecnológicas no Brasil foi aceita oficialmente pela Lei n. 11.977⁴ de 07 de julho de 2009, que propiciou aos gestores públicos e privados produzirem habitações em escala, devido às vantagens proporcionadas pelos processos construtivos pré-fabricados e industrializados e, ainda, reduzir os custos (RUBIN; BOLFE, 2014).

No contexto de intensa produção do programa MCMV, a avaliação do projeto e da edificação, em uso, é importante para a gestão do processo de projeto, para aprimorá-lo, melhorar a qualidade do programa de necessidades, e da construção. As principais razões que levam à avaliação são a promoção da saúde e do bem-estar dos usuários (VOORDT; WEGEN, 2013).

A avaliação dos sistemas construtivos inovadores e da habitação produzida com as tecnologias em questão é essencial para garantir o desempenho mínimo aceitável da unidade habitacional (UH) e, no caso dos produtos inovadores (sistemas de vedações que não possuem norma técnica prescritiva e tradição de uso no Brasil), faz-se necessário a verificação e o acompanhamento.

Os sistemas construtivos inovadores homologados no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT) passam por ensaios laboratoriais para verificação do desempenho acústico, e estas avaliações consideraram as paredes cegas, excluindo as paredes com aberturas, sabendo-se que as janelas influenciam no desempenho térmico, lumínico e acústico da parede. O Documento de Avaliação Técnica (DATec) do produto inovador pode trazer a informação sobre a necessidade de que as esquadrias externas tenham isolamento sonora para que o conjunto (vedação e esquadria) atenda aos requisitos de desempenho acústico. Portanto, o DATec pode reconhecer a necessidade de complementar as avaliações realizadas no âmbito do SiNAT, em uso, a fim de que a moradia atenda aos requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013), o que deixa claro a necessidade de se avançar na discussão de métodos para a avaliação de desempenho em uso. Portanto, as limitações da avaliação técnica ou lacunas identificadas na pesquisa, a partir da análise dos DATec's do desempenho dos sistemas homologados no âmbito do SiNAT, envolvem: avaliação técnica de desempenho acústico, que considera apenas paredes cegas; avaliação de desempenho térmico para zonas bioclimáticas específicas, que considera lajes de concreto e telhas cerâmicas, mas que em aplicações em HIS não contempla o emprego de laje; portanto, sugere-se o monitoramento do comportamento em uso dos sistemas construtivos inovadores.

Para tanto se adota como estratégia da pesquisa a Avaliação Pós-Ocupação (APO), ressaltando que pesquisas com enfoque na avaliação requerem abordagens por meio de diferentes métodos e levantamentos (KOWALTOWSKI et al., 2013). Esta pesquisa salienta a importância da avaliação técnica dos sistemas construtivos para fins habitacionais em série, financiadas pelo Poder Público, e da verificação do desempenho em uso quanto aos critérios de desempenho térmico, lumínico e acústico, conforme a ABNT NBR 15575:2013.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar o desempenho lumínico, térmico e acústico das moradias em uso, diferenciadas pela tecnologia construtiva denominado sistema concreto-PVC e sistema estruturado leve em madeira, homologadas no âmbito do SiNAT.

3. MÉTODO

A Avaliação Pós-Ocupação (APO) apresentada neste estudo é do tipo diagnóstica, pois está focada em aspectos de desempenho como segurança, conforto e durabilidade, possibilitando identificar a ocorrência de problemas no uso (PREISER, 1995). Para Villa e Ornstein (2013), a APO promove ações que possibilitam, dentro do processo de projeto, a melhoria contínua do produto e, por extensão, da qualidade de vida dos usuários. A abordagem da APO, dada a esta pesquisa, reúne diferentes fontes de evidências, como: verificação documental (projeto e documentação técnica), verificação da obra *in loco* (observação direta), e aplicação de questionários, a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados. De acordo com Ornstein (2017), nos últimos 20 anos a APO sofreu aprofundamentos nas abordagens metodológicas e avanços acadêmicos gradativos. Os métodos e procedimentos originais integram o “Manual de Aplicação do Projeto Inovatec-FINEP” (FINEP, 2012; ORNSTEIN, ONO, OLIVEIRA; 2017) replicado e otimizado por Mendes (2018). Ornstein, Ono e Oliveira (2017) salientam que a APO é uma etapa relevante para a gestão do processo de projeto, com possibilidade de retroalimentar diretrizes para futuros projetos.

Os instrumentos aplicados foram físicos, tais como “fichas” de verificação do projeto e da obra, e digital, como o questionário aplicado aos moradores. A seguir serão apresentados dois estudos de caso, as tecnologias inovadoras, características das moradias da implantação de cada estudo, os materiais e métodos referentes à

⁴ <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2007-2010/2009/lei/11977.htm>

verificação do projeto, verificação da obra e do questionário aplicado ao morador. Os dados da pesquisa foram tabulados e obtiveram-se as frequências, para a análise descritiva dos resultados.

3.1. Estudo de Caso 1 e 2: tecnologias construtivas empregadas em habitação social

Os painéis de vedação são autoportantes e atendem à produção em fábrica do PMCMV. A população beneficiária se enquadra no programa MCMV, faixa 1, com renda média familiar de até 3 salários mínimos.

Ambos os painéis constituem o elemento inovador das moradias. Ambos os empreendimentos estão localizados na região Sul do país, nos Estados de Santa Catarina e Paraná.

- **Estudo de Caso 1:** Os painéis de vedação são constituídos de concreto armado, moldado no local com formas incorporadas de Policloreto de Vinila (PVC). Neste sistema o revestimento de PVC substitui os revestimentos em argamassa e a pintura.
- **Estudo de Caso 2:** Os painéis de vedação são estruturados em madeira de pinus (*Light Wood Frame*), tratados quimicamente com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) em autoclave; possuem contraventamento em placa estrutural *Oriented Strand Board* (OSB), e são revestidos internamente com placas de gesso e, externamente, por placa cimentícia. Enfatiza-se que desde a vigência do DATec n. 20, no ano de 2013, a empresa proponente obteve três novos DATecs com aprimoramentos tecnológicos no sistema construtivo. E este sistema é anterior a ABNT NBR 15575:2013, utilizada como referencial metodológico. Em ambos os casos a cobertura é constituída de telhas cerâmicas e estrutura em madeira, possui forro de PVC e não possui lajes de concreto armado. Apenas no **Estudo de Caso 2** há isolamento térmico no forro.

3.2. Verificação do projeto: desempenho térmico e lumínico

Para a verificação do **desempenho térmico** foram utilizados os dados constantes nos DATec's de cada sistema construtivo, tal como a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede (α), para a verificação da Transmitância Térmica (U). No método para a verificação do desempenho térmico considerou-se:

- As características físicas das vedações: quanto à estrutura dos painéis;
- As Zonas Bioclimáticas, foram obtidas a partir da ABNT NBR 15220-3:2005, e os procedimentos da ABNT NBR 15220-2:2005. Para o **Estudo de Caso 1** adotou-se o município de Indaial-SC, como referência pela proximidade com o município onde está implantado as UH's, este pertencente à **Zona Bioclimática 3**, as exigências construtivas para o projeto são: aberturas, para a ventilação, médias; nas aberturas permitir o sol durante o inverno; paredes externas leves, refletora e interna pesada (inverno – inércia térmica), cobertura leve; no verão propiciar a ventilação cruzada, e no inverno o aquecimento solar da edificação (ABNT, 2005). O clima do local de estudo é tropical, e a temperatura média⁵ é de 27.7°C, sendo o mês de setembro o mais quente do ano, enquanto a temperatura média mais baixa é de 24.9°C, e ocorre no mês de junho. A pluviosidade média é de 1640 mm, e o verão possui maior pluviosidade que o inverno. O município do **Estudo de Caso 2** trata-se de Curitiba-PR e pertence à **Zona Bioclimática 1**, cujas exigências construtivas são: aberturas, para a ventilação, médias, as quais devem permitir o sol no período frio, as paredes externas devem ser leves e a interna pesada (inverno – inércia térmica), a cobertura leve, e no inverno propiciar o aquecimento solar da edificação (ABNT, 2005). O clima do local é quente e temperado, e possui significativa pluviosidade ao longo do ano. O mês de janeiro é o mais quente, com temperatura⁶ média de 21° C, e a menor temperatura média é de 13.4° C. A pluviosidade média é de 1390 mm, e a mais significativa durante o ano ocorre no mês de janeiro.
- As aberturas para a ventilação foram verificadas de acordo com as **zonas bioclimáticas 1 e 3**, e as orientações dimensionais da ABNT NBR 15575:2013 - Área mínima de ventilação em dormitórios e sala de estar - para as áreas de aberturas (janelas) de dormitórios, e na sala de estar/jantar, para a ventilação, devem atender à área igual ou maior do que 7% da área do piso.
- A Transmitância térmica (U – W/m²K) das **paredes externas** foi obtida a partir da absorvância à radiação solar da superfície externa " α " da parede e a cor externa da fachada. Para a **zona bioclimática 1** foi considerado $U \leq 2,5$. Para a **zona bioclimática 3**, considerou-se a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede (α); para $\alpha \leq 0,6$ considerou-se $U \leq 3,7$; se $\alpha > 0,6$ considera-se $U \leq 2,5$.

⁵ <https://pt.climate-data.org/location/879943/>

⁶ <https://pt.climate-data.org/location/2010/>

- Para a Capacidade Térmica ($CT - J/m^2K$) das paredes externas, para as zonas **bioclimáticas 1 e 3**, considerou-se $CT \geq 130$.
- Para a Transmitância térmica ($U - W/m^2K$) da cobertura para a **zona bioclimática 1** considerou-se $U \leq 2,30$; para a **zona bioclimática 3**, a absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura (α): $\alpha \leq 0,6$ considerou-se $U \leq 2,30$ ou se $\alpha > 0,6$ considera-se $U \leq 1,5$.

Para a verificação do **desempenho térmico**, nos dois estudos de caso, considerou-se o método simplificado da ABNT NBR 15575-4:2013, sendo a absorvância à radiação solar considerada de ($\alpha \leq 0,3$, para cores claras, conforme a indicação dos respectivos DATecs dos SCIs.

O método de verificação do **desempenho lumínico** se deu a partir da análise do projeto arquitetônico, verificando-se a presença de dispositivo de controle de iluminância nos dormitórios e de luz natural dos ambientes, inclusive no banheiro (Figura 1).

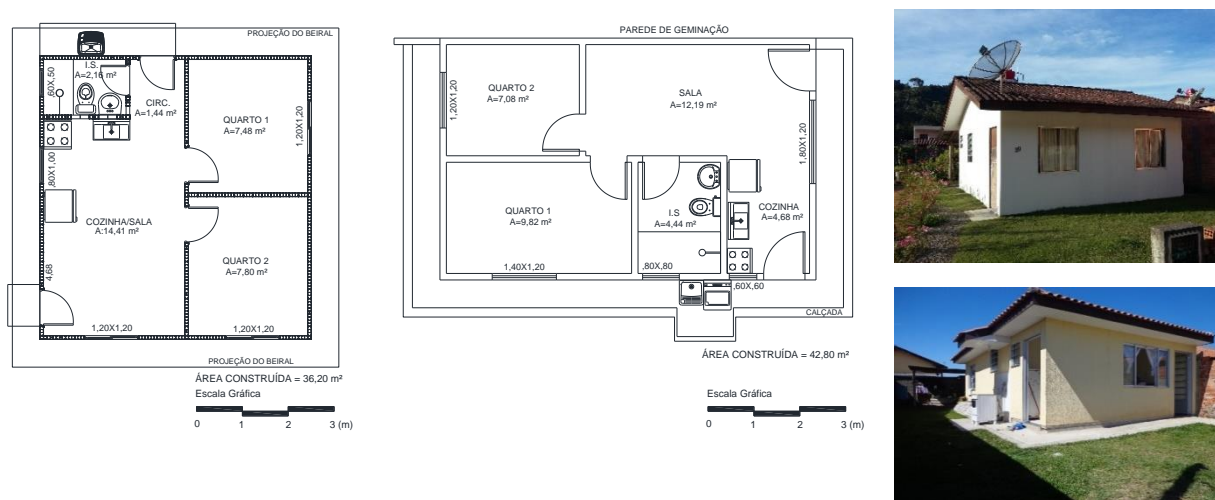


Figura 1 – Planta Baixa e UHs: à esquerda em concreto-PVC, e a direita em sistema leve em madeira. Fonte: Autores

3.3. Verificação da obra (*in loco*) e amostragem: desempenho lumínico

Nas moradias dos dois conjuntos habitacionais foram realizadas medições de iluminância. A verificação das obras do **Estudo de Caso 1 e 2** foi realizada do dia **08 a 10 de junho de 2016**, e nos dias **25 a 27 de agosto de 2016**, respectivamente. Para o **Estudo de Caso 1**, adotou-se o Censo, porém houve dificuldades no acesso às moradias, o que resultou em **18 unidades vistoriadas** (78% das moradias) de 23 UH's (Figura 2).

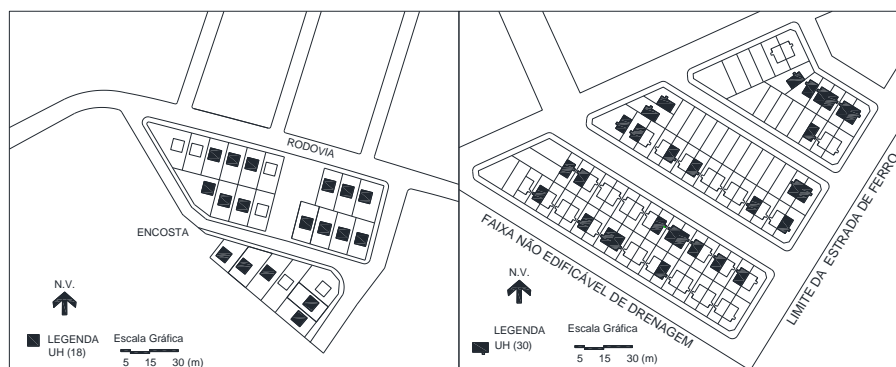


Figura 2 – Implantação dos Empreendimentos de Interesse Social. À esquerda – Estudo de Caso 1; À direita – Estudo de Caso 2. Fonte: Autores

Para o **Estudo de Caso 2**, adotou-se a amostra mínima de **30 unidades** (45% das moradias) de 66 UH's. Neste caso, a amostra foi obtida por meio de sorteio aleatório, e controlados os parâmetros de implantação e orientação solar. O segundo caso possui as moradias geminadas (Figura 2).

3.3.1. Método para verificação do desempenho lumínico das moradias

Na verificação do **desempenho lumínico** foi adotado o critério da NBR 15575-1:2013, que se refere ao nível mínimo de desempenho (≥ 60 lux) iluminância natural dos ambientes: sala, dormitório, cozinha e área de serviço. Para as medições foi utilizado o **luxímetro digital (portátil)**, e com o apoio de uma trena mediu-se o centro geométrico dos ambientes, a uma altura de 0,75 m do piso acabado (Figura 3). As medições foram realizadas nos períodos manhã e tarde, conforme a disponibilidade de acesso às moradias; janelas e cortinas abertas, luz artificial apagada, anotando-se as situações que pudessem reduzir a iluminância, por exemplo, em unidades ampliadas. A verificação de mecanismos de controle de iluminância integrado aos caixilhos, como venezianas, foi o método de avaliação adotado na vistoria da obra, bem como a análise do projeto dos dormitórios.

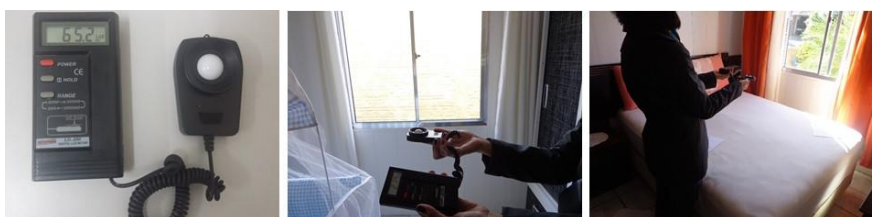


Figura 3 - Luxímetro. Verificação da iluminância dos ambientes internos. Fonte: Autores

3.4. Aplicação dos questionários e amostragem: desempenho térmico, lumínico e acústico

Para a aplicação do questionário aos moradores, a pesquisa foi protocolada no Comitê Permanente de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Maringá, em 05 de julho de 2016 e o parecer da análise com a aprovação foi obtida em **05 de agosto de 2016**, sob o **CAAE 57615616.5.0000.0104**. Entre os procedimentos coletaram-se os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), de cada morador participante. Para ser respondente o morador deveria declarar idade superior ou igual a 18 anos completos, e ser proprietário ou morador há mais de 2 anos. Para o **Estudo de Caso 1** foram aplicados 20 questionários (87% dos proprietários) aos moradores dos 23 possíveis, nos dias **07 e 08 de setembro de 2016**; e para o **Estudo de Caso 2** foram aplicados 55 questionários (83% dos proprietários) dos 66 possíveis, nos dias **25 a 27 de agosto de 2016 e de 09 a 10 de setembro de 2016**. Em nenhum dos casos se obteve 100% de participação, devido à recusa dos moradores em participar da pesquisa, e pela existência de casas fechadas. Nesta pesquisa levantou-se o perfil dos moradores, proprietário, idade, tempo de moradia, número de residentes na casa, satisfação do morador com a casa, e se foram realizadas ampliações. As questões relativas à percepção dos moradores, pertinentes ao conforto térmico, lumínico e acústico, são apresentadas no quadro 1.

Para a análise do desempenho acústico das moradias considerou-se o projeto da unidade, do empreendimento, a implantação das moradias, do loteamento, as informações de desempenho do respectivo DATec e, ainda, a percepção dos moradores.

Quadro 1 – Questionário aplicado aos moradores: conforto térmico, lumínico e acústico

Desempenho Térmico		
Durante o período quente do ano, a sua moradia como um todo é:		
<input type="checkbox"/> Confortável/ Agradável	<input type="checkbox"/> Levemente quente	<input type="checkbox"/> Quente <input type="checkbox"/> Insuportavelmente quente
Durante o período frio do ano, a moradia como um todo é:		
<input type="checkbox"/> Confortável/ Agradável	<input type="checkbox"/> Levemente fria	<input type="checkbox"/> Fria <input type="checkbox"/> Insuportavelmente fria
Desempenho lumínico		
Durante o dia, você precisa acender lâmpadas: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Desempenho Acústico		
Existem barulhos que incomodam, internos à edificação ou ao condomínio?		<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Existem barulhos que incomodam, externos à edificação ou condomínio?		<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
O fechamento de portas e de janelas resolve o problema do barulho externo?		<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

Fonte: Autores. Adaptado (MENDES, 2018).

4. RESULTADOS

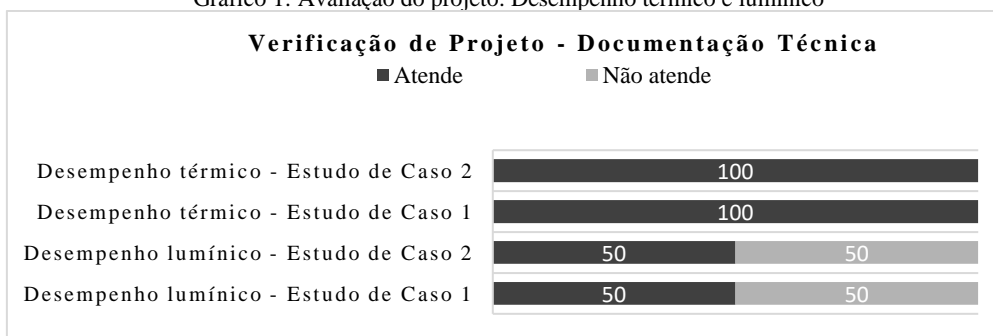
Os resultados foram obtidos a partir da verificação do projeto, da obra e do questionário ao morador. Os resultados do “Questionário ao morador” contribuíram para os cruzamentos dos dados dos dois casos. A verificação da documentação técnica dos sistemas construtivos e a ABNT NBR 15575-4:2013 foram utilizadas na análise dos casos.

A população participante do **Estudo de Caso 1** foi de 87% (20 participantes), sendo que, deste total, 90% são proprietários (as) e residentes no local há mais de dois anos (85%). Os participantes, em sua maioria, possuem de 21 a 30 anos (25%), de 31 a 40 anos (25%), de 41 a 50 anos (15%) e mais de 51 anos (20%). As moradias possuem em média 4 residentes por moradia (80%). Para os moradores, a casa de concreto-PVC foi considerada “melhor” que a anterior para 50% dos participantes, 30% “igual” e 20% “pior”. A população participante no **Estudo de Caso 2** foi de 83% (55 participantes), sendo que, deste total, 86% são proprietários (as) e 96% o primeiro morador (a). Os participantes possuem de 21 a 30 anos (27%), de 31 a 40 anos (15%), de 41 a 50 anos (18%) e mais de 51 anos (31%). As moradias possuem até 4 residentes por moradia (70%). A moradia em sistema leve em madeira foi considerada “melhor” por 71% dos participantes, “igual” (18%) e “pior” (11%).

4.1. Verificação do Projeto: Desempenho Térmico e Lumínico

As avaliações dos projetos indicaram que os critérios de desempenho lumínico não atendem aos mecanismos de controle de iluminância (100%) nas janelas dos dormitórios, e atendem à iluminação natural nos banheiros (100%). Portanto, considera-se que 50% dos itens do conforto lumínico, para os dois estudos de caso, não atendem ao projeto (Gráfico 1). Neste caso sugere-se que os critérios de desempenho lumínico sejam confirmados na verificação da obra e realizadas medições de iluminância no local, inclusive nos espaços da sala e cozinha.

Gráfico 1: Avaliação do projeto: Desempenho térmico e lumínico



4.1.1 Desempenho térmico das moradias

Para a verificação do desempenho térmico foi realizado o cruzamento das informações obtidas com os instrumentos “Verificação do Projeto” e “Questionário ao Morador”.

Sobre a tecnologia do **Estudo de Caso 1**, o desempenho térmico apresentado no DATec n. 17 (IPT, 2013) foi aferido por simulação computacional, e considerou as paredes de concreto com perfis de PVC, cobertura em telhas cerâmicas, laje de concreto, pé-direito de 2,60 m e, para dois grupos de zonas bioclimáticas, casas térreas para critérios considerados mínimos para a condição padrão (ventilação por infiltração pelas frestas das janelas e janelas sem sombreamento). O DATec do sistema concreto-PVC não menciona a cor da pintura que interfere no desempenho térmico, uma vez que o acabamento final do substrato se trata do revestimento de PVC. As áreas de abertura de janelas para ventilação natural, especificadas em projeto, atendem aos parâmetros da **zona bioclimática 3**, conforme a ABNT NBR 15220-3:2005, bem como a transmitância térmica e a capacidade térmica de paredes, e a transmitância térmica dos materiais de cobertura. Embora as aberturas sejam consideradas suficientes em relação ao percentual mínimo de área do piso (7%), conforme a NBR 15575:2013, não possuem mecanismos de controle de ventilação nos dormitórios, razão pela qual não ventilam permanentemente quando fechadas, intensificando a sensação de calor nos ambientes e a condensação interna. A condensação interna, observada na verificação da obra, intensifica os problemas de umidade e bolor verificados nas paredes com interface com o forro e janelas (Figura 4). A implantação da moradia isolada no lote favorece a ventilação e a insolação da fachada.

Ao considerar que as moradias foram alteradas pela maioria dos moradores (85%) e que, portanto, as condições de conforto projetadas originalmente foram modificadas, tais como áreas de sombreamentos das janelas e portas por coberturas ampliadas, não se procedeu à verificação da temperatura interna, que já não estava prescrita nos instrumentos de avaliação. Estas medições foram consideradas inviáveis pelo acesso às moradias no mesmo horário. Recomenda-se que, em pesquisas futuras, a verificação do desempenho térmico considere as alterações do pós-uso, a temperatura interna dos ambientes, ventilação, umidade e demais parâmetros que devem ser controlados. Para a maioria dos moradores o conforto térmico é assim considerado: “quente” (55%) e, no período frio, “confortável agradável” (45%) e “frio” (45%). A avaliação dos moradores

não pode ser generalizada para todas as aplicações do SCI em questão, pois há que se considerar as especificidades no projeto, tais como altura de pé-direito, cobertura e, ainda, a implantação e a orientação solar, bem como a presença ou não de laje de concreto armado. Inclusive os resultados, que são um importante indicativo de conforto dos usuários, podem apresentar variáveis que se deve levar em conta, uma vez que a pesquisa foi realizada no mês que é considerado o mais “quente” do ano (setembro), e a sensação térmica do morador na data da pesquisa pode influenciar as respostas. Em suma, o conforto térmico deve ser reavaliado, para fins de re-homologação do SCI, devido ao fato de as esquadrias das UH’s não serem do tipo venezianas, que contribuiriam para a ventilação natural, minimizando a condensação interna, e, por outro lado, as ampliações, que podem prejudicar o conforto térmico dos usuários, bem como os materiais da parede, já que, pela percepção dos moradores, há insatisfação no período quente e frio.



Figura 4 – À esquerda, condensação e bolor nas vedações em concreto-PVC e à direita no sistema em madeira. Fonte: Autores.

A análise do projeto da unidade habitacional em sistema leve em madeira, a implantação da casa no lote (geminada) e a implantação do empreendimento, bem como os dados das avaliações técnicas, subsidiaram as discussões. Sobre a tecnologia do **Estudo de Caso 2**, esta atende ao desempenho térmico, por simulação computacional, considerando os parâmetros mínimos da Diretriz do SiNAT n. 05 para edificação térrea isolada, em todas as zonas bioclimáticas: paredes com acabamento na cor clara, cobertura em telhas cerâmicas, forro de PVC, sombreamento das janelas e ventilação dos ambientes. A tipologia da moradia do Estudo de Caso 2 difere, na avaliação do DATec n. 20 (IFBQ, 2013), por ser geminada. Com a verificação do projeto levantou-se que as áreas de abertura de janelas são adequadas às recomendações da **zona bioclimática 1**, conforme ABNT NBR 15220-3:2005. A transmitância térmica, a capacidade térmica de paredes e da cobertura atendem ao especificado na zona de referência. Porém os moradores realizaram modificações no projeto original, em 44% das moradias, que alteraram as condições de ventilação natural, insolação frontal, lateral e fundos. As medições de temperatura não foram realizadas, tendo em vista as limitações da pesquisa in loco e a impossibilidade de aferir a temperatura, ventilação e umidade, em 30 unidades no mesmo dia, período e horário. A avaliação dos moradores em relação ao conforto térmico durante o período quente foi considerado “confortável / agradável” (62%), e no período frio “confortável/agradável” (84%). A pesquisa foi realizada nos meses de setembro e agosto e, portanto, não coincidiu com os períodos mais quentes e mais frios do ano, o que poderia influenciar a sensação térmica do respondente. No que tange aos instrumentos, foram considerados relevantes, para o estudo, verificar o conforto térmico da unidade habitacional por meio da satisfação dos moradores, e a documentação técnica, desde que analisados em conjunto com outros parâmetros a serem controlados, uma vez que as ampliações interferiram nas condições originalmente projetadas. O morador também pode ter realizado alterações que lhe tenham proporcionado conforto ou desconforto, e que pode se refletir na opinião do mesmo. O fato de o projeto ser geminado pode contribuir para o desempenho térmico no período quente, uma vez que possui uma das faces protegidas da insolação, e o forro revestido de lã de vidro pertinente ao sistema construtivo favorece o conforto térmico dos usuários da moradia, bem como a cobertura em telhas cerâmicas. Um dos potenciais problemas identificados na vistoria das moradias é a condensação interna no período da manhã, causando bolor na calafetação e nos caixilhos das esquadrias metálicas (Figura 4). A pintura externa de todas as moradias é texturizada na cor clara, conforme prescrição do DATec n. 20 (IFBQ, 2013), visando ao conforto térmico dos moradores.

O desempenho térmico do **Estudo de Caso 2** pode ser considerado satisfatório no período quente ou frio, de acordo com a avaliação dos moradores, e quanto ao atendimento técnico dos materiais isolantes empregados em paredes e forro.

4.1.2. Desempenho lumínico das moradias

A verificação do desempenho lumínico foi realizada a partir do cruzamento das informações obtidas com os instrumentos “Ficha de Verificação do Projeto”, “Ficha de Verificação da Obra” e “Questionário ao morador”.

A verificação do projeto do **Estudo de Caso 1** sobre os mecanismos de controle de iluminação integrados às esquadrias dos dormitórios evidencia que eles não atendem a este requisito. As esquadrias são em alumínio e vidro liso comum e transparente, o que favorece a iluminação natural, mas não a ventilação quando a janela está fechada. O banheiro possui iluminação natural e atendeu às especificações do projeto e *in*

loco. A iluminância dos ambientes internos – dormitórios, sala, cozinha e banheiros (mínimo 60 lux) - foi verificada com o Luxímetro: os dormitórios atenderam a 100% da amostra, e a sala e a cozinha atenderam a 83% do total de unidades pesquisadas, considerando que são ambientes conjugados. A iluminância da sala e cozinha, conjugadas, foi prejudicada pelas ampliações e obstrução do ambiente interno, enquanto que os dormitórios não foram afetados pelas ampliações, devido aos recuos do lote e ao fato de os muros, executados pelos moradores, serem baixos. As medições foram realizadas em diferentes horários, pelas limitações da pesquisa quanto ao acesso, e permanência nas casas. Assim, entende-se que para a verificação do desempenho térmico e lumínico o estudo da implantação se faz importante, tendo em vista que 85% das moradias foram alteradas, com ampliações que interferem no desempenho original. A maior parte dos moradores das habitações de concreto-PVC considera que não é preciso acender lâmpadas durante o dia para nelas realizarem as atividades (70%). Todos os ambientes internos requerem fonte e controle de iluminação adequados. A baixa eficiência lumínica, no projeto ou no uso, reflete-se em gastos elevados com energia elétrica, no entanto neste caso não há dados suficientes para afirmar a eficiência lumínica por meio dos gastos mensais, o que depende do uso e do tipo de iluminação, que, na maioria das casas, é do tipo incandescente. Nesta verificação indicase a necessidade de reavaliação das diretrizes de projeto, especialmente nos ambientes de sala e cozinha.

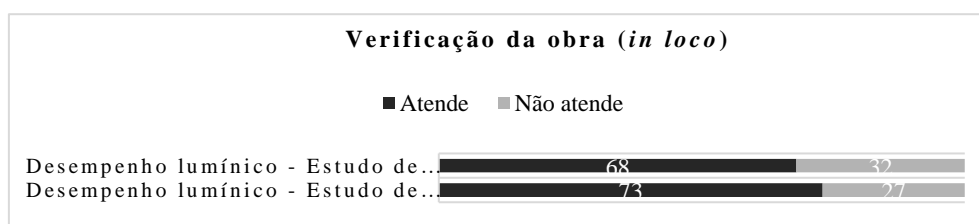
Na verificação da obra do **Estudo de Caso 2** identificou-se a falta de mecanismo de controle de iluminância integrado nas esquadrias dos dormitórios. Todas as esquadrias são em alumínio anodizado e vidro comum liso e transparente. Os níveis de iluminância foram medidos com o instrumento Luxímetro, e os valores obtidos foram: dormitórios atendem (83%), as salas atendem (73%), e cozinhas atendem (83%), ao requerido de 60 lux, conforme a ABNT NBR 15575:2013. A iluminação natural do banheiro foi considerada atendida, embora a referida norma não estabeleça parâmetros para a iluminância de banheiro. A iluminância das salas foi prejudicada, pela presença de alterações no projeto original da moradia (44%) (Figura 5, Gráfico 2). Em sua maioria, os moradores das casas em sistema leve em madeira responderam que não é preciso acender lâmpadas durante o dia para as atividades na moradia (89%).



Figura 5 – Iluminação natural prejudicada pelas ampliações da moradia com painéis leves em madeira. Fonte: Autores.

A necessidade de acender lâmpada durante o dia trata-se da baixa eficiência lumínica decorrente das ampliações (Gráfico 2).

Gráfico 2: Verificação da obra: Desempenho lumínico



Para a verificação do desempenho lumínico não se considerou o Fator de Luz Diurna (FLD)⁷, tendo em vista que a maioria das UH's vistoriadas foram ampliadas e se constituem em obstáculos que interferem na verificação da iluminância externa à sombra. Portanto, embora a NBR 15575:2013 recomende o critério – medição *in loco* para o FLD - foram encontradas dificuldades que limitaram a pesquisa quanto a este método de avaliação.

4.1.3. Desempenho acústico das moradias

No caso do desempenho acústico do **Estudo de Caso 1**, os ensaios de laboratório, conforme o DATec n. 17 (IPT, 2013) do sistema concreto-PVC, consideram apenas a parede cega, empregada em fachadas, de 80 mm

⁷ O FLD é dado pela relação entre a iluminância interna e iluminância externa à sombra (ABNT, 2013).

de espessura, sem janelas, e esta avaliação apresenta o índice de redução sonora de (R_w) de 43 (Db). O valor de redução sonora atende ao prescrito na Diretriz n. 04 do SiNAT, de 30 (dB) (BRASIL, 2010). O ensaio de laboratório do DATec n. 17 (IPT, 2013) não contempla os ruídos internos provenientes das instalações hidrossanitárias embutidas em perfis vazados e, portanto, salienta-se que pela técnica de execução das vedações poderiam ocorrer ruídos internos, devido à vibração das tubulações. A verificação da obra no interior da residência identificou que não há ruídos excessivos na utilização das instalações hidrossanitárias. O documento técnico recomenda que as tubulações possuam isolamento, o que pode justificar não haver ruídos internos. Os moradores afirmam que não há barulhos internos que incomodem (70%). E, embora existam barulhos externos, estes também não incomodam, como relata a maior parte dos moradores (80%). Já os moradores incomodados com o barulho externo afirmam que os fechamentos de janelas não resolvem o ruído externo (75%). Embora o estudo tenha uma amostragem reduzida, e não seja possível generalizar os resultados, considerados em conjunto com a análise do projeto tais resultados contribuem para a afirmação de que, isoladamente, as vedações não correspondem à redução sonora da fachada, ainda mais que o projeto de implantação não priorizou recuos adequados e localizou as moradias adjacentes a uma rodovia de tráfego intenso (acesso ao município de Blumenau, Estado de Santa Catarina). O projeto da moradia não possui parede cega na fachada, tal como a situação do ensaio em laboratório, possui aberturas voltadas para a fachada principal, que não contribuem para o isolamento acústico.

As especificações da moradia do **Estudo de Caso 2** são similares aos ensaios de campo do DATec n. 20, cujo resultado também é restrito ao caso estudado: telha de cerâmica, forro horizontal de PVC, camada de lã de vidro no forro, porta dos dormitórios em madeira, janelas de alumínio anodizado com vidro comum e sem isolamento acústico. Conforme o DATec n. 20, os ensaios atendem ao valor mínimo de desempenho 25(dB) para a parede de dormitório e 40 (dB) para as paredes de geminação, conforme os valores mínimos determinados pela Diretriz n. 05 do SiNAT (BRASIL, 2011). O ensaio de campo do DATec n. 20 (IFBQ, 2013), como no caso anterior não contempla os ruídos internos provenientes das instalações hidrossanitárias embutidas nas vedações. Em 100% da amostra (30 moradias) não se verificou ruídos excessivos na utilização das instalações hidrossanitárias, que são fixadas à estrutura interna da parede em madeira por braçadeiras ou fitas metálicas aparafusadas. O projeto do **Estudo de Caso 2** não possui as paredes de geminação com instalações hidrossanitárias adjacentes, o que favorece o desempenho acústico entre as unidades. Na avaliação dos moradores, os barulhos internos não incomodam (93%) e, quanto aos externos, não incomodam (71%) exceto para as moradias próximas à estrada de ferro. Quando questionados sobre o fechamento das janelas, os respondentes afirmaram que isso resolve o problema em 81%. Neste caso, o conjunto esquadria e vedação não corresponde à isolação sonora das fontes de ruídos, como o do “trem”. O desempenho pode ser considerado satisfatório, considerando o fato de o projeto ser geminado com isolamento, e, pela avaliação dos moradores, o percentual de conforto acústico interno foi alto. Considera-se ainda que a isolação acústica da janela contribui, quando fechada, para resolver a maioria dos potenciais problemas de ruído, em uma condição de implantação na divisa com a estrada de ferro.

5. CONCLUSÕES

Diante da análise dos dados, conclui-se que para o **Estudo de Caso 1** os resultados indicam a necessidade de reavaliação dos critérios de desempenho térmico e acústico, para futuras re-homologações do DATec. Para o **Estudo de Caso 2**, os resultados de desempenho térmico e acústico são satisfatórios, e para a manutenção da homologação recomendam-se avaliações sistemáticas, a fim de monitorar o comportamento, em uso, das vedações. Cabe ressaltar que este sistema possui material isolante nas paredes e no forro. Nos dois casos as janelas não se apresentaram compatíveis com o isolamento das vedações. Portanto, enfatiza-se que os materiais e componentes como as esquadrias influenciam significativamente na qualidade do projeto. As percepções dos moradores quanto ao desconforto acústico ocorrem pela implantação do empreendimento e a proximidade das UH's com as fontes geradoras de ruído (rodovia e estrada de ferro). Quanto ao desempenho lumínico das moradias, nos dois casos atendem à iluminância mínima de 60 Lux, conforme a NBR 15575, nos ambientes internos, dormitórios, sala, cozinha e banheiro, porém as ampliações da moradia prejudicaram a iluminância dos ambientes internos. Salienta-se que nesta pesquisa foi apresentado que a maioria das habitações passou por ampliações e reformas. Conclui-se que, se o projeto não prevê esse aspecto, inclusive no manual de uso, operação e manutenção, a qualidade ficará prejudicada e, portanto, deveria ser um critério a ser considerado pelos gestores de HIS. Se a maioria dos moradores amplia, no uso, a UH em SCI, a documentação técnica do produto deveria prever, como premissa de projeto, o atendimento das condições de conforto inclusive nas potenciais reformas.

Os sistemas construtivos inovadores, homologados no âmbito do SiNAT, têm como vantagem o atendimento mínimo dos requisitos de desempenho, o aprimoramento da tecnologia construtiva, a

industrialização, a produtividade, a possibilidade de redução de custos quando associados à execução em série, entre outras vantagens de cunho tecnológico, econômico e social. Nos dois casos, a maioria dos respondentes considera a casa “melhor” quando comparada com as anteriores, ainda que não seja possível identificar o sistema construtivo dessas moradias. Pode-se dizer que houve uma evolução na satisfação, decorrente do sistema inovador ou do projeto, sugerindo-se, para uma verificação mais precisa, investigações posteriores. Cabe ressaltar que a adoção das tecnologias inovadoras para fins de HIS deve ser analisada cuidadosamente pelos projetistas e demais agentes envolvidos, considerando os aspectos de conforto da moradia. Embora as habitações possuam especificidades como tempo de uso, aspectos culturais dos moradores, ambientais, comportamentais, entre outros, foi possível apontar o potencial dos instrumentos de APO para complementar a avaliação técnica dos ensaios laboratoriais. Recomenda-se que em pesquisas futuras, e com foco na qualidade do projeto, as medições nas UH’s ampliadas sejam realizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15575**. Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.
- MENDES, M. C. M. **A percepção dos moradores sobre o uso dos sistemas construtivos inovadores**: uma contribuição da avaliação pós-ocupação. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2018.
- FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS - FINEP. **Roteiro de Inspeção de Sistemas Construtivos (Anexo 2)**. Subprojeto 5 – Uso e Manutenção. Meta 44 – Desenvolvimento de Procedimentos e Manual para a Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos Inovadores. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. p. 382 - 402. Relatório Parcial do Projeto Inovatec-FINEP.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. et al. Métodos e instrumentos de avaliação de projetos destinados à habitação de interesse social. In: VILLA, D. B.; ORNSTEIN, S. W. (Org.). **Qualidade ambiental na habitação**: avaliação Pós-Ocupação. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 158-172.
- PREISER, W. F. E. Post-Occupancy evaluation how to make: buildings work better. **Facilities**, Inglaterra, v. 13. nº 11, p. 19-28, Oct. 1995.
- RUBIN, G. R.; BOLFE, S. A. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. **Ciência e Natureza**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 201-213, maio/ago, 2014.
- ORNSTEIN, S. W. Avaliação Pós-Ocupação (APO) no Brasil 30 anos: o que há de novo? Revista PROJETER. Projeto e Percepção do Ambiente, v. 2, n.2, agosto 2017.
- ORNSTEIN, S. W., ONO, R., OLIVEIRA, F. L. Em busca da qualidade na habitação de interesse social no Brasil: instrumentos para a Avaliação Pós-Ocupação (APO) aplicada a sistemas construtivos inovadores. 4º CIHEL Congresso Internacional da habitação no espaço Lusófono. Porto, 2017.
- VILLA, S. B.; ORNSTEIN, S. W. (Org). Multimétodos em avaliação pós-ocupação e sua aplicabilidade para o mercado imobiliário habitacional. In: **Qualidade ambiental na habitação**: avaliação pós-ocupação. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- VOORDT, T. J. M. van der; WEGEN, H. B. R. van. **Arquitetura sob o olhar do usuário**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro; aos coordenadores do Projeto Inovatec Finep; às empresas proponentes dos sistemas construtivos, as construtoras; às autoridades locais das prefeituras, aos moradores que participaram da pesquisa; ao Grupo de Pesquisa ARQUITEC do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, pela estrutura e apoio para o desenvolvimento da Tese de Doutorado; ao Comitê Permanente de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Maringá (COPEP-UEM), pela análise do questionário.