



Eduardo Breviglieri Pereira de Castro^(a)
Jessica Ventura Pereira de Castro^(b)
Yuri Ventura Pereira de Castro^(c)

(a) Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, Brasil / eduardo.castro@ufjf.edu.br

(b) Arquiteta / jessica.venturapereiradecastro@gmail.com

(c) Graduando em Engenharia Civil (UFJF) / yuri.ventura@hotmail.com.br

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE DOIS CÔMODOS EM UM LABORATÓRIO DE DEMONSTRAÇÃO E ESTUDO DA EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE DE EDIFICAÇÕES.

RESUMO

Incluído no espaço da reserva natural do Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora, o Laboratório Casa Sustentável (LCS) tem como objetivo servir como espaço de demonstração e para desenvolvimento de pesquisas acadêmicas de técnicas sustentáveis de construção, além de apoiar o ensino de engenharia e arquitetura nos níveis de graduação e pós-graduação. Neste artigo, é apresentada uma pesquisa inicial realizada para confrontar o desempenho térmico de projeto obtido por simulação computacional com o desempenho real do laboratório após sua construção. Medições foram realizadas com o auxílio de dataloggers. Os dados foram tabelados e comparados, com os resultados demonstrando a concordância entre a os desempenhos projetados e os obtidos pelas medições.

Palavras-chave: *Edificação Sustentável. Eficiência Térmica. Ensino de Engenharia. Ensino de Arquitetura.*

THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF TWO ROOMS IN A LABORATORY FOR DEMONSTRATION AND STUDY OF THE EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF BUILDINGS.

ABSTRACT

Within the space of the natural reserve of the Federal University of Juiz de Fora's Botanic Garden is the Sustainable House Laboratory (LCS). Its purpose is to serve as a demonstration space and for the development of academic research on sustainable building techniques, as well as to support engineering and architecture education at undergraduate and graduate levels. This paper presents an initial research performed to compare the thermal performance of the project obtained by computer simulation with the real performance of the laboratory after its construction. Measurements were performed with the aid of dataloggers. The data were tabulated and compared, with the results showing the agreement between the projected performances and those obtained by the measurements.

Keywords: *Sustainable Building. Thermal Efficiency. Engineering Education. Architecture Education.*

1. Introdução

Há alguns anos foi apresentada uma proposta ao grupo responsável pelo Planejamento do Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora de se construir uma edificação de demonstração de uma casa ecológica dentro do espaço da reserva natural, projeto que foi denominado de Laboratório Casa Sustentável (LCS). Esta iniciativa se alinha a outras do gênero, como a "Casa Eficiente", resultado da parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a ELETROSUL e a ELETROBRAS (LABEEE/UFSC, 2010) assim como, no exterior, os laboratórios do *Canadian Centre for Housing Technology* (CCHT, 2019). Mais recentemente, o CEPEL também firmou contrato com a Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos (COPPETEC/UFRJ) para um projeto similar nomeado "Casa Inteligente Cepel" (CEPEL, 2019).

A partir do reconhecimento dos impactos potenciais do ambiente construído sobre o meio ambiente e qualidade de vida dos usuários deste

tipo de espaço, a proposta do projeto baseou-se numa articulação entre ensino, pesquisa e extensão, tendo como um objetivo importante a conscientização da população para a adoção de princípios de sustentabilidade nas construções, incentivando formas adequadas de se planejar e construir moradias mais apropriadas, através da demonstração de técnicas eco-eficientes e de arquitetura bioclimática.

Pois é sabido que são nos primeiros estágios do projeto arquitetônico que são estabelecidas as principais diretrizes que irão articular os desempenhos da futura edificação (KWOK, A.G, GRONDZIK, W.T, 2007).

Além disso, o laboratório serviria como local para desenvolvimento de pesquisas acadêmicas voltadas para áreas como o estudo do conforto ambiental, materiais construtivos, técnicas e sistemas construtivos eficientes estabelecendo-se como local de apoio ao ensino de engenharia e de arquitetura nos níveis de graduação e pós-graduação. O laboratório foi aberto ao público em abril de 2019 (Figura 1).



Figura 1
Laboratório Casa Sustentável (LCS) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
(Fonte: autores)

O objetivo deste artigo é apresentar uma pesquisa inicial realizada para confrontar o desempenho térmico obtido por simulação

computacional durante a etapa de desenvolvimento do projeto do LCS com o desempenho real do laboratório após sua construção. Como objetivo

secundário da pesquisa, procurou-se a inclusão de alunos de graduação do curso de arquitetura e de engenharia civil na realização das medições in-loco, para auxiliá-los na compreensão dos fenômenos térmicos envolvidos e, assim, iniciar um trabalho de apoio ao ensino desses cursos na UFJF.

2. O Laboratório Construção Sustentável

O projeto do LCS foi desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade (ECOS) do curso de Arquitetura e Urbanismo, em parceria com o Grupo de Estudos em Edificação Sustentável (GEES/CNPQ), o Grupo de Pesquisa Aplicada em Materiais e Construção Sustentável (PARES/CNPQ) e com o Núcleo de Iluminação Moderna da Faculdade de Engenharia (NIMO), todos da Universidade Federal de Juiz de Fora. Considerando a filosofia desejada para o espaço, este foi idealizado de modo a fazer referência aos compartimentos de uma casa. Assim, o partido arquitetônico se baseou na construção de sete módulos separados que simulam ambientes de uma moradia, interligados através de passarelas, rampas e escadas. A separação entre os módulos visou a garantia de não-interferência física entre os mesmos, permitindo que as técnicas aplicadas fossem melhor observadas pelo público e estudadas pelos pesquisadores. Pressupõe-se que a população visitante consiga reagir fisicamente aos espaços, submetendo-se a situações de conforto ou desconforto, de frio ou calor, de agrado ou desagradado, vivenciando percepções diversas nos diversos ambientes disponíveis. Da mesma maneira, no que diz respeito ao ensino de graduação, esta percepção de alunos em relação aos diferentes espaços permite uma compreensão e sedimentação de conceitos de construção sustentável teóricos ensinados na sala de aula de maneira prática em um ambiente real, contribuindo para o aprendizado de temas relacionados.

Os módulos projetados foram os seguintes: 1) Recepção; 2) Quarto "tradicional" concebido sem preocupações de conforto; 3) Quarto "eficiente" projetado para a promoção de conforto; 4) Sala; 5) Escritório; 6) Cozinha; 7) Banheiro. Todos esses ambientes distribuem-se ao redor de um jardim interno. A disposição geral do conjunto pode ser observada na Figura 2.

Entre todos esses ambientes, os dois quartos (2 e 3 na figura 2) foram imaginados especificamente para obter diferentes comportamentos térmicos em face às condições climáticas do exterior, e permitir o estudo da evolução das temperaturas interiores. Para isso, os quartos tradicional e eficiente apresentam as

mesmas dimensões, porém são distintos em termos de orientação de janela, tipo de cobertura e materiais de acabamento.

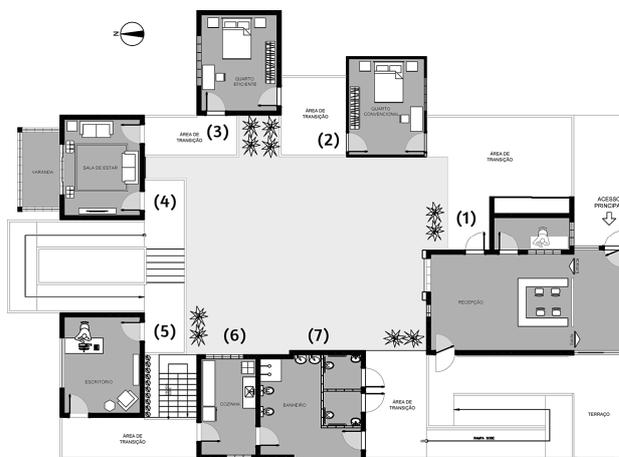


Figura 2
Planta geral do Laboratório Casa Sustentável (LCS) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
(Fonte: autores)

O cômodo tradicional foi projetado intencionalmente de forma "inadequada", nos padrões típicos de habitações de autoconstrução e sem preocupação com o conforto. Foi concebido sem telhado, com fechamento superior constituído de apenas uma laje de concreto impermeabilizada, o que, a princípio, implicaria em condições térmicas desconfortáveis durante o período de verão.

Os materiais de acabamento, por outro lado, foram escolhidos sem preocupação especial com a questão do conforto térmico, considerando apenas as práticas construtivas correntes no Brasil, como o piso cerâmico. A janela do cômodo não apresenta nenhuma proteção externa e é orientada para o sul, deixando de aproveitar, no período estival, os ventos dominantes vindos da direção norte.

O cômodo eficiente, ao contrário, foi cuidadosamente projetado visando o conforto térmico, com orientação da janela para direção norte, aproveitando-se da ventilação natural (predominantemente norte-sul) e com venezianas externas retráteis para a proteção da radiação solar incidente. Os materiais de acabamento utilizados são distintos daqueles do cômodo tradicional, mais adequados ao conforto térmico, como o piso em madeira.

Além disso, de suma importância, o espaço possui telhado com ático ventilado: fechamentos das empenas do telhado na forma de venezianas permitem a renovação do ar no seu interior, evitando ganhos térmicos da radiação solar incidente que poderia ser transmitida para o compartimento inferior através laje de teto.

3. Metodologia

Para verificação se as estratégias de projeto implicariam nas diferenças nos comportamentos térmicos dos dois ambientes, durante a etapa de projeto do LCS os dois ambientes foram modelados numericamente e submetidos à simulação de desempenho térmico. Para isso, utilizou-se o software TRNSYS 17. Foram simulados três dias de

verão, correspondendo aos dias 15, 16 e 17 de fevereiro de um ano climático típico. Os dados climático utilizados foram gerados pelo software Meteonorm v.7 (METEOTEST, 2012) para a cidade de Juiz de Fora. Entre diversas variáveis, obteve-se as evoluções das temperaturas do ar no interior dos dois quartos e no exterior da edificação.

Os resultados dessa simulação podem ser visualizados, graficamente, na figura 3.

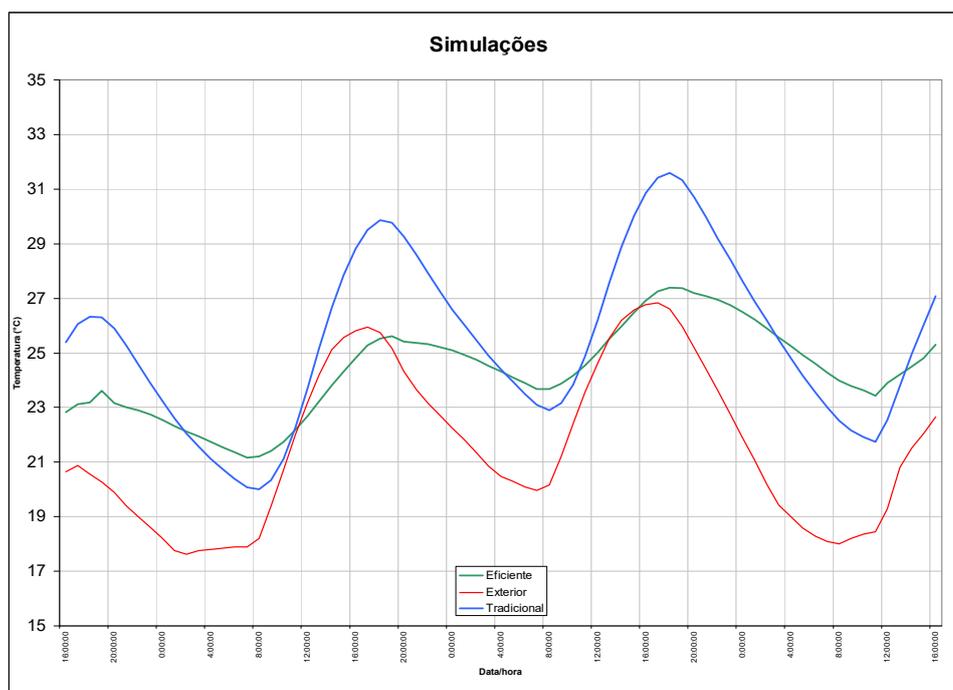


Figura 3
Simulação da evolução das temperaturas do ar no Interior do Quarto Tradicional, Quarto Eficiente e Exterior (72 horas)
(Fonte: autores)

De modo geral, estes resultados permitem inferir algumas conclusões. As temperaturas do ar no interior do quarto eficiente são menores que aquelas existentes no quarto tradicional na maior parte do tempo.

A maior diferença de temperatura do ar no interior dos dois cômodos é de 4,4 °C. Na média das 72 horas, a diferença calculada é de 1,1 °C.

Em termos de valores absolutos, enquanto no quarto tradicional as temperaturas podem atingir 31,6 °C no horário de pico, no quarto eficiente elas nunca ultrapassam 27,4 °C.

Pode-se afirmar, portanto que, ao menos teoricamente, o quarto eficiente permite fornecer aos usuários um ambiente significativamente menos quente aos usuários que a sua contraparte tradicional.

A segunda etapa da pesquisa foi realizada já com a edificação já construída, por uma equipe multidisciplinar constituída de um pesquisador, uma arquiteta e um aluno de graduação de Engenharia

Civil. Tratou-se de realizar medições para avaliar o desempenho térmico dos dois cômodos em questão, de modo a comparar os resultados que aqueles obtidos por simulação.

Esta outra etapa foi realizada em diferentes passos, que serão descritos a seguir, com a utilização de dois dispositivos datalogger EBI 20 (EBRO, 2019), capazes de registrar as temperaturas (de -30°C a 60°C) e umidades relativas do ar, podendo ser programados (intervalo entre as medições, início e fim do registro) usando-se um computador pessoal.

Visando uma melhor análise do comportamento dos cômodos em estudo, as medições foram efetuadas em três etapas distintas. O objetivo de cada etapa foi permitir uma comparação entre dois ambientes, sendo realizadas, simultaneamente, medições das temperaturas do ar no interior e/ou no exterior com o uso dos dataloggers. A campanha de medições se estendeu entre 07/03/2019 e 01/04/2019.

Vale ressaltar que em cada etapa os aparelhos foram posicionados numa parte sombreada do quarto ou do exterior para não haver interferência da incidência solar na tomada das temperaturas. O posicionamento específico dos medidores na edificação pode ser visualizado na figura 4.

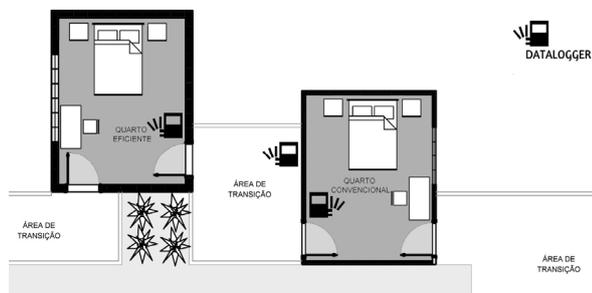


Figura 4
Posicionamento dos Dataloggers no Laboratório Casa Sustentável
(Fonte: autores)

Além disso, foram feitos quatro dias seguidos de medições em cada etapa, sendo que desses, os dados coletados no primeiro dia foram descartados, a fim de considerar na análise apenas os valores após um período de estabilização da temperatura no interior do cômodo.

Na primeira etapa, iniciada no dia 07/03/2019, objetivou-se uma coleta de dados para posterior comparação do comportamento entre os dois quartos (tradicional e eficiente) colocando-se um dispositivo em cada um dos dois cômodos para realizar medições de temperatura, simultaneamente. Estes aparelhos registraram a temperatura do ar, ininterruptamente, em intervalos de 10 em 10 minutos durante 72 horas, permitindo gerar o gráfico da figura 5.

Após esta primeira etapa, a partir do dia 16/03/2019, resolveu-se avaliar a evolução das temperaturas no interior do quarto eficiente em relação àquelas do ambiente externo. Os aparelhos de medição, assim como na primeira etapa, registraram as temperaturas durante 72 horas, com o mesmo intervalo de 10 minutos.

Finalmente, na terceira etapa, realizada a partir do dia 28/03/2019, foram coletados, como no segunda etapa, valores para as temperaturas no interior do quarto tradicional e, simultaneamente, as temperaturas do ambiente externo, através por um segundo datalogger posicionado no exterior.

Os parâmetros das medições foram idênticos aos da etapa anterior. Os gráficos gerados com os dados dessas últimas duas etapas podem ser visualizados nas figuras 7 e 9.

Em nenhum momento houve troca de calor entre os ambientes internos e o exterior, devido a entrada ou saída de pessoas no quarto por exemplo, já que as portas e as janelas dos cômodos permaneceram fechadas durante todo o período de registro das temperaturas citadas acima.

Todos estes resultados permitiram, finalmente, ser comparados com as simulações computacionais previamente realizadas na fase de projeto do LCS para determinação teórica dos comportamentos térmicos dos cômodos estudados, como será mostrado.

4. Resultados e discussões

Com exposto anteriormente, a primeira fase de medições buscou registrar a evolução das temperaturas simultaneamente nos dois quartos (tradicional e eficiente).

Os resultados podem ser visualizados na figura 5. Pode-se perceber que as temperaturas do ar no interior do quarto eficiente são sempre menores que aquelas existentes no quarto tradicional, principalmente no que se refere aos valores máximos registrados, que ocorrem por volta das 18:00h nos três dias estudados.

De fato, a maior diferença de temperatura entre os dois cômodos é de 4,5 °C. Essas diferenças podem ser visualizadas graficamente na figura 6.

Na média das 72 horas, a diferença calculada é de 2,2 °C. Em termos de valores absolutos, enquanto no quarto tradicional as temperaturas podem atingir 34,4 °C no horário de pico, no quarto eficiente elas nunca ultrapassam 29,9 °C, valores esses ainda bem acima das condições usualmente aceitas para o conforto térmico dos usuários, mas bem mais aceitáveis que aquelas do quarto construído com as práticas comuns de habitações mais simples.

Pode-se afirmar, portanto, que o quarto eficiente permite fornecer aos usuários um ambiente significativamente menos quente aos usuários que a sua contraparte tradicional.

Vale ressaltar que, qualitativamente, os resultados alcançados pós-construção são superiores aos projetados e simulados, uma vez que nas simulações o quarto tradicional em alguns momentos do dia (por volta das 08:00h) demonstrava melhor performance que o quarto eficiente. No prédio real, mesmo neste período do dia, o quarto eficiente apresentou temperaturas mais baixas que o quarto tradicional. O que demonstra o acerto nas estratégias de projeto consideradas.

Seguindo com a análise da campanha de medições, apresentam-se o registro da evolução das temperaturas simultaneamente no quarto eficiente e no exterior da edificação.

Estes resultados podem ser visualizados na figura 7 e servem para determinar a real eficiência das soluções de projeto empregadas na construção

do cômodo em relação às temperaturas existentes no ambiente exterior ao qual a edificação está exposta.

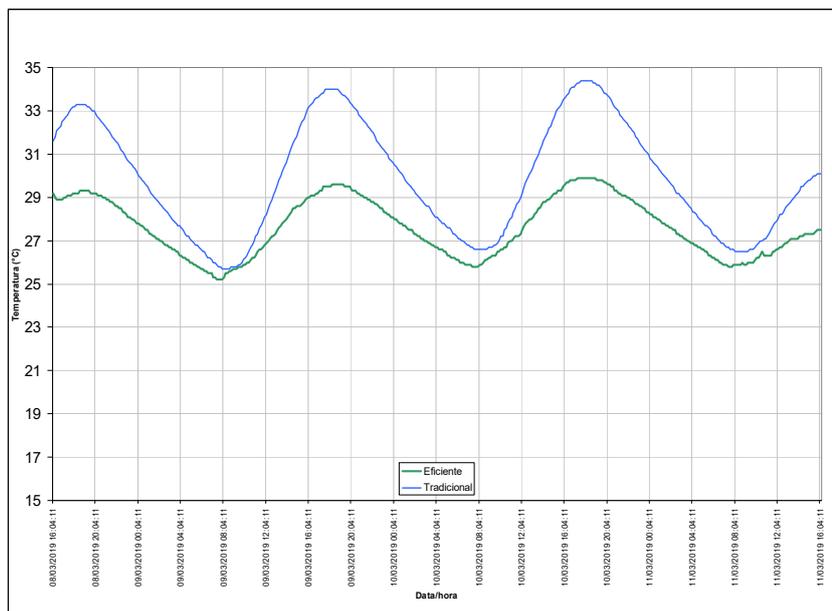


Figura 5
Evolução das temperaturas do ar no Interior do Quarto Tradicional e no Interior do Quarto Eficiente (72 horas)
(Fonte: autores)

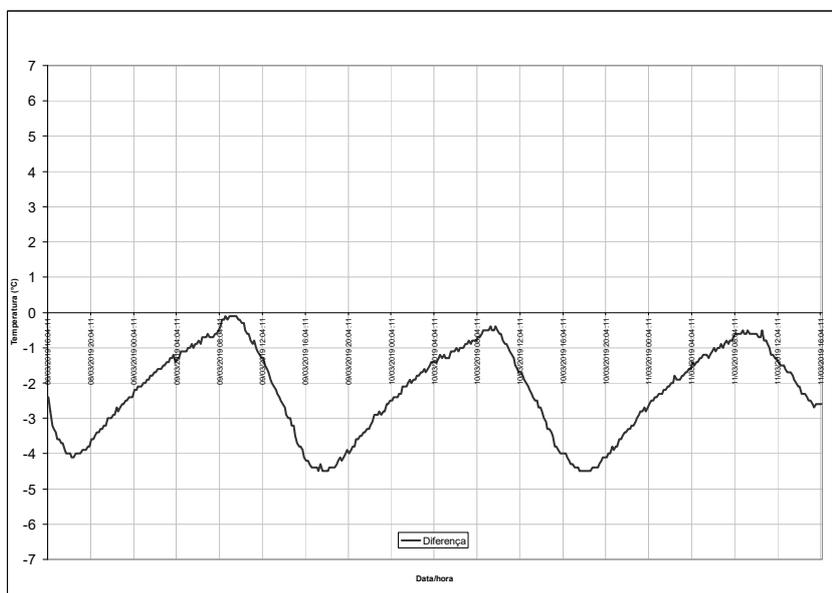


Figura 6
Diferença das temperaturas do ar entre o Interior do Quarto Eficiente e o Interior do Quarto Tradicional (72 horas)
(Fonte: autores)

Observa-se que a maior diferença de temperatura entre o quarto eficiente e o exterior é de 4,4 °C, que ocorre por volta das 13:00h (ver figura 8). Neste instante, portanto, as temperaturas internas no cômodo estão significativamente mais baixas

que no exterior. A variação de todas as diferenças pode ser visualizada graficamente na figura 9. Pode-se perceber, entretanto, que em alguns momentos a temperatura no exterior é menor que a do interior (2,5°C na pior situação), porém isto não

compromete o desempenho do cômodo, pois mesmo nesta condição, a temperatura no quarto permanece dentro de uma zona de conforto, por volta dos 24°C.

Em outras palavras, o quarto eficiente apresenta desempenho favorável em todos os períodos do dia, em relação às temperaturas que evoluem no exterior.

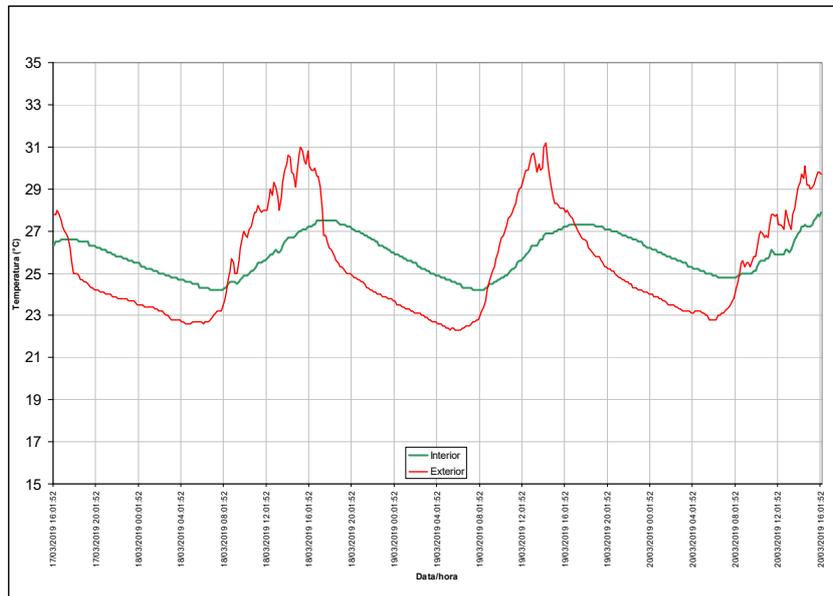


Figura 7
Evolução das temperaturas do ar no Exterior e no Interior do Quarto Eficiente (72 horas)
(Fonte: autores)

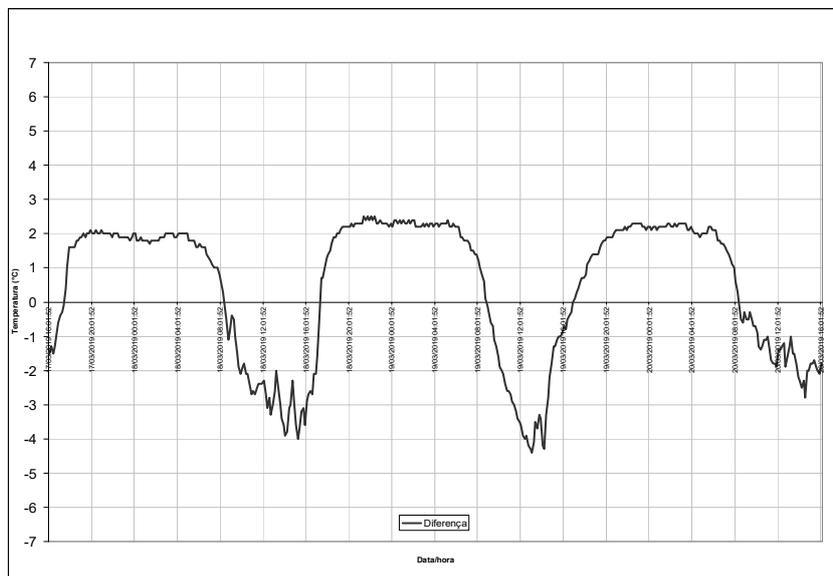


Figura 8
Diferença das temperaturas do ar entre o Interior do Quarto Eficiente e do Exterior (72 horas)
(Fonte: autores)

Por fim, a última parte do estudo analisou a evolução das temperaturas simultaneamente no quarto tradicional e no exterior da edificação.

Neste caso específico, como esperado, as temperaturas absolutas no interior variam muito

mais que no quarto eficiente. Observa-se que as temperaturas máximas dentro do cômodo são praticamente as mesmas daquelas observadas no exterior da edificação, porém com um atraso temporal de aproximadamente 3 horas (figura 9).

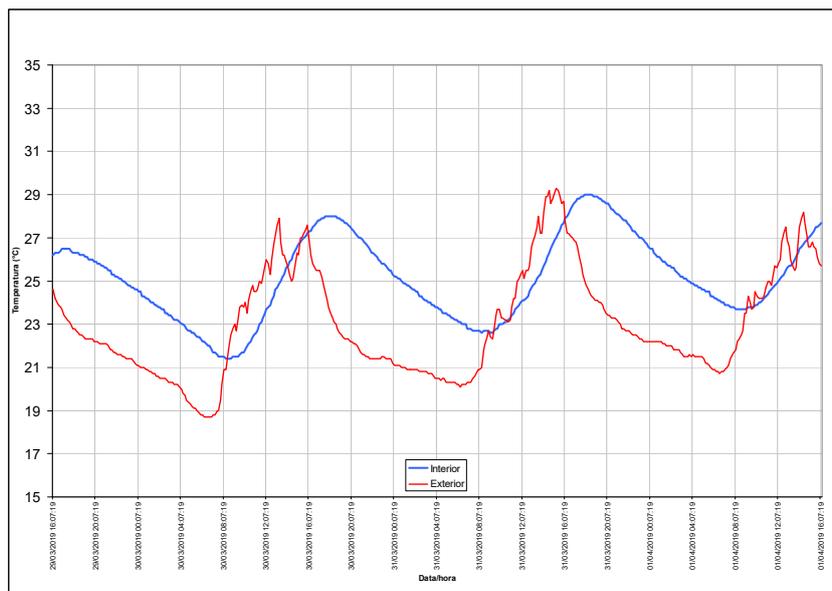


Figura 9
Evolução das temperaturas do ar no Exterior e no Interior do Quarto Tradicional (72 horas)
(Fonte: autores)

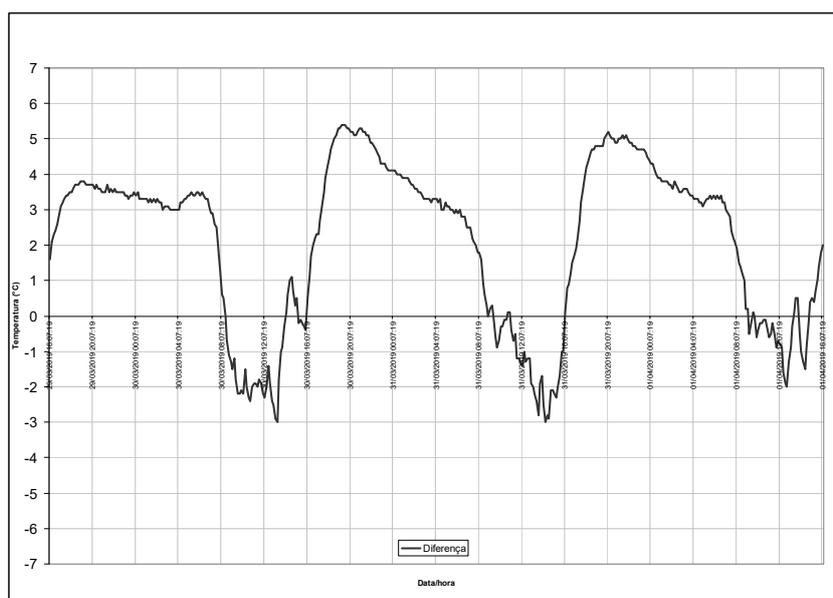


Figura 10
Diferença das temperaturas do ar entre o Interior do Quarto Tradicional e do Exterior (72 horas)
(Fonte: autores)

Isto indica que mesmo que em certos momentos (no início da tarde) as temperaturas internas são amenizadas em relação às presente no exterior (por volta de 3°C), logo em seguida as temperaturas exteriores começam a cair mas as temperaturas interiores permanecem altas - e atingem até 5,4°C acima das do ambiente natural (ver figura 10). Em resumo, as máximas absolutas internas são iguais às máximas absolutas externas e na maior parte do tempo as temperaturas internas

apresentam valores superiores às temperaturas externas: um comportamento indesejado para condições de verão na cidade de Juiz de Fora.

5. Conclusões

Os resultados apresentados provenientes do desempenho real do laboratório após sua construção e aqueles provenientes da simulação do desempenho térmico durante a fase projetual,

quando comparados, demonstram similaridade.

Os valores teóricos provenientes de simulação indicavam que as temperaturas do ar no interior do quarto eficiente seriam menores que as existentes no quarto tradicional, apresentando na melhor situação uma diferença de até 4,4 °C.

De fato, o mesmo resultado foi obtido através das medições in loco, com apenas uma discordância irrisória, onde o valor dessa diferença de temperatura entre os quartos analisados foi de 4,5°C. A análise nos permite concluir que os resultados esperados em projeto são consistentes com a realidade pós-construção.

Além disso, pode-se dizer que, através dessas comprovações, as estratégias tomadas para um melhor desempenho térmico da edificação foram assertivas e alcançadas desde a sua fase de projeto, o que indica que resultados provenientes do tratamento dos dados de simulações podem e devem servir de apoio às decisões projetuais de engenheiros e arquitetos, representando um apoio importante no alcance da sustentabilidade na área da construção civil.

No caso específico do Laboratório Casa Sustentável (LCS), pode-se afirmar que cumpriu-se, portanto, o objetivo de criar um espaço diferenciado que permite, através de uma experiência sensorial nos usuários, despertar uma consciência de sustentabilidade da edificação.

Isso se dá, para a situação estudada neste trabalho, na criação de dois cômodos de mesma função, mas com desempenhos distintos graças às estratégias térmicas utilizadas. Assim, através de abordagens como essa, espera-se que o LCS se consolide na função de aliar o ensino à educação ambiental, não apenas para estudantes e profissionais ligados à área, mas também para todos os indivíduos ocupantes de espaços e ambientes construídos.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, através do projeto "Avaliação de desempenho de técnicas eco-eficientes do Laboratório Casa Sustentável da UFJF".

7. Referências

CEPEL/ELETOBRAS. **Site on-line**. Disponível em <http://www.cepel.br/pt_br/sala-de-imprensa/noticias/cepel-contrata-projeto-de-nova-casa-inteligente.htm>. Acesso em setembro de 2019.

EBRO. EBI 20-TH1. **Humidity/Temperature Logger**. Disponível em <https://shop.ebro.com/ebi-20-th.html?__store=en&__from_store=de>. Acesso em outubro de 2019.

LABEEE/UFSC. **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Térmico-Energético**. UFSC, Florianópolis, 2010.

CANADIAN CENTRE FOR HOUSING TECHNOLOGY RESEARCH FACILITY. **Site on-line**. Disponível em <<https://nrc.canada.ca/en/research-development/nrc-facilities/canadian-centre-housing-technology-research-facility>>. Acesso em setembro de 2019.

KWOK, Aliso; GRONDZIK, Walter. **The Green Studio Handbook**. Oxford, UK: Elsevier, 2007.

Meteotest. METEONORM 7.0; 2012, Bern, Switzerland.

Thermal Energy System Specialists. **TRNSYS - Transient System Simulation Tool**. Madison, USA, 2013.