

Avaliação de conforto ambiental comparativa em edificações construídas em madeira laminada colada cruzada (Painéis CLT) e em sistemas construtivos tradicionais

DOI: 10.20396/labore.v13i0.8654332

Submetido 20 dez. 2018.

Aceito 23 out. 2019.

Publicado 11 nov. 2019.

Marina Engel França

<<https://orcid.org/0000-0002-6372-1978>>

Universidade Regional de Blumenau / Blumenau [SC] Brasil

Amilcar José Bogo

<<https://orcid.org/0000-0002-8506-4438>>

Universidade Regional de Blumenau / Blumenau [SC] Brasil

RESUMO

A conscientização ambiental do século XXI e as necessidades econômicas tem motivado a busca de tecnologias e sistemas construtivos sustentáveis para a arquitetura. Neste sentido, o uso de madeira passou a ser estimulado em países desenvolvidos, pois a madeira é um dos raros materiais de fonte renovável na construção civil. O painel CLT (Cross Laminated Timber) ou X-Lam ou ainda Madeira Laminada Colada Cruzada se enquadra nas exigências de menor impacto ambiental, inovação, facilidade de instalação, uniformidade e homogeneidade, e adequação a padrões internacionais. Entretanto essa nova tecnologia precisa ser validada em situações físicas e climáticas reais, inclusive comparando-a com outros sistemas tradicionais. O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade de uma construção em CLT (Cross Laminated Timber) sob a abordagem do conforto ambiental. A edificação utilizada para esta avaliação é pré-fabricada em CLT ou X-lam, com dimensões de 20 x 10 m e construída no bairro Escola Agrícola em Blumenau, em área junto ao Instituto SENAI de Tecnologia.

PALAVRAS-CHAVE

Construção sustentável. Arquitetura. Conforto ambiental. Madeira laminada colada cruzada. Sistemas construtivos.

Evaluation of comparative environmental comfort in buildings built in wood cross-glazing (CLT panels) and in traditional building systems

ABSTRACT

The 21st century environmental awareness and economic needs have motivated the search for sustainable technologies and constructive systems for architecture. In this sense, the use of wood has been stimulated in developed countries, since wood is one of the rare materials of renewable source in the civil construction. The CLT (Cross Laminated Timber) or X-Lam or Cross-Laminated Laminate Panel meets the requirements of lower environmental impact, innovation, ease of installation, uniformity and homogeneity, and compliance with international standards. However, this new technology needs to be validated in real physical and climatic situations, even comparing it with other traditional systems. The objective of this work was to evaluate the quality of a construction in CLT (Cross Laminated Timber) under the approach of environmental comfort. The building used for this evaluation is prefabricated in CLT or X-lam, with dimensions of 20 x 10 m and built in the neighborhood School Agricultural in Blumenau, in an area next to the SENAI Institute of Technology. This research project of scientific initiation is articulated with a major research project (encompassing FURB, SENAI and Habitech - Consortium of Trento Italy and the University of Trento), which is carrying out an evaluation of the quality of ecological self-sustaining buildings.

KEYWORD

Sustainable building. Architecture. Environmental comfort. Cross Laminated Timber. Building systems.

1. Introdução

A madeira como material estrutural normalmente se encontra em diferentes formas, tais como: madeira em tora, madeira serrada, madeira laminada colada, madeira compensada e madeiras reconstituídas. O comportamento estrutural dessas diferentes apresentações está relacionado com o arranjo da estrutura interna, que, dependendo da forma final do produto, resulta em maior ou menor grau de anisotropia (Isaia, 2007).

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas da madeira. Adicionalmente, suprem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliam a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões, a largura, para, assim aperfeiçoar a sua aplicação (Zenid et al., 2009).

O desenvolvimento tecnológico verificado no setor dos painéis à base de madeira tem ocasionado o aparecimento de novos produtos no mercado internacional e nacional, que vêm preencher os requisitos de uma demanda cada vez mais especializada e exigente (Zenid et al., 2009).

Cross Laminated Timber — CLT é um compósito de madeira e um adesivo químico com camadas de tábuas coladas transversalmente. A disposição cruzada dá ao painel maior homogeneidade em relação à resistência e rigidez. Este painel é utilizado como elemento estrutural em pisos, paredes e lajes, conectadas por elementos metálicos, sendo empregado até em edificações com pavimentos múltiplos (Fpinnovations, 2011).

O ciclo de vida de um material de construção ou de qualquer produto inclui a extração das matérias-primas, processamento industrial, atividades de transporte, montagem, uso e manutenção, até que sua vida útil chegue ao fim e o produto seja retirado de serviço. Os resíduos gerados em cada fase do ciclo de vida, incluindo a demolição devem ser considerados quando se avalia o impacto ambiental de uma determinada opção tecnológica (Isaia, 2007). Não se pode deixar de mencionar o impacto da indústria de material de construção no meio ambiente natural, a extração de matérias-primas necessárias à produção dos materiais de construção, necessariamente significa em impactos importantes. Exemplos são inúmeros, na produção do cimento, ferro, tintas e areia. Materiais naturais como a madeira são renováveis em ciclos consideravelmente mais curtos do que os necessários para a reposição dos estoques de minerais, são leves e resistentes, reduzindo os custos de transporte; acumulam carbono na estrutura ao invés de emitir esse componente, enfim, podem atender requisitos mais rígidos de adequação ambiental.

Reconhecidamente, o setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. O Conselho Internacional da Construção — CIB aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais (MMA, 2016).

Para a redução destes impactos ambientais, devem ocorrer ações desde os conceitos de projeto e construção de edificações, extração e fabricação de materiais, uso e operação das edificações, dentre outras abordagens.

Para a avaliação de conforto ambiental de edificações, existem diferentes abordagens conceituais. Uma delas é a avaliação do projeto de edificações que procuram estabelecer uma melhor relação edificação e clima, visando conforto natural passivo ou com menor uso de equipamentos mecânicos, assim como, edificações melhor integradas ao meio físico natural, como: terreno, relevo, insolação, ventilação, materiais, sistemas construtivos e prediais, entre outros.

Para analisar as condições de conforto térmico no interior de uma edificação existente, pode-se realizar o monitoramento térmico, verificando o atendimento as diretrizes da ISO 7730 (International Organization for Standardization, 2005), possibilitando avaliar a sensação térmica experimentada com base no PMV e PPD.

Já a NBR 15.575 (ABNT, 2013) oferece parâmetros para avaliação do desempenho térmico de paredes e coberturas, tanto no procedimento simplificado (1A), como de simulação computacional do comportamento térmico (1B).

Grigoletti, Rotta e Müller (2010) avaliaram 4 edificações de interesse social no município de Santa Maria [RS]. Para a realização das medições foram utilizados aparelhos HOB0, que foram fixados em quantos ou salas, nas paredes ou apoiados em móveis a 1,90 do piso. Durante toda a medição os moradores permaneceram nas residências. Os aparelhos foram colocados em caixas de superfícies metalizadas e abertas nas laterais para ventilação, também foram instalados sensores sob os beirais em todas as edificações. Ao final das medições as autoras constataram que a transmitância térmica é satisfatória nas habitações de paredes de tijolos cerâmicos e não satisfatória nas paredes de blocos de concreto. O atraso

térmico e o fator solar são satisfatórios em todas as edificações. A transmitância térmica da cobertura não é satisfatória em nenhuma das quatro residências.

Vier et al. (2016) realizaram um estudo a respeito da norma NBR 15575 e suas exigências quanto ao conforto térmico em um loteamento de interesse social na cidade de Santa Rosa [RS]. Os autores utilizaram os procedimentos simplificado ou normativo e de medição ou informativos que são apresentados na NBR 15575. Para aplicação destes métodos foram escolhidas de forma aleatória cinco residências do loteamento. As medições ocorreram em um dia típico de inverno em edificações que estão localizadas na zona bioclimática 2. Logo, os resultados obtidos para paredes foram: 2,38 W/(m².K) para transmitância térmica e 160 kJ/(m².k) para capacidade térmica, e para cobertura: 2,0 W/(m².K) para transmitância térmica. Tendo em vista que os valores recomendados para paredes pela norma são: $\geq 2,5$ W/(m².K) para transmitância térmica ≤ 160 kJ/(m².k) para capacidade térmica, e para cobertura: $\geq 2,3$ W/(m².K) para transmitância térmica nota-se que a edificação está dentro dos padrões recomendados pela NBR 15575. No entanto os autores destacam que os valores obtidos são muito próximos dos mínimos exigidos, e podem causar desconforto aos usuários em outros períodos do ano.

Avaliar o conforto térmico interior com base em uma situação real, *in loco*, possibilita identificar os diferentes aspectos positivos e negativos do ambiente construído avaliado. E a avaliação por meio de simulação computacional, possibilita a verificação de diferentes alternativas de projeto de arquitetura, num processo de melhoria contínua do ambiente construído em projeto.

2. Material e métodos

A pesquisa realizada desenvolveu as seguintes etapas metodológicas:

- a. Análise do monitoramento térmico visando avaliação de conforto térmico segundo a ISO 7730: a edificação construída pelo Consórcio Habitech (Trento/Itália) será monitorada remotamente a partir da Itália e estes dados serão compartilhados com a FURB visando esta avaliação. Paralelamente, em ambientes a ser definidos na edificação, ocorrerão medições internas de temperatura e umidade relativa do ar, a partir do uso de registradores tipo HOBOS, instrumentação está do Laboratório de Conforto Ambiental — LACONFA da FURB. As análises de monitoramento térmico serão realizadas em ciclos anuais, possibilitando avaliar o comportamento térmico da edificação nas várias estações do ano, em especial englobando períodos de calor de verão;
- b. Análise do desempenho térmico segundo NBR 15575: será realizado na edificação em CLT com base no Procedimento 1A Simplificado (normativo) visando a verificação do atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da edificação, a partir do cálculo da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (CT) das paredes de fachada externas e da cobertura. Também serão realizadas simulações computacionais do comportamento térmico da edificação, a partir do uso de software específico (EnergyPlus) e de arquivo de dados climático local próprio para este fim (tipo epw), conforme procedimentos da NBR 15575 (Procedimento 1B Simulação);
- c. Análise comparativa do desempenho térmico de sistemas construtivos tradicionais de coberturas, paredes externas e janelas, segundo o Procedimento 1A Simplificado da NBR 15575. Para a realização das simulações foi necessário modelar a edificação através de planta baixa e corte, classificar os afazeres de cada cômodo (Figura 1), classificar dados climáticos, classificar tipos de materiais e suas propriedades, através de pesquisa bibliográfica e visitas *in loco*. Após isso, se analisou os resultados da sala de reuniões, ambiente mais exposto da casa.

2.1. CARACTERIZAÇÃO ARQUITETÔNICA DA EDIFICAÇÃO ANALISADA

A edificação utilizada para as avaliações de conforto térmico está localizada no bairro Escola Agrícola em Blumenau, junto ao campus do Instituto SENAI de Tecnologia Ambiental. A “Casa Habitech” (Figura 2), como ficou conhecida, nasceu da colaboração entre a Habitech (Distrito Técnico Trentino para Energia e Meio Ambiente), seus parceiros italianos e as instituições do estado de Santa Catarina, SENAI, FURB, FIESC e Sinduscon - Blumenau. A edificação apresenta um sistema construtivo pré-fabricado de madeira, do tipo CLT, madeira laminada colada.

Com base nesta edificação *in loco* foram realizadas as análises destes e de outros de sistemas construtivos de paredes e de coberturas (Tabela 1), como visto adiante.



Figura 1. Vista frontal orientada para O-SO. 'Casa Habitech'. Fonte: Amilcar José Bogo.

Tabela 1. Sistemas Construtivos de Paredes e Coberturas da Casa Habitech – Situação original.

SITUAÇÃO	Materiais paredes	Materiais coberturas (Telhado + Tipo de Forro)	Materiais pisos
1 – CASA Original	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Placa de poliestireno XPS 10 cm + Madeira laminada colada – MLC de 12,5 cm + Lã de vidro + Gesso Acartonado + Gesso acartonado Espessura total: 32 cm	Argamassa comum + Manta Asfáltica + Placa OSB 1,8 cm + Placa de poliestireno XPS 4 cm + Manta Asfáltica + Placa OSB 1,8 cm + Madeira laminada colada 12,5 cm + Placa OSB 1,8 cm + Camada de ar + Placa de gesso acartonado Espessura total: 25 cm	Piso cerâmico + Camada de ar + Placa OSB 2,2 cm + Bloco de concreto 14 cm + Manta Asfáltica + Concreto armado (radier) de 20 cm Espessura total: 44,2 cm

Para a realização das análises seguintes do comportamento térmico da Casa Habitech em situações de outros sistemas construtivos de paredes e coberturas, estes foram definidos como adiante apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Sistemas Construtivos de Paredes da Casa Habitech – Outras Situações de Análise.

SITUAÇÃO	Materiais paredes	Materiais coberturas (Telhado + Tipo de Forro)	Materiais pisos
2 – Bloco cerâmico 14 cm	Argamassa comum + Bloco cerâmico vazado 14 cm + Argamassa comum Espessura total: 19 m	Argamassa comum + Manta Asfáltica + Placa OSB 1,8 cm + Placa de poliestireno XPS 4 cm + Manta Asfáltica + Placa OSB 1,8 cm + Madeira laminada colada 12,5 cm + Placa OSB 1,8 cm + Camada de ar + Placa de gesso acartonado	Piso cerâmico + Camada de ar + Placa OSB 2,2 cm + Bloco de concreto 14 cm + Manta Asfáltica + Concreto armado (radier) de 20 cm Espessura total: 44,2 cm
3 – Bloco de concreto 14 cm	Argamassa comum + Bloco de concreto 14 cm + Argamassa comum Espessura total: 19 m	Idem acima	Idem acima
4 – Original sem isolamento	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Madeira laminada colada 12,5 cm + Gesso acartonado + Gesso acartonado Espessura total: 17 m	Idem acima	Idem acima
5 – Bloco cerâmico maciço 20 cm	Argamassa comum + Bloco cerâmico maciço 20 cm + Argamassa comum Espessura total: 25 m	Idem acima	Idem acima

6 – Wood Frame	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Madeira tipo pinus + La de vidro + Madeira tipo pinus + Gesso acartonado + Gesso acartonado Espessura total: 27,5 m	Idem acima	Idem acima
7 – Original com MLC 7,5 cm	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Placa de poliestireno XPS 10 cm + Madeira laminada colada 7,5 cm + lâ de vidro + Gesso acartonado + Gesso acartonado Espessura total: 27 m	Idem acima	Idem acima
8 – Bloco de concreto 19 cm	Argamassa comum + Bloco de concreto 19 cm + Argamassa comum Espessura total: 24 m	Idem acima	Idem acima
9 – Bloco cerâmico 19 cm	Argamassa comum + Bloco cerâmico vazado 19 cm + Argamassa comum Espessura total: 24 m	Idem acima	Idem acima
10 – Original com MLC 7,5 cm sem isolamento	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Madeira laminada colada 7,5 cm + Gesso acartonado + Gesso acartonado Espessura total: 12 m	Idem acima	Idem acima

Também foram realizadas outras análises do comportamento térmico da Casa Habitech em situações de combinação de outros sistemas construtivos de coberturas (4) e paredes, como adiante apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Sistemas Construtivos de Coberturas da Casa Habitech – Outras Situações de Análise.

SITUAÇÃO	Materiais paredes	Materiais coberturas (Telhado + Tipo de Forro)	Materiais pisos
2- Laje pré-moldada 12 cm com Telha Fibrocimento	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Placa de poliestireno XPS 10 cm + Madeira laminada colada 12,5 cm + Lã de vidro + Gesso Acartonado + Gesso acartonado	Laje pré-moldada 12 cm + camada de ar + telha fibrocimento 6mm	Piso cerâmico + Camada de ar + Placa OSB 2,2 cm + Bloco de concreto 14 cm + Manta Asfáltica + Concreto armado (radier) de 20 cm Espessura total: 44,2 cm
3- Laje pré-moldada 12 cm com Telha Cerâmica	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Placa de poliestireno XPS 10 cm + Madeira laminada colada 12,5 cm + Lã de vidro + Gesso Acartonado + Gesso acartonado	Laje pré-moldada 12 cm + camada de ar + telha cerâmica 1,0cm.	Idem acima
4- Laje maciça de concreto 12 cm com Telha Fibrocimento	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Placa de poliestireno XPS 10 cm + Madeira laminada colada 12,5 cm + Lã de vidro + Gesso Acartonado + Gesso acartonado	Laje maciça de concreto 12 cm + camada de ar + telha fibrocimento 6mm	Idem acima

5- Laje maciça de concreto 12 cm com Telha cerâmica	Argamassa comum + Placa de madeira mineralizada + Placa de poliestireno XPS 10 cm + Madeira laminada colada 12,5 cm + Lã de vidro + Gesso Acartonado + Gesso acartonado	Laje maciça de concreto 12 cm + camada de ar + telha cerâmica 1,0cm	Idem acima
---	---	---	------------

3. Resultados

3.1 CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U) E DA CAPACIDADE TÉRMICA (CT) SEGUNDA NORMAS:

Dentre as atividades previstas no projeto de pesquisa, está o cálculo da Transmitância Térmica (U) e da Capacidade Térmica (CT), bem como sua adequação segundo as Normas 15220-3 e 15575.

Para a cidade de Blumenau a norma estabelece $U \leq 2,3W/(m^2.K)$ para coberturas e $U \leq 3,7W/(m^2.K)$ para paredes e $CT \geq 130$ para paredes, essa norma não estabelece critérios de Transmitância Térmica para coberturas. Foram calculados quatro sistemas construtivos de paredes (Tabela 3) e quatro tipos de coberturas (Tabela 4) mais utilizados na cidade, e também o sistema empregado na Casa Habitech.

Tabela 4. Desempenho térmico de Paredes e Coberturas– Procedimento 1 A Simplificado da NBR 15575.

Desempenho térmico de Paredes			
SITUAÇÃO	Descrição	U [W/(m ² .K)]	Ct [kJ/(m ² .k)]
Original	Casa Habitech	0,18	199,2
Tipo 2	Reboco + Bloco cerâmico 10cm + Reboco. Espessura total: 14 cm	2,28	168
Tipo 3	Reboco + Bloco de concreto 14 cm + reboco. Espessura total: 19 cm	2,02	192
Tipo 4	Parede casa Habitech sem isolantes térmicos	0,64	188,79
Tipo 5	Reboco + Tijolo maciço 20cm+ Reboco. Espessura total: 25 cm	2,30	430
Desempenho térmico de Coberturas			
SITUAÇÃO	Descrição	U [W/(m ² .K)]	Ct [kJ/(m ² .k)]
Original	Casa Habitech	0,17	522
Tipo 2	Laje pré-moldada 12 cm Telha de Fibrocimento	1,93	106
Tipo 3	Laje pré-moldada 12 cm Telha Cerâmica	1,92	113
Tipo 4	Laje maciça concreto 12 cm Telha de Fibrocimento	2,02	275

Como se pode observar na Tabela 1, todos os sistemas construtivos avaliados estão dentro dos padrões estabelecidos pela norma; no entanto nota-se uma grande superioridade no desempenho térmico dos sistemas construtivos da casa Habitech. Mesmo quando todos os isolantes térmicos foram removidos o desempenho da parede manteve-se mais satisfatório do que os demais sistemas construtivos. Dentre os tipos mais utilizados na cidade de Blumenau, o bloco de concreto de 14 cm apresenta o melhor desempenho térmico, por ser mais resistente à entrada de calor externo na edificação, garantindo assim o conforto térmico dos ocupantes. O desempenho térmico menos satisfatório é o da parede de bloco cerâmico, pois é uma parede mais fina do que as demais, não conseguindo bloquear o calor externo por muito tempo, o que eleva a temperatura externa e causa desconforto térmico dos ocupantes.

Assim como nas paredes, todos os tipos de cobertura calculados estão dentro dos padrões estabelecidos pela NBR 15575. Novamente nota-se uma grande superioridade no desempenho da cobertura da casa Habitech em relação aos outros tipos analisados. Dos demais tipos, o que apresentou melhor desempenho térmico foi a laje pré-moldada com telha cerâmica e logo após a laje pré-moldada com telha fibrocimento, ambos apresentam pouca variação entre si e conseguem barrar o calor externo por mais do que os outros dois tipos que utilizam a laje maciça.

De uma maneira geral todos os tipos de paredes e coberturas estão adequados em relação a norma, no entanto uma edificação com um bom desempenho térmico, diferentemente de uma que possui um desempenho razoável ou inferior, necessitará menos de equipamentos eletrônicos para garantir o conforto térmico dos seus ocupantes.

3.2 MONITORAMENTO TÉRMICO DE AMBIENTE EDIFICADO NA CASA HABITECH

Outra atividade prevista no projeto de pesquisa é o monitoramento térmico da casa Habitech, realizado com os registradores HOBOS, dispostos em pontos estratégicos de uma das salas (Figura 2), sem a presença interna de pessoas, com as portas internas abertas, janelas e portas externas fechadas e persianas externas totalmente recolhidas.

Foram realizados seis períodos de medições ao longo do segundo semestre de 2017 e primeira metade de 2018. Por questões de limitação de página deste artigo optou-se por apresentar e avaliar somente as medições do mês de fevereiro e junho, que são os meses mais representativos de verão e inverno respectivamente na cidade de Blumenau. Como optou-se por realizar as medições sem pessoas no interior da edificação, os períodos monitorados são curtos normalmente de 3 a 5 dias. Após encerrado os períodos de monitoramento térmico, os dados obtidos são organizados em tabelas e gráficos, comparados com os dados de temperatura e umidade relativa externa e posteriormente avaliados.

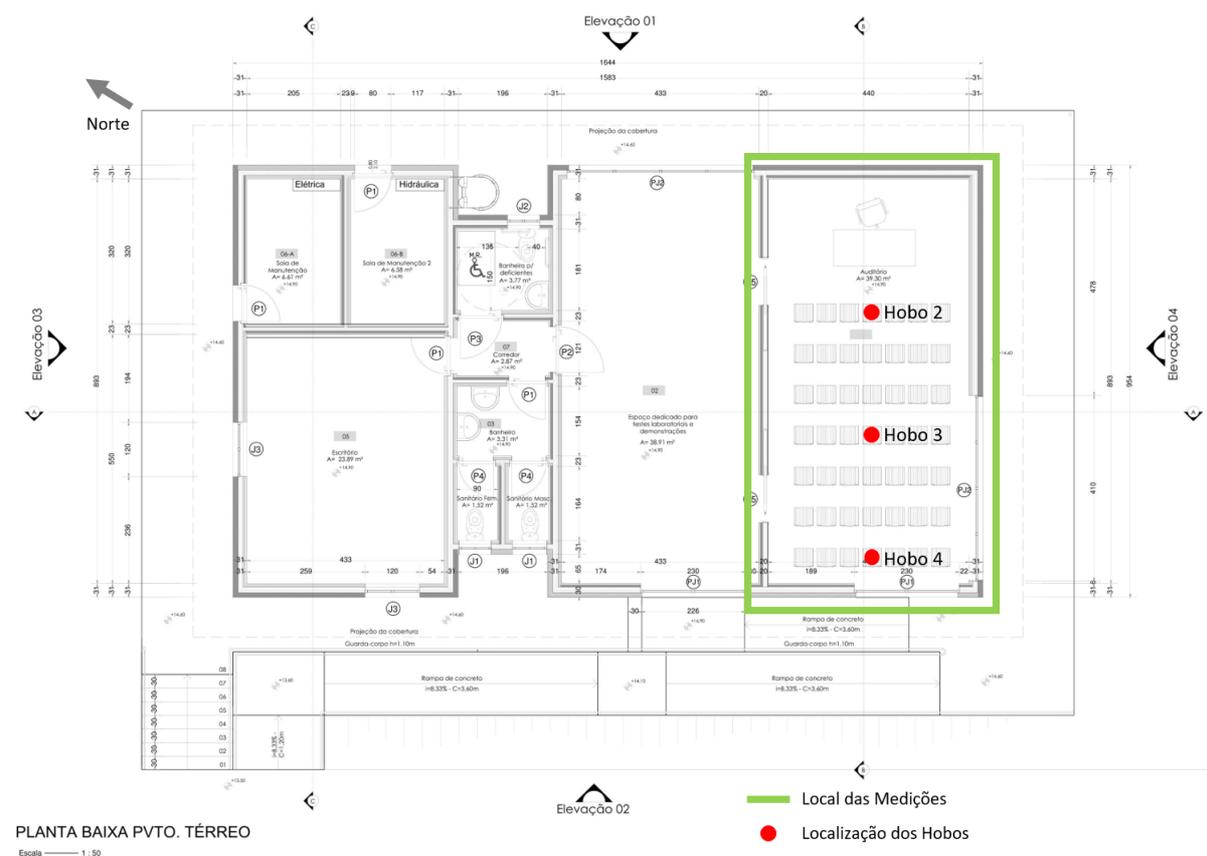


Figura 2. Planta baixa 'Casa Habitech' – Localização dos Registradores Hobo. Fonte: Habitech – Distrito Técnico Trentino para Energia e Meio Ambiente.

O primeiro período de medições apresentado ocorreu entre 09 e 14 de fevereiro de 2018. Foram colocados três registradores HOBOS na sala de aula, localizados respectivamente: Hobo 2 – na frente, próximo a parede cega; Hobo 3 – no meio da sala; Hobo 4 – no fundo da sala, próximo a janela (Figura 3). Os

aparelhos foram configurados para medir a temperatura e a umidade relativa interna a cada 10 minutos. Todos os aparelhos registraram dados válidos que foram organizados em gráficos e posteriormente avaliado.

Para avaliar o desempenho térmico da Casa Habitech, foi utilizado as tabelas de Mahoney, que determinam a temperatura máxima e mínima necessária para que haja conforto térmico em uma edificação, para a cidade de Blumenau os valores então entre 27°C de máxima e 17°C de mínima.

No gráfico do Hobo 2 (Figura 3), observa-se que durante todo o período de medições a edificação manteve a temperatura interna abaixo de 27° previstos por Mahoney. Houve um único período, no dia 11/02 em que a temperatura interna ultrapassou essa margem, atingindo 27,7°, permanecendo acima durante todo o período da tarde e voltando a ficar abaixo dos 27° após as 22h. Importante ressaltar que neste dia a temperatura externa chegou a 31°; por conta disso pode-se dizer que o desempenho térmico da casa foi razoável neste dia, apesar de ultrapassar a faixa dos 27°.

Em diversos momentos a temperatura interna estava mais elevada que a externa, no entanto, como mostra o gráfico, a edificação se manteve abaixo do recomendado por Mahoney, o que torna o desempenho térmico da edificação satisfatório.

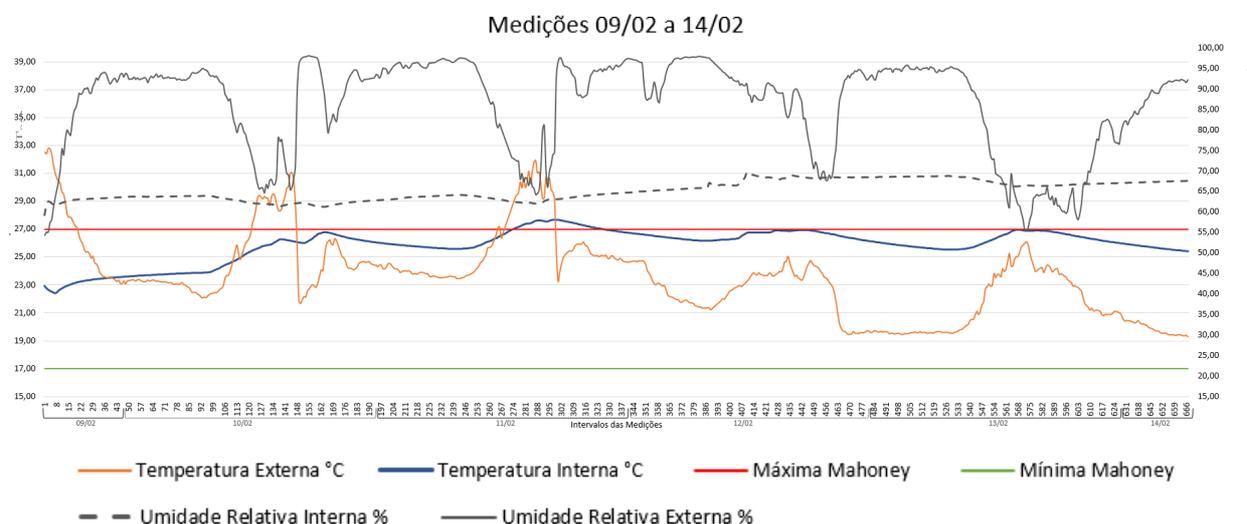


Figura 3. Gráfico Medições Hobo 2.

O registrador Hobo 3 estava situado no meio da sala, próximo a uma das janelas, e com base no gráfico (Figura 4) é possível notar uma mudança significativa na temperatura interna em relação ao gráfico do Hobo 2.

A temperatura interna ultrapassou os 27°C em cinco momentos, e em dois deles a diferença de temperatura é mais expressiva. O primeiro momento, assim como no gráfico anterior, ocorreu no dia 11/02, onde a temperatura interna chegou a 28,5°C no período da tarde, e voltou a ficar abaixo dos 27°C apenas as 23h, como já mencionado anteriormente, neste dia a temperatura externa chegou a 31°C. O segundo momento em que a diferença de temperatura é mais significativa ocorreu no dia 13/02, onde a temperatura chegou a 27,8 no período da tarde, voltando a ficar abaixo dos 27°C por volta das 18h; neste dia a temperatura externa estava oscilando entre 24 e 25°C. Nos outros três períodos apontados no gráfico a temperatura interna atingiu 27,4°C, ficando um pouco acima da máxima prevista por Mahoney e voltou a ficar abaixo dos 27°C algumas horas depois.

No geral o desempenho térmico da casa é satisfatório pois na maior parte do tempo a temperatura interna se manteve abaixo dos 27°C, e mesmo estando mais elevada que a externa está dentro dos padrões de conforto térmico estabelecidos por Mahoney.

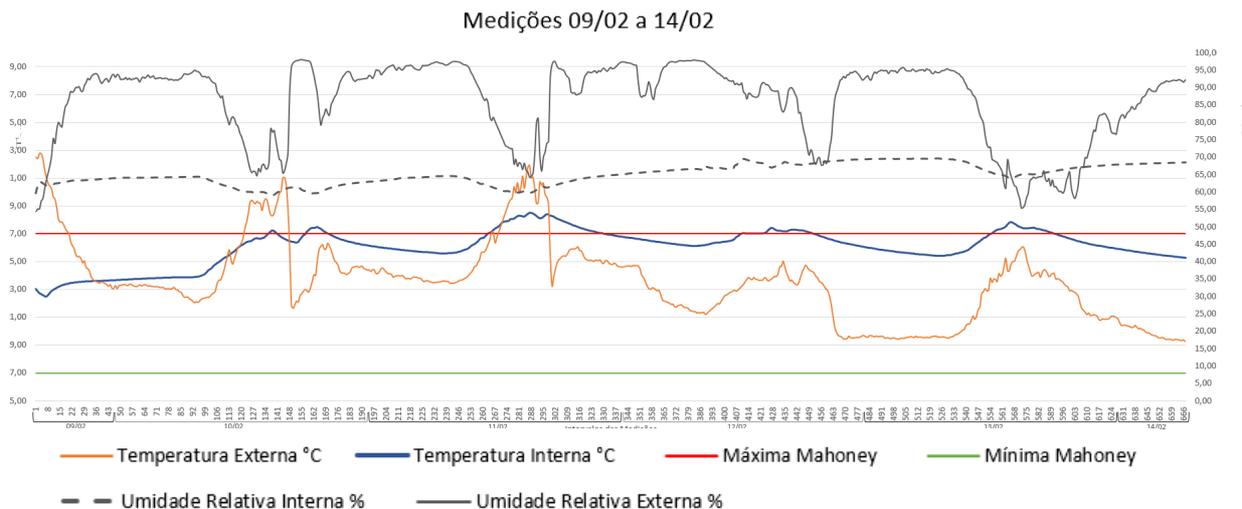


Figura 4. Gráfico Medições Hobo 3.

O registrador Hobo 4 está localizado no ponto mais crítico de todos, pois está entre as duas janelas o que facilita ainda mais a entrada de calor na edificação. Por esse motivo nota-se uma diferença significativa entre o gráfico deste ponto (Figura 5) e do gráfico do Hobo 3 e ainda mais expressiva em relação ao gráfico do Hobo 1.

A temperatura interna ultrapassou os 27°C em cinco momentos bem explícitos no gráfico, em três deles, nota-se picos de temperatura muito bem definidos. Os dois primeiros momentos aconteceram dia 10/02 em que a temperatura interna chegou a 28,9°C às 15h, sofreu uma pequena queda para 26,7°C às 17h e voltou a subir atingindo 30,06°C às 18h30, após esse pico, continuou diminuindo até estabilizar-se abaixo dos 27°C por volta das 21:00 horas; a temperatura externa neste dia oscilou entre 28°C no período da tarde e 24,3°C no período da noite. O segundo pico demonstrado no gráfico, dia 11/02, é recorrente nos outros gráficos apresentados, porém, neste ponto a temperatura interna chegou a 27,55°C às 10h30 e continuou subindo até atingir 30°C às 17h; após esse pico a temperatura começou a baixar, chegando aos 27°C as 23h. Como já mencionado anteriormente, a temperatura externa estava 28°C. Os outros dois picos ocorreram nos dias 12 e 13/02 atingindo 28,27 e 29°C na parte da tarde, voltando a ficar abaixo dos 27°C no começo da noite.

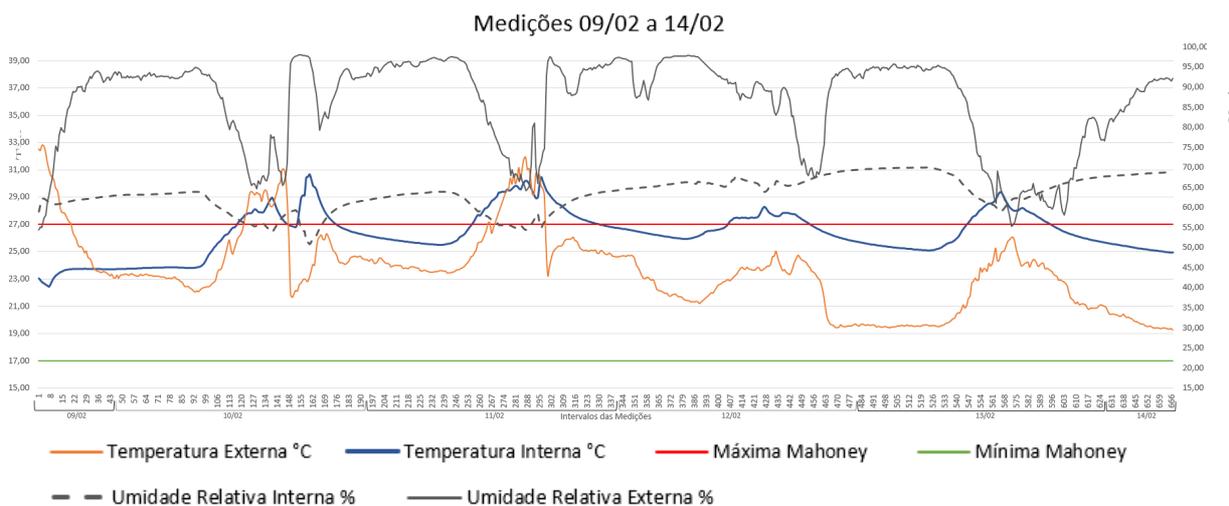


Figura 5. Gráfico Medições Hobo 4.

O mês de fevereiro é um dos mais quentes na cidade de Blumenau e de uma maneira geral, o desempenho térmico da casa foi satisfatório apesar de estar acima da temperatura externa ainda se manteve abaixo dos 27°C previstos por Mahoney e apresentou apenas alguns picos em que a temperatura interna ficou mais elevada e estes ocorreram quando a temperatura externa também estava bastante elevada, portanto, durante este período de medições desempenho térmico da casa Habitech está adequado.

O período de medições de inverno ocorreu entre 29/06 e 01/07, foram instalados três registradores HOBOS nos mesmos pontos da medição anterior, localizados respectivamente: Hobo 2 – na frente, próximo a parede cega; Hobo 3 – no meio da sala; Hobo 4 – no fundo da sala, próximo a janela (Figura 3). Os instrumentos foram configurados para medir a temperatura e a umidade relativa interna a cada 10 minutos. Todos os aparelhos registraram dados válidos que foram organizados em gráficos e posteriormente avaliado. Houve uma falha nos equipamentos de medições externas pertencentes a Casa Habitech e os mesmos não registraram dados válidos.

Como podemos observar no gráfico do Hobo 1 (Figura 6) a Casa Habitech se manteve dentro dos índices máximo e mínimo estabelecidos por Mahoney, também é possível notar que houve pouca variação de temperatura neste ponto, pois não há presença de picos discrepantes, o que torna o desempenho térmico da satisfatório e estável nesta localização.

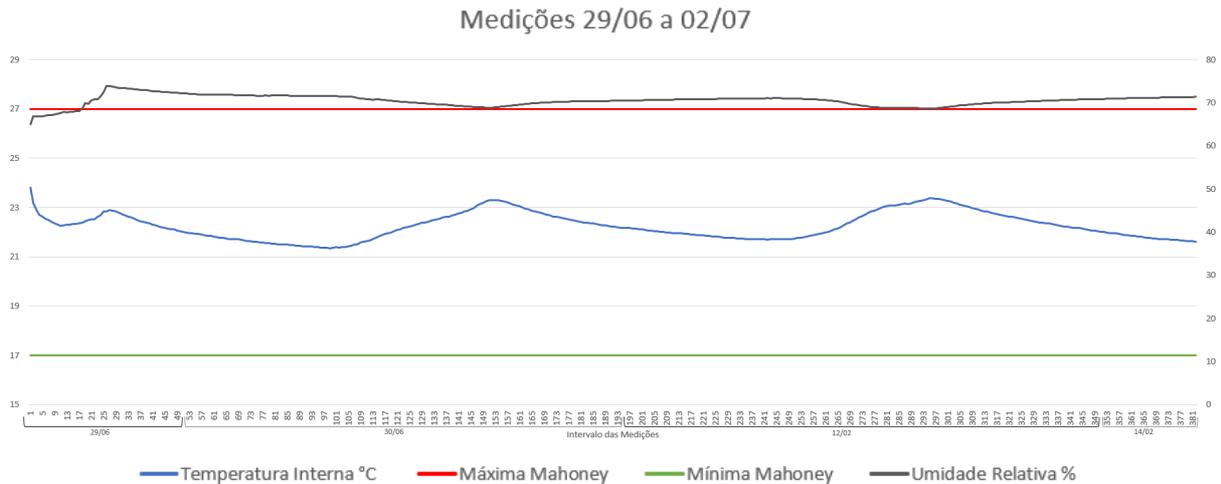


Figura 6. Gráfico Medições Hobo 1.

O Hobo 4 (Figura 7) encontra-se mais próximo das janelas e é possível notar uma pequena diferença em relação ao gráfico anterior. Apesar dos dados de temperatura estarem dentro dos padrões de Mahoney, nota-se dois picos mais acentuados de temperatura. O primeiro ocorreu no dia 30/06 no período da tarde em que a temperatura chegou a 24,1°C e o segundo no dia 24,05°C, no entanto, mesmo com estes dois momentos em que a temperatura ficou mais elevada o desempenho da casa continua satisfatório. Esses dois picos somados a posição em que o equipamento se localiza mostram que a grande área envidraçada é a parte mais vulnerável da edificação em aspectos de conforto térmico, o que altera consideravelmente seu desempenho térmico.

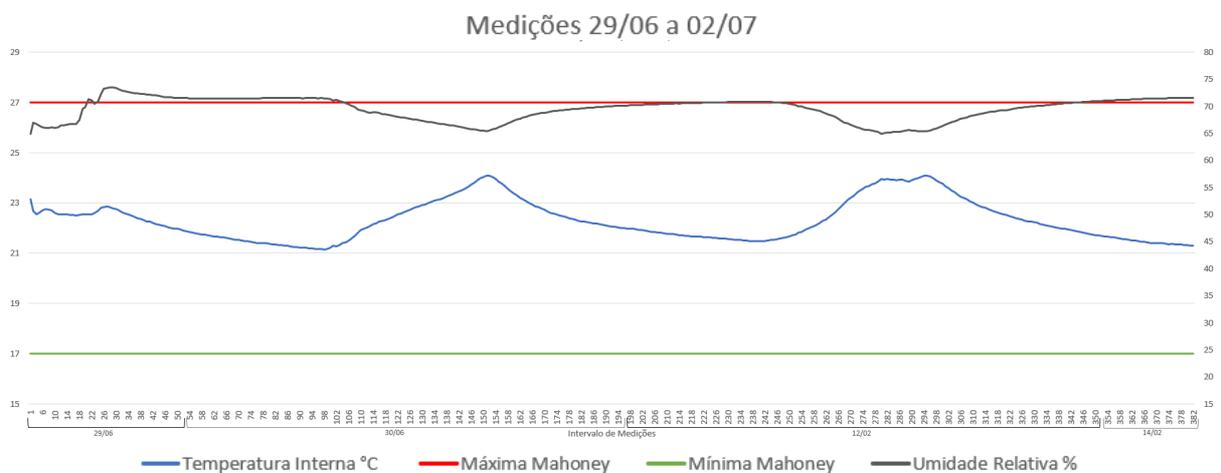


Figura 7. Gráfico Medições Hobo 4.

O registrador Hobo 5 está localizado em frente as janelas e pode-se notar em seu gráfico (Figura 8) mais claramente o impacto da grande área de janelas no desempenho térmico da casa. Ocorreram dois picos de temperatura ainda mais expressivos que no gráfico do Hobo 4, ambos aconteceram nos mesmos dias do gráfico anterior, mas neste ponto a temperatura chegou a 25,25 °C no dia 30/06 e 25,06 °C no dia 01/07. Importante destacar é que houve momentos em que a temperatura deste ponto chegou a ficar quase 3°C acima da temperatura registrada no Hobo 1, que está localizado mais afastado das janelas. Esse fato comprova que o desempenho térmico da casa é prejudicado por conta da grande área de janelas.

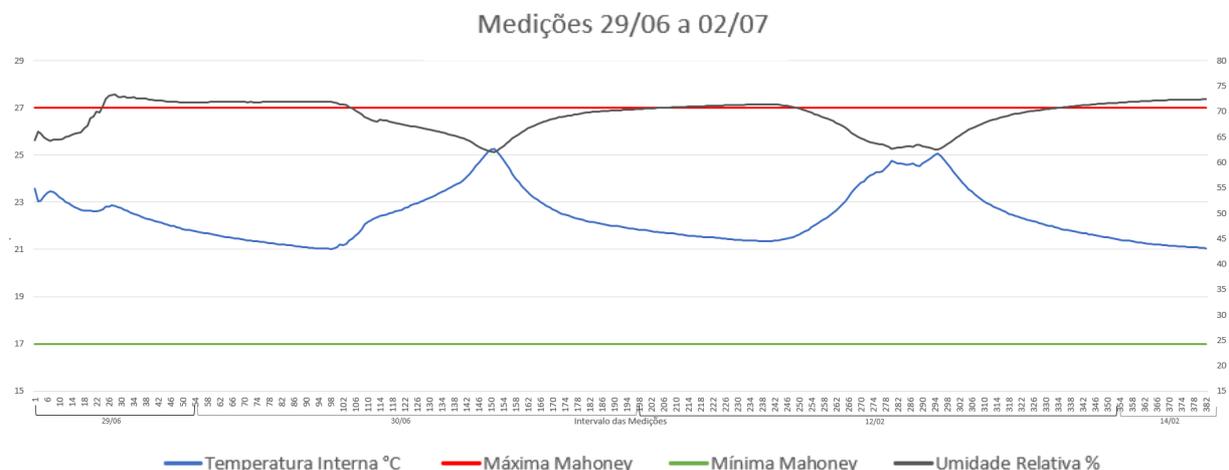


Figura 8. Gráfico Medições Hobo 5.

3.3 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE AMBIENTE EDIFICADO DA CASA HABITECH

Para avaliar o desempenho térmico da casa Habitech, também foram realizadas simulações computacionais por meio do *Software EnergyPlus*, seguindo as recomendações previstas no procedimento 1B Simulação da NBR 15575. A avaliação se deu por meio de comparação do modelo construtivo original utilizado na casa Habitech e outros dez tipos de parede (Tabela 1) e quatro tipos de coberturas (Tabela 2). O ambiente monitorado termicamente antes descrito foi o modelo simulado com o *software* citado.

A Figura 9 apresenta o modelo de simulação com as diferentes zonas térmicas e a de análise dos resultados (lado direito).

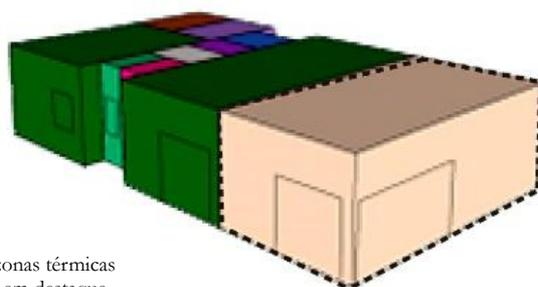


Figura 9. Modelo inicial com tipos de zonas térmicas simuladas. Sala de conferência analisada em destaque.

Ao longo das simulações com o *EnergyPlus*, notou-se que a grande área envidraçada existente no ambiente de estudo simulado da Casa Habitech, apresentava-se como um modelo de simulação com temperaturas internas do ar muito próximas das externas, com pouca influência dos tipos de paredes. Assim, disso optou-se por substituir as portas janelas existentes por janelas menores de 1,20 x 1,20 m, para melhor avaliar a edificação quanto aos sistemas construtivos de paredes antes citadas.

Foram simulados nove tipos de sistemas construtivos de paredes além do sistema utilizado na Casa Habitech, e os resultados obtidos foram organizados em gráficos e posteriormente avaliados. Por questões de entendimento e clareza optou-se por apresentar um gráfico comparativo com a média da temperatura interna, no mês de fevereiro e junho, de cada sistema construtivo (Figura10).

Observado o gráfico (Figura 10), de uma maneira geral, a média de temperatura interna mensal de todos os sistemas construtivos de paredes estão fora do padrão de 27°C estabelecido por Mahoney, o que pode causar desconforto térmico (sensação de calor) em alguns usuários da edificação, fazendo necessário a utilização de equipamentos de ar condicionado para reduzir a temperatura interna. Também pode-se notar uma pequena diferença entre os sistemas tradicionais e o que foi utilizado na casa Habitech. No entanto esse ainda é o que apresenta menor temperatura e conseqüentemente utilizaria menos equipamentos de ar condicionado para garantir o conforto térmico de seus ocupantes, suas variações (original sem isolamento, Painei CLT 7,5 cm e Painei CLT 7,5 cm sem isolamento) e posteriormente o *woodframe*, seguem esta mesma linha, e apresentam um melhor desempenho que os demais, vale ressaltar que estes sistemas que apresentam melhor desempenho possuem madeira em sua composição.

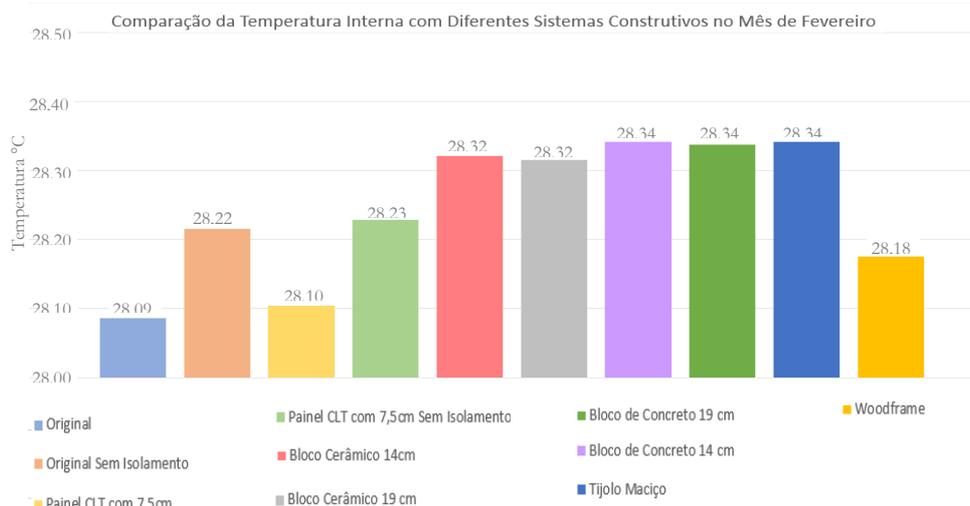


Figura 10. Gráfico Comparativo da Temperatura Interna com diferentes Sistemas Construtivos de Paredes – Mês de Fevereiro.

Nas simulações realizadas em junho, no inverno, (Figura 11) todos os sistemas construtivos de paredes ficaram com sua média mensal de temperatura dentro dos padrões estabelecidos por Mahoney, ou seja, acima dos 17°C. Neste gráfico nota-se uma superioridade no sistema construtivo utilizado na casa Habitech, que por ser mais isolado que os demais perde menos calor para o meio externo e mantém a temperatura interna mais elevada, o que é muito importante em épocas mais frias. Novamente os sistemas que apresentaram melhor desempenho foram o sistema original seguido de suas variações e o *woodframe*.

Vale ressaltar que os três sistemas que apresentaram melhor desempenho térmico, original, CLT 7,5 e *woodframe*, além de madeira, possuem isolamento térmico (lã de vidro) em sua composição, o que evidencia a importância deste componente nos sistemas construtivos mais tradicionais da cidade de Blumenau.

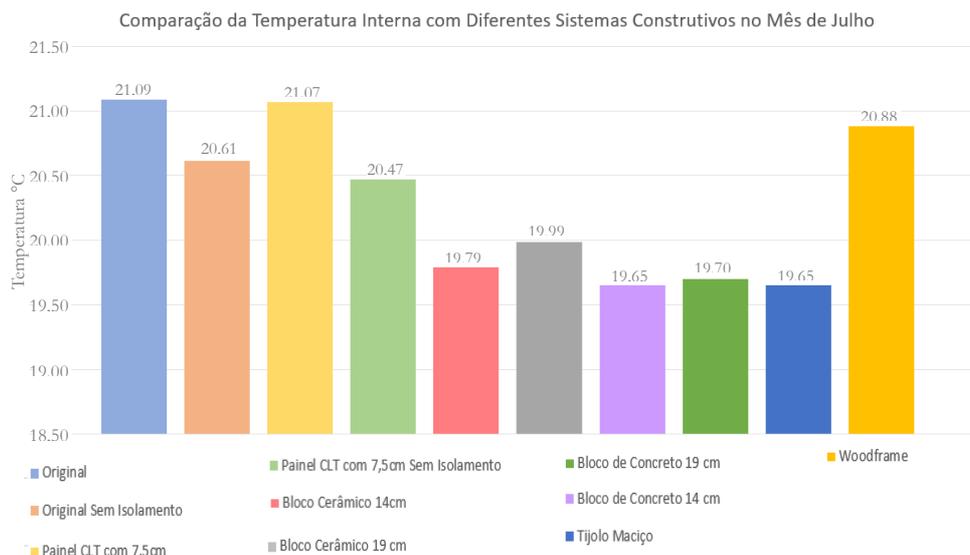


Figura 11 – Gráfico Comparativo da Temperatura Interna com Diferentes Sistemas Construtivos de Paredes – Mês de Junho.

Analisando o gráfico dos sistemas construtivos de cobertura (Figura 12) pode-se observar que na média mensal de fevereiro (verão) todos os sistemas construtivos de cobertura estão acima do padrão de 27°C estabelecido por Mahoney. Assim como no sistema de paredes, nota-se uma superioridade no desempenho térmico da cobertura utilizada na Casa Habitech, porém, neste caso a diferença é muito mais expressiva, chegando a mais de 1°C de diferença. Com isso pode-se concluir que o desempenho térmico da casa sofre um impacto muito maior quando há substituição da cobertura do que quando o sistema de parede foi substituído, possivelmente por conta da cobertura apresentar mais isolantes térmicos do que a parede e por conta disso necessitará de menos equipamentos de ar condicionado para garantir o conforto térmico de seus ocupantes.

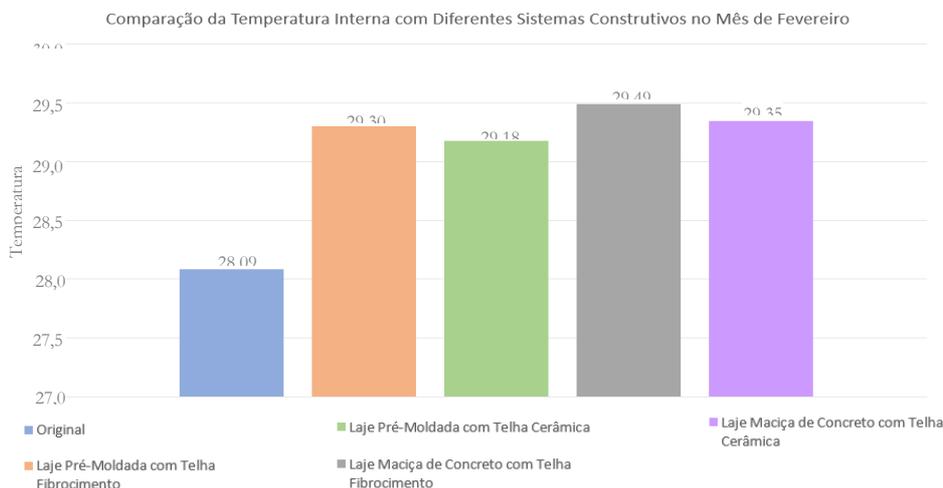


Figura 12. Gráfico Comparativo da Temperatura Interna com diferentes Sistemas Construtivos de Cobertura – Mês de Fevereiro.

Assim como na simulação dos sistemas de paredes, todos os sistemas construtivos de cobertura (Figura 13) ficaram com sua média mensal de temperatura acima dos 17°C determinados por Mahoney. No entanto, novamente nota-se uma diferença bastante considerável no desempenho da casa Habitech e os demais tipos de cobertura. Neste gráfico nota-se superioridade no sistema construtivo utilizado na casa Habitech. Esse é ainda mais expressiva por possuir mais isolamento térmico do que os demais tipos perdendo menos calor para o meio externo e mantém a temperatura interna mais elevada, o que diminui ou quase inibe a necessidade de aparelhos eletrônicos para aquecer o ambiente.

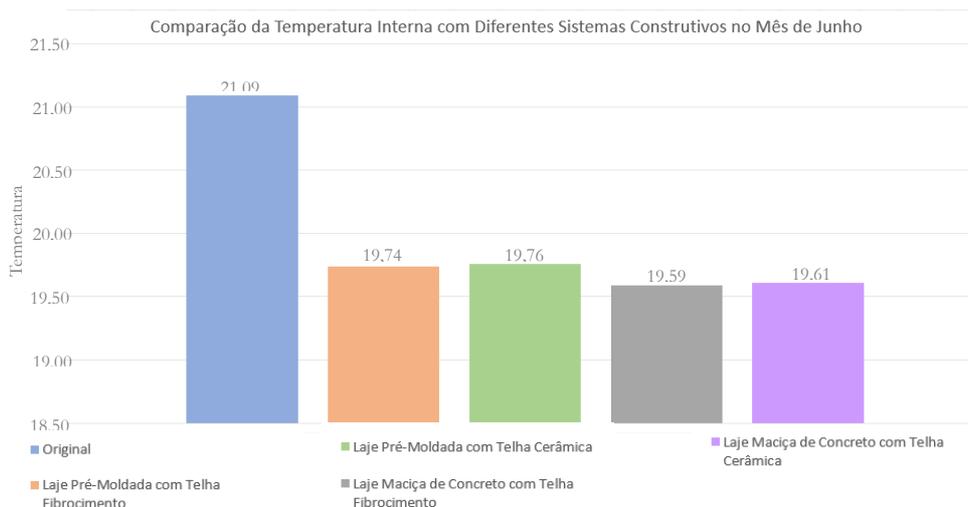


Figura 13. Gráfico Comparativo da Temperatura Interna com diferentes Sistemas Construtivos de Cobertura – Mês de Junho.

Utilizando o *software EnergyPlus* também foi realizada simulações para avaliar o consumo anual de energia (kWh) para climatização de resfriamento e aquecimento.

Os equipamentos de climatização foram configurados para serem ativados quando a temperatura interna for maior que 23°C ou menor que 17°C.

Na Tabela 5 também foram identificados os valores máximos e mínimos de temperatura do ar interna ao longo do ano e nos meses extremos. Os resultados de consumo e das temperaturas interna do ar obtidos foram organizados conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Consumo Anual de Energia para Climatização Artificial (kWh) e valores de Temperatura Interna do Ar.

Consumo Anual para Climatização Artificial (kWh)			Temperaturas do Ar Internas					
			Ano		Meses Extremos		Ano	
Situações de Simulação: Paredes e Coberturas	Resfria/o.	Aqueci/o.	Temperatura do Ar Interna Máxima na Zona Térmica (°C)	Temperatura do Ar Interna Mínima na Zona Térmica (°C)	Temperatura mais alta em fevereiro (mês mais quente) (°C)	Temperatura mais baixa em junho (mês mais frio) (°C)	Percentual de horas acima de 23°C (%)	Percentual de horas abaixo de 17°C (%)
1) Paredes Originais e Cobertura Original	11.062,34	0,40	42,15	20,11	41,08	20,26	77,10	0,0
2) Parede Original s/ Isola/o e Cobertura Original	10.985,49	0,49	40,10	18,72	38,61	19,39	69,45	0,0
3) Parede Original com CLT 7,5 cm e Cobertura Original	11056,16	0	41,16	19,90	40,79	20,60	76,80	0,0
4) Parede Original com CLT 7,5 cm s/ Isola/o e Cobertura Original	11.002,63	0	39,46	18,04	37,70	18,40	66,67	0,0
5) Parede Bloco Cerâmico 10 cm e cobertura Original	11.085,13	2.477,74	39,63	17,20	38,00	17,20	61,46	0,0
6) Parede Bloco Cerâmico 14 cm e cobertura Original	10.984,03	127,43	39,89	17,47	38,82	17,47	63,34	0,0
7) Parede Bloco de Concreto 14 cm e Cobertura Original	11.100,61	3.653,13	39,55	16,91	38,41	16,91	60,43	1,0

8) Parede Bloco de Concreto 19 cm e cobertura Original	11.034,87	1.656,16	38,46	16,19	38,26	16,19	53,79	9,00
9) Parede Tijolo Maciço 14 cm e Cobertura Original	11.010,34	802,38	39,64	15,51	38,94	16,66	51,30	30,00
10) Wood Frame e cobertura Original	11.020,88	0	40,86	19,47	39,80	19,78	74,50	0,0
11) Cobertura Original e Paredes Originais	11.062,34	0,40	42,15	20,11	41,08	20,26	77,10	0,0
12) Laje pré-moldada com fibrocimento e paredes originais	11.508,05	367,15	41,26	17,29	39,25	17,34	64,93	0,0
13) Laje pré-moldada com telha cerâmica e paredes originais	11.526,17	99,83	41,51	17,46	38,81	17,59	63,78	0,0
14) Laje de concreto maciço com fibrocimento e paredes originais	11.646,03	575,34	41,19	17,14	40,58	17,20	63,81	0,0
15) Laje de concreto maciço com telha cerâmica e paredes originais	11.912,60	160,69	41,45	17,33	39,74	17,47	62,57	0,0

Observando os resultados obtidos, nas simulações de paredes, pode-se observar que apesar da grande quantidade de isolamentos térmicos o desempenho do sistema original da Casa Habitech não é o melhor comparado aos outros no período de verão. Uma das possíveis explicações para isso é que o excesso de isolantes pode dificultar as trocas de ar na edificação, tornando-a mais quente do que as demais. O sistema construtivo que apresentou menor consumo de ar condicionado foi o bloco cerâmico de 14 cm, apesar de não possuir nenhum isolante térmico nas paredes a cobertura utilizada é extremamente isolada o que torna o desempenho térmico melhor.

No período de inverno os sistemas construtivos que apresentam melhor resultado quando avaliado a necessidade de ar condicionado são o CLT com 7,5, CLT com 7,5 cm sem isolamento e *woodframe* que não precisaram ativar o sistema de ar condicionado nenhuma vez no ano. O motivo pelo qual o sistema original da Casa Habitech não apresentou o melhor desempenho possivelmente é o mesmo do período de verão, o excesso de isolamento térmico prejudica a renovação do ar na edificação tornando-o quente.

O sistema de cobertura que apresentou melhor desempenho, ou seja, menor consumo de energia para manter a temperatura interna agradável no período de verão é o original da Casa Habitech. Assim, pode-se concluir que a troca do sistema de cobertura implica muito mais no desempenho térmico da edificação do que a troca do sistemas de paredes.

Assim como no verão, no período de inverno o sistema de cobertura que utilizou menos equipamentos de ar condicionado para manter a temperatura interna acima de 17°C foi o sistema original da Casa Habitech. E com isso pode-se concluir que novamente o excesso de isolantes térmicos dificulta a renovação do ar e torna o ambiente mais quente, e ao trocar o sistema de cobertura, perde-se essa estabilidade e o ambiente começa a ficar mais frio precisando de ar condicionado para manter sua temperatura acima de 17°C.

4. Conclusão

Ao fim desta pesquisa, pode-se concluir que o sistema construtivo utilizado na Casa Habitech é sim superior aos utilizados na cidade de Blumenau, apesar de também necessitar de equipamentos de ar condicionado para garantir o conforto térmico de seus usuários no verão. A recorrência e o consumo de energia serão menores por este, pois se trata de uma casa com bastante isolamento térmico e por isso seu ganho e perda de calor é muito baixo. Importante ressaltar que no inverno a casa consegue sozinha (sem uso de equipamentos) manter uma temperatura agradável aos seus usuários, fazendo com que a utilização de aquecedores seja muito pequena ou inexistente.

Em contrapartida, os sistemas mais utilizados na cidade, que são as alvenarias convencionais ou utilizando blocos de concreto e nas coberturas, lajes pré-moldadas com telha de fibrocimento ou cerâmica, mostram claramente o déficit de qualidade térmica das edificações, pois além de necessitar equipamentos de ar condicionado para diminuir a temperatura interna no verão, precisaram de equipamentos para aquecer a edificação nos períodos de inverno, pois por si só não conseguirão garantir o conforto térmico de seus ocupantes. Uma das razões para isso é a pouca espessura das paredes e a falta de isolamento térmico tanto nas paredes quanto nas coberturas, fatores cruciais para garantir um bom desempenho térmico das edificações, mas que atualmente estão sendo deixados de lado.

Outro ponto muito importante para se destacar é a respeito da superioridade em aspectos de conforto térmico dos sistemas que utilizam a madeira em sua composição, que é o caso da parede utilizada na Casa Habitech e suas variações (original sem isolamento, Painel CLT 7,5 cm e Painel CLT 7,5 cm sem isolamento) e o *woodframe* e mais importante ainda, os três sistemas de cobertura que apresentaram melhor desempenho térmico, original, CLT 7,5 e *woodframe*, além de madeira, possuem isolamento térmico (lã de vidro) em sua composição, e o sistema de cobertura que apresentou melhor desempenho foi o da própria Casa Habitech que além de possuir painéis de madeira laminada colada apresenta também isolantes térmicos em sua composição.

Em resumo o investimento em edificações de madeira, que além de possuir um fácil manejo, é o único material da construção civil que é renovável as novas edificações da cidade deveriam investir também em materiais isolantes para suas construções, pois certamente a edificação apresentará um melhor desempenho térmico do que vem apresentando as atuais e necessitará de menos equipamentos eletrônicos para garantir a qualidade térmica de seu interior.

5. Referências

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). *NBR15575: 2013 Edificações Habitacionais: Desempenho* [Parte 1 a 6]. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *NBR15220: 2003 Desempenho Térmico de Edificações* [Parte 1 a 3]. Rio de Janeiro: ABNT.

Brasil, Ministério do Meio Ambiente (2016). *Construção Sustentável*. Recuperado de: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>. Acesso em 02 out. 2016.

FPINNOVATION. CLT . (2011). *Handbook Canadian Edition*. Port-Claire, QC, Canada: [s.n.].

ISO — International Organization for Standardization (2005). *ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.

Grigoletti, G. C., Rotta, R., & Müller, S. (2010). *Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações de Interesse Social Unifamiliares em Santa Maria – RS*. 10f. ENTAC – Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Isaia, G. C. (2007). *Materiais de construção civil: princípios de ciências e engenharia de materiais* [ed. G. C. Isaia]. São Paulo: IBRACON. [1v.].

Vier, L. C., Huppes, F. A. H., Silva, J. M. da, Hammes, R. F., & Bridi, M. E. (2016). *Análise do Desempenho Térmico em Habitações de Interesse Social – Estudo de Caso em Santa Rosa – RS*. 6f. Salão do Conhecimento – UNIJUI 2016.- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

Zenid, G. J. (2009). *Madeira: uso sustentável na construção civil* (2a. ed.). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA.