

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE AS TÉCNICAS  
*LIGHT STEEL FRAMING* COM COBERTURA EM TELHA *SHINGLEX* BLOCO E  
TELHA CERÂMICAS**

*COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL PERFORMANCE BETWEEN LIGHT STEEL  
FRAMING TECHNIQUES WITH SHINGLE TILE ROOFING VS. BLOCK AND CERAMIC TILE  
ROOFING*

**Giulia Piazza Fernandes Soares**

Pós-graduada, UNICAMP, Brasil  
giuliapiazzaf@gmail.com

**Pedro Jose Perez Martinez**

Professor Doutor, UNICAMP, Brasil.  
pjperez@unicamp.br

## RESUMO

A fim de difundir outras técnicas construtivas além dos clássicos blocos de concreto e telhas cerâmicas muito usados no Brasil, esse trabalho visa avaliar se o sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF) combinado com a Telha *Shingle* possui boa resposta térmica quando utilizada em construções com caráter residencial em zonas climáticas como Campinas-SP. Foi analisado o projeto de um sobrado para análise de desempenho térmico entre a técnicas construtivas secas (*Light Steel Framing* com Telha *Shingle*) e as úmidas sem função estrutural (Blocos de Concreto e telhas cerâmica), segundo norma de desempenho térmico NBR 15575/2013. Para tanto, modelou-se uma edificação com a extensão “Euclid” do *Sketchup* e utilizou-se o programa *EnergyPlus* a fim de considerar as propriedades dos materiais e analisá-los quanta temperatura operativa horária e indicador de graus-hora. Os resultados mostraram que o uso apenas de Paredes em *Light Steel Framing* não é suficientemente eficiente para as características climáticas de Campinas. Contudo, abre-se espaço para uma futura discussão sobre uma possível adaptação do formato mais conhecido para que este possa ser adotado mesmo em zonas climáticas como a de Campinas, juntamente com o uso da Telha *Shingle* que obteve bom resultado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação computacional. *Light Steel Framing*. Telha *Shingle*. Telha Cerâmica. Temperatura Operativa Horária e indicador de graus-hora.

## SUMMARY

*To promote alternative construction techniques beyond the traditional concrete blocks and ceramic tiles widely used in Brazil, this study aims to evaluate the thermal performance of the Light Steel Framing (LSF) construction system combined with shingle tiles, which have good thermal response when used in residential buildings in climatic zones like Campinas-SP. A two-story house project was analyzed to compare the thermal performance between dry construction techniques (Light Steel Framing with Shingle Tiles) and wet construction techniques without structural function (Concrete Blocks and Ceramic Tiles), according to the thermal performance standard NBR 15575/2013. For this purpose, the building was designed using SketchUp's Euclid extension, and the EnergyPlus program was used to consider the material properties and analyze hourly operative temperature and degree-hour indicator. The results showed that using only Light Steel Frame walls is not sufficiently efficient for the climatic characteristics of Campinas. However, it opens room for future discussion on an adaptation of the more well-known format, so that it can be adopted even in climatic zones like Campinas, along with the use of Shingle Tiles, which yielded satisfactory results.*

**KEYWORDS:** Computational simulation. *Light Steel Framing*. *Shingle Tiles*. *Ceramic Tiles*. *Hourly Operative Temperature and Degree-Hour Indicator*.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas construtivos com elevada eficiência energética ganham destaque na atual conjuntura, onde se busca atenuar a propagação de calor para dentro da habitação e assim minimizar o uso de sistemas de refrigeração. Dentre tantos aspectos que podem ser avaliados nesse quesito, o presente trabalho tem por objetivo analisar o sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF) com a estrutura de concreto armado e paredes em alvenaria.

O sistema construtivo LSF, concebido para países onde a principal preocupação é o frio, tem excelente desempenho quanto a isolamento térmica, além de curto prazo de instalação. Já o sistema com estrutura de concreto armado, que é bastante usado no Brasil que se caracteriza por ter clima quente e úmido, tem características artesanais e de grande desperdício. Segundo Madruga (2016), que realizou estudo semelhante em residência situada em Gramado, os resultados mostraram que LSF apresenta desempenho superior em dias típicos de inverno, mas para dia de verão não se conseguiu atingir valores adequados de temperatura interna. Em relação ao desempenho térmico do sistema LSF, Pereira Júnior (2004) fez o cálculo da resistência térmica de dois fechamentos: um tradicional em alvenaria e outro em LSF para comprovar a eficácia do sistema estruturado em aço e o autor concluiu que, se consideradas as mesmas dimensões geométricas de um fechamento em alvenaria, o painel em LSF possui desempenho térmico muito superior.

Assim, a fim de corroborar ou não esses resultados juntamente com o uso de telhas *shingle*, esse trabalho tem como objetivo averiguar o desempenho dos sistemas construtivos: *Light Steel Framing* x Concreto Armado e Paredes em Alvenaria e Telhas *Shingle* x Telhas Convencionais, aplicados na cidade de Campinas -SP. Com os resultados obtidos se espera incentivar o sistema LSF pela sua melhor eficiência térmica, pois no Brasil, menos de 3% das edificações são construídas por esse sistema. Para tanto, será usado o simulador de desempenho térmico de edificações EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2015), a fim de auxiliar as análises de desempenho desses sistemas construtivos, baseando-se nos índices de conforto térmico da NBR 15575/2013.

## 2. OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é verificar eficácia térmica dos sistemas construtivos secos LSF e a Telha *Shingle* em unidades residenciais simples de um pavimento em comparação a técnica construtiva de blocos de concreto e telhas cerâmicas (técnicas tradicionais brasileiras) segundo norma de desempenho térmico NBR 15575/2013.

## 3. MÉTODO

Como ponto de partida para a definição de uma metodologia específica para avaliar o desempenho térmico de edificações em LSF, pode-se citar os trabalhos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e o trabalho de Akutsu (1998), nos quais as pesquisas e avaliações desenvolvidas pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) se apoiam. Os trabalhos desenvolvidos pela Divisão de Edificações

do IPT têm em comum a preocupação com a proposição de uma metodologia para a avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. Dentre eles, destacam-se Akutsu e Vittorino (1991) e Akutsu e Vittorino (1995).

Com objetivo de verificar-se o desempenho térmico entre as técnicas construtivas já mencionadas anteriormente, o trabalho assumiu uma sequência de desenvolvimento em 3 etapas:

1. Modelagem do imóvel;
2. Modelos de Simulação: através de simulação computacional para diferentes composições de fechamentos no mesmo projeto arquitetônico;
3. Análise de dados e comparação entre os dados.

Foram criadas 4 composições de fechamentos principais, e a partir disso foram idealizados modelos de simulação no Energy Plus.

## 4. TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

### 4.1. *Light Steel Framing*

O LSF é um sistema construtivo industrializado e altamente racionalizado, formado por estruturas de perfis de aço galvanizado. Seu fechamento é feito por placas, podendo ser cimentícias, de madeira, *drywall* etc. Sua estrutura é composta basicamente por: fechamento externo, isolantes termoacústicos e fechamento interno (SANTIAGO, 2008). Esses perfis dividem a carga de maneira que cada parcela resista a um pequeno percentual da carga total. O LSF e seus subsistemas permitem a construção em escala industrial no canteiro de obra ou de forma mais eficiente, através da construção dos painéis com as placas de fechamento, fixadas dentro da fábrica e posteriormente entregues na obra. Esse método de construção modular confere maior rapidez na execução da obra. Ele usa o conceito de multicamadas para o isolamento, onde se usam placas leves de fechamento preservando o espaço no miolo para se preencher com material isolante, normalmente lã de rocha ou lã de vidro. Quanto maior for o número de camadas maior é a capacidade de isolamento da parede, mas a eficiência depende das propriedades dos materiais ali aplicados. Assim, o desempenho termoacústico das edificações em LSF está intimamente ligado à qualidade de isolamento de seus sistemas de vedações, os quais controlam as trocas de calor com o ambiente externo (TAKUSHI, 2015).

No LSF, a cobertura pode seguir os mesmos preceitos dos tradicionais telhados com estrutura de madeira, apenas utilizando perfis leves em aço galvanizado ao invés da madeira, ou ainda, é possível utilizar todos os tipos de telhas do mercado brasileiro. Porém, as telhas mais recomendadas para o sistema são as telhas asfálticas, chamadas de telhas *shingle*. Este tipo de telha permite um ganho no desempenho térmico da edificação, pois com grandes inclinações, a superfície do telhado pode ficar mais afastada do piso do pavimento, formando uma espécie de colchão de ar na parte superior do pavimento, diminuindo a velocidade de troca de calor do ambiente interno com o ambiente externo.

A principal diferença do *steel frame* é a limpeza do canteiro de obras, pois não há necessidade do uso de água proporcionando uma construção seca, título pelo qual esse sistema construtivo também é chamado (PEREIRA, 2019). A geração de resíduos é praticamente zero, já que a estrutura é fabricada com as dimensões definidas em projeto, dispensando o corte de

peças, conseqüentemente isso gera uma construção mais barata, rápida e limpa (TETHOS, 2023). Quando há mais de um pavimento na edificação, a separação entre um pavimento e outro é feita por lajes leves, que são perfis de aço galvanizado revestidos por madeira, placa cimentícia ou outro tipo de placa, e por forros leves, que podem ser forros de *drywall*, PVC etc. Também podem ser utilizadas lajes pré-moldadas de concreto (PEREIRA, 2019).

Vantagens do *steel frame*:

- Agilidade na construção: construção é executada de forma rápida pois a maioria dos seus componentes são pré-fabricados. Algumas casas podem ser finalizadas em 15 dias ou menos;
- Redução do peso da estrutura: os perfis de aço galvanizado são leves e não geram grandes esforços de carga na estrutura. Por isso, normalmente são utilizadas as fundações superficiais do tipo *radier* (PEREIRA, 2019);
- Maior precisão na execução: como os painéis são fabricados por meios industriais, a precisão e a redução de erros fazem com que o *steel frame* seja um sistema construtivo mais confiável (PEREIRA, 2019);
- Edificação sustentável: não é necessário o uso de recursos naturais como água para a execução, gerando-se muito pouco lixo e resíduo na construção (PEREIRA, 2019);
- Melhor isolamento térmico e acústico: esse tipo de estrutura proporciona bons níveis de isolamento térmico e acústico (PEREIRA, 2019);
- Várias opções de acabamento;
- Menor custo: se comparado com o sistema convencional de concreto e estruturas metálicas, o *steel frame* é mais barato, principalmente em edificações menores, pois o custo com materiais e mão de obra acabam sendo menores devido ao curto tempo de execução da obra.

Desvantagens do *steel frame*:

- Limite de pavimentos: embora existam alguns exemplos de prédios de vários pavimentos sendo construídos, é mais comum encontrar edificações térreas construídas em *steel frame* ou edifícios com até 5 pavimentos;
- Dificuldade de encontrar mão de obra especializada: para que o sistema seja mais barato e rápido do que outros métodos construtivos, assim, deve-se realizar treinamentos constantes da mão de obra.

Já o sistema em alvenaria é uma construção de estruturas e de paredes que utiliza unidades unidas entre si ou não por argamassa. Essas unidades podem ser blocos de cerâmica, de vidro, de concreto, pedras, tijolos etc. A alvenaria é, comumente, usada em paredes de edifícios, muros de arrimo e monumentos. Os blocos mais comuns são os cerâmicos e os de concreto. Os blocos cerâmicos (também conhecidos como tijolos) podem ser maciços ou vazados.

## 4.2 Telha *Shingle*

A telha *Shingle* ou telha asfáltica é famosa por ser característica de casas norte-americanas. Ela é bonita e resistente já que é feita de massa asfáltica, permitindo extrema

maleabilidade. Devido a praticidade, facilidade de colocação, segurança e durabilidade, não restam dúvidas que a telha *Shingle* é exemplo mundial de qualidade em coberturas. A telha *Shingle* teve um rápido crescimento ao longo do século XX. O produto foi inventado a partir do seu precedente em madeira, usado até o século XIX. O conforto térmico é uma preocupação primordial da Telha *Shingle* desde sua concepção, uma vez que o sistema se originou em países com elevada amplitude térmica. Essa telha fornece uma gama de ângulos de inclinação muito maior que outros tipos de telhas; dispensa inúmeros dutos de escoamento de água; tem diversidade de cores e pouca manutenção; motivos pela qual esse produto foi aclamado mundialmente.

As vantagens das telhas *shingle*:

- Permite ângulos de 17° a 90 ° se adaptando a qualquer estilo de arquitetura no telhado. Assim, se arquitetonicamente o projeto permite uma inclinação menor, deve-se levar em consideração que os custos da estrutura do telhado podem ser aproximadamente 20% menores por conta do peso próprio da estrutura que diminui consideravelmente;
- Leveza e economia estrutura, pois possui peso 6 vezes menos do que os sistemas de coberturas tradicionais. A telha *shingle* permite uma economia considerável na estrutura do telhado bem como, na estrutura de toda a edificação;
- Totalmente impermeável;
- Flexibilidade, pois permite com sua incrível maleabilidade desenvolver formas arredondadas, côncavas, e detalhes perfeitamente acabados em sua cobertura, facilitando para qualquer profissional a concepção dos projetos;
- Acabamento perfeito, pois todos os recortes, curvas e acabamentos são feitos com a própria telha, pois sua flexibilidade dá muito mais liberdade;
- Fácil fixação, pois as telhas são placas de aproximadamente 100 x 30 cm;
- Sem restrição de climas pois ele já foi testado e aprovado em condições extremas de -70 ° C a +90 ° C. Além disso, resiste a ventos até 100 km/h, impacto de granizos, possui propagação de chamas controlada e resiste a grandes variações climáticas com eficiência térmica disparada em relação aos outros tipos de telhas. As telhas *Shingle* não quebram e não destelham.

## 5. MODELO A SER ANALISADO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE CAMPINAS

O zoneamento bioclimático brasileiro é dividido em 8 zonas em que cada zona é tida com um clima homogêneo e com características climáticas semelhantes. Campinas encontra-se na Zona Z3 (ABNT NBR 15220-3). Com base nos dados climatológicos da região em paralelo aos sítios, dados e sugestões sobre desempenho e conforto térmico do Projeto de Edificações Energeticamente Eficiente (PROJETEEE), verifica-se que o verão (novembro a março) possui maior duração que o inverno (junho a agosto), indicando a predominância do calor sobre o frio na cidade durante o ano. A amplitude de temperatura (Tabela 1) é maior nos meses de inverno, atingindo seu valor máximo em agosto (13° C). Sabe-se que quanto maior a amplitude de

temperatura, menor é a umidade relativa. Portanto, a umidade relativa também apresenta valores menores no inverno, com mínimo em agosto (64,3 %) (Tabela 1). Como o verão é mais úmido, os registros de precipitação total apontam valores maiores nessa época.

Tabela 1: Dados climáticos de Campinas

Títulos	Verão			Inverno						Verão		
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura máxima (° C)	29,5	29,7	28,9	27,8	25,3	24,1	24,6	26,3	26,6	28,5	29,0	29,1
Temperatura mínima (° C)	19,6	19,5	18,7	17,4	14,8	12,5	12,4	13,3	15,0	16,8	18,3	18,9
Amplitude de temperatura (° C)	9,9	10,2	10,2	10,4	10,5	11,6	12,2	13,0	11,6	11,7	10,7	10,2
Umidade relativa média (%)	77,7	77,7	77,3	75,6	75,9	73,8	68,2	64,3	64,7	69,1	70,4	76,0

Fonte: CETESB (2023) <https://cetesb.sp.gov.br/ar/boletim-diario/>

Esta amplitude de temperatura indica a necessidade de uma alta inércia térmica dos fechamentos como estratégia bioclimática. Pode-se, portanto, tirar partido do alto ganho de calor durante o dia para, através da inércia térmica, aquecer os ambientes internos à noite. Para os fechamentos verticais, considera-se que as paredes externas têm grande atraso térmico (superior a 8 horas). Para mês de agosto, observa-se um coeficiente de amortecimento igual a 0,165 e resistência de contato térmico 2 de  $0,33 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$ . Para os fechamentos horizontais (cobertura), encontram-se recomendações conflitantes. De acordo com Rivero (1986), a recomendação é de telhados com alta de contato térmico ( $0,33 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$ ) e excelente coeficiente de amortecimento (0,147). Já Chavatal, Labaki e Kowaltowski (2000) citam que telhados leves têm baixa inércia térmica, mas com uma resistência térmica bem alta (transmitância não inferior a  $0,8 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). E que os fechamentos mais adequados para as condições de Campinas são elementos com inércia térmica média a alta, devido às grandes amplitudes de temperatura, principalmente no inverno.

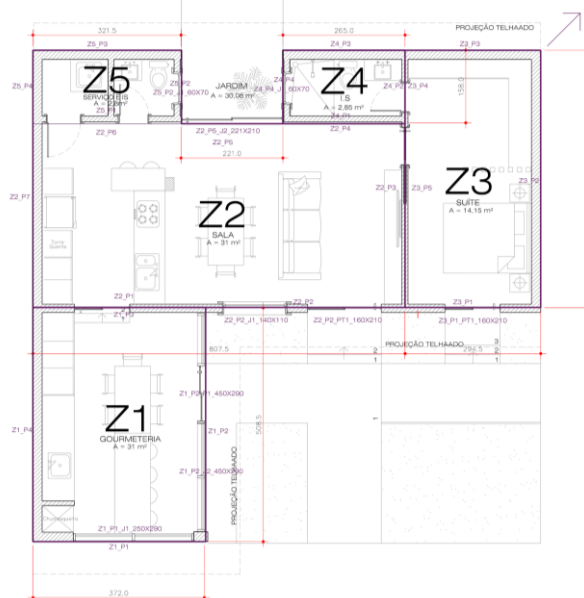
A orientação dos edifícios deve favorecer o aproveitamento do vento predominante (sudeste), assim como possuir controle da radiação solar através da coloração apropriada das superfícies e prever o tratamento do solo circundante para controlar as temperaturas superficiais.

## 5.2 DEFINIÇÃO DO CASO BASE

O caso base para análise de eficiência térmica de paredes em *light steel frame* e de bloco cerâmico e telhas *shingle* e de cerâmica está representado na Figura 3. Esse sobrado totaliza uma área de  $80 \text{ m}^2$  composto por 6 cômodos: Gourmeteria com  $31 \text{ m}^2$ , sala em conceito aberto com  $31 \text{ m}^2$ , suíte com  $14,15 \text{ m}^2$ , I.S. com  $2,9 \text{ m}^2$ , e serviço com I.S somando  $2,8 \text{ m}^2$ . A

fim de possibilitar avaliação pelo Energy Plus, esses cômodos foram separados em Zonas 1 a 5, respectivamente. A Figura 1 representa a planta do sobrado com as respectivas zonas indicadas.

Figura 1: Planta baixa de sobrado em análise



Fonte: Autoral

Os tipos de cobertura analisados foram Telha Cerâmica e Telha *Shingle*.

Para Telha Cerâmica, usada em telhados inclinados com paredes em *Light Steel Framing*, é necessário o uso do OSB (protegido com uma manta de impermeabilização) como substrato de apoio. Sobre o OSB, são colocados os perfis tipo cartola paralelos e os caibros para possibilitar o escoamento da água, e sobre estes são fixadas as ripas para o encaixe das telhas. Portanto, para uma análise eficiente desse tipo de cobertura, todos os modelos que estiverem sendo avaliados com telha cerâmica devem apresentar a seguinte composição (da camada mais externa para a interna): a) Telha Cerâmica; b) Câmara de Ar; c) Filme *Foil* Aluminizado; d) OBS.

A composição da Telha *Shingle* escolhida mais popularmente usada é a) *Shingle*; b) Membrana hidrófuga; c) OPS; d) Lã de Vidro 50 mm.

Os tipos de paredes utilizadas foram Paredes Externas LSF e Paredes internas não estruturais (*Drywall*) e Paredes de Alvenaria. Paredes Externas LSF utilizadas quando um material de alta condutividade térmica como o aço é colocado em paralelo com um material isolante, a maior parte da transferência de calor ocorre através do metal, por condução, caracterizando um efeito conhecido por ponte térmica através do perfil em aço, ou thermal bridge. A ponte térmica reduz a resistência térmica do painel e aumenta os gastos energéticos para aquecimento ou resfriamento do ambiente (CAETANO, 2017). O reboco térmico aplicado no exterior dos painéis, conhecido nos Estados Unidos da América como EIFS, é outra solução utilizada para reduzir os efeitos das pontes térmicas. Trata-se de um sistema para reduzir os gastos com energia por meio do isolamento dos edifícios a partir do exterior. Segundo Santiago (2008), uma solução parecida com o sistema EIFS aplicada no Brasil é composta por substrato de OSB (espessura 15 mm), membrana de polietileno, EPS e argamassa elastomérica.

Portanto, a composição da parede externa para a simulação em questão é composta por: a) EPS; b) Membrana de polietileno; c) Capa OPB; d) Camada de ar; e) Chapa de gesso acartonado.

As Paredes internas não estruturais (*Drywall*) foram utilizadas com pelo menos uma camada de chapa de gesso de 12,5 mm de espessura em cada face. O sistema *Drywall* é constituído por perfis U e U enrijecido (Ue) de aço galvanizado de dimensões menores que os empregados no sistema LSF, uma vez que suportam apenas o peso dos fechamentos e revestimentos, e de peças fixadas em sua estrutura. Contudo, energeticamente eles possuem o mesmo desempenho. As chapas de gesso acartonado são fechamentos leves por não possuírem função estrutural e sua densidade pode variar conforme a espessura de 6,5 Kg/m<sup>2</sup> a 14 Kg/m<sup>2</sup> para fechamento de paredes. Dito isso, às paredes internas com sistema de seco assume a seguinte composição: a) Gesso acartonado; b) Isolamento térmico; c) Câmara de Ar.

A composição das paredes de alvenaria utilizada foi a composição mais usual brasileira: a) Argamassa com pintura branca; b) Concreto 25mm; c) Câmara de Ar; d) Concreto 25mm.

Quadro 1: - Composição das paredes para o teste de eficiência térmica

Paredes	Interno			Externo		
Parede Bloco de Concreto	Argamassa 20 mm	Concreto 25 mm	Câmara de ar 5 mm	Concreto 25 mm	Argamassa 20 mm	
LSF Interno	Placa de gesso acartonado 12,5 mm	Lã de vidro 50 mm	Câmara de ar 5 mm	Estrutura LSF	Placa de gesso acartonado 12,5 mm	
LSF Externo	Placa de gesso acartonado 12,5 mm	Isolamento térmico poliestireno	Placa OSB 18mm	Câmara de ar 5mm	Estrutura LSF	Placa de gesso acartonado 12,5 mm

Fonte: Autoral

Quadro 2: - Composição das coberturas para o teste de eficiência térmica

Paredes	Interno			Externo
Telha <i>Shingle</i>	Telha <i>Shingle</i>	Membrana hidrófoba	Placa OSB 11 mm	Lã de vidro 50 mm
Telha Cerâmica	Telha cerâmica	Câmara de ar 5mm	Filme <i>foil</i> aluminizado	Placa OSB 11 mm

Fonte: Autoral

## 6. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

### 6.1. *EnergyPlus*

*EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, baseado em dois programas pioneiros na simulação termo energética de edifícios, BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*), focado em desempenho térmico, e DOE-2, focado em consumo energético da edificação. DOE-2 executa cálculos numéricos baseados nos princípios fundamentais de balanço de massa e energia (1ª Lei da Termodinâmica) e permite simulações integradas de cargas térmicas e sistemas em regime transiente.

As três partes principais da simulação - edifício, sistema e planta - são solucionadas simultaneamente, o que proporciona resultados precisos de temperatura e predição de conforto. Para fornecer o perfil de consumo energético e temperatura de uma edificação durante todo o ano, o EnergyPlus integra uma série de módulos de cálculo para cada ambiente e superfície e, assim, realiza uma simulação completa do balanço de massa e energia. O programa EnergyPlus trabalha, basicamente, com três módulos: o gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies, de aquecimento do ar e o de simulação dos sistemas construtivos.

O gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies e o de aquecimento do ar atua nos módulos de balanço térmico de superfícies e ar, como também como uma interface entre o balanço térmico. Enquanto o gerenciador de simulação dos sistemas construtivos encarrega-se da comunicação entre os cálculos de balanço térmico e vários módulos e “circuitos” do sistema de condicionamento de ar. O Energyplus permite, por meio de interfaces, introduzir dados sobre a geometria de uma edificação; dos materiais utilizados na sua envoltória (opacos e transparentes); perfil de ocupação, ou seja, número de pessoas que pode variar ao longo do ano; potencial de equipamentos de iluminação, instalação e o perfil de uso; entre outros. Além disso, é possível incluir informações sobre sistemas de climatização e de geração de energia - geradores, células fotovoltaicas etc. Ele também permite avaliar o consumo diário, mensal ou anual da edificação e, assim analisar os potenciais níveis de redução e uso racional de energia.

As características específicas para cada material usado na simulação estão resumidas na Tabela 2, onde os dados de entrada no programa EnergyPlus podem ser avaliados e comparados. As características são rugosidade, espessura, condutividade, densidade, calor específico, emissividade, absorvância solar e absorvância visível.

## 6.2 Alternativas de Simulação

A definição das alternativas para simulação dos modelos do projeto fora determinada a partir das recomendações da terceira parte da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para Zona Climática Z3, na qual a cidade de Campinas está enquadrada. Pode-se definir o conforto térmico de um determinado ambiente como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, resultante da combinação satisfatória da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente e velocidade relativa do ar, vestimenta e atividade desenvolvida pelos usuários. Vittorino (2005) afirma que “o desempenho térmico de uma edificação é função direta do grau de conforto térmico de seus ocupantes, podendo ser considerado, também, o consumo de energia necessário para climatizar a edificação”. Portanto, a avaliação do desempenho térmico consiste na verificação das condições internas pelas respostas da edificação a ação climática pelo lado externo e de fontes de calor internas devido ao uso conforme as exigências de conforto térmico de seus usuários.

Como nesse estudo os modelos não possuem condicionamento térmico artificial, a avaliação consiste em verificar se as respostas térmicas dos ambientes internos atendem às exigências humanas de conforto térmico. Desta forma, a avaliação do desempenho térmico estará em função das temperaturas internas. Importante ressaltar que esta verificação é feita considerando a resposta global da edificação e não somente o comportamento térmico dos elementos de fechamento isoladamente. Será analisado 4 diferentes cenários a partir da

composição dos materiais previamente estipulados: Modelo 1 (SSS), Modelo 2 (SSC), Modelo 3 (CCC) e Modelo 4 (CCS).

O Modelo 1 (SSS) considera a parede externa e interna em LSF e a cobertura em Telha *Shingle*. O Modelo 2 (SSC) considera a parede Externa e interna em LSF e a cobertura em Telha Cerâmica. O Modelo 3 (CCC) tem a parede externa e interna em alvenaria e a cobertura em Telha Cerâmica. Finalmente, Modelo 4 (CCS) tem a parede externa e interna em alvenaria; e a cobertura em Telha *Shingle*.

Tabela 2 - Características Físicas dos materiais usados para comparação de Eficiência Energética

Nome	Rugosidade	Esp. (m)	Cond. (W/ (m K))	Den. (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Esp. (J/ (kg K))	Emissiv. (-)	Absort. Solar (-)	Absort. Visível (-)
Argamassa 10mm Branco	Rugoso	0,01	1,15	2100	1000	0,8	0,2	0,2
Argamassa 20mm Branco	Rugoso	0,03	1,15	2100	1000	0,8	0,2	0,2
Concreto 25mm	Médio rugoso	0,25	1,75	2200	1000	0,9	0,7	0,7
Concreto Laje 10mm	Rugoso	0,01	1,75	2200	1000	0,9	0,7	0,7
EPS	Médio rugoso	0,04	0,04	1000	2,9	0,5	0,6	0,6
Filme foil aluminizado	Liso	0,03	0,04	322	880	0,04	0,05	0,05
Lã de vidro 50mm	Rugoso	0,052	0,41	35	700	0,7	0,7	0,7
Lã de vidro 90mm	Rugoso	0,03	1,75	35	700	0,7	0,7	0,7
Laje de concreto 1200mm	Médio rugoso	0,12	1,75	2200	1000	0,9	0,7	0,7
Madeira	Médio rugoso	0,02	0,05	608	1000	0,9	0,5	0,5
Membrana hidrófuga	Rígida	0,05	0,95	40	1400	0,45	0,7	0,7
Placa cimentícia	Meio Rugoso	0,01	0,95	2200	840	0,95	0,7	0,7
Placa de gesso acartonado branco 12,5mm	Liso	0,2	0,25	825	1000	0,96	0,2	0,2
Placa de XPS 25mm	Médio rugoso	0,03	0,04	38	1420	0,2	0,7	0,7
Placa de XPS 50mm	Médio rugoso	0,05	0,04	1000	1850	0,09	0,6	0,6
Placa de OSB 11mm	Médio rugoso	0,01	0,12	550	2300	0,82	0,7	0,7
Placa de OSB 18mm	Médio rugoso	0,02	0,12	550	2300	0,8	0,7	0,7
Subcobertura	Rugoso	0,04	0,04	1000	1000	0,05	0,7	0,7
Telha de cerâmica	Rugoso	0,03	1,05	2000	920	0,7	0,7	0,7
Telha <i>Shingle</i>	Rugoso	0,01	0,15	1121,3	1256	0,8	0,7	0,7
Tijolo cerâmico	Rugoso	0,03	0,9	2000	920	0,7	0,7	0,7

Fonte: Adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2005).

### 6.3 Metodologia de avaliação para determinação de eficiência térmica das diferentes técnicas construtivas

A metodologia de avaliação usada segue a apostila do LABEEE (LAMBERTS e DUARTE, 2016) e compara os indicadores de graus-hora de resfriamento (GHR) dos ambientes de permanência prolongada da UH com os níveis de eficiência. As condições para modelagem do sistema de ventilação natural são apresentadas na seção 7.

Para calcular a temperatura operativa horária, consideramos as condições do indicador de graus-hora segundo a seguinte equação:

$$T_o = A \cdot T_a + (1-A) \cdot T_r \quad (1)$$

onde  $T_o$  é temperatura operativa horária (°C);  $T_a$  é temperatura do ar no ambiente (°C);  $T_r$  é temperatura radiante média (°C);  $A$  é constante que varia com a velocidade do ar no ambiente ( $V_{ar}$ , em m/s), conforme segue:  $A = 0,5$  para  $V_{ar} \leq 0,2$  m/s;  $A = 0,6$  para  $0,2$  m/s <  $V_{ar} \leq 0,6$  m/s;  $A = 0,7$  para  $0,6$  m/s <  $V_{ar} \leq 1,0$  m/s. Na ausência de dados de velocidade do ar no ambiente deve ser considerado o coeficiente da velocidade do ar de  $A = 0,5$ .

A temperatura base para o cálculo dos graus-hora de resfriamento é de 26° C. Através da equação (2) calcula-se o indicador de graus-hora de resfriamento para a temperatura operativa horária para cada ambiente de permanência prolongada:

$$GH_R = \sum (T_o - 26) \quad (2)$$

onde GHR é indicador de graus-hora para resfriamento e  $T_o$  representa temperatura operativa horária.

## 7. RESULTADOS

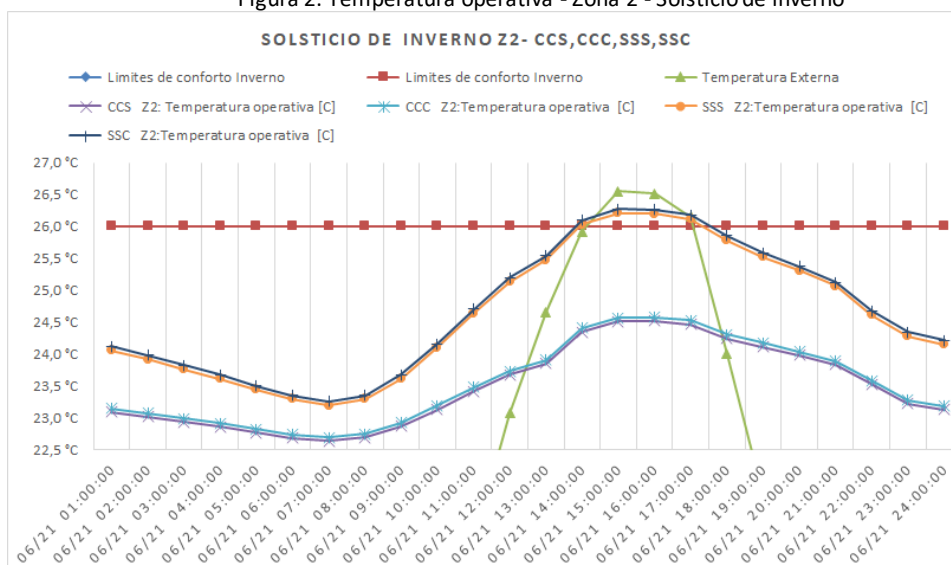
Como já mencionado anteriormente, a fim de se obter dados que pudessem ser analisados de forma mais eficiente, o projeto foi compartimentado em cinco Zonas (Figura 3). A Zona 2 e 3 foram as escolhidas para que a eficiência das técnicas construtivas pudesse ser aprofundada e analisada por se tratar de cômodos com uma permanência, usos diferenciados e de grande importância no cotidiano da maioria das famílias brasileiras. É importante lembrar que foram usadas composições padrões para cada técnica construtiva no Brasil (Tabela 2).

As Figuras 2 a 4 apresentam os valores de desempenho obtidos pelas duas composições de parede e as duas composições de telhado analisadas através do Energyplus. Estes valores representam a temperatura operativa da Zona 2 em Solstício de inverno, temperatura operativa na Zona 2 durante solstício de verão e o cálculo de graus hora em zona 2 durante o solstício de verão, para cada um dos modelos simulados (SSS, SSC, CCC e CCS).

Nas Figuras 2 e 3, observa-se que a temperatura operativa da Zona 2 com os sistemas construtivos secos SSS e SSC, para todos os cenários e dias referentes aos de solstício de inverno e verão, aumenta de 1,5° a 2,5° C em relação às técnicas construtivas úmidas. A Figura 5 apresenta a variação de Graus Hora de cada modelo simulado, comprovando que de fato a eficiência energética das paredes LSF são mais baixas.

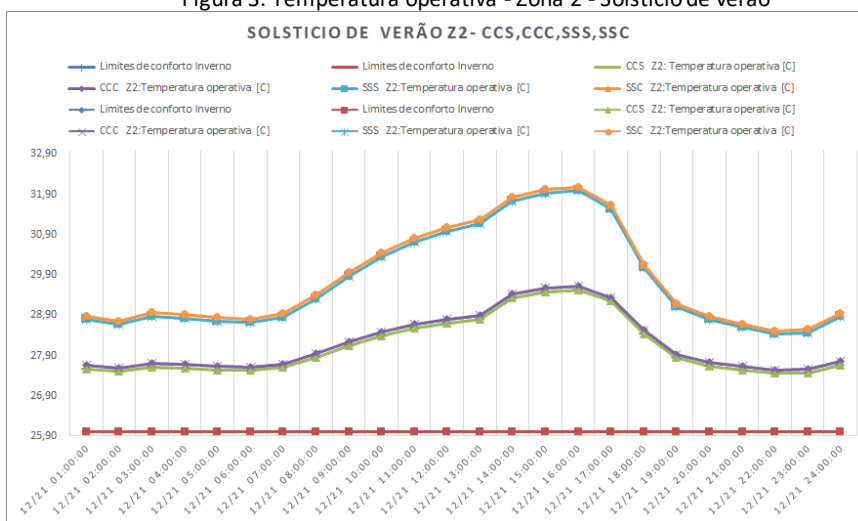
A partir dos resultados das Figuras 2 a 4, notou-se que os modelos que utilizam LSF na composição, SSS e SSC, quando comparadas com as paredes de alvenaria nas técnicas convencionais brasileiras, ficam em grande desvantagem na questão de eficiência térmica devido às condições climáticas de Campinas, pois apresentam maiores temperaturas internas ao longo do dia se comparado com as temperaturas internas resultantes das técnicas convencionais. Outros estudos apresentam o LSF como uma opção factível de especificação em um projeto no Brasil, como o estudo de Akutsu, Vittorino, Yoshimoto (2009) para a cidade de Gramado.

Figura 2: Temperatura operativa - Zona 2 - Solstício de inverno

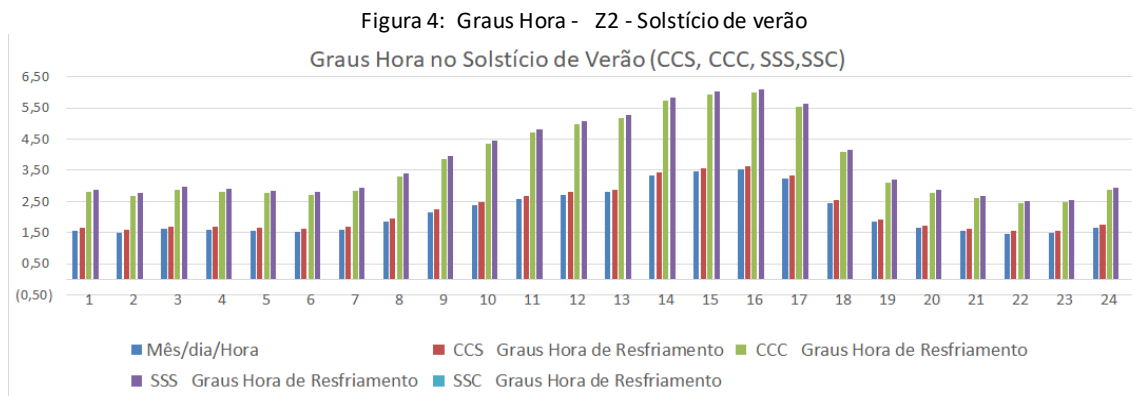


Fonte: Autoral - Dados extraídos do Energyplus

Figura 3: Temperatura operativa - Zona 2 - Solstício de verão



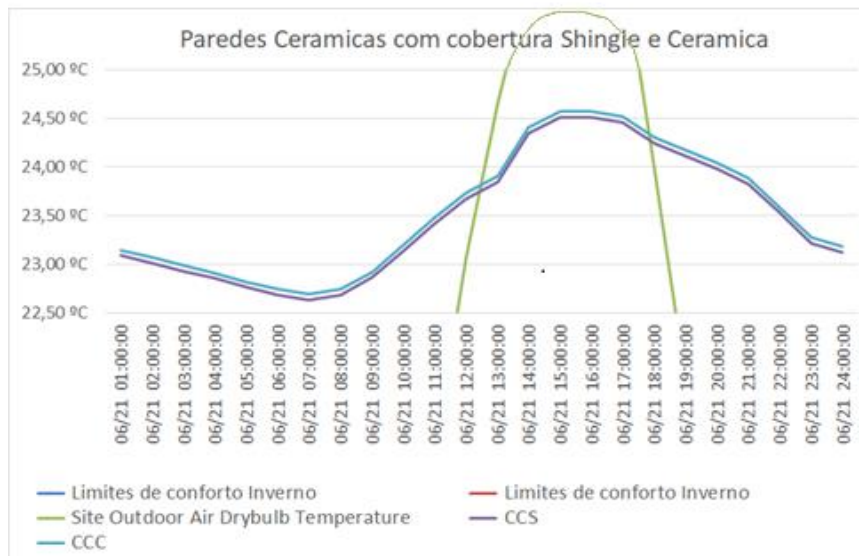
Fonte: Autoral - Dados extraídos do Energyplus



A inércia térmica exerce uma influência reguladora nas flutuações da temperatura, contribuindo com o conforto ambiental. A energia absorvida pela parede, aquece a superfície mais externa das paredes e depois sua massa. Posteriormente, o calor migra através da parede por condução, chegando à face interna depois de certo tempo, atua como defasador e amortecedor das ondas de calor exteriores. As paredes de alvenaria, nesse caso, retardam por várias horas a transmissão de calor. Isso nos leva a concluir que quando um material de alta condutividade térmica como o aço é colocado em paralelo com um material isolante, a maior parte da transferência de calor ocorre através do metal, por condução, caracterizando um efeito conhecido por ponte térmica através do perfil em aço, ou thermal bridge. A ponte térmica reduz a resistência térmica do painel e aumenta os gastos energéticos para aquecimento ou resfriamento do ambiente (CAETANO, 2017). Isso explica o fato da variação de temperatura entre o LSF e a parede cerâmica estar sendo tão diferente. O reboco térmico aplicado no exterior dos painéis, conhecido nos Estados Unidos como EIFS, poderia posteriormente ser avaliado como retardador das pontes térmicas. Trata-se de um sistema para reduzir os gastos com energia. Enquanto o LSF não teve um resultado de eficiência térmica bom, a telha *Shingle* não foi insuficiente.

O sistema construtivo *Shingle* foi capaz de reduzir a temperatura ambiente em alguns graus conforme mostra a Figura 5, que apresenta uma pequena vantagem de 0,2° comparada com a técnica construtiva convencional.

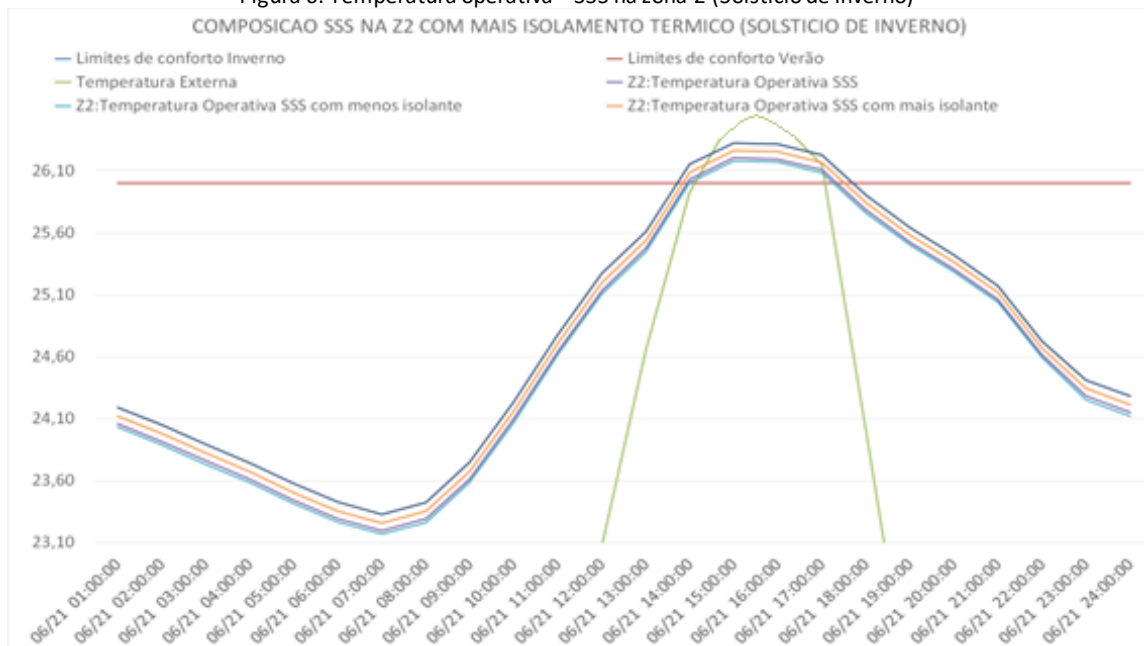
Figura 5: Graus Hora - Z2 - Solstício de verão



Fonte: Autoral- Dados extraídos do Energyplus

Assim, sugere-se que novas pesquisas busquem alternativas para composição de uma parede em LSF que procure alcançar melhor eficiência, visto que esta técnica construtiva é bem versátil e bem adaptável. Ela trabalha com a composição de camadas e dessa forma consegue ser adaptada para vários cenários climáticos, inclusive o de Campinas. Por ilustração, foram geradas mais 3 paredes em LSF para que se pudesse perceber qual seria o melhor caminho para alcançar a equiparidade energética com a alvenaria: um modelo sem isolamento térmico, um modelo com melhor isolamento térmico, e um terceiro com outra técnica com maior grau de isolamento, conforme a Figura 6.

Figura 6: Temperatura operativa - SSS na zona 2 (Solstício de Inverno)



Fonte: Autoral - Dados extraídos do Energyplus

## 8. CONCLUSÕES

Dentre as técnicas construtivas avaliadas, a que apresentou melhor resultado para ser aplicada no cenário climático de Campinas foi o Telhado com Telha *Shingle*. Ele se mostrou ainda mais eficiente que a telha cerâmica e por ser um sistema construtivo seco, permite ter sua eficiência térmica ainda mais potencializada. Infelizmente o *Light Steel Frame* nas condições estudadas não apresentou um desempenho bom e que estivesse dentro das normas. Contudo, por ser um sistema versátil, ele pode ser otimizado a fim de se obter uma configuração ideal de índice térmico. Ou seja, é prematuro descartar dessa técnica construtiva. Aconselha-se um estudo mais aprofundado das possíveis composições das paredes de *Light Steel Framing* para cenários climáticos como o de Campinas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais de desempenho térmico de edificações.** Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2013.

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.

AKUTSU, M. **Métodos para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil.** São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1998. (Tese de Doutorado).

AKUTSU, M. e VITTORINO, F. [1991]. **Proposta de Procedimentos para o Tratamento de Dados Climáticos.** In: I Encontro Nacional sobre Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações, Florianópolis.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio; YOSHIMOTO, Mitsuo. **Método expedito para avaliação do desempenho térmico de habitações.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Gramado. Anais. Gramado: ANTAC, 1995. p. 299-304.

CAETANO, Lucas Fonseca. **Análise da influência das pontes térmicas no desempenho térmico de edificações estruturadas em aço.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7972>

CHVATAL, K. M. S., LABAKI, L. C. e KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Estudo do Clima de Campinas: A dificuldade de caracterização e proposição de recomendações de projeto para climas compostos:** ANTAC, 2000.

ENERGYPLUS, A. 2015. Disponível em: <https://energyplus.net/downloads>>. Acesso em: 15 setembro 2018.

LAMBERTS, R.; C. P. DUARTE, V. **DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.** 7. ed. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MADRUGA, E. I. **Desempenho térmico: comparativo de edificações em light steel framing com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional.** Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Civil, UFRS, Porto Alegre, 2016.

PEREIRA, Caio, **Steel Frame: o que é, características, vantagens e desvantagens,** 14 de mar. de 2019. Site: Escola engenharia. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/steel-frame/>. Acesso em: 5 fev. 2023

PEREIRA JUNIOR, C. J. **Edifícios de Pequeno Porte Contraventados com perfis de Chapa Fina de Aço**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COOPE, Universidade Federal.

RIVERO A. R. O. - **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**, D.C. Luzzato Editores, 2ª ed. rev. e ampliada, Porto Alegre, RS, 1986.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

TAKUSHI, Roberta. **Comparativo orçamentário entre composições de paredes estruturais para obras de repetição nos sistemas construtivos convencionais e em light steel frame na cidade de porto alegre**. 2016 Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Civil - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2016.

TETHOS, Steel Frame Blog, 20 jul. 2023. Disponível em: <https://arquitetaemcuritiba.com.br/blog/steel-frame> Acesso em: 5 fev. 2023.

VITTORINO, Fúlvio. **Desempenho térmico e lumínico de edifícios habitacionais: discussão da proposta de normalização para habitações de até cinco pavimentos**. In: HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. Anais do seminário Habitação: desempenho e inovação tecnológica. São Paulo: IPT, 2005.

<https://cetesb.sp.gov.br/ar/boletim-diario/>