



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GEOVANNA MARIA ANDRADE DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CONSTRUÇÕES EM
WOOD FRAME NO SEMIÁRIDO DO RN**

CARAÚBAS

2019

GEOVANNA MARIA ANDRADE DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CONSTRUÇÕES EM
WOOD FRAME NO SEMIÁRIDO DO RN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Ms. Leonete Cristina de A. F. M.
Silva

CARAÚBAS

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

O46d Oliveira, Geovanna Maria Andrade de.
Desempenho térmico e eficiência energética de
construções em wood frame no semiárido do RN /
Geovanna Maria Andrade de Oliveira. - 2019.
55 f. : il.

Orientadora: Leonete Cristina de Araújo Ferreira
Medeiros Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Madeira. 2. Temperatura. 3. DomusEletrobrás.
I. Silva, Leonete Cristina de Araújo Ferreira
Medeiros, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GEOVANNA MARIA ANDRADE DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CONSTRUÇÕES EM
WOOD FRAME NO SEMIÁRIDO DO RN**

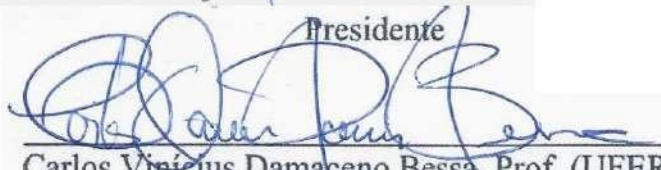
Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 20 / 03 / 2019.

BANCA EXAMINADORA


Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva, Prof. Ms. (UFERSA)

Presidente


Carlos Vinícius Damasceno Bessa, Prof. (UFERSA)

Membro Examinador


Anderson Nunes Silva
Membro Examinador

RESUMO

O Wood Frame é um método construtivo alternativo que aos poucos vem sendo disseminado no Brasil e usado nas construções de edificações habitacionais. Por este motivo, este estudo busca responder a seguinte pergunta: as construções em madeira no semiárido atendem as normas técnicas brasileira de desempenho térmico para construção civil? Buscando responder esse questionamento, o objetivo geral deste estudo é analisar a eficiência térmica e energética da madeira em construções de wood frame no semiárido. A hipótese desse estudo é que as construções em madeira no semiárido atendem aos critérios normativos de eficiência térmica. Deste modo, foi utilizado o software Domus – Eletrobrás para realizar simulações da temperatura interna de uma habitação de interesse social, localizada na cidade de Caraúbas/RN. A habitação possui uma área de 46,24m², foram considerados 4 habitantes e as análises partiram da comparação da performance desta edificação com sua alvenaria de vedação externa constituída por três materiais distintos: madeira, tijolo cerâmico e bloco de concreto. Além disso, através do programa Domus – Eletrobrás também foi possível obter o Selo de Economia de Energia desta edificação. Com base nos resultados desse estudo, foi possível perceber que a madeira apresentou um resultado satisfatório de desempenho térmico. Entretanto, em relação a eficiência energética a madeira não apresentou resultados tão satisfatórios quanto o bloco de concreto. Sendo assim, conclui-se que a madeira mostrou-se eficaz, porém, ainda inferior ao bloco de concreto em alguns aspectos. Estes resultados dão margem para um trabalho futuro no qual poderá ser analisado outras características do uso da madeira para construção de habitações residenciais.

Palavras-chave: Madeira. Temperatura. Domus - Eletrobrás.

ABSTRACT

Wood frame is an alternative technology for the construction of residential buildings that is slowly increasing in Brazil. For this reason, this study aims to answer the following question: does wood construction in the Semiarid region meet the Brazilian technical regulations for thermal performance for the construction sector? Seeking to answer this question, the main objective of this study is to analyse the thermal and energetic efficiency of wood frame construction in the Semiarid region. The hypothesis of this research is that wood frame constructions in the Semiarid region meet the thermal efficiency norms and regulations. This study used the software Domus – Eletrobras to perform simulations of indoors temperature in a residential building located in Caraubas/RN. The building consists of a 46,24m² area and 4 inhabitants were considered. The analyses considered the temperature performance of the building constructed by three different materials: wood, ceramic brick and concrete block. Additionally, it was also possible to achieve the PROCEL energy seal through the Domus – Eletrobras software. Based on the results of this research, it was possible to notice that the material wood presented a satisfactory thermal performance. However, in relation to the energetic efficiency, wood did not show suitable results as good as structures made of concrete blocks. Based on these results, it was noticed that wood proved to be an efficient material, but still inferior to concrete block in certain aspects. These results offer an opportunity for a future research, which can study different characteristics about the use of wood for the construction of residential buildings.

Keywords: Wood. Temperature. Domus - Eletrobrás.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção subterrânea (Pit house)	13
Figura 2 - Templo budista Horyu-ji.....	14
Figura 3 - Casa de madeira padrão norte americano	15
Figura 4 – Paisagem de Londrina em 1934	16
Figura 5 – Construções em wood frame desenvolvidas pela empresa Madezatti	17
Figura 6 - Condomínio Porto Primavera	18
Figura 7 - Residencial Vancouver	18
Figura 8 – Escola de Gestão Pública de Araucária.....	20
Figura 9 - Fundação em basement wall	21
Figura 10 - Fundação do tipo radier	22
Figura 11 – Barroteamento de piso e contrapiso de OSB	23
Figura 12 – Esquema da estrutura dos painéis da parede	24
Figura 13 - Instalação elétrica e hidráulica embutida na parede	25
Figura 14 - Estrutura do telhado com telhas shingle	26
Figura 15 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	30
Figura 16 – Zona bioclimática e estratégia de condicionamento térmico	32
Figura 17 - Planta baixa da HIS	34
Figura 18 - Modelo 3D da HIS	35
Figura 19 - Corte transversal na HIS	35
Figura 20 - Localização da HIS	36
Figura 21 - Janela adicionar um objeto	37
Figura 22 – Zona que representa a HIS	37
Figura 23 - Janela adicionar aberturas	38
Figura 24 - Zona com portas e janelas.....	38
Figura 25 - Editar propriedades de um objeto	39
Figura 26 - Configuração dos parâmetros gerais.....	40
Figura 27 - Configuração dos parâmetros das zonas	40
Figura 28 - Configuração dos dados de saída.....	41
Figura 29 – Resultados da simulação	41
Figura 30 - Configuração do RTQ-C.....	42
Figura 31 - Selo Procel de Economia de Energia.....	42

Figura 32 - Caminho do sol e posição da sombra.....	45
Figura 33 - Selo Procel da madeira, tijolo cerâmico e bloco de concreto, respectivamente	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperaturas médias no mês de janeiro	46
Gráfico 2 - Temperaturas médias no mês de maio	46
Gráfico 3 - Temperaturas médias do mês de setembro	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos e exigências dos usuários	27
Quadro 2 - Transmitância térmica de paredes externas.....	28
Quadro 3 - Capacidade térmica de paredes externas.....	29
Quadro 4 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar	29
Quadro 5 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.....	30
Quadro 6 - Parâmetros dos materiais.....	33
Quadro 7 - Resultados da análise de transmitância térmica	43
Quadro 8 - Resultado da análise da área mínima de ventilação	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Wood frame	13
2.1.1 Madeira como material de construção.....	13
2.1.2 Wood frame no Brasil.....	16
2.1.3 Wood frame para habitação de interesse social.....	19
2.1.4 Sistema construtivo	20
2.1.4.1 Fundação.....	21
2.1.4.2 Pisos.....	22
2.1.4.3 Paredes.....	23
2.1.4.4 Sistema elétrico e hidráulico.....	24
2.1.4.5 Revestimento	25
2.1.4.6 Telhado	25
2.1.5 Diretrizes de projeto	26
2.2 Requisitos de desempenho das edificações	27
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 Materiais	33
3.2 Procedimentos de análise.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 Método Simplificado	43
4.2 Análise da Temperatura Interna na HIS	45
4.3 Selo Procel de Economia de Energia.....	48
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O wood frame é uma tecnologia alternativa para construção de edificações habitacionais que aos poucos vem sendo disseminada no Brasil. Geralmente, essas construções são associadas à construções renováveis, pois fazem uso de madeira replantada, é um tipo de construção seca, logo, não exige um consumo elevado de água.

No Brasil, ainda não existe uma norma específica para o método construtivo wood frame. Portanto, o desempenho das edificações construídas em wood frame é avaliado seguindo os critérios e requisitos da NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho.

Além disso, esse método construtivo é pouco conhecido na região do semiárido potiguar, onde prevalece o uso do tijolo cerâmico como material para as vedações internas e externas. Logo, outra forma de medir o nível de desempenho de construções em madeira no semiárido do RN, seria comparar o comportamento da madeira como material de vedação com o tijolo cerâmico.

Entretanto, é preciso analisar se essas construções em wood frame atendem aos critérios exigidos pelas normas brasileiras, não apenas no aspecto construtivo, mas também do conforto do usuário da edificação. Por este motivo, este estudo busca responder a seguinte pergunta: as construções em madeira no semiárido atendem as normas técnicas brasileira de desempenho térmico para construção civil?

Buscando responder esse questionamento, o objetivo geral deste estudo é analisar a eficiência térmica e energética da madeira em construções de wood frame no semiárido.

A hipótese desse estudo é que as construções em madeira no semiárido atendem aos critérios normativos de eficiência térmica.

Para analisar a hipótese estabelecida, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Averiguar se as construções em madeira atendem a norma de desempenho térmico, além dos requisitos exigidos para o material;
- Comparar o desempenho térmico e a eficiência energética de construções em madeira, tijolo cerâmico e bloco de concreto.

A escolha por esse tema deu-se devido ao fato da madeira já ser um material utilizado na construção civil, porém é incomum nessa região encontrar casas construídas totalmente de madeira.

A partir dos resultados deste estudo, será possível averiguar se as construções com madeira do semiárido atendem as normas de desempenho térmico. Além disso, será possível

comparar a performance desse material com construções de alvenaria convencional com tijolo cerâmico e bloco de concreto.

Esta pesquisa está estruturada em cinco seções, além desta introdução. A segunda seção intitulada referencial teórico aborda a utilização de estruturas de madeira no Brasil como habitação de interesse social e os requisitos de desempenho térmico exigidos pelas normas. A seção metodologia apresenta os procedimentos metodológicos adotados neste estudo. A seção resultados e discussão trata dos resultados obtidos nesta pesquisa. Por fim, a seção considerações finais discute sobre os resultados obtidos e os achados pertinentes ao tema estudado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Wood frame

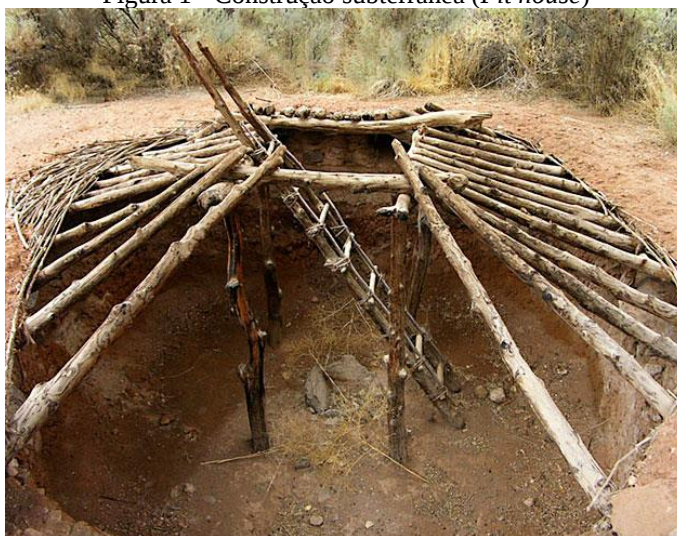
Esta parte da pesquisa trata das informações sobre a utilização da madeira em estruturas de wood frame. Será apresentado um apanhado histórico sobre a madeira como material de construção e o uso do wood frame no Brasil, incluindo seu emprego para habitação de interesse social e seus aspectos construtivos.

2.1.1 Madeira como material de construção

Desde o aparecimento do homem, a técnica e a arte de trabalhar com madeira tem evoluído, iniciando num processo manual e primitivo, até chegar na vasta e engenhosa indústria moderna. A madeira sempre esteve ao alcance do homem e foi um dos primeiros materiais a ser utilizado para defesa, aquecimento, preparação de alimentos, formas de habitação e embarcações (LOURENÇO; BRANCO, 2013).

Em relação ao uso da madeira para habitação, o modelo mais antigo que há conhecimento são as construções subterrâneas denominadas de *pit house*. Esse tipo de construção consistia em escavações abaixo do nível do terreno afim de moldar as paredes que sustentavam os troncos de madeira dispostos perpendicularmente para formar o telhado, deixando no centro um espaço aberto para colocar a escada de acesso ao interior, ver figura 1 (MACKIE, 2001).

Figura 1 - Construção subterrânea (*Pit house*)



Fonte: Earth Homes Now (2015).

Com o passar do tempo, algumas civilizações aperfeiçoaram suas técnicas construtivas e surgiram grandes e belas construções em madeira, como pode ser destacado na arquitetura japonesa o templo budista Horyu-ji (Figura 2), construído no ano de 607 (ARAÚJO, 2012).

Figura 2 - Templo budista Horyu-ji



Fonte: UNESCO, 2007.

Até os dias de hoje, o uso da madeira como material de construção apresenta uma variedade de vantagens, como sua elevada resistência, durabilidade, isolamento térmico, acústico e elétrico. Além disso, apresenta também uma estética agradável e ainda é um material ambientalmente sustentável. Por estes motivos, Marques (2008) afirma que construções em madeira contabilizam cerca de 90% da construção habitacional em países como Noruega, Suécia, Canadá e Austrália.

Vilela (2013) relata que as construções de madeira podem ser também muito duráveis. Como exemplo, em 2005 cerca de 17% das habitações norte-americanas feitas de madeiras tinham mais de 75 anos de idade, podendo ser encontrados exemplares com idade superior a um século.

Figura 3 - Casa de madeira padrão norte americano



Fonte: Misura, 2002.

Como dito por Araújo (2012), os primeiros relatos de construções em madeira no Brasil são de malocas indígenas. E, devido a diversidade de materiais, a arquitetura evoluiu voltada para utilização do aço e do concreto, deixando para a madeira uma cultura preconceituosa que remete suas construções a população de baixa renda.

Mesmo que de maneira bastante tímida, a madeira ainda é um material encontrado nas obras brasileiras, podendo ser empregada temporariamente na construção de formas para concreto, andaimes e escoramentos. Também está presente de maneira definitiva, com o uso em esquadrias, cobertura, forros e pisos (ZENID, 2009).

Marques (2008) ressalta que ao contrário do que se possa pensar, a madeira é um material que apresenta uma boa resistência ao fogo, pois diferente do aço e do concreto, sua combustão é lenta e as propriedades da zona não ardida permanecem praticamente inalteradas. Além disso, seu uso proporciona uma racionalidade ecológica devido ao seu melhor desempenho em relação aos gastos energéticos, emissão de gases e produção de resíduos sólidos.

Berriel (2011) acredita que por ser renovável, a madeira é um material bastante promissor para o século XXI, porém seu uso não garante projetos mais sustentáveis. Para ser dado um passo em direção ao desenvolvimento sustentável, o autor acredita que devem ser consideradas questões como a espécie da madeira, sua produção e os impactos causados pelo transporte.

2.1.2 Wood frame no Brasil

Historicamente, o método construtivo wood frame chegou ao Brasil no final do século XIX por meio de imigrantes alemães e foi difundido na região de Blumenau e Santa Catarina (LEITE; LAHR, 2016). A tecnologia era bastante diferente do que pode ser visto hoje, pois eram basicamente habitações que empregavam a madeira e o método construtivo mais acessível para cada região.

As regiões sul e sudeste fizeram bastante uso da madeira para suas construções habitacionais, utilizando como matéria prima o Pinho do Paraná, que era abundante. A falta de conhecimento sobre o método construtivo aliado ao uso inadequado da madeira, fez surgir um preconceito com o uso desse material. O desconhecimento foi tanto que, em 1905 o governo de Curitiba proibiu a construção de casas de madeira nas ruas principais, sendo mantida a proibição por meio do Código de Postura de Obras publicado em 1933 (LAROCA, 2002).

Em 1951, o mesmo aconteceu em Londrina, com a implantação do Código de Obras que proibia a construção de casas de madeira na região central, embora naquele momento a área já estivesse povoada com diversas habitações. Zani (2013) acredita que o objetivo de tais proibições era impedir o uso da madeira, uma vez que esse foi o período da consolidação do concreto como material de construção, representando o progresso da arquitetura brasileira, alcançando seu auge em 1960 com a construção de Brasília.

Figura 4 – Paisagem de Londrina em 1934



Fonte: Zani, 2013.

Na mesma época, década de 1960, a extensiva exploração de madeira nativa nas regiões do Paraná e Santa Catarina se viu insustentável, causando preocupação com a futura escassez

de recursos. Na tentativa de reverter a situação e controlar o desmatamento, em 1965 foi implantado o 2º Código Florestal, que não foi capaz de conter a crise que vinha sendo prevista e foi concretizada na década seguinte (SILVA, 2010).

Alguns autores acreditam que o ápice da decadência das construções de madeira foi alcançado em 1970, pois com o cenário de esgotamento dos recursos florestais, a matéria-prima passou a ser buscada em regiões cada vez mais distantes, o que consequentemente proporcionou o aumento dos preços da madeira e seu desuso (SHIGUE, 2018).

Já Espíndola (2017) relata que na década de 1970, empresas do ramo da construção de habitações em madeira intensificaram ainda mais sua produção devido ao desenvolvimento do país. Exemplo disso é a empresa Madezatti que durante as décadas de 70 e 80 foi responsável pela construção de vilas para operários e canteiros de obras de hidrelétricas, como a de Itaipú/PR e Porto Primavera/SP.

Figura 5 – Construções em wood frame desenvolvidas pela empresa Madezatti



Fonte: Madezzati, 2016.

Chegando ao século XXI fica mais perceptível a extinção da madeira como matéria-prima principal na construção de residência, sendo substituída pela forte cultura do uso do concreto. Porém, algumas empresas ainda chegaram a investir nesse tipo de construção, fazendo o uso do wood frame já de forma mais racional e estruturado.

Exemplo disso é a empresa Malacon, que em 2001 construiu o condomínio Porto Primavera, em Curitiba. O empreendimento conta com oito apartamentos de 50m² cada, divididos em 2 dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço e custou cerca de R\$ 250/m² (TÉCHNE, 2009).

Figura 6 - Condomínio Porto Primavera



Fonte: Técnica, 2009.

Ainda no ano de 2001, o engenheiro Carlos Alves e o construtor americano Alfred Lee Edgar utilizaram o sistema de wood frame para construir uma residência de 2 pavimentos na cidade de Viamão, no Rio Grande do Sul (MOLINA; CALIL JR, 2010).

Somente no ano de 2016 foi que o Brasil passou por mais um marco na história da construção civil no que diz respeito a construção sustentável em wood frame. Dessa vez, trata-se do Residencial Vancouver, um prédio de 3 pavimentos e 12 apartamentos, construído na cidade de Araucária/PR, por meio da parceria entre a Tecverde e a CRM Construtora. O empreendimento conta com duas torres de edifícios erguidas em 64 horas, com jornada de trabalho de 8 horas diárias e faz parte do programa de financiamento habitacional Minha Casa Minha Vida (FERREIRA, 2016).

Figura 7 - Residencial Vancouver



Fonte: Tecverde, 2015.

2.1.3 Wood frame para habitação de interesse social

Para Abiko (1995), habitação popular é um termo genérico que define uma solução de moradia adotada pela população de baixa renda, que não pode ser simplesmente um produto, mas também um complexo processo de produção que envolve determinantes políticos, sociais, ecológicos, econômicos e tecnológicos.

No Brasil, desde 1946 com a criação da Fundação Casa Popular, existem políticas de incentivo a aquisição do primeiro imóvel para famílias de baixa renda. Porém, devido as dificuldades de financiamento e ao preconceito com as casas de madeira, as mesmas não eram inclusas nos programas sociais. Um exemplo disso é o programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), que foi criado em 2008, gerenciado pela Caixa Econômica Federal (CEF) que manteve sua postura conservadora frente ao financiamento até meados de 2012 (OLIVEIRA, 2015).

Visando mudar esse cenário, em 2009, um grupo de empresários e engenheiros brasileiros montaram uma comitiva para visitar fábricas na Alemanha e compreender melhor o processo de produção industrializada do sistema wood frame. Assim surgiu uma parceria entre Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná (SENAI-PR) e o Ministério das Finanças e da Economia do estado alemão Baden-Wurttemberg (TÉCHNE, 2009).

Essa parceria e o interesse do grupo em implantar o sistema construtivo de madeira no Brasil resultou na criação da Comissão Casa Inteligente, que tem o objetivo de definir as diretrizes de desempenho para o sistema construtivo em wood frame. A iniciativa foi apoiada também pela instituição do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), que defendia que a criação das diretrizes e comprovações técnicas do sistema de wood frame possibilitaria que os mesmos fossem financiados por agentes como Caixa Econômica Federal e participassem dos programas habitacionais vigentes (ESPÍNDOLA; INO, 2014).

Ainda segundo as autoras Espíndola e Ino (2014), essa metodologia foi seguida e em 2011 foi aprovada a Diretriz SINAT nº 005 intitulada “Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamento em chapas delgadas – Sistemas leve tipo Ligth Wood Framing”. Com isso, em 2012, a CEF aprovou por meio do programa MCMV, o financiamento do primeiro conjunto habitacional em wood frame – o residencial Haragano, construído na cidade de Pelotas, Rio Grande do Sul.

Cardoso (2015) considera que outro grande passo dado para implantação do wood frame no Brasil foi a obtenção do documento de avaliação técnica (DATec) nº 20 intitulado “ Sistema Construtivo TECVERDE: sistema leve em madeira”, concedido a empresa Tecverde, após a

aprovação dos resultados obtidos em vários ensaios de desempenho realizados em instituições técnicas ligadas ao SINAT.

Após a construção do residencial Haragano pela construtora Roberto Ferreira, outras empresas também tomaram a iniciativa em investir nas construções em madeira leve. Um exemplo disso é a empresa Tecverde, que além do prédio Vancouver, já citado anteriormente, também é responsável pela construção dos residenciais Terra Nova e Santa Maria, aplicando o sistema construtivo wood frame.

A cidade de Araucária destacou-se ao receber novamente uma obra em wood frame, dessa vez trata-se de uma Escola de Gestão Pública, a obra foi realizada pela construtora Kurten, conta com 445m² e foi feita em apenas 70 dias.

Figura 8 – Escola de Gestão Pública de Araucária



Fonte: Grupo Kurten, 2014.

2.1.4 Sistema construtivo

O wood frame é um sistema construtivo associado ao conceito de construção leve e limpa e que exige um projeto adequado para seus elementos pré fabricados. A viabilidade desse tipo de projeto está diretamente ligada ao tempo de execução, redução de desperdício e a qualidade do produto final (GARCIA *et al*, 2014).

Vale ressaltar que a matéria-prima principal para as construções em wood frame é a madeira, único material de construção renovável, reciclável e biodegradável, que neste caso deve ser proveniente de áreas plantadas com selo de certificação (ZAPARTE, 2014).

As etapas construtivas para montagem de uma edificação em wood frame divide-se em: fundação, pisos, paredes, sistema elétrico e hidráulico, revestimento e telhado, descritas nos itens a seguir.

2.1.4.1 Fundação

Segundo Zaparte (2014), o sistema wood frame pode ser construído sobre qualquer tipo de fundação por ser uma estrutura mais leve e estável do que as de alvenaria, pois as cargas são distribuídas uniformemente em todas as paredes e não em pontos concentrados, tornando a estrutura hiperestática. Porém, são empregados basicamente dois tipos de fundações, o *basement wall* e o radier.

Basement wall são compartimentos de no mínimo 60cm formados abaixo do nível do solo. Essa estrutura de parede subterrânea pode ser feita tanto de madeira quanto de concreto e além de suportar as cargas da edificação serve também para garantir o conforto térmico, pois torna a casa isolada termicamente e afastada da umidade do solo (MOLINA; CALIL JR, 2010).

Figura 9 - Fundação em *basement wall*



Fonte: Basement systems, 2014.

Já o radier consiste numa placa de concreto armado executada diretamente sobre o solo, sendo que sua superfície lisa e nivelada pode servir de contrapiso para o pavimento térreo. Neste caso, deve-se atentar para as instalações da residência, pois os componentes elétricos e hidráulicos que passarem pelo solo devem ser instalados antes da concretagem da fundação (BOTELHO, 2010).

Figura 10 - Fundação do tipo radier



Fonte: Tecverde, 2015.

2.1.4.2 Pisos

De acordo com Sacco e Stamato (2008), no piso do pavimento térreo podem ser empregadas as técnicas tradicionais da alvenaria, nos demais pavimentos é usado barrote de madeira com *deck* de OSB (*Oriented Strand Broad*).

Esse barroteamento de madeira consiste em placas de OSB assentadas sobre vigas com seção retangular ou em I, sendo essa última a opção mais interessante, pois proporcionam pisos mais leves e eficientes, capazes de resistir aos esforços de flexão decorrentes das ações do peso próprio e cargas acidentais. Além disso, essas placas OSB funcionam como contrapiso, logo, nas áreas molhadas é necessário aplicar sobre elas chapas cimentíceas com acabamento impermeabilizante feito por uma pintura do tipo membrana acrílica impermeável (MOLINA; CALIL JR, 2010).

Figura 11 – Barroteamento de piso e contrapiso de OSB



Fonte: Sacco e Stamato, 2008.

Nas áreas molhadas também deve-se ter cuidado com as juntas entre as placas e os cantos das paredes e ralos, para evitar futuros problemas é necessário aplicar uma tela de poliéster ou fibra de vidro estruturante. Em áreas muito expostas a água, como o boxe do chuveiro, também é recomendado impermeabilizar com selador acrílico antifungo (SACCO; STAMATO, 2008).

2.1.4.3 Paredes

O sistema é composto por paredes portantes que servem de suporte para o primeiro piso. A regra é que o piso trava os apoios e faz o contraventamento horizontal da estrutura, tornando-se apto a receber mais paredes portantes. Dessa forma, pode seguir aplicando o sistema piso parede até chegar ao telhado, resultando num prédio de até 4 pavimentos sem mudanças significativas na sequência descrita (SACCO; STAMATO, 2008).

As paredes são compostas por perfis de madeira espaçados entre si de 40 a 60cm, que trabalham junto com os painéis de OSB, recebendo e resistindo as cargas verticais e perpendiculares, então transmite-as para a fundação (ZAPARTE, 2014).

Figura 12 – Esquema da estrutura dos painéis da parede



Fonte: Ferreira, 2013.

As ligações entre os elementos estruturais dos painéis são feitas com pregos galvanizados, uma vez que estes elementos precisam ter uma vida útil longa. Vale ressaltar que devido o sistema wood frame fazer o uso de madeira macia, é necessário que os pregos utilizados sejam do tipo ardox ou anelados, para dificultar a extração (MOLINA; CALIL JR, 2010).

2.1.4.4 Sistema elétrico e hidráulico

Segundo Molina e Calil Jr. (2010), as instalações elétricas e hidráulicas do sistema wood frame podem ser executadas da mesma forma que na alvenaria convencional. Neste caso ainda há um ponto positivo no quesito das instalações, pois os elementos da rede elétrica e hidráulica podem ser embutidos nos montantes, o que oferece mais agilidade na execução e para futuros reparos.

A Tecverde, construtora que trabalha com o sistema wood frame no Brasil, insere os elementos das redes elétrica e hidráulica ainda na fábrica, permitindo maior controle de qualidade do sistema por meio de testes de estanqueidade e pressão de ar. Já com os tubos de esgoto não é possível fazer os mesmos, pois essa tubulação tem um diâmetro maior, sendo necessário o uso de shafts (TECVERDE, 2019).

Figura 13 - Instalação elétrica e hidráulica embutida na parede



Fonte: Tecverde, 2015.

2.1.4.5 Revestimento

O revestimento pode ser aplicado tanto das paredes externas quanto nas internas. As paredes externas, por exemplo, podem ser revestidas com vários sistemas, *sidings* de madeira, aço ou PVC, desenvolvidos especificamente para serem empregados no sistema de wood frame. Mas também podem ser usados tijolos aparentes ou placas cimentíceas, que dão um acabamento similar ao de alvenaria (SACCO; STAMATO, 2008).

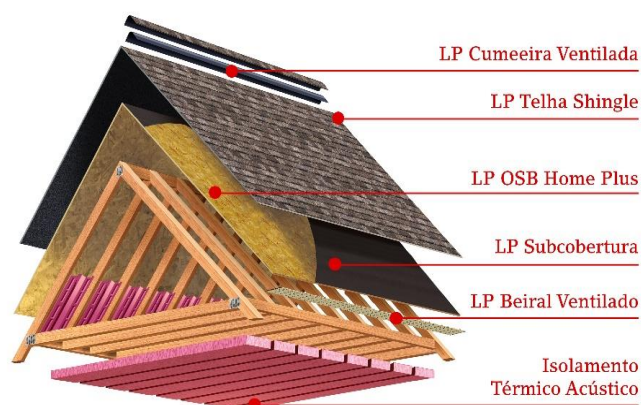
Já para o revestimento interno o acabamento mais utilizado são as placas de gesso acartonado, mais conhecido como *dry-wall*. O uso das placas de gesso traz diversas vantagens, dentre elas a rapidez e baixo custo de instalação, conforto térmico e acústico (CMHC, 2014).

2.1.4.6 Telhado

De acordo com Sacco e Stamato (2008), para preparar o teto sobre as paredes portantes do último piso são utilizadas treliças pré-industrializadas, seu espaçamento é feito a cada 60cm ou 120cm, depende do tipo de telha que será usado.

Molina e Calil Jr. (2010) acreditam que a partir do uso dessas treliças industrializadas é possível reduzir o peso da cobertura em até 40%, pois os elementos que a compõe tem uma dimensão pequena (3cm X 7cm). Os autores ainda explicam que nem sempre o banzo inferior da treliça é o ponto de referência para aplicação do forro, como por exemplo, as telhas do tipo *shingle* que precisam de um *deck* de OSB para servir de base sobre as treliças. Nos casos das telhas cerâmicas, são aplicadas ripas diretamente sobre as treliças, tomando o cuidado de usar uma manta antes do ripamento para garantir a estanqueidade.

Figura 14 - Estrutura do telhado com telhas *shingle*



Fonte: Tecverde, 2015.

2.1.5 Diretrizes de projeto

No Brasil, ainda não existe uma norma específica para o método construtivo wood frame. Para suprir essa necessidade, em 2014 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) reuniu um conjunto de especialistas para criar uma documentação de referência, dando início ao projeto de norma ABNT CE - 02:126.011 – Comissão de Estudo de Sistemas Construtivos Wood Frame.

De acordo com a ABNT (2018), a norma terá como objetivo regulamentar os setores produtivos, permitindo o controle da variedade, eliminação de barreiras técnicas e comerciais, além de ser usada como referência nos processos de certificação e informação técnica. Enquanto a mesma não entra em vigor, as construções em madeira devem seguir atendendo às demais diretrizes vigentes para monitorar a qualidade dos materiais, processos e produto final.

Como por exemplo, Espíndola (2010) sugere que as construções em wood frame façam uso da madeira de floresta plantada disponível em cada região para promover o desenvolvimento regional do setor. Mas, deve-se considerar se essas madeiras locais atendem às classes de resistência impostas pela NBR 7190, as quais são de C20 a C30 para coníferas e de C20 a C60 para dicotiledôneas.

Entretanto, Ferreira (2018) analisou quatro espécies de madeira natural da caatinga: angico, jurema-preta, mororó e pereiro. O autor usou como critério de seleção espécies que possuem o uso conhecido na construção civil, mesmo assim, chegou à conclusão que estas não atendem as classes de resistências da NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira.

Ainda segundo o autor, os usos dessas espécies de acordo com as características físicas de resistência e rigidez determinadas nos ensaios, para alcançar um melhor aproveitamento da árvore, devem ser realizados em peças roliças. As indicações são:

- Angico, jurema-preta e pereiro - construção civil leve como moirões, pontaletes, andaimes, vigas, caibros, ripas, lambris, painéis, molduras, perfilados, guarnições, rodapés, alçapões, portas, folha de porta, venezianas, caixilhos, batentes, janelas e sarrafos;
- Mororó - construção civil leve como pontaletes, caibros, ripas, sarrafos.

Outra norma que deve ser atendida pelas construções em madeira é a NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho, que aborda quais os critérios e requisitos de desempenho devem ter os sistemas que compõem uma edificação habitacional para atender as exigências dos usuários apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Requisitos e exigências dos usuários

Segurança	Habitabilidade	Sustentabilidade
Estrutural Contra Fogo Uso e operação	Estanqueidade Conforto higrotérmico Conforto acústico Conforto lumínico Saúde, higiene e qualidade do ar Funcionalidade e acessibilidade Conforto tátil e antropodinâmico	Durabilidade Manutenabilidade Impacto ambiental

Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013.

Conforme resultados de Ferreira (2018), percebe-se que as madeiras do semiárido não são eficientes para compor estruturas de wood frame para habitações residenciais. Todavia é válido verificar se as estruturas de madeira apresentam eficiência térmica e energética nas edificações do nordeste.

2.2 Requisitos de desempenho das edificações

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define desempenho como um conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base nas exigências dos usuários, independente da sua forma ou dos materiais constituintes.

Ainda segundo a norma, requisitos de desempenho é definido como as condições que expressam qualitativamente os atributos que uma edificação habitacional e seus sistemas devem possuir para satisfazer as exigências dos usuários. Já os critérios são as especificações

quantitativas dos requisitos, expresso em termos mensuráveis para que possam ser objetivamente determinados.

No geral, a NBR 15575(ABNT, 2013) é um indicador de confiabilidade e veio para estabelecer as exigências de desempenho e durabilidade para cada sistema que compõem uma edificação: estrutura, vedações, pisos, instalações e cobertura. A norma é composta pelas seguintes seis partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE;
- Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura;
- Parte 6: Sistemas hidrossanitários.

A Parte 4 da norma traz os critérios de adequação da vedação externa e permite que estes sejam avaliados, primeiramente, de acordo com o método de análise simplificado. Os critérios do método simplificado são expressos em valores máximos admissíveis de transmitância térmica, valores mínimos admissíveis de capacidade térmica e área mínima de ventilação. Os valores máximos admissíveis de transmitância térmica (U) nas paredes externas são apresentados a seguir no Quadro 2.

Quadro 2 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
α^a é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede		

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013.

O quadro 3 apresenta os valores mínimos admissíveis de capacidade térmica (CT). Vale ressaltar que a norma orienta que, para determinar a capacidade térmica de paredes compostas de materiais isolantes térmicos com condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/m.K e resistência térmica maior que 0,5m².K/W, devem ser desprezados os materiais posicionados entre a camada isolante e o meio ambiente externo.

Quadro 3 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ/m².K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigências	≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013.

Os valores mínimos das aberturas para ventilação (A) estão representados no Quadro 4 e os mesmos devem ser determinado de acordo com a seguinte equação:

$$A = 100 \cdot (A_A / A_P) (\%) \quad \text{Eq.1}$$

onde:

- A_A é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, não sendo computadas as áreas de portas internas;
- A_P é a área de piso do ambiente.

Quadro 4 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

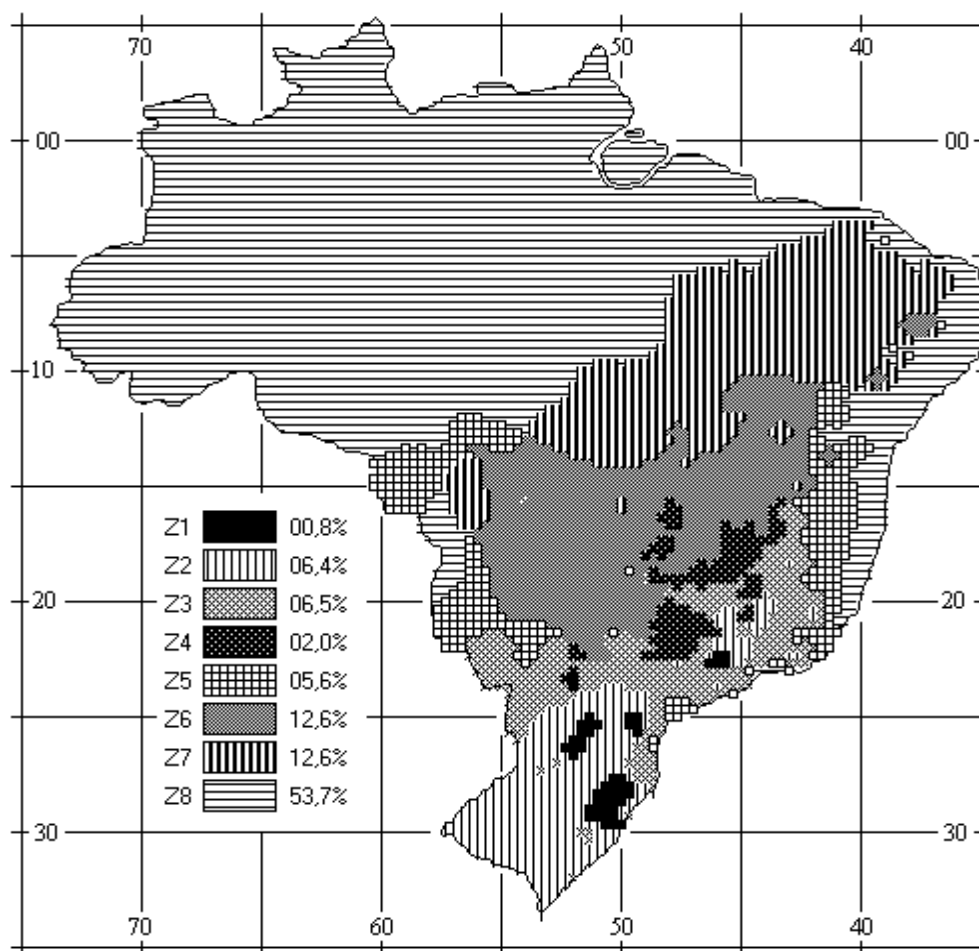
Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL $A \geq 8\%$ da área de piso REGIÃO NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL
Nota: nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013.

Todos os critérios citados anteriormente são relacionados ao desempenho térmico da edificação, portanto, se os materiais da edificação objeto deste estudo atender a estes critérios, pode-se considerar que as exigências de habitabilidade dos usuários (Quadro 1) serão satisfeitas. Caso a transmitância térmica e a capacidade térmica resultem em valores insatisfatórios, será necessário realizar os procedimentos de análise conforme Parte 1 da norma ou aplicando medições de campo.

A NBR 15520 - Desempenho térmico de edificações, em sua parte 3 trata do zoneamento bioclimático brasileiro e apresenta diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. A figura 15 a seguir apresenta as zonas bioclimáticas brasileiras.

Figura 15 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15520-4, 2003.

O quadro 5 a seguir apresenta estratégias que podem ser usadas em cada zona bioclimática para melhorar o desempenho térmico das edificações, determinadas pela NBR 15520-3 (ABNT, 2003).

Quadro 5 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.

F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: ABNT NBR 15520-4, 2003.

A norma ainda traz, em seu anexo A, uma relação de 330 cidades cujos seus climas foram classificados. O anexo A apresenta a zona bioclimática dessas cidades e as estratégias recomendadas.

A cidade de Caraúbas, onde localiza-se a habitação objeto deste estudo, não está entre as 330 cidades citadas pela norma. Logo, sua zona bioclimática e estratégias serão baseadas nas medidas adotadas para cidade de Apodi, localizada a 38,6 km de Caraúbas e citada na norma.

Portanto, a figura 16 apresenta a zona bioclimática e as estratégias de condicionamento térmico determinadas pela norma para a cidade de Apodi e que serão adotadas para cidade de Caraúbas e para edificação estudada.

Figura 16 – Zona bioclimática e estratégia de condicionamento térmico

RN	Apodí	FIJK	8
RN	Ceará Mirim	FIJ	8
RN	Cruzeta	FHIJK	7
RN	Florania	FHIJ	7
RN	Macaíba	FIJ	8
RN	Macau	FIJ	8
RN	Mossoró	FHIJK	7
RN	Natal	FIJ	8
RN	Nova Cruz	FIJ	8

Fonte: ABNT NBR 15520-4, 2003.

A partir dessas informações pode-se concluir que a habitação estudada está inserida na zona bioclimática 8 e que devem ser utilizadas as estratégias F, I, J e K (apresentadas no Quadro 5) para melhorar seu desempenho térmico.

3 METODOLOGIA

Após a elaboração do referencial teórico, no qual foi estudada as características do wood frame, seu desenvolvimento no Brasil e algumas exigências normativas de desempenho das edificações habitacionais, tornou-se possível a delimitação dos materiais e procedimentos adotados neste estudo.

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos três materiais diferentes para compor a vedação do projeto: madeira, tijolo cerâmico e bloco de concreto. O critério de seleção consistiu em usar o tijolo cerâmico por ser o material mais utilizado na região para alvenaria de vedação, o bloco de concreto por ser um material bastante denso, característica que pode influenciar diretamente na temperatura do ambiente e comparar seus resultados com o principal material objeto desse estudo, a madeira.

O quadro 6 apresenta os parâmetros de transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absorvância externa (α^a) para os três materiais utilizados neste estudo, obtidos no programa utilizado nas análises.

Quadro 6 - Parâmetros dos materiais

Material	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α^a
Madeira	3,07	22,59	0,40
Tijolo cerâmico	2,75	59,20	0,50
Bloco de concreto	1,85	244,20	0,73

Fonte: Domus - Eletrobrás, 2019.

Para descobrir se as propriedades dos materiais estão em conformidade com os valores definidos pela norma para a zona bioclimática 8, primeiro deve-se verificar o valor da absorvância externa, pois se α^a for menor ou igual a 6 a transmitância térmica não pode ser maior que 3,7 W/m²K. Se α^a for maior que 6, a transmitância térmica terá valor máximo de 2,5 W/m²K. Já para capacitância térmica na zona 8, a norma não apresenta nenhuma exigência.

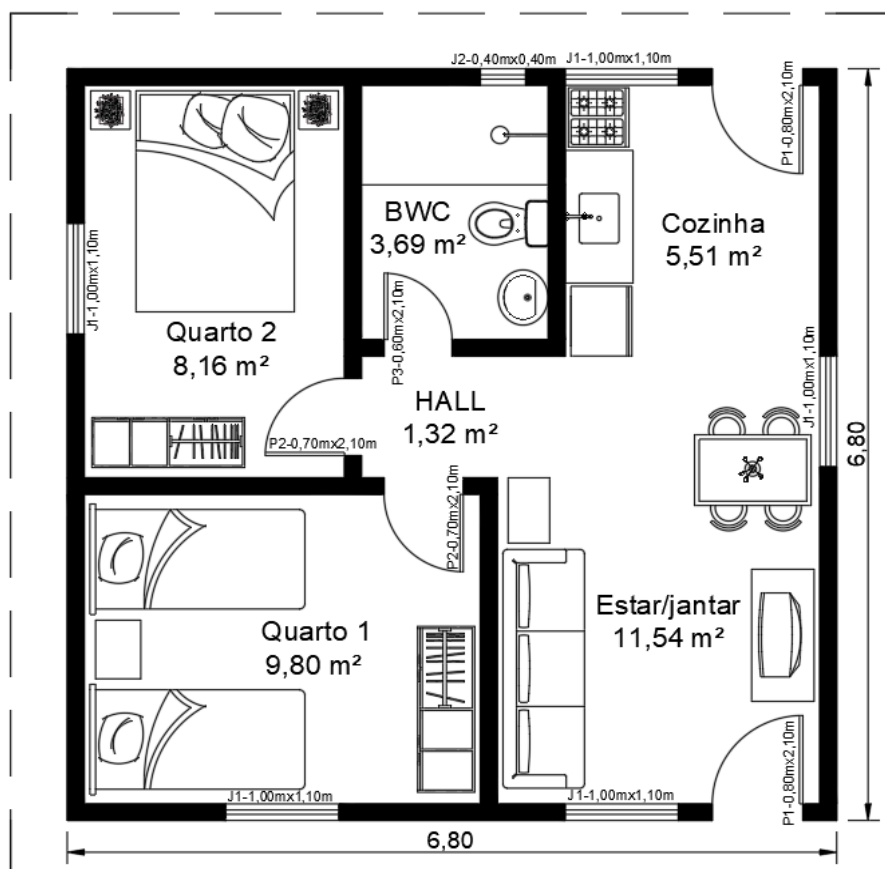
3.2 Procedimentos de análise

Primeiramente, foi escolhida a planta para realizar as análises. A planta selecionada foi retirada da pesquisa de Espíndola (2010), na qual a autora projetou uma habitação de interesse social (HIS) em madeira conforme os critérios de coordenação modular e de conectividade. A planta dispõe de uma área de 46,25m² e a única alteração realizada foi nas dimensões das portas, pois anteriormente todas tinham a dimensão de 80x210cm e para trazer para realidade

construtiva local foram utilizadas as dimensões de 60x210cm para a porta do banheiro, 70x210cm para as portas dos quartos e 80x210cm para portas externas.

Depois de feita a escolha da planta baixa, a mesma foi desenhada no programa AutoCad versão O.49.0.0, para que pudessem ser feitas as alterações necessárias. A figura 17 apresenta a planta selecionada e suas alterações.

Figura 17 - Planta baixa da HIS



Posteriormente, utilizando as ferramentas do software SketchUp versão 18.0. 16975, foi feita a modelagem 3D da planta baixa. As figuras 18 e 19 apresentam a modelagem 3D do projeto.

Figura 18 - Modelo 3D da HIS

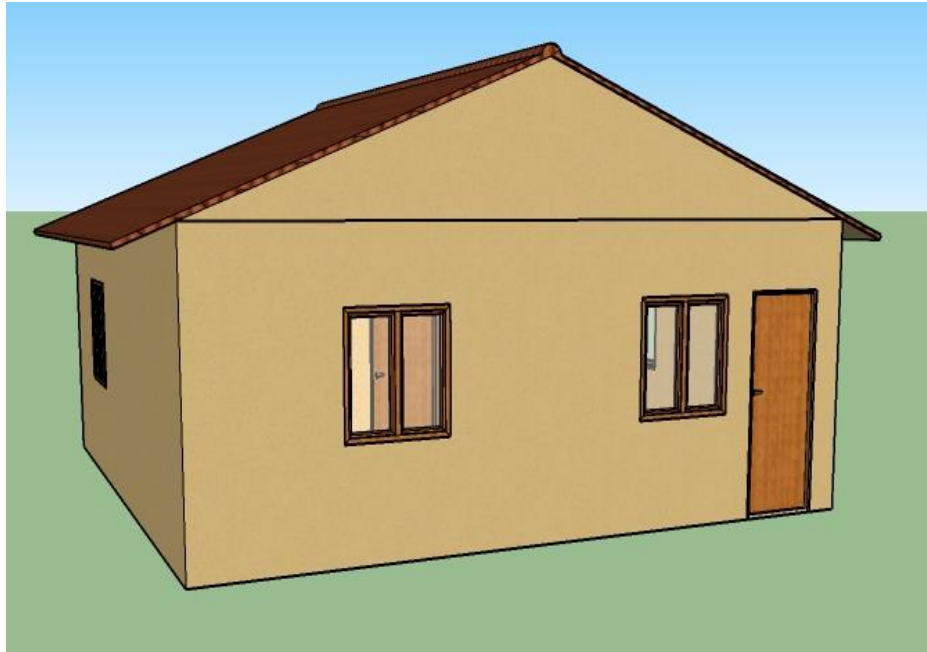
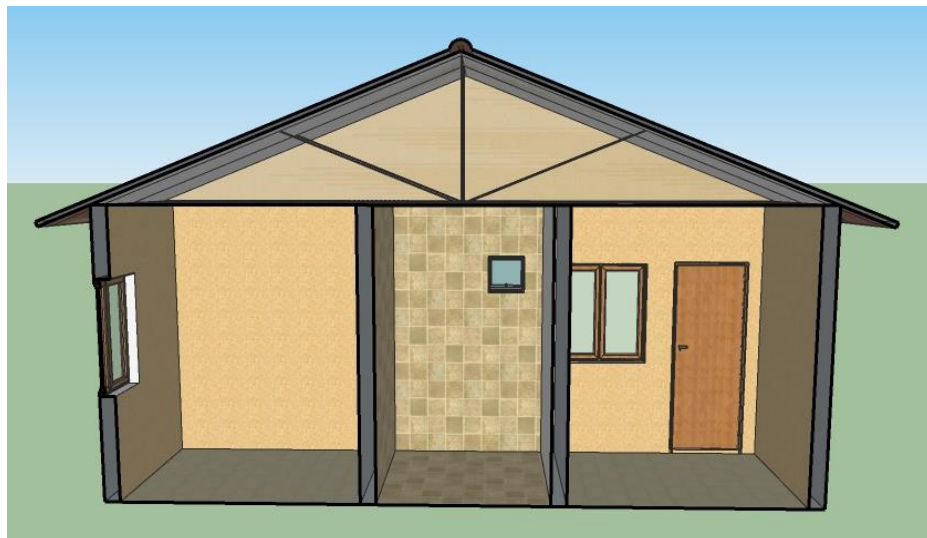
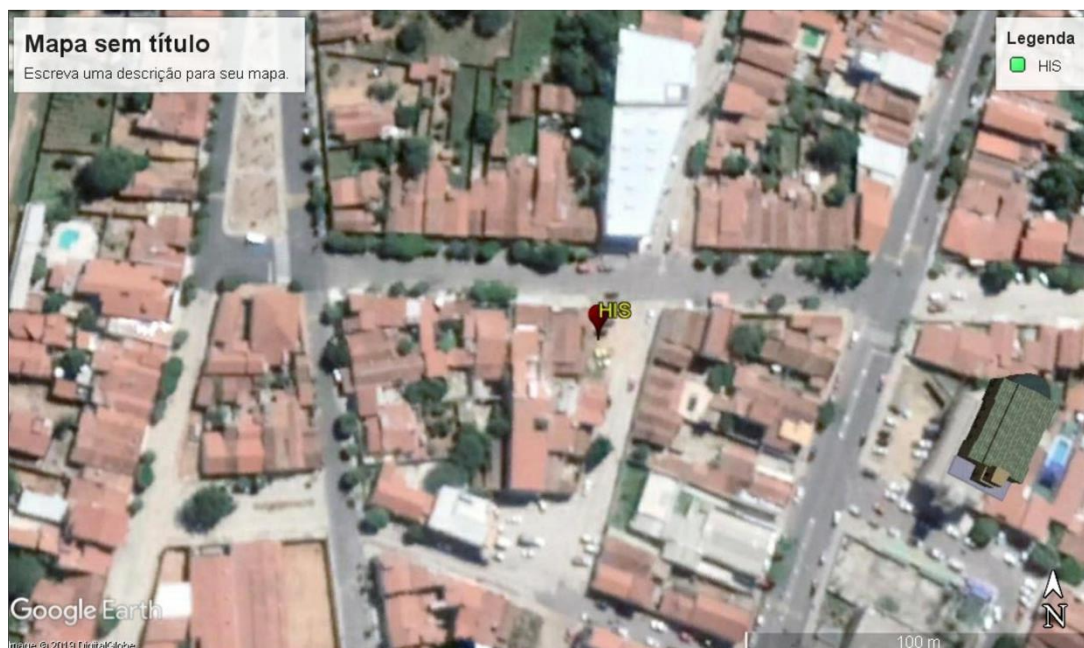


Figura 19 - Corte transversal na HIS



Feito isso, o próximo passo foi a determinação da localização da edificação, que irá influenciar de forma significativa nos resultados desta pesquisa devido aos fatores bioclimáticos da região. A localização escolhida está situada na cidade de Caraúbas/RN, mais precisamente na Rua Getúlio Vargas, em frente ao supermercado Queiroz. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2003) localização escolhida pertence a zona bioclimática 8.

Figura 20 - Localização da HIS

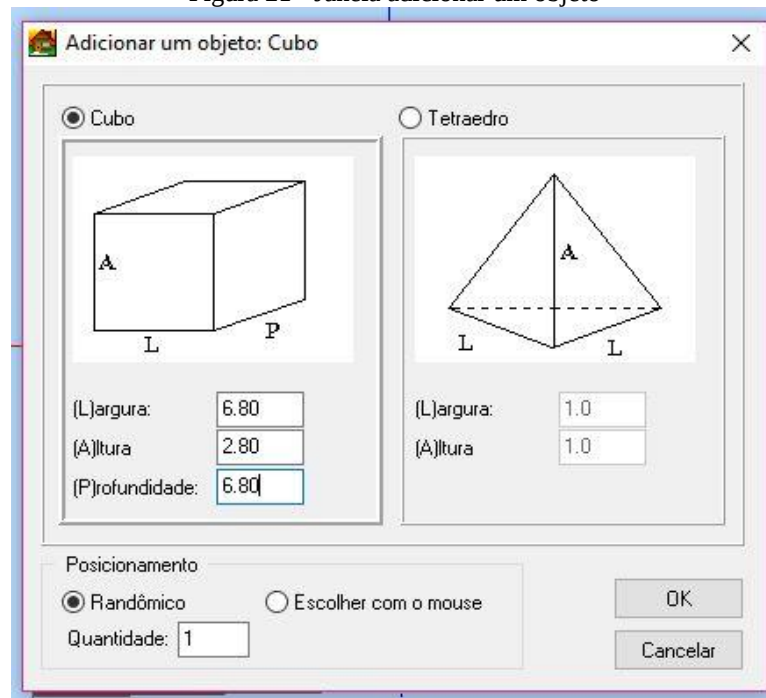


Fonte: Google imagens, 2019.

Na sequência, a planta foi modelada no programa Domus – Eletrobrás, versão 2.3.7, software de simulação higratérmica e energética de edificações, para a obtenção das temperaturas internas na edificação e do Selo Procel de Economia de Energia. As etapas adotadas na análise foram as seguintes: criar zona, inserir portas e janelas, configurar as propriedades da zona, dados de entrada, parâmetros, dados de saída e simulação e obtenção do Selo Procel. Todas essas etapas serão explicadas ao longo deste trabalho.

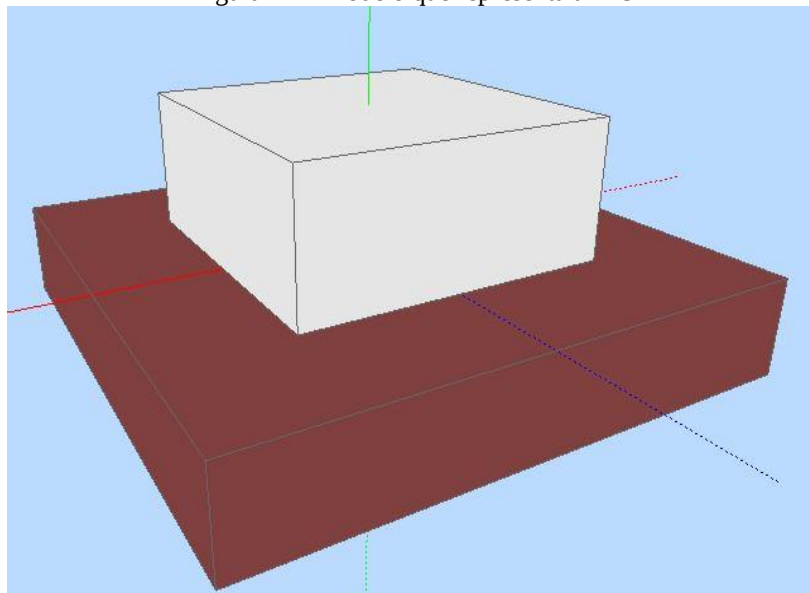
Para executar a primeira etapa, inserir zona, na barra de ferramentas do programa foi selecionada a ferramenta “inserir objeto” e na janela “adicionar um objeto” foram inseridas informações como: geometria do objeto, dimensões, posicionamento e quantidade.

Figura 21 - Janela adicionar um objeto



Após inserir todos os dados e clicar em “OK” o programa criou um objeto com as mesmas dimensões da planta estudada neste projeto. Uma limitação observada no programa Domus – Eletrobrás é que ele não permite modelar a estrutura interna da edificação, ele projeta somente uma estrutura com as dimensões desejadas, neste caso, uma bloco com área igual a 46,25m².

Figura 22 – Modelo que representa a HIS



Na segunda etapa foram inseridas as portas e as janelas. Utilizando o comando “inserir portas/janelas” surge no programa uma nova janela denominada “adicionar aberturas”, onde

são configuradas informações como: dimensões da porta ou janela, material da esquadria, percentual de abertura e o horário de abertura.

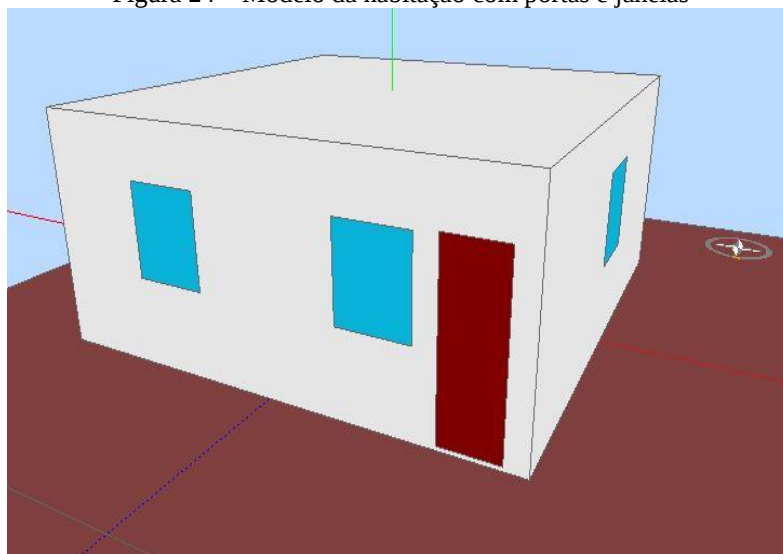
Figura 23 - Janela adicionar aberturas

The dialog box 'Adicionar Abertura(s)' includes the following sections:

- Desenhar:** A checkbox and a preview image of a window frame. Dimensions are set to **Altura: 1.10 m** and **Largura: 1.0 m**.
- Esquadrias:** Material is set to **Madeira** and Área is **15 %**. The color is **Superfície não metálica negra** with a **Tabela Cor** button.
- Proteções Solares:** A section with checkboxes for 'Esquerda', 'Superior', and 'Direita'. Each has a table of values (AE1-AE4, AS1-AS4, AD1-AD4) all set to 0.0 m.
- Percentual de abertura para ventilação:** Set to **100 %**.
- Lote:** A checkbox with parameters for **Nº Colunas: 1**, **Nº Linhas: 1**, and **Espaçamento: 0.1 m**.
- Resistivo / Volumes Finitos:** Radio buttons with a **Configurar** button.
- Buttons:** **Conf. Horário de Abertura**, **Ok**, and **Cancelar**.

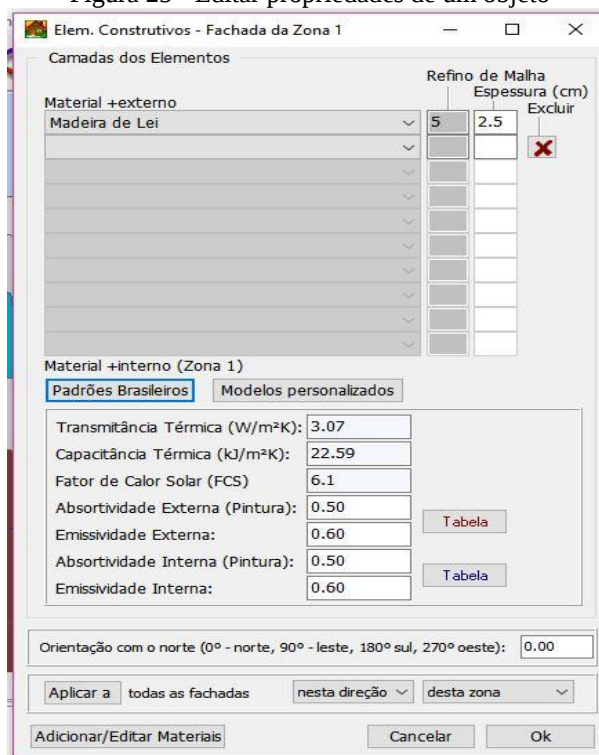
Feito isso, o programa cria o elemento configurado e com auxílio do *mouse* é possível fazer o posicionamento correto de acordo com as medidas do projeto. Um ponto importante desse passo é a configuração do horário de abertura das portas e janelas, pois deve ser configurado de acordo com a rotina dos habitantes e irá influenciar diretamente na ventilação e iluminação natural da residência.

Figura 24 – Modelo da habitação com portas e janelas



A terceira etapa foi a configuração das propriedades da zona, que consistiu basicamente em configurar o programa de qual material é composta cada parede da zona. Para isso, foi preciso selecionar a ferramenta “editar propriedades de um objeto” e escolher o material desejado. Nessa etapa, o programa oferece uma lista de materiais de vedação e revestimento configurados de acordo com os padrões construtivos brasileiros.

Figura 25 - Editar propriedades de um objeto



Na quarta etapa foram configurados os dados de entradas, que o programa divide em duas seções, ganhos internos e climatização. Em ganhos internos foi adicionada a quantidade de pessoas que irá residir no imóvel, os eletrodomésticos com suas respectivas potências, o mobiliário e a potência de iluminação. Já os dados de climatização são relacionados a quantidade, potência e tempo de funcionamento de todos os meios mecânico utilizados para controlar a temperatura interna, como ar condicionado, aquecimento elétrico e ventilação mecânica.

A quinta etapa também dividiu-se em duas seções, configuração dos parâmetros gerais e das zonas. Nos parâmetros gerais foram configurados, por exemplo, o intervalo da simulação e o passo de tempo que as informações devem ser registradas durante essa simulação (figura 26). Já as condições dadas para as zonas foram temperatura e umidade inicial e qual função e atividades serão desenvolvidas naquela zona, como apresentado na figura 27.

Figura 26 - Configuração dos parâmetros gerais

Parametros da Simulação

Geral

Localização da Edificação
Ventilação Natural

Clima Externo
☐ Arquivo Climático
 Cidade: Nome_Cidade
☒ Senoidal

Solo
Albedo: 0.3

Infiltração
☒ Habilitar ☐ Habilitar COMIS

Pré-Simulação
☒ Executar Pré-Simulação

Sombreamento (apenas interface aprimorada)
☒ Cômputo via Contagem de Pixels

Feriados

Intervalo de Simulação
 Início: 01/09 às 0:00:00 Ano: 2019
 Fim: 30/09 às 23:59:59
 Repetir por 1 ano

Intervalo de Relatórios
 Período: 01/09 à 30/09

Período de Férias
 Período 1: 01/01 à 31/01
 Período 2: 01/07 à 15/07 ☐ Ativar
 Período 3: 01/10 à 15/10 ☐ Ativar

Passo de Tempo
 01 Minuto Definir: 60 seg.

Critérios de Convergência
 Para Temperatura: 20.0000 e-3
 Para Unidade: 2E0002 e-4
 Número Máximo de Iterações: 15

Figura 27 - Configuração dos parâmetros do modelo

Parametros da Simulação

Zonas

Configurações das Zonas

Zonas
Zona 1

Nome: Zona 1 ☐ Ambiente Transitório

Condições Iniciais
 Temperatura Inicial 30.0 °C
 Umidade Inicial 80.0 %

Opções
☒ Temperatura e umidade livres
☐ Fixar
☐ Temperatura inicial
☐ Umidade inicial

☐ Arquivo climático
 Arquivo: teste.ti

☐ Função Senoidal

☐ Copiar da Zona

Coeficientes de convecção

A sexta etapa consistiu na configuração dos dados de saída, ou seja, foi enunciado ao programa quais os parâmetros que se desejava analisar. Neste caso, foram analisadas a temperatura interna e a demanda e consumo de energia (figura 28).

Figura 28 - Configuração dos dados de saída

Configuração de Relatórios

Zonas
 Zona 1 129.47 m² ☒ Monitorar **Aplicar a**

Conforto Térmico
☒ Temperatura Interna
☐ Umidade Relativa Interna **Configurar**
☐ PMV e PPD
☐ Sensação Térmica (ASHRAE)
☐ Percepção da Qualidade do Ar
☐ Conforto em Ambientes Naturalmente Ventilados
☐ Estatísticas Gerais (mensais)
 Amostragem: 3600 s

Energia
☐ Ganhos Térmicos
☒ Demanda e Consumo de Energia

Mofo
☐ Risco de Crescimento
 Amostragem: 3600 s

Sistema Fotovoltaico
☐ Monitorar Sistema
 Amostragem: 3600 s

Paredes
☐ Temperatura da Superfície Interna
 cobertura 0 ☐ Monitorar
☐ Perfil de Temperatura
☐ Perfil de Umidade
☐ Perfil de Pressão de Vapor
☐ Fluxo de Calor
☐ Fluxo de Vapor
☐ Radiações Direta, Difusa e Refletida **Aplicar a**

Sistemas de Climatização
☐ Calcular Carga Térmica **Configurar**
☐ Monitorar Controlador
 Amostragem: 3600 s

Sistema HVAC Central
☐ Sistema HVAC Central **Configurar**
 Amostragem: 3600 s

Fechar

A sétima e última etapa foi a simulação, que pode ser feita acessando o item “simulação” na barra de ferramentas e “executar”. O tempo de simulação depende do passo de tempo que foi configurado para registrar as informações e quando sua execução estiver encerrada, o programa irá abrir uma nova janela (figura 29) onde serão apresentados os resultados.

Figura 29 – Resultados da simulação

Resultados

Simulações Disponíveis
 Selecionar Simulação: sim004 **Apagar**

Tag	Status	Data	Hora	Bytes	RTQ Simul	RTQ Presc	Pasta
sim002	OK	20/2/2019	9:47:24	18861469	Não	Não	C:\Users\geo
sim003	OK	20/2/2019	9:54:23	18221699	Não	Não	C:\Users\geo
sim004	OK	4/3/2019	21:14:5	3620691	Não	Não	C:\Users\geo
sim006	OK	19/2/2019	13:33:10	19075508	Não	Sim	C:\Users\geo

Zonas
 Zona 1

Opções Gerais
 Período: 01/09 à 30/09

Conforto Térmico
 Temperatura e Umidade Relativa Interna
 PMV e PPD
 Sensação Térmica (ASHRAE)
 Percepção da Qualidade do Ar
 Conforto em Ambientes Naturalmente Ventilados
 Estatísticas Gerais (mensais)

Energia
 Ganhos Térmicos
 Demanda e Consumo de Energia

Sistema Fotovoltaico
 Relatório Sistema Fotovoltaico

Paredes
 Temperatura da Superfície Interna
 cobertura 0 46.24 m²
 Perfil de Temperatura
 Perfil de Umidade
 Fluxo de Calor
 Fluxo de Vapor
 Radiações Direta, Difusa e Refletida

Sistemas de Climatização
 Carga Térmica
 Monitorar Controlador
 Sistema HVAC Central **Visualizar**

Mofo
 Risco de Crescimento: cobertura 0 46.24 m²

Ok

Os dados da simulação são apresentados em forma de gráfico e para visualizá-los basta selecionar os itens que aparecem em azul na janela resultados apresentada na figura 29.

Finalizada a simulação, foram realizadas as configurações para determinar o Selo Procel de Economia de Energia, através da ferramenta RTQ-C, selecionada na barra de ferramentas, no item “dados de saída”. Ao selecionar a ferramenta RTQ-C, o programa abre uma nova janela, apresenta na figura 30.

Figura 30 - Configuração do RTQ-C

Nesta nova janela, após inserir os dados para a etiqueta requeridos pelo programa, foi selecionado o método prescritivo, onde serão fornecidas novas informações para o cálculo da etiqueta. Por fim, o programa apresentou a etiqueta de eficiência energética da edificação (figura 31).

Figura 31 - Selo Procel de Economia de Energia



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises realizadas nesta pesquisa. Para melhor compreensão, os resultados serão divididos nas seguintes seções: Método Simplificado, análise da temperatura interna da HIS e Selo Procel de economia de energia. Em cada seção será apresentado e discutido os resultados de cada material: madeira, alvenaria e bloco de concreto.

4.1 Método Simplificado

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na aplicação do Método Simplificado descrito na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), a qual prevê os níveis mínimos de desempenho térmico para vedações externas.

O primeiro critério avaliado na aplicação desse método é a transmitância térmica das paredes externas, que tem um limite máximo a ser atendido, conforme indicado pela norma, o qual é determinado a partir do valor da absorvância externa. O programa Domus – Eletrobrás forneceu os valores de transmitância dos três materiais usados para vedação externa: madeira, tijolo cerâmico e bloco de concreto. Logo, esses valores foram comparados com os da norma para certificar-se de que estão dentro do limite permitido (Quadro 7).

Quadro 7 - Resultados da análise de transmitância térmica

Material	U (W/m²K)		Situação
	Valor obtido no programa	Limite da norma	
Madeira	3.07	3.7	Atende
Tijolo cerâmico	2.75	3.7	Atende
Bloco de concreto	1.85	2.5	Atende

Como é possível observar no quadro 7, todos os materiais analisados obtiveram resultados dentro do limite permitido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Além disso, a partir dessa análise é possível concluir que o bloco de concreto é o material que melhor funciona como isolante térmico por apresentar o menor valor de transmitância térmica. Ao contrário disso, os valores do tijolo cerâmico e da madeira apontam para uma superfície termicamente deficiente.

O segundo critério analisado foi a capacidade térmica dos materiais, a qual foi relatada pelo programa Domus – Eletrobrás. Foi constatado que a madeira obteve 22,59 kJ/m²K, o tijolo cerâmico 59,20 kJ/m²K, enquanto o bloco de concreto obteve 244,20 kJ/m²K (os valores estão expostos na tabela 1). Porém, para a zona bioclimática 8, onde está localizada a habitação objeto desse estudo, a norma não apresenta nenhuma exigência para capacidade térmica.

O terceiro e último critério analisado foi a abertura mínima de ventilação. Diferente dos outros dois critérios, além do programa não fornecer os dados, a análise também não é voltada para os materiais que compõem a vedação. Este caso trata de características do projeto arquitetônico como quantidade e dimensões de portas e janelas e as áreas dos ambientes de longa permanência. Então é preciso calcular o valor da área mínima utilizando a equação 1 (apresentada na seção 2.2), conforme recomendação da norma. O Quadro 8 apresenta os valores utilizados nos cálculos da análise e os resultados.

Quadro 8 - Resultado da análise da área mínima de ventilação

Cômodo	A_A (m ²)	A_P (m ²)	A (%)	Valor mínimo (8% de A_P)	Situação
Sala	6.66	17.06	39.04% (0,39)	1.36	Não atende
Quarto 1	1.10	9.80	11.22% (0,11)	0.78	Não atende
Quarto 2	1.10	8.16	13.48% (0,13)	0.65	Não atende

A coluna A_A do quadro acima corresponde as áreas de aberturas de portas e janelas pertencentes aos cômodos apresentados, enquanto que a coluna A_P representa a área total do piso. A abertura para ventilação (A) é obtida através da razão entre A_A e A_P , sendo os valores apresentados em porcentagem.

Após aplicar a equação 1, é possível obter os valores necessários para a análise. Os valores mínimos exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) são apresentados no quadro, os quais equivalem a 8% de A_P . Entretanto, ao converter os valores de “A” obtidos em porcentagem para valores adimensionais, foi possível perceber que nenhum atingiu os valores mínimos estabelecidos.

Este resultado pode influenciar de forma significativa na temperatura interna da habitação, analisada na próxima seção, pois indicam que em relação as áreas para ventilação, o projeto arquitetônico não atende aos critérios mínimos estabelecidos pela norma.

Diante dos resultados obtidos na aplicação do Método Simplificado, tem-se que os mesmos não foram tão favoráveis quanto o esperado. Pode-se observar que a transmitância térmica apresentou valores que se enquadram nos limites da norma e que não há nenhuma exigência a ser cumprida para a capacidade térmica.

Mas já as aberturas mínimas para ventilação não atenderam aos critérios da norma e este fato pode acarretar em temperaturas mais elevadas e num maior gasto energético para manter o conforto térmico da residência.

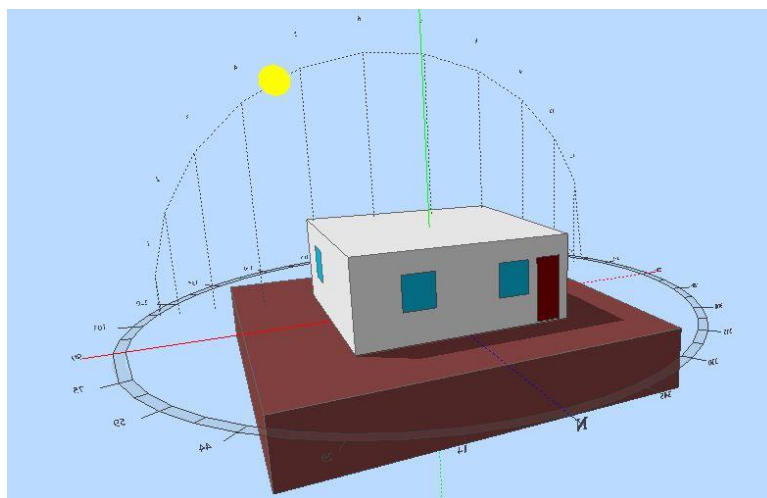
4.2 Análise da Temperatura Interna na HIS

Esta parte da pesquisa trata dos resultados obtidos nas simulações realizadas no programa Domus – Eletrobrás para determinar a temperatura interna da habitação. As simulações foram realizadas em três diferentes meses do ano: janeiro, maio e setembro. O critério utilizado na seleção foi usar o mês de janeiro por ser um dos mais chuvosos, setembro por marcar o início do período de seca e maio um mês intermediário entre esses dois extremos.

Essas informações são importantes para que o software crie uma situação o mais próximo possível das condições reais. Pois fornecendo corretamente os dados de arquitetura, localização, zona bioclimática, dia, mês e ano o programa é capaz de realizar medições de temperatura a cada espaço de tempo desejado.

Neste caso, as medições foram realizadas a cada hora do dia dos meses de janeiro, maio e setembro. Na figura 32 pode-se observar alguns fatores como posição do Norte, caminho do sol e posição da sombra, que podem influenciar na temperatura, e que são elementos gerados pelo software a partir das informações nele inseridas.

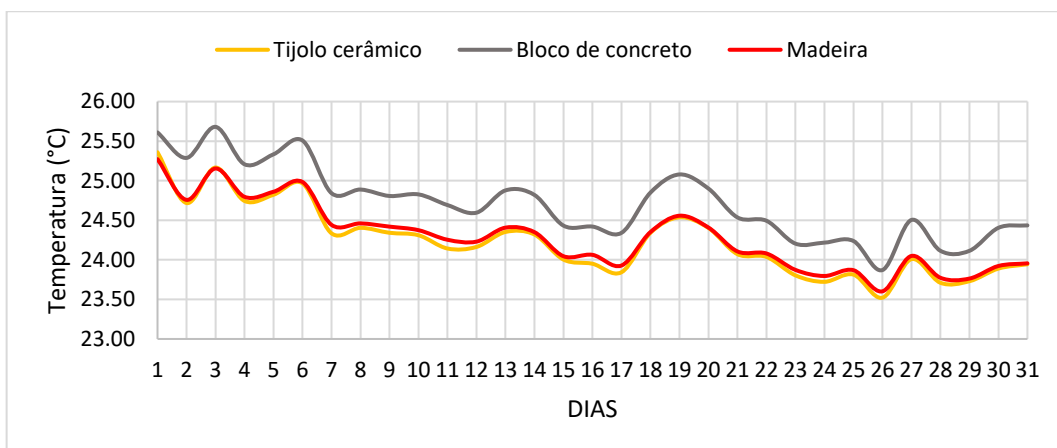
Figura 32 - Caminho do sol e posição da sombra



Os gráficos a seguir apresentam os resultados alcançados através do programa Domus – Eletrobrás. Vale ressaltar que, para cada mês em questão, foram analisados também os três materiais estudados, para avaliar como eles interferem na temperatura interna da HIS. Além disso, o programa forneceu uma grande quantidade de dados, logo, para facilitar o entendimento, as temperaturas medidas a cada hora foram transformadas em temperatura média do seu respectivo dia.

A seguir, o gráfico 1 apresenta os resultados do mês de janeiro.

Gráfico 1 – Temperaturas médias no mês de janeiro



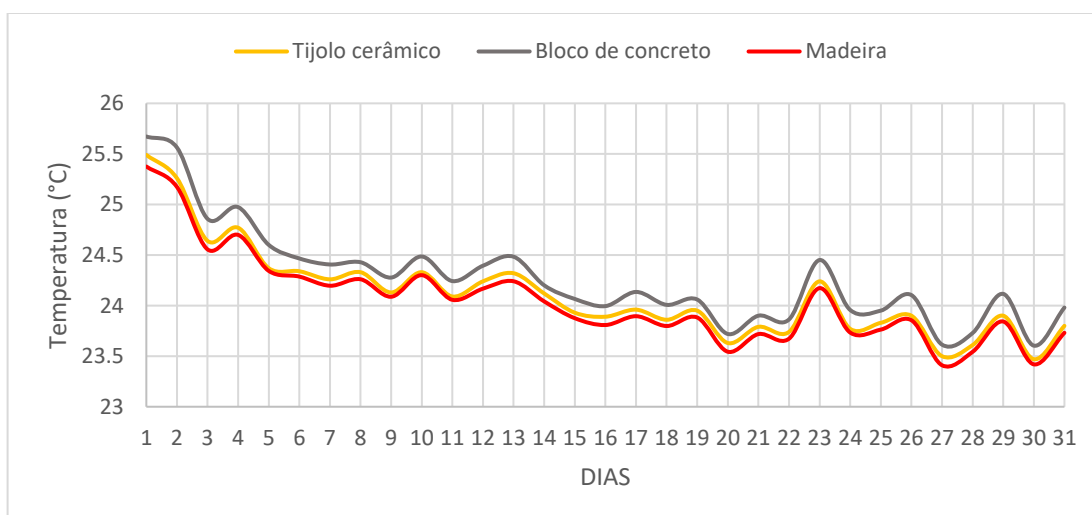
Perante o gráfico acima, a primeira informação que pode ser observada é que para o mês de janeiro, o bloco de concreto apresentou as temperaturas médias mais elevadas, variando entre 23,90°C e 25,70°C. Já o tijolo cerâmico e a madeira mostraram valores bem próximos, variando de 23,50°C a 25,40°C e 23,60°C a 25,30°C, respectivamente.

Essa discrepância pode ter ocorrido devido ao fato de que o bloco de concreto é um material muito denso, o que dificulta a troca de calor entre os ambientes interno e externo, prejudicada também pela arquitetura que não atendeu a área mínima para ventilação. Além do mais, como explicado anteriormente, entre os três materiais analisados, o bloco de concreto é o que apresenta melhor isolamento térmica.

Outro ponto a ser observado no gráfico é que a temperatura mínima dos três materiais foi marcada no dia 26, enquanto a máxima foi obtida dia 1 para o tijolo cerâmico e para a madeira e dia 3 para o bloco de concreto.

Os resultados das medições para o mês de maio estão apresentados a seguir (gráfico 2).

Gráfico 2 - Temperaturas médias no mês de maio

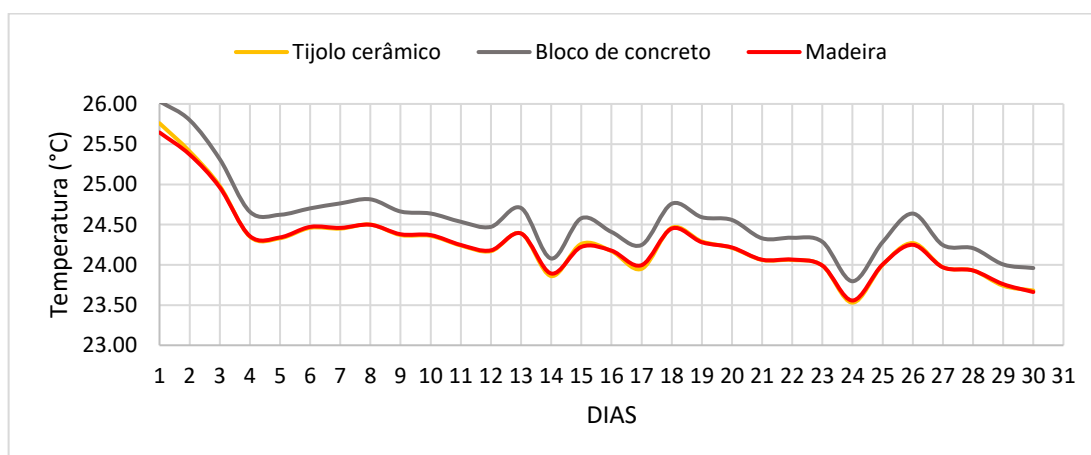


No mês de maio os três materiais indicaram temperaturas semelhantes, variando aproximadamente de 23,60°C a 25,70°C para o bloco de concreto, de 23,50°C a 25,50°C para o tijolo cerâmico e de 23,40°C a 25,40°C para madeira. Novamente o bloco de concreto apresentou as maiores temperaturas.

Ainda no mês de maio, pode-se notar que as temperaturas mais elevadas foram registradas no primeiro dia do mês. No tempo que as temperaturas mínimas foram marcadas no dia 27 do mês.

Por fim, o gráfico 3 apresenta os valores das temperaturas médias do mês de setembro.

Gráfico 3 - Temperaturas médias do mês de setembro



Como esperado, o bloco de concreto apresentou novamente temperaturas mais elevadas de que os demais materiais. Enquanto isso, as curvas de temperatura do tijolo cerâmico e da madeira praticamente se sobrepõem devido à similaridade de seus valores.

O comportamento desses materiais, possivelmente, possa ser explicado através de suas características de transmitância e capacidade térmica. Como já citado anteriormente, o bloco de concreto é o material com maior capacidade de isolamento térmica, enquanto o tijolo cerâmico e a madeira foram considerados materiais deficientes termicamente.

Por setembro ser o mês com temperaturas mais elevadas, a vedação com bloco de concreto tende a manter uma temperatura interna mais alta, pois ele possui uma grande capacidade de armazenar calor em seu interior, não permite que sejam efetuadas trocas entre os ambientes interno e externo. A madeira e o tijolo cerâmico, por sua vez, possuem baixa capacidade de armazenar calor em seu interior, facilitando assim sua circulação. Esse fluxo de

calor possibilita um equilíbrio entre as temperaturas interna e externa, consequentemente, torna a habitação mais confortável termicamente nos períodos de seca.

Outro acontecimento esperado era que as temperaturas máximas e mínimas ocorressem no início do mês e após o dia 20, respectivamente. O que de fato aconteceu, pois a máxima foi registrada logo no dia 1 e a mínima ficou para o dia 24 do mês.

As análises das temperaturas mostraram que, para zona bioclimática 8, a utilização de vedação externa em bloco de concreto proporciona temperaturas internas mais elevadas quando comparadas a vedações de tijolo cerâmico ou madeira, independente das estações do ano.

A madeira e o tijolo cerâmico apresentaram um comportamento bastante similar em todas as análises e mostraram que conseguem manter um equilíbrio da temperatura interna, independente da estação do ano, oferecendo maior conforto térmico aos usuários.

4.3 Selo Procel de Economia de Energia

Nesta seção serão apresentados os resultados da eficiência energética da HIS obtidos a partir das simulações no programa Domus – Eletrobrás. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), eficiência energética consiste em utilizar de forma eficiente a energia para alcançar um determinado resultado.

Por exemplo, uma lâmpada de LED de 7W possui a mesma capacidade de iluminação que uma lâmpada incandescente de 60W, ou seja, ela trabalha com 53W a menos e resulta numa economia de quase 90%. Além disso, a lâmpada de LED transfere menos calor para os ambientes, fazendo com que, em ambientes climatizados, menos energia seja gasta no resfriamento (ABESCO, 2017).

O Selo Procel foi criado a partir de um decreto presidencial no ano de 1993 e tem como objetivo orientar o consumidor na aquisição de novos equipamentos, indicando qual produto apresenta maior eficiência energética, reduzindo assim os custos com energia elétrica. Este selo qualifica os equipamentos ou gastos de energia em 5 categorias: A, B, C, D e E. Sendo que A representa os produtos mais eficientes energeticamente e E os menos eficientes.

No programa Domus – Eletrobrás, inserindo informações como zona bioclimática, quantidade de habitantes e a quantidade, potência e tempo de utilização dos aparelhos, é possível descobrir qual o nível de eficiência energética da residência habitacional.

Neste caso, a residência está localizada na zona bioclimática 8 e foi considerada a presença de 4 habitantes. Para os aparelhos foi considerada uma televisão com potência de 90W e um ventilador de 100W, ambos funcionando das 20:00 até as 21:00 horas, de segunda a sexta. E uma geladeira pequena de 250W sempre em funcionamento.

Para iluminação foi considerada uma potência de 12W/m². Também foi incluso um condicionador de ar de 8.000Btu, funcionando num pequeno espaço de tempo (1 minuto), determinado conforme recomendações do programa, somente para fins de simulação. As etiquetas de eficiência energética obtidas na simulação estão apresentadas a seguir na figura 33.

Figura 33 - Selo Procel da madeira, tijolo cerâmico e bloco de concreto, respectivamente



Os resultados mostram que a residência com vedações feitas com bloco de concreto apresentam maior eficiência energética que vedações de tijolo cerâmico ou placas de madeira, que por vez, apresentaram uma eficiência energética mediana.

Esse resultado pode ser descrito como um efeito da zona bioclimática no comportamento dos materiais. Pois analisando os sistemas individuais, pode-se observar que nos critérios de iluminação e condicionamento de ar, os três materiais apresentaram o mesmo nível de eficiência energética, A e B, respectivamente.

Porém, na zona bioclimática, a madeira e o tijolo cerâmico foram classificados como menos energético, categoria E, enquanto o bloco de concreto obteve o nível máximo A. Teoricamente, mais uma vez a explicação pode vir da capacidade de isolamento térmica dos três materiais analisados.

A zona bioclimática 8 representa a região semiárido que possui altas temperaturas. Apesar disso, nas simulações foi considerado um sistema de refrigeração, dessa forma, o programa pode ter entendido que, uma vez acionado o condicionador de ar, o bloco de concreto é capaz de manter o ambiente refrigerado por mais tempo, não permitindo que a alta temperatura externa influencie no conforto térmico interno.

Diferente da madeira e do tijolo cerâmico, que são ineficientes termicamente e que para alcançar o mesmo nível de conforto térmico, teoricamente oferecido pelo bloco de concreto, teria que fazer uso de mais energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar se as construções em madeira no semiárido atendem as normas técnicas brasileira de desempenho térmico para construção civil.

Foi realizado um levantamento teórico sobre o emprego da madeira como estrutura em wood frame e as normas de desempenho para esse tipo de construção.

Os principais resultados obtidos nesta pesquisa foram:

- o projeto arquitetônico não atendeu aos critérios mínimos para ventilação;
- a madeira e o tijolo cerâmico foram classificados como um material insuficiente termicamente;
- o bloco de concreto foi classificado como isolante térmico;

- a madeira e o tijolo cerâmico apresentaram um comportamento similar nas análises de temperatura, permitindo maior equilíbrio da mesma entre os ambientes interno e externo;
- a madeira apresentou um selo de eficiência energética inferior ao esperado.

Com base nos resultados desse estudo, foi possível perceber que a madeira apresentou um resultado satisfatório de desempenho térmico. Entretanto, em relação a eficiência energética a madeira não apresentou resultados tão satisfatórios quanto o bloco de concreto. Isso mostra que, o simples fato de utilizar a madeira na construção não há torna mais eficiente que outros materiais, para isso, devem ser levado em consideração outros fatores, analisados a longo prazo.

Sobre os resultados de desempenho térmico e energético, a madeira mostrou-se eficiente, porém, ainda inferior ao bloco de concreto em alguns aspectos. Estes resultados dão margem para um trabalho futuro no qual poderá ser analisado outras características do uso da madeira para construção de habitações residenciais. Por exemplo, pode-se realizar análises comparativas entre os três materiais, madeira, tijolo cerâmico e bloco de concreto, em relação as suas características de resistência, custo de obra e o desempenho dos demais sistemas de uma edificação: estrutura, pisos, cobertura e sistemas hidrossanitários.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, Alex Kenya. **Introdução à Gestão Habitacional**. São Paulo: EPUSP, 1995. 35 p.
- ARAÚJO, Rosanne Teixeira de. **Alternativas sustentáveis de uso da madeira na construção civil**. Especialize, Manaus, 11 mar. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: Copyright ©, 1997. 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Copyright ©, 2013. 60 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: Copyright ©, 2013. 57 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas técnicas impactam na qualidade e nas demandas de mercado do setor de madeira**. 23 ago. 2018. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/noticias/6055-normas-tecnicas-impactam-na-qualidade-e-nas-demandas-de-mercado-do-setor-de-madeira>>. Acesso em: 05 março 2019.
- BERRIEL, Andrea. **Tectônica e poética das casas de tábuas**. 2011. v. 3. 103 p.
- BRASIL. Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat nº 005**: Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”). Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, setembro, 2011.
- BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado eu te amo, volume 2**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- Buddhist Monuments in the Horyu-ji Area. **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)**. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/en/list/660/gallery>> Acesso em: 08 jan. 2019.
- CARDOSO, Larriê Andrey. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social**. 2015. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- CMHC - CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. **Canadian wood frame house construction**. Canadá: [s.n.], 2014.
- ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. 2010. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa; INO, Akemi. Inserção e financiamento do sistema Wood Frame no programa habitacional Minha Casa Minha Vida. **Xv Encontro Nacional de**

Tecnologia do Ambiente Construído, [s.l.], p.1578-1587, 11 nov. 2014. Marketing Aumentado. <http://dx.doi.org/10.17012/entac2014.566>.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. 2017. 331 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FERREIRA, Victor Vinicius de Oliveira. **Caracterização de espécies florestais da caatinga para a construção civil**. 2018. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

FERREIRA, R. MCMV de madeira. **Revista Construção Mercado**, São Paulo, ed. 146, set. 2013. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/146/artigo299692-1.aspx>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

FERREIRA, Juliane. **Brasil tem primeiro prédio em wood frame**, 2016. Disponível em: <<http://madeiraeconstrucao.com.br/brasil-tem-primeiro-predio-em-wood-frame/>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

GARCIA, Sheila et al. **Sistema Construtivo Wood Frame**. In: VI MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO COMUNITÁRIA E V MOSTRA DE PESQUISA DE PÓSGRADUAÇÃO DA IMED. Passo Fundo, 2014.

LAROCA, Christine. **Habitação social em madeira: uma alternativa viável**. 2002. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LAROCA, Christine. **A madeira como alternativa na construção de habitações**. 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=64&subject=Habita>. Acesso em: 22 jan. 2019.

LEITE, Januária Cecilia Pereira Simões; LAHR, Francisco Antônio Rocco. **Diretrizes básicas para projeto em wood frame**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Processos Construtivos, Universidade Fumec, Belo Horizonte, 2016.

LIGHT wood frame. **Téchne**, 2009. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/148/artigo286608-3.aspx>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2019.

LOURENÇO, Paulo B.; BRANCO, Jorge M.. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. In: MELO, Arnaldo Sousa; RIBEIRO, Maria do Carmo. **História da construção, arquitetura e técnicas construtivas**. Braga: CITCEM, 2013. p. 199-213.

MACKIE, Allan B. The owner-built log house. Firefly Books, 2001.

MARQUES, Luís Eduardo Menezes Marinho. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

MISURA, Luciana Bordallo. Morando nos Estados Unidos – Modo de construção. **Colagem**. Disponível em: <<http://luciana.misura.org/2002/09/18/morando-nos-eua-modo-de-construcao/>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p.143-156, dez. 2010.

OLIVEIRA, Gabriel Anibal Santos de. **A política habitacional no brasil desde a criação do sistema financeiro da habitação até o programa minha casa minha vida, em cidades médias: um estudo preliminar sobre santa cruz do sul – rs**. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2015. 23 p.

O que é eficiência energética? **Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO)**, 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 08 de março de 2019.

PIT Houses. **Earth Homes Now**, 2015. Disponível em: <<http://www.earthhomesnow.com/pit-houses.htm>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

RESIDENCIALVancouver. **Tecverde**, 2019. Disponível em: <<http://www.tecverde.com.br/portf olio/residencial-vancouver-2/>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2019.

SACCO, M. F.; STAMATO, G. C. Light wood frame - construções com estrutura leve de madeira. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 140, nov. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/140/light-wood-frame-construcoes-com-estrutura-leve-de-madeira-287602-1.aspx>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

SHIGUE, Erich Kazuo. **Difusão da construção em madeira no Brasil: Agentes, ações e produtos**. 2018. 250 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SILVA, R. D. **Plantando casas: estudo da cadeia produtiva para implantação de habitação de interesse social em madeira de Pinus ssp no Paraná – Brasil**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

VILELA, Maria Isabel Marques. **A madeira na construção de habitação coletiva**. 2013. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura, Universidade Lusófona do Porto, Porto, Portugal, 2013.

ZANI, Antonio Carlos. **Arquitetura em Madeira**. Londrina: Editora da Universidade Estadual de Londrina, 2013. 397 p.

ZAPARTE, Taiara Aparecida. **Estudo e adequação dos principais elementos do modelo canadense de construção em wood frame para o brasil**. 2014. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

ZENID, Geraldo José. **Madeira : uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Setor de Editoração da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo, 2009. 103 p.