XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Elaboração de projeto BIM de uma habitação em CLT

Design of a BIM project of a housing in CLT

José Gustavo Warmling
Instituto Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | warmling97@hotmail.com
Luciana da Rosa Espindola
Instituto Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | luciana.espindola@ifsc.edu.br
Ana Lígia Papst de Abreu
Instituto Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | ana.abreu@ifsc.edu.br

Resumo
Tradicionalmente as edificações brasileiras utilizam poucas técnicas industriais e possuem elevado custo ambiental. A madeira engenheirada aliada à construção industrializada possibilita um edifício ser mais sustentável. Este artigo tem como objetivo apresentar o processo de desenvolvimento do projeto BIM de uma habitação industrializada em CLT (Cross-Laminated Timber). O método proposto partiu da hierarquia espacial de um projeto arquitetônico existente, focando na possibilidade de construção modular volumétrica, painelizada ou híbrida. As dimensões foram refinadas utilizando metodologia de modelagem BIM para o pleno aproveitamento dos painéis CLT. Por fim, realizou-se a verificação e pré-dimensionamento da edificação.

Palavras-chave: Módulos de madeira. *Cross Laminated Timber* (CLT). Madeira engenheirada. Construção modular. *Building Information Modeling* (BIM).

Abstract
Usually Brazilian buildings have been made using few industrial techniques with high environmental cost. Engineered timber added with industrialized construction could make the buildings more sustainable. This paper aims to show the BIM project process of a house industrialized in CLT (Cross-Laminated Timber). The methodology has started from the spatial hierarchy of an existing building design, focusing on the possibility of becoming this design either a volumetric, or a modular or a paneled design. The dimensions were refined using BIM methodology aiming at the best use of the CLT panels. Lastly, the verification and pre-sizing of the wooden building was carried out.

Keywords: *Timber modules. Cross Laminated Timber* (CLT). *Engineered timber. Modular construction. Building Information Modeling* (BIM).

Como citar:
WARMLING, J. G. ; ESPINDOLA, L. R. ; ABREU, A. L. P. Elaboração de projeto BIM de uma habitação em CLT. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-10.

INTRODUÇÃO

Em um contexto geral das construções brasileiras, há a predominância de práticas pouco industrializadas e com elevado custo ambiental [1]. Estas construções geralmente são executadas com processos artesanais, e apresentam problemas projetuais e de planejamento. No Brasil, é necessário incentivar a aplicação de tecnologias mais industrializadas no processo construtivo, e otimizar os processos de construção por meio de projetos bem elaborados.

Uma forma de alcançar a otimização no setor construtivo é aderindo às construções industrializadas. Entre os métodos de construção industrializada, destaca-se as construções modulares, que apresentam maior produtividade, segurança, eficiência e economia de recursos [2]. A construção modular é caracterizada pela execução dos componentes da edificação, previamente, fora do local da obra, em um ambiente fabril, sendo transportados praticamente prontos e instalados no canteiro de obras [2] [3].

Dentre os materiais comumente utilizados nas construções industrializadas brasileiras, o presente artigo destaca a madeira engenheirada, seja pelos aspectos de sustentabilidade, pelo potencial de disponibilidade da matéria prima no nosso país, aliados à racionalização e tecnologia do processo de produção. Os elementos em madeira engenheirada são fabricados com elevado controle do processo industrial, além do que suas dimensões podem variar conforme a necessidade de cada projeto, respeitando os limites para o transporte e dos equipamentos de fabricação.

A *International Data Corporation* aponta que as construções com soluções mais automatizadas são diretamente dependentes de projetos com maior maturidade nos processos BIM (Modelagem da Informação da Construção). Estes processos tendem a apresentar um nível maior de detalhes para garantir a precisão da produção, demonstrando como a metodologia BIM é importante para a eficiência das construções industrializadas [4]. A metodologia BIM faz parte de todas as etapas de uma edificação, do projeto até a sua demolição. Neste artigo o enfoque dado ao BIM é na fase de modelagem, adequando um projeto arquitetônico residencial existente a um projeto arquitetônico de uma construção industrializada que utilize madeira engenheirada.

Assim, o objetivo deste artigo é apresentar o processo de adequação do projeto arquitetônico de uma habitação existente, para um modelo digital 3D em BIM quando o enfoque é um projeto arquitetônico de uma edificação industrializada utilizando madeira engenheirada.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Neste item do artigo inicia-se comentando da construção industrializada até chegar ao CLT (*cross laminated timber*), e finaliza-se com o conceito de BIM.

Construção Industrializada Em Madeira

A construção industrializada pode ser agrupada quanto ao grau de finalização que os elementos saem da indústria, sendo dividida em três categorias principais: a) *Site Intensive Kit-of-Parts*; b) Modular volumétrica; c) Híbrida. [5]. A construção *Site Intensive Kit-of-Parts* é caracterizada pela produção de componentes ou de subsistemas simples em grande escala na fábrica, os quais são entregues no canteiro, onde passam por uma série de operações de montagem até a finalização da edificação. Dentro desta categoria enquadram-se os sistemas pré-fabricados de pilar e viga, de pilar e laje, de painéis e sistemas monolíticos com juntas integradas [5]. A construção modular volumétrica apresenta uma produção plena no ambiente fabril, onde a edificação é dividida em módulos que podem ser transportados e os módulos conectados no canteiro [5]. A híbrida é a mescla dos dois primeiros métodos [5].

A madeira engenheirada é assim chamada após ser submetida a processos industriais que otimizam o seu desempenho para uso na construção civil, deixando de ser um material com imperfeições naturais e se tornando um material fabricado com melhores propriedades construtivas [6]. Dentre os tipos de madeira engenheirada existentes, tem-se: *Cross-Laminated Timber* (CLT); *Glue-Laminated Timber* (Glulam); *Dowel-Laminated Timber* (DLT); *Laminated Veneer Lumber* (LVL); *Nail-Laminated Timber* (NLT); *Mass Plywood Panel* (MPP); *Laminated Strand Lumber* (LSL); e *Parallel Strand Lumber* (PSL) [7].

Neste artigo propõe-se o uso do *Cross Laminated Timber* (CLT), que é um painel pré-fabricado, composto por, no mínimo, três camadas ortogonais entre si, sendo estas feitas por tábuas de madeira classificadas, unidas por colas com aditivos estruturais [8].

Building Information Modeling

A Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* – BIM) é "uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção" [9]. Os modelos da construção apresentam:

> *a) "Componentes de construção que são representados por objetos (representações digitais) que levam consigo atributos gráficos e de dados computáveis que os identificam para aplicativos de software, bem como regras paramétricas que lhes permitem ser manipulados de maneira inteligente.*
> *b) Componentes que incluem dados que descrevem como eles se comportam, conforme necessário para análises e processos de trabalho, tais como quantificação, especificação e análise energética.*
> *c) Dados consistentes e não redundantes, de forma que as modificações nos dados dos componentes sejam representadas em todas as visualizações dos componentes e nos conjuntos dos quais eles fazem parte." [9].*

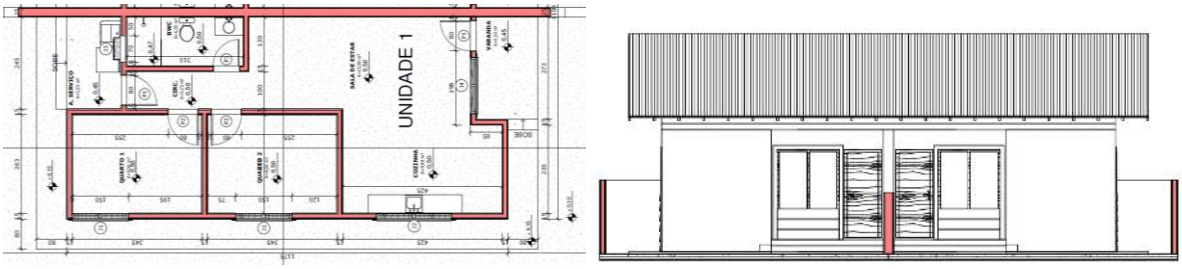
O BIM é parte importante num fluxo de trabalho de uma construção industrializada, pois através da visualização 3D dos componentes pode-se: avaliar o correto encaixe das peças; fornecer meios para detalhar os componentes para fabricação; elaborar gabaritos de montagem de parede; entre outros. [10].

MÉTODO

O método deste artigo consistiu em, partindo da hierarquia espacial de um projeto arquitetônico residencial existente, adequá-lo para uma construção em CLT que pudesse ser tanto modular volumétrica, painelizada ou híbrida. Três diretrizes foram seguidas: espaços suficientes para boa habitabilidade dos ambientes (NBR 15.575); pleno aproveitamento dos painéis CLT; organização espacial dos ambientes secos e de áreas molhadas. Por fim, realizou-se a verificação e pré-dimensionamento da edificação.

A Figura 01 apresenta a planta de uma unidade da casa geminada que foi utilizada como base deste trabalho. Nesta mesma Figura, é apresentada a fachada frontal de duas unidades geminadas. Pode-se observar na planta baixa do modelo base, que as áreas molhadas não estão todas integradas, cozinha não está próxima do banheiro e área de serviço.

Figura 01: Projeto modelo base

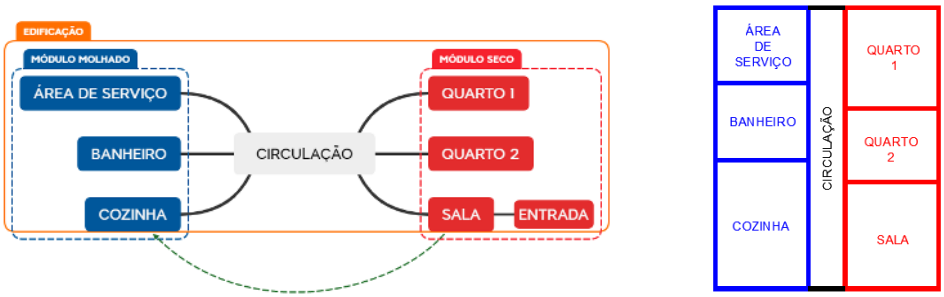


Fonte: o autor.

A partir do modelo, definiu-se critérios arquitetônicos de hierarquização dos espaços que permitissem separar as áreas secas das áreas úmidas, visando: facilitar e reduzir os custos com os projetos hidráulicos; diminuir o contato do CLT com as fontes de água; reduzir as áreas que necessitam de proteção contra a umidade.

Mantendo o programa de necessidades do projeto modelo, diagramou-se as conexões entre os ambientes da edificação (Figura 02), tendo como diretriz uma construção industrializada. Observa-se pelo diagrama proposto na Figura 02, que a circulação divide a edificação em dois módulos: o módulo seco (em vermelho) e o módulo molhado (azul).

Figura 02: Diagrama de interação dos ambientes



Fonte: o autor.

Uma outra diretriz deste artigo foi a utilização plena dos painéis CLT comerciais, pois acelera o processo de fabricação e possibilita o racionamento de recursos. Para isso

foi necessário criar “famílias” do sistema em CLT, com regras paramétricas no *software* que foi utilizado para modelagem 3D (Revit da Autodesk).

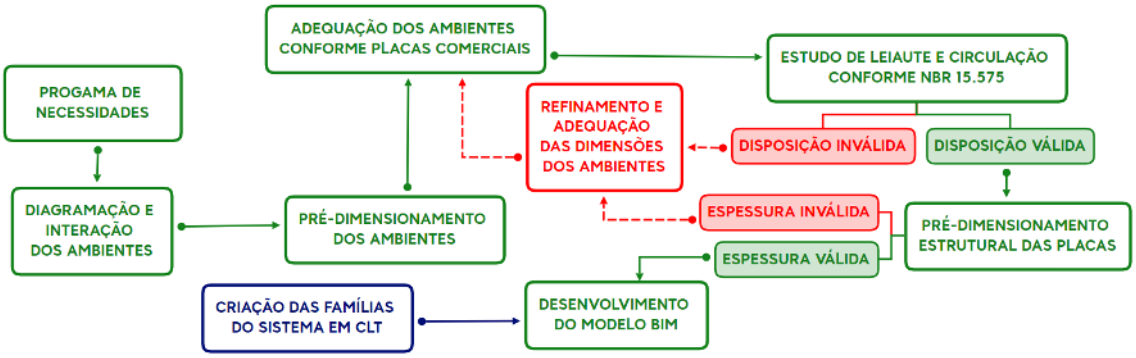
Entretanto, a otimização dos painéis CLT na obra não pode comprometer a habitabilidade da edificação residencial. Desta forma, avaliou-se através de proposta de leiaute o atendimento à NBR 15.575 [11] quanto ao mobiliário mínimo, às dimensões mínimas dos móveis, e às circulações mínimas.

O pré-dimensionamento dos painéis CLT é importante quando se trata de obras industrializadas, visto que a espessura do painel afeta diretamente nas dimensões dos ambientes e na modulação das placas. Tal fato torna-se ainda mais importante quando há dimensões restritas, como no caso de casas geminadas.

O pré-dimensionamento seguiu o método proposto pela Crosslam, onde a partir das cargas atuantes, do comprimento da peça e do tempo de resistência ao fogo, determina-se a espessura dos painéis [12]. A NBR 6120 foi utilizada para determinar as ações atuantes na edificação [13].

Na Figura 03 é apresentado a diagramação do processo de projeto utilizado neste artigo. O ramo verde indica o fluxo principal de trabalho; os vermelhos representam o retorno para etapas anteriores de forma a refinar ou adequar o projeto; e o azul remete ao processo que pode ocorrer de forma paralela, não afetando na disposição das placas, mas sendo um processo importante para o desenvolvimento do modelo BIM.

Figura 03: Fluxo de projeto utilizando a construção Industrializada em CLT



Fonte: o autor

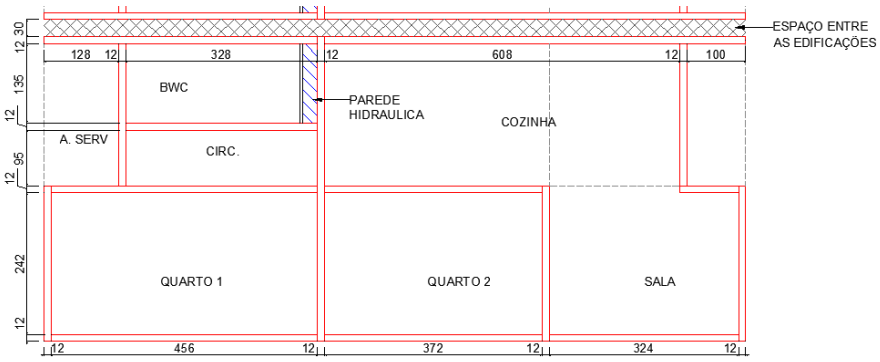
RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste artigo.

Atividades Preparatórias Para o Desenvolvimento do Projeto

Com base na diagramação dos ambientes e no programa de necessidade, dimensionou-se os ambientes o mais próximo do projeto modelo, chegando no croqui de planta baixa apresentado na Figura 04. Inicialmente, arbitrou-se 12 cm de espessura para as paredes e também para os pisos.

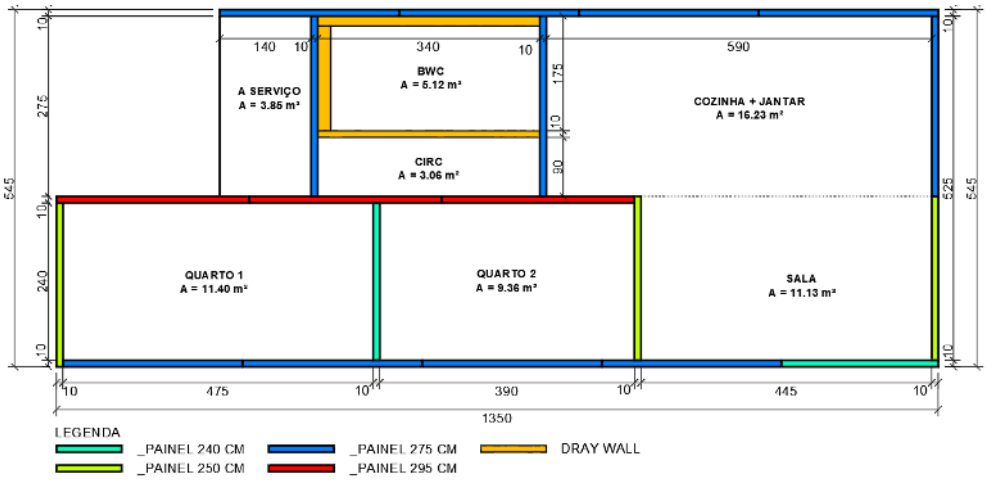
Figura 04: Croqui inicial dos ambientes



Fonte: o autor.

Para um estudo de modulação e divisão da edificação em placas de CLT, no qual foi necessário aprimorar e atualizar as dimensões dos cômodos para atender os tamanhos comerciais das placas de CLT (Figura 05), este foi modelado no Revit. Como o sistema construtivo em CLT não é uma forma de construção nativa no software REVIT, iniciou-se com o desenvolvimento das famílias de placas CLT e as de conexões para melhor representar o sistema construtivo.

Figura 05: Composição das placas CLT de uma unidade da edificação



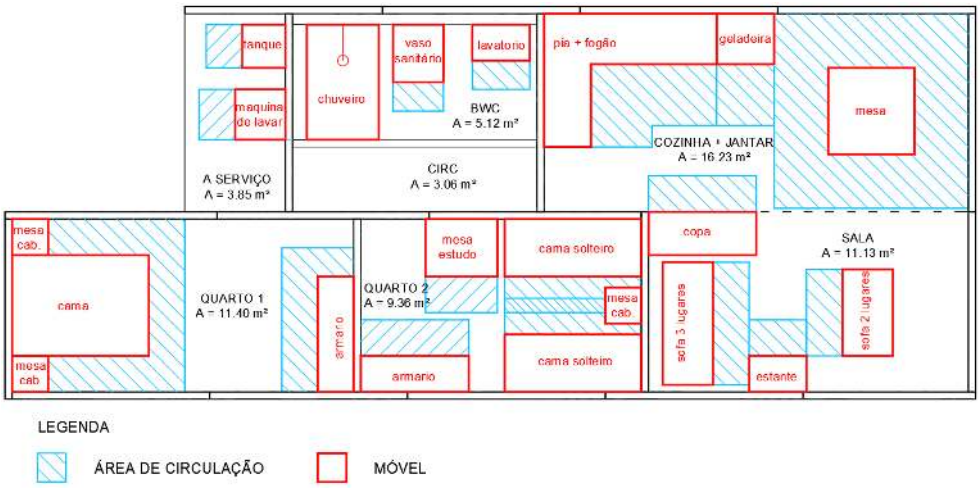
Fonte: o autor.

É importante salientar que a readequação do projeto precisou ser feita de modo que a área e as dimensões internas de cada ambiente fossem similares (ou superiores) ao programa de necessidades do projeto base. Como pode ser visto na Figura 05, aumentou-se a área do banheiro para otimização dos tamanhos das placas de CLT. Por isso, diminuiu-se o espaço entre as edificações geminadas e reduziu-se a espessura das placas das paredes para 10 cm, sendo que a espessura do piso permaneceu 12 cm.

Ressalta-se que a composição de placas de CLT em um eixo pode ser afetada pela composição de placas de outro eixo, gerando desencontros e criando frestas entre os eixos, deste modo, ao realizar alterações em um eixo precisa ser conferido e readequado os outros eixos.

A Figura 06 apresenta a planta baixa com estudo de leiaute quanto aos requisitos mínimos de circulação e mobiliário [11].

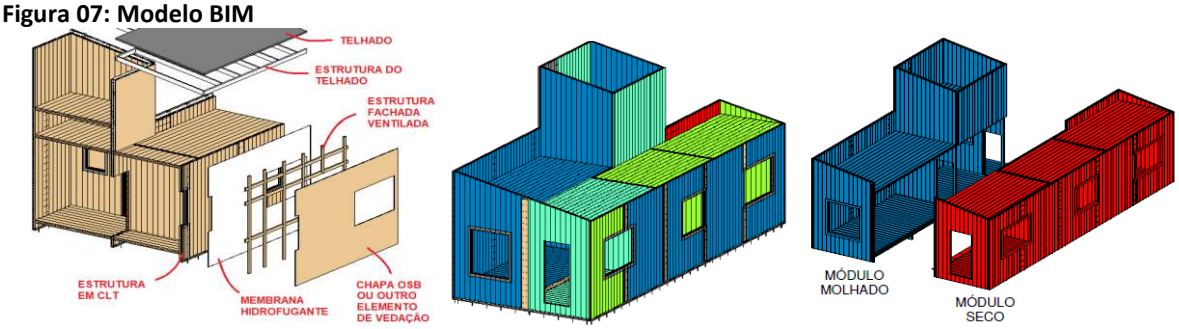
Figura 06: Estudo de layout conforme NBR 15.575



Fonte: o autor.

Na Figura 07 é apresentado o modelo digital BIM final onde se observa que o projeto possibilita que a edificação possa ser executada de forma painelizada, ou modular volumétrica, ou híbrida. Na Figura 07, apresenta-se da esquerda para a direita: a estrutura CLT e as camadas que compõem o sistema; a divisão do modelo em placas com largura fixa (placa verde com 2,40 m – placa ciano com 2,50m – placa azul com 2,75m – placa vermelha com 2,95m); e a divisão do modelo em módulos.

Figura 07: Modelo BIM



Fonte: o autor.

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS

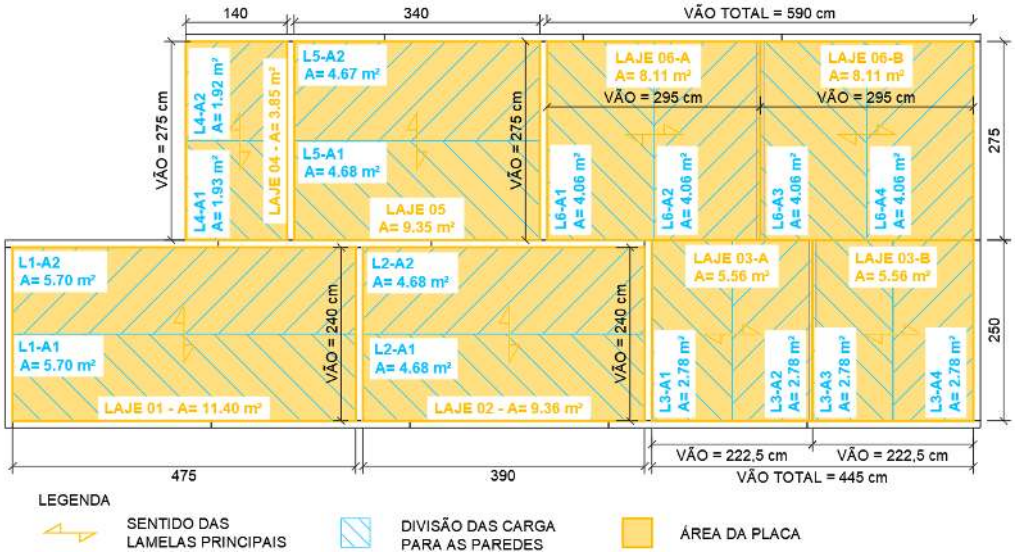
É importante ressaltar que a distribuição das cargas é determinada conforme a orientação das lamelas externas das placas CLT, com funcionamento similar às lajes com vigotas, ou seja, onde estiverem apoiadas as pontas das lamelas da camada externa da placa, será onde ocorrerá o descarregamento dos esforços. Por exemplo, na Laje 01 da Figura 08, as lamelas principais estão paralelas ao vão de 240 cm, descarregando as ações no mesmo sentido.

O pré-dimensionamento das lajes foi feito com base nas piores situações (Tabela 01), e o resultado foi replicado às demais lajes. Para as lajes com vão simples a pior situação foi na Laje L5 e para a laje de vão duplo foi na Laje L6.

Cruzando os valores das Lajes L5 e L6 presentes na Tabela 01 com as tabelas de pré-dimensionamento de lajes [12], chegou-se nas espessuras mínima de 90 mm para ambos os casos. Porém, adotou-se placas com espessura de 100 mm para padronizar

com a espessura das paredes calculadas na sequência, facilitando o processo de fabricação e montagem das placas.

Figura 08: Características geométricas das placas de piso e parede



Fonte: o autor.

Tabela 01: Carregamento das lajes em CLT

Laje	Área	Esp. Inicial	Vão Simples	Vão Duplo	Peso Próprio	Revest. + Imperm.	Carga Perm.	Carga Acidental	Resist. ao fogo
	m²	m	m	m	KN/m²	KN/m²	KN/m²	KN/m²	min
L5 (*)	9,35	0,12	2,75	-	0,66	1,11	1,77	2	30
L6 (*)	16,22	0,12	2,95	5,9	0,66	1,11	1,77	2	30
(*) Piores situações para as placas de CLT, onde a espessura calculada serão replicadas para as demais									

Fonte: o autor.

Para o pré-dimensionamento das paredes, dividiu-se o carregamento das lajes considerando-as como bi-apoiada, foi calculado a carga linear que cada laje transfere para a parede na qual está apoiada (Tabela 02). Como as lajes da cobertura também estão apoiadas nas paredes, por simplificação, optou-se por duplicar a carga das lajes do térreo contemplando o carregamento da cobertura (colunas G e H - Tabela 02). As paredes que recebem o maior carregamento são aquelas que suportam as lajes L2 e L5 simultaneamente, cujo cálculo foi detalhado abaixo e o resultado do pré-dimensionamento aplicado às demais paredes em CLT.

Tabela 02: Transferência das cargas da laje para as paredes

	A	B	C	D	E	F	G	H
Laje	Área	Largura da Placa CLT	Carregamento do Piso		Carga Linear da Laje		Carga Linear Total das Lajes (*)	
			Acidental	Perm.	Acidental	Perm.	Acidental	Perm.
	m²	m	kN/m²	kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
	-	-	-	-	A*C / B	A*C / B	2*E	2*F
L2-A2	4,68	3,9	2	1,66	2,40	1,99	4,80	3,98
L5-A1	4,68	3,4	2	1,66	2,75	2,28	5,51	4,57
(*) Multiplicou-se a carga linear da Laje por 2 de forma a considerar o carregamento da cobertura.								

Fonte: o autor.

Além do carregamento das lajes, também foi necessário calcular o peso próprio das paredes e de seus revestimentos (Tabela 3). Como a NBR 6120 não traz o peso para

fachadas ventiladas, utilizou-se compensatoriamente os valores do revestimento argamassado como o carregamento do revestimento, embora tal revestimento não seja utilizado para estruturas CLT. Considerou-se um revestimento de reboco com 2 centímetros em cada lado do painel CLT [13].

Tabela 03: Carregamento das paredes CLT

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Alt. da Parede	Esp. Placa CLT	Esp Total Revest.	Peso Próp.	Peso Revest. Parede	Carga Acident. Lajes	Carga Perm. Lajes	Carga Perm. Parede	Carga Acident Parede	Carga Perm Total Parede	Res. ao Fogo
m	m	m	kN/m²	kN/m²	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	min
-	-	-	-	-	-	-	A*(D+E)	(F)	(G)+(H)	-
3,3	0,1	0,04	0,55	0,76	10,31	8,55	4,323	10,31	12,88	30

Fonte: o autor.

Relacionando os valores das colunas (I), (J) e (K) presentes na Tabela 03 com as tabelas de pré-dimensionamento de parede [12], chegou-se a espessura mínima de parede de 100 mm.

Embora não exista comprimento de flambagem de 3,30 metros nas tabelas de pré-dimensionamento da Crosslam [12], adotou-se o comprimento de flambagem máximo existente, no caso 2,95 metros. Por ser adotado uma referência com comprimento de flambagem menor do que a realidade do projeto, seria prudente a utilização de paredes mais espessas do que os 100 mm utilizados, conferindo maior segurança ao pré-dimensionamento. Entretanto, de acordo com as tabelas da Crosslam [12], para uma resistência ao fogo de 30 minutos, a placa de 100 mm é capaz de resistir 20 KN/m de carga permanente e mais 60 KN/m de carga acidental, ou seja, a placa suporta quase o dobro do carregamento aplicado. Assim, com base no exposto, pode-se adotar a espessura das paredes com 100mm, padronizando todas as placas CLT em 100 mm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia BIM é uma importante aliada para o fluxo de trabalho das construções industrializadas. Este artigo focou somente na fase de modelagem de uma edificação residencial que pudesse ser feita de forma industrializada, usando madeira engenheirada, especificamente o CLT.

A proposta foi partir de um projeto arquitetônico residencial existente, e demonstrar o processo de modelagem 3D no *software* Revit para uma construção em CLT que pudesse ser tanto modular volumétrica, painelizada ou híbrida. Entretanto, o sistema construtivo em CLT não é uma forma de construção nativa no *software* REVIT, e fez-se necessário o desenvolvimento das famílias de placas CLT e das de conexões para melhor representar graficamente o sistema construtivo. Assim, a metodologia BIM na fase de modelagem possibilitou os estudos em um modelo digital de construção e foi fundamental para entender de forma tridimensional o funcionamento das composições das placas CLT, a segmentação da edificação em módulos e fundamentou o fluxo de projeto. Também proporcionou, de forma visual, um melhor entendimento do projeto devido às informações atribuídas durante a modelagem.

As diretrizes projetuais, no caso específico de edificações industrializadas em madeira engenheirada (CLT), possibilitaram esboçar um plano de ação, que nortearam e otimizaram a fase de projeto. Uma diretriz de projeto que poderia ter sido proposta, é ter uma edificação dividida em três módulos: seco; molhado; e um módulo específico para o reservatório de água. Uma limitação deste trabalho, dentro do conceito da metodologia BIM, é que os componentes desenvolvidos servem para serem manipulados de forma paramétrica e de quantificação, mas não tem dados que possibilitem análise energética e estrutural.

REFERÊNCIAS

[1] AGOPYAN, V., JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. 2a. ed. São Paulo, Blucher, 2011.

[2] OLIVEIRA, Paulo. **MODULAR BUILDING:** Benefícios da construção modular. BENEFÍCIOS DA CONSTRUÇÃO MODULAR. 2019. Disponível em: https://www.buildin.com.br/modular-building/. Acesso em: 10 ago. 2021.

[3] MODULAR BUILDING INSTITUTE (Estados Unidos da América). **What is Modular Construction?** Disponível em: https://www.modular.org/HtmlPage.aspx?name=why_modular. Acesso em: 04 jun. 2021.

[4] IDC (International Data Corporation). **Digital Transformation:** The Future of Connected Construction. 2020. Disponível em: <http://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation_The-Future-of-Connected-Construction.pdf > acesso em 11 ago. 2021.

[5] SMITH, Ryan E.; QUALE, John D.. **Offsite Architecture:** constructing the future. Reino Unido: Routledge, 2017.

[6] CTE. **Madeira engenheirada**: você conhece essa nova tecnologia construtiva? 2020. Disponível em: https://cte.com.br/blog/inovacao-tecnologia/madeira-engenheirada-voce-conhece-essa-nova-tecnologia-construtiva/. Acesso em: 09 jun. 2021.

[7] MASS TIMBER INSTITUTE (Canada). **Mass Timber Building Science Primer**. Toronto: [S.I.], 2021.

[8] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **APA PRG 320:** Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber. Tacoma (EUA): ANSI, 2019. 65 p.

[9] EASTMAN, Charles et al. **Manual de BIM:** um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2021. 592 p. Tradução de: Alexandre Salvaterra e Francisco Araújo da Costa.

[10] AUTODESK. **Inside look at project success with BIM**. Disponível em: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/bim/docs/adsk-bim-excellence-ebook.pdf. Acesso em: 12 ago. 2022. *E-book*.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1:** Edificações habitacionais — desempenho - parte 1: requisitos gerais. 5 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 98 p.

[12] CROSSLAM (São Paulo). **Cross Laminated Timber:** Pré-Dimensionamento. 2021. Disponível em: https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf. Acesso em: 14 dez. 2021.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:** Ações para o cálculo de estruturas de edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 61 p.