

MODELAGEM E DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR EM ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA: PROPOSTA DE FLUXO DE PROJETO

MODELING AND SIZING OF A MULTI-FAMILY BUILDING IN PREFABRICATED STRUCTURE: DEFINITION OF PROJECT FLOW

GABRIELA POLICARPO SOARES¹, ALAN RIZZATO ESPESSATO^{2*}

1. Acadêmica do curso de graduação do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá; 2. Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá (Departamento de Tecnologia).

* Rua/ Minas Gerais. 118, Jardim Cruzeiro, Cruzeiro do Oeste, Paraná, Brasil. CEP: 87400-000. arespassato2@uem.br

Recebido em 05/02/2025. Aceito para publicação em 17/02/2025

RESUMO

O processo de industrialização do setor da construção civil traz descrições e pontos a serem evidenciados a cada novo processo de construção, com a crescente comercialização de componentes construtivos, as estruturas pré-fabricadas ganham cada vez mais espaço neste cenário atual. O processo construtivo, embora específicos para o setor industrial permite novas tecnologias e processos precisos, a realização de construções que usualmente seriam feitas em alvenaria convencional, como o caso de construções habitacionais, com uso de peças pré-fabricadas. A partir do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a modelagem e dimensionamento de um edifício multifamiliar em estrutura pré-fabricada, vinculado com propostas de fluxo de projeto com o auxílio da metodologia BIM utilizando os softwares Revit e Eberick. O artigo abordará metodologias para os componentes construtivos, o dimensionamento das ligações estruturais, e a análise global dos componentes.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-Moldado, Concreto e Interoperabilidade.

ABSTRACT

The process of industrialization in the construction sector brings forth topics and points that need to be highlighted with each new construction process. Considering the commercialization of building components, prefabricated structures are gaining increasing relevance in the current scenario. It is evident that this construction process is geared toward the industrial sector; however, with new technologies and precise processes, it has become possible to construct buildings that are typically built using conventional masonry, such as residential constructions, from prefabricated parts. Based on the above, this paper aims to define the project workflow with the help of the BIM methodology using Revit and Eberick software, intending to model, analyze, and size a multifamily building with a prefabricated structure. The article will address modeling methodologies for building components, preliminary sizing of structural connections, and global analysis of the components.

KEYWORDS: Precast, Concrete and Interoperability.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, há uma problemática referente ao planejamento e execução das obras, mesmo com técnicas construtivas que podem reduzir custos e tempo de execução. El Debs (2017)¹ destaca que a construção civil ainda não utiliza metodologias tecnológicas, quando comparada a outros segmentos da indústria, isso reflete no baixo controle de qualidade e limitação na eficiência da linha de produção.

À medida que o processo de construção se torna cada vez mais industrializado, é necessário buscar estratégias sustentáveis e que reduzam o desperdício de materiais, e do tempo de execução. Acker (2002)² enfatiza que a forma mais eficaz de industrializar a construção civil é transferir o trabalho realizado nos canteiros para as fábricas, tornado a produção mais eficiente e racional, devido a um sistema de controle de qualidade estratégico e efetivo.

Considerando essas características, o modelo de construção em concreto pré-moldado ou pré-fabricado se destaca como uma técnica tecnológica. Esse processo oferece eficiência desde a concepção do projeto até o acabamento, tornando-se adequado para diferentes tipos de construções industriais e habitacionais. A ABNT NBR 9062 (2017)³ define concreto pré-moldado como o elemento que é previamente moldado fora do local de utilização definido na estrutura, já o concreto pré-fabricado é o elemento executado industrialmente em instalações permanentes de empresas destinada a esse fim.

O setor de obras multifamiliares em concreto pré-fabricado (CPF), foco do presente trabalho, oferece vantagens em relação a alternativas construtivas. No geral, um pavimento de concreto moldado *in loco* leva cerca de duas semanas para ser concluído, enquanto no CPF o pavimento pode ser erguido em três dias. Jones (2019)⁴ evidencia a agilidade desse tipo de construção, em um edifícios de 18 pavimentos, há uma redução de cerca de 25 semanas para sua entrega.

Grinover (2018)⁵, abordou em sua pesquisa o Conjunto habitacional de “Via Cenni” em Milão, onde destacou o modelo construtivo utilizado, que combina

estrutura de concreto pré-fabricado com fechamento em madeira, ressaltando a agilidade e custo benefício do projeto, visando a implementação da estratégia construtiva no Brasil.

A partir do exposto, com a crescente demanda por imóveis com baixo valor investido e agilidade na construção, é necessário analisar o cenário onde empreendimentos possam ser construídos a partir de metodologias práticas, sem perder a qualidade e eficiência estrutural. Acker (2002)² discute o potencial das estruturas pré-fabricadas, destacando o desempenho estrutural e durabilidade relacionando com obras moldadas *in loco*, devido otimização dos materiais, alcançado pelo uso de equipamentos modernos e procedimentos alinhados.

Para otimizar as estratégias e contribuir no dimensionamento, a engenharia civil utiliza diferentes softwares que auxiliam no cálculo de estruturas e detalhamentos, utilizando parâmetros pré-definidos e normatizados. O artigo em questão, irá contar com o auxílio do software Revit (2024), para modelar a arquitetura do edifício, Eberick (2024) para o lançamento estrutural, Ciclone e Ftool para o cálculo das ações e forças atuantes na estrutura, e o programa SMath para cálculos manuais e verificações. A partir dos programas Revit (2024) e Eberick (2024), é possível realizar a compatibilização dos componentes arquitetônicos e estruturais, vinculando a metodologia BIM, a interoperabilidade dos mesmos, auxiliará na melhor gestão de projeto.

Nota-se que atualmente, a abordagem do uso pré-fabricados em unidades multifamiliares ainda é limitada. Diante desse cenário, o presente trabalho busca potencializar soluções para o método construtivo, por meio de um fluxo de projeto, no qual será realizada a modelagem da edificação, dimensionamento dos principais componentes estruturais visando sua padronização, e relacionando uma análise estrutural da edificação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A análise e o dimensionamento terão como base as normas ABNT NBR 9062 (2017)³ Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, ABNT NBR 6118 (2023)⁶ Projeto de estruturas de concreto-procedimentos, além do livro: Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações El Debs (2017)⁴. Os carregamento e esforços serão determinados conforme a ABNT NBR 6120 (2019)⁷ Ações para o cálculo de estruturas de edificações, ABNT NBR 6123 (2023)⁸ Forças devido ao vento em edificações, e ABNT NBR 8681 (2003)⁹, Ações e segurança nas estruturas – procedimento.

A metodologia aplicada conta com a modelagem inicial da edificação, onde relaciona seus parâmetros e dimensões construtivas, partindo para análise da principal ação relacionada a edificação vinculando as normativas, posterior a isso será realizado o pré-dimensionamento da principal ligação das estruturas pré-fabricadas, delimitando parâmetros e dimensões

iniciais aos componentes, além do lançamento estrutural e análise global, comparando parâmetros processuais e manuais.

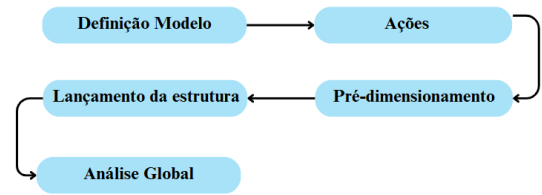


Figura 1. Fluxograma. Fonte: Autora 2024

Definição do modelo estrutural

O edifício multifamiliar é constituída pela térreo, dois pavimentos tipo e a caixa d'água. A edificação têm 4 apartamentos por andar, com uma área útil de 60m² por apartamento. As dimensões totais serão 13m de largura por 28m de comprimento, conforme mostrado em planta na Figura 2. A estrutura contará com 34 pilares de 9.50 m, conforme a planta na Figura 3, e 42 vigas por andar, como ilustrado na Figura 4.

O projeto foi modelado no software Revit (2024) com o intuito de detalhar e integrar informações geométricas e não-geométricas da edificação, para posterior análise de dimensionamento estrutural vinculando-o a outro programa. A seguir, é possível verificar a modelagem.

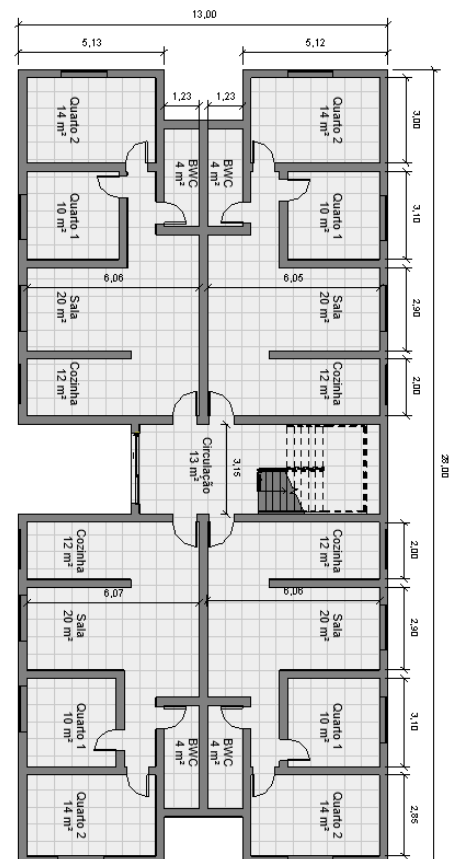


Figura 2. Planta baixa do edifício em análise. Fonte: Autora 2024

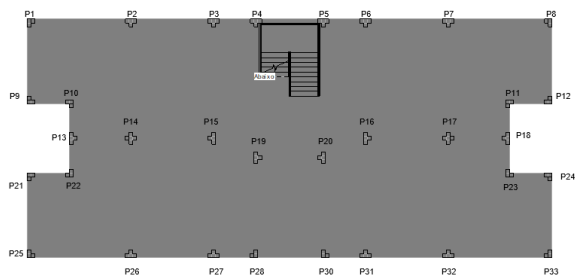


Figura 3. Planta baixa alocação dos pilares. Fonte: Autora 2024.

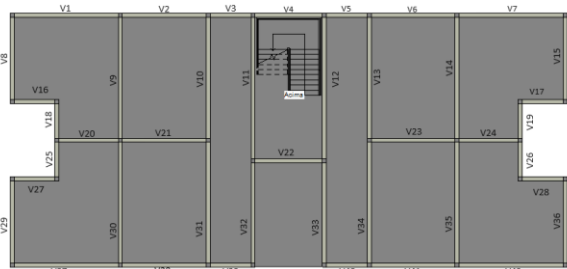


Figura 4. Planta baixa alocação das vigas. Fonte: Autora 2024

A Figura 5 apresenta a concepção geral do edifício.



Figura 5. Edifício. Fonte: Autora 2024.

Ação do Vento

O software Ciclone auxiliará na obtenção das cargas dos ventos de forma prática, baseando-se na ABNT NBR 6123 (2023)⁸. Para fins de projeto, por conveniência foram adotados parâmetros da região noroeste do Paraná, vinculando padrões de relevo e terreno da cidade de Umuarama.

A análise, exigirá considerações de diferentes fatores, como a velocidade característica do vento (V_0), relacionada à região pré-definida da edificação, fatores de terraplenagem, que consideram variações no relevo do terreno (S1), condições relacionadas as dimensões do edifício (S2), que influenciam sua estabilidade, e o fator estatístico (S3), considerando o grau de segurança requerido na vida útil da edificação. Os parâmetros para o cálculo das ações do vento serão delimitados conforme a Tabela 1.

A partir destes parâmetros, determina-se a de pressão característica, coeficiente e força de arrasto, além do momento de tombamento da edificação, considerando as cargas horizontais na altura da edificação.

Tabela 1. Parâmetros da NBR 6123 para cálculo do vento

V_0	S1	Cat. do Terreno	Classe 0°	Classe 90°	S2 0°	S2 90°	S3
47 (m/s)	1	IV	A	B	0.843	0.870	1

Em que: Cat. do Terreno = Categoria do Terreno. Fonte: Autora (2024)

Pré-Dimensionamento das Lajes Alveolares

Lajes alveolares ou painéis alveolares podem ser previstas através de manuais de fabricantes relacionando sua espessura e carga atuante, onde esses manuais relacionando as normas ABNT NBR 6118 (2023)⁶ e ABNT NBR 6120 (2017)⁷. El Debs (2017)¹, define que os vazamentos dos elementos podem ser de seção transversal de forma circular, oval, “pseudo” elipse e retangular, podendo ser produzidas em formas deslizantes em pistas de concretagem, em diferentes comprimento. Podemos observar o modelo genérico adotado para o dimensionamento na Figura 6.

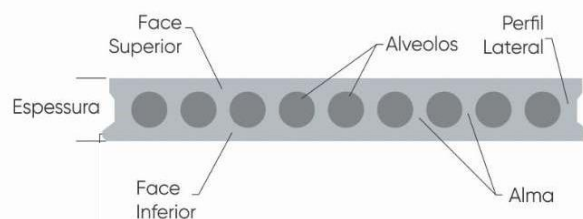


Figura 6. Modelo Laje Alveolar em corte. Fonte: Autora 2025

As características das lajes são definidas pela espessura, incluindo seu peso próprio, que varia conforme a carga permanente atuante. Com base no livro El Debs (2017)¹, considera para lajes alveolares faixas de vãos que podemos observar na Tabela 2.

Tabela 2. Considerações sobre painéis alveolares

	Vão	Largura	Altura
Usual (m)	$5 \leq \text{vão} < 15$	$1 \leq \text{larg.} < 1.2$	$0.15 \leq \text{alt.} < 0.30$
Protensão (m)	$\text{vão} \geq 15$	$\text{Larg.} \geq 2.5$	$\text{Alt.} \geq 0.50$

Fonte: Adaptado El Debs (2017).

Para o dimensionamento da laje alveolar, é necessário consultar os manuais de fabricantes e verificar seu vão e demanda de carga atuante.

Ligações

A ABNT NBR 9062 (2017)³ estabelece as ligações entre os elementos pré-fabricados, definindo os comportamentos destas ligações como articuladas, semirrígidas e rígidas. A edificação em análise apresenta duas ligações: a de viga-pilar, que relaciona os elementos consolo e dente, além da ligação pilar fundação que vincula o pilar com o cálice de fundação. A ligação de fundação será apresentada apenas para efeito de modelagem.

Ligação Viga-Pilar

A ligação viga-pilar é definida como articulada para elementos pré-fabricados. Vinculando os componentes, consolo, estrutura que se projetam dos pilares e serve de apoio ao dente gerber, elemento que gera recorte na viga,

vinculado com o aparelho de apoio (elastômetro) que é empregado para promover uma distribuição uniforme de tensões. Esse é o tipo de ligação mais comum para elementos pré-fabricados. A Figura 7 apresenta o modelo geométrico das ligações.

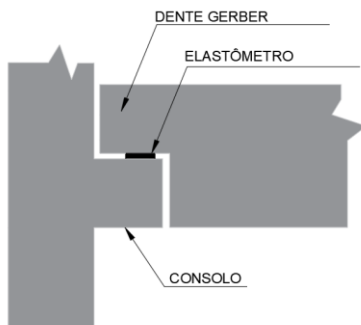


Figura 7. Geometria da ligação. Fonte: Autora 2024

O comportamento e dimensionamento dos elementos é aproximado e projetado por dois métodos distintos: o método da biela e tirante para consolos curtos, e o modelo de atrito-cisalhamento para consolos muito curtos. Os cálculos utilizarão a metodologia de El Debs (2017)¹ para a definir os componentes e realizará análise da tensão na biela.

É necessário identificar o método em que o consolo se enquadra, o que é definida na Tabela 3.

Tabela 3. Modelo de cálculo.

Relação	Tipo de consolo	Método
$1.0 < a/d < 2.0$		Considerar como viga
$0.5 \leq a/d \leq 1.0$	CURTO	Biela e tirante
$a/d \leq 0.5$	MUITO CURTO	Atrito-cisalhamento

Em que: a=distância da força a face do pilar e d=altura útil do consolo. Fonte: Autora (2024).

Para o dimensionamento, é necessário determinar a distância da força (R_c) definida pela Equação 1, à face do pilar Equação 2, além da altura útil do consolo pela Equação 3, a fim de encontrar o método adequado. Em seguida, é possível calcular a tensão de compressão pela Equação 4, e sua taxa de armação, a seguir na Figura 8 apresenta os componentes do método e suas equações.

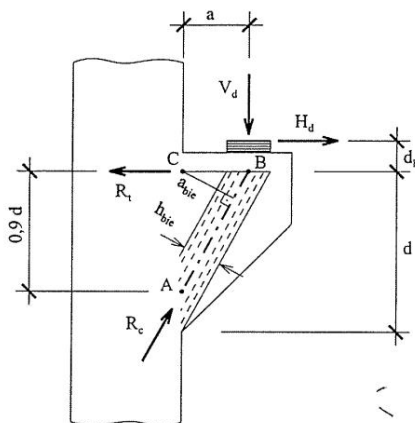


Figura 8. Análise geométrica do consolo. Fonte: El Debs (2017)¹.

$$R_c = \frac{w \cdot l_0}{2} \cdot \gamma_n \tag{1}$$

Em que:

w= Força total;

l_0 = Vão efetivo;

γ_n = Coeficiente de ajustamento.

$$a_{biela} = \frac{0.9 \cdot a}{\sqrt{(0.9)^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2}} \tag{2}$$

$$h_{biela} = 0.2 \cdot d \tag{3}$$

$$\sigma = \frac{R_c}{0.2 \cdot b \cdot d} \tag{4}$$

Em que:

R_c = Força cortante majorada;

b = comprimento do consolo.

Por fim, para realizar uma análise completa é necessário verificar a tensão atuante no consolo e dente, a partir da Equação 5 referente a ABNT NBR 9062 (2017)³:

$$\begin{cases} \sigma_{rd} \leq f_{cd} \rightarrow \text{Consolo} \\ \sigma_{rd} \leq 0.85 f_{cd} \rightarrow \text{Dente} \end{cases} \tag{5}$$

Em que:

f_{cd} = Resistência característica do concreto minorada por um coeficiente de segurança.

A partir da delimitação das dimensões do consolo, é possível definir parâmetros mínimos para pilares e vigas.

Lançamento Estrutural

Após modelar o projeto arquitetônico no Revit (2024), é possível lançar os componentes estruturais pré-fabricados. Para isso, será necessário ajustar o arquivo para o formato IFC (Industry Foundation Classes) e instalar plugins, a fim de iniciar a interoperabilidade com o Eberick (2024), permitindo modelagem estrutural vinculando os modelos.

Após vincular o arquivo IFC, o Eberick associa automaticamente as referências de pavimento, descrição, repetições, entre outros. Os arquivos são organizados por pavimentos e suas respectivas plantas são inseridas, permitindo o início do lançamento estrutural. O Eberick, disponibiliza diferentes configurações estruturais seguindo as normas ANBT NBR 6118 (2023)⁶, ABNT NBR 9062 (2017)³, entre outras normas específicas, a partir disso, o software realiza as configurações necessárias pré-definida e oferece autonomia ao projetista para ajustá-las conforme análise específica de projeto.

Para pilares, vigas e lajes alveolares, os parâmetros

serão determinados com base no pré-dimensionamento citado anteriormente, o que agiliza o processo de lançamento estrutural. O lançamento também incluirá consolos e dentes que também foram pré-dimensionados.

Análise Global

Avaliar a estabilidade global de um conjunto de elementos estruturais desempenha um fator determinante para a concepção estrutural, pois garante a segurança contra a perda de capacidade de resistência devido ações horizontais. Na análise de estabilidade global, calcula-se os esforços a partir da geometria inicial da estrutura sem deformação, sendo chamados de efeito de primeira ordem, os esforços decorrentes da deformação da estrutura são relacionados aos efeitos de segunda ordem, conduzindo a não linearidade. A ANBT NBR 6118 (2023)⁶, relaciona diferentes coeficientes para análise estrutural dos componente, dentre eles o coeficiente alfa (α), que relaciona parâmetros de instabilidade na estrutura, porem o trabalho não irá relacionar o cálculo manual do mesmo, pois para fins comparativos o software utilizado na análise não emprega em sua metodologia este coeficiente.

No software Eberick, a análise segue os padrões da que avalia a estabilidade por meio do coeficiente gama-z (γ_z), que classifica a estrutura quando a deslocabilidade dos nós.

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2023)⁶, considera-se que a estrutura possui nós fixos quando atende a condição $\gamma_z \leq 1.10$. A Equação 6, apresentada a seguir, especifica o cálculo do coeficiente gama-z:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (6)$$

Em que:

$\Delta M_{tot,d}$ = Momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação a base da estrutura;

$M_{1,tot,d}$ = É a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais, de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos na análise de primeira ordem.

A metodologia analítica do software, permite comprar os resultados com a equação especificada na norma que também estabelece que, para valores $1.10 \leq \gamma_z < 1.30$, que correspondem a estruturas com nós móveis, é necessário aplicar a majoração adicional dos esforços, conforme indicado na Equação 6:

$$\{1.10 \leq \gamma_z < 1.30 \rightarrow 0.95 \cdot \gamma_z \quad (6)$$

O processo de análise também inclui o coeficiente $p\Delta$, que avalia a influência dos esforços de segunda ordem, visto que seu processo é iterativo. Esse coeficiente é utilizado sobretudo para estruturas de nós

móveis a ABNT NBR 6118 (2023)⁶, enfatiza a importância dessa análise a partir do coeficiente $\gamma_z \geq 1.30$.

Avaliar visualmente, por meio do diagrama unifilar ou deslocamento no estado limite último, também constitui um método para verificar a estabilidade estrutural.

3. RESULTADOS

Ação do vento

As velocidades do vento e suas respectivas pressões para as incidências a 0 e 90 graus são apresentadas na Tabela 4, com os resultados obtidos através do software Ciclone.

Tabela 4. Pressão característica

	Vento a 0°	Vento a 90°
Velocidade característica (m/s)	41.31	40.04
Pressão característica (kN/m ²)	1.05	0.98
Força de arrasto (kN)	133.80	330.20
Momento M_t (kN.m)	802.80	1981.40

Fonte: Autora (2024).

Lajes Alveolares

Para o dimensionamento das lajes alveolares, utilizou-se o ábaco da Cassol pré-moldados. A espessura do painel é definida com base na carga pelo vão, a Tabela 5 apresenta a relação entre essa carga e a carga variável:

Tabela 5. Vão e carga na laje

Vão (m)	Carga variável (kgf/m ²)	Sobrecarga (kgf/m)
5.15	300	1545
3.25	300	975

Fonte: Autora (2024).

A partir do cálculo, é possível realizar a análise dos ábacos. A espessura que atende à demanda sobrecarga na laje relacionando o maior e menor vão, foi definida e padronizada com 20cm, a Figura 9 apresenta o gráfico e a relação CargaxVão:

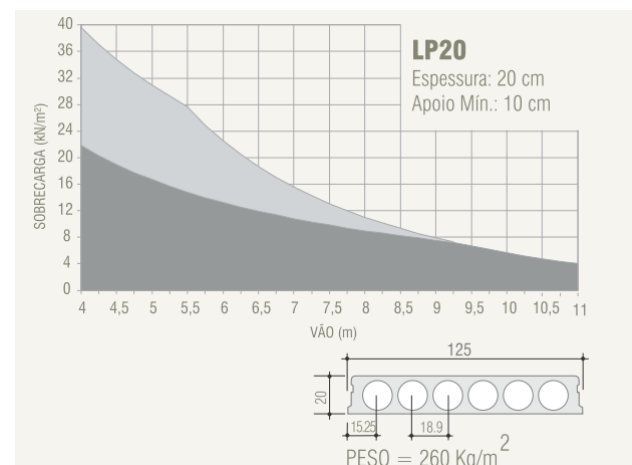


Figura 9. Espessura laje. Fonte: Cassol pré-moldados.

Deste modo, partindo da padronização dos

componentes é possível definir a carga permanente da laje, com intuito de calcular depois componentes a estrutura.

Ligação Viga-Pilar

Para definir o método de dimensionamento dos consolos e dentes, iniciou-se pela determinação das cargas atuantes na estrutura. Optou-se por analisar as vigas de maior e menor vão V1 e V3, para demonstração dos cálculos dos componentes (consolo e dente). A seguir, a Tabela 6 apresenta as cargas e sobrecargas atuantes:

Tabela 6. Cargas

Carga Permanente (kgf/m)		Carga Variável (kgf/m)		
Viga	Laje	Alv.	Rev.	Laje
450	1339	665.62	515	1545
450	865	655.62	325	975

Em que: Alv.=alvenaria e Rev.=revestimento. Fonte: Autora (2024).

Em seguida, calcula-se a força cortante incidente na viga em sua primeira e segunda seção. A seguir, apresentam-se os valores correspondentes na tabela 7:

Tabela 7. Cortante

Vão (m)	w (kgf/m)	γ_n	R1 (kgf)	R2 (kgf)
5.96	4514.62	1.0	26907.13	26907.13
2.21	3260.60	1.0	7205.97	7205.97

Fonte: Autora (2024).

Assim, calcula-se a relação a/d para identificar o método de verificação. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Dados consolo e dente

		l (cm)	h (cm)	a (cm)	d (cm)	a/d	R_c (kgf)
Maior vão	Consolo	25	30	14.5	26.4	0.55	32147.98
	Dente	25	35	26.63	26.4	1.00	40853.12
Menor vão	Consolo	25	30	14.5	26.4	0.55	8609.52
	Dente	25	35	26.63	26.4	1.00	10940.83

Em que: l= largura; h=altura. Fonte: Autora (2024).

Posterior a isso, identifica-se que o método a ser utilizado é o da biela e tirante, metodologia apresentada na Tabela 3. Com isso, é possível calcular a tensão atuante no consolo e verificá-la conforme a ABNT NBR 9062 (2017)³. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Tensão na biela

		σ (kgf/cm ²)	f_{cd} 9062 (kgf/cm ²)
Maior vão	Consolo	202.95	5098.58
	Dente	257.91	4333.79
Menor vão	Consolo	60.57	5098.58
	Dente	70.08	4333.7939

Fonte: Autora (2024).

Com isso, conclui-se que os parâmetros delimitados e o método escolhido atendem às normativas.

Lançamento Estrutural

A partir do vínculo do arquivo IFC, é possível definir os parâmetros de projeto necessários para o lançamento estrutural do edifício. Com o dimensionamento do consolo e dente gerber, podemos relacionar a seção mínima das vigas e pilares (30 cm), é possível definir a seção final de dimensionamento, em que foi relacionado pilares de 30cm por 45cm e vigas de 30cm por 60cm. A Figura 10 apresenta o esqueleto estrutural lançado no programa.

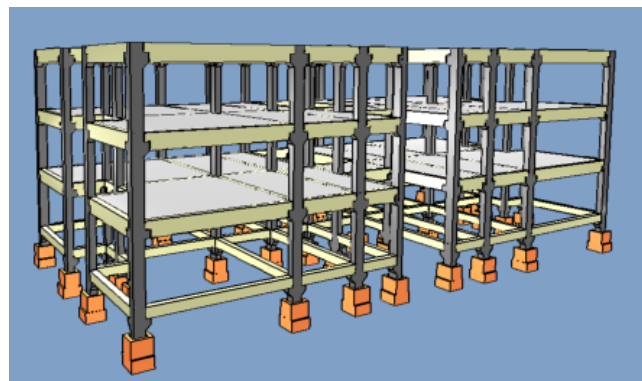


Figura 10. Esqueleto estrutural. Fonte: Eberick.

Análise Global

Para analisar a estrutura a estabilidade da estrutura obtiveram-se os seguintes resultados a partir do processamento estrutural no programa. A Tabela 9 apresenta os valores de maior influência na estrutura

Tabela 9. Análise do gama-z

γ_z	Ref.	Nós
1.18	1.10	Móveis
1.25	1.10	Móveis
1.24	1.10	Móveis
1.24	1.10	Móveis

Em que: Ref.: referência. Fonte: Autora (2024).

Para fins comparativos, foi realizado os cálculos manuais, a fim de verificar a análise do software. Com a predefinição de cargas totais e o auxílio do programa Ftool, estima-se o deslocamento de primeira ordem no edifício. A Figura 11 apresenta as cargas horizontais e verticais estimadas no sistema:

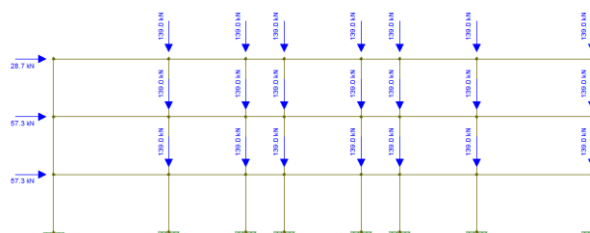


Figura 11. Cargas no pórtico. Fonte: Ftool.

A Figura 12, mostra o deslocamento relacionado com as cargas atuantes.

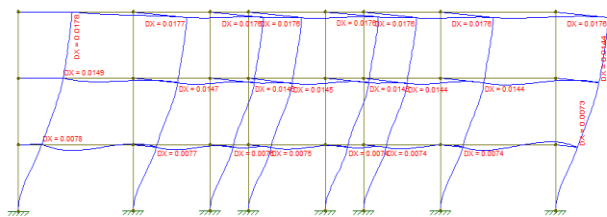


Figura 12: Deslocamentos. Fonte: Ftool.

Após a análise de deslocamento, estima-se os momentos $\Delta M_{tot,d}$ e $M_{1,tot,d}$, realizando a verificação em comparando-os aos resultados obtidos no Eberick. A Tabela 10, apresenta os valores dos momentos por pavimento:

Tabela 10. Valores de cálculo

Andar	Cota (m)	Fh (kN)	$M_{1,tot,d}$	Fv (kN)	d (m)	$M_{tot,d}$
3°	9	28.66	257.94	4586.4	0.018	82.09
2°	6	57.33	343.98	4586.4	0.014	66.04
1°	3	57.33	171.99	4586.4	0.007	33.48
Térreo	0	0	0	0	0	0
Σ			773.91			181.62

Fonte: Autora (2024).

Com isso é possível verificar o coeficiente, comparando-o com a análise processual.

$$\gamma_z = 1.29 \rightarrow \text{nós móveis}$$

Com isso é possível verificar e comparar os resultados de cálculo manual.

Considerando que há valores $1.10 \leq \gamma_z < 1.30$, é necessário a análise de segunda ordem, a Tabela 11 apresenta os valores de γ_z majorados.

Tabela 11. Efeitos de segunda ordem

γ_z	$0.95 \cdot \gamma_z$
1.18	1.12
1.25	1.19
1.24	1.18
1.24	1.18

Fonte: Autora (2024).

A análise visual de descolamento (flecha dos elementos) a partir do estado limite último é apresentada na Figura 13 a seguir, com valores de deslocamento entre 0 cm e 1.2 cm.

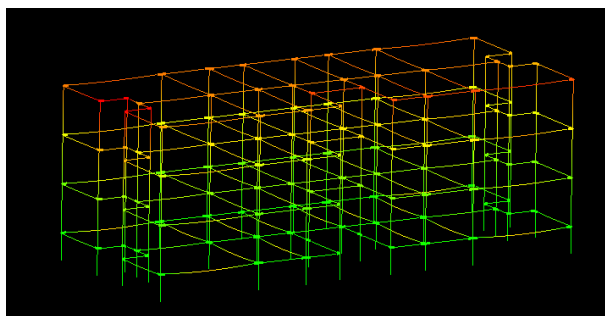


Figura 13. Pórtico unifilar. Fonte: Eberick.

4. DISCUSSÃO

Inicialmente, o trabalho teve como intuito apresentar uma proposta de fluxo de projeto, partindo da modelagem da edificação, passando então para relação da análise da principal ação de cálculo, vinculando-a com o dimensionamento da principal ligação de estruturas pré-fabricadas, a partir disso foi possível relacionar a menor seção para os componentes principais de lançamento dentro do software, tornando o processo mais otimizado.

A ABNT NBR 6123 (2023)⁸, relaciona a ação do vento para edificações maiores do que quatro pavimentos, porém para fins comparativos ao programa estrutural utilizado houve a necessidade de vincular e realizar o cálculo manual dessa ação. Posterior a relação dos fatores característicos e regionais, resultou em coeficientes de arrasto próximos ao relacionar vento a 0° e 90°, com uma força de arrasto superior para o vento de 90°, já prevista por vincular a maior dimensão da edificação.

El Debs (2017)¹ caracteriza a complexidade do dimensionamento de lajes alveolares, e relaciona a utilização de ábacos de fabricantes para a otimização de cálculo. Relacionando os ábacos da Cassol pré-moldados, foi possível definir como espessura 20cm. Para o menor vão há possibilidade de diminuir a espessura para 15cm, o intuito dos componentes pré-fabricado é evidenciar a padronização, desde modo a espessura relacionada ao maior vão atende abas necessidades de carga.

A ABNT NBR 9062 (2017)³, define a ligação vigapilar, partindo do consolo e dente gerber relacionando características e metodologias para o seu dimensionamento, a metodologia utilizada foi a da biela e tirante, relacionada ao coeficiente a/d, trazendo comparativo do maior e menor vão das vigas dentro da edificação, apresentado resultados dentro das verificações normativas, sendo eles apresentadas folgas significativas de tensão, a partir das seções apresentadas dessa ligação foi possível definir as seções mínimas para vigas e pilares.

Partindo desse ponto, é evidente que o fluxo de trabalho se torna mais prático, ao levar esses resultados ao programa de dimensionamento, não há necessidade de realizar inúmeros testes de seções dos componentes, reduzindo assim o retrabalho dentro do projeto.

O trabalho exemplifica parâmetros de utilização vinculadas com a normativa técnica, ABNT NBR 6118 (2023)⁶ e ABNT NBR 9062 (2017)³, evidenciando o conceito com a efetiva análise final, comparando a análise manual e processual, tem-se uma comparação efetiva. Nota-se que a definição de processos gera um fluxo efetivo de projeto, onde é vinculado a modelagem, cálculo, e análise dos componentes.

5. CONCLUSÃO

O trabalho teve como intuito principal demonstrar a aplicação de estruturas pré-fabricadas em um seguimento diferente do convencional, a partir dos

resultados obtidos, é evidente que há um potencial no método construtivo vinculado com edifícios multifamiliares, especialmente no que diz respeito à otimização de tempo e recursos de projeto.

A metodologia aborda pontos importantes de dimensionamento, em estruturas pré-fabricadas temos que o a ligação vila-pilar são componentes determinantes, seguindo características intrínsecas a essa metodologia, que foram calculados visando a melhor estratégia de dimensionamento. Integrando metodologias de projeto com o auxílio da tecnologia BIM, representadas pelos softwares Revit e Eberick.

A interoperabilidade utiliza nos programas de modelagem e análise, contribuem para um processo otimizado, possibilitam ao projeto uma solução estrutural robusta, que atende as análises de desempenho.

O presente trabalho pode vincular diferentes linhas de pesquisas futuras, focadas tanto no detalhamento dos componentes modelados, no cálculo aprofundado das ligações, quanto no dimensionamento final da estrutura projetada.

Por fim, o estudo reforça o potencial das estruturas pré-fabricadas para atender às demandas do setor, alinhando eficiência construtiva e qualidade técnica. A abordagem apresentada contribui para estudos das práticas de projeto e execução, consolidando este método como uma alternativa compatível e viável para edificações multifamiliares.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UEM – Universidade Estadual de Maringá, Campus Tecnologia de Umuarama e à AltoQi pela licença concedida para estudo.

7. REFERÊNCIA

- [1] Debs MKE. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações 2 ° ed. São Paulo: Light. 2017.
- [2] Arnold VA. Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto FIB. Light: 2003.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro. Light: 2017.
- [4] Jones G. Precast in Tall Building. Anais FIP GEORGE, 2019; 6: 102 slides. [acesso 17 ago. 2024]. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/561031811/Precast-Concrete-in-Tall-Building-Slides-FIB-GEORGE-JONES>.
- [5] Grinover E. O conjunto habitacional de “Via Cenni” em Milão como contribuição para habitações sociais de madeira no Brasil. [monografia] São Paulo: Universidade de São Paulo. 2018.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto-procedimentos. Rio de Janeiro. Light: 2023.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro. Light: 2019.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro. Light: 2023.

- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro. Light: 2003.