

Análise Comparativa De Dimensionamento De Elemento Horizontal Em Concreto Armado, Madeira E Aço

Luciana Priscila Gomes Da Silva

Estudante de Engenharia Civil, Jaboatão dos Guararapes-PE, Brasil, E-mail: lucianapriscila9@gmail.com

Monique Karoline Thury de Oliveira

Estudante de Engenharia Civil, Jaboatão dos Guararapes-PE, Brasil, E-mail: moniquethury@gmail.com

André Leal

Professor do Curso de Engenharia Civil, UniFG, Jaboatão dos Guararapes-PE, Brasil, E-mail: andre.leal@unifg.edu.br

RESUMO: A construção civil no Brasil tem foco em estruturas de concreto armado, deixando pouco espaço para outros materiais serem utilizados. A madeira e aço são elementos presentes em construções civis usuais, seja na armação do concreto, formas, móveis ou cobertas, contudo os referidos materiais possuem propriedades estruturais pouco exploradas. Este artigo trata de uma análise estrutural comparativa de elemento horizontal (viga) em concreto armado, aço e madeira, através do dimensionamento da seção do mesmo, visando explorar as vertentes que condicionam a melhor escolha de material estrutural, de acordo com a carga da estrutura e custo. Este comparativo visa expor as melhores formas e vantagens de cada material de acordo com a sua aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto estrutural, viga, dimensionamento, estrutura de concreto, estrutura de madeira, estrutura de aço.

ABSTRACT: Civil construction in Brazil focuses on reinforced concrete structures, leaving little room for other materials to be used. Wood and steel are elements present in common civil constructions, whether in concrete frames, shapes, furniture or roofs, however, these materials have structural properties that are little explored. This article deals with a comparative structural analysis of a horizontal element (beam) in reinforced concrete, steel and wood, through the dimensioning of its section, aiming to explore the slopes that determine the best choice of structural material, according to the load of the structure and cost. This comparison aims to expose the best forms and advantages of each material according to its application.

KEYWORDS: Structure, beam, dimensioning, concrete, wood, steel.

1 INTRODUÇÃO

O engenheiro ao planejar e desenvolver seu projeto de estrutura deve obter todas as informações da arquitetura para estudar as diferentes possíveis soluções, levando em consideração o processo construtivo (materiais e grau de dificuldade) e viabilidade econômica. A competitividade de um sistema estrutural está diretamente influenciada das características próprias de cada sistema em conjunto com uma configuração correta do método construtivo, verificando e adotando as escolhas certas para o melhor desempenho do método construtivo na obra em análise (PINHO, 2008).

No Brasil, usamos concreto armado em diversas construções, tendo elas diferentes cargas e em todos os grupos de agressividade. Sabemos que o concreto armado tem um preço acessível e uma boa durabilidade, porém pode não ser a melhor opção para todos os projetos estruturais.

Tendo isso em mente, é viável que haja um melhor estudo de viabilidade do projeto estrutural, para que seja possível a utilização de outros materiais, de forma assertiva, levando em conta o meio de agressividade, solicitação de carga e custo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o dimensionamento estrutural do concreto, aço e madeira, em função de sua viabilidade econômica e de execução.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a solicitação de carga da estrutura;
- Dimensionar os elementos estruturais;
- Comparar os resultados estruturais;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Dimensionamento de estrutura

O cálculo, ou dimensionamento, de uma estrutura deve garantir que ela suporte, de forma segura, estável e sem deformações excessivas, todas as solicitações a que estará submetida durante sua execução e utilização. O dimensionamento, desta forma, consiste em impedir o colapso da estrutura ou determinadas partes da mesma. Por ruína, não se entende apenas o perigo de ruptura, que ameaça a vida dos ocupantes, mas também as situações em que a edificação não apresenta um perfeito estado para utilização, devido a deformação excessivas, fissuras inaceitáveis etc.

De acordo com o item 14.2.1 da ABNT NBR 6118:2014, o objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações de estados limites últimos e de serviço. A análise estrutural permite estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos em uma parte ou em toda estrutura. [4]

O engenheiro ao planejar e desenvolver seu projeto de estrutura deve obter todas as informações da arquitetura para estudar as diferentes possíveis soluções, levando em consideração o processo construtivo (materiais e grau de dificuldade) e viabilidade econômica. A competitividade de um sistema estrutural está diretamente influenciada das características próprias de cada sistema em conjunto com uma configuração correta do método construtivo, verificando e adotando as escolhas certas para o melhor desempenho do método construtivo na obra em análise. [5]

3.2 Agressividade do meio ambiente

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto. [1]

Elementos de madeira são suscetíveis à deterioração devido às intempéries, variações de condições ambientais, ataques de microrganismos e a própria ação do homem. Desta maneira, a preservação da madeira com a aplicação de preservantes ignífugos e acabamentos superficiais tem a função de desenvolver processos que visem o retardamento de sua deterioração. [8]

Os componentes de aço da estrutura devem ser dimensionados para tolerar corrosão ou devem ser protegidos contra a corrosão que possa influir na sua resistência ou no seu desempenho da estrutura. 10.3.2 A proteção contra corrosão nos aços não resistentes à corrosão atmosférica pode ser obtida por camadas de proteção ou outros meios eficazes, seja isoladamente ou em combinação. Aços resistentes à corrosão também devem ser protegidos, quando não for garantida a formação da película protetora ou quando a perda de espessura prevista durante a vida útil não for tolerável. Alternativamente, poderá ser usada uma sobresspessura de corrosão adequada para a vida útil prevista para a edificação e a agressividade do meio. [3]

3.3 Concreto

Quando se dimensiona ou se verifica uma estrutura é preciso ter em mente se o que se está verificando efetivamente são seções de elementos. É a segurança dessas seções que pode, usualmente, ser expressa analiticamente. É fundamental que essa segurança seja estendida ao restante dos elementos através de um detalhamento adequado. O detalhamento adequado permite costurar partes de um mesmo elemento, bem como elementos que chegam no mesmo nó. Existem dois tipos de regras de detalhamento, a saber: aquelas de elementos como lajes, vigas, pilares etc., e aquelas para regiões especiais onde existam singularidades geométricas ou estáticas. [1]

- resulta em elementos maiores que o aço, o que, com seu peso específico elevado (25KN/m³), acarreta em peso próprio muito grande, limitando seu uso em determinadas situações ou elevando bastante seu custo.
- as reformas e adaptações são, muitas vezes, de difícil execução.
- é bom condutor de calor e som, exigindo, em casos específicos, associação com outros materiais para sanar esses problemas.
- são necessários um sistema de fôrmas e a utilização de escoramento (quando não se faz uso da pré-moldagem) que geralmente precisam permanecer no local até que o concreto alcance resistência adequada. [4]

3.4 Aço

As estruturas de aço e mistas devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto, e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem a segurança, a estabilidade e a aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. [3]

Como a estrutura metálica é toda composta de elementos pré-fabricados em indústria e enviados a obra de forma organizada a montagem pode ser executada com grande rapidez, pois normalmente é auxiliada por equipamentos como grua ou guindaste, o que permite um prazo mais curto para execução de toda a construção, e conseqüentemente uma antecipação na amortização do capital investido, devido a finalização da obra antecipada gerando retorno ao investimento, seja para entrega para o cliente ou locação do espaço. [7]

Vantagens e desvantagens do aço estrutural

Como vantagens, é possível citar:

1. fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;
2. garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
3. material resistente a vibração e a choques;
4. possibilidade de execução de obras rápidas e limpas
5. em caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro local;
6. alta resistência estrutural, possibilitando a execução de estruturas leves para vencer grandes vãos;
7. possibilidade de reaproveitamento de materiais em estoque, ou mesmo sobras em obra.
Como desvantagens é possível citar:
 1. limitação de execução em fábrica, em função do transporte até o local de sua montagem final;
 2. necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação, devido ao contato com o ar atmosférico;
 3. necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
 4. limitação de fornecimento de perfis estruturais. [9]

3.5 Madeira

Os esforços atuantes nas peças estruturais devem ser calculados de acordo com os princípios da Estática das Construções, admitindo-se em geral a hipótese de comportamento elástico linear dos materiais. Permite-se admitir que a distribuição das cargas aplicadas em áreas reduzidas, através das espessuras dos elementos construtivos, possa ser considerada com um ângulo de 45° até o eixo do elemento resistente [2].

Embora a madeira esteja entre os materiais de construção mais antigos e atuais em todo o mundo, a utilização desse material como elemento estrutural no Brasil ainda é cercada de muito desconhecimento e atrelada a idéias errôneas como a de que se construir com madeira implica necessariamente no desmatamento de áreas verdes preservadas. Vale lembrar que a madeira foi muito utilizada nas construções por arquitetos em meados do século XX, mas a partir da década de 1970 essa tecnologia começou a se perder espaço no Brasil devido a inserção maciça das estruturas de concreto, e conseqüentes imposições de mercado, enquanto que no resto do mundo as estruturas de madeira continuaram evoluindo.

Iniciativas para introduzir o sistema wood frame como mais uma alternativa para a construção industrializada tem buscado romper essa limitação e mostra que é possível erguer edificações de qualidade rapidamente e sem desperdício [6].

Em termos estruturais, quando comparada a outros materiais, também utilizados em construção como, por exemplo, o concreto e o aço, a madeira apresenta um excelente comportamento em situação de incêndio. Segundo Pinto (2001), elementos estruturais de madeira, quando expostos ao fogo, carbonizam primeiramente seu perímetro externo, ficando o interior da madeira praticamente intacto [6].

O sistema wood frame permite a construção de casas de até cinco pavimentos com total controle dos gastos já na fase de projeto devido à possibilidade de industrialização do sistema. A madeira é utilizada, neste caso, principalmente como estrutura interna de paredes e pisos, proporcionando uma estrutura leve e de rápida execução, pois os sistemas e subsistemas são industrializados e montados por equipes especializadas, em momentos definidos da obra, e de forma independente. De acordo com Stricklin, Schiff e Rosowsky (1996) construções residenciais de até dois pavimentos que utilizam o sistema wood frame são mais econômicas [6].

É importante lembrar, também, que o crescimento, a extração e o desdobro de árvores envolvem baixo consumo de energia, além de não provocarem maiores danos ao meio ambiente, desde que providenciada a respectiva reposição. Materiais estruturais, como o aço e o concreto armado, são produzidos por processos altamente poluentes, antecedidos por agressões ambientais consideráveis para a obtenção de matéria-prima. Os referidos processos requerem alto consumo energético e a matéria-prima retirada da natureza jamais será reposta. O contrário se verifica com a madeira, cuja renovação se processa mesmo sob rigorosas condições climáticas.

Outro aspecto que favorece a madeira é sua alta resistência em relação à densidade, essa razão é quatro vezes

Para obter a seção do perfil estrutural de concreto, será utilizado o cálculo do Método Clássico. Neste método, são determinadas as solicitações (Momento Fletor-M, força cortante-V e força normal -N) correspondente às cargas máximas de serviço. Calculam-se as tensões máximas correspondentes a essas solicitações supondo um comportamento completamente elástico dos materiais. As tensões máximas são, então, limitadas a uma fração da resistência dos materiais, e desta forma, a segurança da estrutura é garantida.[4]

Para a obtenção do perfil estrutural de aço, será calculado, através do método simplificado (NBR 8800) a área necessária da peça, de maneira que não ultrapasse a tensão admissível do material. Após a determinação do perfil, procura-se na tabela de perfis aquele cujo a área da seção transversal seja mais próxima a mais próxima. Deve ser verificado o índice de esbeltez, pois a norma exige que se obedeça a seguinte relação:

$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 400$$

Onde: λ = índice de esbeltez da peça, l = comprimento de flambagem da peça, r = raio de giração da seção. O raio de giração é fornecido nas tabelas dos perfis.

Para a obtenção do perfil estrutural de madeira

5 Resultados e Discussão

Para dar início ao dimensionamento do elemento estrutural horizontal, levamos em consideração algumas informações de projeto, cruciais para a determinação das cargas atuantes na viga. A casa de campo é composta por 3 suítes, 2 quartos, sala para dois ambientes, cozinha e varandas. A área interna possui forro de gesso, fornecendo liberdade para projetarmos a estrutura horizontal sem interferências no projeto arquitetônico. Dividimos a cobertura em 8 lajes, apoiada em 18 vigas que transmitem as cargas para pilares e fundações. A figura 2 mostra a planta de lajes, vigas e pilares do projeto estrutural.

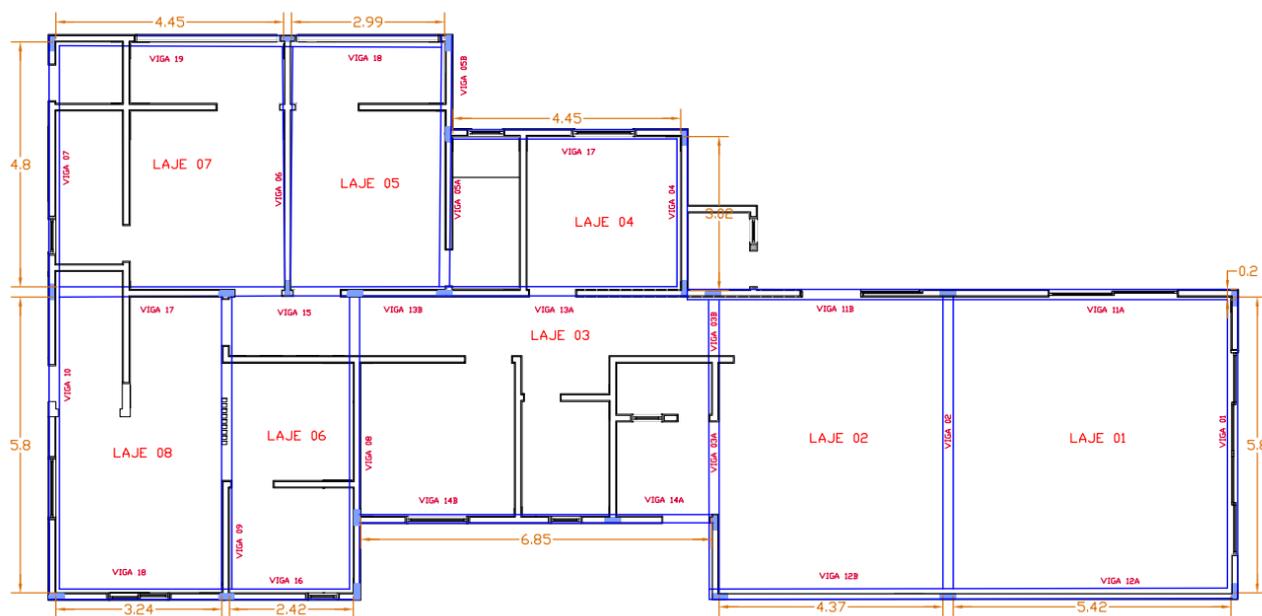


Figura 2. Planta - Lajes, vigas e pilares.

Definimos o peso da laje (L1) que influencia unicamente em V1, verificando qual a sua espessura mínima para o vão e utilização solicitadas. Na tabela 1 a seguir, podemos conferir os dados do projeto e o cálculo para determinação da espessura mínima.

ESPESSURA L1			
LX	470cm	$h = \frac{[(2,5 - 0,1 \cdot n)L] + 2,5}{100}$ $h = \frac{[(2,5 - 0,1 \cdot 1,68)413] + 2,5}{100} = 9,68cm$ <i>adotado 10cm</i>	
LY	590cm		
L	413cm		
TIPO	2B		
N	1,62		
λ	1,25		

Tabela 1. Calculo – Espessura de laje.

Com a espessura da laje defininada, podemos calcular o peso total da laje, que é composta pelo somatorio de cargas atuantes na mesma. A tabela 2 exhibe as formulas e pesos especificos que usamos para a determinação do peso proprio da estrutura.

Peso L1			
CARGA	FORMULA	CALCULO	(KN/m ²)
Peso proprio L1	$\gamma_c \cdot h$	25*0,1	2,5
Peso contra piso	$\gamma_{argm} \cdot h$	21*0,02	0,42
Peso Impermeabilização	γ_{mntasf}	0,03	0,03
Carga acidental	cobertura	0,5	0,5
		total	3,45

Tabela 2. Calculo – Peso L1.

Com a carga da estrutura definida, seguimos para o dimensionamento dos elementos estruturais em concreto armado, aço e madeira.

Concreto armado

Dados:

- Seção: 20x50x595
- Aço: Ca-50
- Concreto: 25mpa

A carga total de V1, dar-se pela soma do peso próprio da viga com a reação da Laje 1 em V1. Na tabela 3 podemos conferir o calculo para a reação de L1 em V1.

Peso v1			
CARGA	FORMULA	CALCULO	(KN/m)
Peso proprio v1	$\gamma_c \cdot b \cdot h$	25*0,2*0,5	2,5
Reação L1	$(v \cdot p \cdot L)/10$	$(3,06 \cdot 3,45 \cdot 4,7)/10$	4,96
		total	7,46

v =reação de apoio da laje com carga uniforme, encontrado em tabela 2.2a do arquivo tabela de lajes elaborado pelo departamento de engenharia de estruturas da universidade de São Paulo.

Tabela 3. Calculo – Peso v1.

Esforços máximos

Para determinar os valores máximos dos esforços de momentos e cortante, usamos as formulas descritas na tabela 4.

ESFORÇOS			
CARGA	FORMULA	CALCULO	KN/m
M _{máx}	$(Q \cdot L^2)/8$	$(7,46 \cdot 5,95^2)/8$	33,01283
Q _{máx}	$(Q \cdot L)/2$	$(7,46 \cdot 5,95)/2$	22,1935

Tabela 4. Calculo Esforços v1.

Carga

Com os esforços máximos definidos, precisamos verificar se a resistência do concreto atende as cargas solicitadas. Na tabela 5, podemos observar esta relação.

VERIFICAÇÃO RESISTÊNCIA CONCRETO			
CARGA	FORMULA	CALCULO	kgf/cm ²
Clim	$0,14 \cdot F_{ck}$	$0,14 \cdot 250$	35
C	$M_{max}/b \cdot d^2$	$33,02 \cdot 100 \cdot 100 / 20 \cdot 47,5^2$	7,32

Tabela 5. Calculo – Verificação relação concreto.

$C < \text{Carga Limite}$, o concreto definido esta dentro dos parâmetros e podemos seguir com os cálculos.

Armadura positiva

DADOS:

- $B=20$
- $D=47,5^2$
- $Md = 33,02 \cdot 1,4 \cdot 100 = 4648$

Após a determinação do K_c , encontramos na tabela 1.1 da NBR6118:2003, o valor de K_s para cálculo da área de Aço.

ÁREA DE AÇO			
CARGA	FORMULA	CALCULO	kg/cm ²
k_c	$b \cdot d^2 / Md$	$20 \cdot 47,5^2 / 4648$	9,71
AS	$k_s \cdot Md / d$	$0,024 \cdot 4648 / 47,5$	2,35

$3 \cdot \phi 10\text{mm}$

Tabela 6. Calculo – Area de Aço.

Estribos

Para calculo dos estribos, podemos conferir as formulas e parametros usados na tabela 7.

ESTRIBOS			
CARGA	FORMULA	CALCULO	KN/m
Q_d	$Q \cdot 1,4 \cdot 100$	$22,02 \cdot 1,4 \cdot 100$	3082,8
Q	$Q_d / d \cdot 20$	$3082,8 / 47,5 \cdot 20$	3,24

Tabela 7. Calculo – estribos.

Aço 6,3mm = 3,1cm²/m

Para estribos consideramos 2 barras por metro, multiplicando a área de aço por 2, encontramos a área de aço do estribo por metro.

$$0,31 \cdot 2 = 0,62\text{cm}^2$$

$$\text{Aço } 6,3\text{mm} = \frac{3,24}{0,62} = 5,22 \text{ (adotado 6 estribos por metro)}$$

Espaçamento

O espaçamento dos estribos foi definido pela formula descrita na tabela 8.

ESPAÇAMENTO		
ESPAÇAMENTO	FORMULA	cm
E	$100 / (6-1)$	20

Tabela 8. Calculo espaçamento estribos.

Detalhamento

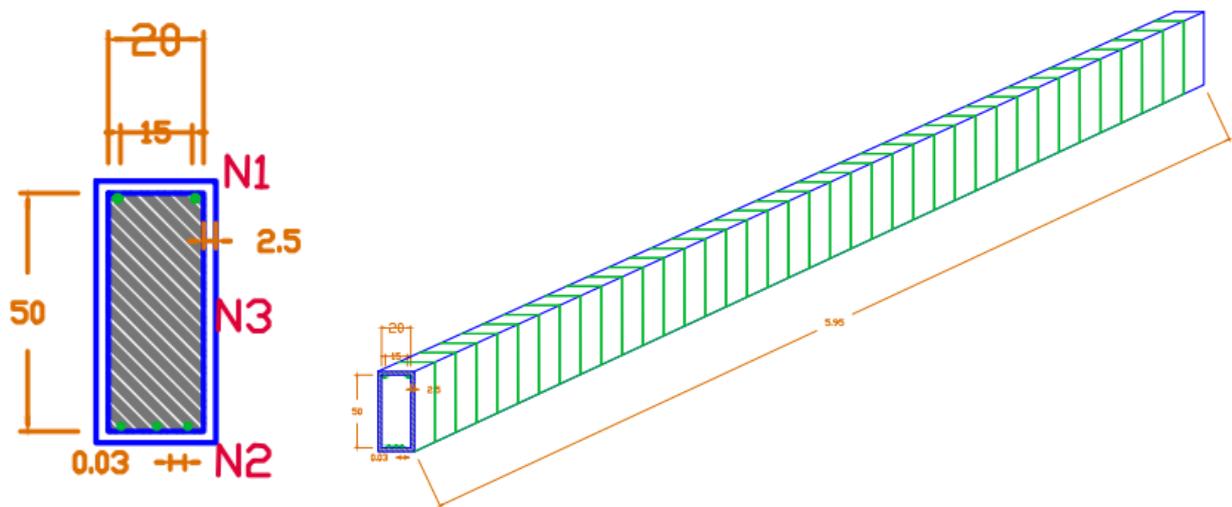


Figura 3. Detalhamento viga de concreto

A seguir podemos conferir na tabela 9 o quadro da viga de concreto armado.

QUADRO DE AÇO				
POSIÇÃO	BITOLA (mm)	QUANTIDADE (und)	TAMANHO (cm)	MASSA LINEAR (kg)
N1	6.3mm	2	620	3,1
N2	10mm	3	620	11,718
N3	6.3mm	6	150	2,25
total				17,07
preço				197,14

Tabela 9. Quadro de aço viga de concreto armado.

O preço da estrutura é o resultado da soma do volume de concreto + o aço + forma de madeira+ execução, diferente dos outros elementos estudados nesse artigo, o concreto armado é montado in-loco, tendo adicionais em seu custo com execução do mesmo. O orçamento descrito na tabela 10, foi realizado com base na tabela SINAPI 03/2022 não desonerada.

ORÇAMENTO					
ITEM	CODIGO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÓRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM GARFO DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	92451	m ²	8,33	124,87	1040,17
ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	92778	KG	17,07	16,2	276,50
LANÇAMENTO COM USO DE BOMBA, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS. AF_02/2022	103673	m ³	0,595	34,69	20,64
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	1527	m ³	0,595	439,98	261,79
CUSTO TOTAL					1599,10

Tabela 10. Orçamento viga concreto armado.

Estrutura metálica

Pré-dimensionamento

Dados:

- L=5950mm
- Laje concreto 10cm

- Reação L1 em V1 = 7,58KN/m
- Aço ASTM A 572 grau 50
- Limite resistência de escoamento $F_y=350\text{Mpa}$
- $\gamma_{a1}=1,10$

Cargas solicitantes

Para determinação dos esforços máximos, usamos as formulas pré definidas exibidas na tabela 11.

CARGAS SOLICITANTES			
ESFORÇO	FORMULA	CALCULO	KN/m
Ms	$q \cdot L^2 / 8$	$4,96 \cdot 5,95^2 / 8$	21,9
Msd	$M_s \cdot 1,4$	$21,9 \cdot 1,4$	30,66
Qs	$q \cdot L / 2$	$4,96 \cdot 5,95 / 2$	14,8
Qsd	$Q_s \cdot 1,4$	$14,8 \cdot 1,4$	20,72

Tabela 11. Calculo – Cargas solicitantes.

Modulo de resistência elástico (Wx)

Para obter o modulo de resistência elástico, fazemos um arranjo a formula convencional do momento solicitante já conhecido por nós, isolando o Wx, teremos a tabela 12:

MODULO DE RESISTÊNCIA ELASTICO			
ESFORÇO	FORMULA	CALCULO	mm ⁴ /mm
Msd	$f_y \cdot w_x / \gamma_{a1}$		
wx	$m_{sd} \cdot \gamma_{a1} / F_y$	$4700 \cdot 1,1 / 35$	147,7143

Tabela 12. Calculo – Modulo de resistência elástico.

Momento de inércia (cm⁴)

Para obter o momento de inercia usamos a formula da flexa máxima, que já conhecemos o valor, isolando assim o momento de inercia para obter o valor desconhecido podemos observar na tabela 13.

MOMENTO DE INERCIA			
ESFORÇO	FORMULA	CALCULO	cm ⁴
$\delta_{Max} < \delta_{Lim}$	$5 / 384 \cdot q \cdot L^4 / E \cdot I < L / 350$		21,9
I	$5 / 385 \cdot q \cdot L^3 \cdot 350 / E$	$5 / 384 \cdot 0,0754 \cdot 595^3 \cdot 350 / 20000$	3619,087

Tabela 13. Calculo – Momento de inercia.

Estimativa de altura

Para a estimativa de altura, usamos a formula empírica de pré-dimensionamento exibida na tabela 14.

ESTIMATIVA DE ALTURA			
ALTURA	FORMULA	CALCULO	cm
d	$L / 20$	$595 / 20$	29,8

Tabela 14. Calculo – Estimativa de altura.

Tabela Gerdau

Exibimos na tabela 15, os dados do perfil selecionado no pré dimensionamento extraídos da tabela de bitolas fornecida pela gerda.

EIXO X		EIXO Y				ESBELTEZ		BITOLA						
Área cm ²	I cm ⁴	wx (cm ³)	rx (cm)	Zx (cm ³)	Iy (cm ⁴)	Wy (cm ³)	ry (cm)	Zy (cm ³)	r1 (cm)	I1 (cm ⁴)	ABA λ_r (b/2t)	ALMA λ_w (d/Cw)	U (m ² /m)	BITOLA (mm*kg/m)
21	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3,776	249,2	11,77	98	19,5	1,9	0,98 W12*14

Tabela 15. Perfil W31x21,0 Gerdau.

Perfil selecionado dentro dos parâmetros $h_{min} > 29,75\text{cm}$, Momento de inercia $> 3619\text{cm}^4$, $W_x > 147,7\text{cm}^3$ com menor área de aço para minimizar os custos.

Dimensionamento

Verificação de alma (FLA)

A NBR 8800 Norma destinada a projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, explica passo a passo o para o dimensionamento e verificação de pré dimensionamento de estruturas em aço, no nosso caso, usamos as indicações para viga em perfil I. Na página 130 a NBR explica que a formula a ser usada para essa verificação depende do valor se λ_p é maior, menor ou igual ao valor de λ . Para cada etapa de verificação, a norma indica uma formula de λ e λ_p . Seguindo as instruções, encontramos a formula especifica para cada situação.

Para λ , temos a tabela 16:

λ			
λ	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ	h/t_w	292/5,1	57,3

Tabela 16. Verificação de Alma.

Para λ_p , temos a tabela 17:

λ_p			
λ_p	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ_p	$3,76v(E/F_y)$	3,76v(20000/35)	89,9

Tabela 17. Verificação de Alma.

$$\lambda < \lambda_p$$

Com esta condição, usaremos a situação A da tabela na norma NBR 8800, encontrada na página 130. Exibidas na tabela 18.

MOMENTO RESISTENTE X MOMENTO DE CALCULO			
ESFORÇO	FORMULA	CALCULO	KN/m
M_{pl}	$Z_x * F_y$	291,9*35	10216,5
M_{rd}	M_{pl}/γ_{a1}	10216,5/1,1	9287,727 >4700

Tabela 18. Verificação de Alma.

Descobrimos que o perfil escolhido atende essa solicitação.

Verificação de Mesa (FLM)

Na tabela G.1 da NBR 8800, para encontrar a formula do λ para a verificação se a mesa do perfil resiste a flambagem solicitada, pede-se que consulte a nota 8, explica que a formula a ser usada para verificação da mesa, é a relação entre a largura e a espessura aplicavel à mesa do perfil com isto temos para λ a formula exibida na tabela 19.

λ			
λ	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ	$b_f/2/t_f$	101/2/5,1	9,9

Tabela 19. Verificação de Mesa.

Na tabela 20, podemos conferir as formulas e calculos para λ_p .

λ_p			
λ_p	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ_p	$0,38v(E/F_y)$	0,38v(20000/35)	9,1

Tabela 20. Verificação de Mesa.

Onde:

$$\lambda > \lambda_p$$

Seguindo o item G.2.2 temos como critério comparativo o item c, onde a formula relaciona o momento calculado com o γa_1 exibidos na tabela 21.

MOMENTO RESISTENTE X MOMENTO DE CALCULO			
ESFORÇO	FORMULA	CALCULO	KN/m
Mpl	$Zx \cdot Fy$	291,9*35	10216,5
Mrd	$Mpl/\gamma a_1$	10216,5/1,1	9287,73 >4700

Tabela 21. Calculo – Momento resistente x momento de calculo.

Descobrimos que o perfil escolhido atende essa solicitação.

Verificação Flambagem lateral com torção (FLT)

Para determinação do λ usaremos a formula indicada da tabela G.1 da NBR8800, que mostra a formula indicada para cálculo do λ transcritos na tabela 22.

λ			
λ	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ	Lb/r_y	$0/r_y$	0,0

Tabela 22. Verificação de Mesa.

$$Lb \text{ viga piso} - \text{laje} = 0$$

$$\lambda = 0$$

A tabela 23 mostra a formula e o calculo de λ_p .

λ_p			
λ_p	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ_p	$1,76v(E/Fy)$	$1,76v(20000/35)$	42,0

Tabela 23. Verificação de Mesa.

Para verificação da flambagem lateral por torção, usaremos o item G.2.1 da NBR 8800, que indica o critério de cálculo para o λ em diferentes situações, após verificar que o $\lambda < \lambda_p$, compararemos na tabela 24, se o momento de calculado é menor que a carga que o perfil resiste.

MOMENTO RESISTENTE X MOMENTO DE CALCULO			
ESFORÇO	FORMULA	CALCULO	KN/m
Mpl	$Zx \cdot Fy$	291,9*35	10216,5
Mrd	$Mpl/\gamma a_1$	10216,5/1,1	9287,73 >4700

Tabela 24. Verificação de Mesa.

$$Mrd > Msd \text{ (Passa!)}$$

Cortante

Para verificar se a viga suporta o esforço cortante, calculamos a resistência dela a esse esforço, se o valor resistente for menor que o solicitantes, calculamos a quantidade de enrijecedores necessários. Para calcular o esforço resistente encontramos na NBR8800, na página 50, os critérios para cálculo de λ e λ_p exibidos na tabela 25.

λ_p			
λ_p	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ_p	$1,1v(kv \cdot E/Fy)$	$1,1v5 \cdot (20000/35)$	58,8

Tabela 25. Verificação esforço cortante.

A tabela 26 mostra o calculo de λ .

λ			
λ	FORMULA	CALCULO	UNIDADE
λ	h/t_w	$292/5,1$	57,3

Tabela 26. Verificação esforço cortante.

Na mesma pagina da NBR8800 encontramos os critérios e as formulas para esforço cortante resistente de cálculo exibidos na tabela 27.

$$\lambda < \lambda_p$$

MOMENTO RESISTENTE X MOMENTO DE CALCULO			
ESFORÇO	FORMULA	CALCULO	KN/m
A_w	$d \cdot f_w$	$3,03 \cdot 5,1$	15,5
V_{pl}	$0,6 \cdot A_w \cdot F_y$	$0,6 \cdot 15,45 \cdot 35$	324,45
V_{rp}	V_{pl} / γ_{a1}	$324,45 / 1,10$	294,9545 > 23,35

Tabela 27. Verificação esforço cortante.

$$M_{rd} > M_{sd} \text{ (Passa!)}$$

Custo

Confirmado pré-dimensionamento: Perfil W310x21, o preço médio do kg do Aço com base na tabela SINAPI 03/2022 insumo codigo: 00043082 perfil I de aço laminado, abas paralelas (W), qualquer bitola, no valor de R\$13,50. V1 possui 5,95m e 21kg/m, com o preço médio de **R\$1.686,82**.

Detalhamento

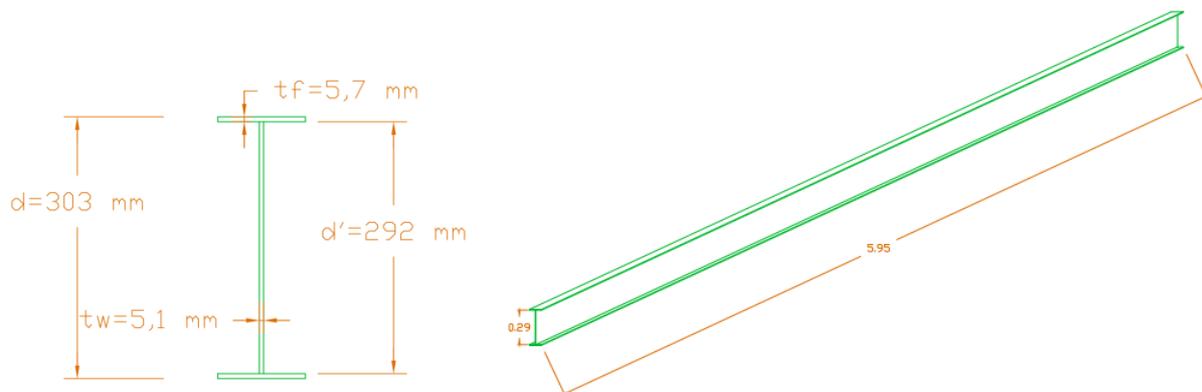


Figura 4. Detalhamento viga metálica.

Dimensionamento madeira

Para o dimensionamento da madeira, foi utilizado a Norma da NBR 7190 – Projetos de estrutura de Madeira. Para realizar o dimensionamento, determinadas variáveis devem ser consideradas como: o tipo da ação, sendo causas para o aparecimento de esforços ou deformações na estrutura, podendo ser classificadas como permanente, ocorre com valores constantes, podendo ocorrer durante toda a vida útil da construção, ações variáveis, que ocorrem de forma variante durante a vida da construção, além das ações excepcionais, tendo a duração muito curta.

Outra variável é a carga acidental, sendo elas as ações variáveis que atuam nas construções de acordo com o seu uso.

Visando calcular a tração da viga de madeira, foi escolhida uma seção de V(6/29) de acordo com a tabela 29 de apoio de vão(m) X altura(m), com os valores da base(b) e altura(h), em um vão de 5,8m, contabilizando a distância do eixo da viga até a extremidade totalizando um vão $l=5,95$ m.

A tabela 28 resume o pré dimensionamento da viga em madeira.

Viga - Dimensões		
b=	0,06	m
h=	0,29	m
A=	0,0174	m ²
l=	5,95	m

Tabela 28. Viga – Dimensões.

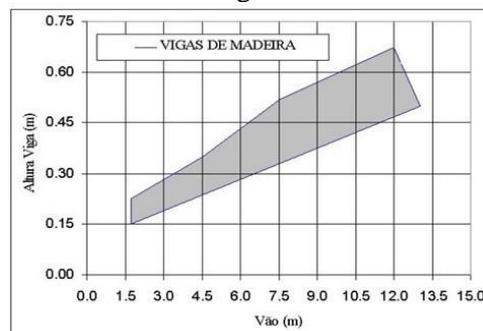


Tabela 29. Vão x Altura.

Para o dimensionamento, foi escolhida a madeira da Massaranduba, conforme as seguintes informações, infracitadas na tabela 30.

Viga - Critérios de Classificação		
Variável	Valor	Classificação
fto=	138,5 Mpa	Massaranduba - Classe dicotiledônias
k _{mod,1} =	0,3	Carga Permanente
k _{mod,2} =	0,9	Classe de umidade 3 (80%)
k _{mod,3} =	1	Madeira de primeira
γ _w =	1,8	Coefficiente de ponderação

Tabela 30. Viga- critérios de classificação.

A tensão de cálculo é dada pela fórmula $\sigma_s \leq \sigma_r$, onde σ_s é a tensão limite e σ_r é a tensão de resistência da madeira. Para que seja viável o uso da seção de viga determinada, é necessário que seja obedecida esta condição.

A tensão limite é dada pela fórmula $\sigma_s = \frac{M_{\text{máx}} \times \gamma_w}{W_z}$. Onde o momento máximo de uma peça retangular é dado pela fórmula $M_{\text{máx}} = \frac{q \times l^2}{8}$, onde o valor de q é o peso próprio da viga, sendo representado pela equação $q = PP_v \times \gamma_f$, sendo o coeficiente de majoração de carga $\gamma_f = 1,4$. O módulo de resistência da peça retangular é dado pela seguinte equação $W_z = \frac{b \times h^2}{6}$, onde b é a base e o h é a altura da seção da viga.

O módulo de resistência $W_z = \frac{b \times h^2}{6}$, ao ser preenchido com os valores supracitados, fica $W_z = \frac{6 \times 29^2}{6}$, resultando no valor de $W_z = 841 \text{ cm}^2$.

Em seguida é calculado o esforço solicitante, sendo ele o peso próprio da viga, representado pela fórmula $PP_v = A \times \gamma_w$, onde o A é a área da seção da viga e γ_w é o peso específico da madeira, considerando a gravidade, resultando no valor de 10KN/m³. Substituindo os valores na fórmula, fica $PP_v = 0,017 \times 10$, resultando em $PP_v = 0,17 \text{ KN/m}$.

Outra variável que deve ser calculada é o momento fletor, representada pela fórmula $M_{m\acute{a}x} = \frac{q \times l^2}{8}$. Calculando o valor de q, temos a equação $q = PPw \times \gamma_f$, substituindo por valores, temos $q = 0,017 \times 1,4$, resultando $q = 0,17 \text{ KN/m}$. Substituindo na equação do momento fletor, obtemos $M_{m\acute{a}x} = \frac{0,23 \times 5,95^2}{8}$, resultando em um momento fletor máximo de $M_{m\acute{a}x} = 1,01 \text{ KN.cm}$.

Substituindo todas as variáveis, que foram obtidos seus resultados nas equações supracitadas, na fórmula de tensão de cálculo, representada por $\sigma_s = \frac{M_{m\acute{a}x} \times \gamma_w}{W_z}$, obtemos $\sigma_s = \frac{1,01 \times 1,8}{841}$, resultando no valor de $\sigma_s = 2,16 \times 10^{-3} \text{ KN/cm}^2$.

A tensão de resistência é dada pela fórmula $\sigma_r = K_{mod} \times \frac{f}{\gamma_w}$, onde $k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3}$. $k_{mod,1}$ é a constante relacionada a classe de carregamento, podendo ser de longa, média, curta e instantânea duração. $k_{mod,2}$ é a constante relacionada a classe de umidade, sendo de categoria 1 a 4. $k_{mod,3}$ é a constante relacionada a categoria da madeira, podendo ser de primeira ou segunda. Calculando o valor de K_{mod} , de acordo com os critérios supracitados $k_{mod} = 0,3 \times 0,9 \times 1$, resultando em um valor de $K_{mod} = 0,27$.

Substituindo os valores obtidos na equação da tensão de resistência, obtemos $\sigma_r = 0,27 \times \frac{138,5}{1,8}$, resultando em $\sigma_r = 20,77 \text{ KN/cm}^2$.

Usando a equação $\sigma_s \leq \sigma_r$, substituindo pelos valores obtidos, fica $2,16 \times 10^{-3} \text{ KN/cm}^2 \leq 20,77 \text{ KN/cm}^2$. Podemos concluir que essa condição é atendida, logo o dimensionamento da viga de madeira, com dimensões de $V_w(6 \times 29)$ atende ao as cargas atuantes e vão levados em consideração. A tabela 31 mostra os resultados da tensão de resistente, tensão solitante, momento maximo, e carga.

$\sigma_s \leq \sigma_r$		
Variável	Equação	Resultado
σ_s	$\frac{M_{m\acute{a}x} \times \gamma_w}{W_z}$	$2,16 \times 10^{-3} \text{ KN/cm}^2$
σ_r	$K_{mod} \times \frac{f}{\gamma_w}$	$20,77 \text{ KN/cm}^2$
q	$PPw \times \gamma_f$	$q = 0,17 \text{ KN/m}$
$M_{m\acute{a}x}$	$\frac{q \times l^2}{8}$	$1,01 \text{ KN.cm}$

Tabela 31. $\sigma_s \leq \sigma_r$

Custo

Foi realizada uma cotação de 3 empresas localizadas em Pernambuco, exibidas na tabela 32, o valor médio encontrado para o metro linear da viga de maçaranduba com seção de $V(6 \times 29)$ é R\$ R\$145,10.

VALOR COTADO	VALOR
EMPRESA 1	R\$ 117,60
EMPRESA 2	R\$ 179,90
EMPRESA 3	R\$ 137,82
MÉDIA	R\$ 145,11

Tabela 32. Cotação – viga massaranduba.

Considerando este valor obtido, o custo da V1 é de R\$ 863,38, exibido na tabela 33.

VALOR MÉDIO	V1 - METRO LINEAR
R\$ 145,11	5,95
TOTAL	R\$ 863,38

Tabela 33. Valor médio v1 madeira.

Detalhamento

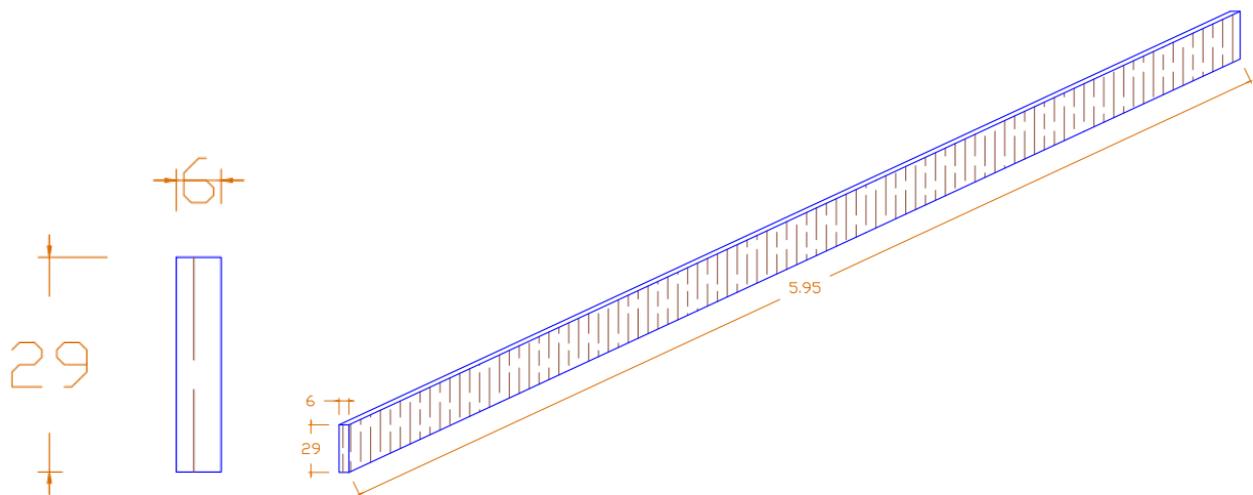


Figura 5. Detalhamento viga de madeira.

Considerações Finais

O dimensionamento estrutural do elemento horizontal em materiais distintos foi realizado, visando comparar os custos para então definir a melhor solução, levando em consideração aspectos financeiros e condições do meio de agressividade.

No dimensionamento em concreto, em um vão de 5,95m e seção transversal 20x50cm, levando em consideração fornecimento dos insumos e mão de obra para execução da mesma, foi obtido o valor de R\$ 1.599,10. É importante salientar que o grau de agressividade é leve, não expondo a armadura a maresia que tem como consequência a corrosão. Outro fator que influencia diretamente na mão de obra, é a logística da entrega de insumos na obra, que por sua vez, se atrasar interfere na quantidade de dias de contratação da mão de obra, e condições climáticas, a qual influencia tanto da produtividade quanto na qualidade e resistência do concreto, pois em dias de chuva há saturação alterando o fator água-cimento.

No dimensionamento em aço, em um vão de 5,95m e perfil metálico W310x21,0, levando em consideração fornecimento de insumo, foi obtido o valor total de R\$ 1.686,82. Mesmo tendo os custos de transporte e instalação, em se tratando de logística, se torna mais prático adquirir este material, pois é de fornecimento único, diminuindo o tempo de execução da estrutura por se tratar de uma obra seca, de forma que venha ter o transporte e instalação de um único material e de rápida execução.

No dimensionamento em madeira, em um vão de 5,95m e seção transversal de 6x29cm, levando em consideração somente o fornecimento do material, foi obtido o valor de R\$ 833,38. Mesmo com o valor bem abaixo da média entre os outros materiais, esse elemento estrutural, devido a solicitação do vão, é difícil encontrar no mercado, devido as suas dimensões limitadas, pois sua altura é grande devido ao vão solicitado. A madeira é mais suscetível a umidade, podendo causar encurvamento ou outras alterações em seu formato, afetando diretamente na sua resistência. Além de ser um material biodegradável sendo suscetível a fungos e mofos. A tabela 34 exhibe o comparativo de custos entre os materiais estudados neste artigo.

COMPARATIVO DE CUSTO V1		
CONCRETO	METALICA	MADEIRA
R\$ 1.599,10	R\$ 1.686,82	R\$ 833,38

Tabela 34. Comparativo custo V1.

Sabendo de tudo isso, foi chegada a conclusão de que a melhor opção de material é a viga metálica, pois a agressividade do meio basta contribuir para que não ocorra a fácil corrosão do aço, como também a diferença

de custo comparado ao concreto armado foi pequena, sendo a solução mais rápida e pratica para a situação em questão.

6 AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer principalmente uma a outra, pois fomos muito pacientes e solícitas ao decorrer não só do desenvolvimento deste artigo, mas no curso como um todo. Agradecemos a todos os professores por compartilhar dos seus conhecimentos para agregar no nosso crescimento academico e profissional, com resalva especial para nosso Professor orientador André Leal.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3º ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. 238 p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7190: Projeto de estruturas de madeira. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997. 107 p.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8800: Estruturas de aço, estruturas mistas de aço e concreto, coberturas e fechamentos de aço — Gestão dos processos de projeto, fabricação e montagem — Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020. 24 p.
- [4] CARVALHO, Roberto Chust. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014.
- [5] PINHO, Fernando Ottoboni. Manual de construção em aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.
- [6] MOLINA, Julio Cesar et al. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. 2010. 14 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, 2010.
- [7] BUSANELLO, Jordano. ESTUDO DE COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA METÁLICA MISTA NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO COMERCIAL. 2019. 27 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- [8] CALIL JUNIOR, Carliti et al. Estruturas de Madeira: projetos, dimensionamento e exemplos de cálculo. [S.L]: Grupo Gen, 2019.
- [9] PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. Estruturas metalicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2005.