

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

DESENVOLVIMENTO DE UMA PRENSA PARA COLAGEM A FRIO DE LÂMINAS E LAMELAS DE PRODUTOS ENGENHEIRADOS DE MADEIRA PARA ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES

**VICTOR HUGO FERREIRA VIEIRA FERNANDES¹, JÉSSICA ALMEIDA DOS
SANTOS¹, JOÃO MIGUEL SANTOS DIAS¹.**

AFILIAÇÃO

¹ UEMASUL - CCHSTL/Engenharia Civil - Rua Topázio, 100. Vila São Francisco. CEP:
65930- 000. Açailândia-MA.

RESUMO

A madeira consiste em um dos materiais de construção mais antigos utilizados pelo homem. Entretanto, este material apresenta desvantagens para o uso estrutural como o desempenho mecânico, as variações dimensionais e as limitações de bitolas. Para evitar as desvantagens e obter materiais com melhores propriedades físico-mecânicas em relação à madeira serrada. O objetivo deste trabalho foi elaborar o projeto executivo de uma prensa de colagem a frio, para lâminas e lamelas, para utilização em painéis estruturais de madeira. Foram realizados o levantamento das pressões de colagem e dos adesivos utilizados em produtos de madeira engenheirada, o dimensionamento da prensa no *software* RFEM 5.13, o projeto executivo no *software* Revit 2022 e o orçamento dos materiais do equipamento. Diante das pesquisas bibliográficas, adotou-se uma tensão de prensagem de 1,0 MPa para o dimensionamento da prensa. Inicialmente, a concepção considerou uma prensa com estrutura de madeira, no entanto, não foi possível obter um dimensionamento com seções transversais comerciais. Assim, devido às características mecânicas, decidiu-se substituir a estrutura de madeira por uma estrutura metálica. Ao todo foram feitas 11 versões de dimensionamento em estrutura metálica, encontrou-se como principal problemática o esforço cortante nas transversinas, provocando a mudança do perfil e/ou geometria da prensa. Após aprovação da estrutura no programa, realizou-se o cálculo das ligações soldadas e parafusadas em conformidade com a ABNT NBR 8800:2008 – *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Posteriormente, o projeto executivo foi realizado no *software* REVIT possuindo: vistas, modelo 3D, detalhamento das ligações e quantitativos de materiais. Diante dos fatos mencionados, o projeto da prensa contribui para a disseminação do uso de produtos de madeira engenheirada para fins estruturais, para o desenvolvimento econômico da região e para o fomento da produção científica na UEMASUL.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira Engenheirada; Estrutura Metálica; Colagem.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

INTRODUÇÃO

Para evitar as desvantagens e obter materiais com melhores propriedades físico-mecânicas em relação à madeira serrada, processos industriais foram desenvolvidos para obter produtos de madeira engenheirada (Lima et al., 2022a). Esses produtos são compósitos à base de madeira (lâminas, lamelas, fibras ou partículas) e adesivos (Bresolin e Pravia, 2021). Dentre os principais produtos para fins estruturais fabricados no Brasil têm-se: o compensado, o *laminated veneer lumber* (LVL), a madeira lamelada colada (MLC) e a madeira lamelada colada cruzada (MLCC) (Dias, 2018; Garcia et al., 2021).

Esses produtos apresentam vantagens como: melhores propriedades físico-mecânicas, maior flexibilidade dimensional, versatilidade no seu uso e menor influência dos defeitos naturais no desempenho mecânico das peças (Lima et al., 2022b). No entanto, os produtos de madeira engenheirada apresentam barreiras para a difusão do seu uso estrutural, uma vez que existem poucos fornecedores no país, os insumos e o maquinário apresentam alto custo.

O alto valor aquisitivo dos equipamentos relaciona-se com o processo de colagem a quente. No entanto, é possível realizar a colagem em temperatura ambiente e com menores pressões, embora o tempo de colagem nessas condições alternativas seja mais longo. Em seus trabalhos Segundinho et al. (2021), Farial et al. (2019), Lopes (2019), Farial et al. (2020), Segundinho et al. (2018b), Iwakiri et al. (2014) realizaram a colagem de madeira, em temperatura ambiente, com tensão de prensagem (σ_{pre}) de 1,00 MPa.

Diante dos fatos mencionados, o objetivo deste trabalho foi elaborar o projeto executivo de uma prensa de colagem a frio, para lâminas e lamelas, para utilização em painéis estruturais de madeira.

METODOLOGIA

Para o dimensionamento da prensa de colagem, adotou-se a tensão de prensagem de 1,0 MPa, visto ser o valor mais encontrado nos estudos analisados. Adotaram-se, inicialmente, considerando o espaço disponível e as dimensões comerciais, as dimensões de colagem dos painéis de 0,5 m de altura de colagem, 2,0 metros de largura e 3,0 metros de comprimento. Para reduzir os custos, a prensagem foi idealizada para ocorrer através da aplicação da força de compressão, por intermédio do aperto das barras rosqueadas (com 25,4 mm de diâmetro) com o uso de um torquímetro.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Encontraram-se barras rosqueadas em Açailândia (MA) de aço SAE 1010 (resistência ao escoamento (f_y) igual a 305 MPa; resistência à tração (f_{ub}) igual a 365 MPa) e na empresa Ferronorte, barras rosqueadas no aço SAE 1020 (resistência ao escoamento (f_y) igual a 350 MPa; resistência à tração (f_{ub}) igual a 420 MPa).

Com esses dados, utilizou-se a Equação 1 para calcular a força total de prensagem e as Equações presentes no item 6.3.3 da ABNT NBR 8800:2008 - *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*, para calcular a força resistente das barras rosqueadas (F_{Rd}). O número de barras rosqueadas totais foi encontrado pela divisão da força total de prensagem (F_p) pela força resistente das barras rosqueadas (F_{Rd}).

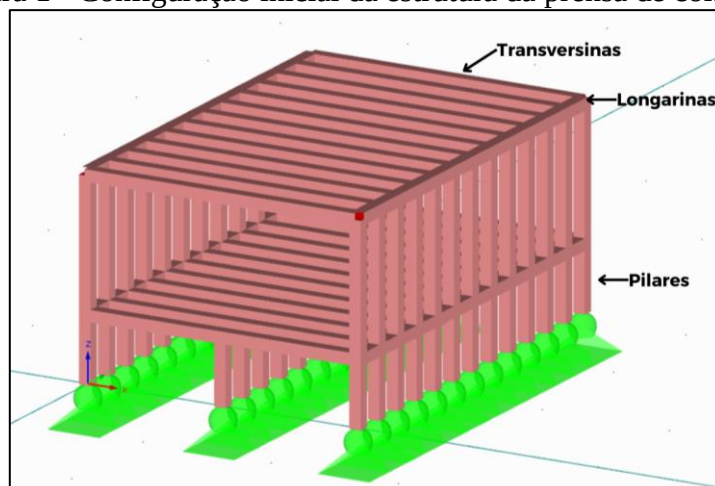
$$F_p = \sigma_{pre} * A_p \quad (1)$$

Em que:

- F_p é a força total de prensagem, em N;
- σ_{pre} é a tensão de prensagem, em MPa;
- A_p é a área de prensagem do equipamento, em mm².

Após isso, procedeu-se ao lançamento da estrutura da prensa no *software* RFEM da Dlubal versão 5.13, a concepção inicial da prensa de madeira consta na Figura 1. Foram realizados 17 ajustes na estrutura, no entanto, devido aos esforços solicitantes, não foi possível obter um dimensionamento executável. Assim, devido às características mecânicas do aço, decidiu-se substituir a estrutura de madeira por uma estrutura metálica.

Figura 1 - Configuração inicial da estrutura da prensa de colagem.

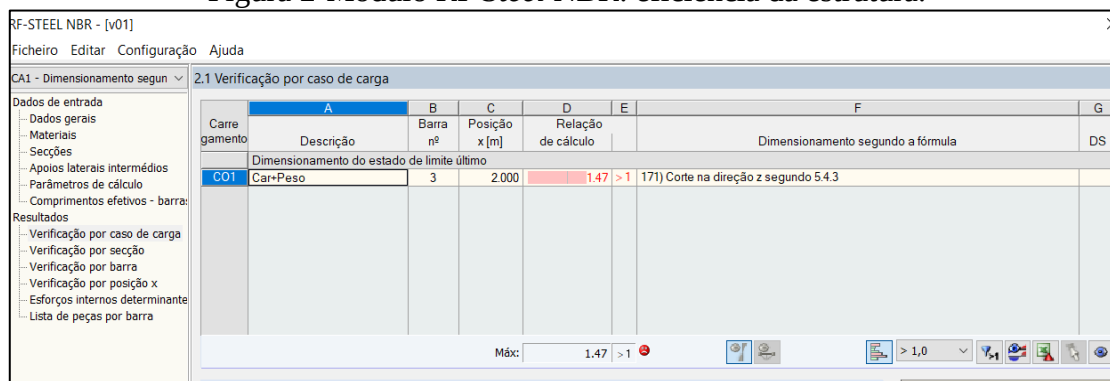


Fonte: Autor (2023).

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Para verificar os perfis e respectivos tipos de aços disponíveis na região consultou-se a empresa FERRONORTE, localizada na cidade de Imperatriz – MA. Verificou-se que os perfis estruturais eram fabricados em material aço ASTM A572 grau 50(resistência ao escoamento (f_y) igual a 345 MPa; resistência à tração (f_u) igual a 450 MPa). Após isso, fez-se a configuração do programa *RFEM* versão 5.13, sendo configurado o modelo, os casos de cargas, as combinações conforme a Tabela 1 da ABNT NBR 8800:2008 e a configuração do material.

Após essa configuração inicial foi utilizado o módulo de dimensionamento “*RF STEEL* do *RFEM* (5.13)”, a estrutura foi sucessivamente otimizada em um processo iterativo, de forma a obter-se uma eficiência próxima aos 90% mostrada na janela do módulo de dimensionamento (Figura2). Quando a eficiência era superior a 100% (maior que 1,0 no programa), procedeu-se à verificação do critério em causa, assim como o ponto da estrutura onde o(s) esforço(s) solicitante(s) provocavam essa inconformidade. Após a análise, procedeu-se à reformatação da geometria da prensa ou à alteração do(s) perfil(s) utilizados.

Figura 2-Módulo *RF Steel* NBR: eficiência da estrutura.

RF-STEEL NBR - [v01]						
Ficheiro Editar Configuração Ajuda						
CA1 - Dimensionamento segun						
2.1 Verificação por caso de carga						
Dados de entrada						
Dados gerais						
Materiais						
Seções						
Apoios laterais intermédios						
Parâmetros de cálculo						
Comprimentos efetivos - barra:						
Resultados						
Verificação por caso de carga						
Verificação por secção						
Verificação por barra						
Verificação por posição x						
Esforços internos determinante						
Lista de peças por barra						
Carre	A	B	C	D	E	F
gamento	Descrição	Barra nº	Posição x [m]	Relação de cálculo		Dimensionamento segundo a fórmula
						DS
CO1	Car+Peso	3	2.000	1.47	>1	171) Corte na direção z segundo 5.4.3
Máx: 1.47 >1						

Fonte: Autor (2023).

Após o término do dimensionamento, procedeu-se ao cálculo das ligações parafusadas e soldadas, segundo os critérios da norma ABNT NBR 8800:2008. Posteriormente, teve-se o detalhamento, da prensa e ligações, através do *software Autodesk Revit 2022*. Por fim, houve a quantificação dos materiais que seriam utilizados para execução da prensa, realizando assim o orçamento do equipamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Referente ao dimensionamento em estrutura metálica teve-se 11 versões de dimensionamento. Referente as características de colagem, a Tabela 2 apresenta as especificações em cada uma das versões em estrutura metálica.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Tabela 2 –Características de colagem de cada versão.

VERSÃO	σ_{pre} (MPa)	DIMENSÕES DE PRENSAGEM (m)			$A_{col}(m^2)$	F_p (MPa)	QTD.BARRAS
		ALTURA	LARGURA	COMPRIMENTO			
1	1,00	0,293	1,793	2,993	5,366	8049,673	144
2	1,00	0,299	1,799	3,025	5,415	8122,125	156
3	1,00	0,299	1,399	3,025	4,232	6347,963	120
4	1,00	0,234	1,6	3,008	4,820	7219,200	132
5	1,00	0,782	1,6	3,008	4,820	7218,200	132
6	1,00	0,532	1,718	3	5,154	7731,000	144
7	1,00	0,492	1,5	3	4,500	6750,000	111
8	1,00	0,620	1,5	3	4,500	6750,000	111
9	1,00	0,266	1,5	3	4,500	6750,000	111
10	1,00	0,472	1,5	3	4,500	6750,000	111
11	1,00	0,472	1,5	3	4,500	6750,000	111

σ_{pre} : tensão de prensagem; A_{col} : área de colagem; F_p : força de prensagem total. Fonte: Autor (2023).

Conforme a Tabela 2, entre as versões 01 a 06 teve-se mudança nas dimensões, largura e comprimento, para alterar a área de colagem (A_{col}) visando a redução da força de prensagem total (F_p), uma vez que estão diretamente relacionadas (vide Equação 1). O Quadro 1 apresenta a eficiência da estrutura, os valores da cortante e momento fletor máximo e os problemas encontrados em cada versão de dimensionamento.

Quadro 1 – Inconformidades da estrutura dimensionada para cada versão.

Versão	EFICIÊNCIA (%)	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	$M_{m\acute{a}x}$ (kN.m)	PROBLEMA
1	147	332,66	97,23	Esforço cortante na direção Z nas transversinas
2	143	335,81	100,94	Esforço cortante na direção Z nas transversinas
3	112	263,08	68,81	Esforço cortante na direção Z nas transversinas
4	79	299,79	93,44	Concentração de tensões equipamento-piso
5	79	299,63	100,81	Execução e custos
6	84	320,95	110,60	Dimensionamento das ligações parafusadas
7	80	305,95	100,48	Flambagem lateral com torção
8	80	305,95	91,86	Resistência do piso do LEMATCON
9	80	305,32	91,94	Altura de prensagem
10	80	305,37	93,33	Desperdício dos perfis
11	80	305,37	93,36	-

$V_{m\acute{a}x}$: cortante máxima; $M_{m\acute{a}x}$: momento fletor máximo. Fonte: Autor (2023).

Nota-se, no Quadro 1 que não foi possível obter-se uma eficiência inferior a 100% nas

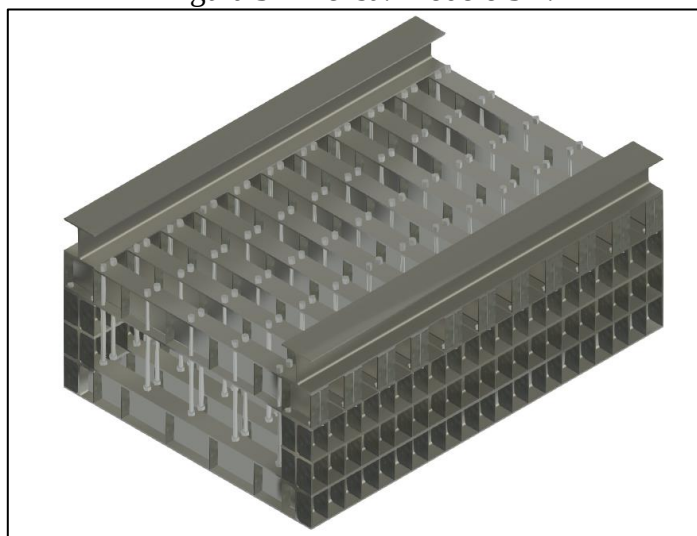
VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

versões 1,2 e 3 devido ruptura na direção z nas transversinas. Esta ruptura é provocada, principalmente, pela força de prensagem que está atuando nas transversinas devido a isso alterações foram feitas nas dimensões do equipamento (Tabela 3). A partir da versão 4, a eficiência encontrada fora inferior a 100 %, no entanto, o dimensionamento continuou devido a problemas de execução, custos, dimensionamento de ligações e desperdício de perfis.

Conforme o Quadro 1 a versão 11 teve sua aprovação no dimensionamento. A configuração final da estrutura foi composta por 111 barras rosqueadas com 25,4 mm de diâmetro de aço SAE 1020, 22 transversinas e 8 longarinas de aço ASTM A 572 grau 50. Após isso procedeu-se ao dimensionamento das ligações, baseado na ABNT NBR 8800:2008. Para as ligações entre as longarinas e transversinas foram adotados 4 parafusos de 22,00 mm de diâmetro com aço ASTM A325. Nas ligações das transversinas com as longarinas superiores foram utilizados cordões de solda filete de 6 mm de perna de solda com comprimento de 40 mm. Nas ligações entre as longarinas, utilizaram-se cordões de soldas filete com 6 mm de perna de solda, com 40 mm de comprimento.

Após a finalização do modelo estrutural, o projeto executivo da prensa foi realizado no *software Revit* da Autodesk, no qual foram obtidos as vistas, os quantitativos, o detalhamento das ligações e o modelo 3D da prensa (Figura 3). Ao final, o projeto executivo conteve 03 pranchas no formato A1.

Figura 3 - Prensa: Modelo 3D.



Fonte: Autor (2023).

O orçamento da prensa foi realizado com base nos valores verificados na empresa Ferronorte localizada em Imperatriz (MA) e em *sites* até o dia 10/08/2023, conforme apresentado na Quadro 2.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Quadro 2 - Orçamento dos materiais da prensa

ITEM	FORNECEDOR	VALOR UNITÁRIO (R\$)	QUANTIDADE NECESSÁRIA	TOTAL (R\$)
Perfil HP 250 X 62,0 (aço ASTM A572 grau 50)	Ferronorte	7.797,86	2 peças de 12 metros	15.595,72
Perfil W 250 x 44,8 (aço ASTM A572 grau 50)	Ferronorte	5.628,30	4 peças de 12 metros	22.513,20
Barra rosqueada (aço SAE 1020)	Ferronorte	79,58	83 metros	6.605,14
Porcas das Barras rosqueadas	Ferronorte	4,27	330	1.409,10
Parafuso (aço ASTM A325 Ø22 mm)	Estrutura Parafusos	18,72	88	1.647,36
Porcas dos parafusos	Estrutura Parafusos	3,55	88	312,40
Arruela	Estrutura Parafusos	1,22	88	107,36
Chapa ASTM A 36 1/4 (espessura: 6,35 mm)	Ferronorte	393,37	1 chapa de 3 m ² 1 chapa de 2,4 m ²	2.124,20
Chapa ASTM A 36 5/16 (espessura: 7,94 mm)	Ferronorte	518,21	2 chapas de 3,0 m ²	3.109,26
TOTAL				53.423,74

Fonte: Autor (2023).

CONCLUSÕES

- O dimensionamento da estrutura da prensa de colagem a frio considerou uma pressão de 1,0 MPa, uma vez que este valor era o mais utilizados nos estudos.
- Inicialmente, a estrutura da prensa era de madeira, no entanto, devido à impossibilidade de alcançar seções transversais comerciais, optou-se pela estrutura metálica sendo realizada 11 versões.
- O projeto executivo da prensa, realizado no *software* Autodesk Revit 2022, possui 03 pranchas no formato A1.
- A configuração final da estrutura foi composta por 111 barras rosqueadas com 25,4 mm de diâmetro de aço SAE 1020, 22 transversinas e 8 longarinas de aço ASTM A 572 grau 50
- Poderão ser confeccionados painéis com 0,492 m de espessura, 1,569 m de largura e 3,000 m de comprimento com uma tensão de prensagem de 1,12 MPa.
- O custo total dos materiais para execução é de R\$ 53.423,74.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

APOIO FINANCEIRO

O autor agradece ao Grupo Arboris, pelo apoio, e ao Programa Institucional De Bolsas De Iniciação Científica – PIBIC-FAPEMA/UEMASUL pela concessão de Bolsa para realização da Pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

DIAS, J. M. S. Estruturas de Madeira. Coleção Manuais de Engenharia Civil. Volume 3. Editora 2B Educação, 2018.

FARIA, D. L. et al. Estudo do comportamento mecânico de vigas de Madeira Laminada Colada tratada de Seringueira (*Hevea Brasiliensis*). CONSTRUINDO, v. 12, n. 2, p. 38-47, 2020.

FARIA, D. L. et al. Influência Do Número De Lâminas Na Resistência À Compressão De Madeira Laminada Colada (MLC) De Toona Ciliata Produzida Com Adesivo Poliuretano Vegetal. Construindo, v. 11, n. 1, p. 33-40, 2019.

GARCIA, H. V. S. et al. Desempenho de painéis de madeira laminada colada cruzada constituídos com eucalipto, seringueira e bambu. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, p. e33210817181-e33210817181, 2021.

IWAKIRI, S. et al. Características de vigas laminadas coladas confeccionadas com madeira de teca (*Tectona grandis*). Floresta e Ambiente, v. 21, p. 269-275, 2014.

LIMA, V. S. et al. Avaliação geográfica e econômica das indústrias de compensado do Brasil. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*. v. 08, n. 04, p. 1-6, 2022a.

LIMA, V. S. et al. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) utilizada na indústria de compensados no Estado do Maranhão. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 9, p. 1-16, 2022b.

LOPES, N. F. Desenvolvimento De Calços De Madeira Laminada Colada A Partir De Resíduos De Eucalipto. 2019.

SEGUNDINHO, P. G. A. et al. Avaliação da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* para utilização em madeira lamelada colada. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, 2021.

SEGUNDINHO, P.G. A. et al. Caracterização da madeira laminada colada de *Eucalyptus* sp. produzida com adesivos resorcinol-fenol-formaldeído e poliuretano. *Ciência da Madeira*, v. 9, n. 2, p. 123-133, 2018b.