

DANYELLE ANDRADE MOTA  
(Organizadora)

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 3



DANYELLE ANDRADE MOTA  
(Organizadora)

# ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 3



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Engenharias: criação e repasse de tecnologias 3

**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Danyelle Andrade Mota

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: criação e repasse de tecnologias 3 /  
Organizadora Danyelle Andrade Mota. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0506-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.061220509>

1. Engenharia. 2. Tecnologia. I. Mota, Danyelle Andrade  
(Organizadora). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A engenharia é uma ciência que utiliza de conhecimentos e estudos técnicos e científicos com o intuito de criar e otimizar novas ferramentas, métodos, processos, desenvolver novas tecnologias, corrigir falhas nos procedimentos ou produtos. Sua abrangência envolve todas as áreas de atuação humana, e é um dos pilares do desenvolvimento tecnológico, social e econômico da sociedade.

Pode-se dizer que a engenharia é um sinônimo de desenvolvimento e um dos principais pilares para o setor industrial. Logo, entender os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

A coleção “ENGENHARIAS: CRIAÇÃO E REPASSE DE TECNOLOGIAS 3” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica de forma interdisciplinar com trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que transitam nos vários caminhos das Engenharias e áreas afins. O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa.

Na presente obra são apresentados 15 trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de engenharia, como civil, materiais, mecânica, química, ambiental, dentre outras, dando um viés onde se faz necessária a melhoria continua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril e empreendedor. Destaca-se ainda a busca da redução de custos, sustentabilidade, melhoria continua e otimização de processos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros. Agradeço aos autores pelas contribuições que tornaram essa edição possível, e juntos, convidamos os leitores para desfrutarem as publicações.

Tenham uma ótima leitura!

Danyelle Andrade Mota




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A BIOMASSA COMO FONTE RENOVÁVEL DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA REVISÃO CONTEXTUAL**


Brenda Leal Mota Santos  
Renato Santos Freire Ferraz  
Patrick Laurient Cardoso Silva  
Fábio Vincenzi Romualdo da Silva  
Adjeferson Custódio Gomes  
Rafael Rodrigues de Queiroz Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205091>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **REMOÇÃO DE COR E TOXICIDADE DE EFLUENTE TÊXTIL A PARTIR DE CIANOBACTÉRIAS**


Sílvia Mariana da Silva Barbosa  
Marcella Vianna Cabral Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205092>

### **CAPÍTULO 3..... 21**

#### **A APLICAÇÃO DE *ANALYTIC NETWORK PROCESS* - ANP EM LOGÍSTICA REVERSA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Jovani Patias  
Leoni Pentiado Godoy  
Murilo Sagrillo Pereira  
Bruno Miranda dos Santos  
Cyro Rei Prato Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205093>

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### **UMA AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE PERDA DE ÁGUA NUM PERÍODO DE ESCASSEZ HÍDRICA NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**


Diênifer Calegari Leopoldino Guimarães






 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205094>


### **CAPÍTULO 5..... 51**

#### **DESENVOLVIMENTO DE SURFACTANTE COM VISCOSIDADE ADAPTÁVEL PARA AUMENTAR A EXTRAÇÃO DE ÓLEO NA RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO**

Laura Procópio Maia Furbino  
Edilaisa Januário de Melo  
Rogério Alexandre Alves de Melo  
José Izaquiel Santos da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205095>

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>62</b>
USO DE SENSOR PIEZOELÉTRICO NA DETERMINAÇÃO DO ATRASO DE IGNIÇÃO EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO DO CICLO DIESEL	
Márcio Andrade Rocha Lesso Benedito dos Santos Carlos A. Cabral Santos Jefferson W. de M. Mendonça	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205096">https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205096</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>68</b>
APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DO GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Augusto Cury Braff	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205097">https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205097</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>82</b>
REVISÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE VIGAS MISTAS CONCRETO/MADEIRA	
Guilherme Barbosa Vieira Thyago Camelo Pereira da Silva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205098">https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205098</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>105</b>
DESENVOLVIMENTO DE TEAR PLANO MODULAR IMPRESSO EM 3D PARA PRODUÇÃO DE TECIDOS DE PEQUENA LARGURA	
Matheus da Silva Rodrigues Fabia Regina Gomes Ribeiro Daniel Perdigão Lobato Liliana de Luca Xavier Augusto Leandro da Silva Pereira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205099">https://doi.org/10.22533/at.ed.0612205099</a>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>111</b>
FATIGUE PROPERTIES OF COMBINED FRICTION STIR AND ADHESIVELY BONDED AA6082-T6 OVERLAP JOINTS	
Ricardo Maciel Tiago Bento Daniel F.O. Braga Lucas F.M. da Silva Pedro M.G.P. Moreira Virgínia Infante	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050910">https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050910</a>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>128</b>
MINIMIZAÇÃO DE DESLOCAMENTO DE OPERADORES POR MEIO DE AGRUPAMENTO DE FERRAMENTAIS EM ARRANJOS FÍSICOS POSICIONAIS	
Chin Yung Shih	

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050911>

**CAPÍTULO 12..... 149**

MÓDULO ELETRÔNICO SINTETIZADO SEM FIO, PARA BATERIA ELETRÔNICA, ATRAVÉS DA COMUNICAÇÃO WI-FI DO ESP32

Paulo César do Nascimento Cunha

Afonso Pereira Barros

Gabriel Vinícius de Souza Bispo

José Irineu Ferreira Júnior

Jarlisson José de Lira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050912>

**CAPÍTULO 13..... 158**

APLICAÇÕES DO DESIGN INSTRUCIONAL NA DISCIPLINA DE DESENHO: MÉTODOS DE ENSINO CONTEXTUALIZADOS PARA O ENSINO MÉDIO

José Rodolfo Ribeiro Tavares

Giselle Aparecida de Sousa Araujo


Isabel Barros Fiaux dos Santos

Luciene Maria de Souza Zanardi

Maria Cecília da Silva Barbosa

Paulo Roberto Boldarini Regini

Yasmim Carolino Bora Marinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050913>

**CAPÍTULO 14..... 173**

QUESTÕES NORTEADORAS PARA ESTUDO DE USABILIDADE EM POLÍTICAS DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO EM VSEs


André Rivas

Ivanir Costa

Nilson Salvetti

Marcos Vinícius da Silva Messias

Osmair Mendes Pereira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050914>

**CAPÍTULO 15..... 185**

O EMPREENDEDORISMO FEMININO E SUAS PRINCIPAIS VERTENTES

Isadora dos Santos Raposo

Maurício Guerreiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06122050915>

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 190**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 191**

## REVISÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE VIGAS MISTAS CONCRETO/MADEIRA

Data de aceite: 01/09/2022

Data de submissão: 07/07/2022

**Guilherme Barbosa Vieira**

Centro de Ensino Unificado do Piauí – CEUPI  
Teresina-PI  
<http://lattes.cnpq.br/3580214665874070>

**Thyago Camelo Pereira da Silva**

Universidade Federal do Piauí – UFPI  
Teresina-PI  
<http://lattes.cnpq.br/0430345451838459>

**RESUMO:** As estruturas mistas constituídas por materiais de diferentes propriedades mecânicas são uma solução alternativa às estruturas de uso corrente na construção civil. Estruturas mistas concreto/madeira são interessantes soluções estruturais bastante adotadas em pequenas construções. Esta combinação construtiva busca não somente obter redução de custos de construção, mantendo a segurança estrutural, como também um desempenho arquitetônico e ambiental vantajoso. Esta pesquisa visa apresentar uma revisão de cunho crítico no tocante ao dimensionamento estrutural de vigas mistas de concreto/madeira através de um método obtido com base em normas nacionais e internacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estruturas mistas, concreto, madeira, sistema de ligação, segurança estrutural.

### REVIEW OF STRUCTURAL DESIGN METHODS FOR CONCRETE/WOOD COMPOSITE BEAMS

**ABSTRACT:** Mixed structures made of materials with different mechanical properties are an alternative solution to structures commonly used in civil construction. Concrete/wood composite structures are interesting structural solutions widely adopted in small constructions. This constructive combination seeks not only to obtain a reduction in construction costs while maintaining structural safety, but also an advantageous architectural and environmental performance. This research aims to present a critical review regarding the structural design of composite concrete-wood beams through a method obtained based on national and international standards.

**KEYWORDS:** Composite structures, concrete, wood, connection system, structural safe.

## 1 | INTRODUÇÃO

As estruturas mistas, segundo MIOTTO (2009), são constituídas por materiais de diferentes propriedades mecânicas associados, sendo uma solução alternativa às estruturas de uso convencional na construção civil. Essas soluções em estruturas possibilitam a redução de custos, mantendo a segurança estrutural, com um desempenho arquitetônico e ambiental vantajoso.

O desempenho de uma estrutura mista deve-se, em geral, à eficiência do sistema de ligação da zona de interface, podendo

ser do tipo rígido ou flexível (permitindo o uso sinérgico dos materiais). Esse sistema é responsável por transmitir a força de cisalhamento longitudinal na interface dos dois materiais combinados ao longo do comprimento do elemento e impedir o desprendimento vertical destes. (MIOTTO, 2009)

A madeira e o concreto são materiais facilmente encontrados nas mais diversas regiões do Brasil, sendo assim de larga utilização, tanto isoladamente quanto combinados. Vale ressaltar também, que ao se utilizar este tipo de estruturas há uma redução do custo direto por metro quadrado, uma maior rapidez de execução da estrutura e um emprego de menor número de escoras e fôrmas como elementos favoráveis às suas aplicações.

Além disso, a estrutura fica mais leve, graças à redução do peso próprio que possibilita o emprego de sistema de fundação mais simples e, do ponto de vista arquitetônico, as vigas de madeira podem ficar aparentes internamente, propiciando um aspecto que pode ser aproveitado na arquitetura do ambiente.

A utilização da madeira e concreto associados de forma empírica datam do início do século XIX, segundo BENITEZ (2000), conforme citado em OLIVEIRA(2002), na construção dos mais diversos elementos estruturais, desde pontes à lajes de edificações residenciais.

No entanto, para que seja garantido um sistema de ligação eficiente entre os materiais utilizados, se faz necessário uma análise precisa de todos os esforços na qual a estrutura estará sujeita e ainda cumprir com todas as normativas técnicas em vigor.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão com os aspectos críticos no dimensionamento estrutural de vigas mistas de concreto/madeira, bem como apresentar uma revisão da literatura dos métodos e aspectos técnicos críticos na análise e dimensionamento estrutural de vigas mista concreto/madeira, realizar um exemplo de dimensionamento de viga mista utilizando os métodos apresentados e apresentar os tipos de conectores que podem ser usados na ligação entre a alma de uma viga mista de concreto/madeira.

## **2 | REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Viga mista concreto/madeira**

Segundo OLIVEIRA (2002), as vigas mistas concreto/madeira consistem na associação de vigas de madeira serrada ou de madeira laminada colada a uma laje de concreto, através de elementos de ligação mecânica capazes de resistir a esforços de deslizamento na interface dos dois materiais.

O sistema de estruturas mistas concreto/madeira já vem sendo pesquisado há algum tempo. Segundo BENITEZ (2000), conforme citado por OLIVEIRA (2002), elementos de ligação fabricados em aço e utilizados para unir madeira e concreto, como um sistema misto, foram desenvolvidos por volta de 1930 na Universidade do Oregon, Estados

Unidos. Na área de estruturas novas, AASHEIM (2000), conforme citado por OLIVEIRA (2002), relata que a Finlândia vem desenvolvendo e construindo várias pontes mistas de concreto/madeira, inclusive utilizando vigas de madeira laminada colada e laje de concreto, sendo que a primeira ponte mista com este sistema construtivo foi inaugurada naquele país em 1993. O comportamento das estruturas mistas de concreto/madeira difere das estruturas mistas de aço/concreto, especialmente nos estados limites últimos.

Sob um ponto de vista prático, as fórmulas aproximadas para o dimensionamento de estruturas mistas concreto/madeira, como as propostas pela Eurocode 5 (2004), são indicadas para os estados limite últimos. A sua utilização é adequada em situações de curta duração, porém quando fenômenos de longa duração são relevantes, como por exemplo, vigas de vãos longos em condições ambientais severas, estas podem conduzir a erros. A este respeito, CAPRETTI E CECCOTTI (1996), conforme citado por OLIVEIRA (2002) concluíram, após o monitoramento de 5 anos de vigas mistas madeira laminada colada/concreto, que ocorre um acentuado comportamento de deformação lenta tanto da madeira quanto do concreto, além de efeitos de expansão e retração da madeira devido a variações ambientais e expansão térmica do concreto, todos considerados aspectos relevantes numa análise de longa duração

Comparando-se estruturas mistas com lajes de piso ou cobertura em concreto armado, além da redução do custo direto por metro quadrado, CECCOTTI (1995), conforme citado por OLIVEIRA (2002), também aponta a maior rapidez de execução da estrutura, emprego de menor número de escoras e fôrmas como elementos favoráveis às suas aplicações. A execução de uma estrutura mais leve, graças à redução do peso próprio, possibilita o emprego de sistema de fundação mais simples. Do ponto de vista arquitetônico, as vigas de madeira que podem ficar aparentes internamente, propiciam um aspecto melhorado.

## **2.2 Revisão dos métodos de dimensionamento de vigas mistas de concreto/madeira**

As pesquisas precursoras sobre as estruturas mistas em concreto/madeira foram publicadas no início da década de 40 do século passado. Dessa associação são exploradas as vantagens de cada um dos materiais, isto é, da madeira tem-se uma resistência natural à tração, na direção paralela às fibras, consideravelmente superior em relação à resistência do concreto, o qual requer armadura de aço para absorver tal esforço. (SORIANO, 2001)

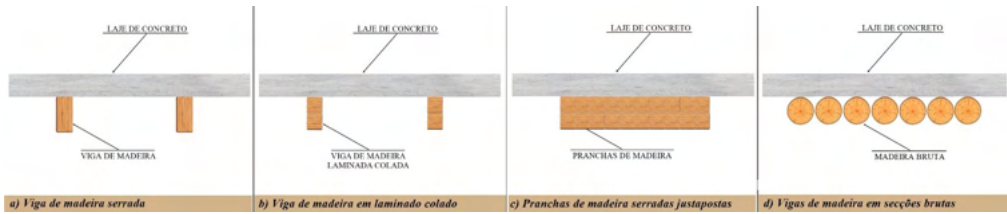


FIGURA 1 - Detalhe de seções mistas em concreto/madeira

FONTE: Adaptado de SORIANO e MASCIA (1999).

Já, o concreto, propicia a proteção da madeira contra a umidade e agressão mecânica, bem como permite reduzir o deslocamento vertical da estrutura, uma vez que o produto de rigidez efetivo da seção é diretamente proporcional aos respectivos módulos de deformação longitudinal. O concreto deve preferencialmente estar localizado na região onde predominam os esforços de compressão, embora grande parte das dicotiledôneas usuais apresentem, na direção paralela às fibras, resistências à compressão superiores às dos concretos comumente empregados (~25 MPa). (SORIANO, 2001).

Apesar das primeiras sugestões de uso de seções mistas em concreto/madeira serem bem remotas, 1933, como descreve PINCUS (1969), conforme citado por SORIANO (2001), o número de publicações científicas a seu respeito é bem menor, quando comparada a outras combinações de elementos, como, por exemplo, concreto/aço.

Essas estruturas em forma de vigas ou painéis são adequadas às diversas modalidades de construções, por exemplo: residências, comércio e escolas. São indicadas por TEVANOVIC (1996), CECCOTTI (1995) e CAPRETTI & CECCOTTI (1996), conforme citado por SORIANO (2001) em restaurações de pisos e forros de construções antigas.

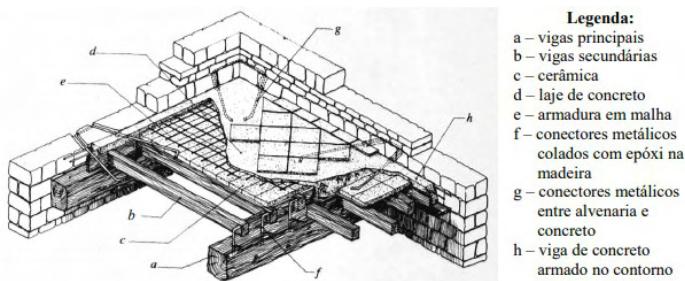


FIGURA 2 - Aplicação de estrutura mista em concreto/madeira

FONTE: MIOTTO (2009)

## 2.3 Sistemas de conexão

O sistema de ligação entre os elementos de concreto e madeira é muito importante

por diversos fatores. No trabalho por GIRHAMMAR & GOPU (1993) o sistema de ligação é apresentado como um fator importante para impedir o desprendimento vertical entre as peças conectadas.

O sistema de conexão é muito importante, pois o atrito de contato entre os dois materiais, concreto e madeira, não é suficiente para que haja a transferência dos esforços longitudinais, como a força de cisalhamento, sendo assim, o método de conexão pode desempenhar esta função.

O sistema de ligação caracteriza o comportamento da estrutura mista, podendo ser classificado como rígidos ou flexíveis (*Semirrígido*). Segundo GIRHAMMAR & GOPU (1993) a conexão rígida pode ser obtida com o uso de adesivo epóxi ao longo da superfície de contato entre a madeira e o concreto, estabelecendo assim uma ligação eficiente. Segundo SORIANO (2001), a aplicação da ligação utilizando adesivo tem sido utilizada apenas como caráter de pesquisa, pois ao alcançar o regime de ruptura a estrutura irá apresentar ruína sem aviso prévio.

Segundo FORTI (2004), o sistema de conexão semirrígida pode ser realizado através de pinos de aço, parafusos, cavilhas, pregos e perfis metálicos, como cantoneiras. A eficiência desse sistema está relacionada ao tipo de conector empregado. A ligação semirrígida apresenta uma união parcial da seção, havendo deslizamento relativo entre os dois materiais e por esse motivo apresentam flechas adicionais oriundas da deformação dos conectores, conforme ilustra a Figura 3. Por esse motivo é de grande importância considerar a sua rigidez efetiva, especialmente quando o sistema de conectores é do tipo flexível.

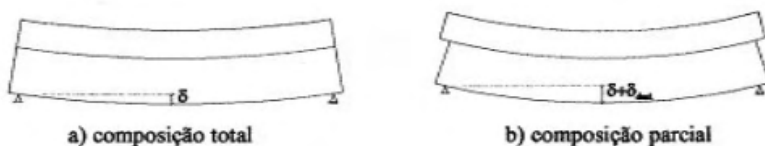


FIGURA 3: Deslocamentos verticais de uma viga mista.

FORTE: FORTI, (2004).

No estudo realizado por CECCOTTI (1995), conforme citado por FORTI (2004), verificou-se a variação da inércia efetiva, fazendo uma comparação dos deslocamentos verticais em estruturas mistas fletidas fazendo uso de diversos conectores.



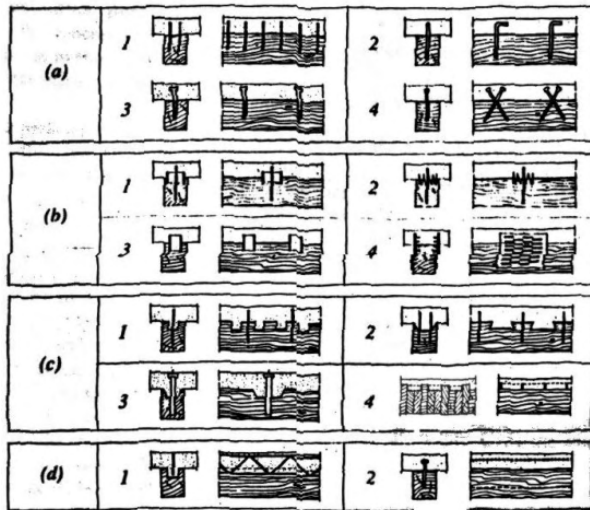


FIGURA 4: Sistemas de conexão.

FONTE: FORTI (2004).

Os sistemas de conexão foram subdivididos em quatro grupos:

(a) Pinos metálicos ou de madeira: 1- pregos ou cavilhas; 2- barras de aço colados; 3- parafusos auto-atarrachante e barras de aço; 4- parafusos em “x”;

(b) conectores como anéis, tubos de aço e placas dentadas: 1- anéis inteiros ou bipartidos; 2- anéis dentados; 3- tarugos de aço ou madeira; 4- chapas estampadas;

(c) entalhes com barras de aço: 1- entalhes redondos; 2- entalhes prismáticos; 3- entalhe cônicos com pinos pretendidos; 4- pranchas com alturas alternadas e conectores metálicos;

(d) treliça ou chapa de aço colada na superfície da madeira.

Para os sistemas de ligação do grupo “a” da Figura 4, que representa a forma mais flexível das ligações estudadas, obteve-se uma redução de aproximadamente 50% do produto de inércia teórico. Já no caso do grupo “d” o produto de inércia efetivo resultou próximo ao teórico.

Dentre os diversos tipos de conectores vistos na Figura 4, os pregos apresentam-se como um sistema de fácil instalação e em geral são industrializados com aço de maior resistência, como prevê a Norma Brasileira NBR 7190/1997 – Projeto de estruturas de madeira, que prescreve que os pregos com a finalidades estruturais devem ser feitos de aço com resistência característica de escoamento maior ou igual a 600 Mpa, enquanto que parafusos estruturais, por exemplo, que possuem diâmetros maiores, deve ter resistência característica de escoamento de pelo menos 240 Mpa. Por esse motivo opta-se pela utilização de pregos mesmo possuindo diâmetros menores.

A utilização de conectores certamente origina forças de tração lateral, e perpendiculares à linha da conexão na mesa das estruturas mistas, podendo ocasionar o fendilhamento da laje e conseqüentemente, é esperada a redução das interações e da resistência de cisalhamento. Em OEHLERS (1989), conforme citado por SORIANO (2001), são apresentados três modos de fissuração em lajes, causados pela força concentrada aplicada por um conector, sendo elas: fissuras de fendilhamento que acompanham paralelamente a direção longitudinal dos conectores; fissuras de corte que aparecem na direção perpendicular ao alinhamento dos conectores e fissuras inclinadas de fendilhamento, conforme ilustrado na Figura 5.

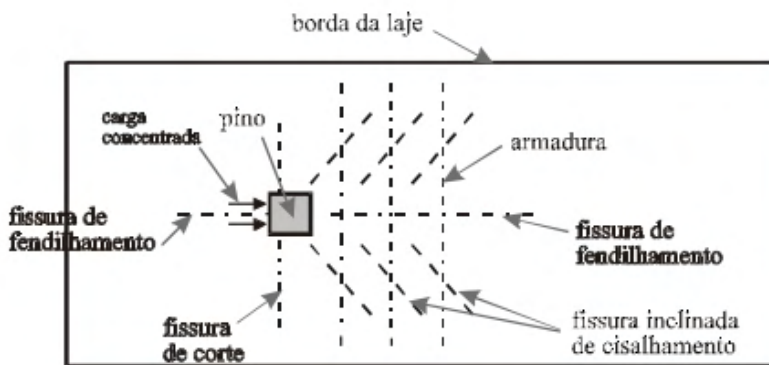


FIGURA 5: Fissuras de tração induzidas por força concentrada no concreto.

FONTE: SORIANO (2001)

### 3 | METODOLOGIA

As etapas desta pesquisa compreendem uma revisão bibliográfica de artigos científicos, revistas técnicas, livros e textos normativos nacionais e internacionais relacionados com o projeto de estruturas de concreto/madeira com foco no projeto de elementos fletidos (vigas). Posteriormente, foi realizado um exemplo de dimensionamento de uma estrutura mista de concreto/madeira, seguindo como base a revisão bibliográfica apresentada.

#### 3.1 Métodos de dimensionamento

Neste trabalho é utilizado um fluxograma, baseado na NBR 7190/1997 e o EUROCODE 5(2004) que apresenta os processos de cálculo de uma viga de concreto/madeira, que serão brevemente descritas a seguir.

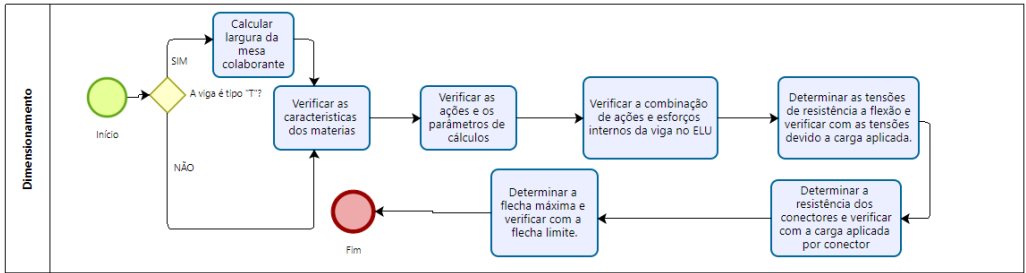


Figura 6 – Fluxograma ilustrando as etapas de dimensionamento de uma viga de concreto/madeira.

Fonte: Os autores.

## 3.2 Parâmetros de dimensionamento

### 3.2.1 Módulo de deslizamento de uma ligação mecânica

O EUROCODE 5 (2004), em sua parte 2, orienta que para o cálculo de rigidez das ligações concreto/madeira realizadas com elementos de ligação tipo pinos, na ausência de dados experimentais, os valores de rigidez poderiam ser tomados 100% maiores do que para as correspondentes juntas entre madeira/madeira. Com base nestas informações, foi elaborada a TAB. 1, que apresenta as equações para o cálculo do módulo de deslizamento  $k_{ser}$ , para elementos tipo pino considerando a união de materiais com densidades diferentes. São admitidos elementos de ligação do tipo barras, parafusos, pregos com ranhuras anelares e pregos com ranhuras helicoidais.

ELEMENTOS	EUROCODE 5, PARTE 2
Barras, parafusos, e pregos (com pré-furação).	$\rho_k^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{10} (1.0)$
Pregos (sem pré-furação).	$\rho_k^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{12,5} (2.0)$

TABELA 1: Valores de  $K_{ser}$  para elementos tipo pino (N/mm)

FONTE: Adaptado de OLIVEIRA (2002).

Considera-se que  $p_k$  seja o valor característico da densidade equivalente, em  $kg/m^3$ , tal que,  $\rho_k = \sqrt{\rho_{k1} \cdot \rho_{k2}} (3.0)$ , para  $p_{k1}$  = valor característico da densidade do concreto, em  $kg/m^3$  e  $p_{k2}$  = valor característico da densidade da madeira, em  $kg/m^3$  e  $d$  = diâmetro do prego em mm.

### 3.2.2 Homogeneização da viga mista madeira concreto

A eficiência do elemento misto de concreto/madeira está associada à união entre os

dois materiais, para isso, tão importante quanto o sistema de ligação escolhido, é o processo de homogeneização do elemento misto de concreto/madeira. A etapa de homogeneização do elemento misto concreto/madeira, pode ser realizada conforme a EUROCODE 5 (2004), parte 1-1, e o esquema representado na figura 8, abaixo:

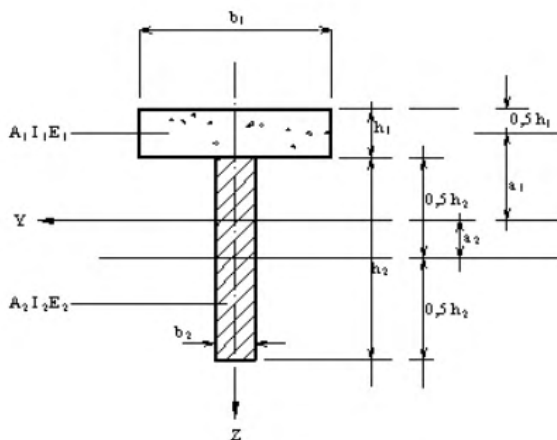


FIGURA 8: Seção transversal de viga mista concreto/madeira.

FONTE: EUROCODE 5 (2004), parte 1-1

A posição da linha neutra da seção mista será calculada a partir da posição das linhas neutras de cada elemento, modificadas pelos coeficientes  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$ , que levam em consideração a rigidez dos elementos de ligação. Conforme a EUROCODE 5 (2004),  $\gamma_1$  é calculado conforme a equação transcrita a seguir:

$$\gamma_1 = \left( 1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 S_1}{kL^2} \right)^{-1} \quad (4.0)$$

Sendo,  $E_1$  a elasticidade secante do elemento concreto,  $A_1$  a área da mesa de concreto,  $S_1$  é o espaçamento entre os conectores,  $k$  é o módulo de deslizamento determinado experimentalmente, e na ausência de dados experimentais, determinado pela formulação da EUROCODE 5 (2008) e  $L$  o vão teórico da viga de madeira.

De acordo com a DIN 1052 (1988) e EUROCODE 5 (2004), parte 1-1, o elemento 2 é tomado como referência. Sendo  $y_2=1$ .

A distância entre as linhas neutras da viga de madeira e a linha neutra do conjunto, será conforme a equação transcrita a seguir:

$$a_2 = \frac{E_1 A_1 \gamma_1 (h_1 + h_2)}{2(E_1 A_1 \gamma_1 + E_2 A_2 \gamma_2)} \quad (5.0)$$

Sendo  $h_1$  a altura da mesa de concreto,  $h_2$  a altura da viga de madeira,  $E_2$  o módulo de elasticidade secante da madeira, determinado experimentalmente ou por meio da NBR

6118/2014 e  $A_2$  a área da seção transversal da viga de madeira.

Segundo a EUROCODE 5(2004), a distância entre as linhas neutras da laje de concreto e a linha neutra do conjunto, será:

$$a_1 = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} - a_2 \quad (6.0)$$

E a rigidez efetiva à flexão da viga mista será:

$$(EI)_{ef} = (E_1 I_1 + E_1 A_1 \gamma_1 a_1^2) + (E_2 I_2 + E_2 A_2 \gamma_2 a_2^2) \quad (7.0)$$

### 3.2.3 Cálculo de resistência a flexão da estrutura mista

Segundo SORIANO (2001) e MOREIRA (2001), a flexão na estrutura mista pode ser calculada da seguinte forma:

- Tensão de compressão na laje de concreto

$$\sigma_{c,d} = \gamma_1 \cdot E_1 \cdot a_1 \frac{M}{EI_{ef}} \quad (8.0)$$

- Tensão de flexão na laje de concreto

$$\sigma_{mc,d} = 0,5 \cdot E_1 \cdot h_1 \frac{M}{EI_{ef}} \quad (9.0)$$

- Tensão de tração na viga de madeira

$$\sigma_{w,d} = \gamma_2 \cdot E_2 \cdot a_2 \frac{M}{EI_{ef}} \quad (10.0)$$

- Tensão de flexão na viga de madeira

$$\sigma_{mw,d} = 0,5 \cdot E_2 \cdot h_2 \frac{M}{EI_{ef}} \quad (11.0)$$

Sendo M o momento fletor no ELU. SORIANO (2001) afirma que a carga máxima a ser aplicada na viga será determinada das condições de segurança, impondo-se que as solicitações de cálculo sejam menores ou iguais a resistência de cálculo.

$$S_d \leq R_d$$

- Verificação na borda superior da madeira

$$\sigma_{mw,d} - \sigma_{w,d} \leq f_{c0d} \quad (12.0)$$

- Verificação na borda inferior da madeira

$$\sigma_{mw,d} + \sigma_{w,d} \leq f_{t0d} \quad (13.0)$$

- Verificação da tensão na mesa de concreto

$$\sigma_{c,d} + \sigma_{mc,d} \leq f_{cd} \quad (14.0)$$

A tensão de cisalhamento máxima pode ser calculada na equação descrita a seguir:

$$\tau_{2,m\acute{a}x} = \frac{E_2 \cdot Y^2 \cdot V_d}{2(EI)_{ef}} \quad (15.0)$$

Sendo Y a altura do centro de gravidade da seção mista,  $V_d$  o cortante máximo no apoio e  $(EI)_{ef}$  a rigidez efetiva da seção mista.

A tensão máxima de cisalhamento deve ser comparada com a resistência de cálculo ao cisalhamento da madeira.

$$\tau_{2,m\acute{a}x} \leq f_{v0,d}$$

### 3.2.4 Verificação dos conectores

O sistema de ligação é um importante fator a ser observado na estrutura, SORIANO (2001) afirma que deve ser verificada a capacidade de resistência dos conectores ao corte, deve ser verificado também o efeito de embutimento na madeira, bem como o efeito da compressão localizada no concreto.

As expressões seguintes foram apresentadas por CECOTTI (1995), conforme citado por MOREIRA (2001) e SORIANO (2001), com base nas indicações da norma EUROCODE 5(2008):

- PARAFUSOS (CORTE):

$$R_{1,d} \leq 0,8 \cdot f_y \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4 \cdot \gamma_m} \quad (16.0)$$

Sendo  $f_y$  a tensão de escoamento do conector,  $\phi$  o diâmetro do conector e  $\gamma_m$  o coeficiente de minoração da madeira.

- CONCRETO (COMPRESSÃO LOCALIZADA):

$$R_{1,d} \leq 0,23 \cdot \phi^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \frac{E_1}{\gamma_m}} \quad (17.0)$$

Sendo  $f_{ck}$  a resistência característica do concreto a compressão.

- MADEIRA (EMBUTIMENTO)

$$R_{1,d} = 1,5 \sqrt{2 \frac{M_{y,k}}{\gamma_m} \cdot f_{e0d} \cdot \phi} \quad (18.0)$$

Sendo  $f_{e0d}$  a resistência de cálculo ao embutimento paralelo as fibras e  $M_{y,k}$  o momento de escoamento de um conector, calculado da seguinte forma:

$$M_{y,k} = 0,8 \cdot f_y \cdot \frac{\emptyset^3}{6} \quad (19.0)$$

Segundo MOREIRA (2001), a força nos conectores pode ser definida pela equação:

$$F_{1,d} = \left( \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s \cdot V_d}{(EI)_{ef}} \right) \quad (20.0)$$

### 3.2.5 Determinação das flechas

Os valores das flechas devem estar limitados de maneira a atender as condições de estado limite de utilização, deste modo, deve-se utilizar os valores limites estabelecidos conforme as normas brasileiras NBR 6118/2014 e NBR 7190/1997.

Para o cálculo das flechas, foi adotada a equação transcrita a seguir.

$$W_{m\acute{a}x} = \frac{5F_d L^4}{384(EI)_{ef}} \quad (21.0)$$

Sendo,  $W_{m\acute{a}x}$  a flecha efetiva,  $F_d$  a combinação ultima das ações de carregamentos,  $L$  o vão efetivo,  $(EI)_{ef}$  a rigidez efetiva da seção mista.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o dimensionamento da estrutura mista de concreto e madeira, foi considerada a estrutura da figura 9, sendo a mesma um pavimento de um edifício de uso residencial (sala e dormitório), cujas lajes são maciças armadas em duas direções. A viga mista V2 T foi calculada considerando mesa colaborante de concreto e seção "T".

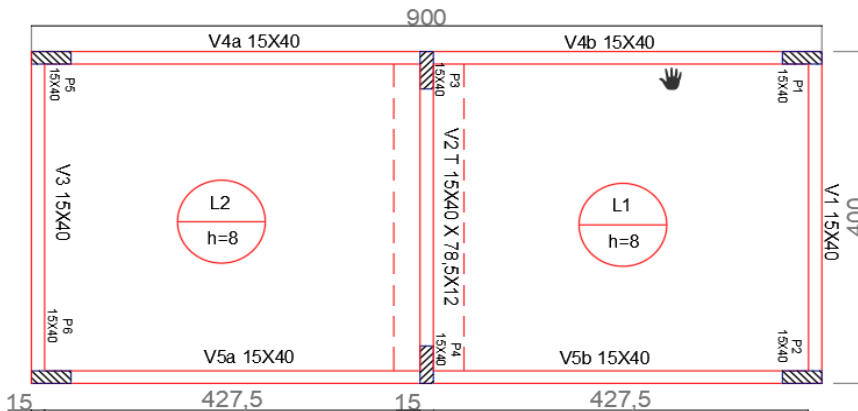


FIGURA 9: Planta de forma do pavimento tipo.

FONTE: Os autores.

## 4.1 Cálculo da mesa colaborante

Nas estruturas mistas de concreto com outros materiais considera-se a laje de concreto como um flange da viga de seção T. Para que o dimensionamento seja o mais preciso possível, é importante conhecer a parcela da laje de concreto que efetivamente trabalha como parte da viga T.

A viga V2 T, com dimensões de 15 por 40 cm, obtidas através de um pré-dimensionamento com base na NBR 7190/1997, que estima área mínima de 50 cm<sup>2</sup> e dimensão mínima de 5 cm, é composta com uma laje de concreto e a alma de madeira da classe C60 (Dicotiledônea), umidade ambiente de 75% e madeira de 1ª categoria.

A laje foi armada com malha de aço tipo CA – 50 e diâmetro nominal de 5 mm. O sistema de ligação adotado consistiu em pregos de 26x84, com uma tensão de escoamento de 600Mpa, conforme estabelecido no item 8.3.4. da NBR 7190/1997.

A viga V2 T deve ser calculada de forma isolada, de acordo com a norma NBR 6118/2014, em seu item 14.6.2.2. Sendo a mesma uma viga simplesmente apoiada, temos:

$$a = 1,00 \times l \quad (22.0)$$

$$a = 1,00 \times 385 = 385 \text{ cm}$$

O limite  $b_3$  deve ser respeitado, sendo assim, temos:

$$b_3 = 0,1a \quad (23.0)$$

$$b_3 = 0,1 \times 385 = 38,5 \text{ cm}$$

Sendo a largura da mesa colaborante, igual a:

$$b_f = 2b_3 + b_w \quad (24.0) = 2 \times 38,5 + 15 = 92 \text{ cm}$$

## 4.2 Características geométricas da laje de concreto

Sendo  $b_f=92\text{cm}=0,92\text{m}$ ,  $h_f=8\text{cm}=0,08\text{m}$ , a área  $A_f=0,92 \cdot 0,08=0,0736\text{m}^2$ , sendo o módulo de elasticidade calculado, para um concreto com resistência característica de 20 MPA, conforme NBR 6118/2014 em seu item 8.2.8, por meio da equação:

$$E_1 = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (25.0)$$

Sendo,

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (26.0) \text{ e } \alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \quad (27.0)$$

Adotar  $\alpha_E=0,9$ , recomendado para calcário. Portanto,

$$E_1 = \left(0,8 + 0,2 \cdot \frac{20}{80}\right) \cdot (0,9 \cdot 5600 \cdot \sqrt{20}) = 14.901,16 \text{ MPA}$$

O momento de inercia vale,



$$I_1 = \frac{bh^3}{12} (28.0) = \frac{0,92 \cdot 0,08^3}{12} = 0,00004 \text{ m}^4$$

### 4.3 Caracterização geométrica da viga de madeira

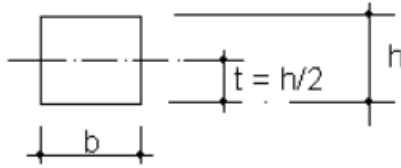


FIGURA 10: Seção da viga de madeira.

FONTE: OLIVEIRA (2002)

Sendo  $b_2=0,15\text{m}$  e  $h_1=0,4\text{m}$ , a área  $A_1=0,15 \cdot 0,40=0,06\text{m}^2$  e  $t = \frac{h}{2} = \frac{40}{2}=20\text{cm}=0,2\text{m}$ , temos o momento de inércia igual a  $I_2 = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,15 \cdot 0,40^3}{12} = 0,0008\text{m}^4$ .

Sendo a madeira dicotiledônea, classe C60, serrada e de 1ª categoria, temos as seguintes características:

Dicotiledôneas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0k}$ MPa	$f_{vk}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	<sup>1)</sup> $P_{bas,m}$ kg/m <sup>3</sup>	$P_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

<sup>1)</sup> Como definida em 6.1.2.

TABELA 2 – Classes de resistência das dicotiledôneas

Fonte: NBR 7190/1997.

Conforme a NBR 7190/1997, a madeira C60 tem resistência à compressão paralela às fibras igual a,

$$f_{c0k} = 60 \text{ MPA}$$

O cálculo do coeficiente de modificação das resistências –  $K_{mod}$  deve ser realizado conforme NBR 7190/1997, em seu item 6.4.4.

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \quad (29.0)$$

Conforme a NBR 7190/1997, para o  $k_{mod1}$  devemos considerar a duração do carregamento, sendo de longa duração e madeira serrada, recomenda-se adotar  $k_{mod1}=0,7$ . No caso do  $k_{mod2}$  deve se considerar a classe de umidade, sendo assim, adotar  $k_{mod2}=1,0$ . Já para o  $k_{mod3}$  deve se observar a categoria da madeira, sendo a mesma de 1ª categoria, temos que  $k_{mod3}=1,0$ . Portanto,

$$k_{mod} = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 = 0,7$$

Logo, a resistência da madeira é:

$$f_{c0d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c0k}}{\gamma_{wc}} \quad (30.0) = 0,7 \cdot \frac{60}{1,4} = 30 \text{ MPa}$$

Sendo assim, podemos calcular os respectivos coeficientes, conforme NBR 7190/1997, em seu item 6.3.3, como:

$$f_{t0,k} = \frac{f_{c0,k}}{0,77} \quad (31.0) = \frac{60}{0,77} \cong 78 \text{ MPa}$$

$$f_{t0,d} = k_{mod} \cdot f_{t0,k} \quad (32.0) = 0,7 \cdot 70 \cong 49 \text{ MPa}$$

$$f_{e0d} = f_{c0d} \quad (33.0) = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,k} = 0,12 \cdot f_{c0,k} \quad (34.0) = 0,12 \cdot 30 = 3,6 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,d} = 0,1 \cdot f_{c0d} \quad (35.0) = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ MPa}$$

Sendo assim, temos o módulo de elasticidade efetivo, igual a:

$$E_2 = k_{mod} \cdot E_{c0,m} \quad (36.0) = 0,7 \cdot 24.500 = 17.150 \text{ MPa}$$

#### 4.4 Módulo de deslizamento da ligação

A norma europeia, EUROCODE 5 (2004) orienta que na ausência de dados experimentais, o módulo de deslizamento deve ser calculado pela equação,

$$K_{serv} = \rho_k^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{12,5} \quad (2.0)$$

$$\text{Sendo a densidade característica do concreto igual a } 2000 \text{ kgf/m}^3, \quad \rho_k = \sqrt{\rho_{k1} \cdot \rho_{k2}} \quad (3.0) = \rho_k = \sqrt{800 \cdot 2.000} = 1265 \text{ kgf/m}^3$$

Para a estrutura em questão, o módulo de deslizamento é,

$$K_{serv} = 1265^{1,5} \cdot \frac{7,6^{0,8}}{12,5} = 18.233,78 \text{ N/mm}$$

## 4.5 Homogeneização da viga mista madeira concreto

A etapa de homogeneização do elemento mista concreto/madeira, será realizada conforme a EUROCODE 5 (2004), parte 1-1, sendo:

$$\gamma_1 = \left( 1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 S_1}{kL^2} \right)^{-1} \quad (4.0) \cong 0,333$$

Sendo,  $S_1$ =espaçamento dos elementos de ligação = 0,05m;

$k=k_{ser}=18.233,78 \text{ N/mm}=18.233,78 \text{ KN/m}$ .

$E_1=14.901,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}=14.901.160 \text{ KN/m}^2$ ,  $A_1=0,0736\text{m}^2$ .  $L=3,85\text{m}$  e  $y_2=1$ .

De acordo com a DIN 1052 (1988) e EUROCODE 5 (2004), parte 1-1, o elemento 2 é tomado como referência.

A distância entre as linhas neutras da viga de madeira e a linha neutra do conjunto, será conforme a equação transcrita a seguir:

$$a_2 = \frac{E_1 A_1 \gamma_1 (h_1 + h_2)}{2(E_1 A_1 \gamma_1 + E_2 A_2 \gamma_2)} \quad (5.0) = 0,063 \text{ m} = 6,3 \text{ cm}$$

Sendo,

$E_2=17.150 \text{ MPa}=17.150.000 \text{ KN/m}^2$   $A_2=0,06\text{m}^2$  e  $y_2=1$ .

A distância entre as linhas neutras da laje de concreto e a linha neutra do conjunto, será:

$$a_1 = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} - a_2 \quad (6.0) = \frac{0,08}{2} + \frac{0,4}{2} - 0,063 = 0,177 \text{ m} = 17,7 \text{ cm}$$

A rigidez efetiva à flexão da viga mista será:

$$(EI)_{ef} = (E_1 I_1 + E_1 A_1 \gamma_1 a_1^2) + (E_2 I_2 + E_2 A_2 \gamma_2 a_2^2) \quad (7.0)$$

$$(EI)_{ef} = 27.441,8 \text{ KN/m}^2$$

## 4.6 Esforços solicitantes e combinação das ações

A combinação das ações (Fd) deve ser feita de acordo a NBR 7190/1997, tanto para os estados limites últimos como para os estados limites de utilização. Na análise em questão, apenas será considerado o carregamento permanente nominal,  $F_{g,k}$  e a carga acidental de uso e ocupação  $F_{q,k}$ . O  $F_{g,k}$  será o somatório dos valores seguintes:

- Carregamento das lajes L1 e L2
  - i) Peso próprio:  $h \cdot \gamma = 0,08\text{m} \cdot 25\text{KN/m}^3=2\text{KN/m}^2$ ;
  - ii) Revestimento:  $1,5 \text{ KN/m}^2$ ;
  - iii) Sobrecarga de utilização: (NBR 6120/2019): Uso residencial (Salas e

dormitórios): 1,5 KN/m<sup>2</sup>.

Total: Carga permanente = 3 KN/m<sup>2</sup> Carga Acidental = 1,5 KN/m<sup>2</sup>

- Esforços

As reações de apoio das lajes serão determinadas utilizando o processo simplificado das charneiras plásticas, item 14.7.6.1 da NBR 6118/2014.

Onde, para uma laje armada em duas direções, como a laje em questão, temos:

$$\lambda = \frac{Ly}{Lx} (37.0) = \frac{4,275}{4} = 1,068$$

Para o cálculo das reações, segundo o método das charneiras plásticas temos a equação:

$$V = v \left( \frac{p \cdot lx}{10} \right) (38.0)$$

Reações das lajes 1 e 2 na viga V2T devido à carga permanente:

$$G_{L2} = 4,17 \cdot \left( \frac{3 \cdot 3,85}{10} \right) = 4,82 \text{ KN/m/m}$$

Reações das lajes 1 e 2 na viga V2T devido à carga acidental:

$$Q_{L1,2} = 4,17 \cdot \left( \frac{1,5 \cdot 3,85}{10} \right) = 2,41 \text{ KN/m/m}$$

Sendo assim, a estrutura mista irá receber os seguintes carregamentos:

- Viga de madeira =(0,15x0,4)m<sup>2</sup>x10 KN/m<sup>3</sup> = 0,6KN/m
- Ligações =~10% peso da viga = 0,012 KN/m
- Reação da Laje 1 =4,82 + 2,41 = 7,23 KN/m
- Reação da Laje 2 =4,82 + 2,41 = 7,23 KN/m
- Total = 15,072 KN/m
- Adicional de carga acidental =1,50 KN/m

Assim, conforme a NBR 6118/2014, temos uma combinação ultima normal igual a:

$$F_d = \gamma \cdot F_{g,k} + \gamma \cdot F_{q,k} (39.0)$$

$$F_d = 1,4 \cdot 15,072 + 1,4 \cdot 1,5 = 23,2 \text{ KN/m}$$

Fazendo o momento fletor máximo e o cortante máximo no ELU, temos:

$$M_d = \frac{(F_d)L^2}{8} \quad (40.0)$$

$$M_{zd} = \frac{23,2 \cdot 3,85^2}{8} \cong 43 \text{ KN.m}$$

$$V_d = \frac{(F_d)L}{2} \quad (41.0)$$

$$V_d = \frac{23,2 \cdot 3,85}{2} = 44,66 \text{ KN}$$

#### 4.7 Verificação de tensões de compressão e flexão na madeira e no concreto

As tensões na madeira e no concreto são:

- Tensão de compressão na laje de concreto

$$\sigma_{c,d} = \gamma_1 \cdot E_1 \cdot a_1 \frac{M}{EI_{ef}} (8.0) = 0,333 \cdot 14.901.160 \cdot 0,177 \cdot \frac{43}{27.441,8} = 1.376,24 \text{ KN/m}^2$$

- Tensão de flexão na laje de concreto

$$\sigma_{mc,d} = 0,5 \cdot E_1 \cdot h_1 \frac{M}{EI_{ef}} (9.0) = 0,5 \cdot 14.901.160 \cdot 0,08 \cdot \frac{43}{27.441,8} = 933,98 \text{ KN/m}^2$$

- Tensão de tração na viga de madeira

$$\sigma_{w,d} = \gamma_2 \cdot E_2 \cdot a_2 \frac{M}{EI_{ef}} (10.0) = 1 \cdot 17.150.000 \cdot 0,063 \cdot \frac{43}{27.441,8} = 1.693,02 \text{ KN/m}^2$$

- Tensão de flexão na viga de madeira

$$\sigma_{mw,d} = 0,5 \cdot E_2 \cdot h_2 \frac{M}{EI_{ef}} (11.0) = 0,5 \cdot 17.150.000 \cdot 0,4 \cdot \frac{43}{27.441,8} = 5.374,7 \text{ KN/m}^2$$

$$S_d \leq R_d$$

- Verificação na borda superior da madeira

$$\sigma_{mw,d} - \sigma_{w,d} \leq f_{c0d}$$

$$5,3747 \text{ MPa} - 169302 \text{ MPa} \leq 30 \text{ MPa}$$

- Verificação na borda inferior da madeira

$$\sigma_{mw,d} + \sigma_{w,d} \leq f_{t0d}$$

$$5,3747 \text{ MPa} + 169302 \text{ MPa} \leq 49 \text{ MPa}$$

- Verificação da tensão na mesa de concreto

$$\sigma_{c,d} + \sigma_{mc,d} \leq f_{cd}$$

$$1,37624 \text{ MPa} + 0,93398 \text{ MPa} \leq \frac{20}{1,4} \text{ MPa}$$

Portanto, a seção mista em questão satisfaz as condições de resistência exigidas.

#### 4.8 Verificação do cisalhamento máximo

A altura do centro de gravidade da seção mista pode ser obtida da seguinte forma:

$$Y = \frac{\sum(y \cdot A)}{\sum A} \quad (42.0)$$

Sendo Y a altura do centro de gravidade da seção mista, y a altura do centro de gravidade dos materiais madeira e concreto e A área dos materiais madeira e concreto.

$$Y = \frac{(20 \cdot 15 \cdot 40) + (44 \cdot 92 \cdot 8)}{\sum A} = 33,2216 \text{ cm} = 0,332216 \text{ m}$$

A tensão de cisalhamento máxima é:

$$\tau_{2,m\acute{a}x} = \frac{E_2 \cdot Y^2 \cdot V_d}{2(EI)_{ef}} (15.0) = \frac{17.150.000 \cdot 0,332216^2 \cdot 44,66}{2 \cdot 27.441,8} = 1.540,22 \text{ KN} = 1,54022 \text{ MPA}$$

Comparando a tensão de cisalhamento máximo na estrutura com a resistência de cálculo ao cisalhamento da madeira, temos que:

$$\tau_{2,m\acute{a}x} \leq f_{v0,d}$$

$$1,54022 \text{ MPA} \leq 3,0 \text{ MPA}$$

Portanto, a viga satisfaz as condições estabelecidas de forma satisfatória.

#### 4.9 Verificação dos conectores

- Parafusos (corte):

$$R_{1,d} \leq 0,8 \cdot f_y \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4 \cdot \gamma_m} \quad (16.0)$$

$$R_{1,d} = 0,8 \cdot 600 \cdot \frac{\pi \cdot (7,6)^2}{4 \cdot 1,25} = 17.420,00 \text{ N} = 17,42 \text{ KN}$$

- Concreto (Compressão localizada):

$$R_{1,d} \leq 0,23 \cdot \phi^2 \sqrt{f_{cc} \frac{E_{cs}}{\gamma_m}} \quad (17.0)$$

$$R_{1,d} = 0,23 \cdot (7,6)^2 \cdot \sqrt{20 \frac{14.901,16}{1,25}} = 6.486,72 \text{ N} = 6,48672 \text{ KN}$$

- Madeira (embutimento)

$$R_{1,d} = 1,5 \sqrt{2 \frac{M_{y,k}}{\gamma_m} \cdot f_{e0d} \cdot \phi} \quad (18.0)$$

Sendo  $M_{y,k}$  o momento de escoamento de um conector, calculado da seguinte forma:

$$M_{y,k} = 0,8 \cdot f_y \cdot \frac{\phi^3}{6} \quad (19.0)$$

Logo,

$$R_{1,d} = 1,5 \sqrt{2 \frac{0,8 \cdot 600 \cdot \left(\frac{7,6^3}{6}\right)}{1,15} \cdot 30 \cdot 7,6} = 5597,45 \text{ N} = 5,59745 \text{ KN}$$

Dentre os valores obtidos tem-se que o embutimento é o fator limitante para o sistema de ligação.

$$F_{1,d} \leq R_{1,d}$$

$$\text{Sendo, } F_{1,d} = \left( \frac{\gamma_1 \cdot E_{cs} \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s \cdot V_d}{(EI)_{ef}} \right) \quad (20.0) = 5,26 \text{ KN}$$

Logo,

$$5,26 \text{ KN} \leq 5,59 \text{ KN}$$

Portanto, o conector satisfaz as condições para uma ligação efetiva entre os elementos da estrutura.

#### 4.10 Determinação das flechas e verificação em situação do estado limite de utilização

Cálculo da flecha máxima, considerando o carregamento distribuído, devido ao peso próprio da estrutura. A flecha limite para vigas, estabelecida na NBR 7190/1997 pode ser obtida pela expressão,

$$W_{lim} = \frac{L}{200} \quad (43.0)$$

Sendo assim, para o exemplo em questão, o valor da flecha limite é igual a:

$$W_{lim} = \frac{3,85}{200} = 0,01925 \text{ m} = 19,25\text{mm}$$

Fazendo o cálculo da flecha efetiva, podemos concluir que a mesma é:

$$W_{m\acute{a}x} = \frac{5F_d L^4}{384(EI)_{ef}} (21.0) = 0,00242\text{m} = 2,42\text{mm}$$

Sendo  $L=3,85\text{m}$  e a rigidez efetiva da seção mista  $(EI)_{ef}=29.743,44 \text{ KN/m}^2$ .

Portanto, comparando-se a flecha efetiva com a flecha limite, podemos concluir que a viga de madeira satisfaz as exigências normativas, pois:

$$W_{m\acute{a}x} \leq W_{lim}$$

#### 4.11 Detalhamento da viga V2T

A viga mista satisfaz as condições exigidas pelo método proposto, sendo assim, podemos detalhar a mesma, com o uso de seus conectores, espaçados uniformemente a cada 5 cm, conforme a figura 11.

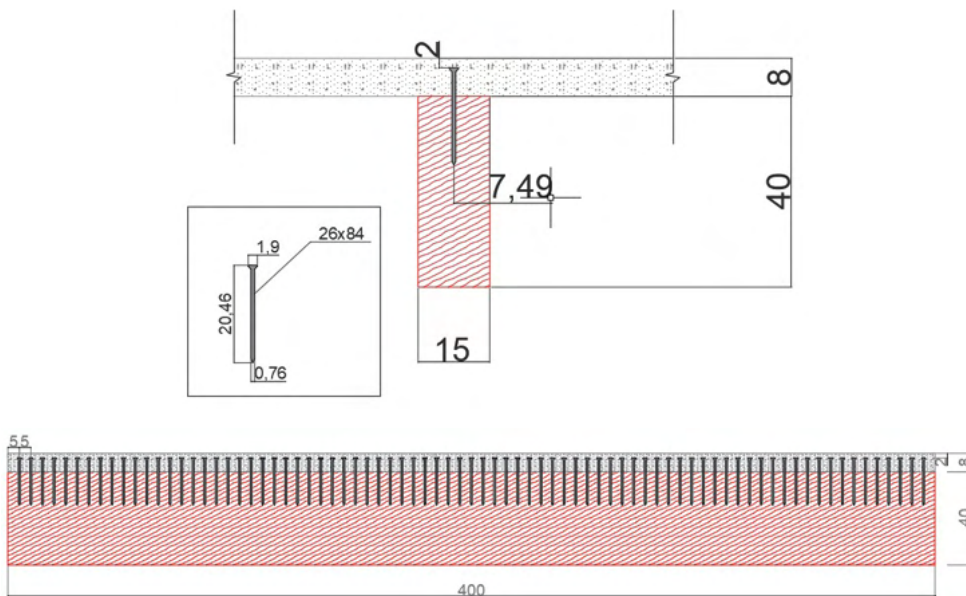


Figura 11 – Detalhe da seção transversal e longitudinal da viga mista (cotas em cm)

Fonte: Os autores



## 5 | CONCLUSÃO

Com base na revisão bibliográfica realizada verificou-se que os aspectos críticos do dimensionamento de um elemento misto de concreto/madeira consistem na escolha adequada do sistema de ligação e das características dos materiais. A revisão bibliográfica possibilitou conhecer a fronteira do conhecimento relativo ao estudo de vigas mistas concreto/madeira, pois analisando os critérios apresentados e existentes na literatura nacional e internacional, conclui-se que o método proposto é viável para o dimensionamento de uma estrutura mista de concreto/madeira e que o mesmo apresenta alguns aspectos semelhantes ao dimensionamento de outros tipos de estruturas, como o de estruturas mistas de aço concreto, mas com suas particularidades, sendo uma delas o sistema de conexão entre a mesa de concreto e a alma de madeira.

Os valores das flechas (deslocamentos verticais) calculados segundo o método proposto foi satisfatório em relação às normas técnicas brasileiras NBR 7190/1997 e 6118/2014, indicando que a metodologia proposta, representa, satisfatoriamente, o comportamento das vigas mistas de concreto/madeira.

Com relação ao sistema de ligação entre a mesa de concreto e a alma de madeira, observou-se que os conectores devem ser espaçados de maneira a obter-se a máxima eficiência de rigidez de cada sistema de conexão e a importância da eficiência do sistema de ligação para a obtenção do deslocamento vertical, considerando o sistema de ligação com o seu correspondente módulo de deslizamento.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2014. 238 p.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 7190/1997: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro. ABNT, 1997. 107 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6120/2019: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro. ABNT, 2019. 60 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NURMING. DIN 1052 – Structural Use of Timber-Design and construction. Berlin. 1988. 80p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2004). ENV 1995-1-1: Eurocode 5 - Design of timber structures. Brussels. 2004. 123 p.

FORTI, Nádia Cazarim da Silva. Análise numérica de vigas mistas em concreto e madeira. **Dissertação** (Mestrado). Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de estruturas. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2004. Disponível em: < [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257672/1/Forti\\_NadiaCazarimdaSilva\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257672/1/Forti_NadiaCazarimdaSilva_M.pdf) > Acesso em: 06 de maio de 2021.

GIRHAMMAR, U. A., GOPU, V. K. A. Composite beam-columns with interlayer slip-exact analysis. Journal of Structural Engineering- ASCE, New York, n. 4, v.119, p.1265-1282. Apr. 1993. 14p. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020740308001392>> Acesso em: 05 de abril de 2021.

MIOTTO, José Luiz. Estruturas mistas de madeira/concreto: Avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro. **Tese** (Doutorado) – Doutor em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2009. Disponível em: < [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-15062009-094616/publico/2009DO\\_JoseLMiotto.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-15062009-094616/publico/2009DO_JoseLMiotto.pdf)> Acesso em: 28 de abril de 2021.

MOREIRA, Lúcio Flávio Nunes. Dimensionamento à flexão de vigas mistas de madeira/concreto. **Dissertação** (Mestrado) – Mestre em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2001. Disponível em: < [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUDB-8AKN5N/1/dimensionamento\\_\\_\\_flex\\_o\\_de\\_vigas\\_mistas...\\_l\\_cio\\_fl\\_vio\\_n.\\_moreira.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUDB-8AKN5N/1/dimensionamento___flex_o_de_vigas_mistas..._l_cio_fl_vio_n._moreira.pdf)> Acesso em: 20 de Maio de 2021.

SORIANO, J. , MASCIA, N. T. (2001). Estruturas mistas em concreto e madeira: Análise de vigas e painéis e aplicações na construção civil. **Tese** (doutorado) – Curso Engenharia Agrícola. São Paulo. 2001. Disponível em: < [http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257646/1/Soriano\\_Julio\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257646/1/Soriano_Julio_D.pdf)> Acesso em: 03 de maio de 2021.

OLIVEIRA, Ana Lúcia. Contribuição para a análise de vigas mistas de madeira laminada colada e concreto (MLC/concreto). **Dissertação** (Mestrado) – Mestre em Engenharia de Estruturas, Escola de engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/FACO-5JVPV7> . Acesso em: 15 mai 2021.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ácido polilático 105, 106  
Adhesive joints 111, 124, 125, 127  
Análise de vibração 62  
Arranjo físico posicional 128, 129, 130, 131  
Atraso de ignição 62, 63, 64, 65, 66, 67

### B

Bateria eletrônica 149, 150, 151, 152, 155, 157  
Biomassa 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 19

### C

Cianobactérias 13, 14, 15, 16, 17, 19  
Concreto 68, 69, 73, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 99, 100, 103, 104  
Construção civil 68, 69, 73, 78, 80, 81, 82, 104

### D

Desenho geométrico 158, 159, 160, 162, 163, 172  
Distribuição de água 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 47, 48, 49, 50

### E

Economia 34, 59, 78, 163, 180, 183, 185, 188  
Educação 146, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 171, 172, 185, 187  
Efluente sintético 13, 16  
Empreendedorismo 185, 186, 187, 188, 189  
Estruturas mistas 82, 83, 84, 86, 88, 94, 103, 104

### F

Fluido 51, 53, 55, 60  
Friction stir welding 111, 115, 122, 126, 127

### G

Gesso 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

### I

Impressora 3D 105, 106, 108, 110

## **L**

Logística reversa 21, 22, 23, 26, 30, 31, 32

## **M**

Macromedição 36

Madeira 6, 8, 69, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Matriz energética 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10

Micromedição 36

Música 149, 150, 151, 157

## **O**

Otimização 128, 143

## **P**

Planejamento estratégico 2, 185

Plano de negócio 179

Proteção 4, 72, 77, 85, 174, 175, 176

## **R**

Reaproveitamento 78, 80

Recuperação avançada de petróleo 51, 52

Reservatório 18, 51, 52, 55

## **S**

Segurança da informação 173, 174, 175, 176, 181, 182, 183, 184

Segurança estrutural 82

Sensor piezoelétrico 62, 63, 64, 65, 66

Sistema de ligação 82, 83, 85, 86, 90, 92, 94, 101, 103

Sustentabilidade 11, 21, 22, 68, 78, 80

## **T**

Tear modular 107, 110

Tecnologia 7, 19, 68, 69, 81, 105, 106, 110, 125, 149, 150, 151, 152, 158, 159, 160, 162, 164, 170, 171, 175, 176, 177, 182, 183, 184, 190

Tensoativo 51, 53

Toxicidade 13, 14, 15, 17, 106

Tratamento de efluente 13

www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



@atenaeditora



www.facebook.com/atenaeditora.com.br



# ENGENHARIAS:

## Criação e repasse de tecnologias 3



**Atena**  
Editora

Ano 2022

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

@atenaeditora 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# ENGENHARIAS:

## Criação e repasse de tecnologias 3

