



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS MOURA DELFINO

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS DE CONCRETO SUBMETIDAS A
FLEXÃO PURA COM REFORÇO DE MADEIRA EM SUBSTITUIÇÃO AO AÇO NA
REGIÃO TRACIONADA**

**ARARUNA
2018**

LUCAS MOURA DELFINO

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS DE CONCRETO SUBMETIDAS A
FLEXÃO PURA COM REFORÇO DE MADEIRA EM SUBSTITUIÇÃO AO AÇO NA
REGIÃO TRACIONADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa.

**ARARUNA
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

D349a Delfino, Lucas Moura.

Análise experimental de vigas de concreto submetidas a flexão pura com reforço de madeira em substituição ao aço na região tracionada [manuscrito] / Lucas Moura Delfino. - 2018.

58 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2019.

"Orientação : Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Madeira. 2. Concreto. 3. Estrutura Mista. 4. Armadura.
5. Reforço. I. Título

21. ed. CDD 624.16

LUCAS MOURA DELFINO

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS DE CONCRETO SUBMETIDAS A FLEXÃO
PURA COM REFORÇO DE MADEIRA EM SUBSTITUIÇÃO AO AÇO NA REGIÃO
TRACIONADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
coordenação do curso de Engenharia Civil da
Universidade Estadual da Paraíba como
requisito parcial para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Aprovada em: __/__/____.

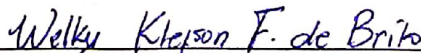
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Eduardo Morais de Medeiros
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. M^c. Welky Klefson Ferreira de Brito
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A Deus por ser o Autor da minha vida, e aos meus pais que com muito carinho não mediram esforços para que eu chegasse até aqui, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter sido meu verdadeiro professor e proporcionado incontáveis bênçãos.

Aos meus pais Luiz e Graça que não só dedico mas agradeço por todo ensino, carinho, esforço e dedicação.

As minhas irmãs Larissa e Raíssa que com todo carinho sempre me ajudaram e cuidaram de mim.

Aos meus avós, tios e primos que sempre torceram e me apoiaram durante toda essa caminhada.

A minha amiga Talita por sua parceria na vida acadêmica e por toda ajuda e momentos que me proporcionou.

Ao meu amigo Diego por todo período de companheirismo, aprendizagem e irmandade.

A minha amiga Karina que desde o início se mostrou presente e fez toda a caminhada se tornar mais fácil.

Aos meus irmãos de casa Josival e Eryclapton por terem compartilhado comigo seus dias e aceitado conviver com meus defeitos.

Aos meus amigos Daniel, Cleidson e Luiz que me deram abrigo, alimento e companheirismo.

Ao meu primeiro grupo de amigos Raquel, Thiago, Ingridy e Cinthia por terem tornado o início dessa caminhada mais leve.

Ao meu professor e orientador Leonardo por todo subsídio nessa última etapa, pois não teria conseguido sem suas orientações.

A todos que fizeram parte da Pilares pois foram responsáveis por grande parte da motivação que tive para chegar até aqui.

Aos meus colegas de classe pela amizade.

“Em cada passo que eu der, em cada estrada que eu trilhar, todo caminho que escolher a Sua mão me guiará. E cada vez que eu desviar, Senhor me ajude a Te encontrar, pois cada vez que me chamar eu quero seguir” (OS ARRAIS, 2008).

RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico de materiais e ferramentas na construção civil, o concreto juntamente com o aço (concreto armado) se tornou o material mais utilizado em construções, até o momento em que pesquisadores atentaram-se para as desvantagens da produção desse metal, levando a estudos de possíveis materiais substituintes, como a madeira, que se mostrou vantajosa, principalmente devido aos fatores de resistência, durabilidade, segurança, manutenção, economia de energia, mão-de-obra e resistência a ataque de xilófagos, e são com esses aspectos que o trabalho se baseia em ampliar as formas de aplicação da madeira na construção civil, avaliando o comportamento mecânico de vigas mistas concreto-madeira, usando-a como material substituinte do aço nas fibras tracionadas do elemento estrutural, de modo a viabilizar sua implementação em construções de pequeno porte. Como forma de avaliação, foi realizado um estudo comparativo entre vigas de concreto simples, concreto armado e estrutura mista madeira-concreto quanto aos seus desempenhos nos esforços de flexão pura. O estudo se desenvolveu, inicialmente, na escolha da madeira de melhor desempenho, propondo a caracterização das espécies *Hymenaea spp*, *Manilkara spp* e *Bagassa guianensis* popularmente conhecidas como Jatobá, Maçaranduba e Tatajuba respectivamente, onde a Maçaranduba apresentou maior resistência mecânica e umidade próxima aos 12% como recomendado pela NBR7190 (ABNT, 1997). A abordagem experimental se deu a partir do uso da Maçaranduba como reforço em 3 vigas, variando sua seção transversal em três áreas com medidas dadas a partir de uma relação entre a resistência do aço e da madeira, juntamente com entalhes como forma de aderência entre o reforço e o concreto. Os resultados obtidos mostraram que a viga mista concreto-madeira suportou 81,7% da carga última da viga de concreto armado e 3 vezes mais que a de concreto simples. A viga de menor área de madeira rompeu a flexão como desejado, contudo as de seção média e grande romperam a cisalhamento, o que demanda mais amostras pois o aumento da área da seção de madeira não induziu resultados conclusivos. Ao final, o estudo foi tomado como um indicativo de avanço na solução de impasses na construção civil através da introdução da madeira como reforço promissor e de bom desempenho nas regiões tracionadas do concreto.

Palavras-Chave: Madeira. Concreto. Estrutura Mista. Armadura. Reforço.

ABSTRACT

With the technological development of materials and tools in civil construction, the concrete together with steel (reinforced concrete) became the most used material in constructions, until the moment researchers investigated the disadvantages of the production of this metal, leading to studies of possible substitute materials, such as wood, which proved to be advantageous, mainly due to the factors of resistance, durability, safety, maintenance, energy saving, labor and resistance to attack of xylophages. The work is based on increasing the wood application in the construction industry, evaluating the mechanical behavior of concrete-wood composite beams, using it as substitute material of the steel in the tensile fibers of the structural element, in order to enable its implementation in constructions of small size. As a form of evaluation, a comparative study was carried out between simple concrete beams, reinforced concrete and mixed wood-concrete structure for their performances in pure bending efforts. The study was initially developed in the selection of the best performance wood, proposing the characterization of the species *Hymenaea* spp, *Manilkara* spp and *Bagassa guianensis* popularly known as Jatobá, Maçaranduba and Tatajuba respectively, where Maçaranduba presented higher mechanical resistance and humidity close to 12 % as recommended by NBR7190 (ABNT, 1997). The experimental approach was based on the use of Maçaranduba as reinforcement in 3 beams, varying its cross section in three areas with measures given from a relationship between the strength of the steel and the wood, together with notches as a form of adhesion between the reinforcement and concrete. The results showed that the concrete-wood mixed beam supported 81.7% of the final load of the reinforced concrete beam and 3 times more than that of simple concrete. The smaller area beam broke the bending as desired, but the medium section and large section broke the shear, which requires more samples because the increase of the area of the wood section did not lead to conclusive results. In the end, the study was taken as an indication of progress in the solution of impasses in the civil construction through the introduction of wood as a promising reinforcement and of good performance in the tracts of concrete.

Keywords: Wood. Concrete. Mixed Structure. Armor. Reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma correspondente às etapas da pesquisa.....	19
Figura 2 – Dimensões em centímetros de corpos de prova de madeira submetidas a ensaio de umidade.	20
Figura 3 - Dimensões em centímetros de corpos de prova de madeira submetidas a ensaio de compressão paralela às fibras.	21
Figura 4 - Pré-visualização das cargas pontuais atuantes na viga.	23
Figura 5 - Dimensões em centímetros das seções e entalhes dos reforços de madeira.	23
Figura 6 - Modelagem da armadura mista.	24
Figura 7 - Corpos de prova para determinação da umidade da Maçaranduba.	26
Figura 8 - Corpos de prova para determinação da umidade da Jatobá.	26
Figura 9 - Corpos de prova para determinação da umidade da Tatajuba.....	26
Figura 10 - Unidade representativa de corpos de prova.....	28
Figura 11 - Unidade de corpo de prova submetida a compressão paralela às fibras.	28
Figura 12 - Gráfico tensão-deformação dos corpos de prova da madeira Maçaranduba submetidos a compressão paralela às fibras.	29
Figura 13 - Gráfico tensão-deformação dos corpos de prova da madeira Jatobá submetidos a compressão paralela às fibras.	30
Figura 14 - Gráfico tensão-deformação dos corpos de prova da madeira Tatajuba submetidos a compressão paralela às fibras.....	31
Figura 15 - Trinca apresentada pela abertura no 3º corpo de prova da madeira Tatajuba.	31
Figura 16 - Diagrama de carregamento para determinação do módulo de elasticidade do 1º corpo de prova da madeira a compressão paralela às fibras.....	34
Figura 17 - Corpo de prova da pré-moldagem submetido a carga axial de compressão.	36
Figura 18 - Vista diagonal da armadura mista.....	37
Figura 19 - Vista da seção transversal da armadura mista.	38
Figura 20 - Fôrmas de madeiras para moldagem de vigas.....	38
Figura 21 - Vigas moldadas.....	39
Figura 22 - Vigas curando em câmara úmida.....	39
Figura 23 - Viga montada em maquinário para submissão ao ensaio de flexão pura.	40
Figura 24 - Seção transversal variável da viga de armadura mista de seção média.	41
Figura 25 - Madeira de seção média com camada de impermeabilização.....	42
Figura 26 - Região de esmagamento da viga.	42
Figura 27 - Seção interna transversal da viga de concreto simples.....	43
Figura 28 - Diagramas genéricos do momento fletor e esforço cortante.	44
Figura 29 - Colapso da viga de concreto simples.	44
Figura 30 - Fissuração na região de flexão pura.....	45
Figura 31 - Ilustração dos estádios de fissuração da viga.	45
Figura 32 - Esmagamento do concreto na região comprimida.....	46
Figura 33 - Fissuras iniciais no trecho de flexão pura.	47
Figura 34 - Fissura horizontal na região das fibras tracionadas na viga mista de seção pequena.....	47
Figura 35 - Fissura inclinada na viga com reforço de seção média.....	48
Figura 36 - Fissura inclinada na viga de seção grande.	49
Figura 37 - Exposição do reforço de madeira.	49
Figura 38 - Gráfico força-deslocamento da viga de armadura total de aço teórico.....	52
Figura 39 - Gráfico do deslocamento das vigas durante o tempo de aplicação de carga.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões dos lotes para extração de corpos de prova.....	25
Tabela 2 - Massas médias iniciais e secas dos corpos de prova.	25
Tabela 3 - Teores de umidades percentuais de cada tipo de madeira.	27
Tabela 4 - Resistência e carga de ruptura média das 3 espécies de madeira.	30
Tabela 5 - Resistências à compressão e tração das madeiras corrigidas.	32
Tabela 6 - Módulo de Elasticidade médio da Maçaranduba.	34
Tabela 7 - Resistência de corpos de prova utilizados na verificação do traço.	34
Tabela 8 - Traços inicial e corrigido a partir da umidade.	35
Tabela 9 - Resistência de corpos de prova da betonada	35
Tabela 10 - Resistência das vigas submetidas a ensaio de flexão pura.....	40
Tabela 11 - Deslocamentos das vigas durante ensaio de flexão simples.	50
Tabela 12 - Deslocamentos das vigas ensaiadas para uma mesma carga.	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 CONCRETO ARMADO	16
3.2 MADEIRA.....	16
3.3 ESTRUTURA MISTA	17
4 METODOLOGIA	19
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	20
4.1.1 Madeiras	20
4.1.1.1 Teor de umidade	20
4.1.1.2 Compressão e Tração Paralela às Fibras.....	20
4.1.1.3 Módulo de Elasticidade.....	21
4.1.2 Concreto	22
4.2 ESTUDO TEÓRICO DA ADERÊNCIA CONCRETO-MADEIRA	22
4.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL DAS VIGAS	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	25
5.1.1 Caracterização da Madeira	25
5.1.1.1 Teor de Umidade.....	25
5.1.1.2 Compressão e Tração Paralela às Fibras	27
5.1.1.3 Módulo de Elasticidade	32
5.1.2 Caracterização do Concreto	34
5.2 ESTUDO TEÓRICO DA ADERÊNCIA CONCRETO-MADEIRA.....	36
5.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL DAS VIGAS	37
5.3.1 Estado Limite Último (ELU)	40
5.3.1.1 Carga de Ruptura	40
5.3.2 Estado Limite de Serviço (ELS)	43
5.3.2.1 Fissuração.....	43
5.3.2.1.1 <i>Viga de Concreto Simples</i>	43
5.3.2.1.2 <i>Viga de Concreto Armado</i>	45
5.3.2.1.3 <i>Viga com Reforço de Madeira de Seção Pequena</i>	46
5.3.2.1.4 <i>Viga com Reforço de Madeira de Seção Média</i>	48
5.3.2.1.5 <i>Viga com Reforço de Madeira de Seção Grande</i>	48
5.3.2.2. Deslocamento	50
6 CONCLUSÃO	54
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS.....	54
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Houve uma época em que através de diversas aplicações do concreto armado percebeu-se a necessidade de observar a qualidade e desempenho das partes constituintes do mesmo, uma vez que, o material considerado ideal para as construções era aquele que apresentasse, em conjunto, as qualidades de resistência, durabilidade e menor agressividade ao meio ambiente. Desde então, é exigido uma adaptação da construção civil em relação à sociedade e ao meio ambiente, tornando imprescindível o uso de um material cujas características possam atender às condições deste novo cenário.

Embora o concreto armado seja amplamente empregado na construção civil, o aço utilizado apresenta desvantagens de extrema atenção, posto que a produção desse material gera não somente riscos para a saúde de trabalhadores e moradores do entorno das usinas, como também é considerada uma atividade altamente poluente demandando uma enorme quantidade de energia na forma de carvão mineral causando impactos sobre as mudanças climáticas ou de carvão vegetal que abrande uma produção associada à destruição de matas nativas.

Nesse sentido, Soriano et al. (2009) afirma que o contribuinte de uma solução viável para tal problemática é a utilização do concreto e da madeira em associação como estruturas mistas, por apresentar desempenho estrutural e econômico adequados assim como boa durabilidade. Contudo, Manfrinato (2015) diz que a ausência de conhecimento por parte da sociedade produz preconceito e desmerecimento dos produtos provindos de madeira para fins estruturais e arquitetônicos, questão essa que pode ser revista e argumentada por profissionais que comprovam a utilização do material para soluções construtivas mais eficientes e sustentáveis.

Manfrinato (2015) ainda completa, afirmando que “por ser um polímero natural de fonte renovável, a madeira apresenta menor gasto de energia no seu beneficiamento e produção, além de ter um ciclo ecológico favorável ao meio ambiente desde a matéria-prima até o produto final utilizado em todos os níveis de uma construção”. No quesito mecânico, Dias et al. (2004) declara que a madeira é freqüentemente empregada para fins estruturais, tal fato evidenciado na utilização do material em estruturas de coberturas, construções rurais, cimbramentos em estruturas de concreto armado e até em pontes, corroborando com Almeida (2012) que diz que com os tratamentos devidos, a madeira tornar-se-á um material estrutural duradouro, estável e com bom comportamento mecânico.

Portanto, tendo em vista a necessidade de utilizar novos materiais e diante da problemática supracitada, a estrutura mista se apresenta com características compatíveis e viáveis para uma obra completa no campo socioambiental, pois, além da agilidade na execução, economia e conforto, uma obra com estrutura mista madeira/concreto também vai de encontro com a ecoeficiência, medida que proporciona qualidade de vida, satisfaz as exigências estruturais, respeita a capacidade de sustentação do planeta e outros aspectos relevantes a serem apresentados neste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento mecânico de vigas com estrutura mista concreto-madeira quando substituído o aço do concreto armado utilizado nas fibras tracionadas pela madeira, a fim de viabilizar sua implementação em construções de pequeno porte.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar através de métodos normatizados o comportamento mecânico da viga mista madeira-concreto quando submetidas a esforços de flexão pura;
- Viabilizar um reforço feito de madeira substituindo a armadura tracionada de aço no concreto armado;
- Determinar a melhor espécie de madeira estrutural da região para utilização em armaduras de concreto armado;
- Verificar a aderência que a madeira de melhores propriedades resiste a esforços de tração nas fibras inferiores do concreto;
- Caracterizar os materiais (madeira e concreto) de modo associá-los devidamente.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONCRETO ARMADO

Para que haja uma garantia na estabilidade de uma estrutura é imprescindível compreender o comportamento do concreto armado, como as fissuras, plastificação dos materiais constituintes, diferença entre as resistências à tração e compressão do concreto além dos fenômenos relacionados ao tempo e aos agentes agressivos.

Corroborando com a ideia acima, Bastos (2006, p.7) explica que:

O concreto é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração (cerca de 10% da sua resistência à compressão). Assim sendo, é imperiosa a necessidade de juntar ao concreto um material com alta resistência à tração, com o objetivo deste material, disposto convenientemente, resistir às tensões de tração atuantes. Com esse material composto (concreto e armadura – barras de aço), surge então o chamado “concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, no que pode ser auxiliado também por barras de aço [...].

Entretanto, Carvalho e Figueiredo Filho (2004) dizem que apesar de existir vantagens no concreto armado como a versatilidade para se moldar diversas formas arquitetônicas, o aço trouxe desvantagens para essas peças, como: alto custo, mão-de-obra qualificada, aumento do peso próprio, viabilização somente para peças lineares, baixa resistência quando o aço em corrosão e uma alta condutividade térmica, principalmente, se comparado às espécies de madeira de baixa densidade.

Silva (2003) determina a corrosão como um dos principais problemas em estrutura de concreto armado, com consequências evidentes desde a estética até a estabilidade, considerando esse fenômeno o principal causador dos altos custos globais que envolvem a perda do material deteriorado (concreto) e correção de tal problema, assim como o comprometimento da estabilidade estrutural inerente ao desenvolvimento do processo corrosivo.

Tais acontecimentos nos levam a procurar meios de remediar esses impasses, e uma opção, segundo Silva (2007), é a implementação ou substituição de materiais renováveis com baixo consumo de energia, fundamental na área da construção civil devido ao alto consumo de energia que tal atividade requer. Esta opção reduz custos e contribui para redução da agressão ambiental que a produção do aço provoca.

3.2 MADEIRA

Segundo Zenid (2011), a madeira contém numerosas propriedades que a tornam muito atraente diante de outros materiais, são elas: o baixo consumo de energia para seu

processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas.

Como um elemento estrutural, Soriano (2001) notou diversas aplicações da madeira em áreas rurais e urbanas, principalmente em ambientes com grande variação de temperatura e umidade, ou nas proximidades de regiões marítimas, ambientes esses que para peças de concreto armado não seriam tão favoráveis. Além disso, é sabido por Spannenberg (2006) que a madeira é bastante estimada na execução de vários elementos construtivos com desempenho arquitetônico adicionado de conforto térmico e acústico privilegiados, o que pode ser considerado ponto benéfico quando associado ao concreto.

De acordo com Forti (2004, p.11):

A madeira como material de construção oferece muitas peculiaridades. Entre as vantagens, destaca-se como um dos poucos materiais renováveis, com baixa energia de processamento (muito menor que o aço, alumínio ou concreto), fornece um isolamento térmico, por polegada de espessura, muito maior do que os metais ou o concreto, maior relação resistência e rigidez para peso do que outros materiais, relativamente fácil para trabalho, exigindo ferramentas simples e, em algumas circunstâncias, apresenta alta durabilidade natural.

Muitos negligenciam o uso da madeira devido a uma fraca teoria de que a madeira possui pequena vida útil na construção civil. Quando utilizada com tecnologia e tratamento químico pode ser efetivamente protegida contra deterioração por um período de 50 anos ou mais (FORTI, 2004). Da mesma forma que qualquer material, a madeira apresenta desvantagens como a vulnerabilidade a agentes externos, contudo, o estudo em questão parte do princípio que o encamisamento do concreto na armadura a protege em uma escala maior, do mesmo modo que acontece com o aço no concreto armado.

3.3 ESTRUTURA MISTA

Dentre os impasses da construção civil como o alto custo para obtenção de estruturas de qualidade, Mascia, Forti e Soriano (2007), afirmam que as estruturas mistas por serem feitas de materiais de diferentes propriedades mecânicas associados, podem ser colocadas como uma solução alternativa para essa problemática, uma vez que essa solução almeja reduzir os custos de construção mantendo a segurança estrutural com um vantajoso desempenho arquitetônico e ambiental.

Clouston et al. (2005) e Miotto e Dias (2006) também ratificam as vantagens desta associação, destacando que as estruturas mistas apresentam comportamento mais adequado de resistência à propagação do fogo, com melhores propriedades acústicas e de vibrações. Junto a isso, Stojic e Cvetkovic (2001) e Stojic e Kajganovic (2007) corroboram a eficiência desse tipo

de estrutura, evidenciando que há uma maior rigidez da seção transversal, bem como a maior resistência e estabilidade aos efeitos sísmicos.

Recentemente, tem-se pesquisado alguns tipos de estruturas compostas, com por exemplo a de madeira/concreto. A madeira, como o aço, resiste bem a tração e sua combinação com o concreto despertou interesse em variadas pesquisas teóricas e experimentais. Os resultados destes estudos levaram a projetos e construções de diversas estruturas como pontes, edifícios residenciais, comerciais, galpões, etc.

A madeira, conjuntamente com o concreto, pode constituir uma seção mista, resultando em diversas vantagens relacionadas, por exemplo, à resistência e à durabilidade da construção, conforme descrevem Gelfi et al. (2002) e Miotto e Dias (2006). Moreira (2001) ainda acrescenta que a utilização do concreto com sua boa resistência a compressão e da madeira com eficiente resistência a tração faz a viga mista madeira/concreto utilizar as melhores propriedades de cada material, obtendo-se, conseqüentemente, uma estrutura eficiente, rígida e leve ao mesmo tempo.

Resultados obtidos em ensaios experimentais realizados por vários pesquisadores permitiram chegar à conclusão que as vigas mistas de concreto e madeira apresentam uma rigidez à flexão maior que a rigidez oferecida pela viga de madeira e pela laje de concreto, quando trabalham isoladamente, oferecendo também uma alternativa de estrutura mais leve em comparação com sistemas de estruturas de aço e/ou concreto (CARRASCO, 2003).

Miotto (2009) diz que no campo da aplicação de estruturas mistas há uma viabilidade bastante competitiva em edificações não somente de grande porte, mas também de pequeno porte tais como painéis de paredes, piso e coberturas, e também como estruturas de pontes, como são de conhecimento algumas aplicações com sucesso em países como: Itália, EUA (pontes no estado de Oregon), Canadá, Austrália, Noruega e Suíça. Quanto ao aspecto estrutural o autor constou de promissores resultados em vigas principalmente quando atuante em conjunto com fibras de vidro tendo um aumento de 28% no módulo de ruptura e 134% na rigidez das vigas.

4 METODOLOGIA

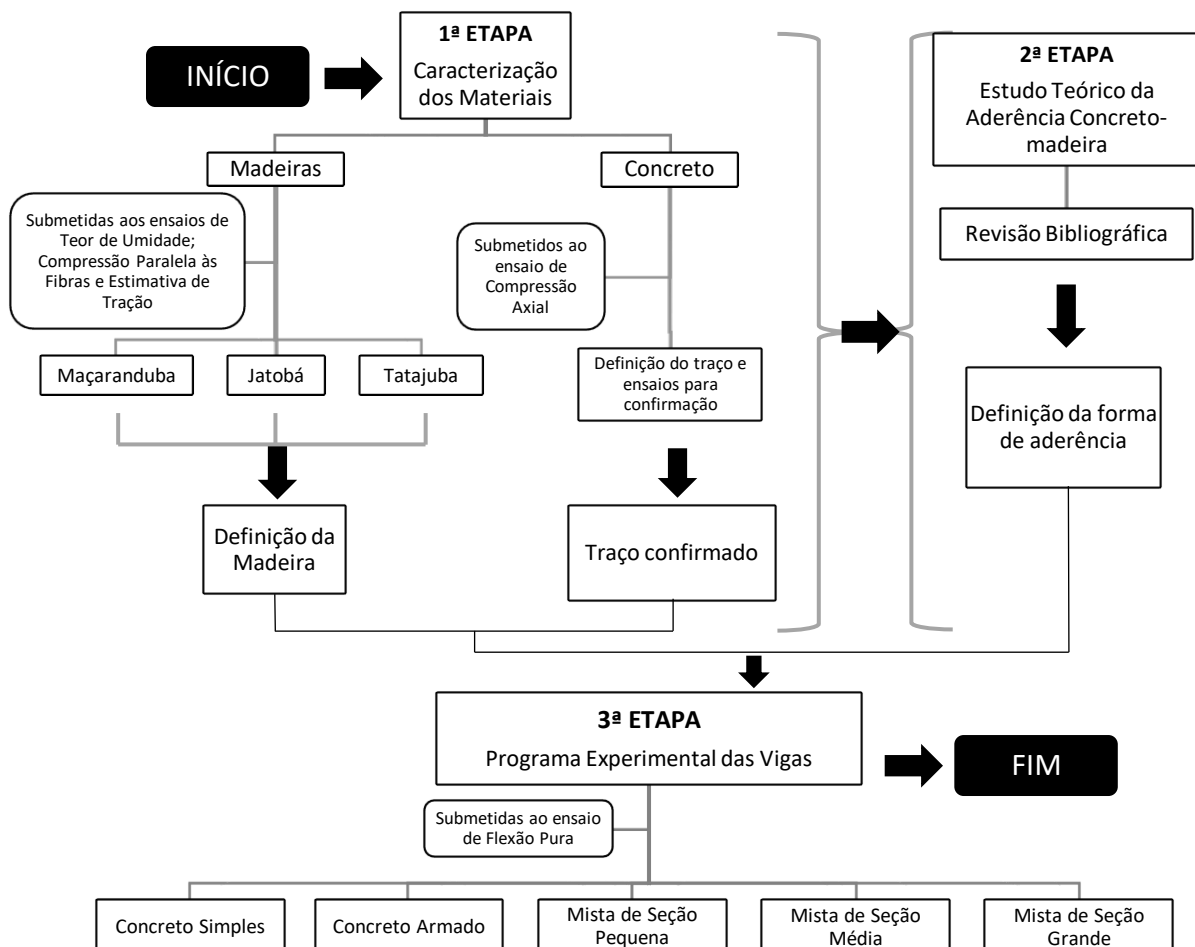
Para desenvolvimento da pesquisa foi fundamental a divisão do trabalho em três etapas:

- 1) Caracterização dos materiais utilizados (madeira e concreto) identificando suas propriedades mecânicas;
- 2) Análise teórica do comportamento estrutural quanto à aderência concreto-madeira objetivando sugerir dimensões de entalhes para assegurar a solidarização entre tais materiais;
- 3) Programa experimental contemplando o ensaio de flexão pura de vigas de concreto simples, concreto armado e mista, a fim de avaliar o desempenho e eficiência das mesmas.

O detalhamento e especificação das etapas encontram-se ilustrados por meio do fluxograma apresentado na Figura 1.

Os ensaios foram desenvolvidos nos Laboratórios de Materiais e Estruturas da Universidade Federal de Pernambuco, da Universidade Federal da Paraíba e da Universidade Estadual da Paraíba, associados às revisões bibliográficas feitas paralelamente aos ensaios de caracterização dos objetos de estudo.

Figura 1 – Fluxograma correspondente às etapas da pesquisa



Fonte: Própria (2018).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Madeiras

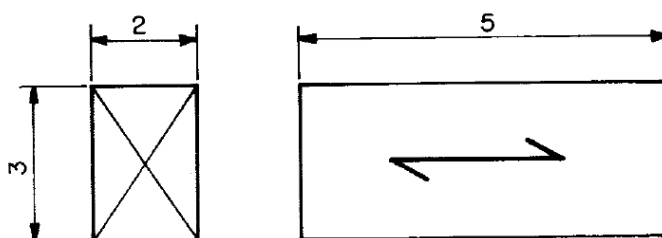
Para a definição da espécie de madeira a ser utilizada como reforço para o concreto nas regiões tracionadas, foram estabelecidas três espécies de madeiras dicotiledôneas nativas de reflorestamento, com critério de escolha aquelas que fossem mais comercializadas na cidade de Guarabira e região, e apresentassem valores médios de resistência à compressão e tração elevados, indicados pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

As espécies escolhidas foram: Jatobá, Maçaranduba e Tatajuba (*Hymenaea spp*, *Manilkara spp* e *Bagassa guianensis*) respectivamente, onde todas foram submetidas aos ensaios de teor de umidade, módulo de elasticidade longitudinal, compressão paralela às fibras e tração estimada a partir da resistência à compressão. Os corpos de prova prismáticos, procedimentos e dimensões foram estabelecidos conforme a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), para que a partir dos resultados alcançados, pudesse, por fim, identificar as propriedades mecânicas da madeira a ser utilizada como reforço, madeira essa que apresentasse maiores valores médios de resistência entre as três espécies escolhidas.

4.1.1.1 Teor de umidade

Pelos critérios da NBR 7190 (ABNT, 1997), a fim de possíveis ajustes das propriedades mecânicas de resistência e módulo de elasticidade longitudinal, utilizou-se da quantidade mínima de 6 peças de cada espécie de madeira para o ensaio de teor de umidade, número esse correspondente a atender aos objetivos da caracterização simplificada de espécies conhecidas, com dimensões apresentadas pela Figura 2.

Figura 2 – Dimensões em centímetros de corpos de prova de madeira submetidas a ensaio de umidade.



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997), p. 49

4.1.1.2 Compressão e Tração Paralela às Fibras

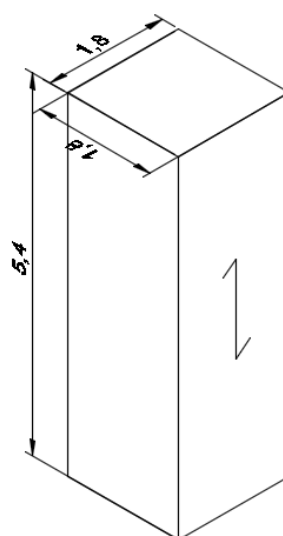
Segundo Szücs et al. (2005), a compressão na madeira pode ocorrer inclinada, normal ou paralelamente em relação às fibras. No caso em que a peça é solicitada por compressão

paralela às fibras, as células reagem em conjunto conferindo uma resistência da madeira maior que nas situações de solicitação normal ou perpendicular às fibras, correspondendo ao valor da ordem de $\frac{1}{4}$ dos valores de resistência à compressão paralela. Por esse motivo, e a fim de avaliar o desempenho do reforço de madeira em seu máximo potencial, foi optado no trabalho pelo ensaio de compressão paralela às fibras e tração estimada a partir dos valores dessa resistência.

Os lotes de madeira utilizados foram os mesmos do ensaio de umidade com inalteráveis critérios de amostragem. Contudo, as dimensões e quantidade dos corpos de prova diferiram, com medidas definidas a partir da classificação de peças delgadas, ilustrada pela Figura 3, que segundo a norma NBR 7190 (ABNT, 1997, p.50):

Para a caracterização da resistência à compressão de um dado lote de peças delgadas, permite-se empregar corpos-de-prova com seção transversal quadrada, com lado igual à espessura do elemento delgado, com pelo menos 1,8 cm, e comprimento igual a três vezes o lado da seção transversal, ensaiando-se pelo menos 12 corpos-de-prova.

Figura 3 - Dimensões em centímetros de corpos de prova de madeira submetidas a ensaio de compressão paralela às fibras.



Fonte: Própria (2018).

4.1.1.3 Módulo de Elasticidade

Para esse ensaio foi estabelecido somente a análise daquela espécie escolhida para reforço, pois pretendeu-se analisar o módulo de elasticidade e comparar os resultados obtidos em ensaio com os fornecidos em norma. Foram então moldados 6 corpos-de-prova aplicando individualmente uma carga determinada por carregamento monotônico crescente com taxa em torno de 10 MPa/min, aplicando dois ciclos de carga e descarga conforme define a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). As dimensões dos corpos-de-prova foram as mesmas utilizadas no ensaio de compressão paralela às fibras.

4.1.2 Concreto

Para a caracterização do concreto, optou-se por utilizar um traço de classe de resistência C25 já definido, escolhido por meio de revisões bibliográficas, determinando como certificação de alcance dessa resistência a moldagem de dois corpos de prova submetidos a compressão para possíveis ajustes do traço antes da moldagem das vigas. Os ensaios ocorreram conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) na moldagem dos corpos de prova e NBR 5739 (ABNT, 2018) na submissão à carga de compressão.

4.2 ESTUDO TEÓRICO DA ADERÊNCIA CONCRETO-MADEIRA

Para esta etapa foi estabelecido uma análise, por meio de revisões bibliográficas, sobre os mecanismos de aderência aço-concreto em vigas de concreto armado, para que se pudesse chegar um critério de uma possível forma e dimensão de um tipo de aderência para a madeira e o concreto.

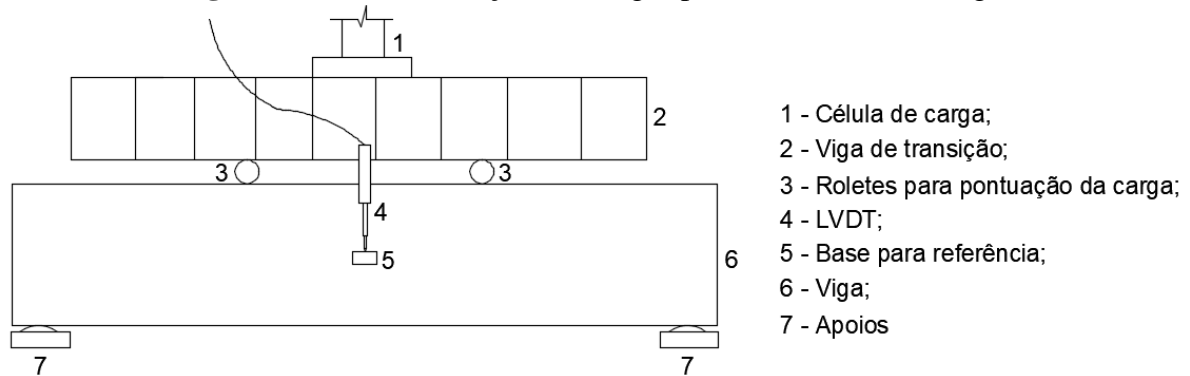
4.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL DAS VIGAS

Na concretagem estabeleceu-se uma betonada para a mistura do material e formação das vigas, com acréscimo do volume de dois corpos de prova moldados e rompidos para verificação da resistência. Por conseguinte, o ensaio de flexão pura foi definido para análise da eficiência da madeira enquanto material substituinte do aço em vigas de concreto, seguindo as exigências estabelecidas pelas normas NBR 12142 (ABNT, 2010) e NBR 6118 (ABNT, 2014). A Figura 4 mostra como se deu a montagem da viga e aparelhagem utilizada no ensaio de flexão.

A fim de melhor entender o desempenho desse material como elemento estrutural sob cargas de flexão, foram moldadas 5 vigas, sendo: uma de concreto simples, uma de concreto armado e três mistas (concreto-madeira) diferenciadas pelas áreas de seção transversal dos reforços.

Todas as vigas moldadas tiveram 1,50 metro de comprimento e seção transversal de 15x30cm. A carga foi aplicada até a ruptura dos protótipos (Estado Limite Último) e o deslocamento foi controlado durante o ensaio a fim de identificar a carga a qual a viga atinge o limite de utilização (Estado Limite de Serviço).

Figura 4 - Pré-visualização das cargas pontuais atuantes na viga.



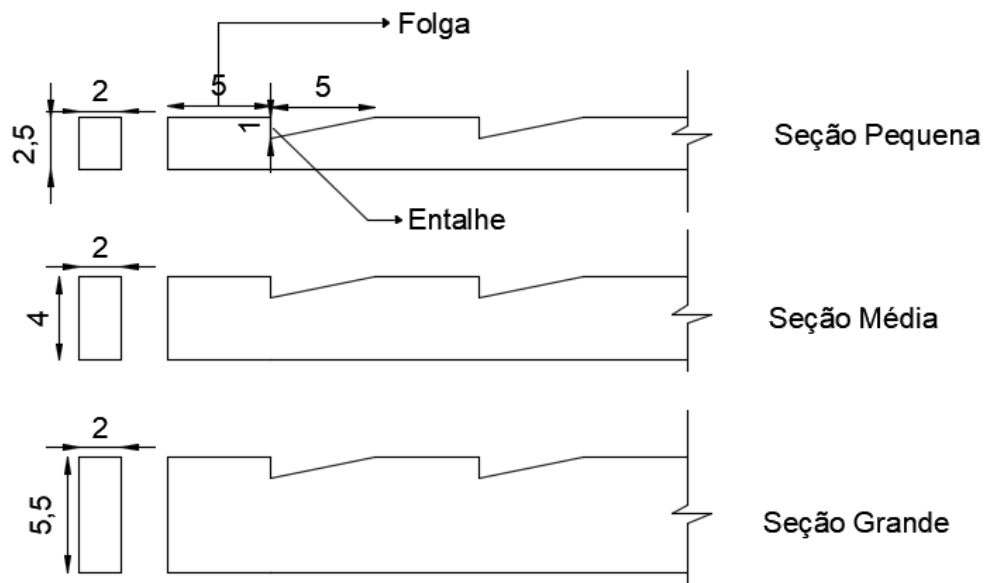
Fonte: Própria (2018).

Para a viga de concreto com armadura total de aço, foram estabelecidos vergalhões com diâmetro de 10 mm nos locais das fibras tracionadas e comprimidas e estribos de 6.3 mm espaçados a cada 15 cm. Para a viga mista manteve-se o mesmo diâmetro, espaçamento para os estribos e dimensões de aço nas fibras comprimidas para analisar a influência apenas da madeira na fibra tracionada quando comparado com o concreto armado.

Com o intuito de evitar a absorção da água do concreto por parte da madeira e avaliar a interferência do fenômeno de absorção de água na resistência, escolheu-se o reforço de seção média para receber uma camada de impermeabilizante na superfície da madeira.

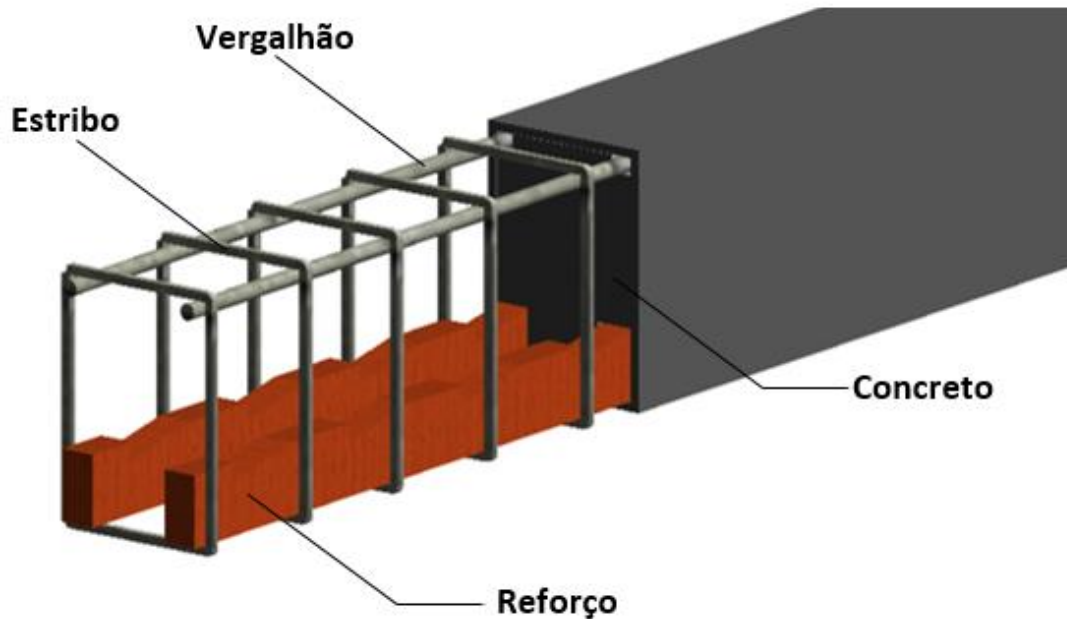
Como proposta de aderência, definiu-se, sem critérios, entalhes de 1 cm de altura e 5 cm de folga, espaçados também a cada 5 cm de acordo com a Figura 5. Para melhor visualização, foi modelado, no software Autodesk Revit 2018, a viga mista conforme a ilustração apresentada na Figura 6.

Figura 5 - Dimensões em centímetros das seções e entalhes dos reforços de madeira.



Fonte: Própria (2018).

Figura 6 - Modelagem da armadura mista.



Fonte: Própria (2018)

Os materiais e equipamentos necessários para realização da metodologia estabelecida no item anterior foram:

- Cimento, areia e brita comercializados no local;
- Água do poço que atende a UFPE;
- Madeiras Jatobá, Pau-Roxo e Tatajuba comercializadas;
- Aços CA-50 e CA-60 para vergalhões e estribos respectivamente;
- Peneiras;
- Betoneira;
- Moldes para corpos de prova;
- Fôrmas para vigas;
- Prensa de compressão axial;
- Prensa universal para flexão;
- Empilhadeira hidráulica manual;
- Célula de carga para medição de força;
- LVDT para medição de deslocamento;
- Quantum X para aquisição de dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados a seguir estão sequenciados de acordo com os procedimentos estabelecidos na metodologia proposta.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

5.1.1 Caracterização da Madeira

Os lotes escolhidos apresentaram homogeneidade e aptidão para retirada de amostras concedidas por investigação estabelecida pela NBR 7190 (ABNT, 1997), pois estavam em conformidade com as diretrizes: suas dimensões não atingiram o volume de 12 m³, conforme mostra a Tabela 1; encontravam-se armazenados em um galpão juntos com outros tipos de madeira porém separados por espécies; sua estrutura física não apresentava encurvatura, nós ou qualquer outro defeito visual que inviabilizasse sua utilização.

Tabela 1 - Dimensões dos lotes para extração de corpos de prova

Madeira (lote)	Seção bxh (cm)	Comprimento (m)	Volume (m ³)
Maçaranduba	3,0x9,0	5,0	0,0135
Jatobá	2,0x12,0	5,5	0,0132
Tatajuba	2,0x12,0	5,3	0,01272

Fonte: Própria (2018).

5.1.1.1 Teor de Umidade

Utilizando os critérios de amostragem estabelecidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997) e dimensões de corpos de prova para ensaio de teor de umidade também estabelecidos pela norma, obteve-se os resultados encontrados na Tabela 2 na qual apresenta os valores médios das massas dos 6 corpos de prova utilizados após pesados em balança com precisão de 0,01 g. As Figuras 7, 8 e 9 mostram a numeração dos corpos de prova da Maçaranduba, Jatobá e Tatajuba respectivamente.

Tabela 2 - Massas médias iniciais e secas dos corpos de prova.

Madeira	Massa Média Inicial mi (g)	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição
		Massa Média Seca 1 ms1 (g)	Massa Média Seca 2 ms2 (g)	Massa Média Seca 3 ms3 (g)
Maçaranduba	33,23	31,10	30,03	29,88
Jatobá	28,22	25,07	23,50	23,38
Tatajuba	26,60	23,61	22,12	22,01

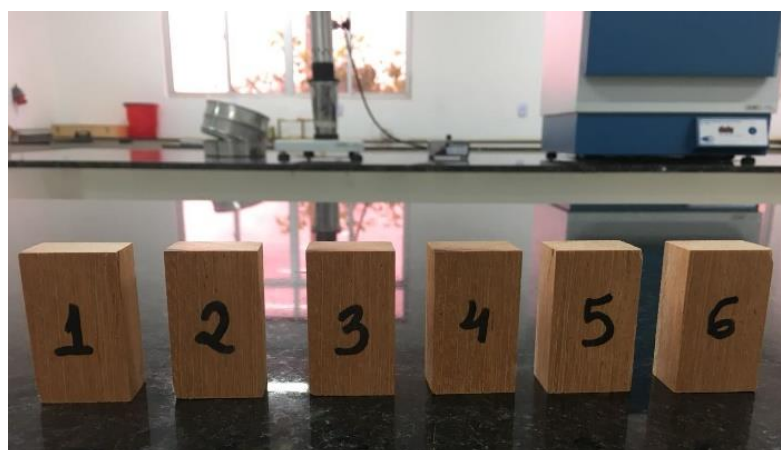
Fonte: Própria (2018).

Figura 7 - Corpos de prova para determinação da umidade da Maçaranduba.



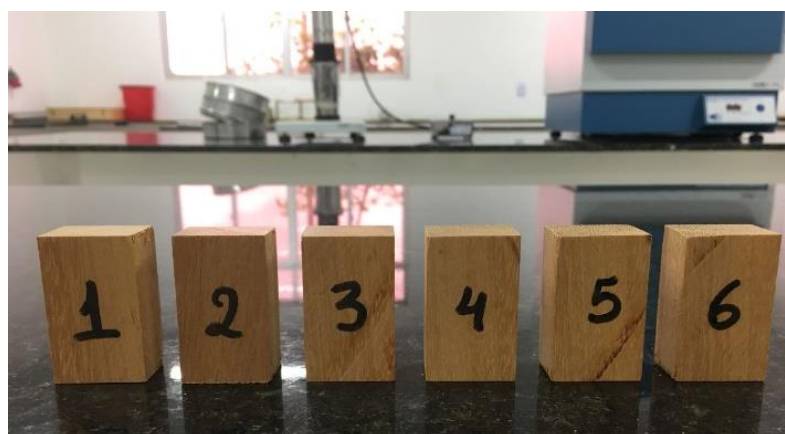
Fonte: Própria (2018).

Figura 8 - Corpos de prova para determinação da umidade da Jatobá.



Fonte: Própria (2018).

Figura 9 - Corpos de prova para determinação da umidade da Tatajuba.



Fonte: Própria (2018).

A partir da obtenção das massas médias iniciais e secas dos corpos de prova, pôde-se chegar no valor de umidade através da equação 1. O resultado final para cada tipo de madeira é apresentado na Tabela 3.

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- m_i = massa média inicial do corpo de prova (g);
- m_s = massa média do corpo de prova seco em estufa (g);
- U = teor de umidade percentual.

Tabela 3 - Teores de umidades percentuais de cada tipo de madeira.

Madeira	Umidade (%)
Maçaranduba	11,21
Jatobá	20,70
Tatajuba	20,85

Fonte: Própria (2018).

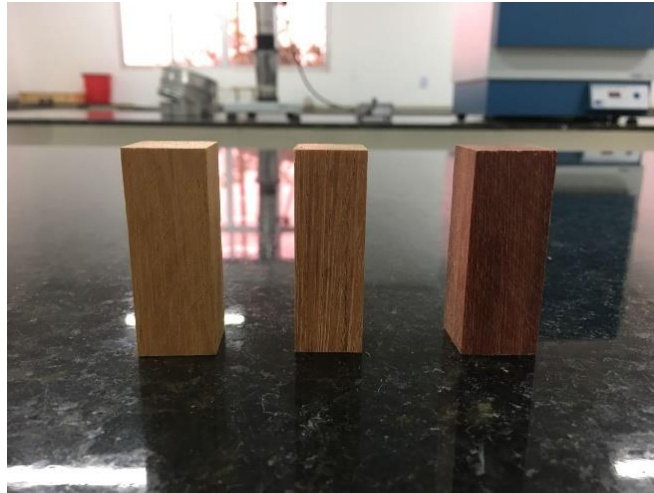
Diante dos resultados obtidos, os 3 tipos de madeira apresentaram umidade de equilíbrio a corrigir de 12%, uma vez que os valores das propriedades de resistência e de módulo de elasticidade pela NBR 7190 (ABNT, 1997) são correspondentes à classe 1 de umidade.

5.1.1.2 Compressão e Tração Paralela às Fibras

Calculado o teor de umidade das espécies de madeira, avançou para determinação da resistência a compressão e tração paralela às fibras e do módulo de elasticidade. A Figura 10 mostra a representação unitária dos corpos-de-prova de cada espécie.

É pertinente destacar que ao final da confecção, 3 dos corpos de prova da madeira Jatobá apresentaram dimensões e características estruturais inviáveis para submissão ao ensaio, optando como solução de compensação a eliminação de 3 corpos de prova das madeiras Maçaranduba e Tatajuba analisando não mais 12, mas sim 9 corpos de prova de cada madeira.

Figura 10 - Unidade representativa de corpos de prova.



Fonte: Própria (2018).

Com a submissão dos corpos de prova ilustrada na Figura 11, a resistência à compressão paralela às fibras foi dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova de seção transversal. O seu valor foi obtido a partir da equação 2.

Figura 11 - Unidade de corpo de prova submetida a compressão paralela às fibras.



Fonte: Própria (2018).

$$f_{c0} = \frac{F_{c0, \text{máx}}}{\text{Área}} \quad (2)$$

Onde:

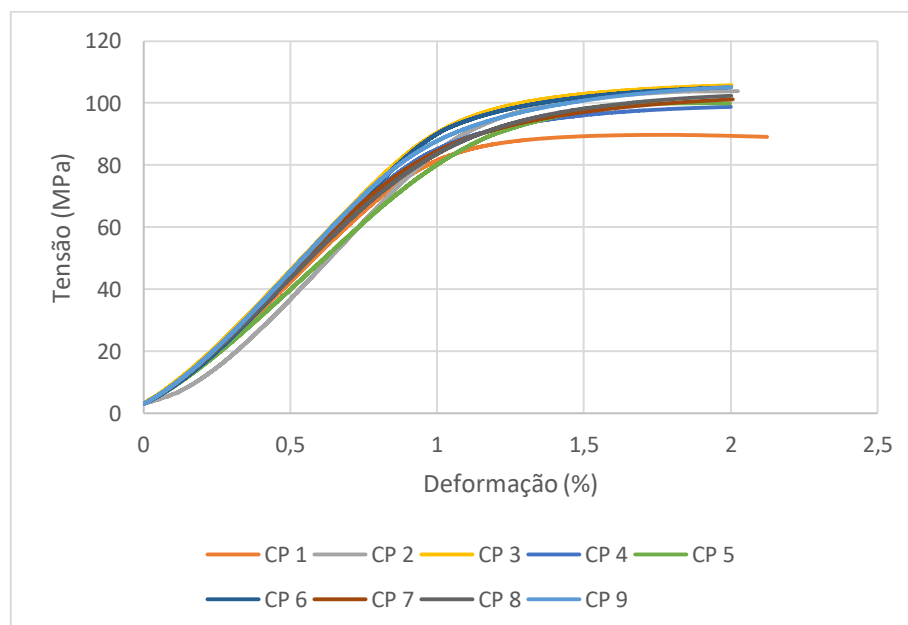
- f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras (MPa);
- $F_{c0, máx}$ = máxima carga de compressão aplicada resistida pelo corpo-de-prova (N);
- Área = área resistente à compressão paralela às fibras (mm²).

A Figura 12 apresenta o comportamento dos corpos de prova da madeira Maçaranduba submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.

Quando comparado com os das outras duas madeiras, o gráfico indica uma proximidade nos valores de resistência apresentados pelos corpos de prova, com uma variância de 10,46, apontando uma distribuição mais homogênea de resistência do lote utilizado para amostragem. Contudo, é importante evidenciar que o CP 1 apresentou resistência destoante dentre os corpos de prova ensaiados, o que possivelmente ocorreu devido ter sido a primeira peça a ser submetida a máquina, além do fato de durante o processo de aplicação de carga ter havido uma interrupção no mesmo, identificando como tensão de ruptura a última carga lida, não chegando a ruptura do corpo de prova.

Vale então destacar que a tensão média da Maçaranduba apresentada na Tabela 4 teve seu valor reduzido, uma vez que, não se está levando em consideração o valor real da carga de ruptura do CP 1.

Figura 12 - Gráfico tensão-deformação dos corpos de prova da madeira Maçaranduba submetidos a compressão paralela às fibras.



Fonte: Própria (2018).

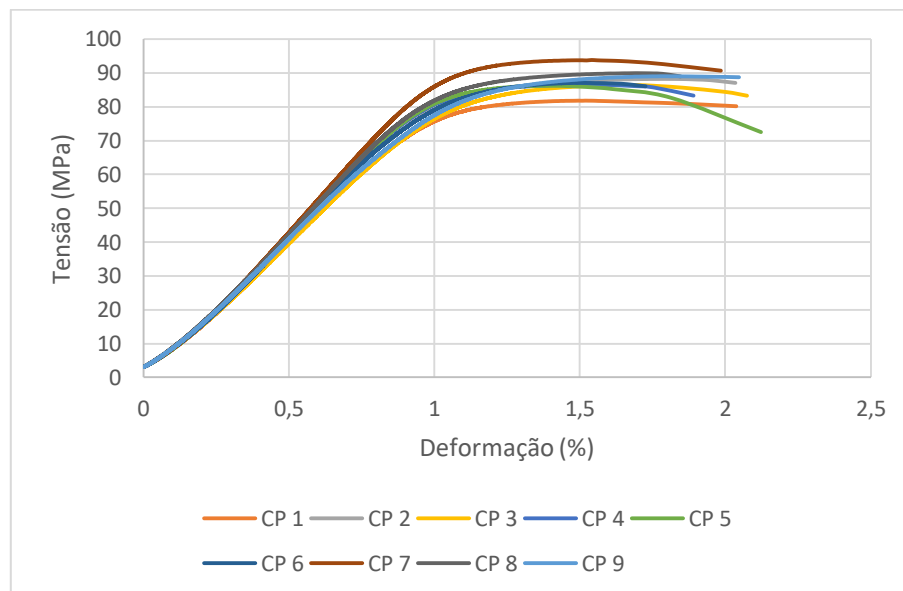
Tabela 4 - Resistência e carga de ruptura média das 3 espécies de madeira.

Corpos de Prova	Resistência Média (MPa)	Carga de Ruptura Média (N)	Desvio Padrão
Maçaranduba	102,54	33182,56	2,94
Jatobá	87,65	28400,22	1,96
Tatajuba	91,46	29642	4,0

Fonte: Própria (2018).

A Figura 13 mostra o comportamento dos corpos de prova da madeira Jatobá quando submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.

Os corpos de prova apresentaram uma diferença não muito considerável entre os valores de resistências, enquadrando-se como a espécie de menor variabilidade dentre as 3 estudadas, correspondendo a uma variância de 3,87, apontando uma menor variação na distribuição de resistências ao longo da amostra.

Figura 13 - Gráfico tensão-deformação dos corpos de prova da madeira Jatobá submetidos a compressão paralela às fibras.

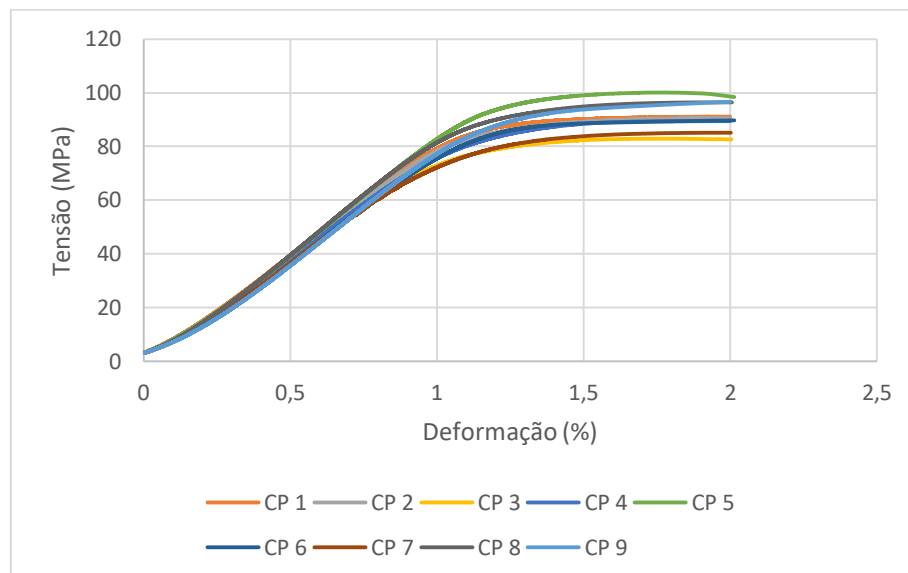
Fonte: Própria (2018).

A Figura 14 aponta o comportamento dos corpos de prova da madeira Tatajuba quando submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras.

Quando comparado com os das outras duas madeiras, o gráfico indica que é a espécie de maior variabilidade nos valores de resistência apresentados pelos corpos de prova e evidenciado pela variância de 16,01, a destacar os corpos de prova CP 3 e 7 que apresentaram

os menores valores devido haver uma abertura inicial em suas estruturas (Figura 15), o que gerou, conseqüentemente, uma concentração maior de tensão na abertura diminuindo suas resistências.

Figura 14 - Gráfico tensão-deformação dos corpos de prova da madeira Tatajuba submetidos a compressão paralela às fibras.



Fonte: Própria (2018).

Figura 15 - Trinca apresentada pela abertura no 3º corpo de prova da madeira Tatajuba.



Fonte: Própria (2018).

Quanto a resistência a tração paralela às fibras, a prensa não apresentou condições de utilização para ensaio, recorrendo a estimativa da propriedade a partir da resistência a compressão, dada pela equação 3 e recomendado pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.

$$\frac{f_{c0,k}}{f_{t0,k}} = 0,77 \quad (3)$$

Onde:

- $f_{c0,k}$ = resistência à compressão paralela às fibras característica (MPa);
- $f_{t0,k}$ = resistência à tração paralela às fibras característica (MPa).

Com a umidade de equilíbrio definida e a obtenção dos valores de resistência a compressão e tração média, pôde-se ajustar tais propriedades das madeiras pela equação 4. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

$$f_{12} = f_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (4)$$

Onde:

- f_{12} = resistência a umidade de 12%;
- $f_{u\%}$ = resistência a umidade inicial;
- $U\%$ = umidade inicial.

Tabela 5 - Resistências à compressão e tração das madeiras corrigidas.

MADEIRAS	Compressão (MPa)		Tração (MPa)	
	Inicial	Corrigida	Inicial	Corrigida
Maçaranduba	102,54	100,11	133,17	130,11
Jatobá	87,65	108,68	113,83	141,14
Tatajuba	91,46	113,41	118,78	147,28

Fonte: Própria (2018).

Com as resistências obtidas, observou-se que a Jatobá apresentou valor inicial de resistência baixo, e partindo da premissa de que a mesma tem valor de resistência elevado dentre a maioria das espécies, este baixo valor encontrado pode ser explicado pela variância do teor de umidade e pelo fato de existir outros tipos de madeira Jatobá na região que contém diferentes resistências.

A Maçaranduba apresentou maiores resistências a compressão e tração iniciais, e a Tatajuba maiores resistências após corrigidas. Contudo, a escolha da madeira como reforço para as vigas teve como critério a simulação de uma situação real em que não haveria correção de umidade, utilizando da madeira em seu estado de aquisição comercial, no caso do trabalho, a Maçaranduba.

5.1.1.3 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade foi dado pela equação 5 e corrigido pela equação 6. Os resultados da Tabela 6 mostram que houveram divergências quanto aos valores fornecidos em norma (que corresponde a 22733 Mpa), o que possivelmente ocorreu devido a aferição desatualizada do equipamento utilizado além do próprio procedimento de ensaio ter se distinguido do estabelecido pela NBR 7190 (ABNT, 1997), como por exemplo os relógios em faces opostas do corpo-de-prova que não foram utilizados. Com isso, concluiu-se que não se pôde levar em consideração os valores alcançados neste ensaio.

$$Ec0 = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (5)$$

Onde:

- $Ec0$ = módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras;
- $\sigma_{50\%}$ = 50% da tensão total;
- $\sigma_{10\%}$ = 10% da tensão total;
- $\varepsilon_{50\%}$ = deformação a 50% da tensão;
- $\varepsilon_{10\%}$ = deformação a 10% da tensão.

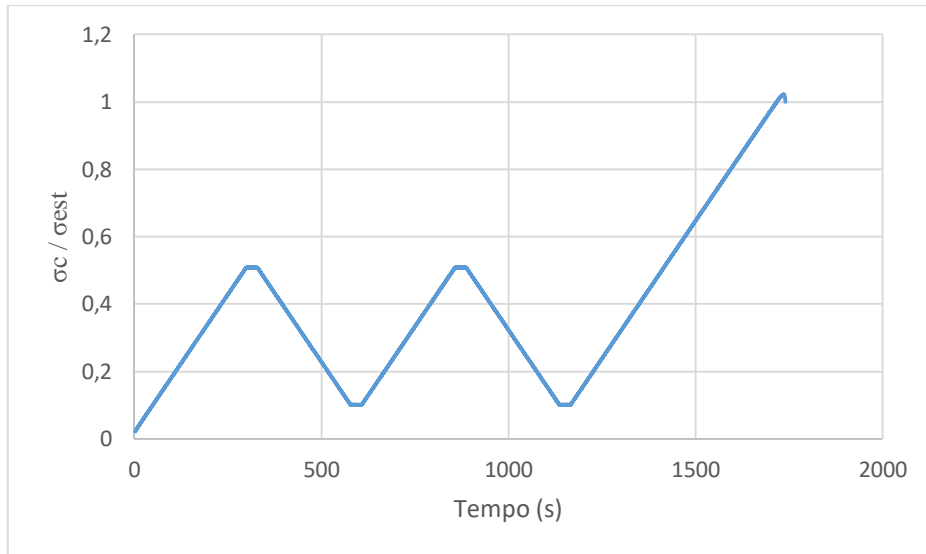
$$E12 = Eu\% \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (6)$$

Onde:

- $E12$ = módulo de elasticidade a umidade de 12%;
- $Eu\%$ = módulo de elasticidade a umidade inicial;
- $U\%$ = umidade inicial.

Para a espécie de madeira em questão obteve-se o gráfico encontrado na Figura 16 através de uma carga determinada por carregamento monotônico crescente com taxa em torno de 10 MPa/min e dois ciclos de carga e descarga.

Figura 16 - Diagrama de carregamento para determinação do módulo de elasticidade do 1º corpo de prova da madeira a compressão paralela às fibras.



Fonte: Própria (2018)

Tabela 6 - Módulo de Elasticidade médio da Maçaranduba.

MÓDULO DE ELASTICIDADE MÉDIO		
Madeira	Módulo de Elasticidade Médio Inicial (MPa)	Módulo de Elasticidade Médio Corrigido (MPa)
Maçaranduba	105,5	103,82

Fonte: Própria (2018)

5.1.2 Caracterização do Concreto

A fim de ratificar o traço definido para a classe de resistência estabelecida foram moldados, previamente, 2 corpos de prova a serem submetidos ao ensaio de compressão axial. Os resultados encontrados na Tabela 7 apresentam valores de resistência muito próximos do objetivado, confirmando o traço estabelecido.

Tabela 7 - Resistência de corpos de prova utilizados na verificação do traço.

Corpos de Prova	Resistência (MPa)
CP 1	23
CP 2	24,7

Fonte: Própria (2018).

A partir do ensaio de umidade dos agregados, obteve-se o percentual de umidade da areia e da brita, que foram utilizados para correção da relação a/c conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Traços inicial e corrigido a partir da umidade.

TRAÇO INICIAL PARA 1 CP	
1 : 2,41 : 3,21 : 0,6	
UMIDADE	
Areia	Brita
7,1%	1,25%
TRAÇO CORRIGIDO PARA 1 CP	
1 : 2,41 : 3,21 : 0,53	

Fonte: Própria (2018).

Após confirmado o traço, partiu-se para dosagem do concreto através da betoneira, onde do volume utilizado para as vigas foi acrescido de dois corpos-de-prova também para verificação da resistência por meio do ensaio de compressão axial (Figura 17). Contudo, os resultados encontrados na Tabela 9 mostram que não foi alcançado a resistência estabelecida de 25 MPa, o que possivelmente ocorreu devido a diferença entre os agregados utilizados na verificação do traço e os da concretagem das vigas, uma vez que, a primeira situação foi realizada em Araruna – PB com os materiais comercializados da cidade e a segunda em Recife – PE com os materiais adquiridos nessa.

Tabela 9 - Resistência de corpos de prova da betonada

Corpo de prova	Resistência (MPa)
CP 1	15,4
CP 2	16,26
Média	15,83

Fonte: Própria (2018).

Figura 17 - Corpo de prova da pré-moldagem submetido a carga axial de compressão.



Fonte: Própria (2018).

5.2 ESTUDO TEÓRICO DA ADERÊNCIA CONCRETO-MADEIRA

Conforme Graeff (2007) e Kirchheim et al. (2005), os esforços atuantes em uma estrutura de concreto armado são transmitidos do aço ao concreto através de mecanismos de aderência e ancoragem das barras, sendo esses dois mecanismos a representação da resistência ao deslizamento ou ao movimento relativo entre a superfície da barra e o concreto ao seu contorno.

De forma análoga, para o trabalho em questão, a sugestão de um reforço de madeira em substituição às barras de aço deve ao menos conter os mecanismos supracitados para que continue promovendo a resistência ao deslizamento. Como não há normas que rejam a madeira em tal aplicação, optou-se por utilizar de entalhes para gerar um denteamento na superfície do reforço originando saliências que aumentariam significativamente a aderência.

A partir disso, definiu-se 3 seções (identificadas como: pequena, média e grande) com áreas definidas a partir da área da armadura positiva utilizada na viga de concreto armado e dimensões estabelecidas a partir da proporção da resistência do aço CA50 (500MPa) que é 5 vezes maior que a resistência média da madeira encontrada (100 MPa). Com base nisso, adotou-se tal proporção como medida base para uma variação inferior e superior de 3 vezes e 7 vezes

respectivamente, servindo como parâmetros para avaliar a influência na resistência e comportamento da viga mista, chegando às dimensões de 2,0x2,5, 2,0x4,0 e 2,0x5,50 cm.

5.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL DAS VIGAS

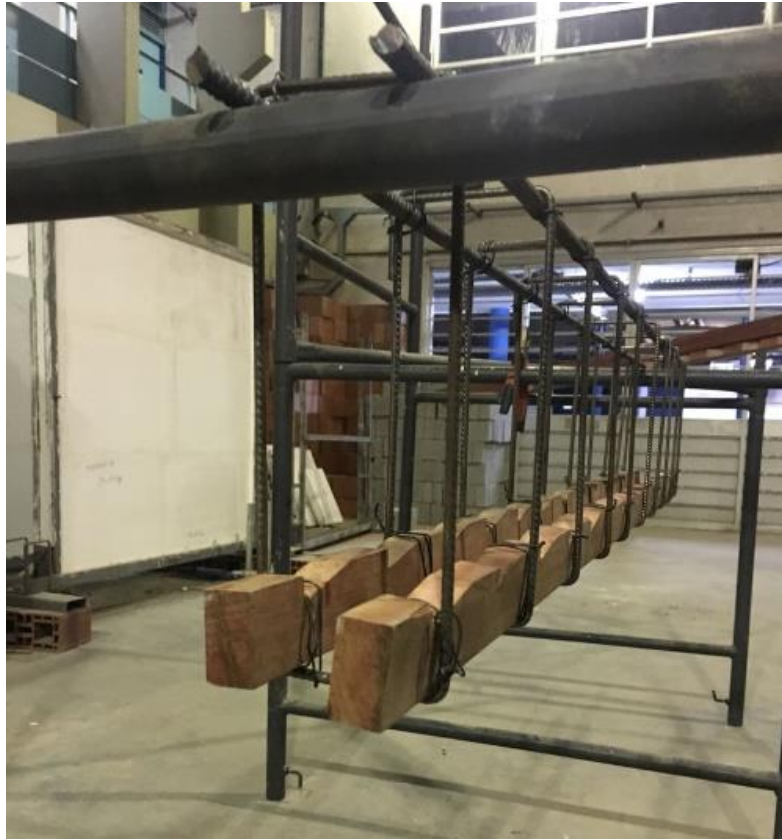
De início, partiu-se para montagem das armaduras de aço, mista de seção pequena, média e grande, conforme ilustra as Figuras 18 e 19 e por fim, preparadas as fôrmas de madeira (Figura 20) para moldagem (Figura 21) das vigas molhando-as para que as mesmas saturassem seus vazios diminuindo a absorção da água do concreto.

Figura 18 - Vista diagonal da armadura mista.



Fonte: Própria (2018).

Figura 19 - Vista da seção transversal da armadura mista.



Fonte: Própria (2018).

Figura 20 - Fôrmas de madeiras para moldagem de vigas.



Fonte: Própria (2018).

Figura 21 - Vigas moldadas.



Fonte: Própria (2018).

Após 24 horas de concretagem foi feita desmoldagem, passando para cura em câmara úmida durante 28 dias (Figura 22).

Figura 22 - Vigas curando em câmara úmida.



Fonte: Própria (2018).

Após 28 dias de cura, as vigas foram submetidas a ensaio de flexão pura como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Viga montada em maquinário para submissão ao ensaio de flexão pura.



Fonte: Própria (2018).

5.3.1 Estado Limite Último (ELU)

5.3.1.1 Carga de Ruptura

Com os dados da Tabela 10, observou-se que as vigas de reforço de madeira apresentaram bom desempenho quando comparado com o da viga de concreto armado, a destacar a de seção pequena que apresentou maior resistência dentre as 3 seções de reforço estudadas com diferença de 30,8 kN da total de aço, correspondendo a 81,7% da sua resistência e 3 vezes mais que a resistência da viga de concreto simples.

Entre as 3 vigas mistas, a proporção de variação da seção do reforço não acarretou numa diferença aguda de carga de ruptura, fato principalmente evidenciado entre as vigas de reforço de seção grande e pequena, que entre si eram as que continham uma maior diferença de dimensões, mas indicaram que para uma variação de 45,45% da área de reforço houve somente uma diferença de 2,8 kN. O acontecimento leva a concluir que o aumento de 1,5 cm (37,5%) na altura da seção de cada reforço não foi suficiente para fornecer uma maior resistência a flexão às vigas.

Tabela 10 - Resistência das vigas submetidas a ensaio de flexão pura.

VIGA	CARGA DE RUPTURA (kN)
Concreto Simples	40,597
Armadura Total de Aço	168,250
Reforço de Madeira de Seção Pequena	137,445
Reforço de Madeira de Seção Média	126,852
Reforço de Madeira de Seção Grande	134,673

Fonte: Própria (2018).

Quanto ao valor apresentado pela viga de reforço de madeira de seção média, é importante ressaltar que a mesma pode não ter suportado carga maior por ter apresentado imperfeições geométricas adquiridas no processo de moldagem, pois durante o adensamento do concreto através do vibrador, a fôrma da viga em questão não suportou a pressão, cedendo de forma a deixar escapar concreto pelas bordas inferiores. O fato gerou uma alteração na seção transversal ao longo da viga (Figura 24) sofrendo uma variação média de 38,8% de seu volume inicial além de originar uma seção empenada que possivelmente contribuiu para uma ruptura por compressão.

No que diz respeito a camada de impermeabilizante aplicada na viga de seção média de madeira (Figura 25), é imprescindível destacar que a mesma trouxe resultados inconclusivos, visto que o impermeabilizante acarretou uma de duas possíveis causas: a primeira foi a geração de pouca aderência madeira-concreto devido a superfície se tornar mais lisa diminuindo a eficiência da seção composta, e a segunda foi a camada ter evitado a madeira de ter absorvido a água do concreto, evitando uma expansão do reforço, diminuindo assim a possibilidade de rompimento por expansão do mesmo.

Figura 24 - Seção transversal variável da viga de armadura mista de seção média.



Fonte: Própria (2018).

Figura 25 - Madeira de seção média com camada de impermeabilização.



Fonte: Própria (2018).

De modo geral, as vigas apresentaram comportamento semelhante na zona de compressão, sofrendo esmagamento na região em torno da aplicação pontual das cargas através dos roletes (Figura 26), o que pode ter sido ocasionado pelas rebarbas de concreto (originadas por possível exsudação) e pela não preparação/regularização do ponto de aplicação da carga como um capeamento da superfície. Vale salientar que em algumas delas esse fator não foi o predominante para ruptura.

Figura 26 - Região de esmagamento da viga.



Fonte: Própria (2018).

5.3.2 Estado Limite de Serviço (ELS)

5.3.2.1 Fissuração

5.3.2.1.1 Viga de Concreto Simples

Pela análise feita sob o modo de ruptura da viga de concreto simples, percebeu-se um comportamento semelhante ao de uma viga no domínio 4, pois como a armadura não trabalha nesse domínio e na viga em questão não tem armadura (Figura 27) então a deformação do concreto foi última na fibra mais comprimida não havendo armadura ou reforço que subsidiasse resistência a tração nas fibras tracionadas.

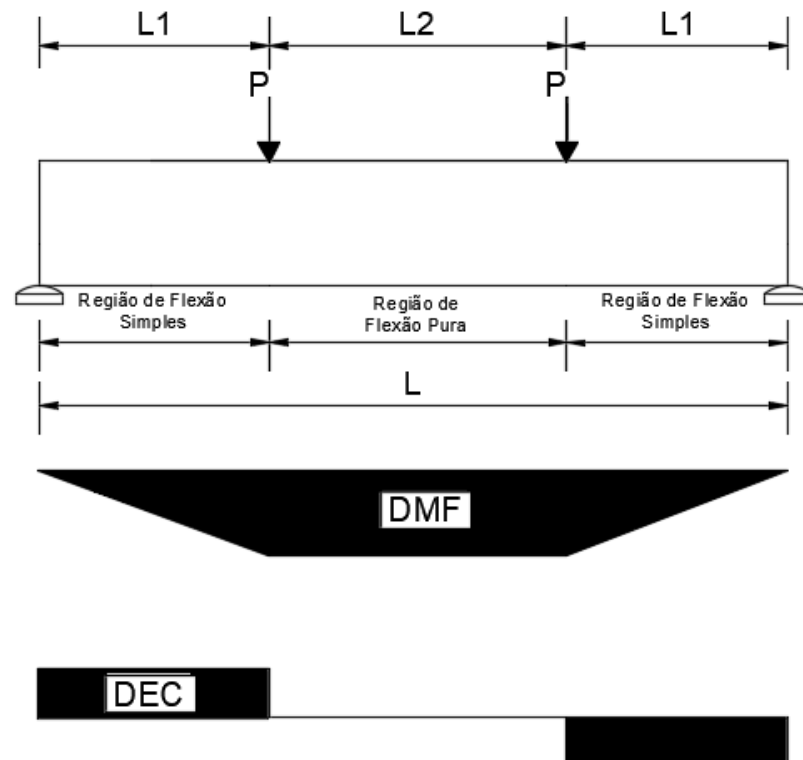
Bastos (2015) explica que vigas com o comportamento descrito acima tem por consequência uma ruptura caracterizada como frágil (sem aviso prévio), pois o concreto rompeu por compressão no trecho de maior momento fletor (entre cargas pontuais como visualizado no diagrama da Figura 28), causando colapso da viga antes da intensa fissuração provocada pelo alongamento nas fibras tracionadas (Figura 29).

Figura 27 - Seção interna transversal da viga de concreto simples



Fonte: Própria (2018).

Figura 28 - Diagramas genéricos do momento fletor e esforço cortante.



Fonte: Própria (2018).

Figura 29 - Colapso da viga de concreto simples.



Fonte: Própria (2018).

5.3.2.1.2 Viga de Concreto Armado

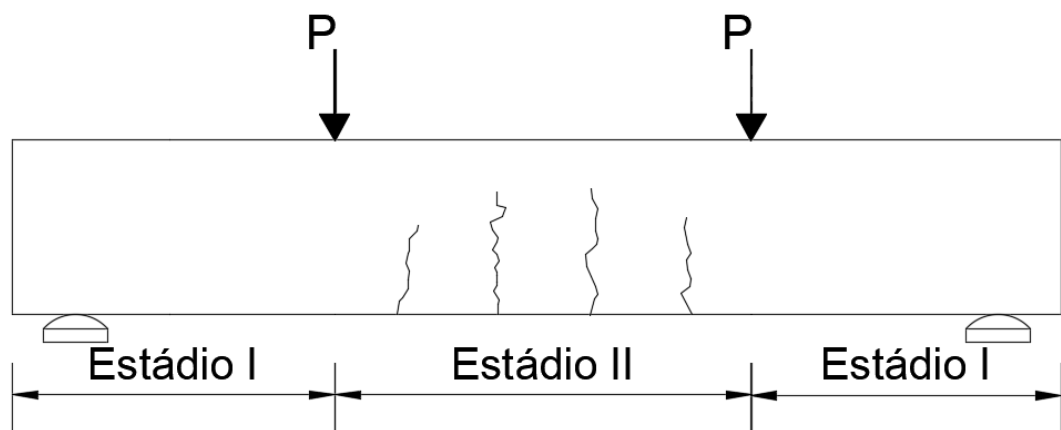
De início, a viga apresentou estar totalmente tomada pelo estágio I (não manifestando fissuras) passando por conseguinte para o estágio II em que as primeiras fissuras (Figura 30) foram originadas no trecho de flexão pura onde há a atuação do maior momento fletor (entre as cargas pontuais) e ausência do esforço cortante, gerando fissuras perpendiculares às fibras (Figura 31).

Figura 30 - Fissuração na região de flexão pura.



Fonte: Própria (2018).

Figura 31 - Ilustração dos estádios de fissuração da viga.



Fonte: Própria (2018).

A princípio, seu comportamento foi enquadrado nos domínios 2 e 3, contudo, sua fissuração na região tracionada se deu antes da ruptura por esmagamento do concreto nas regiões comprimidas (Figura 32), caracterizando um comportamento predominante do domínio 2 de acordo com Bastos (2015).

Com isso, a deformação de alongamento na armadura tracionada foi fixa e igual a 10 %, indicando uma armadura econômica e que atuou em seu ápice, pois esse valor de deformação é correspondente à máxima tensão permitida no aço. Quanto a deformação de encurtamento na fibra mais comprimida de concreto a mesma variou entre zero e 3,5 %, valores correspondentes a f_{ck} do concreto enquadrados no Grupo I de resistência ($f_{ck} \leq 50$ MPa).

Figura 32 - Esmagamento do concreto na região comprimida.



Fonte: Própria (2018).

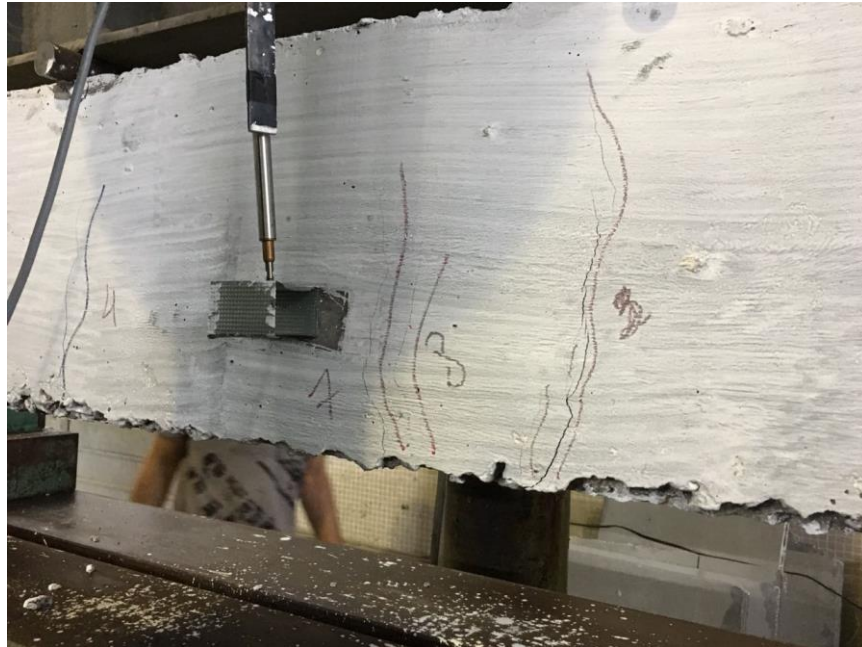
5.3.2.1.3 Viga com Reforço de Madeira de Seção Pequena

Diferentemente da viga de concreto armado, a viga com reforço de seção pequena apresentou fissuração (Figura 33) antes de sofrer esmagamento na região comprimida, enquadrando-se nas características do domínio 3, onde o reforço e o concreto foram muito bem aproveitados.

O processo de fissuração foi obedecido onde as primeiras fissuras se iniciaram na fibra mais tracionada no trecho de flexão pura, prolongando-se em direção a linha neutra conforme

aumentava o carregamento externo aplicado, mostrando também que houve ruptura com “aviso prévio” no momento em que o reforço de madeira escoou.

Figura 33 - Fissuras iniciais no trecho de flexão pura.



Fonte: Própria (2018).

Vale destacar que pela análise de fissuração da viga durante a aplicação de carga, percebeu-se que nela foi apresentada uma fissura horizontal na região onde atua o reforço de madeira (Figura 34), o que possivelmente pode ter sido gerada pelo descolamento da interface madeira concreto, devendo ser levado em consideração como um fator de redução da resistência da viga.

Figura 34 - Fissura horizontal na região das fibras tracionadas na viga mista de seção pequena.



Fonte: Própria (2018).

5.3.2.1.4 Viga com Reforço de Madeira de Seção Média

Inicialmente, para pequenos valores de carga aplicados nessa viga, não houve apresentação de fissuras nos trechos de flexão pura e simples, permanecendo toda a estrutura no estágio I. Contudo, com o decorrer do tempo e aumento de carga, a fissuração não se deu no trecho de flexão pura, mas sim entre o apoio e atuação da carga pontual P (Figura 35), com disposição inclinada devido também a inclinação das tensões principais de tração, apresentando as primeiras “fissuras de flexão por força cortante”. As mesmas levaram a viga a uma ruptura por cisalhamento, possivelmente não por motivo do mal desempenho do reforço de madeira, mas pela ausência de armaduras transversais paralelas às trajetórias das tensões de tração e perpendiculares às fissuras na disposição de 45°.

A implementação dessas armaduras transversais inclinadas evitaria a ruptura das vigas por cisalhamento, possibilitando que as tensões principais de compressão pudessem continuar atuando sem grandes restrições nas fissuras perto dos apoios.

Figura 35 - Fissura inclinada na viga com reforço de seção média.



Fonte: Própria (2018).

5.3.2.1.5 Viga com Reforço de Madeira de Seção Grande

A viga de reforço de madeira de seção grande apresentou comportamento semelhante a de seção média até a sua ruptura, evidenciando já de início fissuras inclinadas próximas aos apoios com angulação aproximada de 45°, deixando expostas uma parte dos reforços de madeira. As situações são apresentadas pelas Figuras 36 e 37.

A medida que houve uma redistribuição dos esforços internos, a armadura transversal pôde atuar de forma mais efetiva, contudo, não o suficiente para evitar uma ruptura por cisalhamento. Uma possível causa para tal fato foi a pouca quantidade de armaduras transversais, pois a insuficiência desse tipo de armadura fez com que as fissuras de cisalhamento próximas ao apoio crescessem rapidamente na direção da armadura longitudinal comprimida diminuindo sua seção resistente levando a uma ruptura brusca.

Figura 36 - Fissura inclinada na viga de seção grande.



Fonte: Própria (2018).

Figura 37 - Exposição do reforço de madeira.



Fonte: Própria (2018).

Com os resultados percebeu-se que com o aumento da seção do reforço de madeira, as vigas (seção média e grande) foram rompendo a cisalhamento em vez de romper por flexão como no caso da de seção pequena. Isso pode ser justificado pelo fato de que com o aumento da rigidez do reforço devido ao aumento da seção, as vigas de seção média e grande também aumentaram suas resistências aos esforços de momento fletor na região de flexão pura, indicando que com o aumento da carga aplicada, os cortantes solicitantes atuantes na região de flexão simples superaram primeiramente a resistência a cisalhamento antes mesmo da resistência a flexão na região de flexão pura, gerando assim uma ruptura ao cisalhamento.

5.3.2.2. Deslocamento

Primeiramente, é importante destacar que os dados de deslocamento dos ensaios não são conclusivos e precisam ser melhor estudados. As informações apresentadas servem para discussão, contudo, ainda são carentes de precisão.

Por meio de um transdutor LVDT, foram medidos os deslocamentos em uma das faces de cada viga, tendo como deslocamento-limite adotado o valor de 0,6 cm correspondente ao critério de acessibilidade sensorial conforme prediz a NBR 6118 (ABNT, 2014). Os resultados apresentados na Tabela 11 mostram que as 5 vigas apresentaram deslocamentos para a carga de ruptura menores que o deslocamento-limite, respeitando as restrições estabelecidas pela norma e estado limite de serviço.

Tabela 11 - Deslocamentos das vigas durante ensaio de flexão simples.

VIGA	DESLOCAMENTO (mm)
Concreto Simples	2,17
Armadura Total de Aço	1,58
Armadura Mista de Seção Pequena	2,60
Armadura Mista de Seção Média	1,22
Armadura Mista de Seção Grande	2,52

Fonte: Própria (2018).

Os valores de deslocamento indicaram também que para a carga de ruptura da viga de concreto simples, apresentada na Tabela 4, a mesma deformou-se consideravelmente, diferente da de armadura total de aço que apresentou menor deformação para uma carga elevada. Quanto as armaduras mistas, a de seção média mesmo tendo resistido menos que as demais, apresentou menor deformação.

De acordo com Longo (2018), os deslocamentos obtidos em uma viga de concreto são inversamente proporcionais à sua rigidez, que por sua vez depende das dimensões da seção transversal dela, pois quanto menores forem as dimensões da seção transversal de uma viga, maiores devem ser os seus deslocamentos. Em específico às vigas de seção retangular, de acordo com a equação 7, é mais eficiente aumentar a sua altura para uma diminuição do deslocamento, visto que o aumento da inércia é cúbico em relação à altura, enquanto que essa relação é linear no que diz respeito à base. Isso pode ser evidenciado supondo o mesmo comportamento para os reforços de madeira que também contém seção retangular, percebendo que os mesmos possivelmente proporcionaram efeito de rigidez à viga mista de acordo com o aumento da altura do reforço.

$$\frac{b \times h^3}{12} = I \quad (7)$$

Onde:

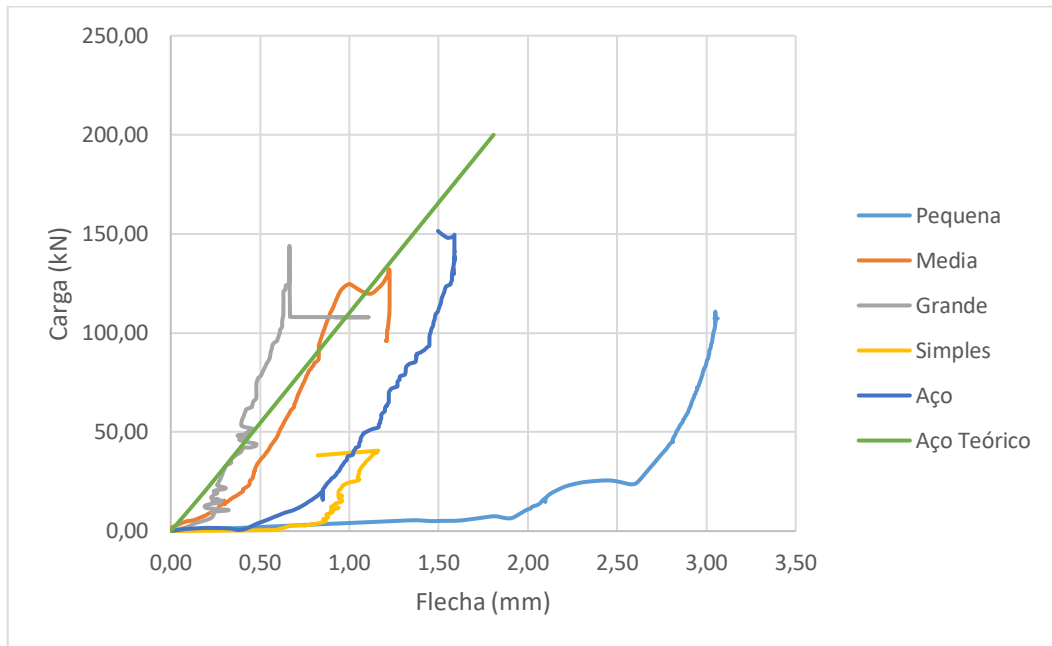
- b = base;
- h = altura;
- I = momento de inércia.

Embora os resultados da Tabela 11 mostrem que o reforço de seção média proporcionou um deslocamento menor que o reforço de seção grande não significa que a teoria supracitada é falha, uma vez que o reforço de seção média ainda assim proporcionou uma diminuição da flecha em relação ao reforço de seção pequena além do mesmo estar em condições diferentes dos demais reforços devido a camada de impermeabilizante. O fato leva a concluir que além do aumento de altura, a não-absorção da água por parte do reforço o fez manter suas propriedades mecânicas (resistência a flexão) contribuindo para uma diminuição do deslocamento.

Outro aspecto que também pode ser levado em consideração é a área total de reforço em relação a de concreto, pois ao passo em que foi aumentado a área de madeira, foi proporcionado também uma maior rigidez à viga mista.

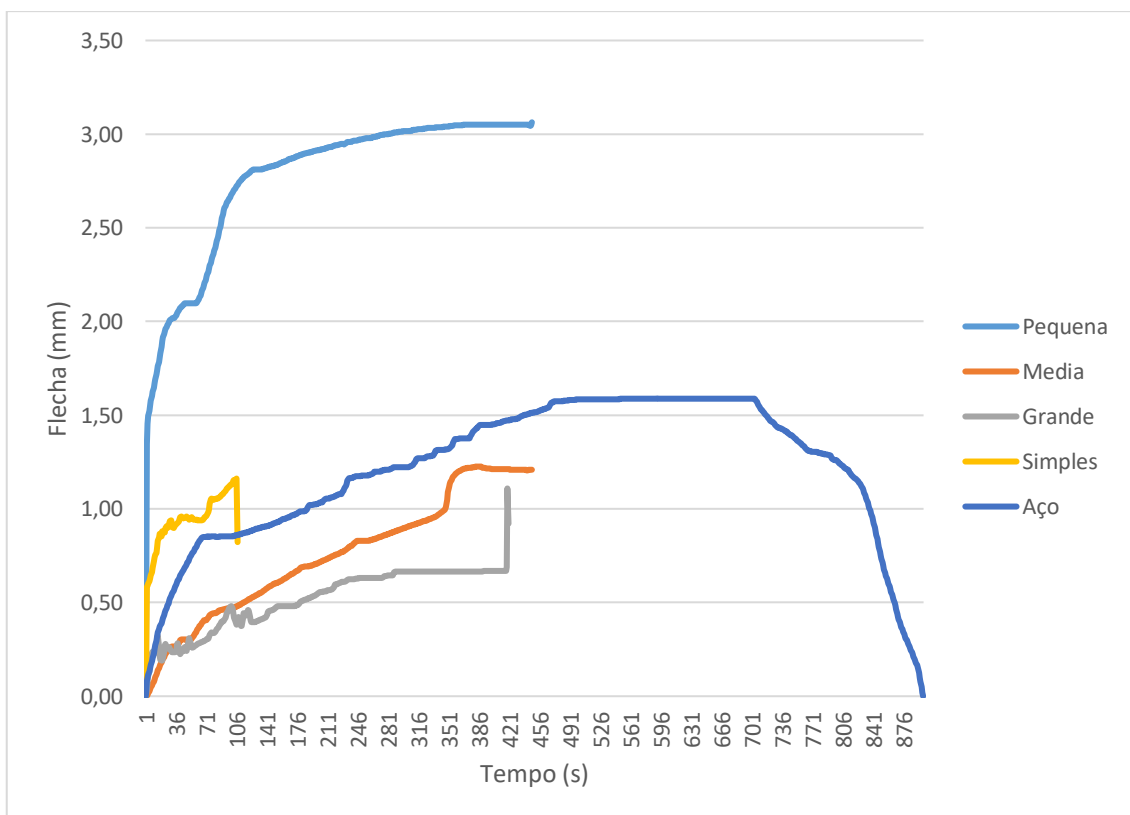
A partir da análise das Figuras 38 e 39, observou-se o desempenho das vigas ensaiadas comparado com o desempenho de uma viga teórica de concreto armado, verificando uma aproximação de comportamento dessa com o comportamento das vigas de seções grande e média de madeira, apresentando para uma mesma carga deformações parecidas quando comparado com o da seção pequena que destoou das restantes. Isso implica que o reforço de madeira trabalhou de forma similar a armadura de concreto.

Figura 38 - Gráfico força-deslocamento da viga de armadura total de aço teórico.



Fonte: Própria (2018).

Figura 39 - Gráfico do deslocamento das vigas durante o tempo de aplicação de carga.



Fonte: Própria (2018).

Levando em conta que as vigas foram moldadas às mesmas condições com o mesmo concreto, pode-se concluir que a variação da altura entre às seções média e grande não tem tanta influência na deformação inicial, já que para a mesma carga e tempo obtiveram aproximadamente as mesmas deformações, diferentemente da variação de altura da média e grande para a pequena. Esta situação é evidenciada pelos resultados da Tabela 12, mostrando que para uma mesma carga a viga mista com reforço de seção pequena apresentou um deslocamento 6 vezes maior que o da média, 9 vezes maior que o da grande e 2 vezes maior que a de concreto armado. Entretanto, quando comparado os deslocamentos das de seção média e grande com a viga de concreto armado, percebe-se uma relevância nos resultados, pois foi apresentado uma variação de 2 e 4 vezes menor que a de concreto armado respectivamente.

Tabela 12 - Deslocamentos das vigas ensaiadas para uma mesma carga.

VIGA	Carga (kN)	Deslocamento (mm)
Mista de Seção Pequena	30,0	2,67
Mista de Seção Média		0,47
Mista de Seção Grande		0,29
Concreto Armado		1,06
Concreto Simples		0,94

Fonte: Própria (2018).

6 CONCLUSÃO

O trabalho cumpriu com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico de vigas com estrutura mista madeira-concreto quando substituído o aço do concreto armado utilizado nas fibras tracionadas pela madeira. No entanto, é pertinente destacar que limitações quanto a instrumentação para aquisição de dados, quantidade de amostras e falha na precisão dimensional dos espécimes podem ter contribuído para os resultados não serem ainda mais conclusivos.

Apesar disso, o experimento permitiu entender que pelos resultados de resistência da viga mista, é possível viabilizar um reforço promissor de madeira nas fibras tracionadas, uma vez que, a mesma proporciona resistência a tração para o concreto, chegando a 81,7% da resistência promovida pela armadura total de aço e 3 vezes mais que a resistência da viga de concreto simples.

Por consequência, pode-se firmar que na região onde foi realizado o estudo, a espécie maçaranduba como reforço de madeira foi eficiente, além da proposta de aderência por entalhes com as medidas estabelecidas apresentarem também um desempenho relevante.

Quanto ao aumento das seções de reforço é importante destacar que as vigas de área grande e média de madeira romperam ao cortante, diferente da pequena que rompeu a flexão com aviso prévio assim como desejado, indicando que sua utilização proporcionará segurança ao usuário, da mesma forma que o deslocamento, em que todas as vigas respeitaram o estado limite de serviço, indicando agora conforto àqueles que utilizarem desse tipo de estrutura.

De um modo geral as vigas mistas suportam cargas consideráveis, abrindo para novas pesquisas quanto a uma aderência madeira-concreto mais eficaz, um combate maior contra os esforços cortantes através de um aumento da quantidade de armaduras transversais e utilização de concreto de altas resistências.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS

Para futuras pesquisas a fim do desenvolvimento e aperfeiçoamento do trabalho sugere-se:

- Avaliação de resistência e custos de vigas agora com substituição total de aço (armaduras longitudinais e transversais) pela madeira, para possivelmente chegar a um valor maior considerável;
- Análise dos tipos de ligações entre vergalhões e estribos e novas formas de aderência madeira-concreto, variando dimensões dos entalhes;

- Diversificar as superfícies da madeira em nervurada, entalhada e lisa e a forma geométrica da seção do reforço (quadrangular, circular, entre outros), avaliando o comportamento mecânico separadamente e em conjunto com o concreto;
- Avaliação do peso das vigas, estudando a leveza de estruturas mistas em comparação com as de concreto armado;
- Análise de flexão somente dos reforços para julgar o comportamento dos mesmos quando em atuação junto com o concreto;
- Caracterização dos agregados utilizados para aplicação de um traço mais próximo da realidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Filipe André Leitão. **A madeira como material estrutural – projeto da estrutura da cobertura de um edifício**. 2012. 310 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência a tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro: Copyright, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: Copyright, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: Copyright, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estrutura de madeira. Rio de Janeiro: Copyright, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: Copyright, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Flexão Normal Simples – Vigas**. Apostila do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista, 2015.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006.

CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla. **Análise do comportamento de vigas mistas de madeira laminada colada e concreto**. Engenharia Civil, Belo Horizonte, v. 1, n. 18, p.1-18, nov. 2003.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6618/2003**. São Carlos: EdUFSCar, 2004. 374p.

CLOUSTON, P. et al. Shear and Bending performance of a novel wood-concrete composite system. **Journal of Structural Engineering**, New York, v.131, n.9, p.1404-1412, 2005.

DIAS, F. M.; ROCCO, F. A. L. **Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente**. Scientia Forestalis. N.65. Junho de 2004. 102-113p.

FORTI, Nádia Cazarim da Silva. **Análise numérica de vigas mistas em concreto e madeira**. 2004. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2004.

GELFI, P. et al. Stud shear connection design for composite concrete slab and wood beams. **Journal of Structural Engineering**, New York, v.128, n.5, p.1544-1550, 2002.

GRAEFF, Ângela G.. Perda de aderência entre o concreto e a armadura devido à corrosão: análise experimental e implicações no dimensionamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 1., 2007, Serra Gaúcha. **Anais...** . Serra Gaúcha: IBRACON, 2007.

KIRCHHEIM, A. P.; PASA, V.; DAL MOLIN, D.; SILVA FILHO, L. C. P. Análise comparativa da utilização de diferentes sistemas de proteção de corrosão de armaduras na aderência entre concreto branco e barras de aço. In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Anais... Vol. VII – Métodos de Proteção, Reforço e Reparo de Estruturas de Concreto, Recife, 2005.

LONGO, Luis Filipe. **Como reduzir flechas em vigas**. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115000914093-Como-reduzir-flechas-em-vigas#article-comments>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

MANFRINATO, Maria Eduarda. **Estudo sobre o uso da madeira para fins estruturais e arquitetônicos**. 2015. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

MASCIA, Nilson T.; FORTI, Nádia C. S.; SORIANO, Julio. Análise de vigas mistas em concreto e em madeira. **Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural**, Passo Fundo, v. 4, n. 2, p.57-74, out. 2007.

MIOTTO, J. L. **Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro**. 2009. 325 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MIOTTO, J.L.; DIAS, A.A. Reforço e recuperação de estruturas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v.27, n. 2, p.163-174, 2006.

MOREIRA, Lúcio Flávio Nunes. **DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS MISTAS MADEIRA/CONCRETO**. 2001. 75 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

SILVA, Osvaldo Ferreira da. **Estudo sobre a substituição do aço liso pelo bambusa vulgaris, como reforço em vigas de concreto, para o uso em construções rurais**. 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2007.

SILVA, Sidney José Honório da. **Análise de estruturas de concreto armado sujeitas a corrosão de armadura por cloretos através do método dos elementos finitos**. 2003. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2003.

SORIANO, Julio et al. Estruturas mistas em madeira-concreto: uma técnica racional para pontes de estradas vicinais. **Ciência Rural**, 2009.

SORIANO, Júlio. **Estruturas mistas em concreto e em madeira: análise de vigas e painéis e aplicações na construção civil eng. Civil**. 2001. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2001.

SPANNENBERG, Mariane Gampert. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: estudos de caso em Marau-RS**. 2006. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.

STOJIC, D.; CVETKOVIC, R. Analysis of a composite timberconcrete structures according to the limit states Design and innovative methods in coupling of a timber and concrete. **Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering**, Nis, v.2, n.3, p.169-184, 2001.

STOJIC, D.; KAJGANOVIC, T. Composite timber-concrete road bridge structure. **Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering**, Nis, v.5, n.2, p.141-148, 2007.

SZÜCS, Carlos Alberto et al. **ESTRUTURAS DE MADEIRA**. Florianópolis: Ufsc, 2005.

ZENID, José Geraldo. Madeira na construção civil. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo**, 2011.