

**Simulação através de elementos finitos de vigas de compósitos naturais  
antes de sua fabricação****Simulation through finite elements of natural composite beams prior to  
their**

DOI:10.34117/bjdv5n6-142

Recebimento dos originais: 07/04/2019

Aceitação para publicação: 06/05/2019

**Edil Silva de Vilhena**

Mestrando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade do Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: edilsilva8@hotmail.com

**Léo César de Oliveira Pereira**

Mestrando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: leocesaroliveria@hotmail.com

**Edielson Silva de Vilhena**

Mestrando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade do Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: edielson284@gmail.com

**Igor dos Santos Gomes**

Mestrando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: igorgomes-@live.com

**Rodrigo da Silva Magalhães Dias**

Mestrando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: rodrigo.ma.galhaes@hotmail.com

**Carlos Eduardo Pinto Lopes**

Mestrando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: carlosengmec30@gmail.com

**Antonio Bruno da Silva Oliveira**

Graduando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – nº 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: brunosilva5aa@gmail.com

**Maurício Maia Ribeiro**

Mestre em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – nº 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: mauricio\_mrubeiro@hotmail.com

**Samuel de Castro Silva**

Graduando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – nº 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: samuelcastro.ufpa@gmail.com

**Leonardo Rios Araújo**

Graduando em Engenharia Mecânica  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – nº 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: leonardoaraujo.ufpa@gmail.com

**Antonio Henrique da Silva Bitencourt Júnior**

Mestre em Engenharia Mecânica  
Instituição: Instituto Federal do Pará  
Endereço: Av. Almirante Barroso – nº 1155, 66093-020 – Belém – Pará  
E-mail: antonio.bitencourt@ifpa.edu.br

**Roberto Tetsuo Fujiyama**

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – nº 01, 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: fujiyama.ufpa@gmail.com

## RESUMO

Este trabalho apresenta o Ansys Workbank 19.2, como ferramenta auxiliar na avaliação de propriedades de compósitos poliméricos. Sabe-se da importância da utilização de softwares que facilitem o entendimento dos esforços atuantes nos compósitos fabricados. Neste contexto o Ansys vem como instrumento capaz de simular as tensões normais em materiais contribuindo para prever possíveis comportamentos mecânicos. Neste trabalho foram fabricadas amostras utilizando a norma de ensaio de tração para compósitos poliméricos, ASTM D3039. O reforço foram fibras de piaçava em comprimentos de 5, 10 e 15mm e a matriz o poliéster. Compósitos foram ensaiados e a partir das propriedades mecânicas dos materiais realizou-se simulações de modo a comparar os resultados experimentais com um modelo estrutural em uma viga utilizada em estruturas de sustentação de telhados e similares. Apesar das diferentes respostas, pode-se correlacionar o comportamento dos materiais analiticamente e ensaiados mecanicamente quanto à tração, apontando-se as considerações instauradas na programação como motivo das divergências entre resultados, não levando em conta fatores importantes relacionados a interface e metodologia de

fabricação dos corpos de prova e propriedades individuais dos constituintes. Por fim, considera-se a viabilidade da aplicação do software ansys como ferramenta para simulação de características mecânicas quanto a tração de estruturas de vigas.

**Palavras-chave:** Ansys, Simulação, Ensaio de tração, Materiais compósitos.

## ABSTRACT

This work presents AnsysWorkbank 19.2, as an auxiliary tool in the evaluation of properties of polymer composites. It is known the importance of the use of softwares that facilitate the understanding of the forms of performance in the manufactured composites. In this context, the Ansys are like softwares capable of simulating as normal in materials that contribute to a seriousness of mechanical behavior. This work was constructed using a series of tensile tests for polymer composites, ASTM D3039. Composites were tested and from the mechanical properties of the materials, simulations were carried out in a comparative way between the experimental and structural results. In spite of the different responses, one can correlate the behavior of the materials analytically and mechanically tested for the traction, pointing out as considerations test bodies and individual properties of the constituents. Finally, it is considered an application of the software application for the simulation of mechanical characteristics of a traction of beam structures.

**Keywords:** Ansys, Simulation, Tensile test, Composite materials.

## 1 INTRODUÇÃO

A procura de performances técnicas que aliassem otimização de maneira mais eficaz à aplicação proposta e leveza motivou a concepção e utilização de materiais específicos, adaptados à solução tecnológica dos problemas impostos (MARINHO, 2005). Assim, surgiram materiais reforçados, heterogêneos chamados de compósitos, que junto com o apelo atual na área da sustentabilidade, atraem os olhares para materiais renováveis, reutilizados e com método de fabricação menos agressivos ao meio ambiente, sendo as fibras naturais e rejeitos da agroindústria uma vertente significativa para atender os interesses propostos.

Diante da necessidade do ensaio à tração pode-se destacar que a crescente internacionalização do comércio de produtos põe em destaque a importância da normalização dos ensaios de materiais, ou seja, qualquer que seja a procedência do produto, os testes pelos quais ele passou em seu país de origem devem poder ser repetidos, nas mesmas condições, em qualquer lugar do mundo.

Como consequência natural do aumento crescente das aplicações materiais compósitos, pode-se notar um crescente avanço nas pesquisas voltadas para a modelagem matemática e simulações numérico-computacionais do comportamento dinâmico de materiais compósitos. Confeccionados de acordo com as necessidades mecânicas de projeto,

os materiais compósitos são a solução mais adequada quando se necessita de estruturas mais leves e resistentes, ou combinações de propriedades mecânicas difíceis de serem obtidas nos materiais convencionais (PINHEIRO et al., 2006).

Nesta conjuntura o Método de Elementos Finitos (MEF) é um método matemático para a solução de equações diferenciais parciais, tais como as equações de Poisson e Laplace (BASTOS, 2005). O conceito mais fundamental do MEF é o de que toda “função contínua, seja ela de temperatura, pressão ou deslocamento, pode ser aproximada por um modelo composto de um conjunto de funções contínuas (dentro de um intervalo) definidas sobre um número finito de subdomínios”, denominados por elementos finitos (SEGERLIND, 1976).

O maior problema do MEF é a dificuldade de geração de malha. Por esse motivo, sua utilização tornou-se mais popular apenas na década de 80, a partir do avanço tecnológico dos computadores e dos vários métodos de geração automática de malhas.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) foi escolhido para a realização deste trabalho por ser uma ferramenta já utilizada pelos autores, sendo este um método sem grandes limitações ou dificuldades de aplicação em geometrias diversas, além do seu ótimo desempenho no que se refere à precisão dos resultados.

Segundo Reis (2013), dentro dos materiais estruturais utilizados na construção civil pode-se destacar a madeira, usada especialmente em vigas. Tendo em conta a sua baixa massa específica, a madeira possui uma notável resistência mecânica à tração e compressão quando comparada com outros materiais. É um material anisotrópico e quase-frágil, cujas propriedades mecânicas são de difícil determinação. Com isto, o trabalho insere os materiais compósitos como alternativa à viga de madeira.

O presente trabalho pretende identificar através de Métodos de Elementos Finitos (MEF), a validade dos parâmetros encontrados no ensaio de tração experimental de materiais compósitos de resina poliéster e fibra de piaçava à diferentes dimensões. Avaliando a possibilidade de permitir que a simulação de estruturas, como a viga neste caso utilizada, se aproxime de fato de prováveis valores reais de tensão, deformação explorando os principais locais de possíveis falhas.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 PREPARAÇÃO DAS FIBRAS NATURAIS**

As fibras de piaçava adquiridas em zona comercial da região metropolitana de Belém-PA e, sem que houvesse qualquer tratamento químico ou superficial das fibras, realizou-se o processo de corte em dimensões de 5, 10 e 15 mm, o qual se deu de forma manual com o auxílio de tesoura e papel com as respectivas medidas estabelecidas conforme a Figura 1, 2 e 3 foram cortadas em comprimentos de 5, 10 e 15 mm.

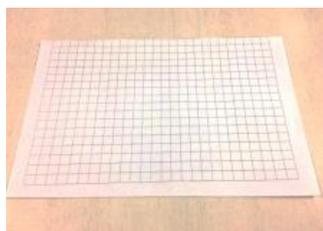


Figura 1. Papel milimetrado (Autor, 2019).



Figura 2. Corte das fibras (Autor, 2019).



Figura 3. Fibras cortadas de comprimento 5, 10 e 15 mm (Autor, 2019).

## 2.2 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram fabricados 1 série de compósito contendo 8 corpos de prova para cada comprimento de fibra (5, 10 e 15mm), totalizando 24 corpos de prova. Foi realizada uma otimização quanto ao agente de cura utilizado na resina poliéster, no qual o resultado que melhor atendeu a proposta de confecção foi de 0,5% em massa (m/m) da resina. No qual o tempo médio de cura consistiu em 7 dias. A mistura foi homogeneizada durante um período de 5 (cinco) minutos e vazada, à temperatura ambiente, nos moldes de silicone, conforme pode ser visualizado na Figura 4. Antes do processo do vazamento se inseriu uma camada de resina no molde para que as fibras não prejudicassem a dispersão da resina na superfície molde (Figura 5).



Figura 4. Homogeneização do compósito (Autor, 2019).



Figura 5. Molde de silicone conforme a norma ASTM D3039 (Autor, 2019).

### 2.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração foram realizados obedecendo a norma ASTM D3039. Os ensaios foram feitos no Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM) na Universidade Federal do Pará (UFPA), com o auxílio do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais (GPEMAT), onde foi utilizada uma máquina de ensaio KRATOS modelo MKCA - KE com carga de 5kN, a uma velocidade de ensaio de 2 mm/min com comprimento útil entre garras de 200 mm.

### 2.4 CONSIDERAÇÕES PARA SIMULAÇÃO

Foi utilizado o Software AnsysAcademic 19.2 para realizar os procedimentos de simulação. Para termos de aplicação estrutural foi analisada uma viga Pinus Aut Aparelhada da marca Madvei, com dimensões de 4,5cmx10cmx3m conforme identificação do fabricante (

Figura 6). Nesta viga foi avaliado o comportamento mecânico dela quanto à tração, utilizando os resultados obtidos nos ensaios experimentais e especificações do material compósito reforçado com as fibras de piaçava como parâmetro.

Algumas considerações foram seguidas para identificar a entrada de dados no Ansys:

- O material foi considerado uniforme. Apesar de o compósito apresentar duas fases, a matriz e as fibras vegetais, na simulação foram utilizadas as propriedades do compósito deixando enfatizando este como sendo um único material.
- A viga foi fixada em uma das extremidades utilizando duas faces paralelas que ocuparam uma área superficial de 300 cm<sup>2</sup> conforme (Figura 8). A força foi aplicada a extremidade oposta, no eixo longitudinal X enfatizando a tração exercida.
- Outro parâmetro pré-estabelecido, foi bloquear o deslocamento nas faces fixadas e na extremidade onde a força é aplicada, proporcionando apenas deslocamento no eixo X.
- Conforme os resultados do ensaio de tração pela norma ASTM D3039, estimou-se que a deformação máxima no procedimento de simulação não poderia ultrapassar os seus valores experimentais, bem como se realizou de forma análoga a mesma interpretação quanto à tensão máxima de ruptura do material.

A equação (1) e (2) representam os parâmetros utilizados para evitar que ocorra a ruptura.

$$\varepsilon_{experimental} > \varepsilon_{teorico} \quad (1)$$

$$\sigma_{experimental} > \sigma_{teorico} \quad (2)$$

Onde  $\varepsilon$  é a deformação do material e  $\sigma$  a tensão normal.

Utilizando o módulo de elasticidade do compósito adquiridos no ensaio de tração foram realizada diversas simulações alterando apenas a força atuada no sentido do eixo X, até que a tensão e deformação tenha se aproximado do experimental. Achando com isso assim a força máxima atuada na viga idealizada em situações perfeita.



Figura 6. Viga modelo de madeira (Leroymerlin, 2019)

Figura 7. Ilustração de utilização da viga de madeira (Toratoramadeira, 2019).

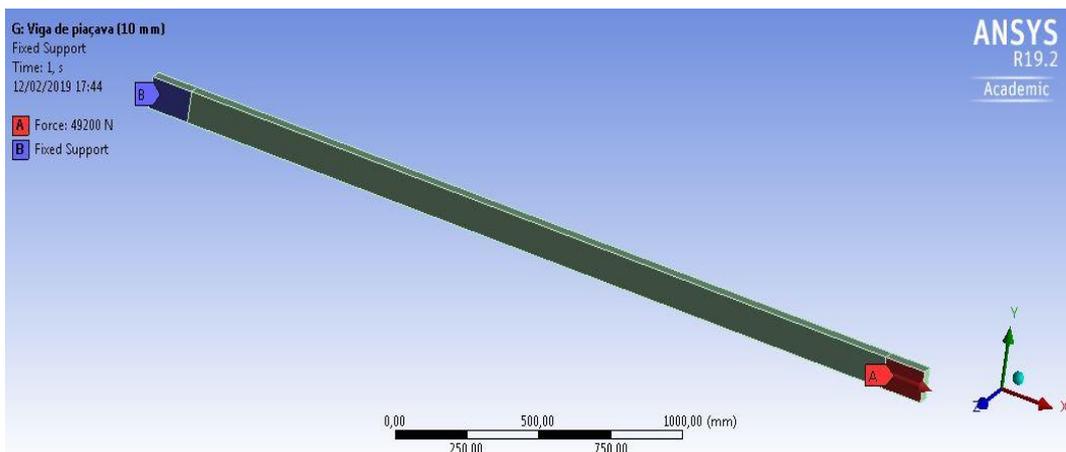


Figura 8. Pontos fixação e direção da força da geometria da viga (Autor, 2019).

**3 RESULTADOS E DISCUSSÃO****3.1 ENSAIOS DE TRAÇÃO**

Os resultados dos ensaios de tração são ilustrados na Tabela 1, onde se observa que com o aumento do comprimento da fibra aumenta-se também a resistência mecânica do compósito. Isto pode ser explicado pela área superficial maior na interface fibra/matriz com o maior comprimento das fibras. Além disto, o aumento no comprimento do reforço gera também menos descontinuidades, que podem ser provocadas, principalmente, pelas extremidades das fibras, onde se acumulam pontos concentradores de tensão, interferindo na resistência mecânica do material.

<b>Piçava</b>	<b>Fração mássica (%)</b>	<b>Resistência à tração (MPa)</b>	<b>Deformação (%)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (MPa)</b>
5 mm	17,10	8,29±0,55	1,44±0,12	546,73±39,11
10 mm	15,92	9,56±1,37	1,72±0,19	529,21±65,79
15 mm	14,82	10,18±1,37	1,97±0,14	496,23±74,89

Tabela 1. Resultados do ensaio de tração dos compósitos de piçava (Autor, 2019).

**3.2 ANÁLISE COMPUTACIONAL DA VIGA**

Nas Figura 9 podem-se observar as curvas experimentais obtidas no ensaio de tração e teóricas simuladas pelo software Ansys. Em ambos os casos se nota que a curva experimental detém de valores de tensão abaixo das curvas teóricas, muito justificada pelas considerações realizadas durante o processo de simulação, que descartam, de certa forma, fatores importantes decorrentes do processo de fabricação de materiais compósitos, como é o caso das bolhas geradas na laminação manual, disposição das fibras descontínuas, aspectos estes que são determinantes para o aumento na concentração de tensão, podendo promover a ruptura do material.

A deformação aumentou conforme os comprimentos de fibra aumentaram, demonstrando a maior rigidez em compósitos reforçados com fibras de menor comprimento.

Nas Figuras observa-se que a deformação máximas estão localizadas próximo à extremidade tracionada e vai se reduzindo conforme a proximidade com a extremidade fixada. Nas figuras pode-se notar que a distribuição de carga durante o esforço de tração é distribuída uniformemente durante toda a área útil simulada.

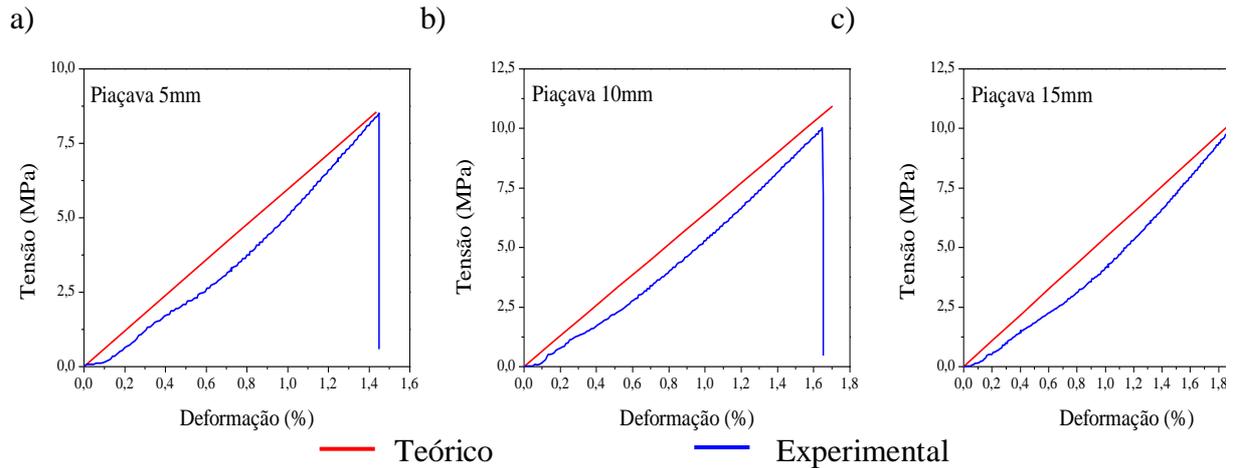


Figura 9. Comparação da curva teórica da viga e experimental da norma ASTM D3039: Piçava 5 (a), 10 (b) e 15 mm (c) (Autor, 2019).

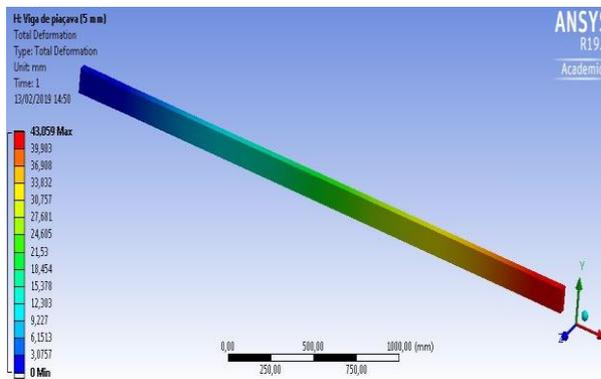


Figura 10. Deslocamento em viga de compósito com fibras de 5mm.

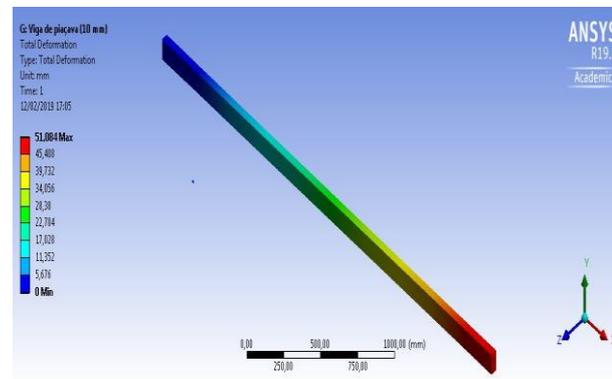


Figura 11. Deslocamento em viga de compósito com fibras de 10mm.

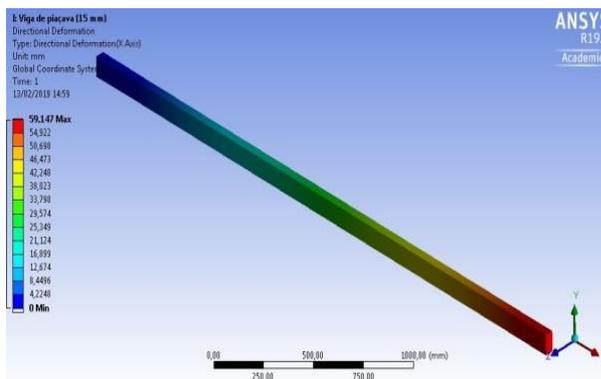


Figura 12. Deslocamento em viga de compósito com fibras de 15mm.

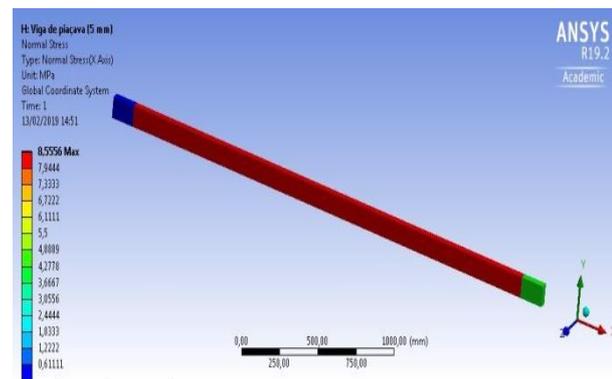


Figura 13. Tensão normal em viga de compósitos com fibras de 5mm.

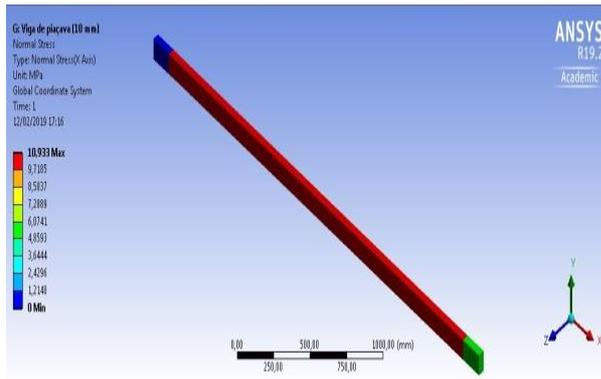


Figura 14. Tensão normal em viga de compósitos com fibras de 10mm.

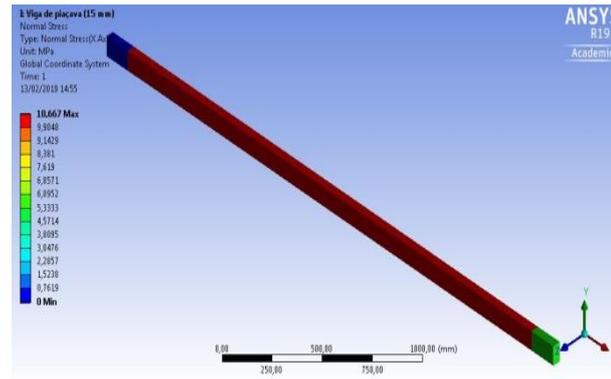


Figura 15. Tensão normal em viga de compósitos com fibras de 15mm.

A Tabela 2 ilustra os resultados encontrados nas aproximações realizadas pelo Ansys.

Viga de compósito	Tensão máxima normal	Deslocamento
Poliéster/Piaçava 5mm	8,556MPa	43,059 mm
Poliéster/Piaçava 10mm	10,933 MPa	51,084 mm
Poliéster/Piaçava 15mm	10,667 MPa	59,147 mm

Tabela 2. Resultados aproximados das simulações na viga

#### 4 CONCLUSÃO

As considerações feitas no software Ansys influenciaram na linearidade da curva tensão vs deformação, tendo em vista as considerações utilizadas na simulação, gerando um erro quanto ao modelo experimental. Porém, observou-se, que apesar da variação entre os resultados, a simulação apresenta valores confiáveis em comparação com os ensaios de tração realizados.

Portanto há a viabilidade de se fabricar vigas de material compósito reforçado por fibras de piaçava, que atendam os esforços estabelecidos que atendam os esforços simulados.

#### REFERÊNCIAS

ASTM D3039/D3039M. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. 2014.

BASTOS. J.P. A. Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods. Florianópolis: Marcel Dekker, Inc. 2005.

1. MARINHO, J. R. D. MACROMOLÉCULAS E POLÍMEROS. EDITORA MANOLI LTDA. BARUERI, SP, 2005.

PINHEIRO, M. A. S.; BECKHAUSER, G. N. ; MENEZES, M. R. . “Aplicativo Voltado para a Macromecânica Básica das Estruturas Laminadas de Material Compósito”. Boletim SBMAC (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. VII, p. 209-222, 2006.

REIS, J. P. C. Estruturas de madeira reforçadas com compósitos. Dissertação de mestrado (Engenharia Mecânica) Universidade do Porto, Porto, 2013.

SEGERLIND, L. J. Applied Finite Element Analysis. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1976.

LEROYMERLIN.Vigas. Disponível em: <<https://www.leroymerlin.com.br/>> .Acesso em: 07 de Fev. 2019.

TORATORAMADEIRAS. Produtos. Disponível em: <<https://www.toratoramadeiras.com.br/>> .Acesso em: 05 de Fev. 2019.