

## **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE NERVURAS NA RESISTÊNCIA DE VIGA DE PERFIL U**

Kilmer da Silva Calvet (UEMA) E-mail: [kilmercalvet@hotmail.com](mailto:kilmercalvet@hotmail.com)  
Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho (UEMA) E-mail: [pauloroberto56@hotmail.com](mailto:pauloroberto56@hotmail.com)

**Resumo:** A utilização de métodos computacionais tem sido disseminada na elaboração de projetos mecânicos por ser possível desenvolver estruturas mais esbeltas com redução de custos e garantindo fator de segurança necessário para a aplicação. O método mais utilizado para essas simulações presentes nos softwares comerciais é a técnica de elementos finitos que consiste na resolução de problemas envolvendo equações diferenciais através divisão do domínio do problema em elementos finitos. Desta forma, este trabalho visa realizar um estudo da influência da variação da espessura de nervuras em vigas de perfil “U”. Para avaliação utilizou-se uma viga de 500 mm de comprimento, 100 mm de altura da alma e 50 mm de largura da mesa. A força aplicada na estrutura foi de 30 kN, nas extremidades utilizou-se geometrias fixas. A malha utilizada para resolução do problema é composta por 17514 nós e 8916 elementos. As espessuras estudadas foram de 2, 4, 6, 8, 10, 50, 100, 200, 300, 400 e 500 mm. Os resultados para a espessura de 2 mm apresentaram a região próxima a nervura como a de menor rigidez indicando que para este caso a espessura não contribuiu para o aumento da rigidez da estrutura. Para as demais espessuras identificou-se aumento da rigidez na região nervurada. Os modelos polinomiais obtidos nas distribuições de espessura x tensão de von Mises, espessura x deformação, espessura x fator de segurança, espessura x massa apresentaram coeficiente de determinação variando 0,80807 a 1 indicando confiabilidade significativa na representação dos dados.

**Palavras-chave:** Nervura mecânica, Rigidez, Elementos finitos.

## **STUDY OF THE INFLUENCE OF RIBBON THICKNESS ON PROFILE BEAM RESISTANCE U**

**Abstract:** The use of computational methods has been widespread in the design of mechanical designs because it is possible to develop slender structures with cost reduction and ensuring the necessary safety factor for the application. The most used method for these simulations in commercial software is the finite element technique that consists in solving problems involving different equations by dividing the problem domain into finite elements. Thus, this work aims to carry out a study of the thickness variation influence of ribs in beam of U profile. For evaluation, a beam of 500 mm length, 100 mm core height and 50 mm table width was used. The force applied to the structure was 30 kN, at the ends were used fixed geometries. The mesh used to solve the problem consists of 17514 nodes and 8916 elements. The thicknesses studied were 2, 4, 6, 8, 10, 50, 100, 200, 300, 400 and 500 mm. The results for the thickness of 2 mm presented the region near the rib as the lowest stiffness, indicating that in this case the thickness did not contribute to the increasing of the structure stiffness. For the other thicknesses, increased stiffness in the ribbed region was identified. The polynomial models obtained in the von Mises thickness x stress, thickness x deformation, thickness x safety factor, thickness x mass distributions presented coefficient of determination ranging from 0.80807 to 1 indicating good reliability in data representation.

**Keywords:** Mechanical rib, Rigidity, Finite elements.

### **1. Introdução**

As estruturas metálicas são muito utilizadas no ambiente industrial na construção de galpões, máquinas e equipamentos. Ao longo dos últimos anos, essas estruturas estão sendo estudadas para entender melhor o seu correto dimensionamento através do desenvolvimento de métodos de cálculo, ampliação do conhecimento da tecnologia de soldagem e na construção de estruturas que combinam concreto e aço em sua composição (ZHANG et. al.,2019).

Os avanços nesses estudos são necessários para mitigar as incertezas dos métodos de cálculo, além de minimizar a robustez de estruturas dimensionadas para suportar cargas superiores as reais que encarecem os projetos de máquinas e equipamentos (PARISI e AUGENTI, 2017).

Estas estruturas são formadas por elementos estruturais como vigas, cantoneiras, chapas, mão francesa, nervuras e etc. Dentre esses elementos as nervuras são utilizadas em estruturas metálicas para enrijecer vigas esbeltas. Segundo a NBR 8800:2008 as vigas esbeltas devem ter sua resistência aumentada através da instalação de nervuras nas suas almas com o objetivo de evitar a flambagem locais de alma.

Os métodos computacionais estão sendo largamente utilizados pois são capazes de simular esforços previamente minimizando os custos de construção. O SolidWorks é um dos softwares mais utilizados no dimensionamento de estruturas metálicas por ser muito intuitivo e capaz de realizar inúmeras simulações como: análise estática linear, análise de frequência, análise dinâmica, análise linearizada de flambagem, análise térmica, análise estática não linear, estudo de teste de queda e análise de fadiga (GLODOVÁ; LIPTÁK; BOCKO, 2014).

O SolidWorks utiliza da técnica de elementos finitos para realizar as simulações. Esta técnica consiste em método numérico com o proposito de determinar soluções de problemas de equações diferenciais através da divisão do domínio do problema em elementos menores (SSOMAD et. al, 2013).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo estudar a influência da instalação de nervuras na rigidez de viga de perfil U através da utilização do método de elementos finitos. Serão avaliados o comportamento da tensão de Von Mises, deformação, fator de segurança e aumento de massa da estrutura.

## 2. Materiais e Métodos

A viga de perfil “U” foi desenhada em CAD 3D utilizando o software SolidWorks e tem o perfil apresentado na Figura 1. A viga tem comprimento de 500 mm, altura da alma de 100 mm, altura da mesa de 50 mm e espessura de 8 mm conforme detalhamento mostrado na Figura 1.

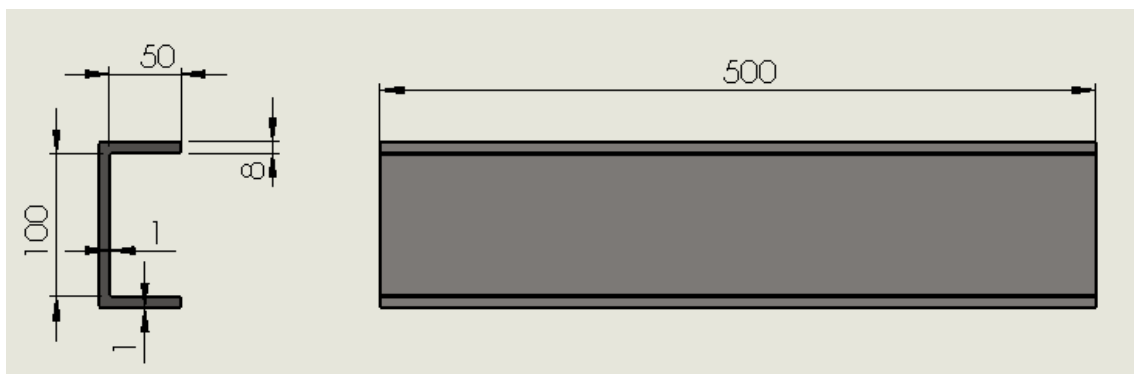


Figura 1 - Dimensões da viga de perfil U utilizada nos ensaios

A nervura utilizada no estudo foi projetada no centro da viga no formato triangular utilizando o recurso nervura do software conforme apresentado na Figura 2. As espessuras utilizadas nas simulações foram: 2, 4, 6, 8, 10, 50, 100, 200, 300, 400 e 500

mm.

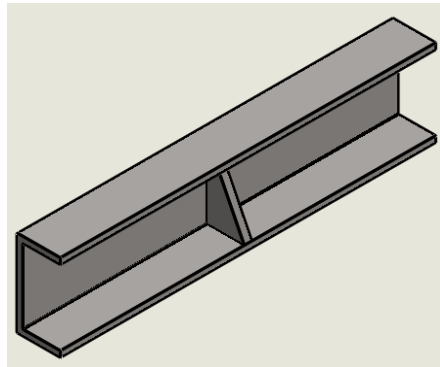


Figura 2 Viga de perfil "U" com nervura centralizada de 10 mm de espessura

Utilizando o suplemento do Solidworks denominado Simulation realizou-se um estudo de carga estática onde foram aplicadas na mesa da viga uma força 30 kN, as duas extremidades da viga foram adicionadas elementos de fixação geometria fixa conforme observado na Figura 3.

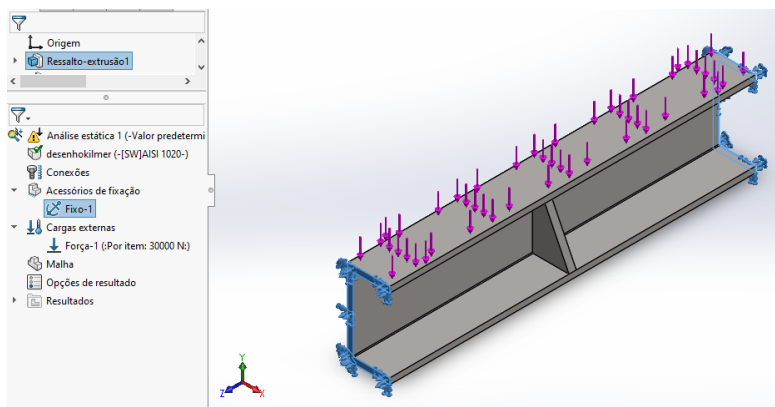


Figura 3 Ilustração dos acessórios de fixação e força aplicada no modelo

O material aplicado no projeto foi o aço carbono AISI 1020 que apresenta suas propriedades ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades do aço carbono AISI 1020

| Propriedade                      | Valor    | Unidade           |
|----------------------------------|----------|-------------------|
| Módulo elástico                  | 200000   | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente de Poisson          | 0.29     | N/A               |
| Modulo de cisalhamento           | 77000    | N/mm <sup>2</sup> |
| Massa específica                 | 7900     | Kg/m <sup>3</sup> |
| Resistência de tração            | 420.507  | N/mm <sup>2</sup> |
| Limite de escoamento             | 351.571  | N/mm <sup>2</sup> |
| Coefficiente de expansão térmica | 1.5e-005 | /K                |
| Condutividade térmica            | 47       | W/(m.K)           |
| Calor específico                 | 420      | J/(kg.K)          |

A malha e os elementos utilizados na simulação apresentam as suas características na Tabela 2.

Tabela 2 – Características da malha e dos elementos utilizados na simulação

| Característica                         | Tipo        |
|--|-------------|
| Tipo de Malha                          | Sólida      |
| Gerador de Malhas usado                | Padrão      |
| Pontos Jacobianos                      | 4 pontos    |
| Tamanho do elemento                    | 9.52665 mm  |
| Tolerância                             | 0.476332 mm |
| Qualidade da malha                     | Alta        |
| Total de nós                           | 17514       |
| Total de elementos                     | 8916        |
| Proporção máxima                       | 6.7074      |
| % de elementos com proporção < 3       | 91.9        |
| % de elementos com proporção > 10      | 0           |
| % de elementos distorcidos (Jacobiana) | 0           |

Os resultados examinados após a simulação foram: critério tensão de von Mises máxima, deformação, fator de segurança e massa da peça. O critério de tensão de von Mises é definido por:

$$p\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{(1/2)} \text{ Eq. (1)}$$

Os resultados serão apresentados em diagramas, tabelas e gráficos. Os gráficos foram elaborados no OriginPro 8.5.1. A elaboração das equações polinomiais características das distribuições de largura da nervura x tensão de von Mises; nervura x deformação; nervura x fator de segurança e nervura x massa foram determinadas utilizando o recurso análise do OriginPro 8.5.1.

### 3. Resultados e Discussões

A tabela 3 apresenta os resultados de tensão de von Mises, deformação, fator de segurança e massa que retornaram da simulação para as vigas com as nervuras de 2, 4, 6, 8, 10, 50, 100, 200, 300, 400 e 500 mm.

Tabela 3 – Resultados para tensão de von Mises, deformação, fator de segurança e massa para vigas com nervuras variando de 2 a 500 mm.

| Espessura da Nervura (mm) | Tensão de von Mises máxima (N/m <sup>2</sup> ) | Deformação | Fator de segurança | Massa (Kg) |
|---------------------------|--|------------|--------------------|------------|
| 2                         | 269.386.272,00                                 | 0,00097    | 1,305              | 6,86       |
| 4                         | 230.148.704,00                                 | 0,00088    | 1,528              | 6,90       |
| 6                         | 217.208.352,00                                 | 0,00080    | 1,619              | 6,94       |
| 8                         | 212.448.464,00                                 | 0,00075    | 1,655              | 6,98       |
| 10                        | 212.276.656,00                                 | 0,00075    | 1,656              | 7,02       |
| 50                        | 208.494.656,00                                 | 0,00074    | 1,686              | 7,80       |
| 100                       | 202.853.024,00                                 | 0,00072    | 1,733              | 8,78       |
| 200                       | 184.941.776,00                                 | 0,00066    | 1,901              | 10,73      |
| 300                       | 158.848.816,00                                 | 0,00056    | 2,213              | 12,69      |
| 400                       | 135.944.144,00                                 | 0,00045    | 2,586              | 14,64      |
| 500                       | 143.613.136,00                                 | 0,00037    | 2,448              | 16,59      |

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que a espessura da nervura está diretamente associada com a redução da tensão de von Mises máxima e da deformação e com o aumento do fator de segurança e massa da peça. O que nos leva a concluir que

quando mais espessa for a nervura na alma da viga maior será sua rigidez a tensão aplicada sobre a mesa. Isso deve-se ao fato de que a introdução de nervuras centralizadas enrijece a região central onde haveria o maior esforço de deformação transferindo-lhes para os apoios (SALOMÃO; VELASCO; SOTELINO, 2015).

Nas figuras 4 e 5 são apresentados os diagramas de tensão de von Mises, deformação e fator de segurança para as vigas com nervuras de x e y respectivamente.

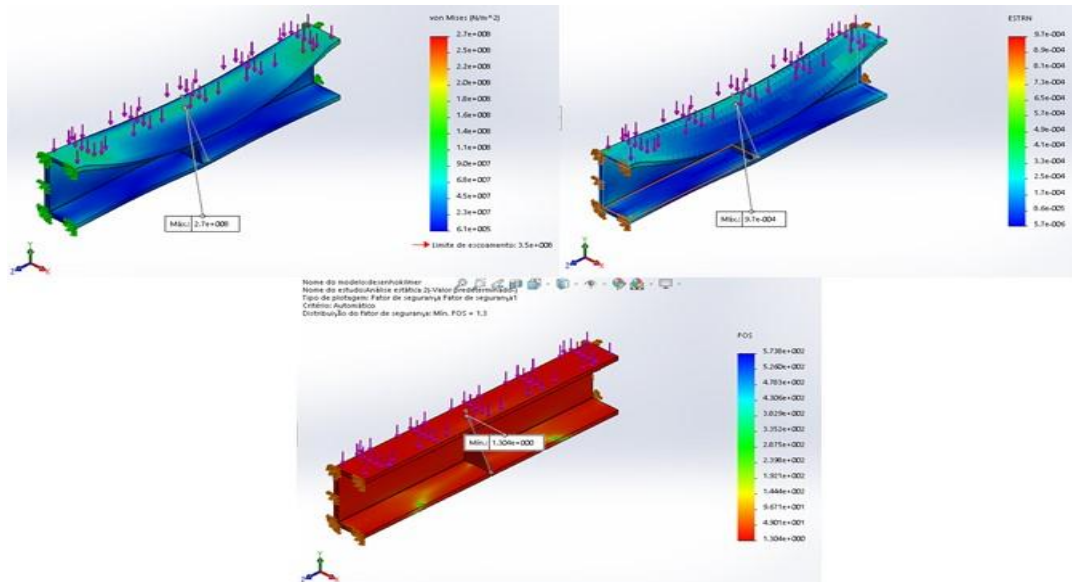


Figura 4 Diagrama da tensão de von Mises, deformação e fator de segurança para a viga com nervura de 2 mm

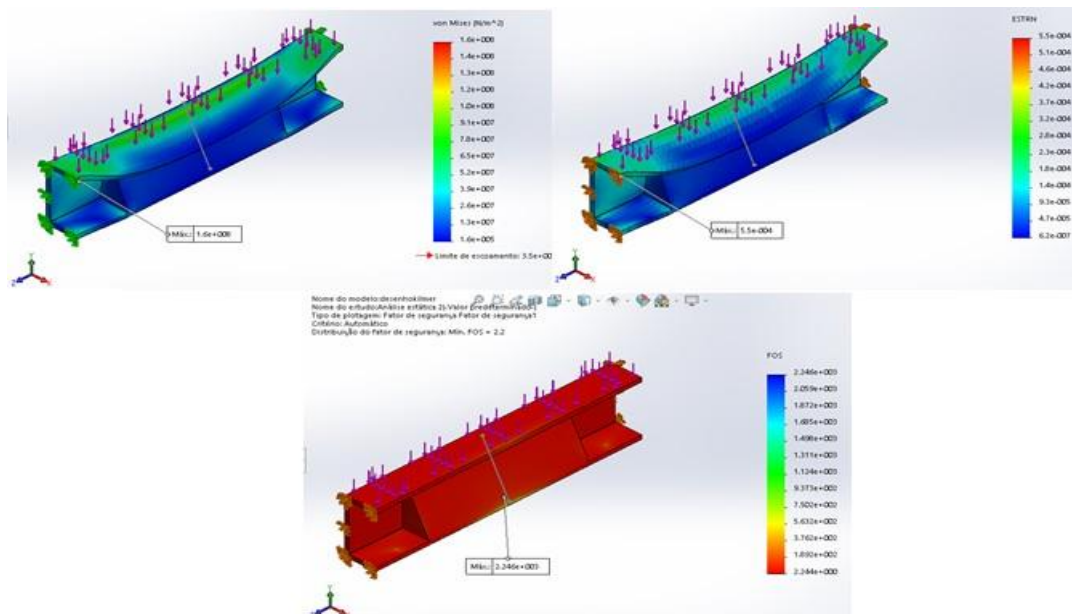


Figura 5 Diagrama da tensão de von Mises, deformação e fator de segurança para a viga com nervura de 300 mm

As imagens da Figura 4 mostram que para a viga com a nervura de 2 mm apresenta o ponto de máxima tensão de von Mises e deformação próximo a nervura, enquanto o

ponto de menor fator de segurança está próximo a nervura demonstrando que para uma espessura de 2 mm ao invés de ser um inrijeedor da estrutura funcionará com ponto de menor resistência estando suscetível ao cisalhamento. Isto ocorre pois para o caso de espessura de 2 mm existe uma diminuição da área onde os esforços foram aplicados elevando a concentração de tensão na região (BUNIATTI, 2017).

No caso da Figura 5, onde a nervura tem espessura de 300 mm, os pontos de maior tensão e maior deformação estão nas extremidades da viga, enquanto o de maior fator de segurança está próximo a nervura demonstrando a eficiência do reforço na rigidez da estrutura.

A figura 6 apresenta o gráfico da relação entre a variação da espessura da nervura em função da tensão de von Mises máxima.

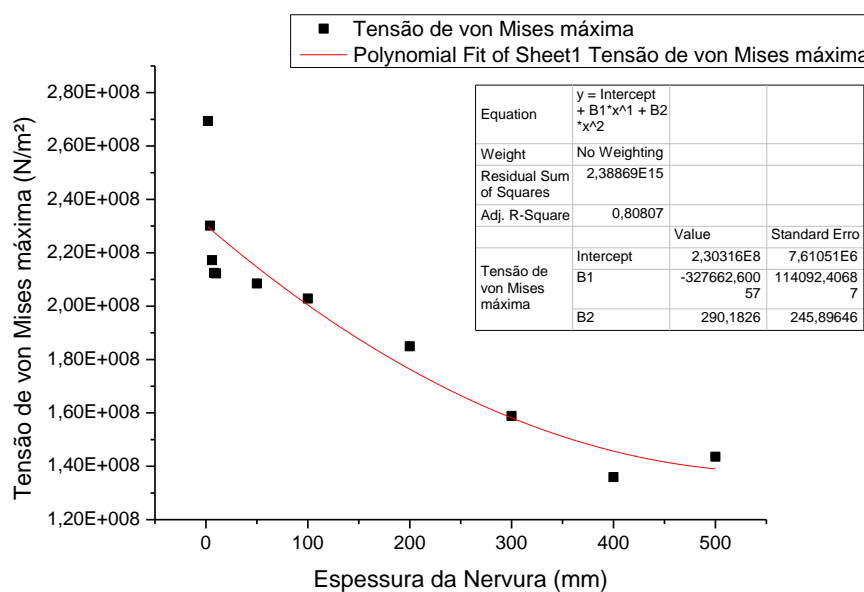


Figura 6 Gráfico da variação da espessura da nervura em função da tensão de von Mises

A partir da figura 6 é possível perceber que à medida que a espessura da nervura aumenta há uma diminuição da tensão de von Mises. A tendência a essa distribuição pode ser representada por uma equação polinomial  $y = + B_1*x+B_2*x^2$ , com coeficiente de correlação  $R^2 = 0,80807$ . Os valores de  $B_1$  e  $B_2$  são apresentados na Figura 6.

A figura 7 apresenta o gráfico da relação entre a variação da espessura da nervura em função da deformação.

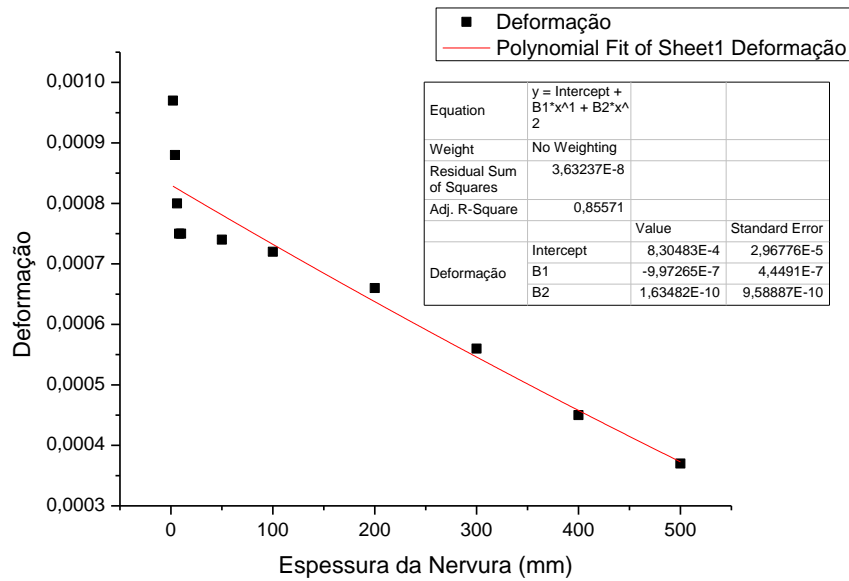


Figura 7 Gráfico da variação da espessura da nervura em função da deformação

A partir da figura 7 é possível perceber que à medida que a espessura da nervura aumenta há uma diminuição da deformação. A tendência a essa distribuição pode ser representada por uma equação polinomial  $y = + B_1*x+B_2*x^2$  com coeficiente de correlação  $R^2 = 0,85571$ . Os valores de  $B_1$  e  $B_2$  são apresentados na Figura 7.

A figura 8 apresenta o gráfico da relação entre a variação da espessura da nervura em função da fator de segurança.

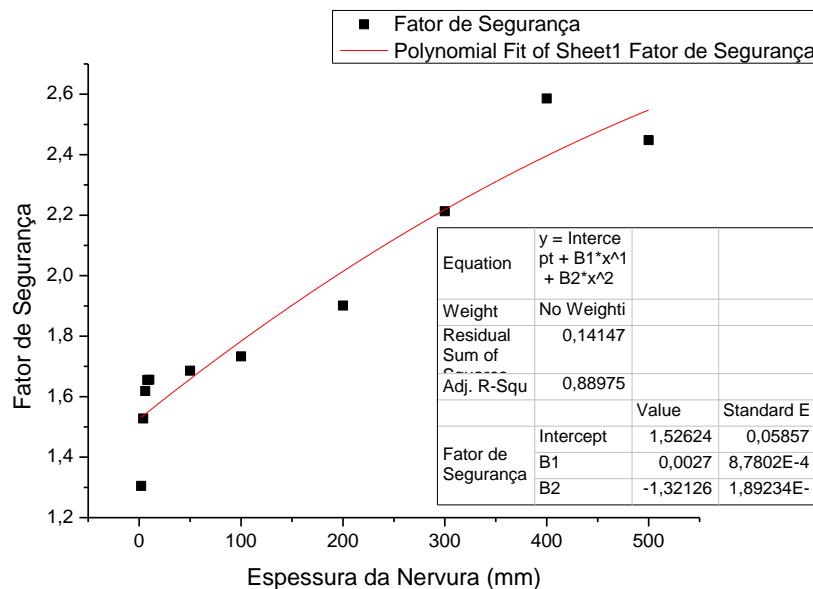


Figura 8 Gráfico da variação da espessura da nervura em fator de segurança

A partir da figura 8 é possível perceber que à medida que a espessura da nervura aumenta há um aumento do fator de segurança. A tendência a essa distribuição pode ser representada por uma equação polinomial  $y = + B_1*x+B_2*x^2$  com coeficiente de correlação  $R^2 = 0,88975$ . Os valores de  $B_1$  e  $B_2$  são apresentados na Figura 8.



A figura 9 apresenta o gráfico da relação entre a variação da espessura da nervura em função da massa.

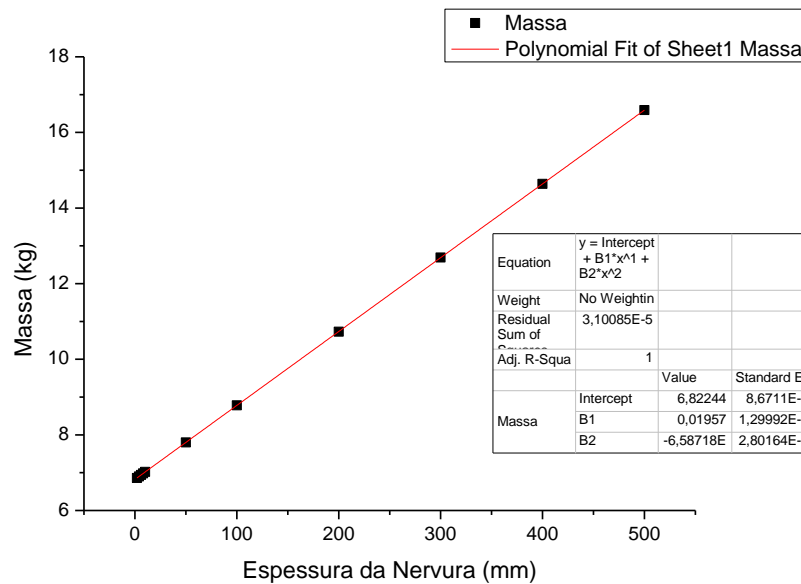


Figura 9 Gráfico da variação da espessura da nervura em fator de segurança

A partir da figura 8 é possível perceber que à medida que a espessura da nervura aumenta há um aumento da massa. A tendência a essa distribuição pode ser representada por uma equação polinomial  $y = + B_1*x+B_2*x^2$  com coeficiente de correlação  $R^2 = 1$ . Os valores de  $B_1$  e  $B_2$  são apresentados na Figura 9.

Os coeficientes de correlações apresentados nas relações entre variação da nervura x tensão de von Mises, deformação, fator de segurança e massa variaram de 0,80807 a 1 o que para este tipo de estudo apresenta boa representatividade da distribuição dos dados com os modelos polinomiais de segunda ordem (LINO, 2008).

#### 4. Conclusão

O artigo fez uma avaliação da influência do aumento da espessura da nervura localizada no centro de uma viga de perfil “U” e foi possível constatar que existe uma relação de proporcionalidade com o aumento de rigidez da peça. Na menor espessura simulada (2 mm) a tensão de von Mises e a deformação foi maior em um ponto próximo da nervura indicando que o reforço não funcionou para essa medida. Enquanto para as outras espessuras (4, 6, 8, 10, 50, 100, 200, 300, 400 e 500 mm) ensaiadas houve aumento da rigidez próximo a região nervurada.

Em relação ao fator de segurança percebeu-se que apenas para as nervuras simuladas com 300, 400 e 500 mm houve fator de segurança maior que 2, valor recomendado para condições de cargas estáticas.

A massa do conjunto viga mais nervura aumentou cerca de 98% para que a peça alcançasse fatores de segurança aceitáveis. Está avaliação de viabilidade deve ser feita para cada aplicação para estimar se ao invés de instalar nervuras não seria mais eficiente mudar para uma viga de dimensões maiores.

Por fim, este trabalho apresentou equações polinomiais de segunda ordem que podem



ser utilizadas para estimar a tensão de von Mises, deformação, fator de segurança e massa de vigas de perfil “U” como coeficiente de correlação que variaram de 0,80807 à 1, valores relevantes na representação da confiabilidade da equação matemática as distribuições.

### **Referências**

**ABNT, NBR. 8800:** *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.

**BUNIATTI, Diego.** *Análise de aços para aumento de capacidade mecânica e redução de peso de nervuras de sapata de freio*. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, 2017.

**GLODOVÁ, Iveta; LIPTÁK, Tomáš; BOCKO, Jozef.** *Usage of finite element method for motion and thermal analysis of a specific object in SolidWorks environment*. *Procedia Engineering*, v. 96, p. 131-135, 2014.

**LINO, Roney Eduardo.** *Modelagem Matemática de Curvas Tensão-Deformação*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, 2008.

**PARISI, Fulvio; AUGENTI, Nicola.** *Structural failure investigations through probabilistic nonlinear finite element analysis: Methodology and application*. *Engineering Failure Analysis*, v. 80, p. 386-402, 2017.

**SALOMÃO, Í. L.; VELASCO, V. L. S.; SOTELINO, E. D.** *ANÁLISE NUMÉRICA DA EFICIÊNCIA DE LAJES NERVURADAS TRIDIRECIONAIS*. *Revista CIATEC-UPF*, v. 7, n. 2, 2015.

**SSOMAD, M. A. H. A. et al.** *Finite element analysis for stress distribution of hand tool harvester*. *Procedia Engineering*, v. 68, p. 219-224, 2013.

**ZHANG, Jingwen et al.** *Effect of welding sequences on the welding stress and distortion in the CFETR vacuum vessel assembly using finite element simulation*. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, v. 175, p. 103930, 2019.