



## **ANÁLISE ESTRUTURAL VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS E CONSTRUÇÃO DE UMA ESCAVADEIRA EM ESCALA COM MATERIAIS DE SUCATA**

<sup>[1]</sup>Guilherme Batista da Silva, Graduando em Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Itajubá- FEPI, batista17gui@hotmail.com

<sup>[2]</sup>Mauricio Eduardo Lopes, Graduação em Engenharia Hídrica, Mestrado em Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Itajubá- FEPI, mauricioedulopes@gmail.com.

<sup>[3]</sup>Ney Cândido da Silva Ribeiro, Graduação em Computação, Especialização em Docência no Ensino Superior, Centro Universitário de Itajubá- FEPI, ney.candido.ribeiro@gmail.com.

Nesse projeto será construída uma escavadeira em escala, com a utilização de material de sucata, rádio controlada e a realização de uma análise estrutural via Método dos Elementos Finitos (MEF). Esse método vai permitir observar o comportamento da estrutura em diversas situações, como por exemplo: a carga máxima suportada, os pontos de concentração de tensão, entre outras. O principal objetivo desse projeto é a realização da análise estrutural de um determinado componente da escavadeira em escala. A primeira etapa do projeto será a confecção de um modelo 3D, utilizando o *software* PTC Creo Parametric®, na qual o modelo 3D será exportado para um *software* de simulação numérica onde será realizada uma análise estrutural com o auxílio do *software* Ansys Student 2019®. O MEF empregado no *software* Ansys Student® vai proporcionar uma previsão dos esforços atuantes na estrutura, de forma aproximada, por meio da prototipagem virtual. Por fim, será feita a montagem da escavadeira em escala e a programação por meio da plataforma Arduino®, para que seja possível controlar os movimentos da escavadeira com um controle remoto. Como resultados do estudo será possível verificar o comportamento da estrutura da escavadeira, fazendo com que se identifique os pontos de tensões máximas, para se prever as limitações quanto a sua utilização em operação. Através desse projeto será possível colocar em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do ensino de graduação em Engenharia Mecânica, principalmente nas disciplinas de Projetos Auxiliado por Computador, Física, Estática, Resistência dos Materiais, e o entendimento da programação dos movimentos a serem executados pela escavadeira via interface da plataforma Arduino.

Palavras-chave: Escavadeira. Análise Estrutural. MEF. Arduino.



## ESTUDO DO EQUILÍBRIO DE FASES EM LIGAS DO SISTEMA Nb-V-Zr

<sup>[1]</sup>Ygor Riyuji Hamasaki Morais, Graduando em Engenharia Mecânica, UNIFEI, ygormorais2@hotmail.com

<sup>[2]</sup>Antônio Augusto Araújo Pinto da Silva, Instituto de Engenharia Mecânica, UNIFEI, aaaps@unifei.edu.br

Ligas para utilização em engenharia possuem normalmente em sua composição mais de 10 elementos. Quanto maior a quantidade, maior a dificuldade de se realizar o estudo de equilíbrio de fases e previsão do caminho de solidificação. Ferramentas de análise termodinâmica computacional (CALPHAD) auxiliam no estudo, economizam tempo e recursos. Para isso, depende fortemente de simulações numéricas que só são possíveis com uma base de dados termodinâmicos confiável, sendo esta, alimentada com informações do equilíbrio de fases de sistemas binários e ternários. Ligas de Alta Entropia (*High Entropy Alloys – HEAs*) é um novo conceito de liga metálica no qual possuem ao menos 5 elementos em teores similares e, geralmente, microestrutura monofásica. Devido a sua elevada entropia configuracional geram quatro efeitos característicos: efeito da alta entropia, distorção severa da rede, difusão lenta e efeito coquetel. Quando compostas por metais refratários, entre eles Nb, V e Zr, apresentam um alto potencial para aplicações em elevadas temperaturas, sendo especialmente interessante para aplicações aeronáuticas. Podendo então, substituir as superligas a base de Ni que possuem densidades maiores e conseqüentemente reduzir o peso total dos componentes. Assim, o presente trabalho tem como objetivo contribuir com o conhecimento do equilíbrio de fases de ligas do sistema Nb-V-Zr visando ao desenvolvimento de uma base de dados para ligas de alta entropia baseadas em metais refratários. Este estudo foi realizado a partir de 5 ligas no estado bruto de fusão bem como tratadas termicamente a 1100°C por 15 dias e 900°C por 60 dias. Para isto, as ligas foram fundidas e preparadas metalograficamente. A fundição foi realizada em forno de fusão a arco com atmosfera controlada de Ar, getter de Ti e cadinho de cobre eletrolítico refrigerado, tratadas em forno de resistência de dissiliceto de molibdênio. Após a fusão das ligas, cortou-se com o auxílio da máquina “Cortadeira de Precisão de Baixa Velocidade Isomet” e foram lixadas com 5 lixas de grãos cada vez menores (P 200, P 320, P 400, P 600 e P 800) e então polidas



com o auxílio de uma politriz automática, as amostras foram polidas, utilizando-se soluço de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Em seguida, foram analisadas via microscopia eletr nica de varredura (MEV) no modo elétrons retro espalhados, microanálise eletr nica (EDS) e difratometria raio x (DRX) com radia o Cu-K $\alpha$ . Os resultados encontrados foram com c culos por extrapola o da proje o *liquidus* de amostras brutas e se es isotérmicas a 1100 C e 900 C (amostras tratadas) utilizando o método CALPHAD e diagramas obtidos da literatura. Divergências entre simula es e experimentos foram encontrados os quais se destacam a substitui o parcial do V pelo Nb e conseqüente expansão do campo de precipita o primária  $\text{V}_2\text{Zr}$ . Logo, pode-se concluir que os resultados indicam a necessidade da realiza o de um ajuste com a adi o de parâmetro(s) ternário(s) para a fase  $\text{V}_2\text{Zr}$ .

Palavras-chave: Nb-V-Zr. Ligas de alta entropia. CALPHAD

Os autores agradecem a Funda o de Amparo   Pesquisa do Estado de Minas Gerais- FAPEMIG pela Bolsa de Inicia o Científica concedida ao primeiro autor.



## **ANÁLISE DE RENDIMENTO EM TURBINAS EÓLICAS HORIZONTAIS: ESTUDO DE CASO**

<sup>[1]</sup>Éderson André Henrique, graduando em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Itajubá-FEPI, edersonandre\_92@hotmail.com

<sup>[2]</sup>Roberto Meira Junior, Doutorando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá, meirajrp@gmail.com

Turbinas Eólicas são máquinas que extraem a energia cinética vento por meio do efeito aerodinâmico nos perfis de suas pás. De acordo com sua configuração podem ser classificadas como turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV) e de eixo horizontal (TEEH). Essas configurações limitam e especificam a aplicação da máquina. Geralmente as máquinas de eixo vertical são utilizadas para baixas alturas, torres de 10 a 20 metros, e em situações onde o vento possui diferentes direções. São máquinas que possuem um rendimento menor do que as máquinas com eixo vertical em função dos conceitos aerodinâmicos. As máquinas com eixo horizontal, são as tradicionais turbinas de grande porte e são utilizadas comumente em parques de geração de grande porte, em torres de 100 a 120 metros de altura. O rendimento dessas máquinas está diretamente relacionado ao dimensionamento do rotor, que é o principal elemento hidromecânico da máquina. Com base nos perfis aerodinâmicos são calculados os coeficientes de sustentação e arrasto em função do ângulo de ataque. E a partir desses coeficientes determina-se o rendimento. Esses coeficientes são frequentemente determinados em ensaios em túnel de vento ou em softwares específicos e são funções da geometria do perfil, da velocidade do escoamento ao longo do perfil ou o número de Reynolds e do ângulo de ataque ( $\alpha$ ), que é o ângulo entre a linha da corda do perfil e a do escoamento do ar. Este estudo apresenta o procedimento de projeto para o rotor de uma TEEH e um estudo numérico para a obtenção do potencial eólico em condições específicas de velocidade de vento e altura. A máquina tem um rotor de 3 pás e é projetada para operar com uma velocidade média e 4,5 a 7,5 m/s a 50 metros de altura. Com a geometria definida, a análise do comportamento da máquina se dá por



meio da simulação computacional do escoamento utilizando o software ANSYS/FLUENT®, adotando o modelo de Transporte de Tensão Cisalhante (Shear Stress Transport – SST), utilizado para analisar escoamentos em turbinas eólicas. Esse modelo exige um esforço computacional aceitável e possui uma robustez interessante, uma vez que mescla a formulação robusta e precisa do modelo de turbulência clássicos  $\kappa$ - $\omega$  e do  $\kappa$ - $\epsilon$ . Este estudo não entra no mérito descritivo de cada um desses modelos, mas sim no efeito prático, comparando os resultados obtidos. As validações serão feitas comparando os resultados obtidos nessas simulações realizadas com dados experimentais apresentados no relatório “*Aerodynamic Characteristic of Seven Symmetrical Airfoil Sections Through 180-Degree Angle of Attack for Use in Aerodynamic Analysis of Vertical Axis Wind Turbines*”. A literatura mostra que há divergências entre os resultados das simulações e os dados experimentais, principalmente em relação ao coeficiente de arrasto. Isto se dá pela qualidade das condições de contorno estabelecidas e pelos modelos matemáticos adotados.

Palavras-chave: Turbinas. Rotor. Potência.



## ESTUDO GAGE R&R PARA ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE DESGASTE EM FERRAMENTAS DE CORTE USADAS EM PROCESSO DE TORNEAMENTO

Yuri Silva Rabelo, Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá,  
silvayurirabelo@hotmail.com

Anderson Paulo de Paiva, Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá,  
andersonppaiva@unifei.edu.br

Todo processo industrial possui variáveis que podem gerar desvios de qualidade do produto final. É de suma importância que seja possível analisar esses desvios, pois muitas vezes o problema está no sistema de medição e não no processo produtivo, o que pode levar a interpretações equivocadas sobre o processo. Dessa forma, os estudos da Engenharia de Produção envolvem a ferramenta Gage R&R (repetitividade e reprodutibilidade), que se apresenta como um método que tem potencial de aplicação em vários ramos da indústria. Como diferencial, esta ferramenta possibilita perceber quais são os desvios provindos da medição e quais são da produção. Além disso, a independência da origem dos dados garante uma boa versatilidade ao método. Com isto, este trabalho tem como objeto de estudo a análise de duas ferramentas de corte, previamente utilizadas em um processo de torneamento e em situação de desgaste, em um sistema de medição composto por três operadores e três réplicas de medição. As ferramentas estudadas têm tolerância de desgaste pequena, da ordem de décimos de milímetros, uma vez que esses pequenos desvios já influenciam diretamente na qualidade dimensional e superficial da peça torneada. Para garantir que as medições fossem precisas, foi proposto o uso do *software* AutoCAD para a medição de área e da dimensão linear horizontal da região de desgaste. A metodologia de medição consistiu no uso de fotografias das ferramentas, com foco na região desgastada, as quais foram alimentadas no *software* AutoCAD, colocadas em escala real e medidas com as ferramentas do *software*. Os dados dimensionais foram utilizados para o seguimento de um estudo Gage R&R, por meio da análise de variância, realizado com o *software* Minitab. Posteriormente, os operadores passaram por um novo treinamento, no qual foi destacada a necessidade de se seguir os procedimentos propostos, e o estudo foi realizado novamente,



buscando obter informações sobre a efetividade do novo treinamento dos operadores sobre o método aplicado. Com este trabalho foi possível analisar o sistema de medição da região de desgaste de ferramentas de corte utilizando o método Gage R&R, bem como foi proposto um método para essas medições com o software AutoCAD. Após as análises realizadas sobre os dados obtidos dos estudos Gage R&R, foi possível observar a importância do treinamento adequado para os operadores, objetivando melhorar o sistema de medição. Além disso, a diferença entre os estudos Gage R&R realizados após um e dois treinamentos dos operadores mostrou que o sistema de medição pode ser melhorado com adição de treinamentos, seja qual for a medida de interesse. Notou-se também que o procedimento de medição da área de desgaste com o uso do software AutoCAD não é indicado pois, em todos os cenários analisados, não foram obtidos resultados aceitáveis com os estudos Gage R&R, uma vez que a medição depende de pontos escolhidos pelo operador, abrindo margem para subjetividade. Por outro lado, a medição da dimensão linear horizontal do desgaste, realizada após o segundo treinamento dos operadores, forneceu dados aceitáveis acerca da confiabilidade do sistema de medição, se mostrando assim como um método mais plausível de aplicação.

Palavras-chave: Qualidade. Gage R&R. Torneamento. Desgaste de ferramenta. Medição.



## **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO COMPÓSITO DE RESINA EPÓXI REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO TIPO-E PARA APLICAÇÃO EM ESTRUTURAS**

<sup>[1]</sup> Filipe Henrique Mendes, Graduando em Engenharia Mecânica, Instituição de Ensino e Pesquisa-FEPI, [filipe.mendes@gmail.com](mailto:filipe.mendes@gmail.com)

<sup>[2]</sup> Lidiane Gomes da Silva, Professora orientadora, Instituição de Ensino e Pesquisa-FEPI, [g.lidiane@yao.com.br](mailto:g.lidiane@yao.com.br)

Nos últimos anos tem-se buscado desenvolver materiais que sejam economicamente viáveis e ao mesmo tempo correspondam às novas exigências tecnológicas, variadas técnicas de reforço fazendo com que sua escolha dependa das causas e extensão de danos que pode causar, com aplicação, disponibilidade, e viabilidade técnico-econômico, sobre os quais tem havido estudo vem sendo desenvolvido diferentes tipos de reforços estruturais e aplicado, seja como elementos estruturais de alvenaria, de madeiras ou de aço. Neste sentido, os materiais compósitos despontam como uma alternativa para serem utilizados em diversas aplicações, em função do aumento da aplicabilidade desse tipo de material, torna-se imprescindível a necessidade de aperfeiçoamento do mesmo. Sendo assim, o crescimento em sua utilização ainda há muitas dúvidas a respeito da resistência desse tipo de polímero, essas que são de grande relevância para a escolha desse método de produção de componentes e equipamentos, fazendo com que novos estudos são realizados a fim de melhorar cada vez mais suas propriedades mecânica, otimizando, assim, a relação custo/benefício. Neste trabalho foi definido como principal objetivo dar continuidade a uma pesquisa desenvolvida na área de caracterização mecânica realizada nessa instituição com a intenção de continuidade e complementação com novos métodos de testes, desenvolvendo e analisando na área dos compósitos mais especificamente sobre resina epóxi reforçado com fibra de vidro tipo E, avaliando o comportamento mecânico e a característica da fratura inicial e final do compósito, ou seja, influência da orientação das fibras com relação à direção de aplicação da carga de um laminado compósito reforçado de fibras de vidro tipo E, frente aos carregamentos ensaiados de tração e compressão, e assim ter a obtenção dos resultados do



ensaio de tração para ser analisado o gráfico de tensão x deformação, tensão de tração, módulo de elasticidade e deformação, e para o ensaio de compressão nos dará o resultado para analisar a tensão de compressão, módulo de elasticidade, e deformação, foram também investigadas características estruturais afim de uma investigação mais aprofundada utilizando a Micrografia Óptica e a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Todos os testes feitos foram padronizados devidamente como pedem a norma de cada um, sendo que para o ensaio de tração foi utilizado a norma técnica da ASTM D3039 refere-se aos ensaios utilizando compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra para determinação das propriedades dos compósitos feitos de resina epóxi, e para o ensaio de compressão a norma técnica ASTM D3410, que se trata do método de teste padrão para propriedades compressivas de materiais compósitos de matriz de polímero. Os resultados dos ensaios mecânicos, foram comparados com os da literatura pesquisada e assim elaborando a validando os resultados para serem catalogados na conclusão. Observou-se da análise das propriedades mecânicas de compressão e tração que a resina epóxi reforçado com fibra de vidro tipo E possui característica de material frágil para tensões de tracionamento e dúctil para forças compressivas. Ambas com valores expressivamente maiores para o ensaio de tração, assim obtiveram, Tensão de Tração de 393,86 Mpa, Módulo de Elasticidade de 23,03 e Deformação de 17,1. Já para o ensaio de compressão obteve para Tensão de Compressão de 256 MPa, Módulo de Elasticidade de 122 GPa e Deformação de 0,25, que os encontrados na literatura, sendo que este material ainda possui fibras trançadas de forma bidirecional o que garantiu tais propriedades elevadas.

**Palavras-chave:** Compósito de Fibra de Vidro tipo E. Fibras Bidirecionais. Resistência Mecânica.