



Universidade Federal do ABC

Projeto de Pesquisa

Iniciação Científica

Editais 04/2022

Estudo da Probabilidade de Falha de Sistemas Estruturais em Série e em Paralelo com Aplicação a Treliças Tridimensionais Utilizando o Processo de Monte Carlo

Declaração de Interesse por Bolsa

O seguinte aluno tem interesse em participar do programa de iniciação científica como bolsista.

Área: Engenharia Aeroespacial

Subárea: Engenharia Estrutural

Estudo da Probabilidade de Falha de Sistemas Estruturais em
Série e em Paralelo com Aplicação a Treliças
Tridimensionais Utilizando o Processo de Monte Carlo

São Bernardo do Campo – SP

Junho 2022

Sumário

1 Resumo.....1

2 Introdução e Justificativa.....2

3 Objetivos.....6

4 Metodologia.....6

 4.1 Recursos computacionais e infraestrutura.....6

5 Cronograma de atividades.....7

Referências.....8

1 Resumo

O presente trabalho tratará da confiabilidade estrutural que tem por objetivo analisar a probabilidade de falha de um determinado elemento estrutural ou de um sistema estrutural. Para tal, será utilizado o Processo de Monte Carlo que consiste na geração de um grande número de valores randômicos para cada variável aleatória. Neste processo, para cada projeto gerado aleatoriamente, a função de performance é avaliada e caso seu valor seja positivo, o elemento (ou sistema) não falha e caso negativo, o elemento falha. O objetivo geral será a aplicação do método para avaliar a confiabilidade de uma estrutura treliçada tridimensional, utilizada na confecção da fuselagem e do tail boom da aeronave “Sorg”, de 2020, desenvolvida pela equipe Harpia Aerodesign, com a finalidade de participar da competição SAE BRASIL Aerodesign. A ideia central do trabalho é implementar um código no *software* MatLab® capaz de verificar, tanto no âmbito de cada barra da treliça, quanto no âmbito do sistema estrutural como um todo, a sua probabilidade de falha utilizando o Processo de Monte Carlo. Além disso, para uma maior fidelidade, os resultados da análise estrutural serão também comparados com aqueles dados pelo programa Ansys®, para a validação do código a ser escrito.

Palavras-chave: Confiabilidade estrutural, índice de confiabilidade, treliças tridimensionais, Processo de Monte Carlo, Aerodesign.

2 Introdução e justificativa

Ao longo dos últimos anos, diversas técnicas eficientes de engenharia sobre a teoria da confiabilidade têm sido desenvolvidas a fim de se alcançar um projeto de sucesso. Na óptica de um projeto estrutural, esse sucesso está intimamente relacionado com a segurança, tanto de pessoas, quanto de atividades que serão realizadas com esse objeto de estudo. Nesse sentido, tentar estimar e gerenciar o risco de falha é de extrema importância para o modelamento de uma estrutura já que incertezas estão presentes o tempo todo ao longo do desenvolvimento de um processo ou de um fenômeno, (SOUSA, 2019). Segundo (MELCHERS, 1987), estas incertezas podem ser separadas nos seguintes tipos:

- Incertezas físicas: geralmente presentes nas avaliações de dimensões, valores de ações, valores de propriedades de materiais etc.;
- Incertezas estatísticas: provenientes da extrapolação de parâmetros estatísticos extraídos de populações finitas do modelo empregado;
- Incertezas devidas a fatores humanos: provenientes de ação do homem, quer seja intencional ou não, no comportamento do sistema estrutural;
- Incertezas de cunho fenomenológico: provenientes da existência de eventos não previsíveis e não levados em consideração;
- Incertezas de modelamento: provenientes das simplificações e das hipóteses adotadas para o modelamento do comportamento estrutural, o emprego de novos materiais, de novas técnicas construtivas etc.

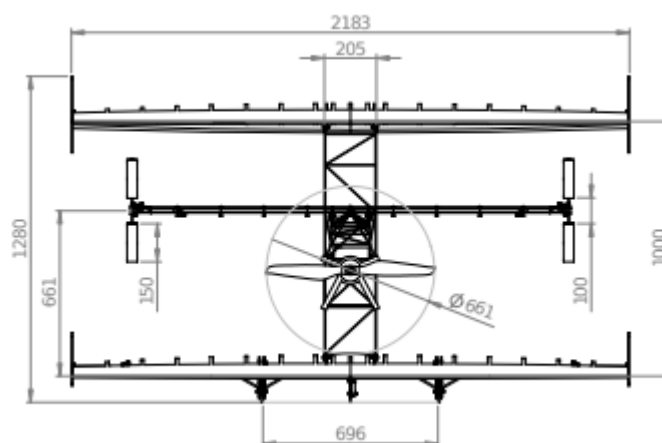
Obviamente nem todas essas incertezas, levadas em consideração anteriormente, irão fazer parte de uma análise estrutural, pois cada situação envolverá diferentes condições na qual certas incertezas vão descrever melhor determinados problemas e outras não (GOMES, 2001). Logo, cabe ao engenheiro interpretar quais as variáveis envolvidas na concepção do projeto e suas respectivas incertezas.

Com o avançar de estudos nessa área do conhecimento e do advento de ferramentas computacionais, além do grande esforço da comunidade científica em desenvolver métodos numéricos para prever de forma cada vez mais fiel a confiabilidade de uma estrutura, os métodos determinísticos começaram a dar espaço para os métodos probabilísticos de análise de falha. Dentre as formulações clássicas desses tipos de problemas, têm-se os métodos GRG (Generalized Reduced Gradient) e FORM (First Order Reliability), ambos definidos através de um problema de otimização, na qual as variáveis aleatórias são representadas como variáveis de projeto, o índice de confiabilidade como a função objetivo e a restrição de igualdade é a função de performance, calculada como a margem de segurança. O índice de confiabilidade é definido geometricamente como a menor distância, no caso do espaço das variáveis reduzidas, entre a função de performance e a origem do sistema. Pelo fato da função objetivo estar

representando uma distância, no espaço em questão, não é tão importante para a equação se estas variáveis possuem valores positivos ou negativos. Porém, quando se é levado em conta o cálculo da probabilidade de falha esse fato é bastante relevante e, se ignorado, pode acarretar interpretações errôneas acerca do resultado final (AYOUB, 2021). Todavia, o Processo de Monte Carlo não necessita da verificação do sinal do índice de confiabilidade, nem da transformação das variáveis para a normal equivalente (SILVA e BRASIL, 2016), e por essas razões ele foi escolhido para ser implementado nesse projeto. Sua concepção pode ser definida como sendo a razão entre a média e o desvio padrão da função de performance. Para problemas mais complexos, no caso da análise de estruturas treliçadas, este processo se torna bastante confiável.

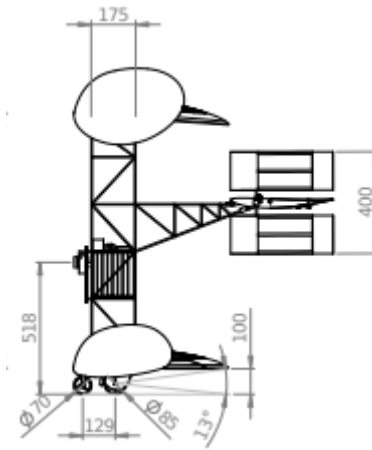
A equipe Harpia Aerodesign, da Universidade Federal do ABC, participa da competição SAE BRASIL Aerodesign há 13 anos e a finalidade desse desafio lançado aos estudantes de engenharia é projetar, construir e realizar voos com uma aeronave radio controlada. Para alcançar esse objetivo um dos principais parâmetros que é necessário ser levado em consideração é a eficiência estrutural, isto é, a razão entre carga paga e o peso vazio da aeronave (SIMON, 2019). À vista disso, a fuselagem é um dos principais elementos que compõe um avião de aerodesign. Especialmente em 2020, devido a restrições de projeto e pelo regulamento da comissão técnica, a equipe optou por desenvolver uma aeronave biplano (Figura 1) e, nesse caso, o estudo da fuselagem e do tail boom se torna particularmente interessante devido a sua função de realizar a ligação entre a asa superior, a asa inferior e as empenagens, além de suportar a implementação do motor e do compartimento de carga (Figura 2).

Figura 1. Vista frontal do Projeto “Sorg”. Todas medidas em mm e em graus.



Fonte: Planta da aeronave de 2020 da equipe Harpia Aerodesign.

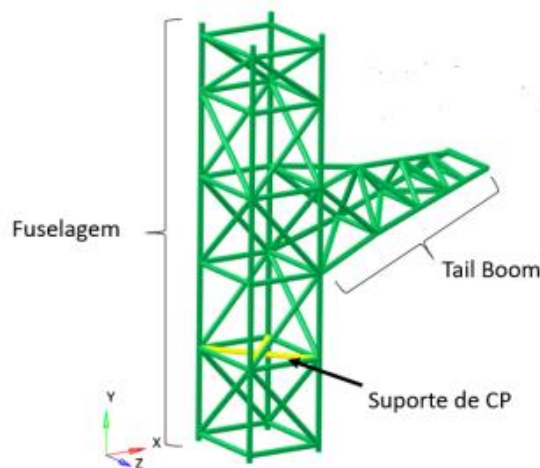
Figura 2. Vista lateral. Todas as medidas em mm e em graus.



Fonte: Planta da aeronave de 2020 da equipe Harpia Aerodesign.

Com o objetivo de aumentar a eficiência estrutural por meio da redução da massa da estrutura optou-se por uma estrutura treliçada tridimensional (DE SOUZA e GONÇALVES, 2007) para a concepção da fuselagem e do tail boom, que realiza o papel específico de ligar a fuselagem com a empenagem da aeronave (Figura 3).

Figura 3. Configuração da Fuselagem/Tail Boom.

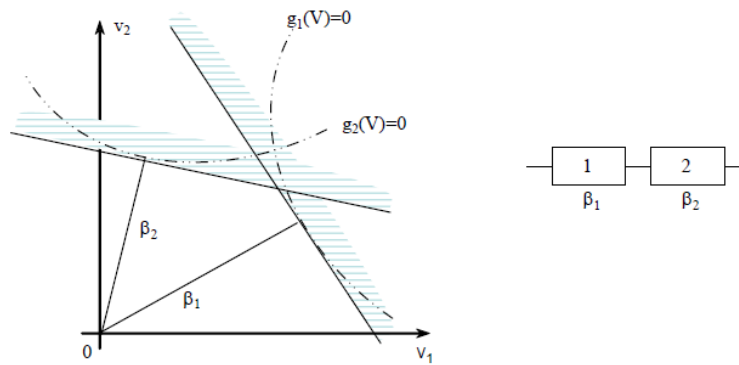


Fonte: Relatório de estruturas de 2020 da equipe Harpia Aerodesign.

Vale ressaltar que no caso em que se tem mais de uma função de falha é importante verificar se o sistema analisado está em série ou em paralelo e pelo fato de termos esse tipo de fuselagem/tailboom, algumas barras da treliça podem estar em série e outras em paralelo.

“É considerado um sistema em série quando a falha de um dos seus componentes significa a falha completa do mesmo e neste caso a probabilidade de falha do sistema é dada pela probabilidade de qualquer um dos componentes falhar. Esta probabilidade é expressa pela união dos eventos que representam a falha dos componentes individuais [...]” (LOPES, 2007, p.69) (Figura 4).

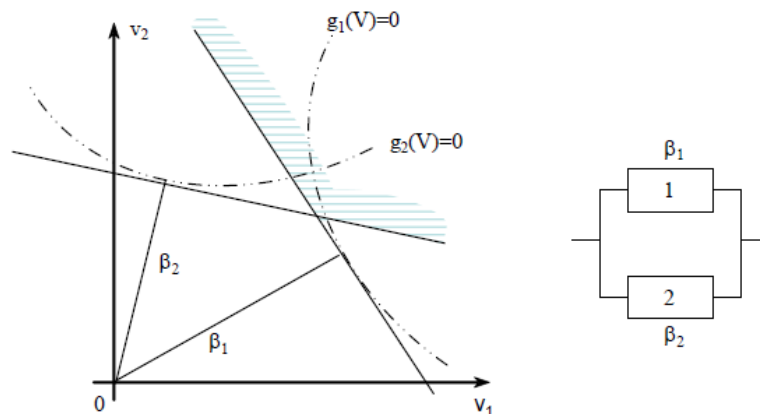
Figura 4. Definição de sistema em série na conjectura da análise de confiabilidade de estruturas.



Fonte. Adaptado de LIMA e SAGRILO (2002).

“Um sistema é considerado em paralelo quando a falha do mesmo somente ocorre após a falha de todos os seus componentes. A probabilidade de falha deste sistema é expressa pela intersecção dos eventos que representam a falha dos componentes individuais [...]” (LOPES, 2007, p.70) (Figura 5).

Figura 5. Definição de sistema em paralelo na conjectura da análise de confiabilidade de estruturas.



Fonte. Adaptado de LIMA e SAGRILO (2002).

Portanto, “Prever a falha e evitar ou mitigá-la reduz consideravelmente as chances de perda, além do futuro esforço e uso de recursos que seriam empregados na correção da falha.” (SOUSA, 2019, p. 14). Nesse sentido e, em se tratando da competição citada, isso é extremamente necessário, uma vez que o tempo e recursos financeiros são os principais fatores para o desenvolvimento do projeto.

3 Objetivos

Frente ao que foi exposto, este projeto de pesquisa tem como objetivo desenvolver um código computacional, implementado no *software* MatLab®, que seja capaz de estimar a probabilidade de falha da fuselagem da aeronave Sorg utilizando o Processo de Monte Carlo. Este se destaca como um dos processos de determinação do índice de confiabilidade mais eficientes. Também, serão estudados eventos em série e em paralelo aplicados na estrutura treliçada tridimensional mostrada anteriormente. O *software* Ansys será utilizado para corroborar a análise estrutural a ser implementada no MatLab®, além de auxiliar na verificação da existência de sistemas em série ou em paralelo.

4 Metodologia

Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos, será realizada uma revisão bibliográfica sobre confiabilidade estrutural, Processo de Monte Carlo e treliças espaciais, além de uma fundamentação teórica sobre o *software* MatLab®, o critério de falha a ser adotado e sobre o Método dos Elementos Finitos.

Após essa revisão e fundamentação, propõe-se um estudo das condições de contorno a serem aplicadas em relação as cargas que a fuselagem, desenvolvida pela equipe em 2020, está sujeita.

Diante disso, será possível implementar um código com a finalidade de descobrir a probabilidade de falha de cada uma das barras e analisar essa probabilidade para o sistema estrutural como um todo. Além disso, será possível também corroborar os resultados obtidos com o MEF no Matlab utilizando o programa Ansys para analisar a estrutura e averiguar possíveis sistemas em série ou em paralelo.

4.1 Recursos computacionais e infraestrutura

Para este projeto é imprescindível a programação de diversos métodos computacionais, assim como o uso de softwares em diversas fases do projeto. Tendo isso em vista, pretende-se utilizar os laboratórios computacionais da UFABC que disponibilizam as versões estudantis de diversos aplicativos, como o SolidWorks, Altair HyperWorks, Ansys Workbench, MatLab®, entre outros. Nesse sentido, a viabilidade do trabalho em termos de infraestrutura computacional, encontra-se garantida.

5 Cronograma de atividades

O projeto possui duração prevista de um ano. E a duração de cada etapa, subdividida em meses, está contida na Tabela 1. Vale ressaltar que determinadas atividades podem se repetir durante os períodos com a finalidade de refinar os resultados de estudo.

1. Etapa 1
 - a. Ampla revisão bibliográfica sobre confiabilidade estrutural.
 - b. Ampla revisão bibliográfica sobre Processo de Monte Carlo.
 - c. Ampla revisão bibliográfica sobre treliças.
2. Etapa 2
 - a. Revisão de tutorias das ferramentas computacionais a serem utilizadas, principalmente em relação ao *software* MatLab®.
 - b. Fundamentação teórica sobre o critério de falha a ser adotado.
 - c. Fundamentação teórica sobre método dos elementos finitos.
3. Etapa 3
 - a. Simpósio UFABC 2022 (resultados preliminares).
 - b. Redação do relatório parcial.
4. Etapa 4
 - a. Implementação de um código com base no Processo de Monte Carlo.
 - b. Realização de testes de validação utilizando o *software* escolhido.
5. Etapa 5
 - a. Redação do relatório final.
 - b. Elaboração de artigo para congresso ou periódico.
 - c. Elaboração do poster para Simpósio UFABC 2023

Tabela 1. Cronograma de atividades previstas.

Etapa	Mês											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1.a.												
1.b.												
1.c.												
2.a.												
2.b.												
2.c.												
3.a.												
3.b.												
4.a.												
4.b.												
5.a.												
5.b.												
5.c.												

Referências

MELCHERS, Robert. E.; BECK, André T. **Structural reliability analysis and prediction**. v. 3, n.2, p. 31-61, 2018.

GOMES, Herbert Martins. **Técnicas de Avaliação da Confiabilidade em Estruturas de Concreto Armado**. 2001. 240f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2001.

LOPES, Marcela Torno de Azeredo. **Análise de Confiabilidade de Estruturas Aplicada ao Projeto de Reforço à Força Cortante de Vigas em Concreto Armado com Compósito de Fibras de Carbono**. 2007. 209f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

LIMA, Edison Castro Prates; SAGRILO, Luis Volnei Sudati. **Confiabilidade Estrutural** – COPPE/UFRJ. Notas de Aula, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

SOUSA, Indhyara Dhândara Costa. **Uma introdução à análise de confiabilidade estrutural**. 2019. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará. Pará, 2019.

BARBOSA, Anderson Henrique. **Confiabilidade estrutural utilizando o Processo de Monte Carlo e redes neurais**. 2004. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2004

NOGUEIRA, Henrique Alves Tartaglia. **Avaliação da confiabilidade de pilares curtos em concreto armado projetados segundo a NBR 6118: 2003**. 2006. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

AYOUB, Julianno Pizzano. Desvendando a engenharia: sua abrangência e multidisciplinariedade. **Comparação entre formulações de problemas de confiabilidade estrutural**. v. 1, n. 5, p. 68-84, 2021.

DA SILVA, Marcelo Araujo; BRASIL, Reyolando Manoel Lopes Rebello da Fonseca. Congresso Brasileiro do Concreto, 58º, 2016, São Bernardo do Campo. **O cálculo simultâneo do equilíbrio e da confiabilidade de seções de concreto armado utilizando-se técnicas de otimização**. Belo Horizonte: [s.n.], 2016. 16p.

SIMIONI, Luiz Felipe Sallani. Congresso SAE BRASIL, 27º, 2020. Santo André. **Métodos de otimização aplicados ao desenvolvimento de estrutura de trem de pouso para aeronave de competição**. São José dos Campo: [s.n.] 2020. 4p.

DE SOUZA, Alex Sander Clemente; GONÇALVES, Roberto Martin. Associação Brasileira de Construção Metálica, 58º, 2007. [S.I.] Treliças Espaciais–Aspectos Gerais, Comportamento Estrutural e Informações para Projetos. **Revista Construção Metálica**. [S.I: s.n.], 2007.

SIMON, Ígor. **Otimização de treliça da asa de aeronave de aerodesign**. 2019. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Caixas do Sul. Caixas do Sul, 2019.