



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia
Mecânica, CREEM 2019
19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil

ERROS DE CÁLCULO NA ENGENHARIA

Giovanna de Souza Florenzano, giovanna.florenzano@aedb.br
Hugo Nascimento Barroso, hugo.barroso@aedb.br
Júlio César Brasil Júnior, julio.junior@aedb.br
Mariana Mattos dos Reis, mariana.reis@aedb.br
Ylthar Ramos, ylthar.ramos@aedb.br

Associação Educacional Dom Bosco, Avenida Coronel Professor Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende - RJ, 27523-000

Resumo. No decorrer dos anos, foi constatado um grande número de acidentes causados por erros de engenheiros, não só em construção civil, mas em todas as outras áreas da engenharia, ao redor do mundo, tanto em seu planejamento, quanto durante a fase de execução e o seu uso. A divulgação e disseminação pelo meio técnico e acadêmico são de extrema importância, pois é algo que pode servir de aprendizado para construções e projetos futuros com informações valiosas para o progresso da engenharia. O artigo abordará algumas situações de acidentes causados por falta de uma análise correta e erros de cálculo na engenharia com os seus momentos específicos em que ocorreram além de propor uma nova abordagem para a maneira de se formar um engenheiro na atualidade visando assim um método de melhoria contínua.

Palavras chave: Acidentes - Civil - Engenharia - Acadêmico - Erros de Cálculo

1 INTRODUÇÃO

O cálculo é um dos ramos mais importantes da matemática e da engenharia, desenvolvido à partir da álgebra e da geometria, dedicando-se aos estudos das taxas de variação de grandezas e a acumulação de quantidades. Desenvolvido por Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz com a finalidade de ser uma ferramenta que auxilie em várias áreas das ciências exatas, seja na matemática, química, física clássica, moderna e economia; e são divididas em três bases: cálculo de limites, cálculo de derivadas das funções e integrais. É fundamental na formação dos engenheiros, seja qual for o seu campo. É usada na construção de edifícios, estradas, túneis, metros, barragens, portos, aeroportos, fabricas, desenvolvimento de máquinas, entre outros.

Por mais que sejam evitados ao máximo, erros de cálculo são mais frequentes na engenharia do que se esperam. É uma das profissões com mais responsabilidade, pois um simples erro pode fazer com que um projeto de anos venha ao desabamento, a cada erro inúmeras vidas podem ser perdidas, e é por isso que vários engenheiros trabalham em um projeto para que ele não venha a falhar, seja na execução do projeto, ou no momento em que são feitos os cálculos. erros são inadmissíveis.

Neste estudo iremos apresentar alguns erros de cálculo que aconteceram no setor da engenharia, retratando alguns casos que ocorreram e seus impactos causados, mostrando também como poderiam ter sido evitados.

2 METODOLOGIA

A partir de uma pesquisa exploratória de perfil qualitativa onde foi aceito como premissa que o método de ensino tradicional, ou seja, aulas expositivas somente, é de certa forma menos eficaz que o método cooperativo. Portanto partimos primariamente para um estudo da qualidade de ensino e em segundo plano um estudo utilizando como fonte (colocar referência aqui), para a análise teórica. Primeiramente foi desenvolvido um questionário que consiste em avaliar o conhecimento de cálculo integral e diferencial, dos alunos da FER (Faculdade de Engenharia de Resende) onde os participantes, cientes do (procurar termo específico), após a realização do mesmo esses dados foram analisados e logo após foi notado uma taxa de erros alta, portando como próxima etapa de nossa pesquisa será, abordar os alunos inicialmente com a pedagogia cooperativa, introduzi-los ao processo, e então aplicar um novo questionário para assim obter uma possível comprovação da premissa inicial e assim portanto melhorar não somente a qualidade de ensino mas também, a capacidade de aprendizagem dos alunos de engenharia.

3 DESENVOLVIMENTO

Cálculo, desenvolvido em meados do século XVII simultaneamente por Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) e por Isaac Newton (1643-1727), em trabalhos independentes. Mesmo com toda a sua eficácia, o cálculo continua passível ao erro humano, levando isso a diversos acidentes e catástrofes registrados. O ser humano, incapaz de aproximar-se da perfeição, assemelha-se a uma máquina capaz de trazer à realidade as maravilhas da engenharia. A necessidade dos cálculos na engenharia, a natureza dessa profissão onde se resume em construir os pilares da vida em sociedade e além de ser a vanguarda evolutiva da mesma, a diversidade de cálculos a serem utilizados é: estrutural; numéricos (séries de MacLaurin e aritmética do ponto flutuante, por exemplo.); físicos; mecânicos; estatísticos e probabilísticos. Com isso, os erros na engenharia, sejam eles pequenos ou grandiosos, acabam infelizmente fazendo parte do mundo em que vivemos. Dentre esses, casos como: *Tacoma Narrows Bridge* no estreito de Tacoma em Washington no ano de 1940; *Hyatt Regency Hotel* em Kansas City e o foguete Ariane 5. Nos dois primeiros casos citados, o erro principal relatado devia-se aos cálculos estruturais, dilatação, tensões e etc. Já em relação ao foguete, um erro de cálculo numérico (*overflow*) foi o grande responsável pelo desastre.

Uma solução que pode ser aplicada de forma simples a fim de evitar tais casos, porém eficaz, seria a efetivação de um sistema onde o time de projetos fiscalize mutuamente as conclusões matemáticas de seus companheiros com isso a colaboração do time aumentaria a redução de erros além de eliminar custos seja em quais áreas sejam aplicadas.

3.1 TACOMA NARROWS BRIDGE

Um caso emblemático em todo o mundo, principalmente na engenharia, foi o da ponte de Tacoma, intrigando cientistas e engenheiros que nas equações diferenciais, procuram qual seria a resposta para o acidente que ocorreu no verão de 1940.

Situada no condado de Pierce (Washington, EUA), a ponte tinha um modelo de pênsil com dois pilares, que se caracterizava por possuir um suporte simples de duas vigas em I, paralelas, composta por uma pequena estrutura interna, possuindo um suporte de 2,4 metros de espessura. Durante as correntes de vento não tão intensas, os engenheiros perceberam que a estrutura da ponte tinha a tendência de oscilar transversalmente, levando a ensaios para se reduzir as vibrações, porém nenhum teve plena eficácia. Foi no dia 07 de novembro de 1940, as onze horas que os primeiros pedaços da ponte começaram a cair devido a fortes rajadas de vento que atingiam o local, em seguida, foram os cabos de aço que começaram a ser arrancados, causando uma queda de uma seção estimada em 600 metros. Após dez minutos o restante da estrutura da ponte cai sobre a enseada de Puget Sound. A única vítima fatal do acidente foi um cão de um repórter que estava no local. Dois fatores foram de grande importância para a fragmentação da estrutura do vão : a falta de rigidez transversal e à torção e o perfil aerodinâmico

. Após o ocorrido, engenheiros e cientistas entraram em uma busca para que os fenômenos ondulatórios fossem mais bem entendidos, culminando assim em um grande avanço no campo das engenharias, mais precisamente à aerodinâmica de estruturas. A ressonância é um fenômeno linear, como podemos perceber na equação diferencial (Eq. 1).

$$\frac{d^2x}{dt^2} + w^2 + F_0 \sin yt, \quad x(0) = 0, \quad x'(0) = 0$$

Equação 1

Para haver ressonância, é necessário que o sistema seja livre de amortecimento (fazendo $\lambda = 0$) (Eq. 2).

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\lambda \frac{dx}{dt} + w^2x = F(t)$$

Equação 2

Para haver ressonância, é necessário que o sistema seja livre de amortecimento (fazendo $\lambda = 0$) (Eq. 2). Além do fenômeno da ressonância, outros fatores contribuíram para a queda da ponte de Tacoma. Uma explicação contundente parece vir dos modelos apresentados por Alan C. Lazer e Patrick J. McKenna.(1967), *Large-Amplitude Periodic Oscillations in Suspension Bridges: Some New Connections with Nonlinear Analysis*, Lazer e McKenna teorizam que os fatores principais que ocasionaram a danificação e consequente colapso da ponte *Tacoma Narrows* foram os *efeitos não lineares*. Em termos gerais, seriam responsáveis as interações não lineares entre a ponte e as forças externas (gerando vórtices, causados pela ação dos ventos, como previa von Kármán).Lazer-McKenna apresentou um modelo onde explica que quando cabos verticais (na teoria linear, os cabos atuam como uma mola elástica) estão sob efeito da tensão, agem exatamente desta maneira e a equação diferencial é linear. Os cabos de aço não estarão a todo o momento sob tensão em oscilações provocadas por forças externas, havendo apenas a força da gravidade atuando no sistema. De

acordo com Lazer-McKenna a não linearidade dá-se ao fato de que cabos diferentes podem estar sob tensão em diferentes momentos, acarretando conseqüentemente em oscilações de grandes amplitudes, havendo atuação de forças externas moderadas.

3.2 HYATT REGENCY HOTEL

Com passarelas compostas por estruturas metálicas, contendo madeira para revestimento e rampa de concreto para ligação com o piso de blocos. A mesma era sustentada por três vigas transversinas de seção retangular obtidas através da soldagem de duas peças de Perfil C e através das transversinas as passarelas eram por tirantes de aço ao teto. A tragédia ocorreu quando aproximadamente 2000 pessoas estavam reunidas para uma competição de dança, incluindo uma emissora de televisão local, KMBC TV. Por volta de 19 horas, as passarelas do quarto e segundo andar entraram em colapso, caindo no chão átrio do hotel. Com ajudas das imagens obtidas no dia do acidente, foi determinado o número de pessoas que estavam na passarela e com cálculos, o valor de carga que a estrutura estava submetida. Foram estabelecidas, de acordo com o projeto original, condições de escoramento idênticas para as três passarelas, porém com análise e realização de cálculos, foi concluído que as passarelas no projeto suportariam 60% da carga mínima exigida pelo Kansas City Building Code. Com as alterações realizadas no projeto, as passarelas do segundo e quarto andar foram construídas suportando apenas 30% da carga mínima. Foi concluído, após longas investigações, que a mudança do projeto dobrou a carga suportada pelas vigas e as conexões da passarela do quarto andar, um erro que jamais poderia ter sido concluído

3.3 Foguete Ariane 5

Na França, dia 4 de junho de 1996, foi lançado o primeiro foguete não tripulado da série Ariane 5, contudo seu lançamento não durou muito tempo. Menos de um minuto após sair do chão, o foguete se autodestruuiu. A falha no lançamento foi causada por um erro no software de controle, portanto o foguete foi exposto a forças muito além do que fora projetado, como dito por Henry Petroski. (1992) *The Role of Failure in Successful Design*. Neste caso, apesar de o foguete ter obtido um excelente design inicial falhou por simplesmente seus componentes o levarem a condições ao qual jamais sobreviveria. O erro de overflow ocorre quando se tem um valor atribuído a uma variável que é maior do que o maior valor que esta variável consegue representar. Havendo um sistema decimal que apresenta os valores de 0 a 9, se tentássemos atribuir o resultado da operação 5+5 em uma variável deste tipo, o resultado seria um overflow, resultando falhas na execução de uma programação. A anomalia interna de *software* do SRI ocorreu durante a execução de uma conversão de dados de um número de 64 *bits* em ponto flutuante para um inteiro de 16 *bits* com sinal. O valor do número em ponto flutuante era maior do que poderia ser representado pelo inteiro de 16 *bits* com sinal. O resultado foi um operando inválido. A instrução de conversão de dados (em código ADA) não estava protegida contra erros de operando, embora outras conversões de variáveis equivalentes no mesmo segmento de código estivessem protegidas. O erro ocorreu num segmento do *software* que controla apenas o alinhamento da plataforma inercial. Os resultados fornecidos por este segmento do código são relevantes apenas antes da decolagem. Após a decolagem esta função não serve para nada. A função de alinhamento opera por 50 segundos após o início do modo de voo dos SRIs (3 segundos antes da decolagem para o Ariane 5). Conseqüentemente, após a decolagem a função continua atuando por aproximadamente 40 segundos de voo. Esta seqüência temporal é baseada num requisito do Ariane 4 que não faz parte da especificação do Ariane 5. O erro de operando ocorreu devido a um valor inesperadamente elevado de uma função de alinhamento interno, denominada BH (horizontal *bias*), que está relacionada com a componente horizontal da velocidade monitorada pela plataforma. Este valor é calculado como um indicador de precisão de alinhamento ao longo do tempo. O valor de BH foi muito maior do que o previsto porque o segmento inicial da trajetória do Ariane 5 difere da trajetória do Ariane 4 e resulta em valores consideravelmente altos para a componente horizontal da velocidade. Os eventos internos do SRI que originaram a falha foram reproduzidos por simulação computacional. Além disso, ambos os SRIs foram recuperados durante a investigação da comissão e o contexto da falha foi determinado com precisão por meio da leitura dos dados na memória. Tendo a comissão examinado o código do software, concluiu que este é consistente com o cenário da falha. (Boletim SBMAC, 1996, *Versão condensada do relatório sobre a falha no primeiro lançamento do Ariane 5, em parte baseada no texto do SIAM NEWS*)

4 CONCLUSÃO

Portanto a partir desse breve estudo com os erros abordados, partimos como possível solução o ensino em conjunto utilizando os princípios da pedagogia cooperativa, assim como visto em. Pedagogia Freinet. (2009), o estudante, na posição de construtor do próprio conhecimento podendo assim melhorar a eficiência do ensino. Com isso, a partir de estudos futuros, será possível comprovar uma real possibilidade de melhora na atuação das equipes de engenharia hoje existentes, entretanto sendo principalmente focado em ser uma possibilidade de melhora no atual sistema de ensino para assim então gerarmos futuros engenheiros mais capazes.

5 AGRADECIMENTOS

A Deus por nos ter da ldo saúde força para superar os diversos percalços.

A esta instituição e o corpo docente, que nos permitiu a participação desse renomado congresso.

A Faculdade de Engenharia de Resende, seu corpo docente, direção e administração e em especial nosso orientador MSc. Gabriel G.P de Castro, pelo incentivo constante.

Ao amigo Vinicius Teixeira Lopes pelo apoio em momentos de dificuldade.

6 REFERÊNCIAS

McKenna, P. Joseph e Walter W., Nonlinear oscillations in a suspension bridge,

Arch. Rational Mech. Anal., 98 (1987), pp. 167-177.

Alan C. Lazer e Patrick J. McKenna. Large-Amplitude Periodic Oscillations in Suspension Bridges: Some New Connections with Nonlinear Analysis.

Amann, O. H., T. von Karman, e Woodruff, G. B. The Failure of the Tacoma Narrows Bridge. Federal Works Agency, 1941.

Henry Petroski. To Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design, Vintage Books, 1992.

Boletim SBMAC. Versão condensada do relatório sobre a falha no primeiro lançamento do Ariane 5, em parte baseada no texto do SIAM NEWS, V29 N. 8, out/96.

IMBERNÓN, Francisco. Pedagogia Freinet. Penso Editora, 2009

7 RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.