

A RELEVÂNCIA DA COMPREENSÃO DOS CONCEITOS BÁSICOS DE EQUILÍBRIO NA FORMAÇÃO ACADÊMICA

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo apresentar a importância de conceitos básicos na formação acadêmica utilizando a concepção de equilíbrio para demonstrar que este, mesmo sendo um tema inicialmente simples, tem aplicação imensurável. Será feito inicialmente um levantamento da aplicação do conceito equilíbrio em algumas áreas de conhecimento, após será apresentada a importância na engenharia estrutural e finalizará com a demonstração da aplicação prática através do método dos deslocamentos e estabilidade elástica.

Palavras-chave: Equilíbrio. Estabilidade. Educação na engenharia.

1 INTRODUÇÃO

Aristóteles em sua célebre obra “Ética a Nicômaco” apresenta o equilíbrio como o estado perfeito do ser, dando como esclarecido que a virtude é um meio-termo entre o excesso e a deficiência, e isso porque a natureza visa a mediania. O equilíbrio está presente em todas as partes, na psicologia busca-se o equilíbrio emocional, na nutrição é necessário trabalhar com uma alimentação balanceada (equilibrada), na química o equilíbrio é abordado nas reações reversíveis, na física o equilíbrio de corpos, forças e momentos são exaustivamente abordados, na engenharia estrutural este tema é amplamente utilizado para o equilíbrio (estabilidade) das estruturas (GOLEMAN, 2011).

Por ser um tema básico na formação acadêmica este assunto as vezes é desprezado, podendo gerar defasagem no entendimento de assuntos mais complexos da área de estudo. Na engenharia estrutural a utilização do equilíbrio é fundamental para avanço intelectual, pois a todo momento este conceito é utilizado na prática na concepção de uma estrutura estável. Será apresentado a importância desse conceito e sua aplicação na engenharia estrutural, identificando como o equilíbrio é tratado em algumas outras áreas de conhecimento, expondo a utilização na engenharia e demonstrando sua aplicação através do método dos deslocamentos e na teoria da estabilidade elástica.

2 O EQUILÍBRIO E SUAS APLICAÇÕES

O termo equilíbrio embora muito empregado no ramo da engenharia, em especial a engenharia estrutural, possui presença em outras áreas do conhecimento. Pode-se citar como exemplos do emprego do equilíbrio em outras áreas como na saúde, onde possui forte ênfase ao equilíbrio emocional, na física o equilíbrio é empregado quando se estuda o comportamento de corpos, na química estuda-se o equilíbrio químico das reações e o equilíbrio dos átomos.

O corpo humano saudável, está em equilíbrio com as células que o compõe e assim pode desenvolver suas funções essenciais de sobrevivência. Ele alberga uma variedade de micro-organismos, dentre eles as bactérias, fungos, protozoários, helmintos, vírus, estruturas infectantes e outros seres microscópios de vida livre que ao se fixarem nos gangliosídeos celulares formam um complexo ecossistema denominado de microbioma. A sua diversidade e

complexidade está na dependência de fatores morfológicos, fisiológicos, constituição das células e órgãos do corpo onde eles estão alojados, interligados química e fisicamente por forças de equilíbrio. A estrutura corporal do indivíduo, a velocidade do fluxo de umidade, dieta alimentar, peso, etnia, idade, uso de substâncias químicas, como por exemplo, os antibióticos podem sofrer influência diretamente no ponto de equilíbrio desde o nascimento até o envelhecimento (BELL et al., 2018).

Atualmente, os destinos dos micro-organismos no hospedeiro sob uso de antimicrobianos de forma descontrolada está em evidência, uma vez que essas substâncias químicas agem por destruição das estruturas microbianas no homem, animais, plantas, desequilibrando as estruturas do planeta e ocasionando as superinfecções por desarranjo de estruturas moleculares e rompimento de forças cinéticas dos seres vivos. Esse mundo é invisível aos nossos olhos, portanto, é preciso conhecer e compreender para combater. Pois, o desequilíbrio acarreta alteração na velocidade do fluxo saliva, viscosidade do suor, ausência de minerais essenciais, alteração da força iônica, modificação da capacidade tampão celular, alteração de pH, perda de metabólicos essenciais, produção ou interrupção na produção de gases, aminoácidos como as purinas, pirimidinas, vitaminas e inclusive substâncias de propriedades antimicrobianas eliminadas naturalmente pelo ser vivo (KENDALL, 2017).

O equilíbrio emocional é definido como o controle total sobre o comportamento humano, os pensamentos, as ações e reações (ROCHA, 2018). Sousa, Carvalhais e Carvalhais (2012) relata o cuidado na área da enfermagem, onde descrevem a necessidade não só do cuidado clínico que deve ser desprendido aos pacientes, mas também do cuidado emocional, afirmando que o equilíbrio emocional é a base para a satisfação de outras necessidades. Aristóteles destaca o desafio de equilibrar nossa razão e emoção, sendo o problema trivial a adequação da emoção e sua manifestação. Observa-se que Aristóteles se refere à uma busca pela adequação da emoção humana e como ela é manifesta, referindo-se à adequação como um equilíbrio (GOLEMAN, 2011).

O equilíbrio ainda está presente na economia. Chayanov (1966) em seus estudos sobre a economia familiar camponesa, elaborou o conceito de análise da economia familiar, onde ele chamou de equilíbrio de trabalho-consumo (do inglês labor-consumer), o qual tratava do equilíbrio entre a satisfação das necessidades da família e o trabalho que era desprendido pelos camponeses, cujo objetivo era alcançar o equilíbrio entre o que se consumia e a quantidade de trabalho que seria necessário para tal. O equilíbrio químico trata da condição de "término" de uma reação, quando um reagente A reage com um reagente B formando-se um produto C, com o passar do tempo, as quantidades dos reagentes diminuem e a quantidade do produto aumenta até que em um determinado tempo após o início das reações, as concentrações das três substâncias não irão mais se alterar com o tempo, essa situação indica que aquela reação alcançou o seu equilíbrio químico, onde aquele sistema não vai alterar mais. (BROIETTI et al, 2013). O que se vê nessa situação é que a reação alcançou seu equilíbrio para a configuração a qual foi submetida, que foi o reagente A com o reagente B. Esse sistema só irá gerar reações consideráveis caso haja a inserção de outras substâncias capazes de reagirem com as atuais, isso por que, segundo Broietti et al (2013), a condição de equilíbrio químico não significa que a reação parou, mas que a velocidade de consumo dos reagentes e de formação do produto se igualaram.

3 ENGENHARIA ESTRUTURAL

A condição de equilíbrio é aplicada na engenharia estrutural como conceito fundamental para estabilidade. Martha (2010, apud TIMOSHENKO, 1983) apresenta que a engenharia estrutural teve início de forma empírica com a execução de obras como pirâmides, pontes e

fortificações da Grécia e da Roma antiga. Em 1638, Galileu publica o livro *Duas Ciências*, e a partir dessa publicação é atribuído o início da formalização teórica da engenharia estrutural.

Através da teoria formalizada da engenharia estrutural, os engenheiros podem estabelecer as solicitações e forças que podem agir com segurança em seus elementos, sem que os mesmos saiam da condição de bom desempenho (MARTHA, 2010).

3.1 Equilíbrio aplicado a análise estrutural

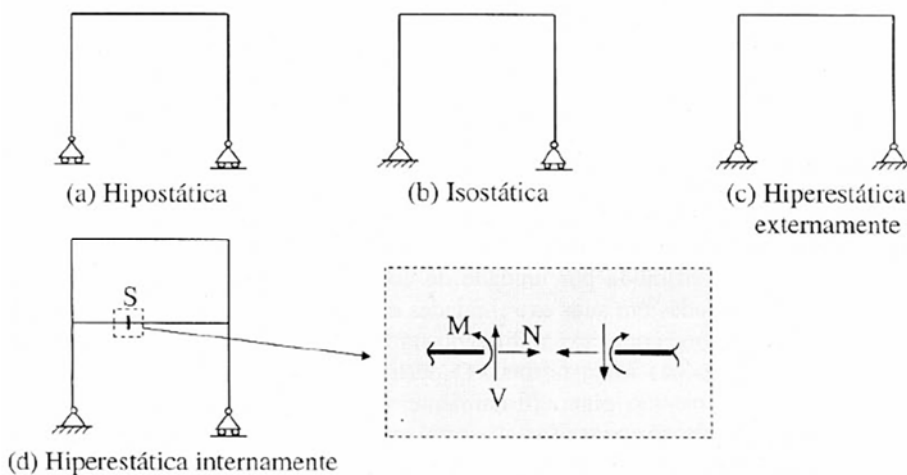
Soriano e Lima (2006) diz que quando a estrutura está submetida a ações (externas), a estrutura estará em equilíbrio caso a resultante de momentos e resultante das forças em relação a qualquer eixo seja igual a zero. Levando em consideração um referencial cartesiano XYZ, o equilíbrio é expresso matematicamente pelas equações de equilíbrio da estática:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0 \\ \sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0 \end{cases} \quad (1)$$

As estruturas podem ser classificadas de três formas: isostática, hipostáticas e hiperestáticas.

Diz-se que uma estrutura é isostática de equilíbrio estável, quando as equações acima são suficientes para determinar as reações de apoio e os esforços seccionais em qualquer seção das barras que compõe a estrutura (Figura 1b). Caso os apoios sejam em número, menores do que o necessário para que todos os movimentos da estrutura sejam impedidos, teremos então mais equações do que incógnitas. Nessa situação teremos uma estrutura hipostática de equilíbrio instável (Figura 1a). As estruturas hiperestáticas de equilíbrio estável (podendo ser chamada, um pouco impropriamente, de equilíbrio mais que estável), são classificadas como aquelas em que as equações de equilíbrio são menores que o número de incógnitas, ou seja, mais apoios do que o necessário para que todos os movimentos da estrutura sejam impedidos (SUSSEKIND, 1981). Segundo Soriano e Lima (2016) as estruturas hiperestáticas podem ser classificadas como estrutura hiperestática externamente (Figura 1c) e estrutura hiperestática internamente (Figura 1d).

Figura 1 – Classificação quanto ao equilíbrio estático



Fonte: Soriano e Lima (2006)

A Figura 1 representa as classificações de equilíbrio estático utilizando o modelo de estrutura denominado pórtico plano. O conhecimento e domínio do conceito de equilíbrio é essencial para a engenharia estrutural, pois caso a estrutura fique na condição apresentada na Figura 3.1a e a mesma sofra a ação de força horizontais, esta entrará em colapso, pois não existe nenhum vínculo que impeça o seu deslocamento horizontal (SORIANO e LIMA, 2006).

3.2 O equilíbrio como artifício de resolução do método dos deslocamentos (rigidez)

Através do conceito inicial de equilíbrio pode-se desenvolver soluções para problemas mais complexos. Martha (2010) apresenta as condições necessárias para determinação das reações de apoio para estruturas hiperestáticas, pois nesse caso as equações fundamentais de equilíbrio apresentadas anteriormente não são suficientes para solução de problemas do tipo.

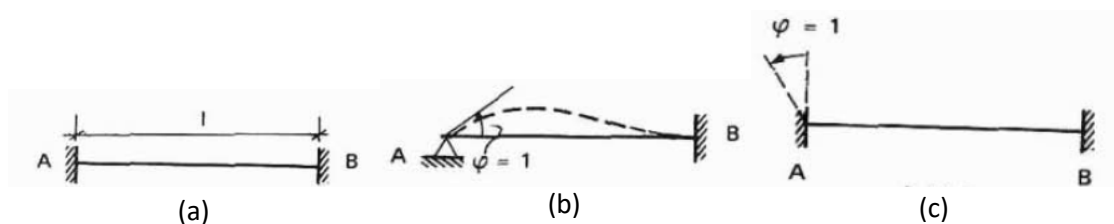
O método dos deslocamentos resolve o problema considerando as condições de compatibilidade, leis dos materiais e condições de equilíbrio.

Esse método é estudado no curso de engenharia civil normalmente na matéria de teoria das estruturas, matéria essencial para formação de engenheiros (as) civis. A ligação do método com o assunto básico de equilíbrio é evidente quando é apresentado sua metodologia, que consiste em: fazer a soma de uma série de soluções básicas que atendem as condições de compatibilidade, mas que não correspondem as condições de equilíbrio da estrutura original, chegando ao final, através da superposição, reestabelecer as condições de equilíbrio (MARTHA, 2010). Em outras palavras, é determinado inicialmente as deformações (deslocamento) sofridas pelos nós das várias barras em análise e, com os valores obtidos determinar os diagramas de esforços solicitantes na estrutura (SUSSEKIND, 1980).

3.2.1. Organização do método dos deslocamentos (rigidez)

Antes de qualquer coisa, é necessário entender o conceito de rigidez de uma barra. Sussekind (1980) classifica a rigidez de uma barra sendo os valores de momento aplicado em um nó livre ao giro, que provoca uma rotação unitária no mesmo. Para melhor compreensão será analisada a barra biengastada da Figura 2.

Figura 2 – Análise de rigidez de uma barra biengastada

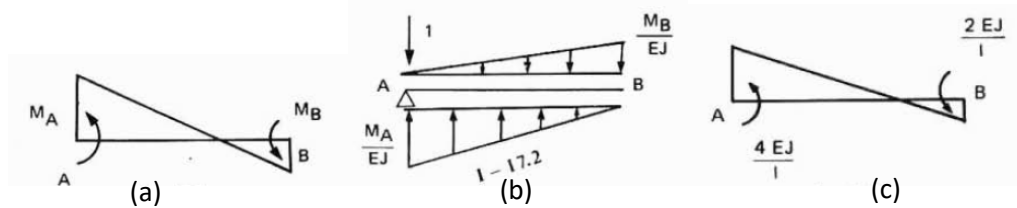


Fonte: Sussekind (1980)

Para determinar a rigidez da barra AB da Figura 2a, conforme definição, deve-se encontrar o valor do momento M_A aplicado em A, que produz uma rotação $\phi = 1$ conforme figura 2b. Ou seja, trata-se da resolução para o recalque $\phi = 1$ indicado na figura 2c.

Sussekind (1980) continua sua explicação supondo que a barra tenha rigidez J e modulo de elasticidade E , obtendo o diagrama do momento fletor através do processo de Mohr.

Figura 3 – Diagramas e carregamentos da barra biengastada



Fonte: Sussekind (1980)

Os aspectos do diagrama de momento fletor é apresentado na Figura 3a. Na Figura 3b é exibido a barra carregada com M/EJ , adicionando a essa as condições de estática de equilíbrio teremos:

$$\begin{cases} \text{Por } \sum M_A = 0 \dots M_A = 2M_B \\ \text{Por } \sum Y = 0 \dots 1 + \frac{M_B l}{2EJ} = \frac{M_B l}{2EJ} \end{cases} \quad (2)$$

Fazendo os isolamentos de M_A e M_B chegar-se-á:

$$M_A = \frac{4EJ}{l} \quad (3)$$

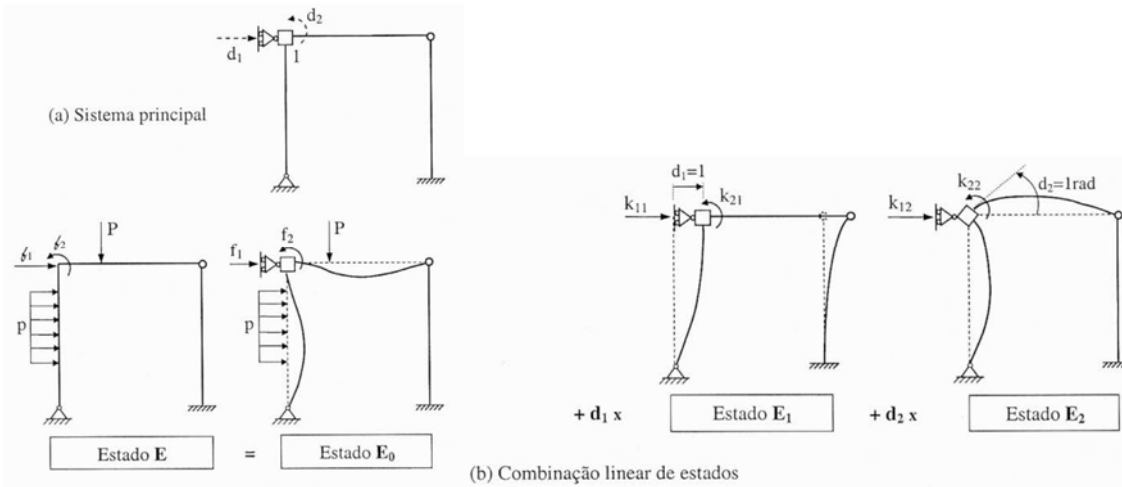
$$M_B = \frac{2EJ}{l} \quad (4)$$

A Figura 3c apresenta o diagrama final. Pode-se concluir que em uma barra biengastada de inércia igual a J , sua rigidez K em determinado nó é dada por:

$$K = \frac{4EJ}{l} \quad (5)$$

Entendido o conceito de rigidez, passa a ser aplicado efetivamente o método dos deslocamentos. Inicialmente é gerado um sistema principal, ao qual Rocha (1995) classifica como aquele formado de tal forma que as rotações nos nós sejam nulas, o que ser obtido com a introdução de chapas para restringir tal movimentação.

Figura 4 – Ilustração do método dos deslocamentos



Fonte: Soriano e Lima (2006)

Na Figura 4, o estado E_0 é do sistema principal sob a ação das forças aplicadas às barras, tendo como forças reativas f_1 e f_2 . Quando são impostos deslocamentos $d_1 = 1$ e $d_2 = 0$, o sistema principal é representado pelo estado E_1 . Nesse estado a força necessária para se impor um deslocamento unitário segundo d_1 é igual numericamente a K_{11} , e a força de restrição segundo a rotação d_2 é igual numericamente a K_{21} . Quando se insere deslocamentos $d_1 = 0$ e $d_2 = 1rad$, tem-se o sistema principal no estado E_2 . Nesse estado a força restritiva segundo o deslocamento d_1 é igual numericamente a K_{12} , e a força momento para se impor a rotação unitária segundo d_2 é igual numericamente a K_{22} .

Através das notações da Figura 4b, é possível escrever as equações de equilíbrio em relação aos deslocamentos d_1 e d_2 (SORIANO e LIMA, 2006).

$$\begin{cases} f_1 + K_{11}d_1 + K_{12}d_2 = \bar{f}_1 \\ f_2 + K_{21}d_1 + K_{22}d_2 = \bar{f}_2 \end{cases} \quad (6)$$

Uma vez que tenha sido determinado os valores dos deslocamentos d , a continuidade do método para definição dos esforços e deslocamentos na estrutura original é:

$$E = E_0 + \sum_i d_i E_i \quad (7)$$

Com os valores encontrados, pode-se, por meio das equações de equilíbrio achar as reações e diagramas da estrutura. Esse método pode ser resolvido através de forma matricial e muitos aspectos sobre o mesmo poderiam ser acrescentado, mas este não é o objetivo deste trabalho. Chama-se a atenção para o fato de que a todo momento o entendimento do conceito de equilíbrio se faz necessário para compreensão do método dos deslocamentos, sem o entendimento completo desse assunto básico seriam grandes as chances de não se concluir o raciocínio do método em questão.

3.2.2. O Equilíbrio na Análise Não Linear Geométrica

O equilíbrio é um importante conceito quando se trata da estabilidade de um sistema estrutural. Nem sempre as estruturas apresentam comportamento linear, arcos abaulados,

edifícios altos e pilares esbeltos são alguns exemplos de estruturas que podem apresentar um comportamento não linear geométrico. Em uma análise linear, as equações de equilíbrio são estabelecidas em uma condição indeformada da estrutura e com as ações em seus valores finais. Na análise não linear, as equações de equilíbrio são estabelecidas com a estrutura deformada, a qual gera um sistema de equações não lineares os quais só são possíveis de serem resolvidas por processos iterativos, como a técnica de Newton-Raphson, nesse caso as ações são aplicadas paulatinamente (SOUZA *et al.*, 2018).

Um dos métodos empregados para a análise da estabilidade elástica é o Princípio da Energia Potencial Total Estacionária (PEPTE), o qual relata:

Entre todas as configurações admissíveis de deslocamentos de um sistema estrutural contendo forças conservativas, aquela que satisfaz as equações de equilíbrio faz a energia potencial total estacionária, com respeito a uma pequena variação admissível desses deslocamentos. Se à configuração de equilíbrio corresponder uma energia potencial total mínima, o equilíbrio será estável. Se à configuração de equilíbrio corresponder uma energia potencial total máxima, o equilíbrio será instável. (SOUZA *et al.*, 2018).

Usando-se como referência um sistema constituído de uma barra sem peso, de comprimento L , força externa compressiva na extremidade superior e mola à torção na extremidade inferior, conforme Figura 5a, segundo Souza *et al.*, (2018), a energia potencial total (Π) é dada pela soma da energia de deformação (U) com a energia potencial da força externa (V), ou

$$\Pi = U + V \quad (8)$$

Pelo PEPTE, na condição de equilíbrio (estável ou instável), obter-se-á

$$\frac{d\Pi}{d\varphi} = 0 \quad (9)$$

que se traduzirá na seguinte equação de equilíbrio

$$k\varphi - FL\text{sen}\varphi = 0 \quad (10)$$

da qual resultará:

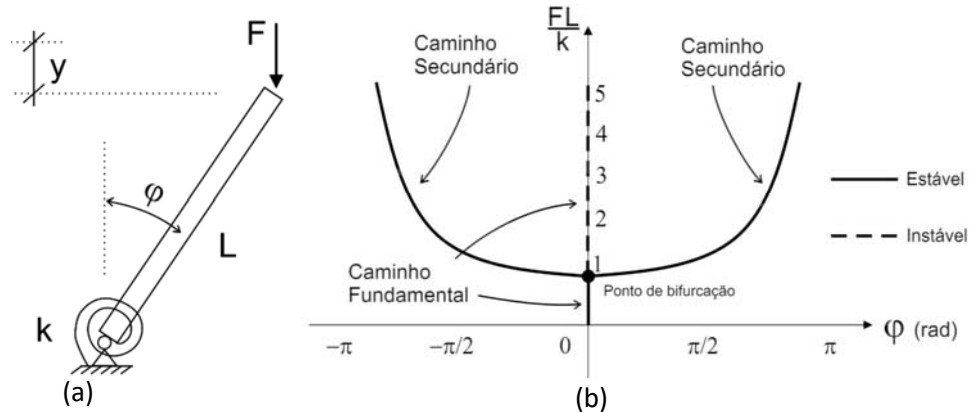
$$\varphi = 0 \quad (11)$$

ou

$$F = \frac{k\varphi}{L\text{sen}\varphi} \quad (12)$$

A Figura 5b apresenta a interpretação gráfica dessas soluções

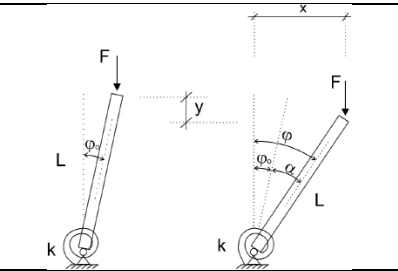
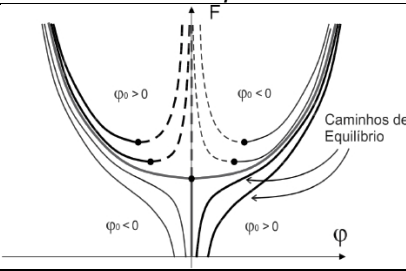
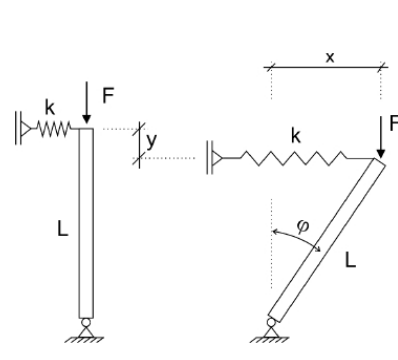
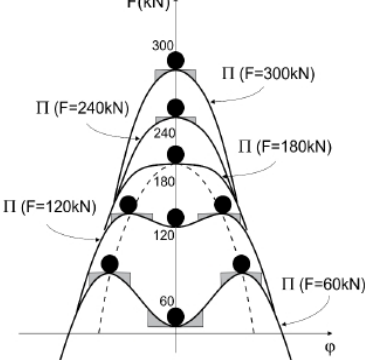
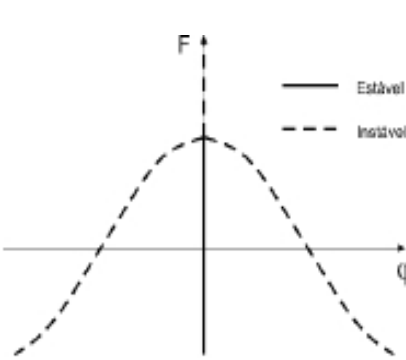
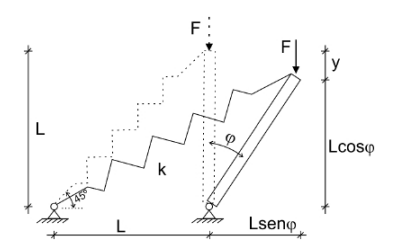
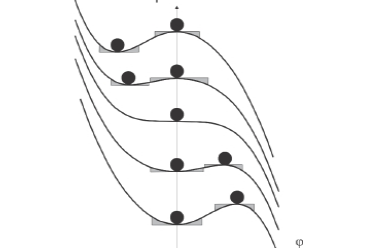
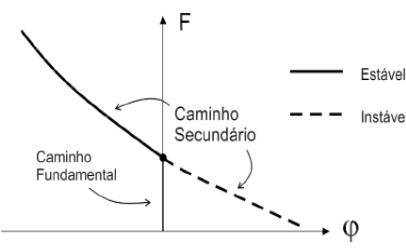
Figura 5 – Sistema mecânico e solução do sistema



Fonte: Souza *et al.* (2018)

Por esse procedimento acham-se as soluções de equilíbrio de outros sistemas mecânicos de um grau de liberdade (1GL), como ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Alguns sistemas mecânicos

Bifurcação Simétrica Estável com Imperfeição Geométrica Inicial		
Sistema Mecânico	$\Pi \times \varphi$ e $F \times \varphi$	$F \times \varphi$
		
Bifurcação Simétrica Instável sem Imperfeição Geométrica Inicial		
		
Bifurcação Assimétrica		
		

Fonte: SOUZA et al (2018)

Não é objetivo deste artigo abordar o comportamento e resolução dos sistemas mecânicos apresentados no Quadro 1, objetiva-se apresentar à classe científica, sobretudo aos estudantes, a existência de um mecanismo de análise da estabilidade estrutural capaz de estudar o comportamento quando as estruturas, em seu estado deformado. Estudo este que propicia analisar se essas estruturas apresentarão equilíbrio estável ou não, fator determinante no projeto estrutural dos edifícios atualmente, frente à tendência de verticalização e das estruturas cada vez mais esbeltas. A resolução destes sistemas mecânicos, e outros, juntamente com suas deduções e análises podem ser encontrados em bibliografias nacionais e internacionais, valendo-se ressaltar o livro Introdução à Teoria da Estabilidade Elástica (SOUZA et al., 2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo cumpriu o objetivo de mostrar a importância do conceito de equilíbrio em várias áreas do conhecimento humano, como na filosofia, psicologia, medicina, química, farmácia e economia, finalizando com a abordagem desse tema na área de estruturas, com aplicação desse conceito em exemplos estruturais, entre os quais o exemplo da teoria da estabilidade elástica, onde ocorre a importante definição de equilíbrio estável e instável.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPES pelo apoio recebido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BELL, V. et al. One Health, Fermented Foods, and Gut Microbiota. **Foods**, Basileia, Suíça, v.7, n.195, p. 1-17, 2018.

BROIETTI, F. C. D. et al. Alguns significados da expressão “deslocar o equilíbrio” em formandos do curso de licenciatura em química. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.15, n.03, p. 217-233, 2013.

CHAYANOV, Alexander Vasilevich. **The Theory of Peasant Economy**. Homewood, Illinois, EUA: The American Economic Association, 1966.

GOLEMAN, Daniel. **Inteligência Emocional**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2011.

KENDALL, M. M. Extra! Extracellular Effector Delivery into Host Cells via the Type 3 Secretion System. **MBio**, Washington, D.C., v.8, n.03, p. 1-4, 2017. Online

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ROCHA, Anderson Moreira. **Hiperestática plana geral – Volume 2**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1995

ROCHA, Manoel. Em busca do equilíbrio perdido. **A Gazeta Online**, Vitória, 16 set. 2018. Caderno cotidiano, p. 4.

SOUSA, L. X. M.; CARVALHAIS, M. D.; CARVALHAIS, L. D. O cuidado em enfermagem a pessoas idosas dependentes: cuidados domiciliares, hospitalares e continuados. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, Goiânia, v.14, n.3, p. 644-653, 2012. Online.

SORIANO, Humberto lima e LIMA, Silvio de Souza. **Análise de estruturas – Volume 1**. Rio de Janeiro: Editora Científica Moderna Ltda., 2004.

VAZ, Luiz Eloy. **Método dos elementos finitos em análise de estruturas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

THE IMPORTANCE OF UNDERSTANDING THE BASIC CONCEPTS OF EQUILIBRIUM IN ACADEMIC FORMATION

Abstract: *This document presents the importance of basic concepts in academic formation using the concept of equilibrium to demonstrate that this, even though it is an initially simple theme, has immeasurable application. Initially a survey of the application of the equilibrium concept will be done in some areas of knowledge is presented, after will be presented the importance in structural engineering and will be conclude with demonstration of the practical application through the method of displacements and elastic stability.*

Key-words: *Equilibrium, Stability, Education in engineering.*