

PROJETO MECÂNICO DE UMA PLATAFORMA DE EQUILÍBRIO PARA INSTRUMENTAÇÃO BIOMÉDICA

Ricardo Luís Vieira e Silva

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica
CEP 38400-902 / Uberlândia – MG
ricardovieirakoro@yahoo.com.br

Adriano Alves Pereira, Eduardo Lázaro Martins Naves

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Elétrica
BIOLAB – Laboratório de Engenharia Biomédica
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Bloco 1E – Campus Santa Mônica
CEP 38400-902 / Uberlândia – MG

Resumo: A proposta contida neste artigo mostra um projeto de uma plataforma de medição de esforços biomecânicos. Esforços estes que são sintomas de disfunções relacionadas ao equilíbrio humano. A análise da estrutura será avaliada de acordo com o método teórico de “Resistência dos Materiais” e depois confirmado com o método computacional dos elementos finitos e valorizado sua equivalência de resultados. Será enfatizada neste projeto a parte mecânica, onde a aquisição de sinal e o seu tratamento se darão de forma convencional. A motivação para este projeto vem do alto custo da compra de uma plataforma no mercado.

Palavras-chave: Biomecânica, plataforma de equilíbrio, centro de pressão.

1. INTRODUÇÃO

Entre todos os mamíferos, o homem adulto é o único totalmente bípede. Essa característica, que alguns consideram um privilégio, acarreta um determinado número de particularidades. Uma destas particularidades consiste no difícil controle da postura ereta que é um grande desafio para o corpo humano (Gagey, 2000).

Quando estamos parados na postura ereta o nosso corpo oscila ligeiramente. A variável comumente utilizada para medir esta oscilação é o deslocamento do nosso centro de pressão ou COP¹ detectado através de uma plataforma de força, (Amádio, 1996), um equipamento sob o qual o indivíduo fica em pé durante o experimento. O COP consiste na posição onde está aplicada a resultante das forças de reação do solo. Medidas do COP e suas derivações têm sido utilizadas por diversos pesquisadores no intuito de mensurar os efeitos provocados no equilíbrio de vítimas de diversas doenças (AVC², diabetes, doença de Parkinson, etc) (Yarrow, et al, 2000), sendo que estes dados podem ser de grande importância no processo de reabilitação destas pessoas. A amplitude destas oscilações pode acarretar uma série de conseqüências tanto para o equilíbrio estático como para o equilíbrio dinâmico. Esta amplitude de instabilidade pode trazer conseqüências mais sérias como enjôos, náuseas, e desconfortos em geral. Um exemplo disso está na Figura 1, onde é mostrado um gráfico típico do deslocamento do COP de um indivíduo na posição ereta.

¹ Sigla proveniente das iniciais do termo inglês *Center Of Pressure*

² Acidente Vascular Cerebral



Figura 1: Oscilação do centro de pressão. (clinical biomechanics 17-2002/666-667)

Uma vez traçado o gráfico de oscilação do centro de pressão pode-se obter, com a média das curvas, o ponto médio das oscilações. Este ponto pode ser considerado o centro de gravidade médio, e a distância dele até a origem do gráfico nos dão uma referência de inclinação da postura. Uma postura incorreta pode acarretar uma série de disfunções como dores de cabeça, problemas na coluna vertebral, nos joelhos e uma má formação corporal.

Uma plataforma de forças que consegue detectar pequenas oscilações no centro de gravidade poderia ser usado para detectar não só os distúrbios ortopédicos discutidos anteriormente, mas também, para acompanhar a evolução da correção postural do paciente em situação fisioterapêutica.

Outro fator dinâmico que existe na postura humana é a variação vertical do peso (F_z). Em uma análise de alta resolução da componente peso, tem-se um gráfico como mostra a Figura 2, onde nota-se que o peso não é constante. É interessante frisar que existe certa frequência de picos de peso máximo e mínimo. Estas oscilações correspondem à força exercida pela sístole e diástole cardíaca, causando uma variação de 4 N de força normal na plataforma.

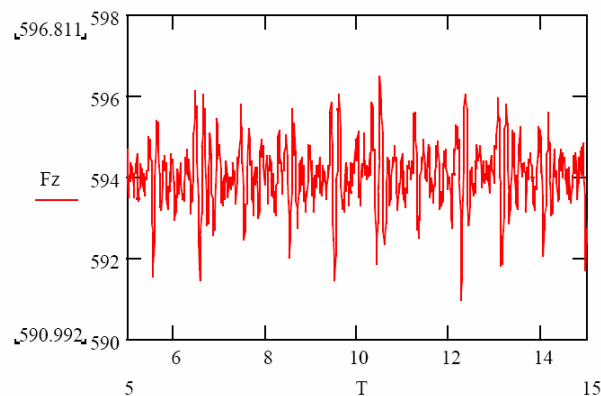


Figura 2: Oscilação da força vertical (F_z) de uma pessoa com 60 Kg. (Borg, F e Herrala, M - Biosignal projects, Jyväskylä University)

Além do controle da estabiliometria humana, a plataforma também esta sendo avaliada para a medição de saltos verticais, calculando a intensidade de impulsão de um atleta, muito comum na preparação de atletas de elite em grandes competições (Naves,2001).

Infelizmente, os modelos de plataformas com estas funções disponíveis comercialmente no mercado ainda possuem um custo muito elevado para a realidade brasileira. Assim, o propósito deste artigo é mostrar um projeto mecânico viável de uma plataforma. O propósito deste modelo é criar uma plataforma tão eficiente quanto a comercial e com custo reduzido conseguindo atender as necessidades das clínicas fisioterápicas e ortopédicas, dos hospitais, e centros esportivos.

2. METODOLOGIA

A estratégia para criação do projeto foi baseada em conhecimentos pré-adquiridos com construções de plataformas anteriores com finalidades similares em laboratório, e com o conhecimento intuitivo das plataformas importadas disponíveis no mercado, como por exemplo, a plataforma mostrada na Figura 3.



Figura 3: Plataforma da HURLabs® “Balance Trainer BT4”

2.1 Transdutores

Os transdutores escolhidos foram às células de cargas da empresa HBM®, modelo Z6, tipo FC3. Este modelo de célula de carga é um extensômetro sensorizado por strain-gages. O motivo desta escolha foi que este é o tipo de célula de carga utilizada quando o objetivo é medir um elevado valor e com uma grande precisão. Sua capacidade máxima de carga é de 200 Kg, e a sua precisão gira em torno de 18 gramas. Esta acuracidade fornecida pela célula de carga é suficiente para detectar oscilações do centro de gravidade de, em média, 0.5 mm.

Será utilizado um suporte que fixará a célula de carga na posição horizontal, com este posicionamento a ela estará sujeita a apenas a forças verticais, causando um momento fletor. A compressão e a tração na superfície horizontal em pontos verticalmente simétricos será o local de fixação dos strain-gages. A célula de carga e o seu suporte são visto na Figura 4.

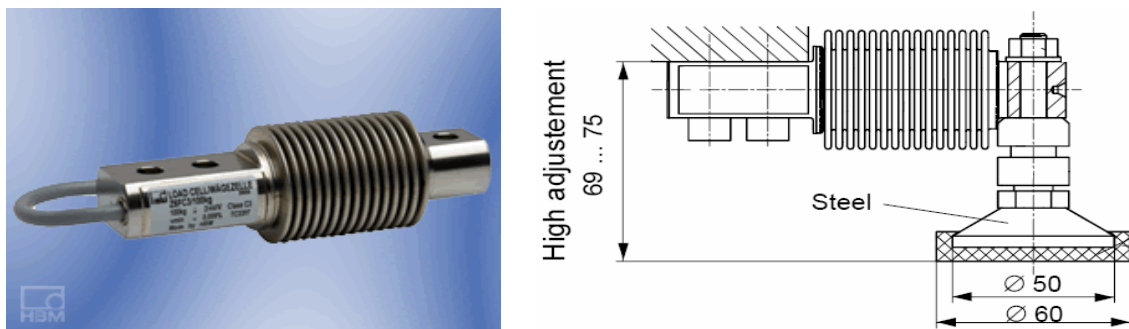


Figura 4: Célula de carga da HBM®-Z6 e seu arranjo no sistema (dimensões em mm).

As medidas de tamanho das células foram uma das referências para a projeção da estrutura que fará a sustentação entre elas e a conexão delas com o usuário. Seu desenho técnico foi fornecido pelo fabricante e consta na Figura 5. A análise de tensão de escoamento, deformação, sensibilidade e todas as suas propriedades não foram questionadas, uma vez que serão utilizados os dados referendados pelo fornecedor.

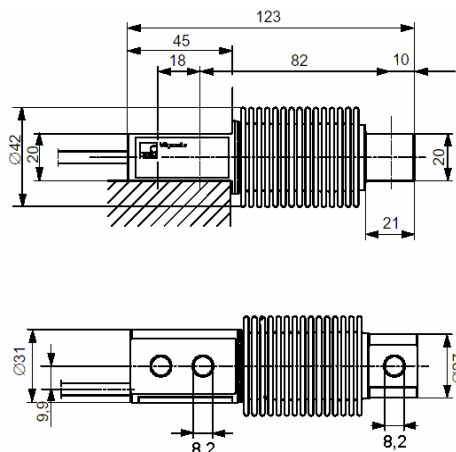


Figura 5: Desenho técnico da célula de carga fornecido pela HBM®

2.2. Estrutura de sustentação

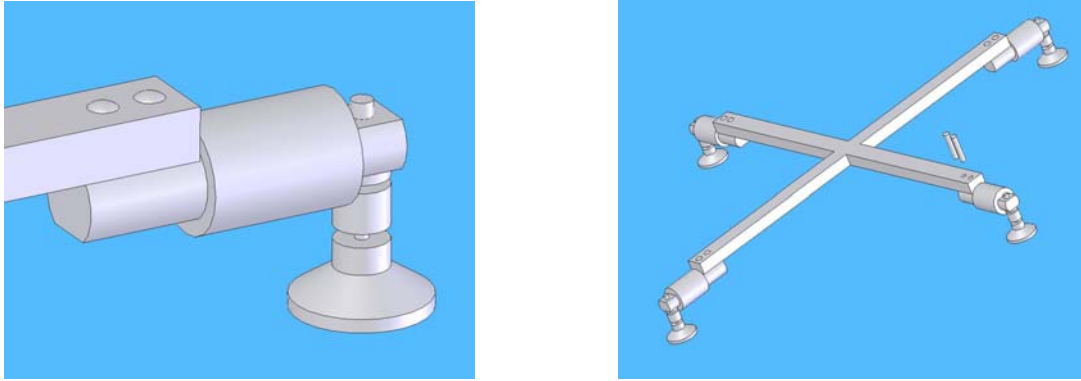


Figura 6: Esquemas para união da célula de carga e a estrutura de fixação.

As células de carga serão interligadas entre si por uma estrutura em formato de duas retas ortogonais. As dimensões da peça foram projetadas de modo que ela seja a menor possível e consiga a maior resistência à carga. Outra idéia que também contou para o dimensionamento da estrutura foi de que a plataforma deve ter uma área de $61 \times 61 \text{ cm}^2$.

Para uma grande mobilidade e transporte da plataforma, o peso deve ser um fator considerado. Como o peso se dará em grande parte pela sua estrutura de sustentação, ela será de alumínio devido a sua baixa densidade (2700 Kg/m^3).

Se for somada a carga máxima suportada pelas 4 células de carga (200 Kgf) teremos um valor de aproximadamente 800 kgf. Para acompanhar os limites de peso suportada pelas células de carga a estrutura de sustentação deve ser de material ultra-resistente devido a necessidade da altura ser a menor possível. Como existe a exigência de que o material tenha uma densidade baixa, para suportar a tensão necessária é utilizado o alumínio aeronáutico ou Alumínio 7050 com a tensão de escoamento de 475MPa, (tensão de escoamento do Aço-1045, 275MPa).

Foram realizados cálculos teóricos (Beer, Junior, 1989) da tensão nos pontos críticos da estrutura que consiste nos seus pontos de fixação. Estes cálculos seguiram a teoria da resistência dos materiais, e foram realizados para cargas de 800 kgf e 500 kgf onde as tensões equivalentes nos pontos analisados serão avaliados pelo critério proposto por Von Mises. Para os cálculos deve-se fazer uma aproximação da estrutura para a vista na Figura 7, cujas diagonais são de aproximadamente 62 cm de comprimento e ocupam uma área superficial de 412 cm^2 .

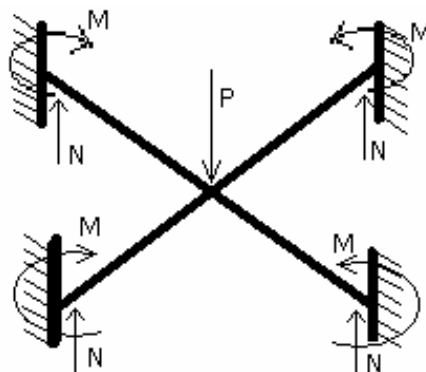


Figura 7: Modelo esquemático para o cálculo teórico das tensões em um ponto na fixação.

Além dos cálculos teóricos foi realizada uma análise em elementos finitos para que se possa ter um conhecimento da tensão ao longo da peça. O programa usado foi o Ansys® 8.0, onde o tipo de elemento usado foi o SOLID45. O malhamento se deu de forma uniforme e bem distribuído ao redor da peça como se vê na Figura 8.

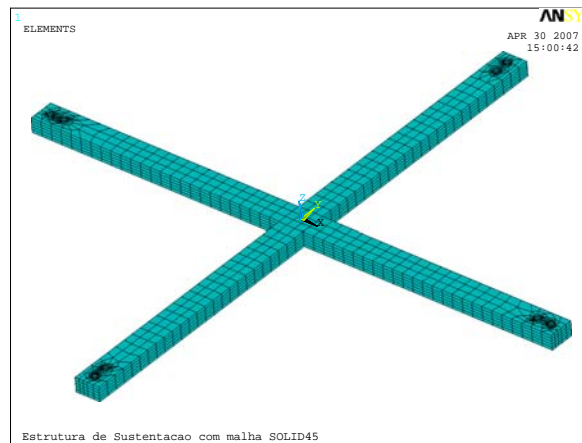


Figura 8: Malhamento da estrutura de sustentação com elemento do tipo SOLID45.

3. PLATAFORMA COMPLETA

Uma vez que as células de carga, com seus respectivos suportes forem devidamente encaixadas com a estrutura de sustentação, tem-se a chapa de aço 1045, dobrada para fazer a base plana para apoio da biocarga, e também para proteção do sistema contra impactos e um mal uso do equipamento. Este sistema é visto na Figura 9.

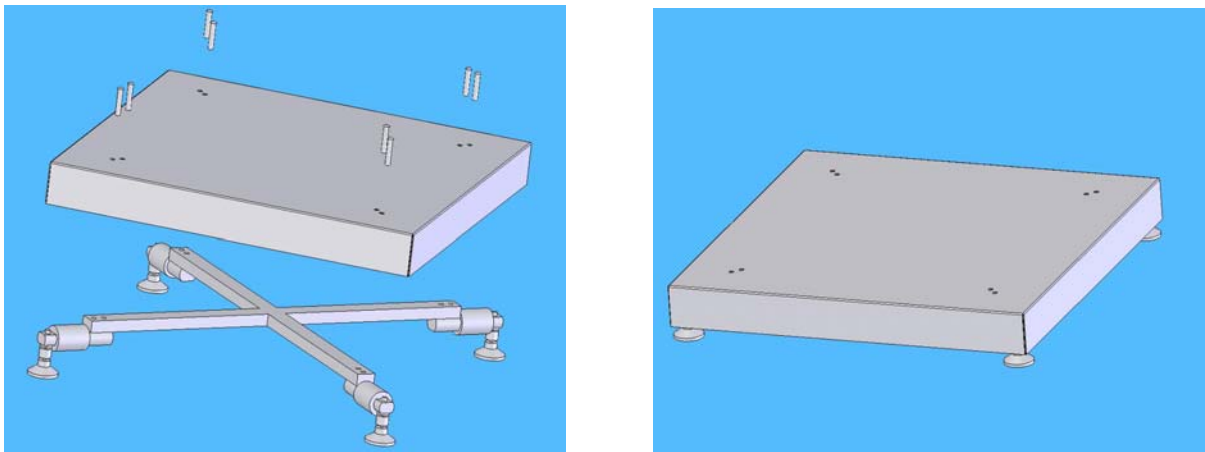


Figura 9: Plataforma desmontada e montada.

A chapa que irá revestir o sistema terá sua fixação em dois rebites por célula de carga como se mostram os furos na Figura 9. Estes dois rebites fixam a chapa, a estrutura de sustentação e a célula de carga.

3.1. Metodologia de calibração da plataforma

Após montada a plataforma, o próximo passo será o processo de calibração. Este processo ocorre de uma forma diferente da convencional. Quando se calibra uma plataforma ou balança comum, o critério é o de se colocar pesos conhecidos e traçar um gráfico de deformação x peso, se faz uma regressão linear dos dados encontrados e a inclinação desta reta final serve de comparação aos pesos a serem medidos.

Para esta plataforma, o procedimento anterior será usado, acrescentando a calibração de posição. Esta se dará da seguinte forma: coloca-se um peso conhecido no centro da plataforma e o peso é deslocado no plano horizontal. Variando este peso, calibra-se não somente o peso, mas também a sua posição na plataforma, (Urquiza, 2005) esta situação está ilustrada na Figura 10:

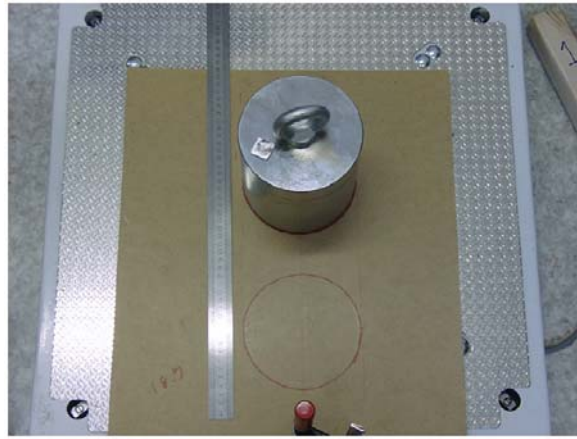


Figura 10: Método de Calibração (Borg, F e Herrala, M - Biosignal projects, Jyväskylä University)

4. RESULTADOS

Para o primeiro cálculo coloca-se uma carga P de 800 Kgf que simplificaremos para 8.000 Newtons. Logo o valor de cada força normal é de 2.000 N, que produz uma reação de Momento (M) de 62.000 N.cm em cada lado dos pontos de engaste. Este momento é calculado através da multiplicação da reação em cada engaste até o centro do suporte (2.000×31). Se isolarmos uma secção no engaste e um ponto na parte superior, tem-se a Figura 11:

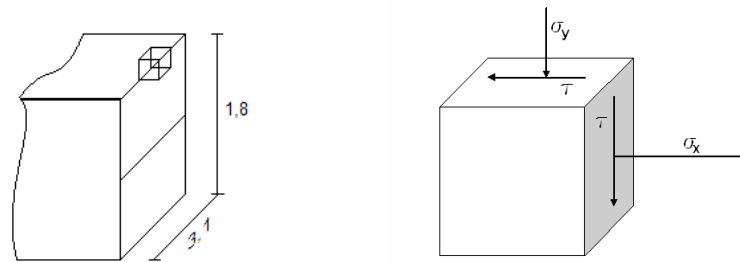


Figura 11: Secção no engaste e as tensões no ponto isolado.

Para o cálculo das tensões (σ_x , σ_y , τ) são feitos os cálculos:

$$\sigma_y = \frac{-P}{\text{Área}}$$

$$\sigma_y = \frac{-8.000N}{0,04m^2} = -0,2MPA$$

$$\sigma_x = \frac{M \times y}{I_y}$$

$$I_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{3,1 \times 1,8^3}{12} = 1,51cm^4$$

$$\sigma_x = \frac{M \times y}{I_y} = \frac{62.000 \times 0,9}{1,51} = 36.953,642 \frac{N}{cm^2} = 369,5MPA$$

$$\tau = \frac{V \times Ms}{b \times I} = \frac{2.000 \times 0}{3,1 \times 1,51} = 0$$

Tendo os valores das tensões normais principais ($\sigma_x = \sigma_1 = 369,5$ MPA, $\sigma_y = \sigma_3 = -0,2$ MPA, $\tau = 0$, e $\sigma_2 = 0$), calcula-se a tensão equivalente pelo princípio de Von Mises:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1 \times \sigma_2 + \sigma_2 \times \sigma_3 + \sigma_1 \times \sigma_3)}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{369,5^2 + 0^2 + (-0,2)^2 - (369,5 \times 0 + 0 \times (-0,2) + 369,5 \times (-0,2))} = 369,6 \text{ MPA}$$

Como foi calculada anteriormente, a tensão equivalente no ponto crítico foi de 369,6 MPA que é inferior a tensão de escoamento do Alumínio 7050 (475 MPA) resultando em um coeficiente de segurança de 1,28. Isso mostra que o sistema está bem resistente as deformações plásticas, uma vez que dificilmente teremos situações onde a plataforma receberá uma carga maior que 500 Kgf em um salto, ou 100 Kgf em uma análise estabilométrica. Mostra também que, como está preparado para grandes cargas, com pequenas cargas ele se comporta aproximadamente como corpo rígido, transferindo toda a força para as células de carga, que é a situação ideal.

Para a confirmação dos cálculos teóricos foi feita uma simulação computacional em elementos finitos da carga de 800 Kgf distribuídos uniformemente no centro da peça. A simulação comprovou os cálculos teóricos, pois o maior valor de tensão equivalente em um ponto se mostrou condizente tanto com valor numérico como na localização na estrutura. Isso é mostrado na Figura 12.

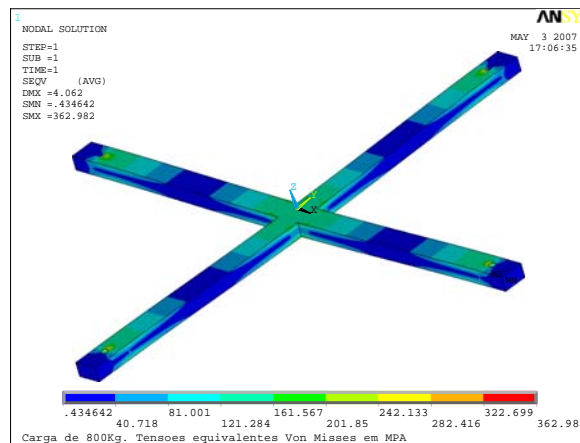


Figura 12: Tensões Equivalentes Von Mises para 800 Kgf

Para efeito de proximidade com a real situação que encontrará a plataforma foi feita na simulação uma distribuição de 500 Kgf como mostra a Figura 13. Confirma-se o fato da maior solicitação na estrutura de sustentação ser o ponto onde está engastada a célula de carga.

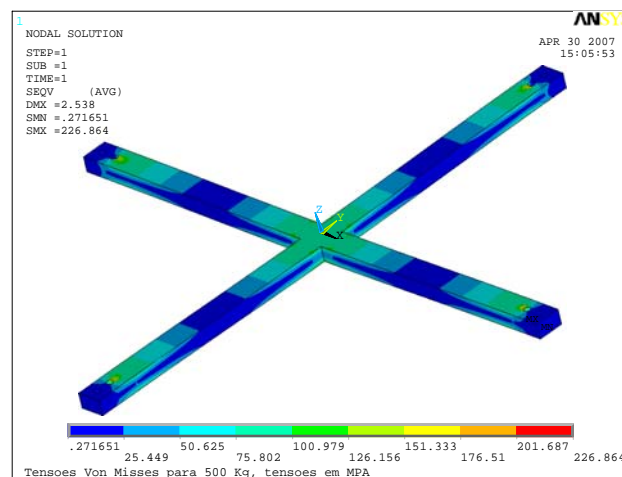


Figura 13: Tensões Equivalentes Von Mises para 500 Kgf

A análise em elementos finitos na Figura 13 mostra a máxima tensão sofrida pela estrutura que foi de 226,86 MPA, que dá ao nosso sistema, para uma força de 500 Kgf, um coeficiente de segurança de 2.09. Mostrando com isso a robustez do sistema proposto.

5. CONCLUSÃO

A proposta de construção da estrutura foi analisada de duas formas: uma por cálculos teóricos e outra pelo método dos elementos finitos, deve-se considerar a proximidade de resultados, uma vez que, a diferença dos valores encontrados por ambos os métodos foi inferior a 2%.

Com a plataforma montada, calibrada e testada, seu objetivo é adquirir os resultados que serão lidos através da interface de um micro computador. Entre estes resultados estarão: variação do centro de pressão e o ponto médio desta variação, oscilação do peso e seu peso médio e a força de impulsão em um salto vertical.

Espera-se que, construída a plataforma, a mesma consiga uma grande quantidade de análises com respostas muito confiáveis. Deve se destacar que este instrumento terá uma relação de custo/benefício altamente significativa.

6. REFERÊNCIAS

Urquiza, M.A. , “Desenvolvimento de uma plataforma de Força Multiaxial para Instrumentação Biomédica”, FEELT-UFU, Uberlândia, 2005.

Naves, E. L. M. , “Desenvolvimento de uma plataforma de força para análise da performance biomecânica”. FEELT-UFU, Uberlândia, 2001.

Gagey, P. M; Weber B. , “Posturologia: regulação e distúrbios da posição ortostática”, Editora Manole, São Paulo, 2000.

Beer, F. P; Junior, R. J , “Resistência dos Materiais”. McGraw-Hill, São Paulo, 1989.

Amádio, A. C. , “Fundamentos biomecânicos para análise do movimento humano”, Laboratório de Biomecânica, EEFUSP, São Paulo, 1996.

Yarrow, K; Brown, P; Gresty, M. A; Bronstein A. M; “Force platform recordings in the diagnosis of primary orthostatic tremor” ELSEVIER, London, 2000.

MECHANICAL PROJECT OF A PLATFORM OF BALANCE FOR BIOMEDICAL INSTRUMENTATION

Ricardo Luís Vieira e Silva

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica
CEP 38400-902 / Uberlândia – MG
ricardovieirakoro@yahoo.com.br

Adriano Alves Pereira, Eduardo Lázaro Martins Naves

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Elétrica
BIOLAB – Laboratório de Engenharia Biomédica
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Bloco 1E – Campus Santa Mônica
CEP 38400-902 / Uberlândia – MG

Abstract: *The proposal contained in this article shows a project of a platform of measurement of biomechanic efforts. Efforts these that are symptoms of disfunções related to the human balance. The analysis of the structure will be evaluated in agreement the theoretical method of "Resistance of the Materials" and later confirmed with the computational method of the finite elements and valued its equivalence of results. The part will be emphasized in this project mechanics, where the acquisition of signal and its treatment will be given of the form established in the memorandum of understanding. The motivation for this project comes of the high cost of the purchase of a platform in the market.*

Keywords: *Biomechanics, balance platform, center of pressure*