

DESENVOLVIMENTO DA CADEIRA ISOMÉTRICA ACOPLADO A UM SISTEMA INTELIGENTE PARA AFERIÇÃO DA FORÇA MUSCULAR POSTERIOR E INFERIOR DA COXA

Sandro Pereira da Silva, Universidade Federal de Lavras, sandro.silva@deg.ufla.br

Mouhamed Zorkot, Universidade Federal de Lavras, mzorkot@engenharia.ufla.br

Joelma Rezende Durão Pereira, Universidade Federal de Lavras, joelma.durao@deg.ufla.br

Felipe Bella de Castro Junqueira, Universidade Federal de Lavras, fbcjunqueira@engenharia.ufla.br

Marcelo Soares Campos, Centro Universitário de Lavras, marcelosoarescampos92@gmail.com

Resumo. Atualmente torna-se fundamental que as pesquisas priorizem inovações tecnológicas focadas na precisão, na confiabilidade e no custo acessível, como também, na melhoria de produtos existentes no mercado. Assim, para monitorar o desempenho de determinado conjunto muscular responsável pela elevação e retração da musculatura posterior e inferior da coxa de indivíduo, este trabalho tem como objetivo o projeto e construção de uma cadeira isométrica cujo diferencial encontra-se no desenvolvimento de um hardware e um software que permitam ao sistema de medição alta precisão, confiabilidade e execução simples. A metodologia para o desenvolvimento do projeto e produto consistiu na aplicação e desdobramento da matriz da função qualidade (QFD). Para o desempenho (precisão e confiabilidade) desse sistema foi utilizado o hardware e os softwares TopSolid® e Labview®. Os resultados foram satisfatórios no desenvolvimento da cadeira isométrica com implantação de requisitos fundamentais de projeto previstos na completa implementação da matriz QFD.

Palavras-chave: Cadeira Isométrica; Hardware; Matriz QFD, TopSolid®; Labview®.

1. INTRODUÇÃO

Os músculos, geradores de força capazes de produzir movimento articular, realizam contração convertendo energia química em trabalho mecânico. Assim, a realização de qualquer movimento depende da força muscular, ou seja, da habilidade de um músculo ou um grupo muscular em gerar tensão de forma ativa (Sandoval *et al.*, 2004). Entretanto, verifica-se um decréscimo dessa força, hora pela idade avançada, hora por doenças ou sequelas de acidente, hora por lesões, comuns em esportistas. As lesões podem ocorrer em função de um desequilíbrio fisiológico ou mecânico, por trauma direto ou indireto, por uso excessivo ou realização incorreta de um determinado gesto motor (Silva; Gonçalves, 2003). Torna-se fundamental buscar novos métodos tecnológicos e aparelhos para a viabilização de uma melhor e mais eficaz avaliação muscular.

Sabe-se que a avaliação muscular vem sofrendo mudanças e avanços ao longo do tempo. Avaliações anteriormente realizadas por meio de resistências manuais complementadas com observações da postura e da marcha (Escobar, *et al.*, 1990) dão lugar a novos métodos, padronizados. A exemplo, cita-se os métodos mecânico, normalmente aplicados à cadeiras isométricas. Dentre os mais usados atualmente estão os dinamômetros analógicos e células de carga (Clarkson, 2002), que na maioria servem para avaliar o momento máximo de força (Dvir, 2002), do tipo isométrica. Porém, tais instrumentos proporcionam avaliações subjetivas da força muscular e amplitude de movimento articular, além do seu tamanho e alto custo limitarem a sua utilização no ambiente clínico.

Observa-se a necessidade de se desenvolver hardwares e softwares de medição de alta precisão, confiáveis e com baixo custo no mercado, que sejam aplicáveis a qualquer cadeira isométrica. Para conseguir uma maior agilidade e padronização na fabricação de um produto, faz-se necessário criar uma interligação entre máquinas e os projetos do item fabricado. Os softwares auxiliam o projeto do molde fazendo com que o item fabricado tenha a mesma forma e medidas do desenho. Segundo Souza e Ulbrich (2009), esta ferramenta desenvolvida para simular aplicações reais, podem auxiliar em etapas de projeto e fabricação. Sistemas de medição virtuais foram introduzidos para simplificar o projeto (Kovac, 2004)

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo o projeto e construção de uma cadeira de força isométrica máxima, associada a um sistema inteligente composto por hardware e software, que permita calcular o equilíbrio de força entre os músculos inferiores, possibilitando a prevenção de lesões e verificação do nível de treinamento suportado por indivíduos praticantes de esportes de alto desempenho e reabilitação de indivíduos portadores de distúrbios cinéticos funcionais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No projeto da cadeira isométrica utilizou-se uma ferramenta conhecida como método do “Quality Function Deployment”(QFD) ou Desdobramento da Função Qualidade – Matriz QFD (Akao e Mazur, 2003), que permite definir os pontos críticos do projeto além de visar a qualidade total através de um modelo que associa as necessidades do

cliente e as potencialidades técnicas. De acordo com Cheng e Melo Filho (2007) a garantia da qualidade se faz por meio de três enfoques: garantia da qualidade pela inspeção, garantia da qualidade pelo controle do processo e garantia da qualidade durante o desenvolvimento do produto. Nomeou-se tais necessidades e potencialidades, respectivamente: requisitos do cliente (RC), características de qualidade (CQ) relacionadas na matriz QFD também conhecida como "casa de qualidade".

Inicialmente, por meio de dois critérios de correspondência, realizou-se a correlação entre os RC e CQ para quantificar o grau de relação entre essas características: (1) preenchimento do corpo da matriz, relacionando cada RC com cada CQ, com um padrão de códigos numéricos em que o número 1 representa uma relação fraca, o 3 uma relação moderada e 9, forte; (2) preenchimento do telhado da casa de qualidade com outro padrão, relacionando as CQ umas com as outras, utilizando os símbolos (++) para correlações muito fortes, (+) para correlações fortes, (-) para as fracas e (--) para as muito fracas. Cabe observar que também foram realizadas pesquisas de mercado e analisadas as CQ em um critério de 1 a 5, representando baixo e alto impacto, respectivamente. Segundo Shapiro (2007), a análise é o processo de transformar a informação detalhada em padrões de entendimento, comparações, e interpretações.

O mesmo critério foi usado em um questionário aplicado aos profissionais da saúde sobre a relevância dos RC no produto final. O método conta com cálculos que quantificam o grau de importância de determinado CQ, já que essa característica é mensurável. Os valores encontrados no final da matriz, após todos os cálculos, bem como as correlações no corpo e no telhado da casa de qualidade estão apresentados na Figura 1.

		Tamanho	Peso	Conforto	Carga Suportada	Vida Útil	Precisão nas medições	Manuseio	Custo	Design	Cliente	Grau de importância (geral)	Nesse Produto	Concorrente X
			++	+			++							
			+				+							
				++										
				+										
					++									
					+									

Figura 1: Matriz QFD

Os materiais utilizados na construção da cadeia foram: barra cilíndrica de aço SAE1020 trefilado, perfil de alumínio 6063, célula de carga utilizada suporta 500Kgf, pino de corpo cilíndrico de aço 1040 com diâmetro de 6cm e 30cm de comprimento e barra de Nylon 6.0 com módulo de elasticidade de 1800MPa.

Para o desenvolvimento da cadeira propriamente dita foram utilizados os softwares TopSolid® para o desenho paramétrico e o Labview® na versão 12.0 (32-bit), 2012, para a programação na plataforma virtual, em um notebook modelo Gateway com Windows 8, Intel Inside Core i5. Para o hardware foram utilizados: uma fonte de alimentação de 24V DC, uma célula de carga do tipo S com capacidade de carga de 500Kg, um Arduino Uno e o Gefran para a aferição do valor de massa em Kgf.

No software foram montados sistemas capazes de ler os dados obtidos dos sensores tanto da perna esquerda como da perna direita. Esses sistemas utilizaram de modelos parametrizados no software LabView® para os valores do teste de extensão, tensão, índice de fadiga na flexão, índice de fadiga na extensão. Para cada cálculo, foram desenvolvidos diagramas de blocos com cada componente usado na aquisição de dados. Por fim, uma tela principal foi utilizada para facilitar a leitura dos dados e para tornar o uso do sistema mais simples. Para a realização do controle desses dados obtidos no sistema de aquisição de dados, um diagrama de blocos foi criado como uma conexão entre um Arduino e o software de programação virtual Labview®. Desse modo, foi possível realizar a leitura dos dados e ainda controlá-los por meio de um micro controlador simples.

O conjunto de hardware é alimentado por uma fonte, que por sua vez alimenta um medidor de sinal (Gefran) ligado a uma célula de carga. Essa célula emite um sinal analógico de 2mV/V que é interpretado e ampliado pelo medidor emitindo-o em forma analógica, 0 a 10V. O micro controlador que fará a leitura desses sinais funciona numa faixa de até 5V. Então, torna-se necessário um divisor de tensão para que não danifique o Arduino devido à sobrecarga de tensão na saída digital. Assim, com todos os componentes do hardware conectados, é possível utilizar o software de programação em plataforma virtual Labview® para realizar a leitura desses dados e gerar relatórios acerca do desempenho do indivíduo.

Os equipamentos que compõem o hardware incluem: uma fonte de alimentação SIEMENS®, modelo 6EP1332-1SH42 com input na faixa de 100-240V e output DC 24V/2,5A; uma célula de carga modelo LSL que possui capacidade máxima de 500Kg; um leitor digital GEFTRAN® 40 e um divisor de tensão com dois resistores de 10Kohms; um micro controlador Arduino Uno, que opera em tensões de até 5V.

3. RESULTADOS

Através da aplicação da matriz QFD, após analisar os resultados obtidos, percebe-se ganhos no modelo desenvolvido, comparando com os concorrentes, nos quesitos de durabilidade, ergonomia e custo benefício. Entretanto, o modelo apresenta um conforto menor do que os modelos dos concorrentes. Esses resultados foram obtidos através de uma pesquisa de mercado e levantamento de dados técnicos, apresentando dados confiáveis.

Após a definição da Matriz QFD, deu-se início ao desenvolvimento do protótipo, como ilustrado na Figura 2.



Figura 2: protótipo virtual da cadeira isométrica no TopSolid®

Observa-se que para análise da estrutura da cadeira adotou-se normas e critérios de dimensionamento segundo PFEIL W.; PFEIL M. (2009). Através das análises de resistência dos materiais os pontos críticos foram definidos, como demonstrados em destaque na cor vermelha da Figura 3. Os cálculos estruturais foram elaborados através do software TopSolid® e Ftool®.



Figura 3: Pontos Críticos, destacados em vermelho, da Cadeira isométrica no TopSolid®

Duas guias foram desenvolvidas para a movimentação do banco, também para suportar o peso da estrutura (do banco e do encosto) e ainda, o peso médio de uma pessoa assentada na cadeira de medição da força isométrica. O peso total foi definido em 3000N. Fazendo o uso das duas guias, e definindo dois pontos de aplicação da força, a força total foi dividida com o propósito de igualar a força aplicada em cada ponto.

Após esta etapa, os resultados de cisalhamentos foram definidos e, assim, elaborado o diagrama de momento fletor. Analisando este e obtendo as forças de reações dos apoios, é possível elaborar o cálculo para a verificação da resistência do material ao esforço solicitado.

A respeito da estrutura, deu-se início à análise de resistência do material utilizado, o perfil de alumínio. Para isso, através do software Ftool®, foi gerada a malha do material e aplicada a força de 500kgf no centro da barra, simulando a carga máxima da célula de carga. Para a estrutura, também foram obtidos as reações de apoio e analisados os diagramas de momento, cortante e fletor, exercido na barra. Com os resultados, foi possível calcular o esforço solicitante e verificar a força máxima que a barra suporta.

Os mesmos cálculos e resultados foram realizados para a análise do pino que trava o conjunto em que a célula de carga está acoplada e as barras de nylon 6.0, utilizadas para transferência de energia entre o indivíduo usuário da cadeira isométrica e a célula de carga. Os resultados entre o esforço suportado máximo e o esforço solicitado máximo, para cada material, estão listados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos esforços máximos

Material	Esforço suportado máximo (kgf/cm²)	Esforço solicitado máximo (kgf/cm²)
Barra cilíndrica de aço SAE1020	195,38	32,07
Barra de Alumínio	1300,68	437,3
Pino de aço de corpo cilíndrico	2039,43	1820,9
1ª Barras de Nylon 6.0	917,74	641,02
2ª Barras de Nylon 6.0	159,23	125,81

3.1. Hardware

Para a calibragem da célula de carga e do indicador Gefran®, foram posicionadas cargas conhecidas sobre a mesma, obtendo resultados precisos de leitura. O peso de calibragem precisa ser aproximadamente 80% da capacidade da célula de carga, de acordo com o indicador Gefran®. Para certificar a confiabilidade do dispositivo, vários testes foram realizados inserindo pesos padrões sobre a célula. O resultado foi satisfatório, onde os valores obtidos corresponderam ao peso padrão inserido.

Testes de comunicação entre o indicador Gefran® e o Arduino® foram realizados após a calibração. O primeiro transmite um sinal de saída de 0 a 10V, sendo reduzido para uma range de 0 a 5V no divisor de tensão, possibilitando assim que o segundo receba este sinal e transmita via cabo USB para um computador. A comunicação ocorreu sem nenhuma intercorrência e, assim, foi possível realizar a comunicação de sinal entre o Arduino® e o software Labview®. Através deste, é possível desenvolver uma interface, para coleta do sinal, que possa representar, através de algoritmos, o sinal recebido.

3.2. Software

A Figura (4) representa a interface entre o profissional da saúde e a programação realizada na plataforma de programação virtual em LabView® cujo os campos são Pico de Força, Força Mínima após Pico e Índice de força, onde aparecem os dados obtidos em ambas as pernas e a diferença dos resultados lidos. O campo “Pico de Força” informa o momento na qual foi aplicada uma força maior sobre o membro, a “Força mínima após Pico” indica a menor força aplicada sobre o membro após exercer um esforço máximo e, finalmente, “Índice de Força” representa a força exercida pela musculatura. Além da análise numérica das variáveis de força, o software permite a análise gráfica da amplitude da força em função do tempo. Essa função, no software, contribui como ferramenta ao profissional da saúde no

monitoramento e direcionamento do treinamento ou reabilitação. Além da análise numérica das variáveis de força, o software permite a análise gráfica da amplitude da força em função do tempo.

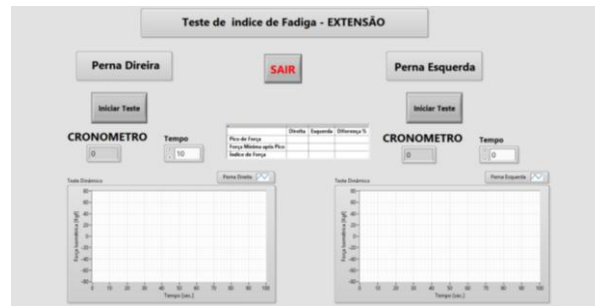


Figura 4: Teste de Índice de Fadiga - Extensão

Após a construção da cadeira, a mesma foi testada por diversos profissionais da saúde com seus respectivos voluntários e apresentou um desempenho que atendesse, com alta precisão, as demandas de monitoramento na reabilitação e no treinamento físico.

4. DISCUSSÃO

O desenvolvimento da Matriz QFD foi essencial para o detalhamento de informações e auxílio nas decisões para o desenvolvimento do projeto, de acordo com as necessidades do cliente. A matriz juntamente com o hardware e os softwares utilizados possibilitou elaborar o projeto de forma a atender os requisitos solicitados por profissionais da saúde, que se mostraram satisfeitos com o resultado final após a realização de testes da funcionalidade e usabilidade do equipamento.

Além disso, foi possível reduzir consideravelmente o custo da cadeira através das simulações realizadas no decorrer do projeto, em decorrência da redução de erros do protótipo e a aplicação de materiais qualificados na construção. Segundo TAPKE, et al. (2009), que a identificação e o entendimento das exigências do cliente são um obstáculo para o sucesso do QFD. Essa etapa estabelece bases para que o projeto seja bem pensado antes de qualquer desenvolvimento. É importante traduzir os desejos do cliente em alguns valores tangíveis que podem ser convertidos em especificações de projeto.

Analisando a Tabela 1, resultados positivos também podem ser percebidos pelos cálculos de esforço para o pino, em que este resiste a uma tensão de ruptura de 20.000N, concluindo que o dimensionamento do pino está de acordo com a carga máxima a ser aplicada. O mesmo é válido para as barras de nylon, à barra cilíndrica de aço SAE1020 e a barra de alumínio que apresentaram resultados satisfatórios, em relação à resistência do material à força de cisalhamento.

O hardware desenvolvido se iguala aos existentes no mercado e atende a precisão de dados requerida à cadeira isométrica. O hardware em questão apresenta um custo de produção 70% abaixo dos modelos existentes no mercado tornando o sistema, como um todo, mais acessível para clínicas de fisioterapia, centros de reabilitação e centros esportivos profissionais. Além disso, a troca de dados entre os sistemas não requer a utilização de sistemas para isolamento ou tratamento de sinais.

De acordo com os resultados obtidos, o sistema operacional desenvolvido satisfaz os objetivos esperados, possibilitando uma melhor aferição dos testes físicos e, a partir do software e da análise dos dados obtidos nos testes, percebe-se a capacidade do sistema de monitoramento em verificar desequilíbrios entre os membros e, conseqüentemente, direcionar o treinamento ou tratamento terapêutico, do usuário da cadeira isométrica, na finalidade desejada.

5. CONCLUSÃO

Por intermédio da matriz QFD foi possível desenvolver, projetar e construir uma cadeira isométrica, para aferição de força nos membros inferiores, que atendesse às demandas de usuários e de profissionais da saúde que necessitam direcionar o treinamento de indivíduos decorrentes de distúrbios cinético-funcionais. Sendo assim, os resultados obtidos demonstraram que o método proposto para a criação de um novo dispositivo para a medição de força isométrica máxima utilizando de um software na plataforma Labview® e um Hardware preciso foram altamente satisfatórios, correspondendo aos resultados esperados com um custo reduzido em comparação aos modelos existentes no mercado. Além disso, o hardware desenvolvido corresponde a uma tipologia simples e de fácil acesso assim como o Software de programação virtual LabView®, que proporcionou uma interface amigável entre o profissional da saúde e o programa desenvolvido.

Ademais, auxiliado pela matriz QFD, foi possível perceber os componentes críticos que deveriam ser analisados através do método dos elementos finitos, assistido pelo software TopSolid® e Ftool®. Após a análise das tensões admissíveis, foi concluído que o material projetado suporta a solicitação de força máxima, proporcionando estabilidade e segurança ao equipamento, ou seja, a realização do presente projeto proporcionou desenvolver o equipamento que, além de satisfazer as necessidades do público alvo, apresenta um melhor custo benefício, em relação aos concorrentes.

6. REFERÊNCIAS

AKAO, Y; MAZUR, G. H. The leading edge in QFD: past, presente and future. International Journal of Quality e Reliability Management, 2003.

CHENG, L.C.; MELO FILHO, L. D. R. QFD: Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Desenvolvimento de Produtos. São Paulo: Blucher, 2007.

CLARKSON, H.M. Avaliação músculo esquelética: amplitude de movimento articular e força muscular manual. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

DVIR, Z. Isocinética: avaliações musculares, interpretações e aplicações clínicas. São Paulo: Manole, 2002.

ESCOBAR, M.; NUÑEZ, I; VÉLIZ, C. Evolución histórica de los métodos de evaluación muscular y sus implicancias kinésicas. X Congresso Nacional de Kinesiologia, Viña del Mar, Chile, p.112-122, 1990.

GENT A. N. Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components. 3rd ed. Munich, DE: Carl Hanser Verlag, 2012, pp. 257-305.

Kovac, V. S. K. Virtual Instrumentation and Distributed Measurement Systems. Journal of Electrical Engineering, v. 55, 2004.

PFEIL W; PFEIL M. Estruturas de aço dimensionamento Prático. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009 (reimpresso 2011).

SANDOVAL, R. A.; CANTO, R. S. de T.; BARAÚNA, M. A. Dinamômetro analógico adaptado: um dispositivo para medir o torque muscular. Lecturas Educacion Fisica y Deportes. Revista Digital Buenos Aires, ano, v. 10, 2004.

SHAPIRO, J. Monitoramento e Avaliação. CIVICUS, 2007.

Disponível em: <http://www.civicus.org/new/media/Monitoramento-eAvaliacao.pdf>

Acesso em 18 de novembro de 2017

SILVA, S. R. D. da; GONÇALVES, M. Comparação de protocolos para verificação da fadiga muscular pela eletromiografia de superfície. Motriz, Rio Claro, v. 9, p. 51, 2003.

SOUZA, A. F.; ULBRICH, C. B. L. Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC – Princípios e Aplicações. São Paulo, Artliber, 2009.

TAPKE, J.; MULLER, A.; JOHNSON, G.; SIECK J. House of quality: Steps in Understanding the House of Quality. IE 361, S. 1, 2009

Disponível em: <http://www.public.iastate.edu/~vardeman/IE361/f01mini/johnson.pdf>

Acesso em 18 de novembro de 2017

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos às empresas parceiras pelo material fornecido, à Universidade Federal de Lavras pelo apoio na pesquisa, a empresa Missler pelo fornecimento do software TopSolid® e aos colaboradores do Núcleo de Estudos em Bioengenharia Aplicada a Reabilitação Humana-BEARH.