

Brazilian Journal of Development

Desenvolvimento de dispositivo de sustentação e movimentação para a cabeça de crianças com paralisia cerebral espástica

Development of a Head Support and Movement Device for Children with Spastic Cerebral Palsy

DOI:10.34117/bjdv6n3-039

Recebimento dos originais: 29/02/2020

Aceitação para publicação: 04/03/2020

Douglas Wagner

Técnico em Mecânica, Fundação Liberato-RS
Rua Inconfidentes, 395 - Bairro Primavera - Novo Hamburgo/RS - Brasil
e-mail: douglaswagner2001@outlook.com

Guilherme Gusen da Silva

Técnico em Mecânica, Fundação Liberato-RS
Rua Inconfidentes, 395 - Bairro Primavera - Novo Hamburgo/RS - Brasil
E-mail: guigusen@gmail.com

Fábio Ricardo de Oliveira de Souza

Mestre em Engenharia, Fundação Liberato-RS
Rua Inconfidentes, 395 - Bairro Primavera - Novo Hamburgo/RS - Brasil
E-mail: fabio.souza@liberato.com.br

Gabriel Soares Ledur Alves

Licenciado em Educação Física, Fundação Liberato-RS
Rua Inconfidentes, 395 - Bairro Primavera - Novo Hamburgo/RS - Brasil
E-mail: gabrielpoa11@hotmail.com

José de Souza

Doutor em Engenharia, Fundação Liberato-RS
Rua Inconfidentes, 395 - Bairro Primavera - Novo Hamburgo/RS - Brasil
E-mail: josesouza@liberato.com.br

Brazilian Journal of Development

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico que auxilia a sustentação e a movimentação da cabeça de pessoas com Paralisia Cerebral espástica. A Paralisia Cerebral (PC) espástica é uma condição que atinge o controle motor, causando perda parcial dos movimentos devido à rigidez e espasticidade muscular. Pelo fato de não conseguir manter a posição anatômica, a cabeça acaba recaindo sobre o peito, fazendo com que os músculos posteriores passem muito tempo estendidos, o que pode gerar cansaço e contraturas. Essa condição afeta muitos indivíduos, sendo a grande maioria crianças, as quais necessitam de acompanhamento especial e suporte desde o nascimento. Por meio do desenvolvimento desse dispositivo, é possível solucionar problemas diários enfrentados por essas pessoas, como dificuldade de deglutição devido à posição da cabeça e restrições de atividades básicas escolares e recreativas. A estrutura foi projetada e simulada em um software de CAD 3D, com o intuito de fabricação em uma impressora 3D. Como matéria-prima, selecionou-se o plástico ABS, pois suporta as tensões geradas durante a utilização do dispositivo e não é nocivo ao corpo humano. O protótipo possui servos motores contínuos e de ângulo, encarregados da movimentação da cabeça, programados pela placa Arduino Uno. O suporte executa movimentos de flexão, extensão e rotação, que são comandados pelo cuidador do usuário a fim de minimizar acidentes. Acredita-se que o dispositivo também ajudará na fisioterapia e, com o seu uso, haverá redução nas dores musculares e aumento da qualidade de vida do indivíduo.

Palavras-chave: Tecnologia assistiva, Paralisia Cerebral espástica, Dispositivo eletromecânico.

ABSTRACT

This paper presents the development of an electromechanical device that helps support and move the head of people with spastic Cerebral Palsy. Spastic Cerebral Palsy is a condition that affects motor control, causing partial loss of movement due to muscle stiffness and spasticity. Because he is unable to maintain the anatomical position, the head ends up falling on the chest, causing the posterior muscles to spend a lot of time extended, which can cause tiredness and contractures. This condition affects many individuals, the vast majority being children who need special monitoring and support from birth. Through the development of this device, it is possible to solve daily problems faced by these people, such as difficulty swallowing due to the position of the head and restrictions on primary school and recreational activities. The use of 3D CAD software was due to facilitate the fabrication of the structure in a 3D printer. ABS plastic is the raw material used, as it withstands the stresses generated during the use of the device and is not harmful to the human body. The prototype has continuous and angle servo motors, in charge of head movement, programmed by the Arduino Uno board. The support performs flexion, extension, and rotation movements, which are commanded by the user's caregiver to minimize accidents. The device can help with physical therapy, and, with its use, there will be a reduction in muscle pain and an increase in the individual's quality of life.

Keywords: Assistive technology, Spastic cerebral palsy, Electromechanical device.

Brazilian Journal of Development

1. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta um estudo sobre a tecnologia assistiva para indivíduos com paralisia cerebral espástica, estes são incapazes de manter a cabeça em posição anatômica. Essa incapacidade faz com que a cabeça repouse com frequência sobre o peito, gerando flexão do pescoço de uma maneira não controlada, o que pode ocasionar dores musculares e dificuldade na realização de certas atividades. Atualmente, no mercado, existem alguns dispositivos com a função de sustentação da cabeça, porém, não auxiliam o movimento, apenas o permitem.

A paralisia cerebral espástica é uma condição que afeta principalmente os movimentos. Segundo Frazão (2017), “A criança com paralisia cerebral possui uma forte rigidez muscular, alterações do movimento, da postura, falta de equilíbrio, falta de coordenação e movimentos involuntários”. Outro sintoma dessa condição é o atraso no desenvolvimento motor, que, associado à falta de coordenação e a rigidez muscular, pode fazer com que o indivíduo acondicionado tenha dificuldade em controlar os movimentos não só durante a infância, mas sim pelo resto da vida. Dependendo do grau da espasticidade, podem surgir deformidades nos membros afetados. A pesquisa trata de um paciente que possui paralisia cerebral espástica, o qual apresenta problemas de movimentação, espasticidade muscular e possui controle parcial da cabeça. Um dos problemas enfrentados por ele é durante a alimentação, pelo fato de não conseguir manter a cabeça em posição anatômica ou com uma leve hiperextensão, ou seja, levemente inclinada para cima, o que dificulta a deglutição do alimento.

A pessoa do estudo de caso, como qualquer outra, precisa executar movimentos de flexão, extensão e rotação da cabeça para alcançar certas posições, com a finalidade de realizar tarefas básicas do dia a dia como comer e brincar, além de participar de atividades pedagógicas. O projeto busca solucionar o questionamento de como auxiliar indivíduos com rigidez muscular ou baixo controle de movimento devido aos efeitos da paralisia cerebral espástica a manterem a cabeça em posição anatômica, estabelecendo um nível de conforto e movimento, de forma segura e com ergonomia, proporcionando alcançar diferentes posições e realizar movimentos básicos para as atividades do dia a dia.

O projeto pretende desenvolver um dispositivo regulável para idades biológicas distintas que auxilie indivíduos com paralisia cerebral espástica a manterem a cabeça em posição anatômica, proporcionando um nível de conforto e movimento. Acredita-se que é possível, através do desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico, proporcionar a estabilização da cabeça na posição anatômica e auxiliar a cinemática dos movimentos de forma segura e

Brazilian Journal of Development

ergonômica. Para a elaboração do projeto, foram realizadas certas atividades, como o embasamento teórico, desenho do dispositivo e testes virtuais. Essas etapas de execução do projeto estão descritas detalhadamente na metodologia.

Com o uso do dispositivo desenvolvido, é possível aliviar as dores, os desconfortos, evitar contraturas, deformidades, lesões musculares, diminuir a rigidez e melhorar a postura do indivíduo, pois, como diz Richardson (2002 apud FELICE, ISHIZUKA e AMARILHA, 2011, p.78), “As manifestações físicas da espasticidade incluem dores, movimentos involuntários, posturas anormais e resistência aumentada ao movimento, o que pode levar a problemas secundários”. Isso acontece pelo fato de que, quando o indivíduo não está na postura correta, alguns músculos ficam tensionados, alongados e outros contraídos, de uma maneira assimétrica. Outro fator que justifica o uso do dispositivo é o fato dele auxiliar no movimento da cabeça.

2. FUNDAMENTOS

2.1 PARALISIA CEREBRAL ESPÁSTICA

A paralisia cerebral (PC) é uma condição que atinge principalmente crianças recém-nascidas. A partir de 1959, conceituou-se paralisia cerebral como encefalopatia crônica da infância. Constitui um grupo heterogêneo que tem em comum problemas que afetam o desenvolvimento muscular e motor, podendo apresentar dificuldades cognitivas. As causas dessa doença, de acordo com Rotta (2002), ocorrem em períodos pré-natais, perinatais e pós-natais. Rotta ainda comenta que a forma mais frequente é a espástica e que ela pode causar falta de força localizada ou generalizada dependendo do quanto a pessoa foi atingida. Sposito e Riberto (2010, p. 51) comentam que, “A espasticidade é comumente definida como um transtorno motor caracterizado por um aumento dos reflexos tônicos de estiramento (tônus muscular)”. Ela pode ocasionar posturas e reflexos anormais devido a sua ação contrária ao movimento, e por conta disso, pode ocasionar em dores e lesões musculares. Sposito e Riberto (2010, p. 51), ainda destacam que, pelo fato da paralisia cerebral ser ocasionada por uma lesão não progressiva no sistema nervoso central, ela pode causar, por consequência, deficiências mentais, disfunções motoras, alterações funcionais, e distúrbios no movimento, podendo causar alterações no desenvolvimento motor, encurtamentos musculares, deformidades e posturas anormais.

Brazilian Journal of Development

Uma pessoa com paralisia cerebral espástica pode não ter o controle total de movimento de alguns membros, dependendo do quanto ela foi atingida pela condição. O controle dos movimentos da cabeça é essencial para a realização de diversas atividades, porém uma pessoa com paralisia cerebral espástica pode não ser capaz de realizá-los. É importante destacar também que a espasticidade, como Sposito e Riberto (2010, p. 52) dizem, pode ser agravada em momentos de dor, stress, alterações de humor, órteses mal colocadas, febre, entre outros. Por conta disso, é importante que o indivíduo esteja acostumado e familiarizado com situações a sua volta.

3. METODOLOGIA

Com o intuito de buscar uma ideia de projeto sobre tecnologia assistiva, visitou-se a Associação que é uma instituição filantrópica que mantém uma Escola de Ensino Fundamental e um Centro de Atendimento Especializado a Criança com Multideficiência (CAEM). Durante a visita, observou-se a dificuldade que uma das crianças tinha para movimentar a cabeça. Por meio de conversas com a fisioterapeuta da associação, foi realizado um levantamento de informações sobre a criança, a qual se tornou estudo de caso da pesquisa devido à necessidade de algo que lhe ajudasse nas dificuldades diárias. Ela faz parte do CAEM e passa a maior parte do tempo na localidade, portanto, foram feitas mais visitas ao local para observação e para obtenção de informações sobre ela.

Algumas informações mais específicas sobre o paciente foram coletadas em conversa com a fisioterapeuta da Associação Vida Nova de Novo Hamburgo/RS.

O paciente possui Paralisia Cerebral espástica e apresenta os sintomas já descritos, como controle parcial dos movimentos e espasticidade muscular. A criança passa a maior parte do tempo na cadeira de rodas e percebeu-se que ela tem dificuldade na alimentação devido a falta de controle da cabeça. Para ser possível a deglutição do alimento, o responsável por alimentá-la precisa segurar a cabeça dela com uma das mãos e a alimentá-la com a outra, caso contrário a passagem do alimento fica obstruída, pois a cabeça fica caída sobre o peito. Foi possível identificar que ele encontra dificuldades na interação com outras pessoas e na realização de certas atividades também devido a essa posição que a cabeça repousa. Os responsáveis pela criança também comentaram que ela sente muita dor muscular quando passa demasiado tempo na mesma posição, necessitando assim, realizar alguns movimentos para relaxamento dos músculos.

Brazilian Journal of Development

O estudo de caso se comunica através do olhar devido ao acometimento da fala. Para dizer sim, move os olhos verticalmente, e para dizer não, o movimento é horizontal. Quando algo está lhe incomodando, ele desvia o olhar da pessoa com quem está se comunicando ou fica brava, enrijecendo os músculos e realizando movimentos rápidos e descontrolados.

A ideia inicial era fazer um dispositivo que não deixasse com que a cabeça da criança caísse sobre o peito. Com o tempo a ideia foi se aprimorando, surgindo a opção de não apenas sustentar, mas também auxiliar os movimentos básicos da cabeça.

A ideia inicial do protótipo foi uma haste, em que uma extremidade ficaria presa ao tronco do usuário e na outra, teria uma cinta ao redor do perímetro cefálico. Ao longo da pesquisa foi acrescentada a possibilidade de que essa haste pudesse permitir o movimento para que o estudo de caso não ficasse completamente estático.

Relacionado à fixação, foram formuladas duas hipóteses. A primeira consiste em um colete o qual prenderia a haste ao corpo do usuário a partir de fitas com velcro ou a partir de uma fivela. Essas cintas deveriam envolver o tórax e passar sobre o ombro. A segunda seria construir uma estrutura semelhante à dos dispositivos existentes no mercado. Essa estrutura ficaria fixada na cadeira de rodas e também ao dispositivo.

Em relação à fixação na cabeça, se pensou em uma cinta regulável para que pudesse se ajustar com perfeição ao perímetro cefálico, essa cinta seria de um material que fosse confortável e que suportasse o esforço. Poderia também permitir a colocação de adornos para fins recreativos.

Com relação aos movimentos, deveríamos permitir isso a partir de pequenos rolamentos na cinta fixa à cabeça ou que essa cinta percorresse um trilho, entretanto a possibilidade de utilizar um servo motor para que o dispositivo não só permita, mas também auxilie os movimentos se tornou mais atraente. É essencial para o bom funcionamento do dispositivo que ele execute os movimentos de flexão e extensão e rotação da cabeça. Um servo motor é capaz de comandar esses movimentos além de disponibilizar a possibilidade de controlá-los. Para executar os movimentos de rotação seria necessário adicionar um eixo que gire em cima da cabeça e movimente o dispositivo. Já para os movimentos de flexão e extensão, pensou-se em fazer guias acima da orelha com uma engrenagem para execução do movimento. Para ter controle de todos os movimentos ao mesmo tempo, surgiu a ideia de botar um braço robótico articulável, o qual disponibiliza de todos os eixos de movimentos.

Brazilian Journal of Development

Em relação à haste do dispositivo ela deveria ser curva e afastada do pescoço e cabeça para não ser desconfortável e posteriormente para não prejudicar os movimentos. Essa haste deveria permitir regulagem para boa adequação ao usuário. Nelas também estaria todo o sistema mecânico que transmite os movimentos, assim como o servo motor e o sistema eletrônico.

3.1 PROJETO BÁSICO

Um grande problema para a criação do dispositivo era ter a noção do formato da cabeça, do espaço volumétrico ocupado por ela e do posicionamento quando os movimentos eram realizados. Era necessário dimensionar a estrutura com valores baseados em um corpo real para garantir seu funcionamento. Medidas como o diâmetro cefálico, altura do ombro até o topo da cabeça, localização dos pontos de movimentos, distância de um lado da cabeça até o lado oposto, teriam que ser obtidas a partir da medição utilizando instrumentos desenvolvidos para esse propósito. Entretanto todas essas medidas puderam ser obtidas em um molde gerado a partir de um escaneamento. Surgiu a ideia portanto que fizemos o escaneamento utilizando um scanner.

O scanner utilizado foi o “EinScan Pro+”. Esse dispositivo oferece uma tecnologia de rápida digitalização 3D portátil, sendo de fácil manuseio e de excelente captura de imagem capturando até 550.000 pontos por segundo. Como mencionado anteriormente era necessário que o molde tivesse pontos de referência de fácil identificação quando fosse preciso fazer a modelagem do dispositivo. Os autores então colocaram uma faixa que contornava a cabeça na altura da testa e outra que passava abaixo da mandíbula até o topo da cabeça. Foram escaneadas as posições de extensão, flexão, rotação e anatômica visto que assim seria possível identificar dentro do software se o dispositivo atendia a necessidade de movimento.

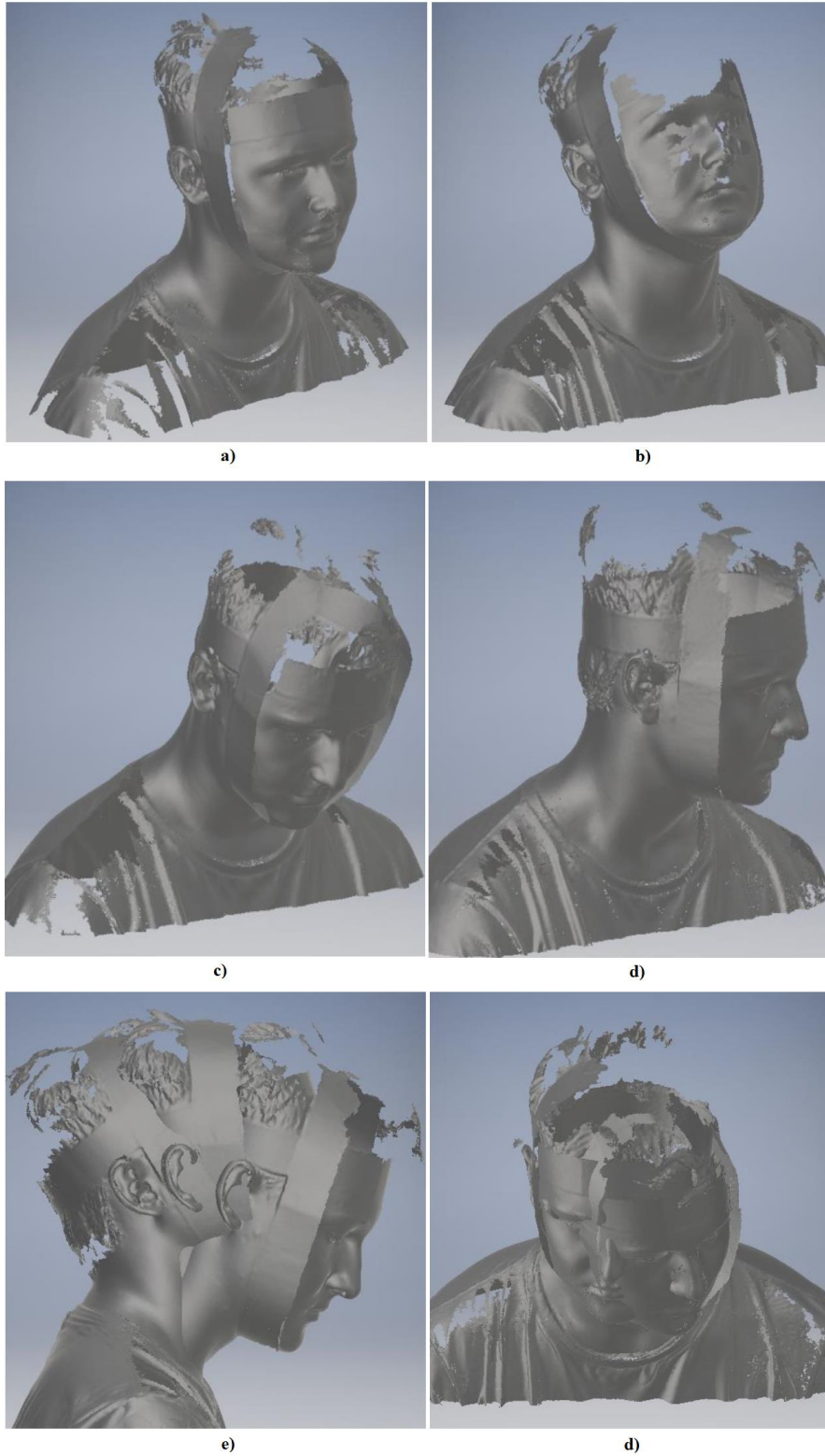
Por meio do escaneamento 3D foi possível ter uma noção de volume e dimensionamento muito superiores do que se fosse desenvolvido um molde a partir de medidas feitas com instrumentos de medição que teriam uma maior fonte de erros e uma precisão menor. Além disso, o escaneamento apresenta muitos detalhes pelo fato dele fazer uma cópia exata do que está sendo escaneado, os quais jamais poderiam ser desenhados sem essa ferramenta. Outra vantagem é de que o molde escaneado pudesse ser aberto no software de desenho Inventor para a modelagem do dispositivo. No software esse formato aparece como uma malha, a qual permite a tomada de pontos de referência e uma clara visualização dos detalhes. Foi feito o escaneamento na posição anatômica, na posição de extensão, na posição de flexão e na posição de rotação. Não foi feito o escaneamento na posição de flexão lateral devido à complexidade

Brazilian Journal of Development

do movimento, tornando inviável fazer um dispositivo capaz de realizar essa função. Esse modelo foi usado como referência na criação do dispositivo, sendo muito usado para verificação do ângulo de movimentação, da localização dos apoios que o dispositivo necessita, do tamanho real das peças em relação à cabeça e de como a estrutura se apresenta em relação ao usuário. Conforme a figura 1 as posições, anatômica, de extensão, flexão e rotação foram obtidas a partir do modelo.

Brazilian Journal of Development

Figura 1 – Modelo de simulação desenvolvido para o processo de atendimento do armazém. a) Posição anatômica; b) Extensão; c) Flexão; d) Rotação; e) Posições de flexão, extensão e anatômica; f) Posições de rotação e anatômica.



Brazilian Journal of Development

Com a estrutura de fixação na cadeira de rodas e na cabeça da pessoa definidas foi necessário definir os ângulos dos movimentos que o dispositivo executará nos movimentos de extensão, flexão e rotação. Esses movimentos apresentam ângulos de movimentação específicos que foram obtidos a partir de estudo bibliográfico. Definiram-se os ângulos de movimento como 30°, pois são suficientes para executar os movimentos, atendem as necessidades do usuário e, por serem inferiores aos ângulos médios, mantêm certa segurança. As malhas escaneadas permitem a visualização da movimentação ao serem representadas no mesmo espaço no Inventor.

O primeiro passo para projetar o dispositivo era definir a sua estruturação e a sua fixação. Estudou-se a possibilidade dele ser fixo na pessoa, porém a força exercida pela estrutura poderia ser prejudicial ao usuário, sendo que seria desconfortável ficar com o dispositivo colado ao corpo. Por conta disso, ficou definido que ele seria fixo na cadeira de rodas. A partir disso, foi feita uma haste vertical que funcionasse como a estrutura principal de fixação. Algumas cadeiras que tem um encosto de cabeça possuem uma estrutura metálica de perfil quadrado (20 x 20 x 1,2 mm). Sendo assim, surgiram duas opções de estruturação, a primeira seria de usar esse mesmo material e, a segunda, de usar tubos cilíndricos de aço inoxidável austenítico 304, que é um material utilizado em equipamentos hospitalares. Foi definido o segundo material, pois mesmo sendo mais caro é um material já utilizado em equipamentos usados por pessoas, tem uma ótima resistência à corrosão, possui um bom acabamento e apresenta propriedades mecânicas satisfatórias, além de ser de fácil limpeza.

Essa haste vertical necessita ter ajuste de altura para regular o dispositivo conforme o usuário. Por esse motivo, foram feitos furos na estrutura igualmente distanciados para ser possível mudar a altura da haste. Essa regulagem seria feita por um parafuso que entraria no furo com a altura desejada. Na outra extremidade foi feito um suporte perpendicular ao eixo do perfil, que serve para fixar a haste horizontal, a qual liga o dispositivo à haste vertical. Sendo assim, foi feito um perfil circular com o diâmetro interno igual ao diâmetro externo da haste horizontal. Nesse suporte que conecta as hastes, há também uma regulagem por parafuso, igual à mencionada anteriormente, para regular a distância entre o dispositivo e a cadeira de rodas.

A haste horizontal é do mesmo perfil que a haste vertical. Em uma extremidade apresenta os furos de regulagem e na outra possui um reforço circular onde tem um furo que tem como propósito conectar o dispositivo à estrutura.

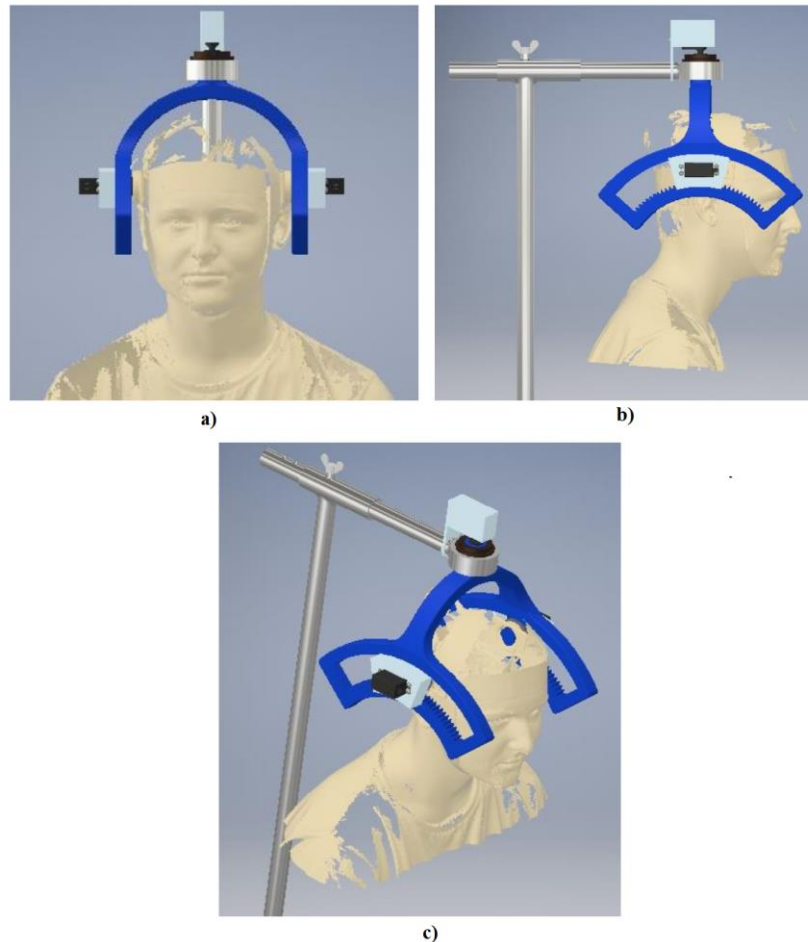
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi possível chegar a um dispositivo eletromecânico, fixado na cadeira de rodas, que suspende a cabeça a mantendo em posição anatômica além de, a partir de servomotores, auxiliar os movimentos de flexão, extensão e rotação. A estrutura conta com duas cremalheiras nas laterais da cabeça, localizadas acima da orelha, que funcionam como o caminho que orientará o movimento de flexão e extensão. Na parte interna, estará localizada uma chapa que terá fitas com velcro para fixar o dispositivo na cabeça. Na parte externa estarão os servomotores que serão responsáveis por gerar o movimento. Entre eles uma roda dentada transmitirá o movimento com 30° na flexão e 30° na extensão. As duas cremalheiras seriam ligadas por um arco que passa por cima da cabeça. No topo desse arco teria um eixo que seria fixado na estrutura responsável pela sustentação. Essa conexão se daria por um mancal e uma bucha. Esse eixo seria ligado a um servo motor para realizar a rotação da cabeça, com uma amplitude de 60° , sendo 30° para cada lado. Na haste horizontal, de sustentação, serão feitos furos com certo espaçamento que servirão para a regulagem da distância entre a estrutura e a cadeira de rodas. Para fixar na distância adequada será colocado um parafuso na haste vertical, sendo que essa terá furos em sua extremidade para a regulagem da altura uma vez que for fixada na cadeira. Ambas as hastes serão de perfis cilíndricos e aço inoxidável austenítico 304, devido a sua aplicação em ambientes hospitalares. O controle dos movimentos seria realizado pela placa Arduino, um microcontrolador de amplo uso no mercado, sendo acionada por botões.

Após todas as peças terem sido moldadas separadamente, realizou-se a montagem dos elementos para que fosse possível ter uma visualização do dispositivo como um todo e para possibilitar as análises de tensões (Fig. 2).

Brazilian Journal of Development

Figura 2 – Modelo virtual do dispositivo. a) Vista frontal do dispositivo; b) Vista lateral do dispositivo; c) Modelo 3D do dispositivo.



A figura 2 a) retrata a vista frontal, a figura 2 b) mostra a vista lateral e a figura 2 c) uma visão de perspectiva do dispositivo. O molde da cabeça, obtido pelo escaneamento, ajuda também na visualização de como ficaria o produto ao ser usado. A ferramenta montagem permitir fixar certas partes e deixar outras móveis. Assim verificou-se que o movimento na engrenagem ocorre como o previsto, assim como o movimento na rótula.

Os elementos tiveram seus coeficientes calculados através do software empregado. A ferramenta de criação da chaveta permite calcular o fator de segurança a partir de dados como velocidade, torque e dados dos materiais utilizados. A ferramenta usada para criar as engrenagens permitiu calcular o coeficiente de segurança para o rompimento dos dentes a partir dos dados de velocidade, torque e dos materiais utilizados. Utilizou-se o valor da tensão de escoamento, 39 MPa, para completar as informações devido à dificuldade de achar os valores requeridos para o plástico ABS.

Brazilian Journal of Development

A engrenagem apresenta como fator de segurança para o rompimento dos dentes, S_f , o valor de 11,165. Já a cremalheira apresenta o valor de 17,316. Ambos os resultados são satisfatórios. A partir da estrutura projetada, foram feitos ensaios de tensão utilizando a ferramenta “análise de tensões” disponibilizada no software Inventor 2018. Essa ferramenta permite selecionar a região desejada da estrutura para a execução da simulação, possibilitando definir pontos de fixação, os contatos e permite localizar a força, dando direção, sentido e intensidade. Além disso é possível definir o nível de refinamento durante o ensaio. A análise pode apresentar diferentes resultados, como tensão Von Mises, alongamento e coeficiente de segurança. Inicialmente foi feita uma análise apenas na estrutura do dispositivo, constituída pela haste vertical e pela horizontal. Depois foi feita uma análise no dispositivo como um todo, nas posições anatômicas, de flexão e extensão, a fim de analisar os esforços sofridos e verificar o coeficiente de segurança dos componentes. Essa análise ainda na projeção do dispositivo permite detectar os possíveis problemas antes da fabricação, poupando material, tempo, mão de obra e dinheiro.

Para a carga, somou-se o peso médio da cabeça de uma pessoa, 50 N, com o peso do dispositivo e uma força adicional que a pessoa poderia exercer, indicada por uma profissional da saúde, chegando ao valor de 100N. Devido à falta de tônus muscular na região cervical, a força que a pessoa pode exercer é bem baixa. Analisando a estrutura, com a carga aplicada no local de junção do dispositivo, obteve-se os seguintes resultados, conforme as figuras 3 a) e 3 b). Para a tensão de Von Mises, o valor máximo encontrado foi de 37,94 MPa. Olhando o coeficiente de segurança, o menor valor encontrado foi de 6,01, sendo que o restante da estrutura apresentou um valor alto, o que indica que a estrutura aguenta os esforços solicitados com o coeficiente mínimo dentro do valor esperado.

Em seguida foi executado o ensaio no dispositivo inteiro, aplicando a carga na posição anatômica. Assim como anteriormente, o objetivo do estudo dessas tensões é verificar como o dispositivo reagirá à força e se a estrutura suportará a demanda. Os valores para a tensão Von Mises estão na figura 3 c) e os valores para o coeficiente de segurança se encontram na figura 3 d).

Dessa maneira foi possível determinar que a tensão Von Mises máxima foi de 40,52 Mpa, entretanto grande parte de estrutura mostra a coloração azul que pode ser uma tensão de 0 a 8,1 Mpa. No coeficiente de segurança temos como valor mínimo 4,95. Esse coeficiente refere-se a uma pequena região interna da engrenagem, sendo que o restante demonstra a

Brazilian Journal of Development

coloração azul, superior a 9. Esse resultado indica que a estrutura está com o coeficiente de segurança mínimo muito próximo do desejado.

Para verificar o comportamento da estrutura durante os movimentos de flexão, a força de 100N foi aplicada na região da cremalheira onde estaria a roda dentada, no ponto máximo de movimento.

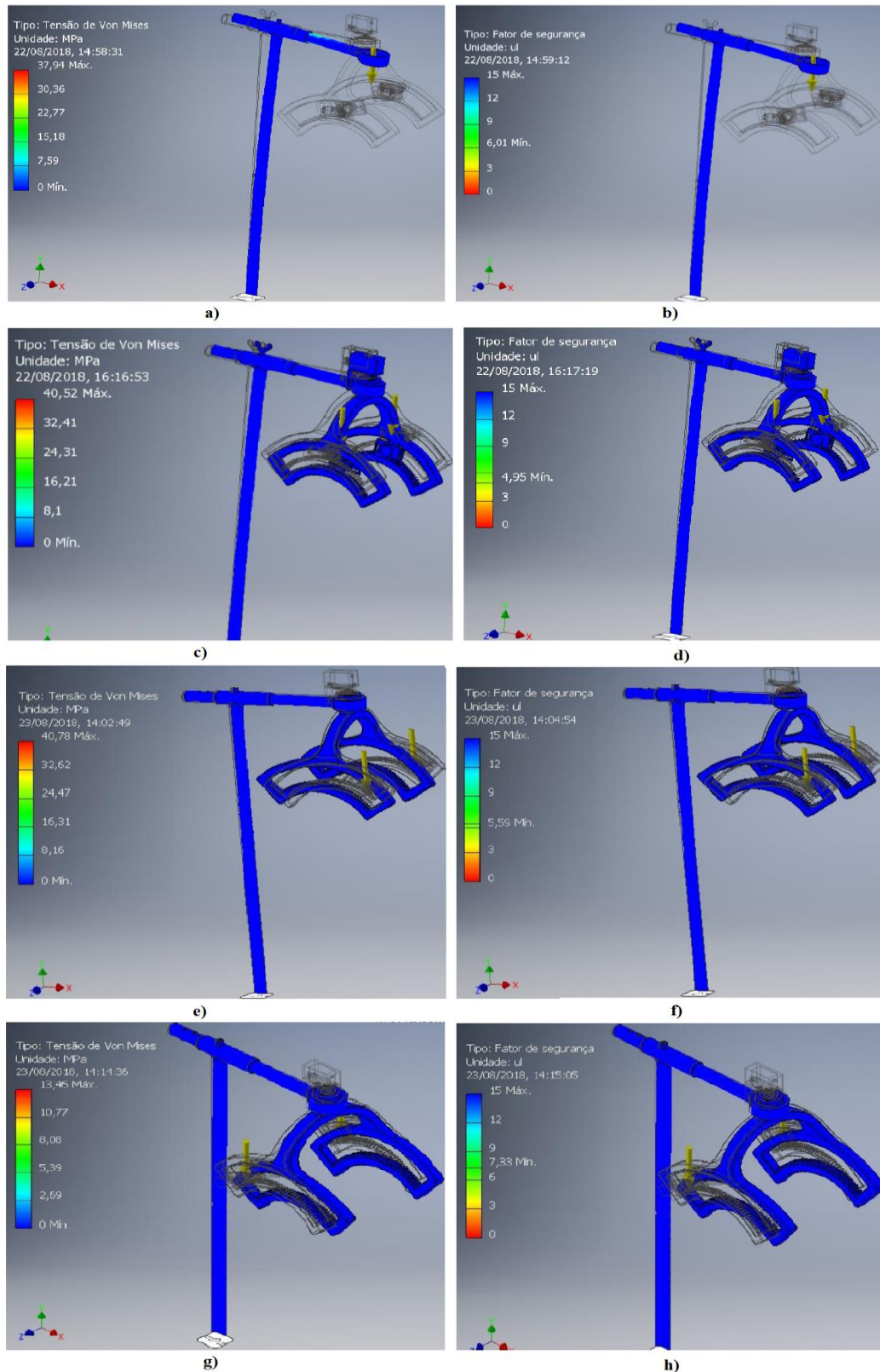
Como resultado verificamos que a tensão Von Mises máxima foi de 40,78 MPa, como mostra a figura 3 e). O coeficiente de segurança mínimo, figura 3 f), obtido no ensaio foi de 5,59.

Assim como no movimento de flexão, o mesmo foi feito para o de extensão, com a carga agora na extremidade oposta, resultando em uma tensão máxima de 13,46 Mpa, como mostra a figura e g).

Nesta mesma região o coeficiente de segurança mínimo, como mostra a figura 3 h), foi de 7,33, demonstrando que a estrutura está acima do coeficiente mínimo definido a partir de cálculo e referências. O restante do dispositivo apresenta um coeficiente de segurança entre 12 e 15, valores bem superiores ao mínimo.

Brazilian Journal of Development

Figura 3 – Análise de Tensões. a) Tensão de Von Mises para a estrutura; b) Coeficiente de segurança para a estrutura; c) Tensão de Von Mises para a cremalheira; d) Coeficiente de segurança para a cremalheira; e) Tensão Von Mises na cremalheira 2ª parte; f) Coeficiente de segurança na cremalheira, 2ª parte; g) Tensão Von Mises na estrutura, 2ª parte; h) Coeficiente de segurança na estrutura, 2ª parte



Brazilian Journal of Development

5. CONCLUSÃO

Com o estudo apresentado foi possível projetar e testar um protótipo virtual que permite e possibilita controlar os movimentos de flexão, extensão e rotação da cabeça de uma pessoa com paralisia cerebral espástica. Analisando o dispositivo virtualmente, pode-se dizer que foi verificada a hipótese do projeto, porém é necessária a verificação com o teste físico do produto. Portanto, é possível sim desenvolver um dispositivo eletromecânico que proporciona a estabilização da cabeça na posição anatômica e auxilia a cinemática dos movimentos de flexão, extensão e rotação desta de forma segura e ergonômica.

Para a próxima etapa do projeto, é preciso fazer a programação do micro controlador Arduino, o qual funcionará como peça chave na movimentação, pois possibilitará controlar os servo motores. Após isso, o dispositivo passará por um processo de refinamento para retirada de material onde for necessário, reduzindo o custo do produto. Assim que terminado o refinamento do dispositivo, será possível dar início ao processo de fabricação das peças. Com as peças prontas, será feita a montagem do produto e começarão os testes físicos. Por fim será possível fazer os testes de eficiência do dispositivo e avaliar a sua vida útil.

AGRADECIMENTOS

Este estudo faz parte dos Projetos Integradores Disciplinares (PID) de um grupo de pesquisadores, professores e estudantes de mecânica da Fundação Escola Técnica Liberato de Salzano Vieira da Cunha (<http://www.liberato.com.br/>) de Novo Hamburgo, Brasil. O grupo de pesquisa não recebeu nenhum financiamento para apoiá-lo.

REFERÊNCIAS

ACRILONITRILA, butadieno estireno (ABS). Adiplast Aditivos e Termoplásticos Ltda. 18 jul. 2018. Disponível em: <http://www.adiplast.ind.br/news_abs.php>. Acesso em: 18 jul. 2018.

AMARAL, Francisco Armond do. Ergonomia. Universidade Estadual do Maranhão. S.d. Disponível em: <<http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2009/09/o-que-e-ergonomia1.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

ARDUINO. What is Arduino?. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>>. Acesso em: 30 maio 2018.

Brazilian Journal of Development

FELICE, Thais Duarte; ISHIZUKA, Raphaela Oliveira Ramos; AMARILHA, Jacques Denis. Eletroestimulação e Crioterapia para espasticidade em pacientes acometidos por Acidente Vascular Cerebral. *Revista Neurociências*, Dourados, n, p. 77-84, 2011. Disponível em: <<http://revistaneurociencias.com.br/edicoes/2011/RN1901/relato%20de%20caso/385%20relato%20de%20caso.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

FLOYD, R. T. *Manual de Cinesiologia Estrutural*. 16 ed. Barueri, SP: Manole, 2011.

FRAZÃO, Arthur. O que é paralisia cerebral e seus tipos. *Tua Saúde*. 2017. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/paralisia-cerebral/>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

GARCIA, Gabriel. Inclinando o pescoço para olhar celular afeta coluna, diz estudo. *Exame*. 24 nov. 2014. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/inclinar-pescoco-para-olhar-celular-afeta-coluna-diz-estudo/>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

GIATTI, Fernando. Flexão do pescoço-Reflexão biométrica. *Linked in*. 31 de out. 2017. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/flex%C3%A3o-de-pesco%C3%A7o-reflex%C3%A3o-biomec%C3%A2nica-fernando-giatti>>. Acesso em: 23 de abr. 2018

HAY, James G. e REID, J. Gavin. *As Bases Anatômicas e Mecânicas do Movimento Humano*. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1985.

HEADPOD. Headpod keeps your head up. 2018. Disponível em: <<http://www.headpod.com/?lang=en>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

MARINO, Lucia. Gestão da qualidade e gestão do conhecimento: fatores-chave para produtividade e competitividade empresarial. In: XIII SIMPEP, Novembro, 2006, Bauru. *Anais[...] Bauru*, 2006.

MELO, Joseana Vinhote; FERREIRA, Juliana da Silva; JUSTA, Marcelo Augusto Oliveira da. Modelagem e simulação com o Arena para reduzir filas em um restaurante self service. *Gestão Industrial*, vol. 13, no. 2, p. 145–159, 2017.

MOURA, Luciano Raizer. *Gestão do relacionamento com fornecedores: Análise da eficácia de programa para desenvolvimento e qualificação de fornecedores para grandes empresas*. São Paulo, 2009. Tese (Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

ÖREN, Tuncer. Future of Modelling and Simulation: Some Development Areas. In: SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE. 2002, San Diego, *Anais[...]*. San Diego, 2002.

SCARP, Luiz Paulo da Cruz; TORRES, Álvaro Augusto Viana Braga; SILVA, Alexandre Navarro da. SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO DO PROCESSO DE ATENDIMENTO EM EMPRESA DE VAREJO. *RACE*, v. 12, n. 2, p. 395-430, 2013.

SILVA, A.K.; BOTTER, R.C. Method for assessing and selecting discrete event simulation software applied to the analysis of logistic systems. *Journal of Simulation*. vol.3, no.2, p.95-106, 2009.

Brazilian Journal of Development

SILVA, Tiago Galdino Borges da; SILVA, Vitor Hugo Nepomuceno; SILVA, Carlos Rodrigues da. Teoria das filas: um estudo de caso no setor de supermercados. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO. 2016, Natal, Anais[...]. Natal, 2016.

SOARES, Máisa Nascimento et al. Estudo de simulação para a minimização das filas em uma agência dos Correios do município de Viçosa. In: IV SIMPÓSIO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2008, Viçosa, Anais[...]. Viçosa, 2008.

VISINTIN, Filippo; PORCELLI, Isabella; GHINI, Andrea. Applying discrete event simulation to the design of a service delivery system in the aerospace industry: a case study. In: IFAC SYMPOSIUM ON INFORMATION CONTROL PROBLEMS IN MANUFACTURING, 14. 2012, Bucharest, Anais[...]. Bucharest, 2012.