



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESPAÇO DE TRABALHO DE UM ROBÔ GUIADO POR CABOS PARA USO FISIOTERAPÊUTICO

Alexandre Campos, alexandre.campos@udesc.br¹

Antônio Neves, antonioarthur@hotmail.com²

Yuri Moratelli, yuri.moratelli@hotmail.com¹

Rudimar Luis Scaranto Dazzi, rudimar@univali.br²

¹Universidade do Estado de Santa Catarina, Rua Paulo Malschitzki, 200 - Joinville - SC - CEP: 89.219-710

²Univali, R. Uruguai, 458 - Itajaí - SC, 88302-202

Código do resumo: CON-2016-0458

Resumo: O propósito deste artigo é, apresentar o espaço de trabalho de um manipular paralelo atuado por cabos, capaz de realizar exercícios de fisioterapia em pacientes que encontram-se acamados. Estes pacientes, principalmente os que estão sob cuidados de terapia intensiva, tendem a perder massa muscular e assim por decorrência há uma diminuição da força, tônus e funcionalidades motoras podendo até apresentar sequelas irreversíveis, para que este quadro seja prevenido os pacientes recebem cuidados de profissionais de fisioterapia que realizam uma série de exercícios passivos e ativos. Estes exercícios tratam-se geralmente de movimentos que exigem esforço físico do fisioterapeuta e que se repetem por muitas vezes ao longo de um atendimento e ademais, o profissional realiza muitos atendimentos em cada turno de trabalho. Visando aprimorar este atendimento fisioterapêutico ao paciente acamado e melhorar as condições de trabalho auxiliando os fisioterapeutas temos o objetivo deste trabalho, projetar o espaço de trabalho de um manipulador robótico que realize esses exercícios.

Palavras-chave: Robô paralelo, Equipamento Assistivo, Robô guiado por cabos, Simulação.

1. INTRODUÇÃO

Pacientes acamados principalmente em unidades de terapia intensiva sofrem de grande perda de massa magra, estudos apontam que nos primeiros 7 dias de terapia intensiva a perda de massa muscular está em torno de 7,2% (Hodgson *et al.* 2013) o que pode acarretar em menores chances de recuperação total do paciente.

A fisioterapia de pacientes acamados é uma prática componente da rotina de tratamento das UTIs ao redor do mundo porém não está padronizada entre as instituições e muito menos entre os países (Hodgson *et al.* 2013). A falta de estudos conclusivos a respeito da eficácia, risco a que expõe os pacientes e custos devido ao grande número de funcionários qualificados necessários para realizar o tratamento são as principais causas da falta de uma norma a respeito de como proceder com a fisioterapia de pacientes de UTI (Needham *et al.* 2009).

Em se tratando das formas existentes de exercícios para pacientes acamados podemos dividi-las a grosso modo em terapias ativas onde é necessária a colaboração do paciente para a realização do movimento e passivas onde o paciente é apenas movimentado pelo profissional da saúde que o está atendendo, conforme figura (1).

Neste artigo nos atentaremos apenas a parte passiva dos exercícios e como pode ser beneficiada com o uso da engenharia para o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem a reduzir o número necessário de profissionais da saúde para cuidar de cada paciente assim, possivelmente reduzindo os custos do tratamento (Needham *et al.* 2009), aumentar a precisão dos exercícios (com relação ao tempo e a posição) (Tobias Bruckmann and Schramm 2008; Gonçalves and Carvalho 2010) e removendo uma das barreiras para a implementação de uma padronização nos tratamentos com fisioterapia passiva em todo o mundo. A figura (2) exhibe um exemplo de fisioterapia mecanizada.

Aristóteles no século IV AC disse "se os instrumentos pudessem realizar suas próprias tarefas, obedecendo ou antecipando o desejo das pessoas..." como uma previsão do futuro onde máquinas realizam tarefas para o homem. Robôs são essencialmente máquinas capazes de realizar os mais diversos movimentos programados, adaptando-se as necessidades operacionais de determinadas tarefas (Romano and Dutra 2002).



Figura 1: Fisioterapia tradicional.



Figura 2: Fisioterapia mecanizada.

A palavra robô foi utilizada pela primeira vez em 1921 por Karen Capek um dramaturgo checo, robô é um termo oriundo da palavra "robota" que significa em tradução livre do eslavo "trabalho forçado". Na década de 40, Isaac Asimov determinou um conjunto de normas éticas a serem seguidas por máquinas autônomas e designou o termo "robótica" como a ciência que estuda a criação de robôs (Romano and Dutra 2002). A figura (3) compara dois mecanismos do tipo plataforma de Stewart, a esquerda um robô paralelo tradicional e a direita um acionado por cabos (Tobias Bruckmann and Schramm 2008).

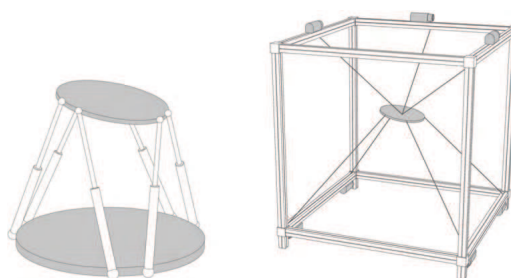


Figura 3: Comparação entre robôs paralelos.

Os robôs guiados por cabos apresentam vantagens com relação aos robôs paralelos tradicionais devido ao seu peso e custo reduzido. Ainda assim alguns cuidados devem ser considerados na modelagem e avaliação destes mecanismos pois, devido a necessidade de tração constante em cada um dos seus cabos, devido a que os manipuladores paralelos movidos por cabos herdam a desvantagem dos robôs paralelos de possuir espaço de trabalho reduzido com um agravante: os cabos só podem ser tensionados. Desta forma o espaço de trabalho é restrito também pela presença de força (tração) nos cabos. Este fato de tração permanente altera o espaço de trabalho do robô diminuindo a sua capacidade de manipulabilidade. Este trabalho de pesquisa procura estabelecer modelos matemáticos confiáveis para a cinemática de robôs guiados por cabos para a sua avaliação e simulação computacional através de softwares de engenharia.

Tendo explicitado resumidamente os conceitos de fisioterapia passiva e de robôs deixa-se claro que o objetivo deste artigo é analisar a viabilidade de criação de uma máquina capaz de realizar fisioterapia passiva em pacientes acamados.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Necessidade de Desenvolvimento de Tecnologia Para Realização de Fisioterapia Passiva

A literatura científica mostra os riscos a saúde de pacientes que passam por períodos prolongados de imobilização. A principal complicação enfrentada por esses pacientes são problemas neuromusculares como por exemplo a fraqueza muscular adquirida em UTI. Apesar da ausência de estudos conclusivos sobre o tema as pesquisas realizadas até o momento indicam que a introdução da fisioterapia o quanto logo as condições fisiológicas do paciente permitam é fundamental para minimizar os efeitos da imobilização prolongada e incrementar as chances de uma recuperação total ou pelo menos funcional do paciente (Hodgson *et al.* 2013; Needham *et al.* 2009).

A fisioterapia é um dos componentes do atendimento multidisciplinar que os pacientes de UTI recebem, sua atuação é extensa e se faz presente em vários segmentos do tratamento dos pacientes acamados, por exemplo o suporte ventilatório, a reabilitação respiratória, a manutenção da força muscular e a recuperação das capacidades musculares bem como a manutenção da seção transversal dos músculos de pacientes sobre prolongada imobilização (Hodgson *et al.* 2013; Jerre *et al.* 2007).

O desenvolvimento de tecnologias que reduzam a imobilidade prolongada dos pacientes críticos pode minimizar as complicações neuromusculares, bem como equipamentos que auxiliem na realização dos exercícios tanto passivos quanto ativos de uma seção de fisioterapia podem melhorar as perspectivas de melhora dos pacientes (Needham *et al.* 2009).

As estruturas robóticas atuadas por cabos são capazes de realizar numerosos movimentos repetitivos e em amplitudes variadas o que faz desta tecnologia muito interessante para a realização de fisioterapia em pacientes acamados como foi observado por Gonçalves and Carvalho (2010), em seu trabalho "Desenvolvimento de uma estrutura robótica paralela atuada por cabos para reabilitação dos movimentos do ombro"(veja Fig.4).

No processo de reabilitação as estruturas robóticas podem atuar na coadjuvação e apoio das diferentes ações médicas-cirúrgicas; facilitação e estímulo dos processos de recuperação e regeneração natural; e finalmente o estímulo, maximização e compensação das capacidades residuais. Estas etapas do processo muitas vezes envolvem movimentos repetitivos que devem ser executados diversas vezes em varias amplitudes.

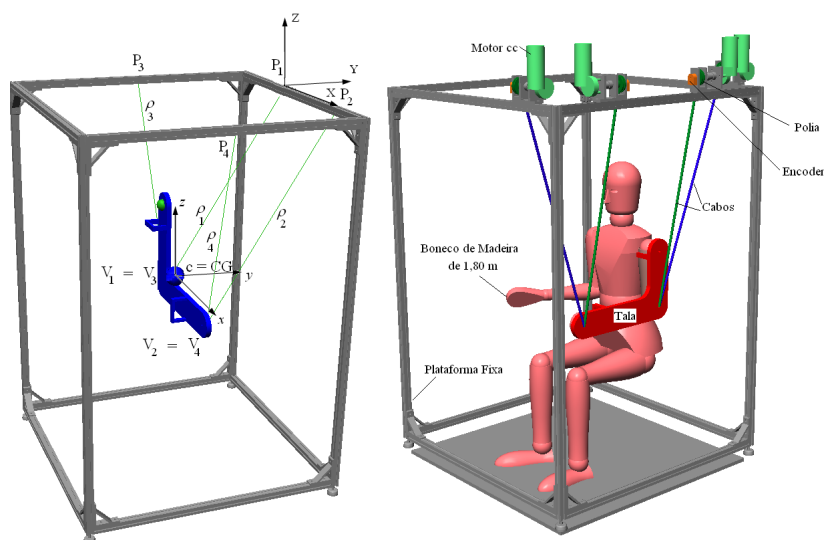


Figura 4: **Dispositivo robótico atuado por cabos para fisioterapia do ombro (Gonçalves and Carvalho 2010).**

A configuração de robôs paralelos se dá na forma de uma cadeia cinemática fechada onde seus segmentos se unem simultaneamente a base e ao elemento terminal. Sendo que, em várias formas construtivas, os acionadores podem ser instalados em uma base fixa. Tornando o robô mais leve e sem componentes de transmissão mecânica como correntes, correias, eixos e outros (Gonçalves and Carvalho 2010).

Robôs paralelos entretanto possuem uma desvantagem, um espaço de trabalho limitado em virtude do curso limitado dos atuadores e a possibilidade de colisão entre os segmentos (Bruckmann 2013; Gonçalves and Carvalho 2010).

A diferenciação entre um robô paralelo atuado por cabos e um robô paralelo ou serial consiste na forma como o manipulador é acionado como foi observado por Gonçalves and Carvalho (2010).

Estruturas robóticas paralelas atuadas por cabos são sistemas robóticos compostos por uma plataforma fixa e um elemento terminal ligados por múltiplos cabos que podem se estender ou retrair. A principal diferença entre os manipuladores paralelos atuados por cabos e os robôs seriais e paralelos clássicos é que o elemento terminal é operado em paralelo por vários cabos os quais o conectam. Eles podem ser atuados por muitos tipos de motores e diferentes arranjos geométricos. Uma estrutura robótica paralela atuada por cabos pode

mover o elemento terminal pela mudança de comprimento dos cabos enquanto previne-se que qualquer cabo torne-se frouxo. Desta forma a plataforma móvel pode apenas puxar o elemento terminal, mas não empurrá-lo. Além disso, a tensão deve ser limitada para evitar forças excessivas o que podem causar deformações ou falhas nos cabos (Hiller, 2009).

A cinemática de mecanismos paralelos guiados por cabos é um campo de profundo interesse dos estudiosos de robótica desde o primeiro projeto de uma máquina deste tipo, os robôs paralelos guiados por cabos tem um grande potencial para desenvolver altas velocidades de trabalho porém tais velocidades necessitam de um profundo conhecimento da dinâmica dos sistemas mecânicos (Bruckmann 2013; Tobias Bruckmann and Schramm 2008).

O estado da arte atual para utilização de robôs em processos de reabilitação e tratamento através de fisioterapia encontra-se em franco desenvolvimento porém, há espaço para a realização de estudos sobre robôs atuados por cabos realizando reabilitação de membros inferiores, apenas notou-se na bibliografia selecionada até o momento publicações acadêmicas referentes a robôs para realização de fisioterapia respiratória ou fisioterapia de membros superiores com notoriedade o trabalho realizado na Universidade Federal de Uberlândia pelos acadêmicos Gonçalves and Carvalho (2010). Trabalho extremamente interessante para o desenvolvimento de um estudo sobre reabilitação e tratamento físico em pacientes acamados utilizando-se da robótica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Cinemática Direta

Cinemática direta é quando definimos o comportamento dinâmico das articulações de um robô para definir a posição final do efetuador, o principal objetivo da cinemática direta é de computar a posição do efetuador (end-effector) como uma função de todas as variáveis das juntas.

3.2 Cinemática Inversa

De forma inversa a cinemática direta, a cinemática inversa é quando já sabemos onde queremos que o efetuador esteja e a partir desta posição conhecida do efetuador (end-effector), definimos o comportamento dinâmico das articulações como observado por Siciliano, Sciavicco, Villani and Oriolo (2010), o problema da cinemática inversa trata-se de determinar as variáveis das juntas de forma correspondente a uma dada posição e orientação do efetuador. A solução deste problema é de fundamental importância para transformar os movimentos designados do efetuador para os movimentos correspondentes das articulações.

3.3 Classificação dos Robôs Guiados por Cabos

Esta seção tem por intuito trazer uma breve introdução aos princípios teóricos e conceitos iniciais do estudo dos manipuladores guiados por cabos, suas utilizações e seu projeto. Primeiramente introduzimos a classificação dos robôs atuados por cabos quanto ao número de cabos. Também discutiremos problemas como as colisões entre cabos.

Quanto a classificação, pode-se classificar os robôs paralelos acionados por cabos de duas maneiras: pela redundância cinemática ou pela diferença entre os números de cabos e a quantidade de graus de liberdade do manipulador. Seguindo estas linhas encontra-se a melhor maneira de tratar os problemas desses tipos de manipuladores (TRAVI 2009).

3.3.1 As Três Classificações Possíveis Com Base na Redundância:

1) Manipuladores incompletos de cinemática restrita:

Neste caso, o número de cabos, m , é inferior ao número de graus de liberdade, n , da plataforma, ou seja, $m < n$, conforme ilustrado na figura (5). A posição da plataforma não está completamente especificada cinematicamente pelos comprimentos dos cabos, estando seu posicionamento condicionado às forças da gravidade. Isso permite a obtenção de diversas respostas de posição, porque nesta configuração, com o mesmo comprimento de cabos pode-se encontrar mais de uma possível solução. Os problemas tratados no plano são bem mais simples que os espaciais (TRAVI 2009).

2) Manipuladores completos de cinemática restrita:

Neste tipo de manipuladores, o número de graus de liberdade é igual ao número de cabos: $m = n$, como expressa a figura (6). A posição do manipulador é determinada pelo comprimento dos cabos. Porém cabos não são capazes de empurrar objetos, eles apenas os puxam então necessitamos de uma condição adicional para posicionar o manipulador.

3) Manipuladores atuados redundantemente:

Esse tipo de robôs conta com uma quantidade de cabos maior ou igual a $n+1$ vezes o número de graus de liberdade: $m \geq n+1$. Observe a figura (7). Este tipo de manipular tem atuação redundante, ou seja, a posição do manipulador é totalmente determinada pelo comprimento dos cabos assim, não necessitamos adicionar condições dinâmicas (BEDOUSTANI 2013).



Figura 5: Manipuladores incompletos de cinemática restrita (TRAVI 2009).



Figura 6: Manipuladores completos de cinemática restrita (TRAVI 2009).



Figura 7: Manipuladores atuados redundantemente (TRAVI 2009).

Segundo TRAVI (2009) Um sistema com maior redundância pode melhorar a manipulabilidade devido à geometria mais vantajosa. Além disso, a redundância também aumenta a segurança contra a ruptura dos cabos, o que é de fundamental importância para aplicações onde a plataforma de Stewart acionada por cabos for utilizada em transporte humano. A desvantagem deste tipo de manipulador é a possível colisão entre os cabos.

4. IMPLEMENTAÇÃO

4.1 Definição dos Sistemas de Referência e Critérios de Denavit-Hartenberg (DH)

Para a determinação dos sistemas de referência das articulações da perna do paciente, utiliza-se as notações definidas por Denavit and Hartenberg (1955), que é uma convenção utilizada para a definição dos sistemas de referência das juntas de um robô serial com a finalidade de reduzir o número de variáveis e assim facilitar o cálculo das orientações e posições dos links que, neste caso, tratam-se da perna do paciente.

A articulação de adução e abdução do fêmur é tratada como a junta 01, a articulação de extensão e contração do fêmur

é a junta 02 e por fim, o joelho do paciente é a junta 03. A partir da cinemática direta da perna do paciente (robô serial) define-se através da cinemática inversa as posições e trajetórias dos dois efetadores do robô paralelo, através da variação do comprimento dos três cabos que ligam os atuadores mecânicos a cada um dos efetadores (argolas). Os efetadores do robô paralelo serão posicionados sobre o joelho e tornozelo do paciente. Optou-se pela utilização de dois efetadores para garantir que o paciente não realize movimentos involuntários indesejáveis tanto de adução quanto de abdução do fêmur. A representação esquemática do robô antropomórfico utilizado para estabelecer os critérios de DH pode ser observado na figura (8).

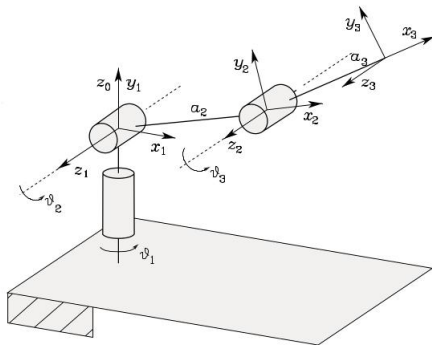


Figura 8: Representação da perna do paciente como um robô serial antropomórfico de três GDL (Siciliano *et al.* 2010).

Após a determinação dos sistemas de referência coleta-se os parâmetros de DH para cada um dos links da perna do paciente (robô serial). estes parâmetros são " α " que denota o twist do link, " a " que é o seu comprimento, " d " que é o offset do link e " θ " que é ângulo entre links. A tabela (1) traz os valores dos parâmetros de DH coletados.

Tabela 1: Parâmetros de Denavit-Hartenberg (DH).

DH	a	α	d	θ
1	0	90	0	θ_1
2	Fêmur	0	0	θ_2
3	Tíbia	0	0	θ_3

4.2 Matriz de Transformação Homogênea

De posse dos quatro parâmetros de cada link da perna do paciente (robô serial), prossegue-se com a criação das matrizes de transformação entre os sistemas de coordenadas de cada junta. Obtém-se três Matriz de Transformação entre o sistema 1 e 0, 2 e 1, 3 e 2 respectivamente, estas matrizes são multiplicadas na ordem apresentada para a obtenção da Matriz de Transformação Homogênea geral do robô serial (TH). Esta será utilizada na determinação da cinemática direta do robô. A tabela (2) é a Matriz de Transformação Homogênea do 3º sistema de referência para o sistema original da base.

Tabela 2: Matriz de Transformação Homogênea de 3 para 0.

$\cos\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3)$	$-\cos\theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3)$	$\sin\theta_1$	$L_t \cos\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_f \cos\theta_1 \cos\theta_2$
$\sin\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3)$	$-\sin\theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3)$	$-\cos\theta_1$	$L_t \sin\theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_f \sin\theta_1 \cos\theta_2$
$\sin(\theta_2 + \theta_3)$	$\cos(\theta_2 + \theta_3)$	0	$L_t \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_f \sin\theta_2$
0	0	0	1

onde L_f e L_t são os comprimentos do fêmur e da tíbia respectivamente.

Como se pode observar, a matriz de TH é função dos ângulos das juntas do robô então, podemos considerá-la a função de cinemática direta do robô $TH(q)$ onde $q = [\theta_1, \theta_2, \theta_3]$, esta matriz é capaz de determinar a posição do efetador em função dos ângulos de junta fornecidos (Siciliano *et al.* 2010).

4.3 Matriz Jacobiana Geométrica

A matriz Jacobiana Geométrica é uma matriz onde seus elementos são compostos pelas derivadas parciais das equações da cinemática direta em relação às variáveis de junta, o cálculo do Jacobiano da perna do paciente foi realizado para facilitar na realização da cinemática inversa e posteriormente possibilitar a plotagem de trajetórias do robô em modelos de simulação computacional no SCILAB. A tabela (3) é o Jacobiano da perna do paciente, o nosso robô serial.

Tabela 3: **Matriz Jacobiana Geométrica.**

$-S\theta_1*(Lf*C\theta_2+Lt*C(\theta_2+\theta_3))$	$-C\theta_1*(Lf*C\theta_2+Lt*C(\theta_2+\theta_3))$	$-Lt*C\theta_1*S(\theta_2+\theta_3)$
$C\theta_1*(Lf*C\theta_2+Lt*C(\theta_2+\theta_3))$	$S\theta_1*(Lf*C\theta_2+Lt*C(\theta_2+\theta_3))$	$Lt*S\theta_1*S(\theta_2+\theta_3)$
0	$Lf*C\theta_2+Lt*C(\theta_2+\theta_3)$	$Lt*C(\theta_2+\theta_3)$
0	$S\theta_1$	$S\theta_1$
0	$-C\theta_1$	$-C\theta_1$
1	0	0

A Matriz Jacobiana Geométrica é uma ferramenta poderosa que pode ser utilizada para calcular a velocidade linear, velocidade angular e o torque sobre o manipulador serial (Siciliano *et al.* 2010).

5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO ROBÔ PARALELO

O robô paralelo, trata-se de uma armação retangular de 2100mm por 1000mm fixada sobre a cama hospitalar, o sistema de referência (sistema da base) para o robô, situa-se na origem da articulação de adução/abdução do fêmur. A paciente deve ser posicionado com o eixo de atuação da articulação de adução/abdução do fêmur da perna a ser tratada, sob o centro do quadro do manipulador paralelo. Nas longarinas do quadro existem dois pares de motores, um a direita e outro a esquerda, Um par ligado ao efetuator do joelho e o outro ao efetuator do tornozelo. As posições das saídas dos cabos em relação ao sistema de referências estão em: $Scabo1=(-0.05i, -0.5j, 1.6k)m$; $Scabo2=(-0.05i, 0.5j, 1.6k)m$ para o joelho e $Scabo4=(0.05i, -0.5j, 1.6k)m$; $Scabo5=(0.05i, 0.5j, 1.6k)m$ para o tornozelo.

Nas barras transversais da armação existem dois motores, um em cada extremidade (cabeceira e pés da cama) onde, o motor da cabeceira será ligado ao efetuator do joelho e o motor próximo aos pés do paciente será ligado ao efetuator do tornozelo as saídas dos cabos em relação ao sistema de referências estão em: $Scabo3=(-1.05i, 0j, 1.6k)m$ para o joelho e $Scabo6=(1.05i, 0j, 1.6k)m$ para o tornozelo. A figura (9) ilustra a forma construtiva do mecanismo, a qual é de vital importância para a concepção da cinemática inversa.

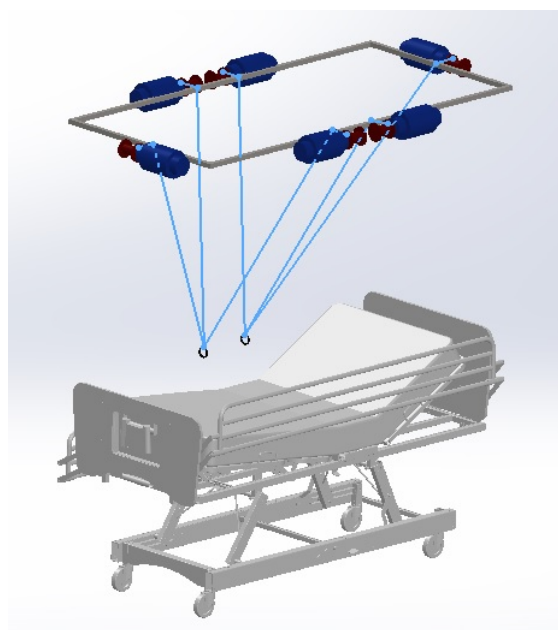


Figura 9: **Representação do manipulador atuado por cabos.**

6. CINEMÁTICA INVERSA DO ROBÔ PARALELO

Nesta seção descreve-se a cinemática inversa do manipulador paralelo guiado por cabos que realiza a fisioterapia dos membros inferiores de pacientes acamados. Após determinada a posição desejada dos efetuares como uma função dos inputs fornecidos pelo profissional de fisioterapia, necessita-se determinar o comprimento de cada um dos cabos do manipulador paralelo para atingir aquela posição específica do efetuares no espaço.

Como o modelo proposto consiste de um conjunto de dois manipuladores paralelos de três graus de liberdade cada, contamos com um total de seis motores e seis cabos que, precisam estar em comprimentos específicos em um determinado instante de tempo para que os efetuares estejam nas posições desejadas para este instante (Zhang and Shang 2016). O sistema de referência do atuador é o da base O, X, Y, Z que como mencionado anteriormente, encontra-se na origem da articulação de adução/abdução do fêmur da perna a ser tratada. Os vetores dos cabos são denominados de $L1$, $L2$, $L3$,

$L4, L5, L6$. E a posição das saídas dos cabos, já tratadas anteriormente são denominadas de $Scabo1, Scabo2, Scabo3, Scabo4, Scabo5, Scabo6$ que encontram-se no plano horizontal e não são colineares. Os cabos partem de suas respectivas saídas e conectam-se os três primeiros ao efetuator do joelho e os restantes ao efetuator do tornozelo. Nos cálculos denominaremos as posições dos efetutores como P1 para o joelho e P2 para o tornozelo. Com isto podemos escrever a equação da cinemática inversa do manipulador paralelo.

Para: $i = 1, 2$ e 3

$$L_i = ||P_1 - Scabo_i|| \quad (1)$$

Para: $i = 4, 5$ e 6

$$L_i = ||P_2 - Scabo_i|| \quad (2)$$

Para os comprimentos de todos os cabos:

$$|L_i| = \sqrt{L_{iX}^2 + L_{iY}^2 + L_{iZ}^2} \quad (3)$$

O programa de simulação foi escrito de forma que o profissional da saúde irá medir o fêmur e a tíbia do paciente e então alimentar o programa com estes dados, o software irá solicitar cada um dos ângulos necessários para a realização do exercício e descreverá na tela do computador o desenho do espaço de trabalho do robô serial, a sua representação gráfica. O código foi concebido para que o robô paralelo descreva a trajetória desejada pelo fisioterapeuta que irá inserir as velocidades do movimento e o programa plotará a trajetória do robô serial em função do paralelo. Observe a figura (10) que ilustra uma vista lateral do funcionamento do manipulador paralelo realizando uma trajetória com a perna do paciente, representada pelos dois segmentos de reta sobre o eixo horizontal no primeiro quadro.

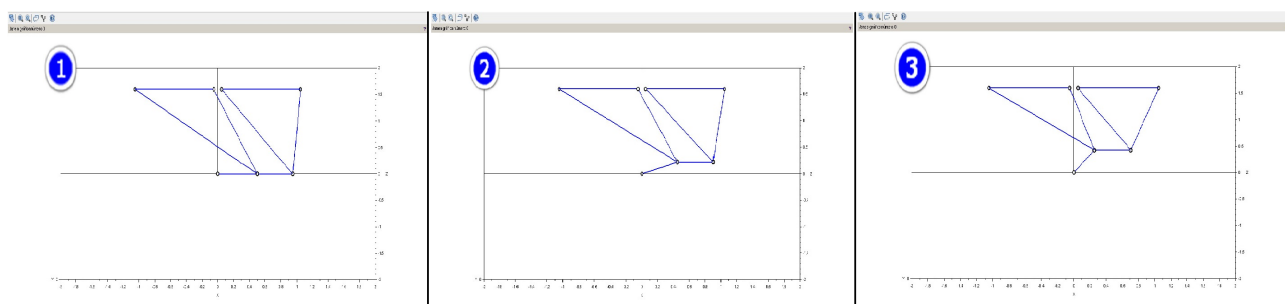


Figura 10: Representação da trajetória da perna do paciente sendo exercitada pelo manipulador paralelo.

O espaço de trabalho do robô paralelo atuado por cabos para uma perna, está representado pelos pontos vermelhos na figura (11), que é o gráfico das máximas amplitudes que a perna humana média é capaz de atingir. Existem quatro posições do conjunto na imagem $\theta_2 = -30^\circ$ e $\theta_3 = -135^\circ$ para a posição inicial, $\theta_2 = 0$ e $\theta_3 = 0$ para a posição 02, $\theta_2 = 120^\circ$ e $\theta_3 = -135^\circ$ para a posição 03 e $\theta_2 = 120^\circ$ e $\theta_3 = 0^\circ$ para a posição final do conjunto.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de uma estrutura robótica de auxílio aos profissionais de fisioterapia que atendem as UTIs é justificado pelo elevado número de pacientes que devem ser atendidos em um curto espaço de tempo e por uma equipe geralmente insuficiente, além disso o acréscimo das probabilidades de recuperação plena do paciente por si só já justifica a execução de projetos de melhoria deste setor.

Como a série de movimentos, duração e amplitude poderão ser programados pelo profissional, ele fica livre de realizar os movimentos repetitivos e tediosos, podendo assim, dedicar-se plenamente ao monitoramento do progresso do quadro de seus pacientes para ajustar os exercícios. Sem sofrer o desgaste físico provocado pelo esforço, a qualidade do ambiente de trabalho do fisioterapeuta também será beneficiada pela implementação de um dispositivo robótico paralelo que realize os movimentos passivos dos membros inferiores. Por fim, a capacidade de um único profissional atender mais de um paciente simultaneamente é o que torna importante a ideia de uma máquina capaz de realizar esse tipo de tratamentos. Observe a figura (12) que demonstra o manipulador paralelo atuado por cabos realizando um exercício em um manequim ergonômico.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Apoio de Tecnologia Assistiva 3100 do Edital Tecnologia Assistiva no.59/2014 pelo suporte.

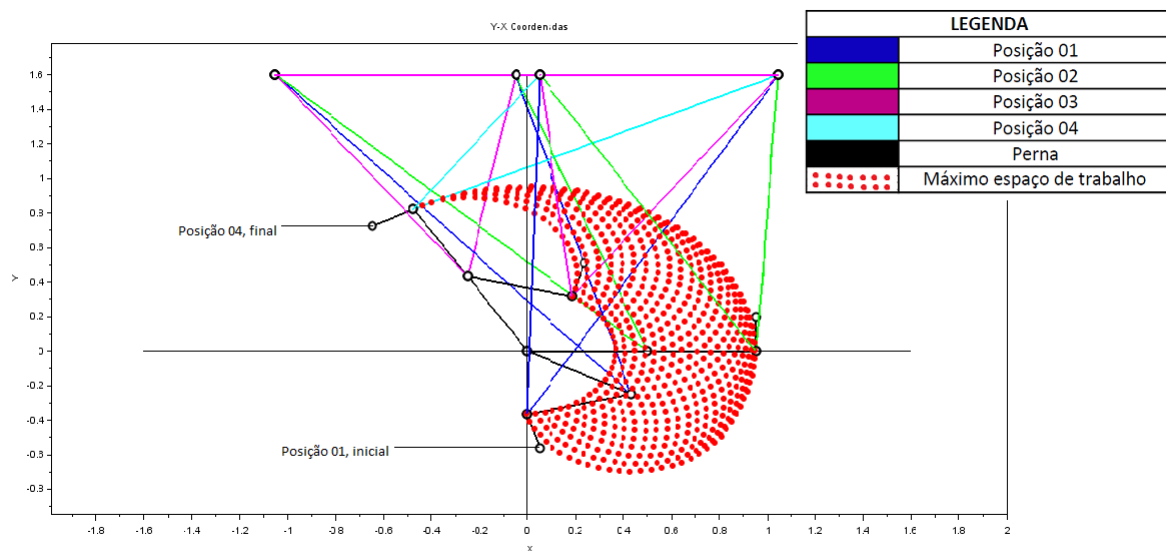


Figura 11: Representação do manipulador, perna humana e seu espaço de trabalho máximo.

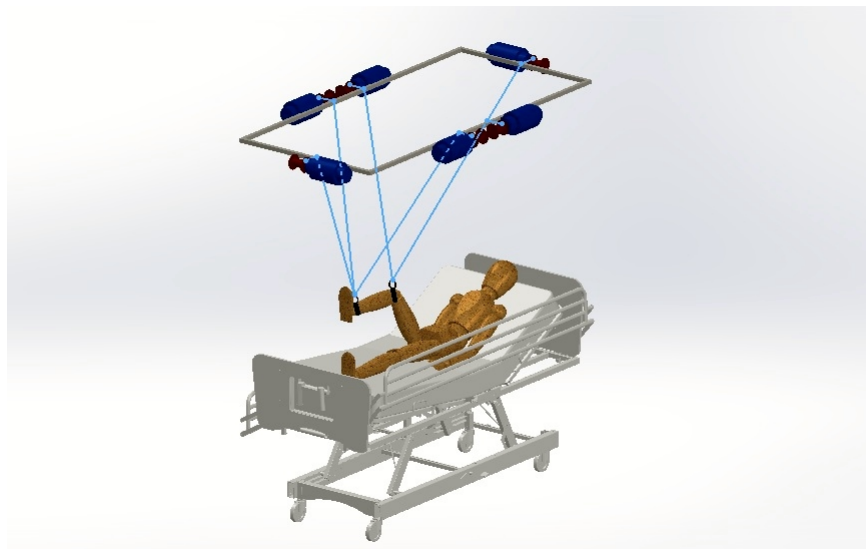


Figura 12: Manipulador paralelo realizando exercício em manequim ergonômico.

9. REFERÊNCIAS

- BEDOUSTANI, Y.B., 2013. "Cable driven parallel manipulators".
- Bruckmann, Tobias; Pott, A., 2013. *Cable-Driven Parallel Robots*, Vol. Vol.12. Springer. URL <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=4252a906f4538f93fd986fccb0cb9217>.
- Denavit, J. and Hartenberg, R.S., 1955. "A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices". Vol. 22, pp. 215–221.
- Gonçalves, R.S. and Carvalho, J.C.M., 2010. "Desenvolvimento de uma estrutura robótica paralela atuada por cabos para reabilitação dos movimentos do ombro". In *VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*.
- Hodgson, C.L., Berney, S., Harrold, M., Saxena, M. and Bellomo, R., 2013. "Clinical review: Early patient mobilization in the ICU". *Crit Care*, Vol. 17, No. 1, p. 207.
- Jerre, G., Silva, T.d.J., Beraldo, M.A., Gastaldi, A., Kondo, C., Leme, F., Guimarães, F., Forti Junior, G., Lucato, J.J., Tucci, M.R. et al., 2007. "Fisioterapia no paciente sob ventilação mecânica". *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, Vol. 33, pp. 142–150.
- Needham, D.M., Truong, A.D. and Fan, E., 2009. "Technology to enhance physical rehabilitation of critically ill patients". *Critical care medicine*, Vol. 37, No. 10, pp. S436–S441.
- Romano, V.F. and Dutra, M.S., 2002. "Introdução a robótica industrial". *Robótica Industrial—Aplicação na Indústria de Manufaturas e de Processos*, Vol. 1.
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L. and Oriolo, G., 2010. *Robotics: modelling, planning and control*. Springer Science & Business Media.

- Tobias Bruckmann, Lars Mikelsons, T.B.M.H. and Schramm, D., 2008. "Wire robots part 1 kinematics, analysis and design". *Parallel Manipulators, New Developments*.
- TRAVI, A.B.E., 2009. *PLATAFORMA DE STEWART ACIONADA POR CABOS*. Ph.D. thesis, Instituto Militar de Engenharia.
- Zhang, N. and Shang, W., 2016. "Dynamic trajectory planning of a 3-dof under-constrained cable-driven parallel robot". *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 98, pp. 21–35.

10. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

WORKSPACE OF A CABLE DRIVEN ROBOT FOR USE IN PHYSIOTHERAPY

Alexandre Campos, alexandre.campos@udesc.br¹

Antônio Neves, antonioarthur@hotmail.com²

Yuri Moratelli, yuri.moratelli@hotmail.com¹

Rudimar Luís Scaranto Dazzi, rudimar@univali.br²

¹Univali, R. Uruguai, 458 - Itajaí - SC, 88302-202

²Universidade do Estado de Santa Catarina, Rua Paulo Malschitzki, 200 - Joinville - SC - CEP: 89.219-710

Resumo: *The purpose of this paper is to design and present the workspace of a parallel cable actuated robot, able to perform physical therapy in patients who are bedridden. These patients, especially those who are under intensive care, tend to lose large amounts of strength, tone and muscle function and may even present irreversible consequences, so to prevent this situation patients receive physical therapy care by professionals who perform a series of passive and active exercises. These exercises generally consist in movements that require physical effort of the physiotherapist and that are repeated many times over a service and in addition, the professional performs many of these services on each shift. In order to improve this physical therapy to bedridden patients and improve the working conditions for physical therapists is the objective of this work, design the workspace of a robotic manipulator that performs these exercises.*

Palavras-chave: *Parallel robot, assistive equipment, cable actuated robot, Simulation.*