

7º CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA
Paulo Flores *et al.* (Eds)
Guimarães, Portugal, 10 e 11 de fevereiro de 2017

ESTUDO E CONCEÇÃO DE UM SISTEMA DE ENCAIXE RÁPIDO E SIMPLES PARA PRÓTESES DE MEMBROS INFERIORES

*Patrícia Senra*¹, *Luís F. Silva*² e *Eurico Seabra*³

¹ Dep. Eng. Mecânica, Universidade do Minho, Portugal; patricia.a.senra@gmail.com

² Dep. Eng. Mecânica, Universidade do Minho, Portugal; lffsilva@dem.uminho.pt

³ Dep. Eng. Mecânica, Universidade do Minho, Portugal; eseabra@dem.uminho.pt

PALAVRAS-CHAVE: Projeto mecânico, Biomecânica, Próteses de membros inferiores, Sistema de suspensão, Sistema de bloqueio

RESUMO: *A variedade dos sistemas de suspensão, ou sistemas de encaixe, entre o membro residual e a prótese passam por mecanismos de pino de bloqueio, vácuo, sucção, magnéticos e híbridos. Cada tipo de mecanismo apresenta um conjunto de vantagens e desvantagens que o torna mais adequado para determinados tipos de situações. Contudo, o descontentamento demonstrado por parte dos pacientes amputados em relação às suspensões utilizadas incide principalmente na dificuldade em estabelecer uma boa suspensão, quer pela pouca destreza manual demonstrada pelo paciente, quer pela dificuldade de montagem do próprio mecanismo [1]. Surge assim a necessidade para o estudo e a conceção de um novo sistema de encaixe. No estudo realizado foram utilizadas várias ferramentas de auxílio ao projeto (como a árvore de objetivos, o diagrama de funções, o mapa morfológico) que permitiram a obtenção de diferentes soluções alternativas, de entre as quais foi selecionada uma que apresenta um sistema de encaixe que proporciona uma ligação rápida, simples e ergonómica.*

1 INTRODUÇÃO

A amputação de membros inferiores é o tipo de amputação mais comum dentro da população dos amputados [2]. Sujeitas a um grande processo evolutivo ao longo da sua história, as próteses são dispositivos médicos desenvolvidos para substituir a parte do membro removido.

Uma prótese de membros inferiores, enquanto dispositivo médico, tem como principal objetivo substituir o membro de forma estável, confortável e eficaz, garantindo segurança e um bom desempenho durante a marcha [2]. Todos os componentes de um dispositivo deste tipo têm um papel fundamental para o sucesso do seu desempenho e reabilitação do

paciente, sendo a sua correta prescrição um fator crucial [2, 3]. Dos componentes que compõem uma prótese de membro inferior, ver Fig. 1, o joelho protético (4), no caso das amputações transfemorais, e o pé protético (1) são mais influentes sobre a marcha do paciente, enquanto que o encaixe rígido (5) e a suspensão influenciam a estabilidade e a ligação entre o paciente e a prótese. Cada um dos componentes possui funções e características diferentes e a sua seleção depende das necessidades, condições e expectativas de cada paciente.

O *encaixe rígido* (5) deve proporcionar uma ligação estável e rígida para que o paciente consiga ter um bom controlo da mesma durante a marcha, assegurando uma correta distribuição de cargas ao longo do coto [5,

6].

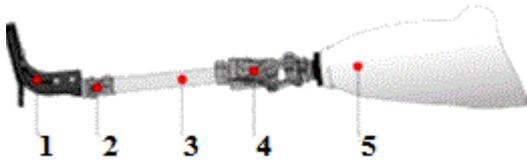


Fig. 1 Constituição típica de uma prótese transfemoral [4]: 1- pé protético; 2- adaptador; 3- corpo tubular; 4- joelho protético; 5- encaixe

O *mecanismo de suspensão*, situado geralmente na parte distal do encaixe rígido, é um componente fundamental na ligação entre a prótese e o membro residual e reduz a rotação, a translação e o movimento vertical do membro residual dentro do encaixe, evitando patologias dermatológicas [7]. Tal como os restantes componentes, este deve ser selecionado de acordo com as características de cada paciente, pois influenciam o conforto, a mobilidade e a satisfação final do paciente, bem como o seu desempenho durante a marcha [7, 8]. Existem vários tipos de sistemas de suspensão, sendo os principais, atualmente, os de pino de bloqueio, sucção e vácuo. Existem outros, como os sistemas de suspensão magnética e os híbridos. Estes são escolhidos de acordo com as diferentes características e expectativas do paciente. A saúde do amputado, o seu peso, o seu nível de atividade, o comprimento e a forma do coto, a condição da pele, a circulação sanguínea e o ambiente onde o paciente está inserido são fatores que influenciam a escolha do mecanismo mais adequado, tal como a condição psicológica-social e financeira do indivíduo.

Para uma primeira protetização, os especialistas aconselham um sistema de pino de bloqueio. Este mecanismo apresenta uma facilidade e simplicidade de uso que o distingue dos restantes mecanismos. Para além disso, oferece um acoplamento mais rígido, garantindo ao paciente uma maior sensação de segurança. No entanto, o descontentamento demonstrado por parte dos pacientes amputados em relação às suspensões

utilizadas incide principalmente na dificuldade em estabelecer uma boa suspensão, quer pela pouca destreza manual demonstrada pelo paciente, quer pela dificuldade de montagem do próprio mecanismo [1]. Destas limitações surgiu a necessidade e a motivação para o estudo e a conceção de um novo sistema de suspensão para fazer face às necessidades dos pacientes amputados.

2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Ao longo do levantamento do estado de arte e da pesquisa de campo foi possível estabelecer e desenvolver os objetivos, as funcionalidades e os requisitos exigidos para a obtenção de um conceito final. Os pacientes amputados são indivíduos fragilizados, que apresentam uma grande dificuldade em se adaptarem a uma nova realidade ou a novas alterações nas suas próprias próteses. Por isso mesmo, o novo conceito deverá ser um sistema simples, facilmente manuseável e de rápida montagem, proporcionando segurança e conforto ao seu utilizador, estimulando o seu uso.

Definiu-se como modelo de referência para este estudo o modelo ALPS Lock S496-T, presente na Fig. 2, que consiste num sistema de pino de bloqueio e que se distingue pela eficácia do seu sistema de bloqueamento do pino.



Fig. 2 Modelo ALPS Lock S496-T [9]

Este sistema de suspensão (cujos componentes se mostram na Fig. 3) é composto por um alojamento (3), uma roda cilíndrica de dentado reto exterior (2), um rolamento especial de movimento unidirecional (1) (pois possui, no seu interior, uma pista de agulhas que funcionam como embraiagem) incorporado

no parafuso (6), uma mola helicoidal cilíndrica de compressão (5) e um botão de acionamento (4). Para além de ser um sistema de suspensão bastante eficaz e simples, confere também uma ligação rígida entre o membro residual e a prótese que proporciona uma maior sensação de segurança e confiança ao utilizador.



Fig. 3 Componentes do modelo ALPS Lock S496-T

Durante evolução deste estudo recorreu-se a algumas ferramentas de auxílio ao projeto, tais como, a *árvore de objetivos* (que permitiu definir os objetivos principais que o sistema de suspensão deveria cumprir: *funcionalidade, simplicidade, conforto e baixo custo*) e a análise da *estrutura de funções* (subfunções, obtidas através do estudo do mecanismo de pino de bloqueio: “*inserir o membro residual*” dentro do encaixe; “*guiar o elemento fixador para o alojamento*”; “*inserir o elemento fixador dentro do alojamento*” e “*bloquear o elemento fixador*”). Para a determinação de possíveis soluções globais para responder ao objetivo em causa foi elaborado um *mapa morfológico*, onde constam as sub-soluções consideradas para cada uma das subfunções referidas. Através da análise do mapa morfológico foram obtidas três combinações possíveis:

- *Solução 1* – Sistema de cilindros telescópicos (ver a representação esquemática ilustrada na Fig. 4);
- *Solução 2* – Sistema de pino de bloqueio orientado e guiado (ver a representação da Fig. 5), e
- *Solução 3* – Sistema de disco circular (ver a representação da Fig. 6).

As soluções 1 e 3 apresentam conceitos inovadores, enquanto que a solução 2 apresenta uma readaptação/recombinação

do modelo considerado neste estudo. A solução 1 oferece um excelente guiamento do elemento fixador, pino de dentes “serralhados”, contudo, este é rígido e consequentemente menos ergonómico, e a sua aplicação nas próteses requer uma altura de construção superior, impossibilitando a sua adaptação a próteses de membros inferiores.

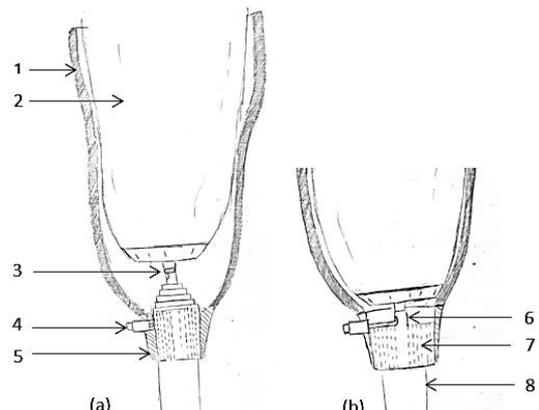


Fig. 4 Representação esquemática da solução alternativa 1: recolha concêntrica dos cilindros telescópicos (a) e fixação dos cilindros telescópicos na zona distal do encaixe (b); 1- encaixe rígido; 2- liner; 3- elemento fixador, pino de dentes “serralhados”; 4- botão de acionamento; 5- alojamento; 6- cilindros telescópicos; 7- cilindros telescópicos recolhidos; 8- corpo tubular

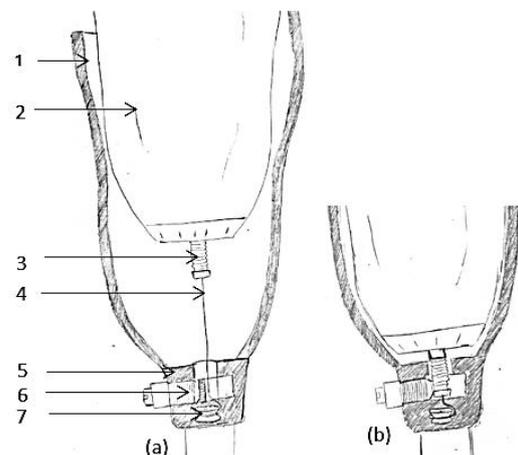


Fig. 5 Representação esquemática da solução alternativa 2: guiamento do pino de dentes “serralhados” ao longo da inserção do membro residual no encaixe rígido (a) e sua fixação (b); 1- encaixe rígido; 2- liner; 3- pino de dentes “serralhados”; 4- fio guiador; 5- sistema de fixação; 6- mecanismo de recolha de fio; 7- corpo tubular

A solução 3, apesar de não possuir um mecanismo de guiamento específico, apresenta um elemento fixador em forma de disco circular, o qual facilita a sua inserção

no interior do alojamento. No entanto, estas duas soluções apresentam uma desvantagem comum: uma maior adaptação das próteses e do paciente, ao contrário da proporcionada pela solução 2.

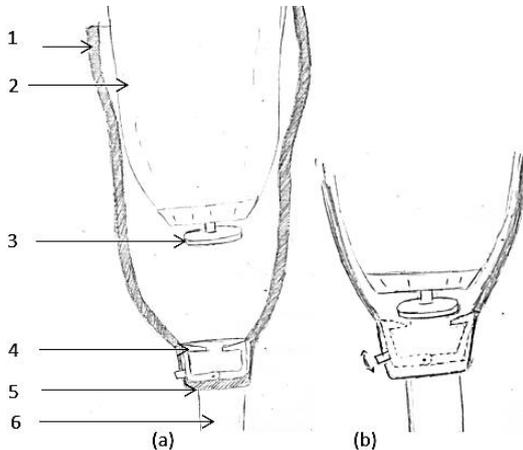


Fig. 6 Representação esquemática da solução alternativa 3: guiamento do disco circular ao longo da inserção do membro residual no encaixe rígido (a) e sua fixação (b); 1- encaixe rígido; 2- liner; 3- elemento fixador, disco circular; 4- sistema de fixação; 5- alojamento; 6- corpo tubular

A solução 2 apresenta um sistema de fixação eficaz, já utilizado no modelo de referência, e um mecanismo de corda retrátil para o guiamento do pino de dentes “serralhados”. Após a comparação sob parâmetros considerados importantes, como, por exemplo, os referentes à ergonomia, simplicidade, guiamento e segurança, a solução 2 (correspondente ao sistema de pino de bloqueio orientado e guiado) foi considerada a melhor solução.

3 SISTEMA DE PINO DE BLOQUEIO ORIENTADO E GUIADO

Este sistema de bloqueio orientado e guiado (ver ainda a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), consiste numa readaptação do modelo de referência considerado e é composto por: um alojamento (constituído por duas partes), um elemento fixador, um mecanismo de guiamento e um mecanismo de fixação. Neste modelo, o pino está ligado ao fio de guiamento, permitindo o seu guiamento até ao alojamento enquanto o paciente estiver a

inserir o membro residual, com a interface vestida, no encaixe rígido. Para tal, o paciente apenas necessita de pressionar o botão de acionamento, ou exercer alguma pressão para a total inserção do pino. Quando o paciente desejar retirar a prótese, basta-lhe pressionar novamente o botão de acionamento, para a libertação do pino, e retirar o membro residual para fora do encaixe rígido.

3.1 ALOJAMENTO

O alojamento deste sistema, ilustrado na Fig. 7 (componente 1), consiste numa adaptação do alojamento já existente no modelo de referência. Nesta adaptação o alojamento é dividido em duas partes para a inserção das peças do mecanismo de guiamento (componente 2).

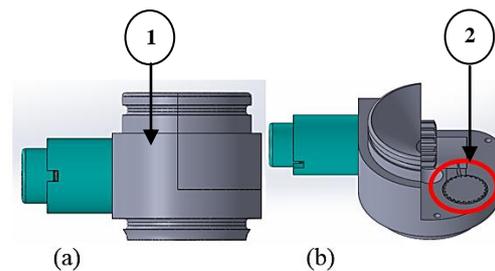


Fig. 7 Sistema de pino de bloqueio orientado e guiado: (a) sistema completo (1- alojamento); (b) sistema com o mecanismo de guiamento visível (2)

3.2 ELEMENTO FIXADOR

Neste sistema, o elemento fixador continua a ser o pino de dentes “serralhados” utilizado no modelo de referência (modelo ALPS Lock™ Serrated Pin, ver Fig. 8). Este componente é de aço inoxidável, com um diâmetro de 10 mm e um comprimento de 68 mm [9].



Fig. 8 Pino de dentes "serralhados", ALPS Lock™ Serrated Pin [10]

3.3 MECANISMO DE GUIAMENTO

Este mecanismo possui um princípio de funcionamento idêntico a um mecanismo de corda retrátil. Este mecanismo é composto pelo fio de guiamento, uma polia com perfil

em “U”, uma mola de força contaste, uma roda de linguete e um linguete, e uma mola helicoidal cilíndrica de tração.

O fio de guiamento é o principal elemento guiador do pino de dentes “serralhados”. Foi selecionado um fio monofilamento de *nylon*, com elevada resistência à abrasão.

Para a recolha e armazenamento do fio foi dimensionada uma polia com perfil em “U”, de forma a minimizar o número de arestas vivas que provocam um maior desgaste ao fio de guiamento. No interior desta polia é inserida uma mola de força constante para promover a recolha do fio de guiamento.

O recurso a uma mola de força constante neste mecanismo deveu-se, principalmente, ao facto destas molas ocuparem muito pouco espaço e de exibirem um “comportamento” de força constante. Como o mecanismo de recolha de fio deve ocupar o menor espaço possível, esta mola foi incorporada no interior da polia com perfil em “U”. Para haver um melhor controlo do guiamento do fio foi dimensionada e colocada uma roda de linguete e um linguete em justaposição com a polia. Esta roda de linguete permite o movimento da polia no sentido dos ponteiros do relógio quando o fio é puxado para o exterior do alojamento. No entanto, enquanto o linguete estiver em contacto direto com a roda do linguete, ver Fig. 9 (a), esta não consegue rodar no sentido contrário. Para que suceda o movimento no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, e que vai permitir à mola de força constante recuperar a sua forma inicial, o linguete deve deixar de estar em contacto com a roda linguete – ver Fig. 9 (b).

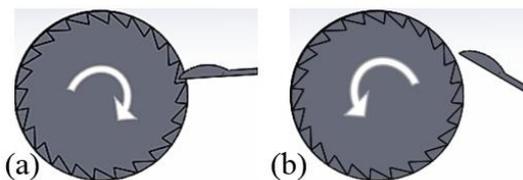


Fig. 9 (a) Polia roda no sentido dos ponteiros do relógio para desenrolar o fio de guiamento; (b) Polia

a rodar no sentido contrário para enrolar o fio de guiamento

A ação do deslocamento longitudinal da roda cilíndrica de dentado reto exterior, provocada pelo paciente quando pressiona o botão de acionamento (ver Fig. 10), faz com que o linguete deixe de estar em contacto com a roda de linguete.

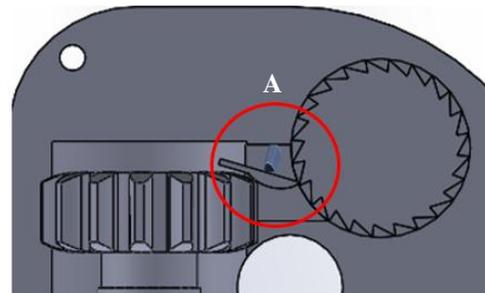


Fig. 10 Momento em que a roda cilíndrica de dentado reto exterior entra em contacto com o linguete, desativando o movimento da roda para o enrolamento do fio de guiamento

Neste mecanismo está também presente uma mola helicoidal cilíndrica de tração, a qual é responsável pelo retorno do linguete à sua posição inicial. Este detalhe de construção encontra-se identificado no pormenor A da Fig. 10.

3.4 MECANISMO DE FIXAÇÃO

Este mecanismo encontra-se atualmente aplicado no modelo de referência. Este é composto, ver ainda a Fig. 3, por:

- Um suporte roscado, que serve de alojamento aos restantes componentes deste mecanismo;
- Um rolamento INA HFL 0822, componente chave que impede a saída do pino de dentes “serralhados”, permitindo uma ligação efetiva e segura entre o paciente e a prótese;
- Uma mola helicoidal cilíndrica de compressão, responsável pelo movimento longitudinal da roda cilíndrica de dentado reto exterior; este componente pode ser dividido em duas outras partes:

- Na roda de dentado reto exterior propriamente dita, que trabalha com o pino de dentes “serralhados”, e
- No veio cilíndrico, cuja zona oposta apresenta um furo roscado para o botão de acionamento e que, em justaposição com a mola de compressão e com a roda cilíndrica de dentado reto, permite dois movimentos importantes: 1) A rotação no sentido dos ponteiros do relógio da roda cilíndrica de dentado reto e 2) o movimento longitudinal da mesma roda cilíndrica quando o botão de acionamento é pressionado.

4 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O conceito final desenvolvido, o sistema de pino de bloqueio orientado e guiado, consiste numa solução simples para o principal problema presente em todos os mecanismos de pino de bloqueio.

A introdução/adaptação de um mecanismo de corda retrátil, presente em diversos dispositivos e equipamentos comumente utilizados no nosso dia a dia, num sistema de pino de bloqueio com um sistema de fixação de excelência, tenderá a facilitar todo o processo de adaptação por parte do paciente e também a sua aplicação na estrutura padronizada das próteses de membros inferiores.

A grande dificuldade na determinação desta solução conceptual esteve presente no espaço reduzido em que o sistema de guiamento foi inserido, de forma a não serem alteradas as dimensões principais do alojamento original do modelo de referência considerado neste estudo. O reduzido espaço vai obrigar ainda a um dimensionamento específico de alguns dos seus componentes.

Em termos teóricos, o sistema de bloqueio orientado e guiado apresenta-se como um

sistema de uso bastante simples e de fácil compreensão, conferindo uma ligação rígida. É, por isso mesmo, um sistema viável para todos os tipos de amputações numa primeira protetização.

Em termos futuros deverão ser complementados os dimensionamentos já efetuados e deverá ser construído um primeiro protótipo, sobre o qual deverão ser realizados estudos experimentais e testes preliminares em pacientes que recorram a este tipo de próteses.

REFERÊNCIAS

- [1] Osman, Madya; Eshrahi, Arezoo (2013). *Magnetic Coupling device of a limb prosthesis*. Patente US 20130289743 A1
- [2] Kapp, S., Miller, J., *Care of the Combat Amputee – Lower Limb Prosthesis*, Chapter 20. (pp: 553-580). Acedido a 05/Março/2015. URL: http://www.centersformobility.com/prosthetics_2.html#fitting
- [3] Padrão Ortopédico (página web). Acedido a 1/Dezembro/2015. URL: <http://www.padrao-ortopedico.com/>
- [4] “Breve alusão a próteses transfemorais” in Ortopedia Alvalan. Acedido a 30 de Junho, 2015. URL: <http://www.ortopedialvalan.pt/>
- [5] May, B. J., *Amputations and Prosthetics. A case of study approach*, Jaypee Bros., Medical Publishers, 2nd Ed, 2002.
- [6] “The Prosthetic Socket” in Ottobock®. Acedido a 15/Junho/2015. URL: http://www.ottobock.com/cps/rde/xchg/ob_com_en/hs.xsl/20503.html
- [7] Ali, S., Abu Osman, N. A., Naqshbandi, M. M., Eshraghi, A., Kamyab, M., Gholizadeh, H., *Qualitative study of prosthetic suspension systems on transtibial amputees’ satisfaction and perceived problems with their prosthetic devices*, Arch Phys Med Rehabil; 93:1919-23, 2012.
- [8] “Keeping your leg on” in Ottobock®. Acedido a 15/Janeiro/2015. URL: http://www.ottobock.co.uk/prosthetics/info_for_new_amputees/prosthetic-technology-explained/keeping_your_leg_on/
- [9] “ALPS Lock Flat Bottom S496 – W” in ALPS . Acedido a 23 de Maio de 2015. URL: <http://www.easyliner.com/lock-flat-bottom.php>
- [10] “ALPS Lock™ Serrated Pin” in OrtoPed. Acedido a 10 de Outubro de 2015. URL: <http://www.ortoped.ca/en/alps-lock-sup-tm-sup-serrated-pin.html>