

# Controlo Miográfico de Dispositivos Móveis para Tetraplégicos

Tiago João Vieira Guerreiro      Joaquim Armando Pires Jorge  
INESC-ID, Instituto Superior Técnico / Universidade Técnica de Lisboa  
Rua Alves Redol, 9, 1000-029 Lisboa  
{tjvg, jaj}@immi.inesc.pt

---

## Abstract

Este artigo apresenta a Electromiografia como uma interface para controlo de dispositivos móveis por tetraplégicos. Apesar de existirem actualmente várias tecnologias que possibilitam o controlo de computadores pessoais por parte de indivíduos com esta patologia, o mesmo não se reflecte num contexto móvel. Observando este panorama, é urgente aumentar as capacidades desta população neste contexto, possibilitando maior autonomia e consequente aumento comunicativo. Apresenta-se o trabalho realizado, que contempla um protótipo para controlo do ambiente de trabalho através de contracções musculares, e o trabalho futuro, cujas fases essenciais são a migração da aplicação para um dispositivo móvel e avaliação com utilizadores representativos da classe alvo do sistema.

## Keywords

*Acessibilidade, Tetraplegia, Electromiografia, Interação, Mobilidade, Comunicação.*

---

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo e desenvolvimento de interfaces não-convencionais para acesso a dispositivos electrónicos tem particular interesse para pessoas que apresentem incapacidade física de utilizar os modos tradicionais. Indivíduos com tetraplegia são um sub-conjunto da população incapaz de interagir com computadores através do teclado e de dispositivos apontadores comuns. É assim essencial estudar e desenvolver novas interfaces que permitam oferecer a esta classe de utilizadores a capacidade de realizar tarefas no computador a um nível semelhante ao possibilitado a um utilizador totalmente capaz. Actualmente, existem soluções bastante satisfatórias que possibilitam o uso de computadores pessoais por parte de doentes com patologia neuro-muscular grave, como é o caso da tetraplegia.

### 1.1 Motivação

A acessibilidade universal a dispositivos electrónicos é um tema de investigação bastante activo, onde continua a haver muito trabalho a desenvolver. Em particular, no caso dos doentes com patologia neuro-muscular grave, existem alguns sistemas que permitem aumentar o controlo de computadores, como são o caso dos *Trackers*, *BCIs*, *Cyberlink*, entre outros. O seguimento de características na face dos utilizadores (*Tracking*) é a tecnologia com maior sucesso para controlo do computador por utilizadores tetraplégicos, conseguindo mapear o movimento facial ou ocular em movimentos do dispositivo apontador. O “Eye-Tracking” baseia-se no seguimento, através de um sistema de captura especializado para o efeito, dos movimentos dos olhos, mais propriamente da íris. O seguimento facial, com ou sem marcas, consiste no controlo do ponteiro do rato

através de movimentos da face [Figueiredo05]. A segunda abordagem apresenta vantagens sobre o seguimento ocular pois dispensa um sistema evoluído de captura (bastante caro), sendo também mais robusta no que respeita a movimentos involuntários. Por outro lado, o seguimento facial necessita de um controlo efectivo de movimentos da face, o que nem sempre é possível. Outro exemplo de interacção por movimento ocular é usando electrooculografia, que consiste na recolha, através de eléctrodos, do sinal eléctrico gerado pelo movimento dos olhos. É possível medir movimentos nos dois eixos podendo assim controlar uma interface de forma relativa, ao contrário dos sistemas de seguimento, onde o mapeamento é absoluto [Chen03]. As interfaces cérebro-máquina apresentam-se como mais interessantes em casos onde a função muscular é nula, como acontece com o síndrome de Locked-in [Lehtonen02]. Nestes casos, o único canal de comunicação possível é o cérebro, que se encontra intacto. Nos últimos anos têm sido realizados avanços prometedores nesta área mas é ainda difícil oferecer o controlo de dispositivos com alguma complexidade de forma autónoma, utilizando apenas o sinal electroencefalográfico [Pfurtscheller06]. O sistema Cyberlink é um exemplo de sucesso do que se pode atingir ao juntar modalidades, neste caso, EOG, EMG e EEG [Marler04]. A electromiografia é utilizada também em sistemas de controlo isoladamente, sendo possível adaptar o sistema e as capacidades do mesmo à capacidade residual que o utilizador detenha [Barreto99] [Felzer05] [Moon04]. Apesar do controlo de computadores fixos poder ser melhorado, já é possível exercer um controlo satisfatório dos mesmos, sendo até possível aumentar o controlo de outros dispositivos

através deste. Por outro lado, torna-se uma prioridade oferecer o controlo de dispositivos móveis a utilizadores que não o conseguem fazer autonomamente, visto actualmente não existirem soluções neste contexto. A nível móvel, os resultados são escassos devido aos problemas técnicos que a modalidades apresentam, quer seja pela instabilidade do movimento e tamanho dos dispositivos, no caso do seguimento, quer seja pela intolerância ao ruído (EEG). O trabalho apresentado procura ultrapassar esta falha, possibilitando a utilizadores com dificuldades motoras graves (ex: tetraplégicos) o controlo dos seus dispositivos móveis. Temos como objectivo permitir a utilizadores tetraplégicos o controlo das principais funções do telemóvel como a realização/atendimento de chamadas, leitura/envio de mensagens escritas e gestão de contactos pessoais.

## 1.2 Abordagem proposta

A nossa proposta para o controlo de dispositivos móveis baseia-se no processamento de sinais miográficos. Através de eléctrodos de superfície é possível captar a activação dos músculos monitorizados, podendo assim associar eventos a determinadas contracções ou movimentos. Com esta solução, é possível determinar a existência de contracções voluntárias possibilitando assim a utilização do sistema sem eventos inesperados. Esta solução é também independente do ambiente envolvente sendo imune a ruído, movimento ou interferências causadas por outros indivíduos (ao contrário do Reconhecimento de Fala, EEG). Comparativamente a outros sinais fisiológicos (ex: EEG, EOG), o sinal electromiográfico apresenta a melhor relação sinal/ruído e maiores amplitudes [Moon04], o que também facilita o seu processamento, tornando-se um bom candidato para o controlo voluntário de dispositivos. O número de músculos voluntariamente contraídos é amplo possibilitando assim diferentes pontos de recolha, inclusive em casos de incapacidade de movimento da cabeça. A colocação dos eléctrodos é então efectuada consoante a lesão apresentada sendo o pescoço, maxilares ou as zonas temporais (perto dos olhos), observadas como boas opções.

## 2. PROTÓTIPO

A primeira fase do trabalho apresentado neste artigo foca-se no estudo da electromiografia e consequente análise de sinal miográfico. O protótipo desenvolvido teve como objectivo o estudo e validação da electromiografia para controlo de dispositivos. Assim, apesar do sistema ser dirigido para dispositivos móveis, esta versão foi desenvolvida para computadores fixos. Este protótipo que detém a capacidade de processamento requerida, detectando activações musculares em qualquer ponto voluntariamente contraído. Para utilização, demonstração e avaliação do protótipo, foi criado um mecanismo de emulação de eventos do sistema operativo. Assim, o utilizador pode ter associada uma contracção a qualquer evento do teclado ou do rato. Este sistema permite o controlo do ambiente de trabalho, podendo ser

lançada e controlada qualquer aplicação. Nesta secção, descrevemos em maior pormenor o sinal fisiológico utilizado bem como a arquitectura e utilizações do sistema.

## 2.1 Electromiografia

Electromiografia (EMG) define-se como o estudo da função muscular através da análise dos sinais eléctricos gerados durante contracções musculares. As contracções musculares são antecedidas por correntes electroquímicas que percorrem as membranas das fibras, gerando uma diferença de potencial entre as zonas activas e as zonas inactivas. Esta diferença de potencial consegue, devido às propriedades condutoras dos meios biológicos, ser captada na superfície do corpo humano através de eléctrodos [DeLuca97].

### 2.1.1 Aparelho de Electromiografia [Gamboa04]

O aparelho de electromiografia utilizado recolhe amostras a uma frequência de 1000Hz em 5 canais independentes. É relativamente pequeno (14cm\*8cm\*4cm) e pode ser facilmente adicionado a uma cadeira eléctrica (Fig. 1). O aparelho é portátil e comunica com o dispositivo de processamento através de uma interface bluetooth.



Figura 1 - Aparelho de Electromiografia

### 2.1.2 Interação Miográfica

A utilização recorrente da electromiografia em áreas relacionadas com a Medicina levou a um grande investimento científico para melhorar os procedimentos de análise e processamento do sinal miográfico. Este avanço culminam com a possibilidade de utilizar aparelhos electromiográficos portáteis que comunicam sem fios com um sistema de processamento. Esta portabilidade possibilita a qualquer indivíduo o transporte e uso de um aparelho deste tipo com grande aceitação social [Constanza05]. O tamanho e a referida portabilidade levam ao uso da electromiografia na interacção pessoa-máquina, existindo trabalho nas áreas de Acessibilidade, Robótica, Computação Móvel, Reconhecimento de Gestos, entre outras. Nenhum dos trabalhos encontrados e referidos nesta secção aborda a acessibilidade a dispositivos móveis mas são referenciados pois baseiam-se na utilização do sinal miográfico para controlo de dispositivos. [Roy94] apresentam uma interface pessoa-máquina baseada em gestos para pessoas com graves limitações a nível motor e oral devido a paralisia cerebral. Este trabalho apresenta resultados motivadores diferenciando gestos aparentemente iguais, através do uso de redes neuronais. Vários outros trabalhos na área utilizam algoritmos de classificação e reconhecimento de padrões para diferenciar gestos [Crawford05], conseguindo diferenciar, por exemplo, mais de 6 movimentos

efectuados por uma mão. Os resultados obtidos são particularmente relevantes no controlo de próteses [Soares03]. No nosso trabalho, visto ser possível obter os resultados esperados com técnicas de processamento de sinal em tempo real, preferimos não utilizar algoritmos que necessitem de fases de treino nem calibrações adicionais. No entanto, no futuro, poderá ser interessante, caso exista motivação para isso, aumentar o leque de opções através de mecanismos de treino e classificação. [Barreto99] introduzem um sistema que procura oferecer a utilizadores com graves limitações motoras a possibilidade de apontar e seleccionar num computador pessoal. Este sistema associa movimentos faciais ao controlo do rato, sendo bastante semelhante ao "Tongue Point" [Salem97] mas utilizando sinal miográfico. Este trabalho e outros que lhe sucederam são a base da nossa investigação. Na área da mobilidade, [Constanza05] dá ênfase à utilização da electromiografia como uma técnica de interacção móvel. O trabalho introduz o EMG como uma interface íntima e subtil, que pode ser utilizada sem afectar o ambiente envolvente. O nosso projecto aceita esta ideia e aumenta-lhe complexidade, focando em questões de Acessibilidade e aumentando o controlo efectuado sobre os dispositivos, que na abordagem de [Constanza05] é bastante minimalista. O trabalho apresentado em [Guerreiro06] apresenta a electromiografia com uma interface *wearable* de uso diário. A recente, mas vasta, utilização da electromiografia na interacção pessoa-máquina, apresenta-a como uma interface robusta, versátil e que, no contexto deste trabalho, oferece a possibilidade de aumentar a qualidade de vida de indivíduos com necessidades especiais.

## 2.2 Processamento de Sinal

De forma a obter alguma informação sobre a activação muscular é necessário processar os sinais recolhidos. O processamento realizado é composto por duas partes essenciais, uma de pré-processamento e outra de suavização (Figura 2). Posteriormente, através do sinal suavizado é possível detectar, em tempo-real, momentos de activação muscular e realizar acções de acordo com a acção muscular realizada.

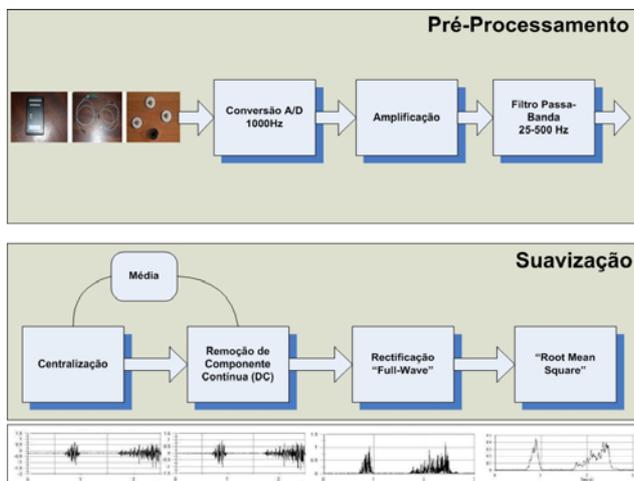


Figura 2 - Processamento de Sinal

## Pré-Processamento

A fase de pré-processamento é realizada a nível de hardware, consistindo na amplificação do sinal, amostragem a uma frequência de 1000Hz e aplicação de um filtro passa-banda (25-500Hz) que remove frequências sem interesse a nível miográfico.

## Suavização

Para conseguir detectar activações no sinal, é necessário suavizar o sinal recebido. O sinal recebido pelo aparelho de electromiografia tem uma gama de valores entre 0 e 4096, tendo este que ser ajustado, visto, na realidade, o sinal oscilar entre valores negativos e positivos. A centralização é uma operação muito básica e consiste em subtrair o valor de base (2048) ao sinal obtido. Em seguida, acrescenta-se o valor ao conjunto de valores já recebidos e com a média calculada sobre estes, retira-se a componente DC, que normalmente aparece no sinal EMG. Depois, executa-se a rectificação da amostra. A rectificação da curva é uma operação normalmente utilizada de forma a permitir a posterior integração do sinal, já que transforma uma curva com valores positivos e negativos, de média igual a zero, numa curva de valores absolutos, todos positivos. Existem duas formas de rectificar a curva: eliminando os valores negativos ("half-wave rectification") ou adicionando-os aos positivos ("full-wave rectification") [Correia92]. O último processo é preferível dado manter toda a energia do sinal e foi o adoptado. Finalmente, é necessário suavizar o sinal, tendo sido aplicado uma média quadrática (*Root Mean Square*) sobre a janela deslizante. O nosso sistema detecta ativações musculares através de uma abordagem onde o limiar é estimado como um múltiplo  $h$  do desvio-padrão [Staude01].

## 2.3 Cenário de Aplicação

O sistema de processamento desenvolvido permite detectar activações musculares possibilitando assim a execução de acções quando estas são detectadas. Assim, criámos uma aplicação que permite associar acções (do sistema operativo ou acções contextuais) a determinados padrões de acção muscular, oferecendo a possibilidade de controlo de qualquer aplicação desde que o número de eventos a emular seja limitado.

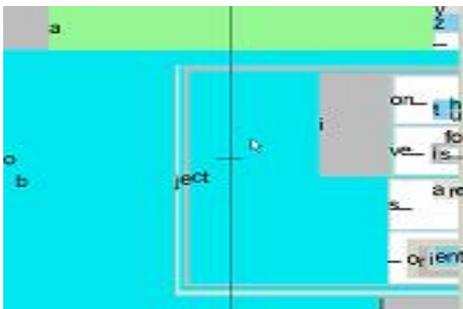
**Controlo de Ambiente de Trabalho:** Associando contracções musculares aos eventos do dispositivo apontador (4 direcções + 1 botão) é possível controlar, quase na totalidade o ambiente de trabalho. Este protótipo foi testado com utilizadores sem dificuldades motoras, com resultados que indicaram a possibilidade do controlo miográfico diário de interfaces [Guerreiro06]. Posteriormente, o sistema foi testado com utilizadores tetraplégicos (Figura 3), reduzindo o número de canais, mantendo-se as características apresentadas nos testes realizados a utilizadores com capacidade total. Este controlo pode ser realizado através de movimentos do pescoço, queixo ou um simples *pisca de olho*.

**Dasher:** Um dos objectivos do trabalho apresentado é a possibilidade de escrita de mensagens num telemóvel por



**Figura 3 – Utilizador a interagir com o sistema**

utilizadores tetraplégicos. A introdução de caracteres é a função que exige maior reflexão, sendo tradicionalmente utilizado um teclado no ecrã para o efeito, podendo ou não ser utilizados mecanismos de varrimento. Esta seria uma das opções mas procurámos obter maior desempenho e assim, idealizámos uma sinergia entre o protótipo apresentado e a aplicação Dasher [Ward00], que permite grande desempenho na escrita com movimento bidireccional ou unidireccional. O Dasher é uma aplicação de introdução de texto baseada numa técnica de zooming, com um sistema preditivo subjacente (Figura 4). Através desta sinergia, possibilitamos a escrita de texto com necessidade de apenas dois canais. Assim, o utilizador necessita, no limite, de apenas dois canais de entrada (cima e baixo, por exemplo) para navegar pelo “mar de letras” do sistema Dasher e cumprir a tarefa de escrita.



**Figura 4 - Dasher**

### 3. CONCLUSÕES

Apresentámos um trabalho em desenvolvimento que tem como objectivo oferecer a utilizadores tetraplégicos o controlo de dispositivos móveis. O protótipo actual permite a qualquer utilizador o controlo de aplicações num computador pessoal, validando o controlo de dispositivos através de contracções musculares. Apresentámos uma sinergia entre o Dasher e o nosso protótipo que permite a inserção de texto de forma eficiente, que adoptaremos. O próximo passo prende-se com a avaliação com utilizadores tetraplégicos. Esta avaliação será realizada tendo em conta o objectivo do trabalho, focando nas tarefas de utilização do telemóvel. Atingindo o controlo de um dispositivo móvel, tentaremos aumentar este controlo dando a hipótese de, através deste, controlar outros dispositivos.

### 4. REFERENCES

- [Barreto99] Barreto, A. et al.. A real-time assistive computer interface for users with motor disabilities. SIGCAPH Comput. Phys. Handicap.,(64):6–16, 1999.
- [Chen03] Chen, Y.. Design and evaluation of a human-computer interface based on electrooculography. Master’s thesis, Case Western Reserve Univ., 2003.
- [Correia92] Correia, P. et al.(1992). Estudo da funcao neuromuscular com recurso a electromiografia.. Technical report, Faculdade de Motricidade Humana.
- [Constanza05] Costanza, E. et al.. Toward subtle intimate interfaces for mobile devices usingan emg controller. In CHI ’05, pages 481–489, NY, USA. ACM Press.
- [Crawford05] Crawford, B. et al. (2005).Real-time classification of electromyographic signals for robotic control. In AAAI, pages 523–528.
- [DeLuca97] De Luca, C.(1997). Surface electromyography:Detection and recording.Tech report,Delsys Inc.
- [Felzer05] Felzer, T. and Nordmann, R.. How to operate a pc without using the hands. In ASSETS 2005.
- [Figueiredo05] Figueiredo, L. and Raimundo, J.. Magic key. IADIS Ibero-Americana WWW/Internet, 2005.
- [Gamboa04] Gamboa, H. et al. (2004). Wireless physiologic data acquisition platform. Tech report, IT.
- [Guerreiro06] Guerreiro, T. and Jorge, J.. EMG as a Daily Wearable Interface. GRAPP, February 2006.
- [Marler04] Marler, D. M. Cyberlink: Computer access for persons identified with multiple disabilities. Technical report, california state university, northridge, 2004.
- [Moon04] Moon, I et al.A novel EMG based human-computer interf. for persons with disability. ICM’04
- [Lehtonen02] Lehtonen, J. EEG-based BCI. Master’s thesis, Helsinki Univ. of Technology, 2002
- [Pfurtscheller06] Pfurtscheller, G. et al.. Walking from thought. Brain Research, 1071:145–152, 2006.
- [Roy94] Roy, D. M. et al.. (1994). Gestural human-machine interaction for people with severe speech and motor impairment due to cerebral palsy. In CHI ’94
- [Staude01] Staude, G. et al.(2001). Onset detection in surface EMG signals:A systematic comparison of methods. Journal on App. Signal Process.,2:67–81.
- [Salem97] Salem, C. and Zhai, S. (1997). An isometric tongue pointing device. CHI ’97, pages 538–539, NY.
- [Soares03] Soares, A. et al. (2003).The development of a virtual myoelectricprosthesis controlled by an emg pattern recognition system based on neural networks.
- [Ward00] Ward, D. et al. (2000). Dasher - a data entry interface using continuous gestures and language models. In *UIST*, pages 129–137.