PROPOSTA DE SISTEMA COMPUTACIONAL INTERATIVO PARA BIOFEEDBACK

F. P. Silva*, M. F. G. Coelho*, A. P. Pinheiro** e A. A. Pereira**

*Pós-Graduação em Engenharia Biomédica - UFU, Uberlândia, Brasil
** Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU, Uberlândia, Brasil
e-mail: fs.feer.silva@gmail.com

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de sistema computacional interativo de *biofeedback,* como uma tecnologia que poderá ser utilizada no tratamento de estresse e outros transtornos relacionados a ansiedade. O sistema desenvolvido, é capaz de se comunicar com um dispositivo de aquisição de dados, capturar, processar e armazenar as informações do sinal eletromiográfico (EMG) e fornecer um *feedback* visual em tempo real gerado por meio das interfaces do sistema para o paciente. Ao final do desenvolvimento, foi feita uma avaliação experimental das funcionalidades e testes com voluntários, que tiveram como objetivo demonstrar a eficácia do sistema. Os resultados mostram alguma eficiência no atendimento das demandas propostas e os voluntários relataram facilidade na compreensão das funcionalidades do mesmo.
Palavras-chave: *biofeedback*, relaxamento muscular, reforço muscular, medicina comportamental.

Abstract: *The objective of this work is to present a proposal of interactive biofeedback computer system as a technology that could be used in the treatment of stress and other disorders related to anxiety. The developed system is capable of communicating with a data acquisition device, capturing, processing and storing the electromyographic (EMG) signal information and providing real-time visual feedback generated through the system interfaces to the patient. At the end of the development, an experimental evaluation of the functionalities and tests with volunteers was carried out, whose objective was to demonstrate the effectiveness of the system. The results show some efficiency in meeting the proposed demands and the volunteers reported ease in understanding the functionalities of the same.*
Keywords: *biofeedback, muscle relaxation, muscle strengthening, behavioral medicine.*

Introdução

O termo *biofeedback* foi criado no final da década de 60 na Califórnia, com a formação da *Biofeedback Research Society.* Originou-se da junção da palavra *bio*, de origem grega: "vida", e das palavras *feed* e *back*, do inglês, respectivamente: "alimentar" e "retorno". Em tradução literal significa "*bioretroalimentação*". Funciona pela captação do sinal biológico (*bio*), e representação do mesmo (*feedback*). Como descreve [1], um instrumento de *biofeedback* é um monitor passivo como um rádio. Ele não faz nada por você. Ele apenas informa o que você fez.

Para [2], a Terapia Cognitivo-Comportamental (TCC) tem um enorme impacto sobre o campo da saúde mental, demonstrando eficácia na compreensão e no tratamento de uma ampla extensão de distúrbios emocionais e comportamentais. Se trata de uma abordagem que é mais específica, breve e focada no problema atual do paciente.

O treinamento com *biofeedback* deve atuar como TCC diretamente no comando da mente e do corpo. Para isso, é utilizado instrumentos para medir, ampliar e fornecer dados fisiológicos do paciente que está sendo monitorado, principalmente naqueles processos considerados involuntários ou inconscientes [3].

O mesmo é empregado para indicar a possibilidade de alterar uma resposta fisiológica em função da informação de como esta mesma se modifica [4]. *Biofeedback* pode ser definido como um procedimento que faz uso de uma série de equipamentos para demonstrar de forma gráfica - visual, auditiva ou ambas - à pessoa que o utiliza, algum tipo de alteração ocasionada por seus eventos psicofisiológicos, ensinando-a a controla-los e altera-los.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de sistema para a aquisição, processamento e armazenamento de sinais EMG, como alternativa para TCC com *biofeedback*. Capaz de gerar um retorno em tempo real ao usuário, por meio da utilização de duas interfaces interativas: um quebra-cabeça e um avatar, ambas são alteradas de acordo com o sinal recebido e o objetivo da sessão.

Materiais e métodos

O sistema foi projetado para detectar, capturar e analisar os dados recebidos. E também, ser capaz de fornecer um *feedback* gerado por modificações em uma interface virtual projetada para interação com os usuários.

***Hardware* -** Para captação de sinais, o sistema proposto contará com um equipamento de aquisição de sinais biológicos da EMG System, modelo 800C–832 [5]. Tal equipamento é capaz de receber informações de até 8 canais, simultaneamente. Cada um deles, podendo, potencialmente, monitorar um diferente tipo de sinal biológico, desde que usando um sensor adequado [6].

***Software* –** O *software* foi implementado utilizando o paradigma da Programação Orientada a Objetos (POO). O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) usado

para o desenvolvimento foi o Visual Studio 2017 na linguagem de programação C#.

Todas as imagens utilizadas no *software*: plano de fundo, botões e imagens das interfaces, foram de desenvolvimento próprio.

Funcionalidades para suporte – Para facilitar o acompanhamento e a evolução do paciente durante o tratamento com *biofeedback*, o sistema foi projeto para realizar ainda as seguintes tarefas:

- Cadastro de pacientes: Armazenamento dos dados pessoais, antropométricos, clínicos e informações sobre o tratamento proposto;
- Armazenamento das sessões realizadas: Todos os cálculos referentes ao sinal coletado durante a sessão e outras informações de interesse do terapeuta (comentários) são arquivados;
- Geração de relatórios: O aplicativo permite a geração de relatórios para impressão referentes a uma ou mais sessões.
- Acompanhamento do terapeuta: Possui informações da sessão. Além de dados gráficos referentes ao sinal captado, o limiar desejado e configurações do *hardware*. Neste módulo, o terapeuta poderá decidir qual o melhor momento para finalizar a sessão.

Interface Expressões – A interface é composta por um avatar representado por um rosto. Esta interface foi desenvolvida pensando em se assemelhar as feições humanas, a fim de estimular a atenção e a comparação do estado do paciente com o próprio avatar.

É possível alterar a fisionomia do avatar de acordo com o seu sinal, limiar preestabelecido e o objetivo definido para a sessão. Para isso foram criadas três expressões distintas, sendo elas: expressão de tristeza; de felicidade e de euforia.

Quanto mais próximo o sinal estiver do que é desejado pelo terapeuta, mais agradável ficará a fisionomia. Sendo assim o ideal é manter o avatar na expressão de euforia, como demonstrado na Figura 1.

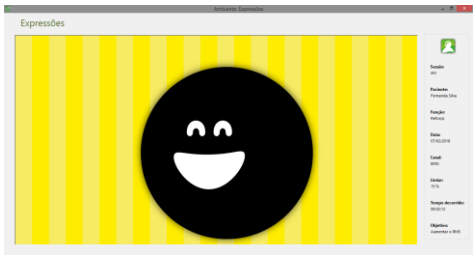


Figura 1: Interface Expressões.

Interface Quebra-cabeça – A interface é formada por uma tela vazia, apenas com as demarcações de onde deverão ser colocadas cada peça do quebra-cabeça. Esta interface foi escolhida por se tratar de um jogo interessante para o desenvolvimento neurológico, capacidade de concentração, noção espacial e percepção visual.

Ao todo, o quebra-cabeça preenchido contém, 70 peças. A finalidade desta interface é preencher cada uma das marcações, onde deverão se encaixar uma dessas peças do quebra-cabeça, como apresenta a Figura 2.

As peças vão aparecendo, mais lentamente ou mais rapidamente, de acordo com a proximidade do sinal recebido ao limiar estabelecido.

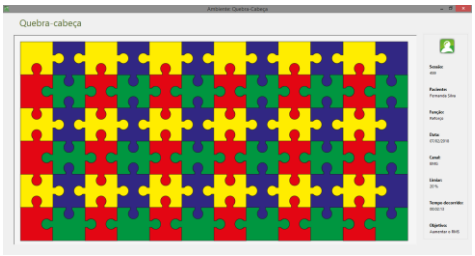


Figura 2: Interface Quebra-cabeça.

Durante a configuração da sessão o terapeuta determina a interface que será utilizada e o limiar que deseja alcançar. O mesmo pode ter um valor tanto positivo quanto negativo, variando de -100% até +100%. Este valor será determinado de acordo com o objetivo da sessão.

Há sessões em que se espera que o valor de um determinado sinal se reduza, como por exemplo: para tratar estresse em um paciente. Neste exemplo espera-se que o limiar seja menor que o inicial, ou seja, que o paciente consiga relaxar e aliviar a tensão nos músculos. E também, há sessões em que se espera que o limiar aumente, como para reforço muscular.

O valor limiar foi determinado com base no valor RMS (*root mean square*). Segundo [7] e [8] o RMS é o valor que proporciona maiores informações em relação à amplitude do sinal EMG, por fornecer o número de unidades motoras que estão sendo ativadas naquele momento (recrutamento motor), além da frequência de disparo das unidades motoras e a forma dos potenciais de ação das unidades motoras (área).

O desempenho das sessões do sistema foi avaliado por meio de experimentos com dois voluntários do sexo masculino, em propostas de terapia com *biofeedback* para relaxamento e reforço muscular.

Estão detalhadas as 10 etapas do protocolo utilizado para a realização das sessões.

1. Calibração do sistema: Teste de conexão entre o *hardware* e o *software*.
2. Cadastro do paciente no sistema: Armazenamento dos dados pessoais e clínicos.
3. Orientação sobre a sessão: Posição corporal, fixação dos eletrodos, objetivo da sessão.
4. Posicionamento adequado do paciente: O paciente deverá ficar sentado confortavelmente em uma cadeira, com os pés e mãos relaxados e em repouso, observando o monitor do computador.
5. Preparação da pele: Após a seleção do sensor, a pele do paciente precisa ser preparada para obter um bom contato de eletrodo-pele. As recomendações de [9] para a preparação da pele recomendam limpeza da região com álcool e a depilação do paciente, se a superfície da pele em que os eletrodos devem ser colocados for coberta de pelos.
6. Posicionamento dos eletrodos:

- Sessão de relaxamento: O eletrodo de superfície deverá ser fixado no músculo masseter, o ponto de referência para a colocação do eletrodo estará entre uma linha imaginária que fica entre o ângulo da mandíbula até o canto externo do olho, o ponto exato de fixação fica a dois centímetros da mandíbula [10];
- Sessão de reforço: Os eletrodos precisam ser colocados na linha entre o acrômio medial e o meio da fossa a 1/3 do meio da fossa [11].

7. Definição do limiar: Será registrado na interface para iniciar a sessão, e dependerá do desejo do terapeuta.
8. Coleta da linha base: Os primeiros dois minutos serão para a coleta da atividade elétrica inicial do paciente. Com esses valores será determinado o valor do limiar a ser alcançado durante a sessão.
9. Cálculo do limiar desejado: Corresponde ao valor da linha base somado ao percentual definido pelo terapeuta durante a configuração da sessão.
10. Sessão de *biofeedback*: O tempo de duração da sessão é livre e ocorrerá de acordo com o que o terapeuta julgar mais adequado.

Resultados

O desempenho geral do sistema foi avaliado por meio experimentos específicos de usabilidade e testes com voluntários. Vale ressaltar que tais experimentos tiveram como objetivo verificar apenas o desempenho do sistema *hardware*/*software* e suas características de usabilidade.

Em relação a parte técnica do *software* foram realizados os seguintes testes:

- Teste de Integração: a comunicação do *software* com o *hardware* ocorreu de acordo com o esperado.
- Teste Funcional: As funcionalidades e regras de negócio operaram corretamente.
- Teste de Interface: A navegabilidade é objetiva, todas as funcionalidades estão identificadas por imagens e legendas.
- Teste de Performance: O tempo de resposta está de acordo com o desejado para o momento de utilização da aplicação.

A seguir, são descritos os resultados das sessões, esta pesquisa recebeu o parecer favorável do Comitê de Ética local (CAAE: 47552515.6.0000.5152).

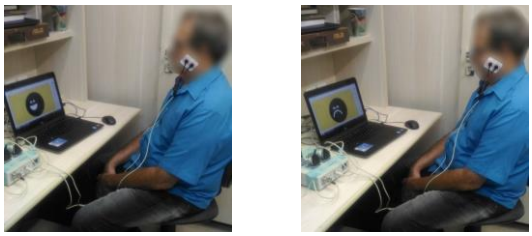
Interface: Expressões - A sessão foi realizada empregando a funcionalidade terapêutica de relaxamento muscular. Para esse experimento foram determinados os seguintes parâmetros: reduzir o valor RMS em -25%.

O voluntário foi informado sobre como seria a sessão, posição em que o mesmo deveria ficar em frente ao computador e onde os eletrodos seriam posicionados. Nesta sessão os mesmos foram fixados no masseter.

Como objetivo desta sessão é relaxamento muscular, para visualizar o avatar "feliz" fez-se necessário que o voluntário se mantenha relaxado (Figura 3a).

Para a validação da interface foi pedido ao voluntário que pressionasse os dentes, para contrair os músculos da face e assim se afastar do limiar estabelecido. Em resposta a isso foi apresentado na tela o avatar "triste" (Figura 3b).

O voluntário declarou facilidade para interpretar sua interação com o sistema. Também afirmou identificar com clareza as alterações ocorridas no avatar, podendo notar quando estava se aproximando ou se afastando do padrão estabelecido para a sessão.



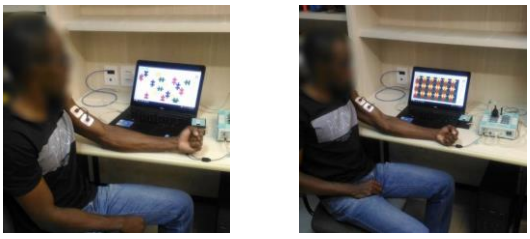
(a) (b)

Figura 3: (a) Próximo ao limiar; (b) Afastando-se do limiar.

Interface: Quebra-cabeça - A interface quebra-cabeça foi utilizada para a sessão de reforço muscular. Para esta sessão foram determinados os seguintes parâmetros: aumentar o valor RMS em 25%.

O voluntário foi orientado sobre os detalhes da sessão, sendo que o objetivo da interface quebra-cabeça é montar todas as peças o mais rápido possível. Para isso é necessário que o voluntário mantenha o músculo contraído o máximo de tempo possível (Figura 4a). Além de receber informações sobre posição corporal e onde os eletrodos seriam colocados, nesta sessão foram fixados no bíceps.

O voluntário não relatou qualquer dificuldade em relação à dinâmica e ao controle da sessão. O quebra-cabeça completou-se mais devagar quando ele estava se afastando do padrão estabelecido ou com maior velocidade quando ele se aproximava do padrão, até todas as peças aparecerem na tela (Figura 4b).



(a) (b)

Figura 4: (a) Próximo ao limiar; (b) Alcançando o limiar.

Discussão

A fim de sumarizar os resultados dos testes com voluntários e demonstrar como o sistema foi capaz de atender as indigências que foram propostas, foi realizada uma avaliação dos resultados.

Os testes dos requisitos funcionais, dos requisitos não funcionais e as sessões experimentais foram realizados para comprovar o desempenho satisfatório do sistema desenvolvido. Tanto em circunstâncias distintas quanto para verificar a usabilidade com os voluntários.

Deve-se ressaltar que um sistema orientado para a usabilidade possui uma interface que deve ser usada para executar uma tarefa sem chamar nenhuma atenção, de modo a permitir que os usuários não precisem focalizar a sua energia na interface em si, mas apenas no trabalho que eles desejam executar [12].

Com isso, foram realizados testes que incluíram cadastros de pacientes, geração de relatórios e sessões para cada interface desenvolvida, utilizando diferentes funções terapêuticas e objetivos.

Os voluntários, que também operaram o sistema executando a função de terapeuta, não descreveram dificuldade ou limitação para manuseio do sistema *hardware*/*software*, no que diz respeito a: conexões, preenchimento de formulários, armazenamento e busca de dados, geração de relatórios, calibrações e configurações.

Os voluntários que participaram da pesquisa com a função de paciente, julgaram as interfaces envolvedoras e interessantes, de modo a se sentirem confortáveis com o tempo gasto em cada sessão.

Para cada voluntário foram realizadas 3 sessões experimentais utilizando sinal EMG, todas seguindo o mesmo protocolo apresentado anteriormente e com duração média de 5 minutos cada sessão.

As sessões que obtiveram resultados positivos em menor tempo de execução foram as que tiveram como função terapêutica o reforço muscular. Sendo assim, o objetivo seria aumentar o valor RMS em relação ao valor coletado no início da sessão (primeiros 2 minutos).

Já as sessões com função terapêutica de relaxamento, necessitaram de maior tempo e dedicação do voluntário para alcançar os resultados esperados. Vale ressaltar que para ser possível um relaxamento adequado é necessário um ambiente sem interferências externas.

Para realizar as alterações da interface, foram feitas comparações do valor RMS inicial do usuário com o valor RMS coletado em tempo real durante a sessão. Desta forma, os usuários terão que se aprimorar a cada sessão realizada para alcançar os resultados desejados.

Por este motivo o tratamento com *biofeedback*, como com qualquer outra técnica de TCC é feito de médio a longo prazo, necessitando de diversas sessões e acompanhamento constante para alcançar resultados duradouros para o paciente.

As principais limitações desta pesquisa estão relacionadas a quantidade de testes com voluntários. O ideal seria testar com uma amostra de voluntários maior e por várias sessões a fim de comprovar que o método de tratamento poderá ser ou não eficaz.

Conclusão

Os resultados alcançados nos experimentos, apesar de ainda não serem conclusivos, indicam que o sistema desenvolvido, poderá ser utilizado de maneira satisfatória para o tratamento de estresse, relaxamento e reforço muscular. Essa afirmação se justifica em função da facilidade de utilização e o baixo custo do projeto.

Outra característica importante do sistema é a possibilidade de utilização de dois ou mais canais simultaneamente, tornando os resultados da sessão de *biofeedback* mais confiáveis já que agrega uma maior abrangência de informações sobre o paciente.

Vale ressaltar que o sistema desenvolvido ainda exige melhorias, como por exemplo: maior variedade de interfaces; *feedback* sonoro; testes focados em atender um maior número de funcionalidades terapêuticas e com os outros canais aceitos pelo *hardware*.

Como trabalho futuro pretende-se aperfeiçoar as interfaces de interação a fim de tornar o uso do *software* mais atrativo ao paciente e desenvolver um aplicativo similar a esse para o uso em dispositivos móveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) por tornar possível a realização desse trabalho por meio do projeto P&D GT 462, e aos órgãos de fomento CAPES, FAPEMIG e CNPq.

Referências

[1] G. D. Fuller, *Biofeedback: Methods and procedures in clinical practice*, 1ª. São Francisco: 1979, 1977.

[2] F. M. DATTILIO and A. FREEMAN, *Compreendendo a Terapia Cognitiva*. São Paulo: Editorial Psy, 1998.

[3] L. Grazzi, "Behavioural treatments: rationale and overview of the most common therapeutic protocols," *Neurol. Sci.*, vol. 28, no. 2, pp. S67–S69, 2007.

[4] M. A. Simón, "Biofeedback," in *Manual de técnicas de terapia e modificação do comportamento*, 2ª., E. Santos, Ed. São Paulo: 2007, 1996, pp. 335–358.

[5]E. System, "EMG System," 2017. [Online]. Available: http://www.emgsystem.com.br/. [Accessed: 06-Nov-2017].

[6] U. Guide, "USB-1208FS User's Guide Trademark and Copyright Information," 2014.

[7] C. J. DE LUCA, *Muscle alive: their function revealed by eletromyography.*, 5ª. Baltimore, 1985.

[8] J. V. BASMAJIAN, *Electrofisiologia de la áccion muscular*. Buenos Aires, 1976.

[9] SENIAM, "European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy," 1999. [Online]. Available: http://www.seniam.org/. [Accessed: 04-Dec-2018].

[10]A. M. M. Rodrigues, F. Bérzin, and V. C. V Siqueira, "Análise eletromiográfica dos músculos masseter e temporal na correção da mordida cruzada posterior," *R Dent. Press Ortodon. Ortop Facial*, pp. 55–62, 2006.

[11]SENIAM, "Recommendations for sensor locations in arm or hand muscles," 1999. [Online]. Available: http://www.seniam.org/.

[12]D. A. Norman and S. W. Draper, *User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction*, 1ª. New York: 1986, 1986.