

1 Introdução

1.1. Contextualização e Motivação

O Biomagnetismo é o estudo de campo magnético gerado por organismos vivos ou por marcadores magnéticos inseridos nesses organismos. A análise de mapas de campo biomagnético permite obter, de forma não-invasiva, inócua e sem contato com o paciente, informações sobre a distribuição temporal e espacial das fontes que os geraram, possibilitando determinar a localização e propagação da atividade elétrica nos tecidos excitáveis (correntes primárias), sem ser perturbado por não-homogeneidades do volume condutor ao redor dos tecidos [1, 2].

As intensidades da densidade de fluxo biomagnético humano se encontram entre 1 fT e 1 nT, e as frequências de interesse situam-se entre 0 e 1 kHz. Por apresentarem intensidades extremamente baixas, a medição de sinais biomagnéticos requer sistemas baseados em magnetômetros de altíssima sensibilidade, a fim de permitir que os sinais sejam medidos com relações sinal-ruído adequadas. Dessa forma, os sistemas de medição de campos biomagnéticos são majoritariamente baseados em magnetômetros SQUID (*Superconducting Quantum Interference Devices*), os quais são os mais sensíveis transdutores de campo magnético em tensão atualmente existentes [3-6].

Além de demandarem o emprego de magnetômetros de alta resolução, estes sistemas de medição também necessitam de algum tipo de blindagem magnética, pois a interferência magnética ambiental possui amplitude superior aos sinais de interesse. Dessa forma, por mais sensível que o magnetômetro seja, em ambientes desprovidos de blindagem a interferência magnética ambiental irá mascarar as leituras, comprometendo significativamente a relação sinal-ruído.

Por necessitarem de SQUIDs, que requerem refrigeração criogênica, e de blindagem magnética, os custos de aquisição, instalação e operação tornam difícil a utilização em larga escala de tais sistemas [1]. Destaca-se ainda que, a fim de

propiciar a implementação de sistemas de medição de campo biomagnético de baixo custo, estudos têm sido conduzidos objetivando o desenvolvimento de sistemas baseados em magnetômetros de bombeamento ótico e em sensores GMI (Magnetoimpedância Gigante) [7-11].

Sinais bioelétricos fornecem informações importantes sobre a função fisiológica de muitos organismos vivos. Por sua vez, todo campo elétrico tem um campo magnético associado e, do mesmo modo, um campo bioelétrico terá um campo biomagnético associado [1, 12]. Dentre os trabalhos apresentados na literatura, percebe-se que grande parte foca sua atenção em campos biomagnéticos relacionados com órgãos vitais, em aplicações associadas a, por exemplo, magnetocardiografia (MCG) e magnetoencefalografia (MEG) [5, 13-17]. Por sua vez, tais estudos têm demonstrado que estas medições magnéticas fornecem mais informações do que suas contrapartes elétricas [12, 18, 19].

A medição do campo magnético cardíaco (MCG) permite obtenção não-invasiva de informações às quais o ECG (eletrocardiograma) não tem acesso, mas que são fundamentais para avaliações diagnósticas e para determinação de estratégias de tratamento, tais como: a caracterização das correntes contínuas (CC) resultantes de isquemia miocárdica [19, 20]; a determinação de anormalidades eletrofisiológicas em repouso em pacientes com angina pectoris [20], de alterações eletrofisiológicas do feixe de His, da propagação na região ventricular apical [20, 21], de mecanismos de taquiarritmias atriais [20, 22, 23], da detecção da atividade elétrica miocárdica fetal [20, 24, 25], entre outros.

A atividade elétrica presente em uma pequena região de um órgão pode ser modelada como um segmento isolado de corrente. Assim, é possível calcular a densidade de fluxo magnético gerado por essa corrente por meio da lei de Biot-Savart. Esse tipo de problema é denominado direto, isto é, quando se determina o campo a partir da fonte de corrente [26]. Por outro lado, existem situações em que se deseja determinar a fonte de corrente a partir de um valor de campo medido. Esse tipo de problema é usual em Biomagnetismo e é denominado problema inverso. Ou seja, por exemplo, ao se medir o campo magnético cardíaco é possível inferir sobre a atividade elétrica que o está gerando [1, 3, 22, 26-28].

No entanto, o problema inverso é muito mais complexo que o direto, visto que um mesmo campo magnético pode ser resultado de diversas distribuições de corrente. Assim, ao longo das últimas décadas têm sido realizados estudos teórico-

experimentais a fim de viabilizar a definição de condições de contorno, baseadas em aspectos físicos e biológicos, que minimizem a região de busca [29-33] e a localização das fontes primárias de campo no tecido orgânico, as quais são responsáveis pela geração de um dado mapa de campo biomagnético experimentalmente medido [2, 19, 21, 25, 34, 35].

A literatura apresenta diversos trabalhos relacionados à solução de problemas inversos em diversas áreas [36-43], sendo que as técnicas de solução implementadas baseiam-se majoritariamente em avaliações matemáticas determinísticas, bem como em métodos probabilísticos e estatísticos. Por sua vez, ao longo das últimas décadas, também foram propostas alternativas para solução do problema inverso por meio do emprego de técnicas de inteligência computacional: redes neurais, algoritmos genéticos, entre outros [44-48], dentre as quais algumas referem-se diretamente a aplicações biomagnéticas [49-51].

Em particular, Algoritmos Genéticos (AG) constituem uma técnica de busca e otimização, altamente paralela, inspirada no princípio Darwiniano de seleção natural e reprodução genética [52]. Os trabalhos envolvendo aplicações de AG em problema inverso biomagnético que vêm sendo descritos na literatura são em sua grande maioria realizados com base em resultados de medições da atividade biomagnética cerebral utilizando sistemas SQUID com mais de 100 canais para registro magnetoencefalográfico (MEG) [49-51]. Os modelos apresentados consideram fontes monopolares ou multipolares com, tipicamente, até quatro dipolos em posições discretas, homoganeamente distribuídas no espaço amostral.

1.2. Objetivos

Considerando a complexidade para resolução do problema inverso biomagnético e as características favoráveis dos métodos de otimização baseados em AGs, o presente trabalho tem por objetivo utilizar esse método na determinação de parâmetros de interesse das fontes bioelétricas (posição no plano xy , magnitude ρ e orientação α), em diferentes instantes de tempo, associadas a fenômenos eletrofisiológicos cardíacos (MCG). O método proposto objetiva definir o conjunto ótimo de dipolos elétricos responsável por modelar mapas biomagnéticos resultantes de medições magnetocardiográficas realizadas por meio

de um sistema SQUID com 16 canais. Dessa forma, busca-se avaliar o potencial dessa abordagem utilizando um número de canais significativamente inferior ao empregado na grande maioria dos estudos disponíveis na literatura e, adicionalmente, analisar o desempenho de configurações baseadas em fontes monopolares ou multipolares com até 64 dipolos, em três diferentes distribuições espaciais denominadas: *livres*, *semi-livres* e *fixos*, conforme detalhado na seção 4.5. As duas primeiras configurações apresentam mais graus de liberdade espaciais do que os modelos convencionalmente encontrados na literatura, ao passo que a distribuição *fixa* possui menos graus de liberdade, sendo análoga aos modelos tipicamente utilizados. Propõe-se, ainda, o desenvolvimento de uma nova abordagem evolutiva para o AG, para evitar que o processo evolutivo convirja para mínimos locais, problema frequentemente mencionado na literatura.

Com os resultados do presente trabalho, pretende-se contribuir para a adequada interpretação e análise médica da informação biomagnética medida experimentalmente, auxiliando na definição de diagnósticos e orientando condutas terapêuticas.

1.3. Organização da Dissertação

Este trabalho está subdividido em 6 capítulos. No presente capítulo, contextualiza-se o problema abordado e destaca-se sua relevância. O objetivo geral almejado também é evidenciado. Por sua vez, o conteúdo dos demais capítulos está resumidamente descrito a seguir:

- ❖ O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos do Biomagnetismo, detalhando aspectos relevantes para a contextualização do trabalho. Também enfatizam-se características de sistemas de medição baseados em SQUIDs, tendo em vista que as medições experimentais avaliadas neste trabalho foram obtidas por meio do emprego deste tipo de magnetômetro. São ainda apresentadas e discutidas técnicas de redução da interferência magnética ambiental. Adicionalmente, ressaltam-se as principais características do problema inverso biomagnético e sua relevância na análise de dados provenientes de medições magnéticas cardíacas;

- ❖ O capítulo 3 resume os principais conceitos sobre os algoritmos genéticos, os quais foram empregados nesta dissertação a fim de solucionar o problema inverso biomagnético. Fornece-se uma breve explicação sobre seus princípios de funcionamento, características e funções. Também apresenta-se uma descrição de suas principais características e uma discussão sobre seus parâmetros;
- ❖ O capítulo 4 apresenta em detalhes o modelo proposto neste trabalho. Descreve-se o modelo matemático adotado para solução do problema direto, o qual é uma importante parte da função de avaliação do AG desenvolvido. Os dados experimentais avaliados são descritos e discutidos. A implementação do AG desenvolvido é apresentada e discutida, explicitando-se suas principais características;
- ❖ O capítulo 5 aborda os testes realizados e as análises dos resultados obtidos em diversos estudos de caso. As abordagens propostas para solucionar o problema são avaliadas e comparadas, a fim de definir aquela responsável pela obtenção de um melhor desempenho; e
- ❖ O capítulo 6 apresenta as conclusões dos estudos realizados nesta dissertação. Discute-se de forma sucinta os resultados obtidos e avalia-se o desempenho das abordagens propostas. São ainda destacadas direções para continuação das pesquisas aqui conduzidas, em trabalhos futuros.