

## 6 Discussão, Trabalhos Futuros e Conclusão

### 6.1. Discussão

Nesta dissertação foi apresentado o projeto e desenvolvimento de um transdutor de campo magnético em tensão, baseado no fenômeno da Magnetoimpedância Gigante, e caracterizado por uma configuração geométrica inovadora (formato de anel de modo a cancelar intrinsecamente campos magnéticos gerados por fontes distantes, e bobina toroidal de polarização). Para tanto, um detalhado estudo do efeito MIG foi realizado visando à identificação das melhores condições para a implementação do transdutor.

Inicialmente, foi realizada a caracterização de uma amostra de fita MIG, produzida pelo Departamento de Física da Universidade Federal de Pernambuco, que apresentou um comportamento de pico duplo (Fig. 2.10), indicativo da existência de uma anisotropia magnética no material. Para que essa caracterização fosse realizada, foi necessário o desenvolvimento de um aparato experimental adequado (um circuito eletrônico e um par de bobinas de Helmholtz). Este aparato, bem como os demais esquemas experimentais e circuitos utilizados nesta pesquisa, foram desenvolvidos pela equipe do Laboratório de Biometrologia da PUC-Rio.

Conhecendo as características do fenômeno MIG e da fita a ser utilizada, o elemento sensor e o circuito eletrônico do transdutor foram idealizados e implementados, de modo a se obter a maior sensibilidade possível a campos próximos e imunidade a campos remotos. Combinando as medidas de caracterização do elemento sensor com o fator de conversão do circuito eletrônico foi possível se estimar a sensibilidade do transdutor (seção 3.3.2), sendo esta aproximadamente 12 V/Oe. Como exposto no capítulo 3, esta sensibilidade já é comparável à de dois dos principais sensores magnéticos existentes, o *fluxgate* e o sensor de efeito Hall. Medições realizadas com o transdutor (capítulo 5) confirmaram a sua elevada sensibilidade mas, em contrapartida, indicaram que o

mesmo apresenta uma acentuada histerese (capítulo 5 e tópico 3.3.2). Além disso, a configuração geométrica escolhida para anular a influência de campos uniformes sobre o sensor se mostrou insuficiente para este objetivo (seção 3.3.3, Fig. 5.10 e 5.20) A falta de imunidade a campos remotos faz com que o sensor saia da faixa linear de operação, o que dificulta a interpretação dos resultados, e impossibilita no momento a aplicação principal proposta nesta dissertação, como verificado pelas medidas obtidas com a agulha.

As medições realizadas com a agulha apresentaram um sinal extremamente assimétrico. Este fato também está relacionado à forma assimétrica da agulha, bem como ao seu processo de magnetização, o qual foi posteriormente identificado como responsável por uma magnetização não-uniforme na mesma. A variação do sinal com a assimetria da agulha pode ser verificada desenvolvendo-se um modelo teórico mais rigoroso quanto à sua forma geométrica. Como este problema não havia sido identificado nas pesquisas anteriores, utilizando sensores SQUID e *fluxgate*, que medem somente a componente vertical do campo magnético, acredita-se que esta componente seja menos influenciada pela assimetria da agulha que as demais, as quais, por sua vez, exercem grande contribuição no sinal do transdutor apresentado.

Contudo, a assimetria da agulha e sua magnetização não uniforme não são suficientes para explicar as incoerências observadas em alguns dos resultados obtidos, como, por exemplo, a grande diferença entre os sinais de saída do transdutor para campos magnéticos externos com polaridades opostas (Fig. 5.8 e Fig. 5.18). Essas incoerências parecem estar mais relacionadas com a hipótese de que as fitas estejam saindo de sua faixa linear de operação, contrariando a suposição feita na seção 3.1.1 de que o campo magnético a ser lido pelo transdutor produziria um deslocamento do campo de polarização  $H_0$  em uma faixa em que  $\Delta Z/\Delta H$  fosse constante.

Através do modelo desenvolvido para o sinal do transdutor devido ao campo magnético de uma agulha (capítulo 4), foi criado um algoritmo de localização. Este não foi apresentado nesta dissertação, devido à falta de concordância entre o modelo e os resultados, o que invalidava o algoritmo obtido. Apesar de um algoritmo gerado a partir de um modelo teórico não ser estritamente válido, este poderia ser de grande utilidade no processo de desenvolvimento do algoritmo de localização, quando ocorre um bom ajuste entre o modelo teórico e as medidas

experimentais. Porém, para se extrair um algoritmo de localização com elevada exatidão para o transdutor, medições sistemáticas devem ser realizadas, variando-se a distância entre o sensor e a agulha, bem como o ângulo entre o plano do anel sensor e o plano da agulha.

## 6.2. Trabalhos Futuros

Algumas possibilidades foram examinadas com o objetivo de contornar os problemas associados à histerese, à falta de linearidade e à falta de imunidade a campos uniformes do transdutor, e são descritas brevemente a seguir.

Um dos fatores que, presumivelmente, contribui para a baixa imunidade a campos magnéticos uniformes é a existência do *gap*, em cuja extensão a contribuição destes campos é nula. Uma maneira de garantir que a integração de campos uniformes seja nula ao longo do anel é reduzir ao máximo o comprimento do *gap* (ou mesmo eliminá-lo, superpondo ligeiramente as fitas).

Para aumentar a sensibilidade do transdutor, adaptações no circuito eletrônico poderiam ser realizadas, alterando-se a amplitude e a frequência das correntes de alimentação das fitas e/ou o ganho dos estágios amplificadores.

Com um campo de polarização mais alto, da ordem de 5 Oe, a característica de histerese das fitas pode ser atenuada substancialmente, além de tornar o transdutor menos suscetível aos campos uniformes. Mas, para esta ordem de campo de polarização, a sensibilidade da fita utilizada cai aproximadamente 10 vezes como visto na Fig. 3.4. Seria necessário então, o emprego de nova fita. As características da fita ideal para o transdutor seriam, portanto, as seguintes:

- grande variação da impedância com o campo, ou seja, o maior  $\Delta Z/\Delta H$  possível, o que garantiria uma alta sensibilidade,
- que esta elevada relação  $\Delta Z/\Delta H$  ocorra para um campo  $H_0$  alto (aproximadamente 5 Oe), o que proporcionaria uma baixa histerese e uma boa imunidade a campos uniformes,
- forte anisotropia transversal objetivando garantir que sua sensibilidade seja essencialmente a campos tangenciais,

- homogênea, de forma a apresentar uma mesma resposta a um determinado campo em todo seu comprimento.

Além dessas alternativas, a equipe do Laboratório de Biometrologia também vem examinando a possibilidade de desenvolver novas configurações geométricas para o elemento sensor, como, por exemplo, o empilhamento de pequenos segmentos de fita, numa configuração que permita uma leitura diferencial com cancelamento das contribuições geradas por campos uniformes.

Outra importante etapa a ser executada consiste na garantia da confiabilidade metrológica do transdutor MIG de campos magnéticos em tensão. Uma vez superadas as dificuldades da fase atual de desenvolvimento do sensor, os cálculos dos erros e incertezas envolvidos no processo de medição e do algoritmo de localização devem ser efetuados. Como exposto no tópico 1.5, o transdutor apresentado nesta dissertação, enquanto equipamento eletromédico, deve estar em conformidade com a norma geral de segurança para tais equipamentos (NBR IEC 60601-1 e colaterais). Deve-se, também, elaborar os procedimentos específicos para a garantia da segurança e desempenho do transdutor MIG.

### **6.3. Conclusão**

Apesar da falta de linearidade e do comportamento histerético do transdutor, este se apresenta bastante sensível, detectando até mesmo o orifício da agulha. Logo, acredita-se que para medições menos rigorosas, tais como para testes não destrutivos, o transdutor já possui características satisfatórias. No entanto, para a localização de corpos estranhos magnéticos no corpo humano, melhorias quanto às suas características de sensibilidade, histerese e linearidade se fazem necessárias. Independentemente das melhorias que possam ser implementadas, já identificadas e citadas na seção anterior, o transdutor de campo magnético em tensão disponível tem aplicações bastante promissoras, destacando-se por seu reduzido custo de fabricação e operação.