

Instrumentação com Guia de Luz para Mensurar o Formato do Tórax na Cinta de Eletrodos do Tomógrafo de Impedância Elétrica

Vergniani Junior, W.* - Moura, F. S.*

*Universidade Federal do ABC, São Bernardo, Brasil

e-mail: wilson.vergnianini@aluno.ufabc.edu.br

Abstract -

A Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) é um método não invasivo de obtenção de imagens médicas do interior de tecidos biológicos. A geração das imagens de TIE envolve a solução de um problema inverso mal-posto não linear. Este projeto contribuiu para a tecnologia de TIE, com o desenvolvimento de instrumentação para medição de curvatura local do tórax, a ser instalada na cinta de eletrodos do tomógrafo de impedância elétrica. Esta informação poderá ser adicionada para auxiliar a geração das imagens do interior de tecidos biológicos e tornará possível em um futuro próximo a mensuração em tempo real do formato do tórax do paciente. Para isso, foi desenvolvido neste trabalho um sensor utilizando uma guia de luz não comercial (guia de luz com revestimento de silicone e interior preenchido com água). A instrumentação é composta por dois sensores de luminosidade e uma fonte de luz LED. Para minimizar o efeito de interferência da luz ambiente sobre os sensores, protetores de luminosidade foram criados com auxílio de uma impressora 3D. O sinal analógico foi coletado utilizando um Raspberry Pi 3 e analisado com programação em Python.

Palavras-chave: tomografia impedância elétrica, instrumentação, mensuração da curvatura local, guia de luz.

Introdução

A Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) é uma técnica de imageamento que objetiva determinar a distribuição de impeditividades ou condutividades dentro do volume de um objeto, a partir da obtenção de medidas elétricas ao longo do bordo externo. O Tomógrafo de Impedância Elétrica pode ser utilizado para a obtenção de imagens do interior de tecidos biológicos e para o uso clínico (monitoramento de funções cardiorrespiratórias, fluxo sanguíneo, derrame cerebral entre outras aplicações) [1, 2].

Na prática, o contorno do tórax só pode abrigar um número limitado de eletrodos, que são posicionados de forma a se obter quantidade

suficiente de informação para a geração das imagens [3]. Uma forma usual de dispor os eletrodos sobre a pele é a manufatura de cintas elásticas contendo os eletrodos ao longo de seu comprimento para facilitar a colocação no paciente [4].

Para a geração da imagem, é necessário resolver um problema inverso não linear associado. Um problema inverso é dito bem-posto se: (i) Apresenta solução, (ii) A solução é única, (iii) A solução tem relação contínua com os parâmetros de entrada [5].

Na TIE, nenhuma destas condições é observada. Diz-se então que o problema da TIE é mal posto. Das três condições, a que apresenta mais desafios é a terceira. Ela se manifesta de duas formas: (i) insensibilidade das medidas de tensão em relação à variação de impeditividade elétrica dentro da região sob estudo, especialmente se as variações ocorrerem em uma região no centro do tórax [2, 5] e (ii) grande sensibilidade das imagens em relação a erros de modelagem, como o formato do tórax, por exemplo.

Uma das formas de reduzir os artefatos das imagens é adicionar informação sobre o formato do tórax no problema inverso a ser resolvido. O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade de se mensurar o formato através de instrumentação das cintas de eletrodos utilizando princípios ópticos. Este trabalho apresenta a construção de um protótipo de sensor de flexão capaz de ser utilizado nas cintas de eletrodos para a mensuração de curvatura local.

Materiais e Métodos

O desenvolvimento da instrumentação consistiu inicialmente na obtenção dos materiais necessários bem como o devido dimensionamento dos componentes do projeto. A guia de luz foi produzida com uma mangueira de silicone de 30 cm de comprimento, 6 mm de diâmetro externo e 5 mm de diâmetro interno, preenchida com água. Um LED foi posicionado em uma das extremidades da guia e a outra extremidade da guia foi vedada.

Os sensores de luminosidade utilizados são

compostos por fotodiodos capazes de detectar a luminosidade que escapa da guia e posicionados junto à guia em um ponto ao longo do seu comprimento. A Figura 1 apresenta um diagrama da instrumentação proposta. Nele é possível observar a posição de cada sensor em relação a fonte de luz e as distâncias relativas entre os sensores e a fonte.

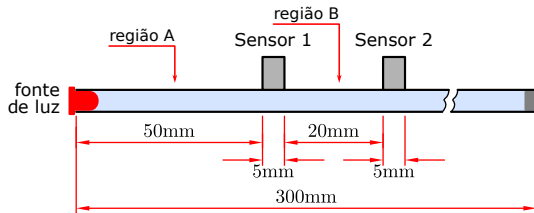


Figura 1 – Diagrama do dispositivo

Protetores contra luminosidade ambiente foram desenvolvidos com o auxílio do *software* de desenho *FreeCad*, gerando um arquivo *.stl*.

O arquivo *.stl* foi então importado no programa fatiador *slic3r* para impressão 3D. Os parâmetros de impressão ajustados foram: velocidade de impressão, densidade da peça, forma de extrusão, temperatura da mesa e temperatura do bico. O arquivo *.gcode* foi gerado e enviado para a impressora 3D (Volt3d) para a produção. A Figura 2 mostra o desenho de metade de um protetor, assim como a peça impressa.

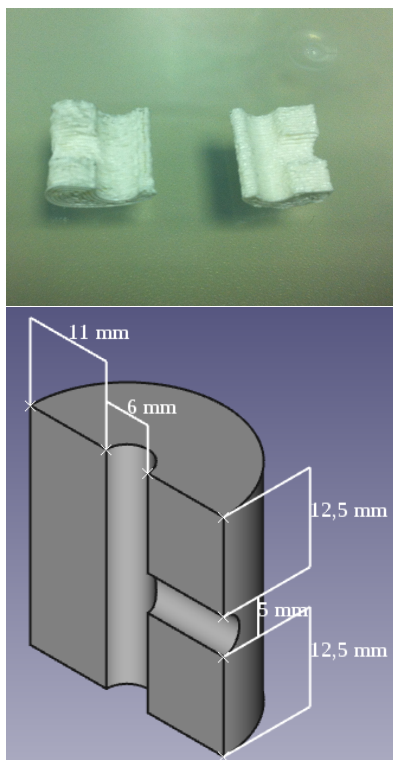


Figura 2 – Protetor de luminosidade

Um circuito amplificador de transresistência foi construído para fazer a transdução, amplificação e filtragem analógica de cada sensor.

O circuito de cada sensor é apresentado na Figura 3. Este circuito é dividido em dois estágios, o primeiro (à esquerda da figura) é o amplificador de transresistência e tem o fotodiodo como sensor ligado à entrada inversora. Este estágio apresenta um ganho $G_1 = 10^6$ e o capacitor $C1$ atua como filtro passa-baixas, com frequência de corte $f_c = 500$ Hz

Como o primeiro estágio não apresentou ganho suficiente para a conversão AD, um segundo estágio (à direita da figura) foi empregado. Este estágio é um amplificador inversor com ganho $G = 220$, contendo também um capacitor $C2$ atuando como filtro passa-baixas, com frequência de corte $f_c = 45$ Hz.

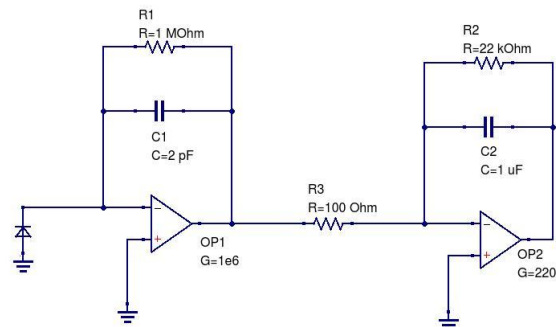


Figura 3 – Diagrama do Circuito

Os sinais foram adquiridos utilizando o sistema embarcado *Raspberry pi 3*, por facilidade de acesso e custo. Como este não apresenta um conversor analógico/digital integrado, foi necessário a adição de um conversor AD externo, o conversor MCP3008 com 10 bits de resolução e configurado para uma taxa de aquisição de 200 amostras por segundo. A comunicação do conversor é via SPI (*Serial Peripheral Interface*), que consiste em um protocolo serial síncrono de alta velocidade.

Utilizando linguagem em *Python*, um programa foi desenvolvido para que os dados fossem mostrados na tela do computador, de forma numérica e gráfica. Os módulos utilizados foram: Adafruit GPIO.SPI, Adafruit MCP3008 e PyQtGraph.

Resultados

Para testar o funcionamento do sensor, o dispositivo foi montado em um bancada experimental e foi inicialmente imposta uma

curvatura na região *A* da guia (ver Figura 1). A Figura 4 apresenta as tensões medidas nos sensores 1 e 2 durante o procedimento de flexão. À medida que a flexão aumenta, as tensões medidas variam, mostrando ser possível mensurar a curvatura local. Vale salientar que neste ponto do projeto o objetivo é verificar qualitativamente a capacidade de mensurar a curvatura.

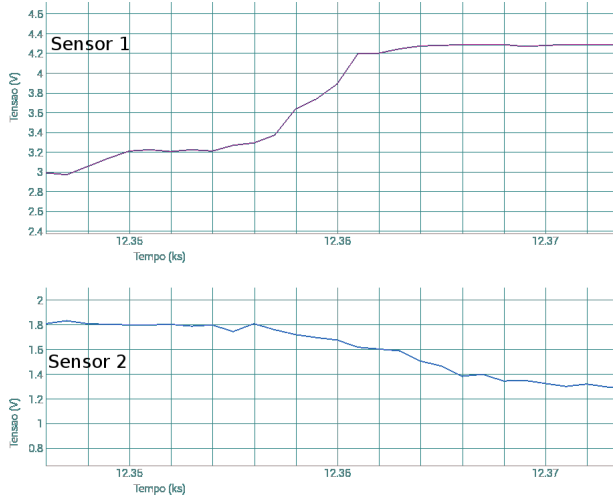


Figura 4 – Curvatura Feita no Ponto A

A Figura 5 mostra as tensões medidas quando a flexão é imposta apenas na região *B* e de forma alternada. Nota-se que este resultado permite localizar a flexão na região *B* já que não houve variação do sinal de saída do sensor 1, que está localizado antes da região *B*. Nota-se também que o sensor 2 respondeu de acordo com a flexão imposta. Nesta segunda etapa dos testes foi possível identificar visualmente que o sensor responde prontamente à variações de curvatura local.

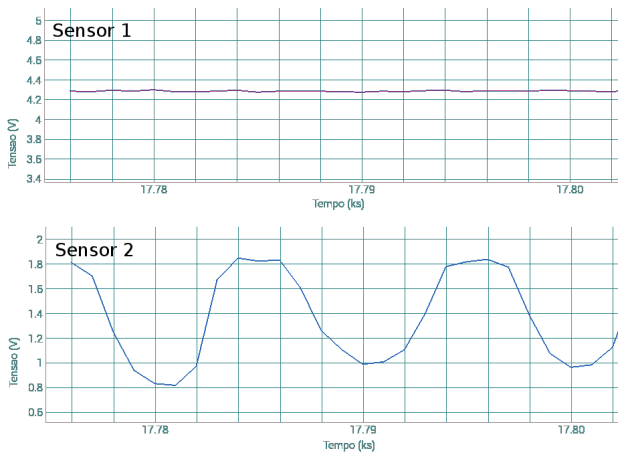


Figura 5 – Curvatura Feita no Ponto B

Discussão

Como trabalho piloto, o sistema proposto neste trabalho permitiu a obtenção de resultados adequados, demonstrando a possibilidade de mensuração da curvatura local em cintas de TIE. A ideia futura é dispor uma guia de luz ao longo do comprimento da cinta, com um certo número de detectores posicionados equidistantes. Com esta configuração, seria possível relacionar as medidas de intensidade luminosas medidas com a curvatura média de cada segmento da guia de luz, conforme a Figura 6. Nesta etapa do trabalho o objetivo foi testar a hipótese de que a flexão da fibra pode ser relacionada com a luminosidade detectada .

Iniciando pela guia de luz, notou-se que o material utilizado, apesar do baixo custo, apresentou uma alta atenuação. Por isto, os sensores não puderam ficar muito distantes da fonte. No futuro outra guia de luz deve ser empregada, visando redução da dimensão (diâmetro) e de sua atenuação.

O circuito elétrico proposto apresentou sensibilidade adequada e relativa robustez contra interferências. Mais importante, mostrou que o circuito necessário é relativamente simples, permitindo sua miniaturização para instalação na cinta de eletrodos.

Em relação à interferências encontradas, a luz natural e a luz branca da sala em que os testes ocorreram afetaram o sinal coletado. Os protetores de luminosidade produzidos foram suficientes para reduzir a interferência. Além disto, o manuseio da fibra teve que ser feito cuidadosamente durante os experimentos de modo a não causar flexões indesejadas.

O *Raspberry pi 3* se mostrou adequado para aquisição de sinais e processamento. Como a taxa de aquisição para esta aplicação pode ser baixa (em torno de 200 Hz neste trabalho), vislumbra-se que no futuro seja possível empregar um multiplexador para medição de vários sensores, sem perda da resolução temporal. Assim, apenas um conversor AD seria necessário, reduzindo o tamanho do circuito de aquisição.

A prontidão de resposta dos sensores em relação ao estímulo de flexão da guia de luz mostra que esta tecnologia tem grande potencial para a mensuração em tempo real do formato do tórax no futuro, uma vez que a velocidade de variação do formato do tórax durante a respiração é relativamente baixa.

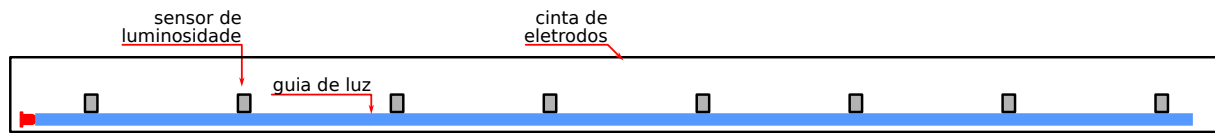


Figura 6 – Diagrama da cinta instrumentada

Conclusões

O dispositivo proposto neste trabalho apresentou resultados promissores. O fato do sensor 1 medir nenhuma variação de luminosidade quando a curvatura é feita na região B permite inferir que é possível determinar o ponto de curvatura da guia de luz quando mais sensores forem utilizados.

O desenvolvimento da instrumentação que utiliza guia de luz capaz de medir a curvatura local se mostrou um desafio bem sucedido. No futuro, este dispositivo poderá ser ampliado para mais sensores e ser instalado na cinta de eletrodos do Tomógrafo de Impedância Elétrica.

Referências

- [1] E. D. B. Camargo, *Desenvolvimento de algoritmo de imagens absolutas de Tomografia por Impedância Elétrica para uso clínico*. PhD thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica, 2013.
- [2] M. Cheney, D. Isaacson, and J. C. Newell, “Electrical impedance tomography,” *Society for Industrial and Applied Mathematics*, vol. 41, pp. 85–101, Mar 1999.
- [3] E. D. L. B. Camargo, F. S. Moura, and et al, “Converting ct scan images into impeditivity measurements to form an anatomical atlas for electrical impedance tomography,” *In Proceedings of 21st International Congress of Mechanical Engineering*, 2011.
- [4] R. G. Rosa and et.al, “Uso da tomografia por impedância elétrica torácica como ferramenta de auxílio às manobras de recrutamento alveolar na síndrome do desconforto respiratório agudo: relato de caso e breve revisão da literatura,” *Departamento de Medicina Intensiva, Hospital Moinhos de Vento - Porto Alegre (RS), Brasil.*, 2015.
- [5] F. S. Moura, *Estimação não linear de estado através do unscented kalman filter na tomografia por impedância elétrica*. PhD

thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica, 2013.