

Projeto e Desenvolvimento de um Oxímetro de Pulso

Iracema Soares Braga¹, Kety Rosa de Barros Caparelli², Thiago Bruno Caparelli³

¹ Engenharia Elétrica – Universidade de Uberaba (UNIUBE)
Caixa Postal 38408 - 343 – Minas Gerais – MG – Brasil

² Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais
(IFSULDEMINAS) Poços de Caldas – Minas Gerais – MG – Brasil

³ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM)
Uberlândia – Minas Gerais – MG – Brasil

Abstract. *Pulse oximetry is a noninvasive method that allows continuous monitoring of the percentage of oxygen carried by hemoglobin present in arterial blood. A great application for the oximeter, coupled with the support of experts, is the evaluation of lung efficiency in patients at risk of respiratory failure and pulmonary monitoring of sick adults, providing information in a safe and effective way. This work aims at the development and implementation of a pulse oximeter to determine blood oxygen saturation and heart rate. The project developed consists of a sensor that detects the amount of reflected light in two spectrum bands, allowing you to determine the volume of oxygenated and deoxygenated blood, a microcontroller, a signal conditioner circuit and an LCD display to present calculated data.*

Resumo. *A oximetria de pulso é um método não invasivo que permite monitorar ininterruptamente a porcentagem de oxigênio conduzido pelas hemoglobinas presentes no sangue arterial. Uma grande aplicação para o oxímetro, aliado ao apoio de especialistas, é a verificação da eficiência do trabalho pulmonar em pacientes com risco de falhas respiratórias e no monitoramento pulmonar de adultos enfermos, fornecendo informações de maneira segura e eficaz. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e a implementação de um oxímetro de pulso a fim de determinar a taxa de saturação de oxigênio no sangue e a frequência cardíaca. O projeto desenvolvido é composto por um sensor que detecta a quantidade de luz refletida em duas faixas do espectro, permitindo que se determine o volume de sangue oxigenado e não oxigenado, um microcontrolador, um circuito condicionador de sinais e um display LCD para apresentar os dados calculados.*

1. Introdução

Dentre os principais sinais vitais para o monitoramento do estado de saúde de um indivíduo está a taxa de oxigênio na corrente sanguínea, juntamente com os sinais de pressão sanguínea, temperatura do corpo e frequência cardíaca e respiratória. É importante monitorar a oxigenação do sangue arterial, verificando a eficiência do trabalho dos pulmões em indivíduos com risco de falhas respiratórias.

A oximetria de pulso é considerada o método mais eficaz e mais utilizado, por fornecer o valor de saturação do sangue sem a perfuração da pele, reduzindo o desconforto do paciente e o risco de infecções, possibilitando uma monitoração contínua, simples e completa da função pulmonar do paciente (SARMENTO, 2009).

O oxímetro é um dispositivo utilizado para monitorar indivíduos de qualquer faixa etária, tanto em movimento quanto em repouso. O baixo custo, praticidade e facilidade de manuseio possibilitam seu uso em vários locais, como clínicas, centros cirúrgicos, UTI (Unidade de Terapia Intensiva), durante e após anestésias, no cuidado domiciliar, em unidades de saúde móveis, e em qualquer situação onde os índices de oxigenação do sangue podem influenciar no estado clínico do indivíduo.

Seu uso também é importante na medicina esportiva. A monitoração da função pulmonar é vital em avaliações físicas, treinamentos, análise de performance e desempenho de atletas, e alunos em academias de ginásticas, ou seja, em situações onde os níveis de oxigenação podem sofrer alteração.

Com base no exposto, o presente trabalho visa o projeto e desenvolvimento de um oxímetro de pulso capaz de medir o nível de oxigenação sanguínea e a frequência cardíaca de modo não invasivo, através de um sensor anexado ao dedo.

2. Fundamentação Teórica

O oxigênio é vital para o funcionamento de cada célula do corpo humano. Na ausência de oxigênio por tempo prolongado, as células morrerão (CLARK, 1999). Assim, a função pulmonar é um importante indicador do estado de saúde de um indivíduo.

A respiração tem por objetivo levar oxigênio aos tecidos e remover o dióxido de carbono. Na hematose em condições normais, o ar com oxigênio é inspirado pelos pulmões e transferido para o sangue (GUYTON & HALL, 1998).

O sangue possui uma substância chamada hemoglobina, que é um pigmento respiratório contido nas células sanguíneas vermelhas, responsável pelo transporte de oxigênio para todas as células do corpo e pela coloração do sangue (CURTIS, 2007). Ao receber oxigênio a coloração da hemoglobina é alterada. A hemoglobina oxigenada (HbO₂) apresenta uma coloração vermelha brilhante, enquanto a coloração da hemoglobina não oxigenada (Hb) é vermelha escura. Essa alteração na cor da hemoglobina é utilizada pelos oxímetros de pulso para monitorar a concentração de oxigênio no sangue (VILHEGAS, 2007).

A absorção de luz, quando passa através do tecido, é proporcional à concentração do soluto e ao comprimento do trajeto que a luz tem de percorrer naquele solvente (SARMENTO, 2009). De acordo com Mendes, o conhecimento da absorção de luz pela matéria é a forma mais utilizada para se determinar a concentração de compostos presentes em solução. Ao atravessar uma solução com moléculas absorventes, parte da luz de um feixe é absorvida pela solução e o restante é transmitido. A absorção depende da concentração das moléculas absorventes e da espessura da solução (MENDES, 2013).

Cada substância tem um único espectro de absorção (SARMENTO, 2009). A hemoglobina oxigenada absorve mais luz infravermelha e permite que a luz vermelha a atravesse. Já a hemoglobina desoxigenada absorve mais luz vermelha e permite que a luz

infravermelha a atravessar. Os comprimentos de onda, figura 1, das luzes vermelha e infravermelha são de 660nm e 940nm, respectivamente (BARKER, 2002).

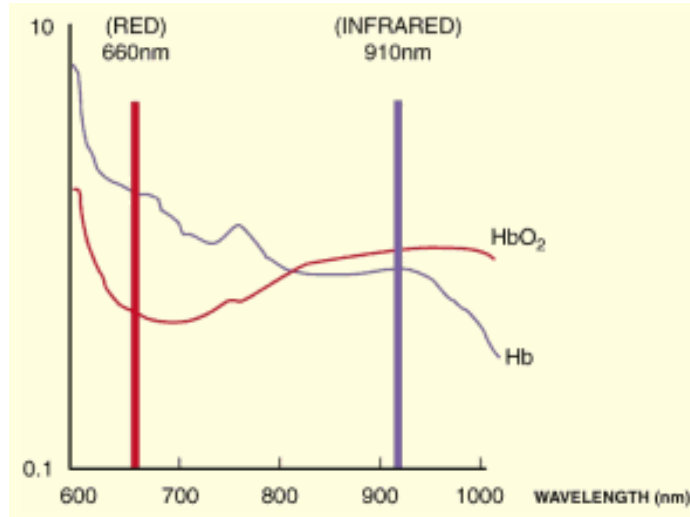


Figura 1 - Absorção das Hemoglobinas Oxigenada e Desoxigenada em Relação ao Comprimento de Onda das Luzes Vermelha e Infravermelha (BARKER, 2013)

O sensor de oximetria (figura 2) contém duas fontes emissoras de luz, um LED vermelho e um LED infravermelho interligados em antiparalelo, na parte superior. E na parte inferior uma fonte receptora de luz (fotodetector), um semiconductor que funciona como uma fonte de corrente com resposta diretamente proporcional à intensidade luminosa que o atinge. Esse sensor explora um fenômeno chamado efeito fotoelétrico que determina a quantidade luz transmitida. As hemoglobinas absorvem parte da luz vermelha e infravermelha e transmitem o restante, que são detectadas por um fotodetector que utiliza desse fenômeno para medir a intensidade de luz.

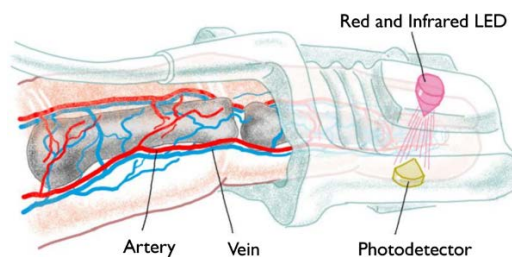


Figura 2 - Sensor de Oximetria de Pulso (Ralph, 2012)

A saturação de oxigênio é definida pela razão da quantidade de hemoglobina oxigenada (HbO₂) em relação a soma da oxiemoglobina e a hemoglobina desoxigenada (Hb), conforme a equação 1, (WEBSTER, 1997).

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} = \frac{C_{HbO_2}}{C_{HbO_2} + C_{Hb}} \quad (1)$$

3. Metodologia

O oxímetro de pulso desenvolvido é constituído de um sensor, com uma fonte emissora de luz e uma fonte receptora, um circuito condicionador de sinais para o tratamento do sinal gerado pelo fotodiodo do sensor, e um microcontrolador com a função de ativar os LEDs e realizar o processamento e os cálculos necessários para apresentação dos dados. Os resultados são enviados e apresentados em um display LCD. O usuário terá como informação a taxa de saturação de oxigênio e batimento cardíaco, conforme o diagrama visualizado na figura 3.

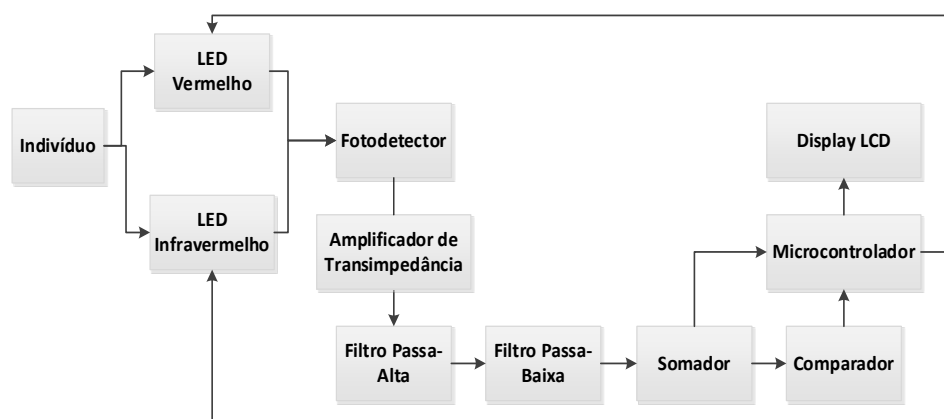


Figura 3 - Diagrama de Blocos do Desenvolvimento do Projeto

A geração do sinal é feita através de um sensor Nellcor DS100A. O acionamento dos diodos do sensor foi feito através de uma ponte H, com o intuito de fornecer a corrente necessária para o funcionamento dos leds do sensor, cujo valor é superior a capacidade de fornecimento das portas do microcontrolador.

Em seguida, o sinal passa por um amplificador de transimpedância. Este é um circuito linear, com alta impedância de entrada, que converte um sinal de corrente na entrada em um sinal de tensão proporcional na saída. Seu uso é necessário a fim de garantir que a corrente drenada do sensor seja a menor possível.

O próximo estágio do processo é a filtragem. De acordo com (PERTENCE, 2012), um filtro elétrico é um quadripolo capaz de atenuar determinadas frequências do espectro do sinal de entrada e permitir a passagem dos demais. No presente projeto foi implementado um filtro passa-faixa (figura 4) constituído de um filtro passa-alta tipo Butterworth de 1ª ordem com frequência de corte de 0,5Hz, em série com um filtro passa-baixa tipo Butterworth de 1ª ordem com frequência de corte de 10Hz.

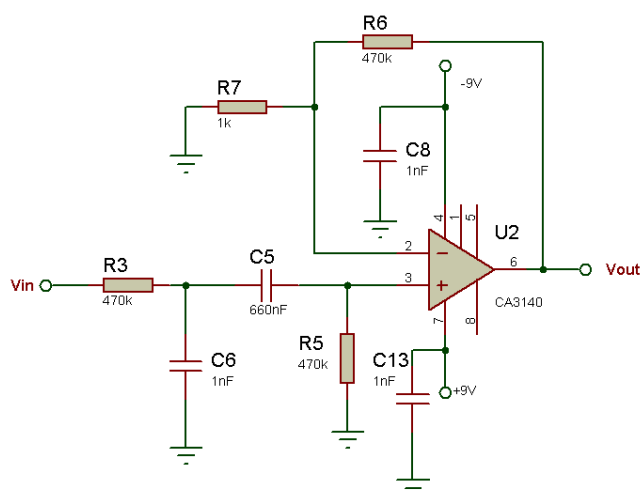


Figura 4 - Estrutura de um Filtro Passa-Alta de 1ª Ordem

O resultado é um filtro passa-faixa com cujas frequências que se encontram situadas entre 0,5Hz e 10Hz sejam amplificadas e as frequências que não estejam dentro dessa faixa sejam atenuadas. A frequência de batimento cardíaco está entre 0,8 a 2,7Hz, segundo Sameshima. O filtro, portanto, é capaz de eliminar sinais indesejados, como o nível DC e ruídos de alta frequência, sem afetar o sinal a ser adquirido.

Após a filtragem, um circuito somador não inversor é utilizado para elevar a tensão média do sinal, impedindo que seu valor instantâneo fique abaixo de zero e danifique o microcontrolador. O sinal é então enviado a entrada do comparador e a entrada analógica do microcontrolador.

O comparador foi utilizado na saída do somador e será responsável por gerar o sinal de interrupção enviado ao microcontrolador, sendo utilizado como estratégia para contagem de pulsos no cálculo da pulsação sanguínea. A histerese faz com que as tensões de disparo positiva e negativa sejam diferentes (BOGART, 2001), evitando que pequenos ruídos no sinal produzam falsas contagens.

4. Resultados e Discussões

O sistema foi validado através de testes comparativos com um equipamento comercial. A amostra compõe-se de 7 adultos saudáveis e em repouso (idade média 38 anos, desvio padrão 12,05). Para cada equipamento (protótipo desenvolvido e sistema comercial) foram realizadas 10 medições de saturação sanguínea e frequência cardíaca para cada indivíduo com intervalo de 1 minuto entre medições. Os valores então foram comparados, obtendo-se um coeficiente de correlação igual a 0,9253. Verifica-se que os dados obtidos estão em conformidade com a literatura, e o erro médio entre a medição do protótipo e o equipamento comercial foi de 3,38%, com desvio padrão 2,64.

Na figura 5, pode-se verificar os batimentos cardíacos do protótipo e do e a saturação de oxigênio que segundo Wilson, um indivíduo saudável, com pulmões saudáveis, respirando ar ambiente, terá uma saturação arterial de oxigênio entre 95 e 100%.

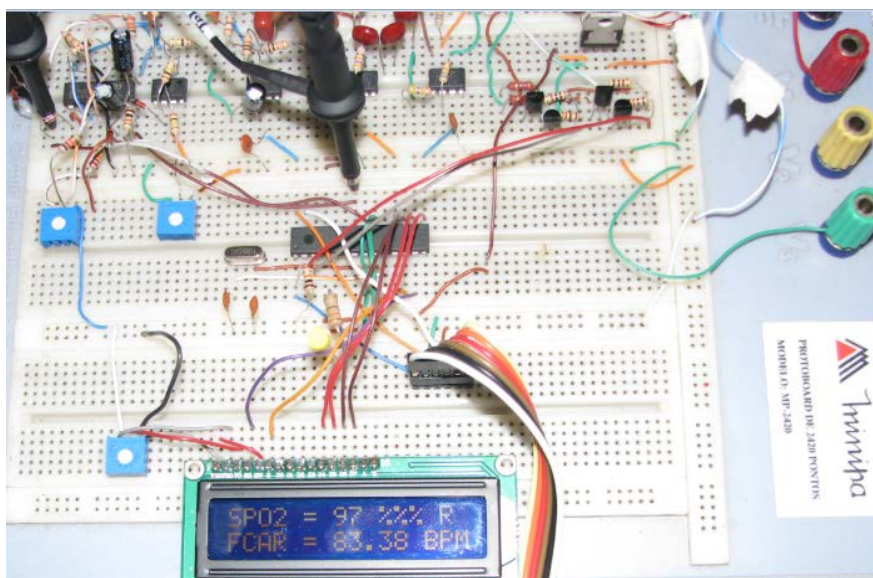


Figura 5 - Dados da Saturação e dos Batimentos Cardíacos Apresentados no Display do Protótipo

Observa-se que os valores estão próximos aos obtidos com o equipamento comercial (figura 6).



Figura 1 - Batimento Cardíaco Apresentado no Oxímetro Comercial

A diferença nos dados dos ocorreram devido a ruídos indesejáveis após o condicionamento do sinal, e alguns fatores como luz ambiente, montagem no protoboard, e temperatura, que podem interferir nos resultados. Outro motivo é o fato de o software utilizar os máximos e mínimos de um único pulso, sendo o ideal fazer a média de vários pulsos cardíacos.

Após a verificação dos resultados no protoboard, o circuito foi montado em uma placa de circuito impresso, figura 7.

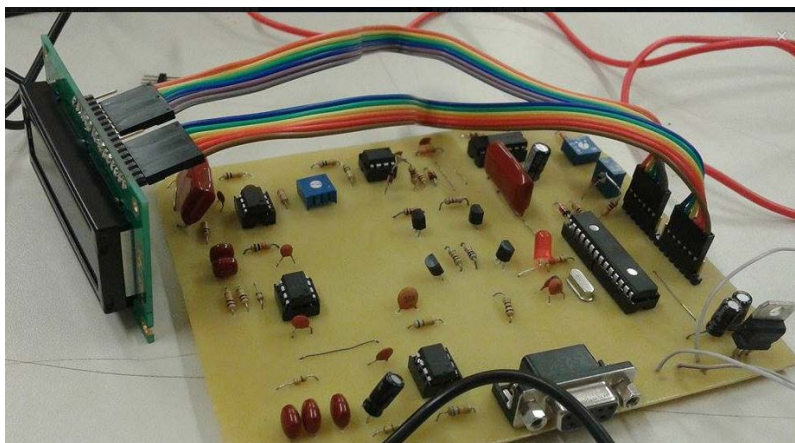


Figura 7 - Placa Montada com o Circuito Completo

Em comparação com outros sistemas encontrados na literatura, como por exemplo (OLIVEIRA, 1998) e (ANDRADE, 2009), o projeto proposto apresenta menor complexidade, com um circuito mais simples e utilizando componentes de baixo custo, permitindo tornar ainda mais comum e acessível esta técnica de medição.

5. Conclusão

O projeto foi considerado bem-sucedido, uma vez que o protótipo desenvolvido atendeu aos objetivos de determinar saturação de oxigênio no sangue e a frequência cardíaca através da oximetria de pulso.

Os valores de medição obtidos estão coerentes com as medições de um equipamento comercial, bem como valores apresentados na literatura. Porém algumas melhorias na programação são necessárias, para minimizar a variação dos valores obtidos em medições subsequentes.

Contudo o projeto atendeu as expectativas, os resultados foram satisfatórios, o objetivo de desenvolver um protótipo capaz de realizar a leitura da saturação de oxigênio no sangue, através de um sensor e apresentar esses dados na tela de um display foi concretizado.

6. Referências

- ANDRADE, L. A. Sistema de medição para oximetria de pulso. MSc. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- BARKER, S.; HAY, W.; MIYASAKA, K.; CRISTÃS, P.; Pulse Oximetry. Disponível em <<http://oximetry.org/pulseox/principles.htm>> Acesso em 25 set. 2013.
- CLARK, Susane A. Normal Oxygen Transport: Design of pulse oximeters. Ed John G. Webster, p 1-12, 1999.
- CURTIS, H.; BARNES, N. S.; Curtis Biologia. 7ª edição. Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana S. A., 2007.

- GUYTON, A. C.; HALL, J. E.; Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças. 6ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara Koogan, 1998.
- PERTENCE, A.; Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos. 7ª edição. Porto Alegre, RS: ARTMED Editora S.A, 2012.
- MENDES, M. F. A.; Espectrofotometria. Disponível em <http://www.ufrgs.br/leo/site_espec/index.html> Acesso em 25 set. 2013.
- OLIVEIRA, M. N. Desenvolvimento de Um Protótipo para a Medida Não Invasiva da Saturação Arterial de Oxigênio em Humanos - Oxímetro de Pulso. MSc, UFP, 1998.
- RALPH, W. C., Mischi, M., Veen, J.; Reducing motion artifacts in photoplethysmograms by using relative sensor motion: phantom study. Journal of Biomedical Optics, vol. 17, Nov 2012.
- SARMENTO, G. J. V.; O ABC da Fisioterapia Respiratória. 1ª edição. Barueri, SP: Editora Manole Ltda, 2009.
- VILHEGAS, L. Z.; Desenvolvimento de um protótipo de monitoração de saturação de oxigênio e frequência cardíaca. São Paulo, 2007.
- WILSON, I.; Tutorial de Anestesia da Semana - Oximetria de Pulso Parte 1. Disponível em <<http://grofsc.net/wp/wp-content/uploads/2013/03/Oximetria-de-pulso-parte-11.pdf>> Acesso em 29 set. 2013.