

Desenvolvimento de sonda de concentração de O₂ dissolvido em água

Bolsista Wilson de Carvalho Jr (CTI) wcarvalho@cti.gov.br

Resumo

Descrever o desenvolvimento de sonda de concentração de O₂, usando sensor luminescente. O método de detecção dos sinais está baseado na técnica de boxcar integrator.

Palavras-chave: Sensores, Boxcar, Óptica, Luminescência, Protótipo

1. Introdução

Sensores de O₂ dissolvido em água tem sido utilizados em várias áreas envolvendo processos bioquímicos e biofísicos, onde o monitoramento e controle da qualidade da água sejam necessários. A presença de O₂ dissolvido permite controlar o nível de poluentes presentes na água, bem como monitorar os processos envolvidos, mantendo-se os níveis de poluentes dentro dos parâmetros normatizados.

Neste trabalho, apresentaremos o desenvolvimento de um protótipo de uma sonda para medida de concentração O₂ dissolvido em água, composto por um circuito eletrônico e por um elemento sensor de O₂.

2. Metodologia

O sensor de oxigênio está baseado na propriedade de que alguns compostos químicos apresentam, conhecida com luminescência [LAKOWICZ, 2006], onde ocorre emissão de radiação quando o mesmo é excitado por alguma forma de radiação. No caso do sensor de O₂, tanto a radiação de excitação, quanto a luminescência ocorrem na região visível do espectro eletromagnético. Como fonte de excitação, utiliza-se uma fonte de luz azul, como um LED ou um laser, enquanto que o material excitado emite luminescência na região do verde ao vermelho, dependendo do composto utilizado.

O material utilizado no sensor de oxigênio apresenta uma propriedade interessante, conhecida como *oxygen quenching* [LAKOWICZ, 2006], onde a intensidade da luminescência é inversamente proporcional à concentração de oxigênio presente ao redor do material luminescente, permitindo, assim, que a concentração de O₂ dissolvido na água seja obtida.

A pastilha usada no desenvolvimento do sensor é o modelo comercial, fornecido pela empresa YSI, modelo PRO ODO [YSI]. O material do sensor é encapsulado em um invólucro plástico, com uma janela transparente, onde o material é excitado e emite luminescência. No outro lado há uma membrana permeável para as moléculas de oxigênio, que interagem com o material luminescente, reduzindo (*quenching*) a intensidade da luminescência. Além do LED azul para excitação, é usada outro LED com emissão no vermelho, que também incide na amostra, não gerando nenhuma luminescência, sendo apenas espalhado pelo material e detectado pelo fotodetector. Este sinal é usado para referência.

A técnica desenvolvida neste trabalho, consiste na emissão de pulsos de luz azul e vermelho, separados temporalmente entre si e a detecção da luz emitida (luminescência) e da luz espalhada pelo material do sensor. Como a excitação do material luminescente é pulsada, somente haverá emissão de luminescência durante o tempo que o pulso de luz azul estiver presente. Na frente do fotodetector foi inserido um filtro

óptico para evitar que os pulsos de luz azul sejam detectados. Desta forma, o sistema eletrônico será capaz de medir a intensidade da emissão de luminescência, bem como a intensidade da luz vermelha usada como referência.

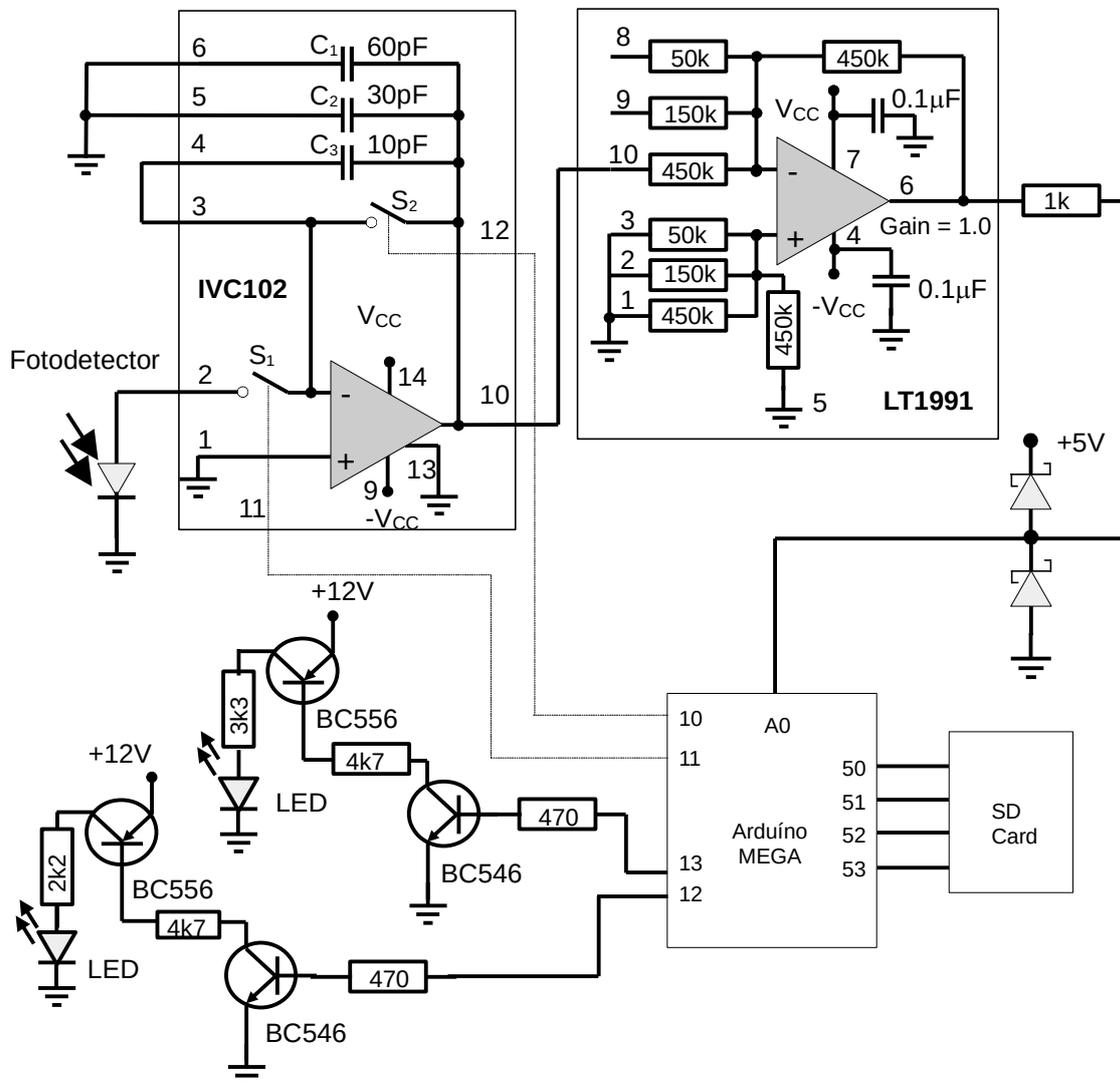


Figura 1: Esquema elétrico do sistema de detecção de pulsos ópticos, onde é utilizada a técnica de boxcar integrator para medida dos pulsos.

O sistema de medida de concentração de oxigênio está baseado em uma técnica conhecida como *boxcar integrator* ou *gated integrator* [ZURICH INSTRUMENTS, 2021], sendo muito utilizada em sistemas eletrônicos para detecção de sinais pulsados em várias aplicações. Basicamente, a técnica consistem em gerar uma sequência de pulsos na grandeza que se pretende medir (tensão, corrente, luz, etc) e posicionar uma janela temporal de alta precisão sobre cada um destes pulsos. Os pontos de início e final da integração podem ser selecionados e otimizados para os objetivos da medida. O sinal é, então, integrado (somado) durante o tempo em que a janela de medida estiver aberta.

Somando-se dezenas ou centenas de pulsos obtêm-se uma média do sinal desejado. Desta forma elimina-se ou reduz-se fortemente o componente do ruído presente nas medidas.

O processador escolhido para o protótipo e testes iniciais foi o Arduíno Mega [ARDUINO] que executa as funções de controle, geração dos pulsos, sincronização, conversão analógica digital e cálculos necessários.

O esquema elétrico do sistema está mostrado na Figura 1. Para alimentar o circuito eletrônico, utiliza-se uma fonte ATX de computador, que fornece as tensões de +/- 12VDC para os chips e +5VDC para o Arduíno. Como o circuito apresenta elevado ganho, deve-se ter cuidado para reduzir o ruído elétrico, principalmente o ruído de 60Hz proveniente da rede elétrica.

A parte principal do circuito eletrônico é composta por dois CIs dedicados, que executam as funções de integração [IVC102] e amplificação dos sinais [LT1991]. O processador sincroniza os sinais, iniciando o período de integração, congela (*hold*) o valor integrado, efetua a conversão analógica digital e efetua o *reset* do integrador. O tempo de integração é controlado pela escolha de capacitores internos do chip IVC102. Neste projeto, utilizamos o capacitor de 10pF para definir o tempo de integração.

O sinal assim preparado é então lido no conversor analógico-digital e armazenado no processador. O valor médio do sinal é calculado após a medida de centenas de pulsos ópticos, com algumas dezenas de μs de duração. Neste trabalho utilizamos sequências de 150 pulsos, com larguras entre 25 a 150 μs , sendo que foi escolhido 75 μs como valor padrão. A sequência de pulsos é repetida duas vezes, uma para o LED azul e outra para o LED vermelho. O processo se repete a cada 155ms e está esquematizado na Figura 2.

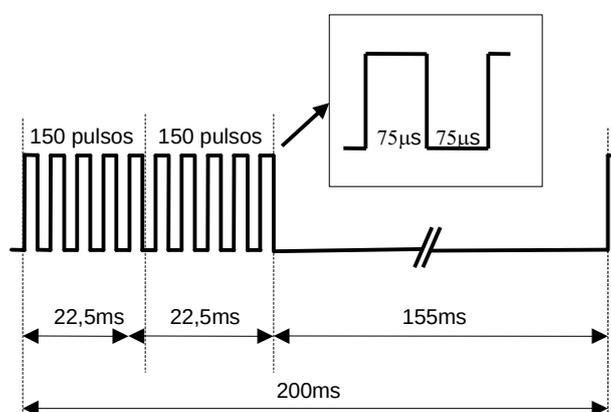


Figura 2: Esquema dos pulsos ópticos gerados pelos LEDs. Cada sequência de pulsos é composta por 150 pulsos de 75 μs de largura. A primeira sequência são os pulsos do LED azul, seguida pela sequência de pulsos do LED vermelho.

A conversão analógica digital teve que ser implementada, por razões de velocidade, atuando-se diretamente nos registradores do conversor analógico digital. Usando esta técnica, a leitura dos 300 pulsos (150 para cada LED) e o cálculo do valor médio é feito em 55ms. Na Figura 3 está mostrado o diagrama temporal para integração dos pulsos ópticos. O processador é programado para efetuar a geração dos pulsos, acionando os LEDs. Para cada pulso gerado, o processador inicia o integrador (chave S_1 aberta), no final do pulso, o valor integrado é congelado (*hold*) e convertido em sinal

digital pelo processador (Ponto B). Após a leitura do sinal, é feito uma limpeza (*reset*) do integrador, mantendo-se a chave S_2 fechada por $10\mu\text{s}$ e iniciando um novo ciclo de integração. Com todos os valores dos pulsos medidos, é obtido o valor médio daquela medida. O processo é repetido para as duas sequências de pulsos (azul e vermelho).

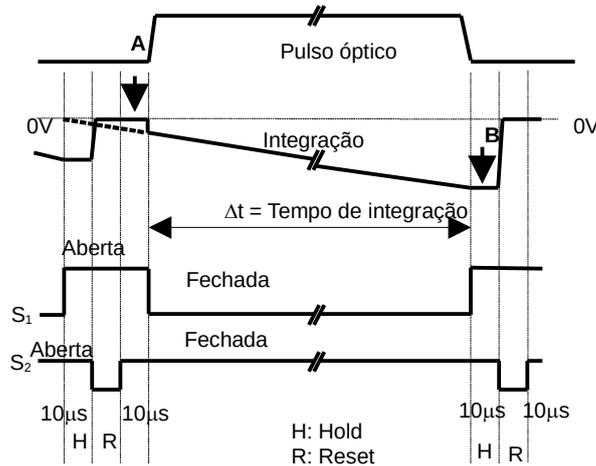


Figura 3: Diagrama esquemático do processo de integração do pulso óptico. A leitura analógica digital é realizada no ponto B. O reset do integrador é feito aplicando um pulso de $10\mu\text{s}$ na chave S_2 .

3. Resultados

Para analisar o método, usando impressão 3D, desenvolvemos uma pequena peça, onde foram inseridos dois LEDs (azul e vermelho), o fotodetector e o sensor.

Inicialmente, para analisar o desempenho do sistema, utilizou-se uma tela branca na posição do sensor, onde os pulsos dos LED foram espalhados e detectados. Um osciloscópio digital Agilent modelo DSO X2012A foi usado para análise dos sinais temporais. Na Figura 4 está mostrado a tela do osciloscópio, onde o traço amarelo indica o pulso óptico e o traço verde é a integração do mesmo. A curva acendente mostra a integração do sinal, até atingir o valor máximo, onde é feita a conversão analógica digital, seguido pelo sinal decaindo de limpeza (*reset*) do integrador.

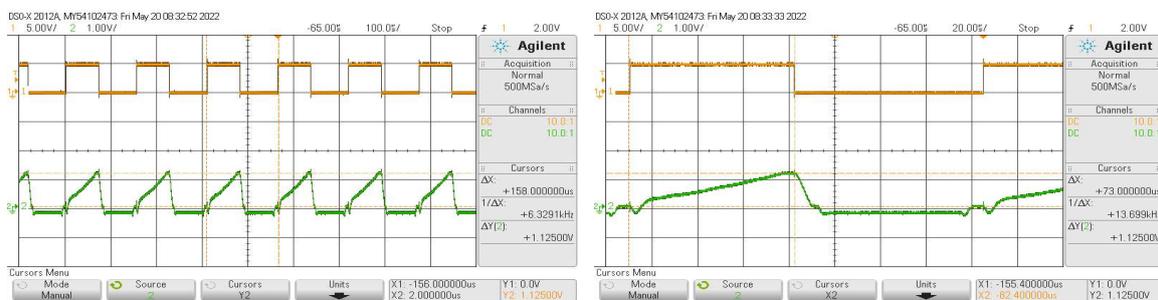


Figura 4: Tela do osciloscópio mostrando o pulso óptico (traço amarelo) e o sinal integrado (traço verde). A leitura da intensidade do sinal é feita no ponto máximo do sinal integrado.

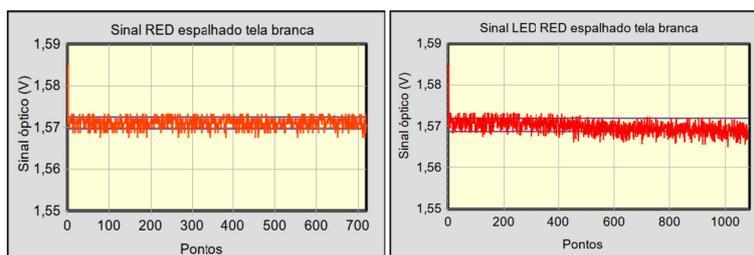


Figura 5: Resultados de medidas em 720 e 1080 pontos (60 e 90 min). Cada ponto corresponde à média da integração de 150 pulsos. As duas linhas horizontais representam um desvio padrão para mais e para menos da média.

Para testar a estabilidade do sistema, foram feitas medidas por 60 e 90 minutos (720 e 1080 pontos respectivamente), com intervalo de 5 seg entre cada ponto. Os resultados estão mostrados na Figura 5. A flutuação dos sinais está dentro de ± 1 desvio padrão, com valores médios de 1,5711V, com desvio padrão de 0,0014V e 1,5703V, com desvio de 0,0019V, para 60 e 90 minutos de medida, respectivamente. A leve inclinação do sinal para 90 min pode ser atribuída à variação de temperatura do laboratório durante a medida. O sistema mostrou ser estável e reprodutível durante várias horas.

A Figura 6 mostra medidas de luminescência do sensor mergulhado em água. Cada ponto do gráfico representa a média de 150 pulsos. As duas linhas horizontais indicam um desvio padrão acima e abaixo da média de 100 medidas.

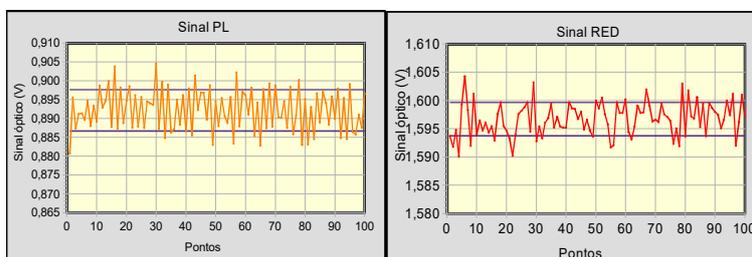


Figura 6: Medida do sinal de luminescência (esquerda) e do pulso de referência do LED (direita). As linhas horizontais indicam o desvio padrão acima e abaixo da média de 100 pontos.

4. Conclusões e Continuação

Neste trabalho desenvolveu-se um sistema de medidas de sinais de luminescência para sensor de O_2 dissolvido em água, baseado na técnica de integração de pulsos. Os testes iniciais indicaram que o sistema é estável e reprodutível.

O circuito proposto é bastante flexível, podendo ter suas funcionalidades facilmente alteradas com pequenas alterações nas conexões elétricas. Por exemplo, o tempo de integração pode ser alterado

em um fator 10 ou o amplificador permite dezenas de valores de ganho. O programa também permite alterações no algoritmo e no processo de integração e conversão analógico digital.

A técnica de *boxcar integrator* desenvolvida neste projeto pode ser utilizada em outras aplicações onde seja necessário medir-se valores de grandezas pulsadas temporamente, melhorando a relação sinal ruído.

O trabalho ainda está em fase de desenvolvimento, sendo que as próximas fases serão concentradas nos estudos para desenvolvimento da pastilha do sensor e da calibração da mesma. Também será projetado o protótipo final da sonda de oxigênio, bem como na utilização de outro processador para controle do sistema e interface com redes de dados.

5. Referências

ARDUINO, Datasheet Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V, 2014

IVC102, Precision Switched Integrator Transimpedance Amplifier, Datasheet, Burr-Brown, 1996

LAKOWICZ, J.R., Principles Of Fluorescence Spectroscopy, Springer, 2006

LT1991, Precision, 100 μ A Gain Selectable Amplifier, Datasheet Linear Technology, 1991.

YSI, ProDIGITAL User Manual, Item 626973-01REF, Rev. H

ZURICH INSTRUMENTS, Principles of Boxcar Averaging, White Paper, 2021,
<https://www.zhinst.com>