



## Desenvolvimento de um Sistema de Aquisição de Sinais com Alimentação e Comunicação de Dados Sem Fio

### Development of a Signal Acquisition System with Wireless Power and Data Communication

Solano Santos de Lima<sup>1</sup>, Fabio Luiz Bertotti<sup>2</sup>

#### RESUMO

O monitoramento de parâmetros e eventos biológicos é fundamental para o estudo, detecção e tratamento de várias doenças. Tipicamente, um dispositivo implantável, possui sensores, um sistema de aquisição de sinais e de comunicação de dados. Considerando o risco do uso de baterias, o fornecimento de energia deve ocorrer sem o uso de fios. Para isso, são empregados enlaces indutivos ressonantes. Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de aquisição de sinais alimentado por um enlace indutivo e com comunicação de dados usando um módulo de comunicação por RF. Experimentos em bancada, levando em conta uma carga variável na saída de um regulador de tensão de 3,3 V, foram conduzidos para avaliar a capacidade de alimentação do enlace. Como resultado, verificou-se que potência máxima na carga foi de, aproximadamente, 1,497 W para uma distância de 7,0 cm entre as bobinas transmissora e receptora. Considerando que potência fornecida foi de 22 W, a eficiência máxima obtida foi de 6,8 %, sendo mais que suficiente para alimentar o sistema de aquisição e transmissão de sinais.

**PALAVRAS-CHAVE:** aquisição de sinais; biotelemetria; enlace indutivo.

#### ABSTRACT

Monitoring biological parameters and events is essential for studying, detecting, and treating various diseases. Typically, an implantable device has sensors, a signal acquisition system, and a data communication system. Considering the risk of using batteries, the power supplying must occur without using wires. For this, resonant inductive links are employed. In this context, the present work proposes the development of a signal acquisition system powered by an inductive link and allowing data communication from an RF module. Bench experiments, taking into account a variable load at the output of a 3.3 V voltage regulator, were conducted to evaluate the power supply capacity of the inductive link. As a result, it was found that the maximum power in the load was around 1.497 W for a distance of 7.0 cm between transmitter and receiver coils. Considering that the power supplied was 22 W, the maximum efficiency obtained was 6.8%, which is more than enough to power the signal acquisition and data transmission system.

**KEYWORDS:** signal acquisition; biotelemetry; inductive link.

## INTRODUÇÃO

A engenharia biomédica é uma área que está relacionada com a capacidade de entender, modificar ou controlar sistemas biológicos com base em conhecimentos da área da engenharia. Uma das principais contribuições dessa área são dispositivos para monitoramento de parâmetros e eventos biológicos (BRONZINO, 2000). Quando o monitoramento requer a obtenção de determinado parâmetro a uma certa distância do objeto alvo da medição, sistemas de telemetria são empregados. Com isso, surgiu a biotelemetria, que é uma subárea da engenharia biomédica que busca medir à distância, ou seja, coletar informações corporais a partir de uma unidade de aquisição de sinais, que

<sup>1</sup> Bolsista do CNPq. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: solanolima@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 1648073776365216.

<sup>2</sup> Docente do Departamento de Engenharia Elétrica (DAELE-PB). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: bertotti@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4739401775990139.



pode estar sobre o corpo ou dentro dele (dispositivo implantado). Os dados obtidos são recebidos por meio de uma unidade de leitura, externa ao corpo (NIKITA, 2014).

Alguns dispositivos implantáveis possuem bateria, o que é um risco alto para os usuários, pois caso ocorra algum defeito ou vazamento, os componentes químicos da bateria podem entrar em contato com o corpo, levando a problemas de saúde (RALCHEV, 2020). Uma alternativa para alimentar o dispositivo interno ao corpo envolve o uso de sistema para Transmissão de Energia Sem Fios ou WPT (*Wireless Power Transfer*), sendo baseados na transferência de energia via campo magnético ou eletromagnético.

Atualmente, os sistemas WPT por campo próximo (magnético) são os mais aplicados, uma vez que o campo magnético é menos atenuado e nocivo ao corpo humano quando comparado com o campo distante (eletromagnético) (SCHORMANS, 2018). A WPT pode ser operacionalizada a partir de um enlace indutivo formado por duas bobinas magneticamente acopladas. Quando essas bobinas são colocadas em ressonância, a eficiência aumenta significativa, pois as reatâncias indutiva e capacitiva são canceladas. Para melhorar ainda mais a eficiência, enlaces ressonantes com múltiplas bobinas foram desenvolvidos. Um exemplo são os enlaces com 3 bobinas ressonantes, formados tipicamente por uma bobina driver fortemente acoplada a uma bobina transmissora, a qual é fracamente acoplada a uma bobina receptora (RAMRAKHYANI, 2013).

Para transferir energia via enlace indutivo é necessário gerar um sinal de excitação na frequência de ressonância do enlace. Para isso, pode-se utilizar um gerador de sinais e um amplificador de potência. Tal amplificador pode ser do tipo Classe-E ou Push-Pull. Os amplificadores Classe-E funcionam em alta-frequência (ordem de MHz) e tem eficiência elevada (> 90%), porém são difíceis de sintonizar (SOKAL, 2003). Os amplificadores Push-Pull são mais simples, mas a eficiência pode ser baixa, dependendo das perdas nas chaves semicondutoras. Para garantir uma eficiência elevada nesses amplificadores, principalmente em alta-frequência (centenas de kHz), pode-se utilizar Transistor de Alta Mobilidade de Elétrons ou HEMT (do inglês, *High Electron Mobility Transistor*), que além de ter um alto desempenho possuem uma resposta com pouco ruído. Este modelo de transistor é parecido com o MOSFET, mas o que difere na construção é a utilização de várias camadas de semicondutores compostos no lugar do silício (BERGAMIM, 2022).

A energia transmitida pelo enlace indutivo é recebida por uma bobina receptora ( $L_R$ ) no dispositivo de aquisição de sinais. O sinal dessa bobina deve ser retificado, filtrado e regulado para alimentar um sistema de aquisição de sinais, formado por, basicamente, um microcontrolador com um sensor conectado e um sistema de comunicação sem fio para realizar a comunicação de dados com um dispositivo externo de leitura. A transferência dos dados adquiridos pode ser feita pelo próprio enlace indutivo ou usando um sistema de radiocomunicação digital por RF. Na primeira opção há limitação da taxa de dados, ficando na ordem de algumas centenas de kbps, enquanto na comunicação via RF essa taxa pode atingir alguns Mbps (TRIGUI *et al.*, 2019).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### MATERIAIS

Os seguintes materiais foram usados desenvolvimento do sistema proposto:

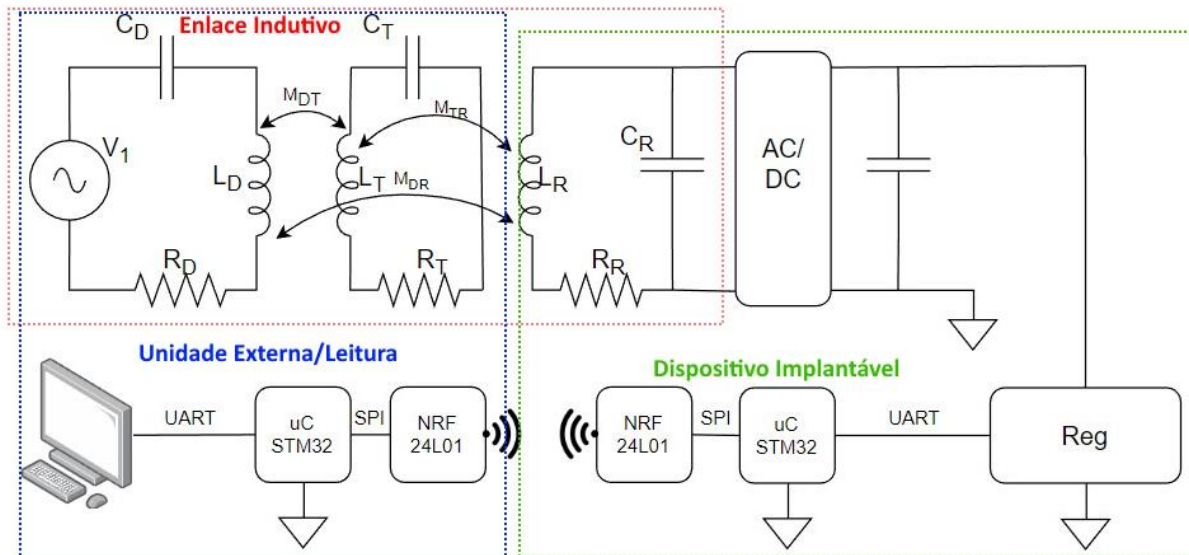
- Gerador de funções, fonte de alimentação, osciloscópio e Medidor RLC;
- Estação de solda e insumos;

- Placa com amplificador de potência modelo GS61004B-EVBCD;
- Duas placas com microcontrolador STM32F103C8T6;
- Dois módulos de RF modelo nRF24L01;
- Componentes eletrônicos (diodos, regulador, resistores, capacitores, etc.);
- Enlace indutivo previamente desenvolvido.

Para facilitar o entendimento, o sistema proposto é representado pelo diagrama de blocos da Figura 1. O sinal de excitação do enlace (fonte V1) é obtido a partir de um gerador de funções e de um amplificador de potência, o qual é alimentado por uma fonte de alimentação DC. A energia de V1 é transmitida pelo primeiro circuito ressonante (bobina driver LD e CD) para o segundo circuito (bobina transmissora LT e CT) e desse último para o circuito de recepção (bobina receptora LR e CR). O sinal recebido é retificado e filtrado, resultando em um sinal DC que vai para um regulador de 3,3 V. A tensão regulada alimenta o microcontrolador e o módulo RF (NRF24L01). Na unidade externa, os dados são recebidos por um módulo de RF (NRF24L01) e lidos por um microcontrolador, o qual envia a informação obtida para um computador, por meio de uma interface UART.

O enlace indutivo pré-concebido compreende uma bobina driver (3 voltas de um cabo com 10 fios trançados com bitola de 18 AWG) fortemente acoplada a uma bobina transmissora (50 voltas do fio 16 AWG esmaltado dividido em 4 camadas), sendo essa última fracamente acoplada a uma bobina receptora (50 voltas de fio de Litz), a qual é posicionada frontalmente às demais bobinas (ver Fig. 2(a) e 2(b)).

Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema proposto



Fonte: autoria própria.

## MÉTODOS

Nessa seção serão descritos os métodos e procedimentos aplicados no desenvolvimento do sistema proposto. Inicialmente, apresentar-se-ão os métodos utilizados para alimentar o sistema de aquisição de dados via enlace indutivo. Em seguida, serão definidos os procedimentos adotados nos experimentos.



Para alimentar o sistema de aquisição é necessário fornecer um sinal de excitação com potência na entrada do enlace indutivo. Primeiramente, o sinal base será gerado a partir de um gerador de funções, tendo a forma de onda quadrada e frequência de 441 kHz, aproximadamente, que corresponde a frequência de ressonância do enlace indutivo. Tal sinal será amplificado em corrente e tensão por meio de um amplificador Push-Pull, modelo GS61004B-EVBCD, que possui circuito de acionamento para os dispositivos HEMT que formam uma ponte H. Para alimentar esse amplificador foram utilizadas duas fontes, sendo uma de 5 V para o circuito de acionamento e outra ajustada para uma tensão entre 10 e 12 V, com capacidade de corrente de até 3 A. A saída do amplificador foi conectada na entrada do enlace, ou seja, no circuito formado por  $L_D$  e  $C_D$ .

O circuito LC série da bobina receptora do enlace foi conectado ao circuito de alimentação do sistema de aquisição, o qual é formado por um retificador de onda completa, usando diodos 1N4148, um capacitor e um regulador de 3,3 V, modelo TPS78333, para alimentar o microcontrolador.

Uma placa de desenvolvimento conhecida como Blue Pill, que contém o microcontrolador STM32F103C8T6, foi empregada para a aquisição de sinais analógicos. Considerou-se o uso do sinal de um potenciômetro para simular um sinal analógico de um sensor. Um módulo de comunicação modelo nRF24L01 foi conectado na interface SPI (*Serial Peripheral Interface*) do microcontrolador para transmissão de dados para o sistema de recepção. Esse sistema de recepção também é formado por uma placa Blue Pill e um módulo nRF24L01, conectando-se ao computador por meio de uma interface UART-USB. Os dados são lidos no computador por meio de um terminal de comunicação serial conectado em uma determinada porta de comunicação (ex. COM10).

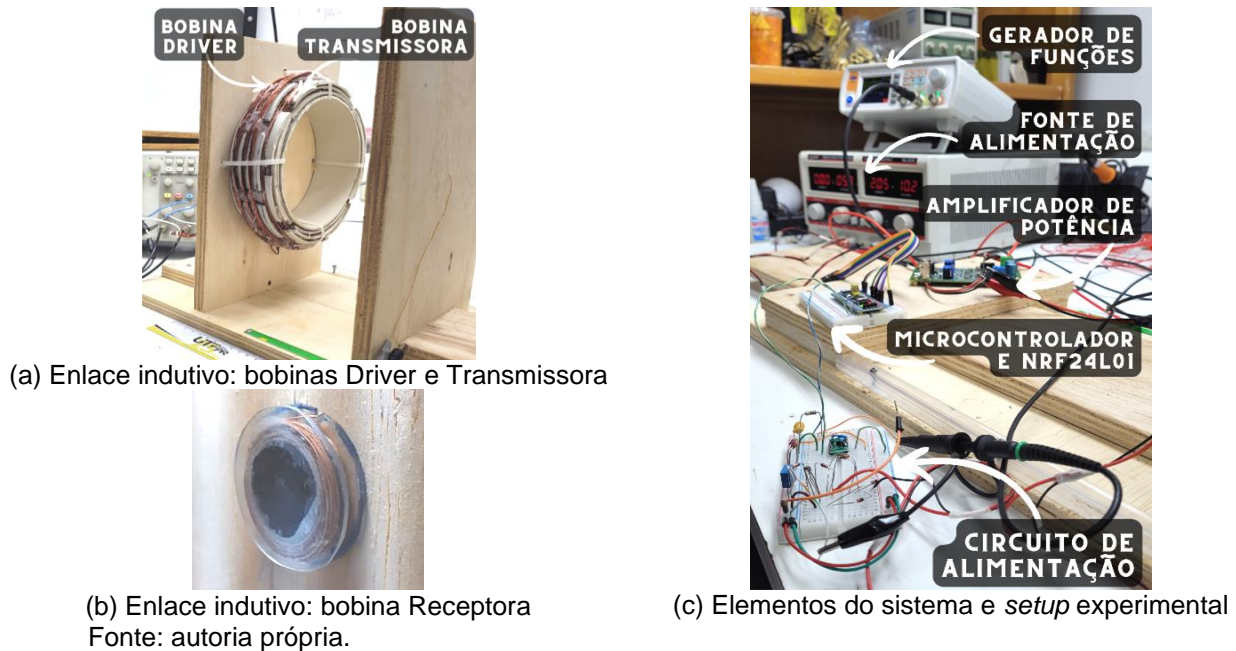
Para o desenvolvimento do *firmware* para o microcontrolador foi utilizada a ferramenta de software STM32CubeIDE, que consiste em um ambiente integrado de desenvolvimento ou IDE (*Integrated Development Environment*) exclusiva para microcontroladores da família STM32 de microcontroladores.

Na avaliação experimental do sistema verificou-se as condições mínimas de alimentação do sistema de aquisição e a transferência contínua de dados conhecidos. Para isso, uma carga variável, de 24 a 200 ohms foi conectada na saída do regulador de tensão, com o sistema de aquisição desconectado. Então, foi determinada a distância máxima em que ainda era possível fornecer a tensão regulada de 3,3 V à carga. Na sequência, a carga foi substituída pelo sistema de aquisição realizando a transmissão de dados previamente definidos. Com isso, é possível conferir se a capacidade de alimentação do enlace é suficiente para alimentar o sistema de aquisição de sinais sem fio.

## RESULTADOS

O enlace indutivo previamente desenvolvido é mostrado na Figura 2(a), enquanto a Figura 2(b) apresenta a bobina receptora. O arranjo experimental elaborado pode ser visualizado na Figura 2(c). Observa-se que o circuito de alimentação do sistema de aquisição foi montado em protoboard contendo a ponte retificadora, capacitor para filtragem e regulador (soldado em uma placa adaptadora).

Figura 2 - Arranjo experimental elaborado.



No primeiro experimento, uma carga resistiva variável de 24 a 200 ohms foi aplicada na saída do regulador, ficando desconectados o microcontrolador e o módulo de RF. A condição adotada foi que a tensão na saída do regulador deve se manter em 3,3 V, para a maior distância possível entre as bobinas receptora e transmissora, mesmo com a variação de carga. A Tabela 1 relaciona a carga utilizada, a corrente na saída do regulador, a potência na carga e a distância entre as bobinas. Observa-se que ao aumentar a potência na carga foi necessário aproximar a bobina receptora da bobina transmissora, ou seja, diminuir a distância entre essas bobinas. Como resultado, foi possível receber uma potência de 1,497 W para uma distância de 7 cm. Considerando que a potência fornecida pela fonte de alimentação foi de aproximadamente 22 W (tensão de 10 V e corrente de 2 A), a eficiência total foi de 6,8 % ( $Eff = (1,497/22) \cdot 100$ ).

Tabela 1 - Potência recebida com a variação de carga

Carga ( $\Omega$ )	Corrente(A)	Potência(W)	Distância (cm)
200	0,017	0,180	8,5
100	0,033	0,359	8,5
66,66	0,050	0,539	8,0
50	0,066	0,719	7,8
32	0,103	1,123	7,5
24	0,138	1,497	7,0

Fonte: autoria própria.

No segundo experimento, a carga resistiva foi substituída pelo microcontrolador e módulo de RF. O sistema de aquisição foi configurado para enviar continuamente dados conhecidos, o que facilita o reconhecimento dos dados recebidos. Para uma tensão de alimentação de 3,3 V, a corrente consumida foi de 33 mA, resultando em uma potência de aproximadamente 109 mW para uma distância de 8,5 cm, ficando muito abaixo da potência máxima recebida (1,497 W). Isso comprova que o sistema WPT desenvolvido é capaz de alimentar um sistema de aquisição de sinais com transmissão de dados sem fio.



## Conclusões

Esse artigo apresentou o desenvolvimento de um sistema de aquisição de sinais alimentado por um enlace indutivo com comunicação de dados via RF. Como resultado, foi possível fornecer ao circuito receptor uma potência de 1,497 W para uma distância de 7,0 cm entre a bobina transmissora e receptora do enlace, sendo mais que suficiente para alimentar o sistema de aquisição. Futuramente, pretende-se avaliar melhor a comunicação de dados, uma vez falhas na conexão e dados corrompidos foram detectados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e a Fundação Araucária pelo apoio financeiro concedido.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

BERGAMIM, Luis F. O. Investigação de parâmetros elétricos, analógicos e ruído de baixa frequência em transistores de alta mobilidade de elétrons. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UNESP. Sorocaba, p. 117. 2022.

BRONZINO, Joseph D. The biomedical engineering handbook. 2. ed. CRC Press LLC. Florida, 2000.

NIKITA, Konstantina S. Handbook of Biomedical Telemetry. 1. ed. Wiley, 2014.

RALCHEV, Martin; MATEEV, Valentin; MARINOVA, Iliana. Transient heating of discharging li-ion battery. IEEE Transactions On Biomedical Circuits and Systems, 06 2020, pp. 1–3.

RAMRAKHYANI, Anil Kumar; LAZZI, Gianluca. On the design of efficient multicoil telemetry system for biomedical implants. IEEE Transactions On Biomedical Circuits and Systems, vol. 7, no. 1, pp. 11–23, April 2013.

SCHORMANS, Matthew; VALENTE, Virgilio; DEMOSTHENOUS, Andreas. Practical inductive link design for biomedical wireless power transfer: A tutorial. IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, vol. 12, no. 5, pp.1112–1130, 2018.

SOKAL, Nathan O. Class-E High-Efficiency Rf/Microwave Power Amplifiers: Principles Of Operation, Design Procedures, And Experimental Verification. Boston, MA: Springer, 2003.

TRIGUI, Aref; HACHED, Sami; AMMARI, Ahmed Chiheb; SAVARIA, Yvon; SAWAN, Mohamad. Maximizing data transmission rate for implantable devices over a single inductive link: Methodological review. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, v. 12, p. 72–87, 2019.