



Estudo de Estratégias de Monitoramento Sem Fio para Aplicação em Máquinas

Palavras-Chave: Mancal Hidrodinâmico, Coletor de Energia, Monitoramento de condição

Autores(as):

Tiago Henrique Agostinho, FEM –UNICAMP

Prof. Dr. Gregory Bregion Daniel, FEM - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Este resumo visa descrever as atividades realizadas neste projeto de iniciação científica, que está relacionado ao estudo de estratégias para o monitoramento remoto de máquinas. Para isso, um mancal hidrodinâmico segmentado tem sido utilizado como objeto de estudo, na qual coletores piezoelétricos de energia vibracional têm sido instalados nos segmentos. A concepção e desenvolvimento deste mancal é descrito em [1].

Devido à falta de componentes eletrônicos acentuada principalmente pela pandemia da COVID 19, houve uma elevada dificuldade de obter microcontroladores de baixo consumo para atender as diferentes demandas do mercado. Dessa forma, tornou-se necessário estudar inicialmente os principais sensores e microcontroladores de baixo consumo de energia disponíveis comercialmente, a fim de identificar quais os melhores dispositivos a serem utilizados para tal aplicação. A partir dessa etapa, foram então realizadas análises utilizando o mancal segmentado autônomo, considerando diferentes classes de máquinas rotativas. Assim, a partir de um melhor entendimento sobre a instrumentação aplicada a esse novo mancal e das condições de vibrações presentes nas diferentes classes de máquinas, é possível então avaliar as melhores estratégias de monitoramento.

METODOLOGIA:

O estudo e a busca por componentes de baixo consumo de energia focou-se principalmente nos microcontroladores e transmissores, uma vez que são os itens de maior consumo do sistema e sabe-se que nesta aplicação não é esperado uma geração relativamente elevada de energia.

As pesquisas foram iniciadas pelos microcontroladores da *Texas Instruments*, principalmente os produtos da linha *MSP430* que possuem um consumo médio de corrente esperado de cerca de 330 μ A em modo padrão [2]. Além disso, foram analisados também os microcontroladores da fabricante *Atmel*, sendo eles: ATMEGA128 [3], ATMEGA328P [4], ATMEGA1281 [5] e ATTINY85 [6]; cujo consumo médio de corrente esperado é de cerca de 15mA.

Por fim, foram analisadas também algumas placas de desenvolvimento da *ST Microelectronics*, que apesar de possuir um consumo em modo padrão de processamento de cerca de 40 mA, fornece a possibilidade de redução de consumo, tanto via código como via *hardware*, em condições específicas para essa aplicação[7].

Apesar do consumo ser o principal fator da análise em questão, outras demandas e especificações devem ser consideradas. Dessa forma, quando comparado esses produtos levando também em conta a disponibilidade no mercado, material de estudo encontrado na literatura, capacidade de processamento e compatibilidade com outros *hardwares*, o Núcleo L412KB da *ST Microelectronics* foi o indicado para o projeto. Com relação aos transmissores, a pesquisa foi mais direcionada para encontrar os disponíveis no mercado, visto que, além de ter o fator de compatibilidade desses componentes com o microcontrolador, há também mais material disponível na literatura. Desta forma, a pesquisa para os transmissores mais utilizados resultou basicamente em 2 opções, a saber, NRF24L01 e SYN115/SYN480R (transmissor/receptor).

O primeiro módulo (NRF24L01) possui um consumo aproximado de 11,3 mA em modo de transmissão, além de possuir modos de operação de baixo consumo [8]. Já o segundo (SYN115/SYN480R [9]) possui um consumo de 3,0 mA em modo padrão de operação e 0,9 uA em modo *shutdown*, sendo que ambos também trazem limitações ao dispositivo. Atualmente está em uso nos testes o módulo NRF24L01.

Após identificar os melhores dispositivos a serem utilizados neste projeto, iniciou-se então um estudo sobre a instrumentação e operacionalização da presente bancada de testes utilizada em [1]. A Figura 1 apresenta uma visão geral do dispositivo de teste, bem como do circuito utilizado para a coleta de energia vibracional.

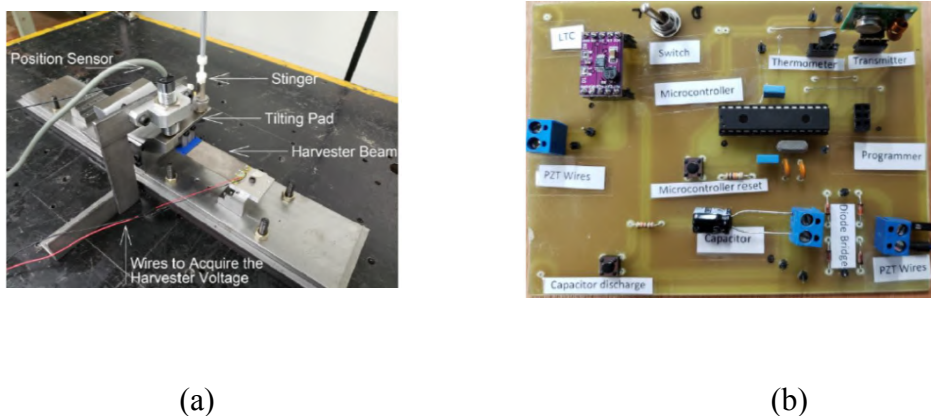


Figura 1 – Aparato experimental: (a) Montagem na bancada de testes; (b) Circuito elétrico utilizado na coleta de energia [1].

A Figura 1(a) demonstra uma montagem experimental que gera as vibrações resultantes no mancal hidrodinâmico através de um deslocamento controlado por um Shaker, sendo essa energia vibracional coletada através de coletores piezoelétricos instalados nos segmentos do mancal. Já a Figura 1(b) apresenta o circuito elétrico utilizado para a coleta de energia vibracional através dos coletores piezoelétricos, conforme usado nos testes por [1].

Esse circuito é composto pelo circuito padrão de funcionamento do MCU (ATMEGA 328P) com alguns resistores, capacitores e um cristal oscilador. Além disso, é possível verificar o sensor de temperatura e os transmissores utilizados. Já na parte inferior direita (Diode Bridge) e superior esquerda (LTC), há dois circuitos com o mesmo objetivo, a saber: receber a energia coletada e direcioná-la para o restante do circuito, de forma que, a partir disso, seja possível avaliar qual deles possui o melhor funcionamento. Enquanto o primeiro é composto basicamente por uma ponte de diodos e capacitores, o segundo realiza esse processo através de um módulo comercial LTC.

Por fim, é importante mencionar que o estudo destes dispositivos foi fundamental para entender todo o processo de coleta, armazenamento e utilização da energia durante o monitoramento da máquina, que, neste caso, se refere a aquisição da temperatura no mancal. Além disso, o entendimento desses dispositivos e do processo torna-se essencial para a utilização de novos microcontroladores, a fim de implementar novas estratégias de monitoramento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Tomando como base a proposta utilizada na tese de doutorado de Silveira [1], iniciou-se os testes comparando os consumos do novo microcontrolador Núcleo-L412KB e da placa de desenvolvimento Arduino Uno, que possui o microcontrolador ATMEGA328P, que fora usada no desenvolvimento da tese.

As figuras a seguir apresentam os testes preliminares realizados nesses dispositivos.

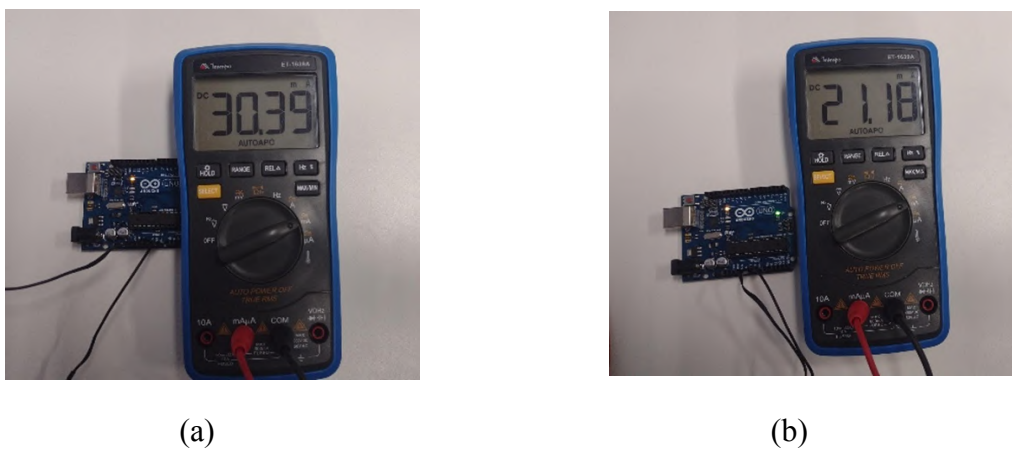


Figura 2 – Testes com a placa Arduino Uno: (a) Modo padrão; (b) *PowerDown*.

A Figura 2 apresenta o consumo da placa Arduino Uno em loop vazio com alimentação externa de 5 volts em modo padrão e *PowerDown*, respectivamente. Como mostrado nessa figura, o consumo em modo padrão foi de 30,39mA, enquanto que em modo *PowerDown* foi de 21,18mA.

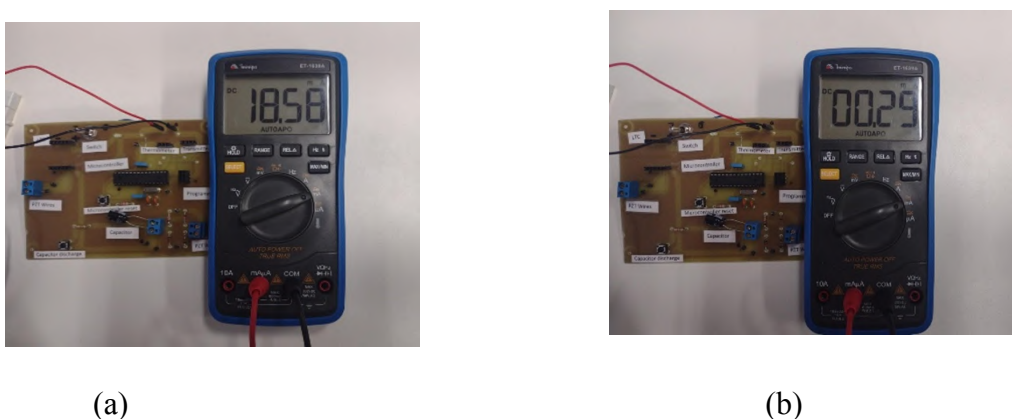


Figura 3 – Testes com o microcontrolador ATMEGA328p: (a) Modo padrão; (b) *PowerDown*.

A Figura 3 apresenta o consumo do microcontrolador ATMEGA328p em loop vazio, fora da placa de desenvolvimento Arduino Uno, e com alimentação externa de 5 volts em modo padrão e *PowerDown*, respectivamente. Como mostrado nessa figura, o consumo em modo padrão foi de 18,58mA, enquanto que em modo *PowerDown* foi de 0,29mA, indicando, portanto, que o uso do

microcontrolador ATMEGA328p fora da placa de desenvolvimento (Arduino Uno) resulta em um menor consumo de energia.



(a)

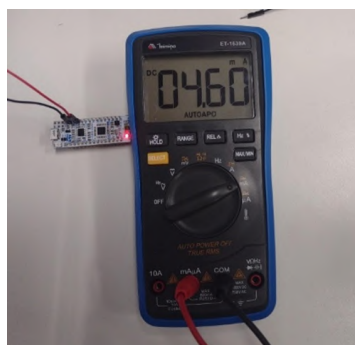


(b)

Figura 4 – Testes com a placa Nucleo-L412KB: (a) Valor máximo; (b) Valor mínimo.

A Figura 4 apresenta o consumo da placa Nucleo-L412KB em loop vazio com alimentação externa de 5 volts pelo pino de alimentação padrão. Como mostrado nessa figura, o consumo varia entre 45,60mA e 55,94 mA devido à mudança de estado do LED 1, localizado na parte inferior esquerda da placa.

Por fim, a Figura 5 apresenta o consumo da placa Nucleo-L412KB em loop vazio com alimentação externa de 5 volts, antes (Figura 5a) e após (Figura 5b) a remoção das pontes de soldas SB9 e SB14, responsáveis pela alimentação do ST-LINK (Sistema de depuração e comunicação USB). Conforme mostrado nessa figura, o consumo de energia em modo *shutdown* é de 4,6 mA (sem remoção das pontes SB9 e SB14) e de 0,4 μ A (com a remoção das pontes SB9 e SB14). Como indicado no datasheet, a remoção das pontes de soldas SB9 e SB14 são recomendadas para atingir menor nível de consumo de energia e deve ser aplicada quando a programação do microcontrolador já esteja finalizada, uma vez que desabilita a comunicação USB e o sistema de depuração ST-LINK. Para aplicações de baixo consumo, tal como a proposta neste projeto, a utilização da placa Nucleo-L412KB sem as pontes de solda SB9 e SB14 representa uma solução promissora, pois permite uma significativa redução de consumo quando comparado com a solução usada por Silveira [1].



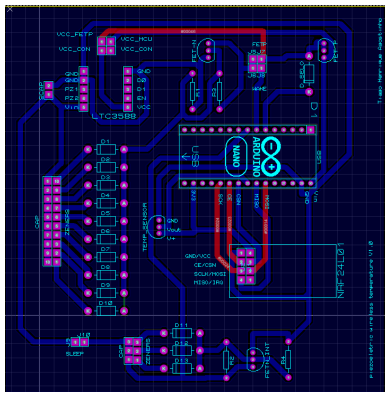
(a)



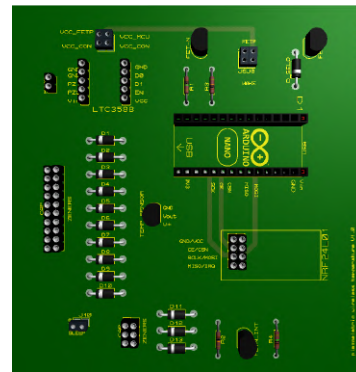
(b)

Figura 5 – Testes com da placa Nucleo-L412KB: (a) Valor máximo; (b) Valor mínimo.

Após a verificação em bancada dos mínimos níveis de consumo da placa de desenvolvimento partiu-se para o prototipagem da placa de circuito que integra o MCU com o circuito de coleta de energia e transmissão (similar à da Figura 1-(b)). Uma versão inicial fora confeccionada, onde foi possível verificar imprecisões no projeto do circuito, atualmente uma segunda placa encontra-se em desenvolvimento. A Figura 6 mostra o esquemático da placa e o modelo 3D.



(a)



(b)

Figura 6 – Projeto da nova placa com Nucleo-L412KB: (a) Arquivo BRD da placa; (b) Modelo 3D.

O funcionamento da nova placa se assemelha a placa proposta por Silveira [1]. Entretanto, optou-se pelo uso apenas do módulo LTC para processamento da coleta de energia. Além disso, jumpers de conexão ligados a diodos Zeners foram considerados, a fim de permitir a condução de energia elétrica a partir de um determinado nível de tensão. Nesta aplicação serão utilizados níveis máximos e mínimos de operação do circuito, sendo o nível mínimo necessário para sua ativação e máximo possível para se manter ativo.

CONCLUSÕES:

A partir dos resultados e análises realizadas até o momento, algumas conclusões podem ser estabelecidas sobre o presente trabalho.

1. A busca e utilização de microcontroladores específicos para aplicação de baixa energia permitiu reduzir significativamente o consumo de energia no circuito.
2. O transmissor apresenta um componente de destaque no circuito e, portanto, a utilização de um transmissor de baixo consumo permitiu reduzir ainda mais o consumo de energia.
3. Com base na redução do consumo de energia obtido nesse novo circuito, o sistema de monitoramento pode então ser aplicado em demandas com níveis de vibração mais baixos.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Silveira, A. R. G. Piezoelectric Energy Harvesting applied to Smart Tilting Pad Journal Bearings, PhD Thesis, University of Campinas, 2021.
- [2] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f1611.pdf?ts=1662394969543>, acessado em setembro de 2022.
- [3] https://br.mouser.com/datasheet/2/268/Atmel_2549_8_bit_AVR_Microcontroller_ATmega640_128-1315286.pdf, acessado em setembro de 2022.
- [4] https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf, acessado em setembro de 2022.
- [5] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2467.pdf>, acessado em setembro de 2022.
- [6] https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf, acessado em setembro de 2022.
- [7] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l412c8.pdf>, acessado em outubro de 2022.
- [8] https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1.0.pdf, acessado em novembro de 2022.
- [9] https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/SYN480R-FS24_C15561.pdf, acessado em novembro de 2022.