

# Análise do Sensor MPU-6050: Acelerômetro e Giroscópio

Nathan Spínola Zeidan  
Universidade de Brasília-UnB  
180025864  
180025864@aluno.unb.br

João Vítor da Silva Fonseca  
Universidade de Brasília-UnB  
180113739  
180113739@aluno.unb.br

## I. REPOSITÓRIO

O repositório contendo os códigos utilizados para a execução deste projeto pode ser acessado através do seguinte link no GitHub: [Inserir LINK].

## II. INTRODUÇÃO

Os sensores giroscópio e acelerômetro são dispositivos inerentes que medem a orientação e aceleração em três dimensões. O giroscópio registra taxas de rotação angular em cada eixo, enquanto o acelerômetro avalia as forças resultantes, incluindo a aceleração gravitacional e linear.

Os dados desses sensores possibilitam rastrear a posição e orientação de um objeto em tempo real, podendo ser combinados com outros sensores, como o de campo magnético, para determinar a orientação em relação ao campo magnético da Terra.

Esses sensores desempenham um papel crucial em diversas aplicações, incluindo jogos, navegação, drones e veículos autônomos. Eles permitem que dispositivos eletrônicos capturem e interpretem o movimento físico, como no controle de personagens em jogos.

Resumidamente, os sensores giroscópio e acelerômetro são essenciais em dispositivos eletrônicos modernos, possibilitando a coleta de dados para um controle preciso em três dimensões, tornando-se ainda mais valiosos quando combinados com outros sensores em diversas aplicações.

### A. Teoria Geral da Instrumentação

A instrumentação eletrônica desempenha um papel fundamental na medição de uma ampla variedade de grandezas físicas, desde as mais simples, como temperatura e velocidade, até aplicações complexas, como veículos autônomos. Essa área de conhecimento é essencial para monitorar, pesquisar e controlar sistemas e processos.

Embora muitas vezes passem despercebidos, os princípios da instrumentação eletrônica estão presentes em nossa vida cotidiana, seja ao medir a temperatura, pesar alimentos, monitorar a velocidade do trânsito por radares, ou no desenvolvimento de veículos autônomos.

Para projetos complexos, como veículos autônomos, é crucial medir diversas variáveis que influenciam seu funcionamento, como velocidade e orientação. A base de toda instrumentação é a medição, um procedimento experimental

para determinar o valor instantâneo de uma grandeza física e expressá-lo de acordo com o sistema internacional de medidas (SI).

O aprendizado na instrumentação eletrônica é prático, pois a teoria sozinha não é suficiente. A compreensão real da instrumentação ocorre ao realizar medições com sensores, dispositivos capazes de captar e responder a estímulos.

Este relatório concentra-se na medição de duas grandezas específicas: aceleração, com o uso do acelerômetro, e momento angular, com o giroscópio. Abordaremos em detalhes o processo de medição dessas grandezas, com destaque para o sensor MPU-6050, que desempenha um papel crucial neste contexto.

### B. Funcionamento do acelerômetro

Um acelerômetro é um dispositivo que mede a variação de velocidade de um objeto, seja linear ou angular, através da movimentação de massas em relação a sistemas de molas. Existem dois tipos principais de acelerômetros: os piezoelétricos, que geram energia elétrica ao sofrerem deformação mecânica, e os capacitivos, que utilizam placas paralelas para formar um capacitor. Quando a massa se move em relação a essas placas, a alteração na distância entre elas é medida e convertida em um sinal elétrico, que pode ser processado para determinar a aceleração.

Os acelerômetros são amplamente empregados em diversas aplicações, como em smartphones, sistemas de controle de estabilidade, navegação inercial e muito mais. Eles são capazes de medir acelerações com alta precisão e velocidade suficiente para monitorar movimentos e vibrações em tempo real.

O MPU-6050 é um acelerômetro do tipo capacitivo do sistema MEMS (Micro-Electro-Mechanical System). Ele é capaz de operar em sistemas sujeitos a acelerações na faixa de 2g, 4g, 8g e 16g.

### C. Funcionamento do giroscópio

O giroscópio é um dispositivo mecânico que utiliza o princípio da conservação do momento angular para medir a rotação ou orientação de um objeto. Ele consiste em um rotor que gira em alta velocidade em torno de um eixo, mantido em suspensão por um conjunto de anéis e suportes.

Quando o giroscópio é colocado em movimento, o rotor começa a girar e, devido à inércia ele tende a manter sua

posição no espaço, ou seja, embora o objeto em que o giroscópio esteja anexado se mova ou mude de direção o seu rotor continuará a girar na mesma direção e com a mesma velocidade relativa ao espaço, mantendo assim a sua posição.

O movimento do rotor cria um efeito de precessão, onde o eixo do rotor muda de direção em resposta a forças aplicadas ao giroscópio. Esse efeito é usado para medir a rotação do objeto em que o giroscópio está anexado.

Os giroscópios são dispositivos precisos e confiáveis tanto que sua aplicação varia desde a utilização em sistemas como a navegação inercial, estabilização de câmeras e controle de videogames até mesmo aviões, submarinos, foguetes.

O giroscópio presente na MPU-6050 utiliza o efeito Coriolis para medir a velocidade angular. Ele possui uma massa de prova suspensa em um suporte flexível que pode se mover em varias direções. Quando o dispositivo gira, a massa de prova também se desloca devido ao efeito Coriolis. Esse deslocamento é detectado por sensores internos que convertem o movimento em um sinal elétrico proporcional a velocidade angular. Esse giroscópio também permite determinar a orientação e movimento do dispositivo nos três eixos. As faixas de operação desse giroscópio são em torno de 250°/s, 500°/s, 1000°/s e 2000°/s.

### III. DESENVOLVIMENTO

#### A. Embarcados

Para a realização das medições, empregaremos um Arduino Uno em conjunto com o sensor MPU-6050, o qual integra um giroscópio, um acelerômetro e um termômetro em seu interior.

O objetivo final do projeto é efetuar a leitura dos valores obtidos por meio do giroscópio e do acelerômetro, sendo o termômetro excluído do escopo. A MPU-6050 é equipada com oito pinos, desempenhando funções específicas:

- VCC (Voltage Common Collector): Pino de alimentação.
- GND (Ground): Pino de aterramento.
- SCL (Serial Clock): Pino do relógio serial, responsável por sincronizar a transferência de dados entre o sensor e o microcontrolador.
- SDA (Serial Data): Pino de dados serial, utilizado para transmitir informações entre o sensor e o microcontrolador. É por meio deste pino que as informações relativas à aceleração e velocidade angular são transmitidas.
- XDA (Accelerometer Disabled): Este pino possibilita a desativação do acelerômetro.
- XCL (Local Clock): Utilizado para fornecer um relógio local ao sensor.
- ADO (I2C Address): Empregado para definir o endereço I2C do sensor.
- INT (Interrupt): Serve para gerar interrupções no microcontrolador sempre que eventos específicos ocorrem.

É possível identificar os pinos na figura ??

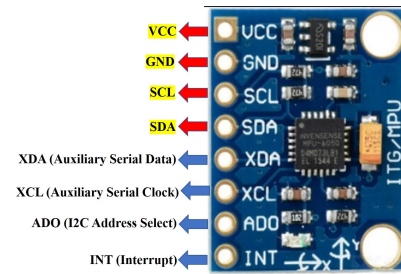


Fig. 1. MPU-6050

O esquemático do circuito pode ser observado na figura ?? gerada pelo software Proteus. Seguindo o recomendável pela fabricante, o sensor será alimentado por uma tensão de 3.3 V

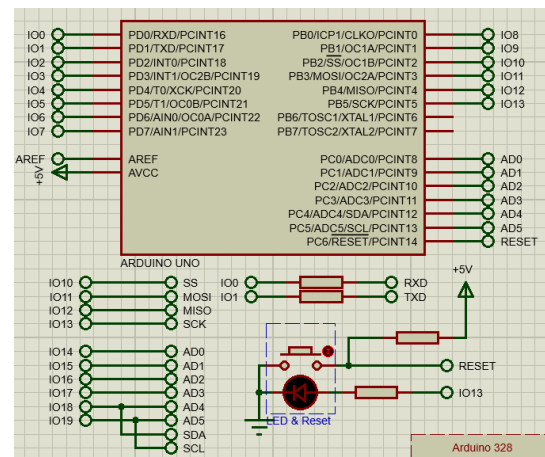


Fig. 2. Esquemático gerado através do software Proteus

Após a montagem do circuito, prosseguiu-se com a programação do código por meio do software de desenvolvimento do Arduino, o Arduino IDE. O código criado está acessível para revisão no repositório mencionado: [Inserir LINK].

Uma imagem do circuito montado pode ser observada na figura ?? :

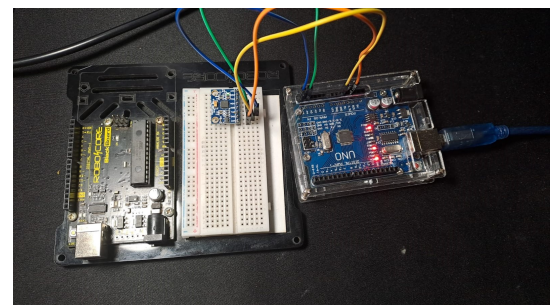


Fig. 3. Circuito montado

#### B. Extração de dados e resultado

Utilizando a IDE do Arduino na versão 1.8.19, desenvolvemos um código que estabeleceu comunicação com o

MPU-6050, permitindo a extração e exibição dos dados de aceleração e velocidade angular do sensor no computador. Para obter os dados de aceleração em unidades de gravidade (g), realizamos a conversão dividindo o valor bruto lido pelo acelerômetro por 16384, conforme especificado no datasheet, que descreve a sensibilidade do acelerômetro como sendo de 16384 LSB por unidade de gravidade (g).

$$Valor no Monitor Serial = \frac{Valor Bruto Lido}{16384} = \frac{LSB}{g} = (g) \quad (1)$$

Para o giroscópio, realizamos uma conversão dos valores para graus por segundo (grau/s) dividindo o valor bruto lido pelo giroscópio por 131. Isso se baseia nas especificações do datasheet, que indicam uma sensibilidade de 131 LSB por grau por segundo (grau/s) para a configuração de escala selecionada em AFS SEL=0 e FS SEL=0. Essas configurações correspondem, respectivamente, a  $\pm 2g$  e  $\pm 250$  graus/s, como detalhado nas tabelas I e II.

$$Valor no Monitor Serial = \frac{Valor Bruto Lido}{131} = \frac{gaus}{s} \quad (2)$$

Conseguimos visualizar os dados de duas maneiras: no Serial Monitor, em formato de valores numéricos, e no Serial Plotter, onde foram gerados gráficos. Para uma análise mais clara, os resultados foram divididos em duas partes. Inicialmente, coletamos os dados com o sensor MPU6050 em repouso e, posteriormente, realizamos a mesma coleta com o sensor em movimento, resultando nos seguintes dados:

| Output Serial Monitor x                                     |             |            |             |             |            |  |  |  |  |
|---|-------------|------------|-------------|-------------|------------|--|--|--|--|
| Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM10') |             |            |             |             |            |  |  |  |  |
| AccX: 0.06  | AccY: -0.01 | AccZ: 1.38 | GyrX: -3.06 | GyrY: -2.57 | GyrZ: 0.70 |  |  |  |  |
| AccX: 0.06  | AccY: -0.02 | AccZ: 1.39 | GyrX: -2.82 | GyrY: -2.53 | GyrZ: 0.77 |  |  |  |  |
| AccX: 0.06  | AccY: -0.01 | AccZ: 1.39 | GyrX: -2.98 | GyrY: -2.50 | GyrZ: 0.88 |  |  |  |  |
| AccX: 0.05  | AccY: -0.02 | AccZ: 1.38 | GyrX: -2.99 | GyrY: -2.67 | GyrZ: 1.02 |  |  |  |  |
| AccX: 0.06  | AccY: -0.01 | AccZ: 1.38 | GyrX: -2.87 | GyrY: -2.61 | GyrZ: 0.77 |  |  |  |  |
| AccX: 0.06  | AccY: -0.01 | AccZ: 1.39 | GyrX: -3.10 | GyrY: -2.62 | GyrZ: 0.89 |  |  |  |  |
| AccX: 0.06  | AccY: -0.02 | AccZ: 1.37 | GyrX: -2.94 | GyrY: -2.56 | GyrZ: 0.94 |  |  |  |  |
| AccX: 0.06  | AccY: -0.01 | AccZ: 1.37 | GyrX: -2.91 | GyrY: -2.44 | GyrZ: 0.78 |  |  |  |  |

Fig. 4. Valores de medição do acelerômetro e giroscópio

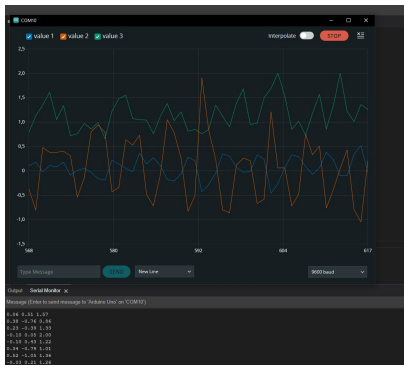


Fig. 5. Gráfico Acelerômetro

#### IV. CONCLUSÃO

Através da implementação do código em linguagem C no Arduino, utilizando o software Arduino IDE, conseguimos

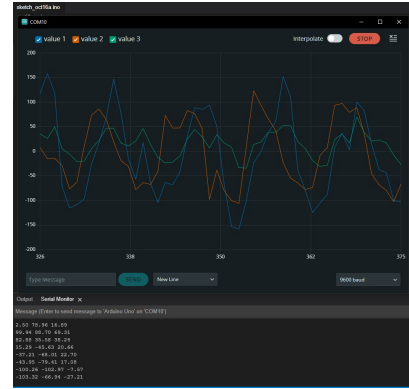


Fig. 6. Gráfico Giroscópio

visualizar os dados de aceleração e velocidade angular fornecidos pelo sensor MPU-6050, após realizar a conversão para as unidades de medida desejadas. Durante o período em que o sensor permaneceu em repouso, observou-se uma variação mínima nos valores do acelerômetro e do giroscópio, que pode ser atribuída a ruídos externos. Embora uma possível solução para esse problema envolva a implementação de filtros para reduzir essa variação no estado de repouso, a magnitude dessa variação é insignificante e não afeta o funcionamento do projeto.

Por outro lado, ao movimentar o sensor, tanto o acelerômetro quanto o giroscópio registraram variações que correspondiam aos movimentos realizados, resultando em alterações nos valores registrados em cada um dos eixos. Essa capacidade de capturar e transmitir com precisão as variações nas grandezas medidas demonstra a eficácia do sensor MPU-6050 no contexto da instrumentação eletrônica.

#### REFERENCES

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, *A Guide to L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X*, 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.

TABLE I  
TABELA COM INFORMAÇÕES DO ACELERÔMETRO DA MPU-6050

| Parâmetros                               | Condições                                      | Valores                                      |
|--|--|--|
| Faixa de operação                        | AFS_SEL=0; AFS_SEL=1; AFS_SEL=2; AFS_SEL=3     | $\pm 2g$ ; $\pm 4g$ ; $\pm 8g$ ; $\pm 16g$   |
| Temperatura de operação                  |  | -40°C a 85°C                                 |
| Comprimento de palavra ADC               | Saída em formato de complemento de dois        | 16 bits                                      |
| Escala de sensibilidade                  | AFS_SEL=0; AFS_SEL=1; AFS_SEL=2; AFS_SEL=3     | 16384LSB/g; 8192LSB/g; 4096LSB/g; 2048LSB/g; |
| Tolerância de calibração inicial         |  | +/-3%  |
| Não-linearidade                          |  | 0,5%   |
| Mudança de Sensibilidade vs. Temperatura | AFS_SEL=0, -40°C a 85°C                        | +/-0,02%/°C                                  |
| Sensibilidade de eixo cruzado            |  | +/-2%  |
| Mudança de Nível Zero-G vs. Temperatura  | Eixos X e Y, 0° C a 70° C; Eixo Z, 0°C a 70° C | $\pm 35mg$ ; $\pm 60mg$                      |
| Tolerância de calibração inicial         | Eixos X e Y; Eixo Z                            | $\pm 50mg$ ; $\pm 80mg$                      |
| Resposta de auto teste - relativo        | Variação em relação ao ajuste de fábrica       | -14 a 14%                                    |
| Ruído - Densidade espectral de potência  | @10Hz, $AFS\_SEL = 0 \& ODR = 1kHz$            | $400g/\sqrt{Hz}$                             |
| Resposta do filtro passa-baixa           | Faixa programável                              | 5Hz a 260Hz                                  |
| Taxa de saída de dados                   | Faixa programável                              | 4Hz a 1000Hz                                 |
| Incremento da função de inteligência     |  | 32mg/LSB                                     |

TABLE II  
TABELA COM INFORMAÇÕES DO GIROSCÓPIO DA MPU-6050

| Parâmetros  | Condição                                 | Valores  |
|---|--|--|
| Faixa de operação   | FS_SEL=0;FS_SEL=1;<br>FS_SEL=2;FS_SEL=3  | $\pm 250^\circ/s$ ; $\pm 500^\circ/s$ ;<br>$\pm 1000^\circ/s$ ; $\pm 2000^\circ/s$ |
| Temperatura de operação   |  | -40°C a 85°C   |
| Comprimento de palavra ADC  |  | 16 bits  |
| Escala de sensibilidade   | FS_SEL=0;FS_SEL=1;<br>FS_SEL=2;FS_SEL=3  | 131LSB/(°/s); 65,5LSB/(°/s);<br>32,8LSB/(°/s); 16,4LSB/(°/s)                       |
| Tolerância da escala de sensibilidade                                 | 25°C                                     | -3 a +3%   |
| Variação da escala de sensibilidade                                   |  | $\pm 2\%$  |
| Não-linearidade   | Linha reta de melhor ajuste; 25°C        | 0,2%   |
| Sensibilidade Cruzada de Eixos  |  | $\pm 2\%$  |
| Tolerância Inicial de ZRO   | 25°C                                     | $\pm 20^\circ/s$   |
| Variação de ZRO em função da temperatura                              | -40°C a 85°C                             | $\pm 20^\circ/s$   |
| Sensibilidade à alimentação de energia<br>(1 - 250Hz); (250 - 100kHz) | Onda senoidal, 100mpVpp; VDD=2,5V        | 0,2°/s; 4°/s   |
| Sensibilidade à aceleração linear                                     | Estática                                 | 01°/s/g  |
| Resposta de auto teste relativa                                       | Variação em relação ao ajuste de fábrica | -14 a 14%  |
| Ruído total RMS   | DLPFCFG=2 (100Hz)                        | 0,05 °/s-rms   |
| Ruído RMS de baixa frequência   | Largura de banda 1Hz a 10Hz              | 0,033 °/s-rms  |
| Densidade espectral de ruído de taxa                                  | A 10 Hz                                  | $^\circ/s/\sqrt{Hz}$   |
| Frequências mecânicas do giroscópio: eixo X; eixo Y; eixo Z           |  | 30 a 36kHz; 27 a 33kHz; 24 a 30kHz   |
| Resposta do filtro passa-baixa  | Faixa programável                        | 5 a 256Hz  |
| Taxa de saída de dados  | Faixa programável                        | 4 a 8000Hz   |
| Estabilização de ZRO (a partir do ligamento)                          | Até $\pm 1^\circ/s$ do final             | 30ms   |