**Trabalho de Pesquisa — Modularização PWM**

**Tema**

Modulador PWM (Pulse Width Modulation)

**Objetivo**

Compreender o conceito e o funcionamento da modulação por largura de pulso (PWM), sua importância dentro da arquitetura de sistemas embarcados e IoT, bem como a relação com o ADC (Conversor Analógico-Digital) e a forma como ambos se complementam no controle de sinais, sensores e atuadores.

**Contexto (com base na aula)**

Durante a aula, estudamos o processamento de sinais em microcontroladores, onde:

* As entradas (sensores) captam sinais analógicos do ambiente;
* As saídas (atuadores) respondem a esses sinais em forma digital;
* E o microcontrolador realiza o processamento utilizando conversão ADC e modulação PWM.

Essa modulação é fundamental para converter comandos digitais em sinais controláveis para atuadores como LEDs, motores e sistemas de potência, permitindo variação de intensidade, velocidade ou posição.

**Tópicos que devem ser pesquisados e respondidos**

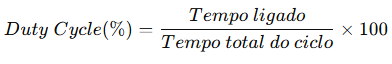
**1. O que é o Modulador PWM**

* Explique o significado de “Modulação por Largura de Pulso”.

Modulação por Largura de Pulso.  
 É uma técnica usada para controlar a quantidade média de energia entregue a uma carga elétrica (como um motor ou LED), ligando e desligando rapidamente o sinal digital.  Em vez de variar a tensão de forma contínua (como um sinal analógico), o PWM mantém a mesma amplitude de tensão, mas altera o tempo em que o sinal permanece ligado durante cada ciclo.  
 Essa variação de tempo “ligado” determina a potência média enviada ao dispositivo.

* O que significa “Duty Cycle”?

Ciclo de Trabalho indica a porcentagem de tempo que o sinal permanece ligado (nível alto) em relação ao tempo total de um ciclo. Quanto maior o duty cycle, maior a energia média transmitida à carga.



* Qual é a diferença entre PWM e um sinal analógico contínuo?

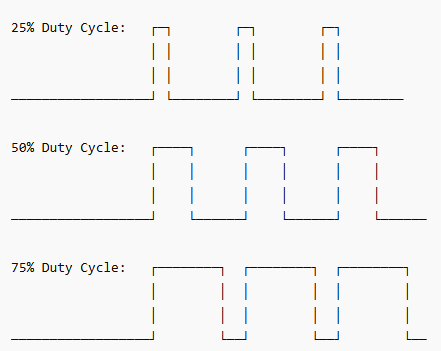
A principal diferença entre o PWM (Modulação por Largura de Pulso) e um sinal analógico contínuo está na forma como cada um controla a quantidade de energia entregue a um dispositivo. O sinal analógico varia de forma contínua, podendo assumir qualquer valor de tensão dentro de um intervalo, como uma linha suave que sobe e desce conforme o controle desejado. Já o PWM é um sinal digital que alterna rapidamente entre dois níveis fixos — ligado (nível alto) e desligado (nível baixo) —, controlando a energia média transmitida pela variação do tempo em que o sinal permanece ligado durante cada ciclo, conhecido como “duty cycle”. Assim, enquanto o analógico ajusta diretamente a tensão, o PWM ajusta o tempo de acionamento. Na prática, o resultado pode ser semelhante, mas o PWM é mais eficiente e amplamente utilizado em sistemas digitais, como microcontroladores, por ser mais fácil de gerar e consumir menos energia.

**2. Como o PWM funciona**

* Descreva como o PWM gera diferentes níveis médios de tensão.

O PWM gera diferentes níveis médios de tensão controlando o tempo em que o sinal permanece ligado durante cada ciclo, chamado de duty cycle. Quando o sinal fica ligado por mais tempo, a tensão média aumenta; quando fica ligado por menos tempo, a tensão média diminui. Dessa forma, mesmo usando apenas dois níveis de tensão (ligado e desligado), o PWM consegue simular diferentes valores médios de tensão aplicados a um dispositivo.

* Mostre um gráfico representando diferentes duty cycles (25%, 50%, 75%).



* Explique como a frequência do sinal influencia o comportamento da carga.

Influencia diretamente o comportamento da carga porque determina a velocidade com que o sinal liga e desliga. Quando a frequência é muito baixa, dispositivos como LEDs podem piscar visivelmente e motores podem vibrar, já que a variação entre ligado e desligado é perceptível. Já com uma frequência alta, essas variações acontecem tão rapidamente que a carga não consegue perceber as mudanças, respondendo como se recebesse uma tensão contínua média. Assim, frequências mais altas resultam em um funcionamento mais estável e suave dos dispositivos controlados.

**3. Para que serve o PWM**

* Liste e explique aplicações do PWM em:
  + Controle de velocidade de motores DC;

O PWM ajusta a velocidade do motor variando o *duty cycle*. Quando o sinal permanece ligado por mais tempo, a tensão média aumenta e o motor gira mais rápido; quando fica ligado por menos tempo, a tensão média diminui e o motor desacelera.

* Controle de brilho de LEDs;

Alterando o *duty cycle*, o PWM controla o tempo em que o LED fica aceso em cada ciclo. Um ciclo com pouco tempo ligado deixa o LED mais fraco, enquanto um tempo maior aumenta o brilho, sem precisar alterar a tensão de alimentação.

* Controle de temperatura e potência elétrica;

Em aquecedores e resistores, o PWM regula a potência média aplicada. Isso permite manter uma temperatura estável, ligando e desligando rapidamente a energia para evitar desperdício e oscilações bruscas.

* Outras aplicações em robótica e IoT.

O PWM é usado para controlar servomotores, ajustar a velocidade de ventiladores, bombas e atuadores, e também para economizar energia em dispositivos conectados. Em sistemas IoT, ele é essencial para gerenciar o consumo e otimizar o desempenho de sensores e atuadores.

**4. Importância do PWM**

* Por que o PWM é mais eficiente que um sinal analógico puro?

Porque os componentes de controle, como transistores, operam apenas nos estados totalmente ligados ou totalmente desligados, quase sem dissipar energia. Em sinais analógicos contínuos, a tensão precisa ser ajustada de forma gradual, e parte da energia é perdida em forma de calor nos componentes. Com o PWM, mesmo entregando diferentes níveis médios de potência, a energia é usada de forma mais econômica, reduzindo perdas e aumentando a eficiência do sistema.

* Qual é a vantagem de controlar energia através do duty cycle?

A vantagem de controlar a energia através do duty cycle é que é possível ajustar a potência média entregue a um dispositivo de forma precisa e eficiente, sem precisar variar a tensão continuamente. Alterando apenas o tempo em que o sinal permanece ligado, consegue-se controlar brilho de LEDs, velocidade de motores ou temperatura de resistores, mantendo baixo consumo de energia e reduzindo perdas por aquecimento nos componentes.

* Explique a importância do PWM no consumo energético e na precisão de controle.

É importante no consumo energético porque permite entregar apenas a quantidade de energia necessária ao dispositivo, evitando desperdício e reduzindo perdas por aquecimento nos componentes. Além disso, ele proporciona precisão de controle, pois é possível ajustar de forma fina a potência média através do duty cycle, permitindo controlar com exatidão velocidade de motores, brilho de LEDs ou temperatura de aquecedores, tornando sistemas mais eficientes e confiáveis.

**5. Aplicação prática no Arduino**

* Como o Arduino gera um sinal PWM?

O Arduino gera PWM usando temporizadores internos que ligam e desligam rapidamente um pino digital. Com o comando analogWrite(pino, valor), o Arduino cria um sinal que alterna entre 0 V e 5 V. O valor define o duty cycle: quanto maior, mais tempo o sinal fica ligado em cada ciclo, aumentando a tensão média entregue ao dispositivo.

* Quais pinos possuem suporte (marcados com ~)?

Nos Arduinos mais comuns, como o Arduino Uno, os pinos que suportam PWM são aqueles marcados com o símbolo ~. No Uno, esses pinos são: 3, 5, 6, 9, 10 e 11. Esses pinos podem gerar sinais PWM usando a função analogWrite().

**6. Interferência do PWM no ADC**

Explique o que é o ADC (Conversor Analógico-Digital) e sua função no microcontrolador. -Descreva como sinais PWM podem interferir em medições analógicas, caso não haja filtragem. -Cite soluções para evitar interferências (uso de filtros RC, capacitores e separação de alimentação). -Explique por que é importante entender essa interferência em projetos de IoT.

O ADC é um componente do microcontrolador que converte sinais analógicos em valores digitais para que ele possa processar informações de sensores. Sinais PWM, por ligarem e desligarem rapidamente, podem causar ruídos que interferem nas medições analógicas se não houver filtragem adequada. Para evitar essas interferências, utilizam-se filtros RC, capacitores e a separação das fontes de alimentação dos circuitos analógicos e digitais. Entender essa interferência é importante em projetos de IoT, por que leituras imprecisas podem comprometer o funcionamento e a confiabilidade dos dispositivos.