

# AUDIO PLAYER COM ATUALIZAÇÃO À DISTÂNCIA

**Palavras-Chave:** Geração de áudio, Internet das Coisas, Comunicação Sem Fio

**Autores(as):**

**Leonardo Reis Costa, FEEC – UNICAMP**

**Prof. Leandro Tiago Manera (orientador), FEEC - UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

A demanda por formas de reprodução de áudio na indústria atual é alta, evidenciada pela quantidade de dispositivos eletrônicos que utilizam algum tipo de feedback sonoro. No entanto, a maioria dos recursos de baixo nível para reprodução de áudio são baseados em firmware proprietário, ou seja, implementados em chips especializados cuja tecnologia não é disponibilizada abertamente. Isso gera uma dependência de empresas fornecedoras de hardware para que essa funcionalidade seja incorporada em projetos, afetando desenvolvedores independentes, startups e outras empresas que não possuem firmware e hardware próprios para reprodução de áudio.

Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de reproduzir um arquivo de áudio enviado remotamente por um dispositivo externo, uma vez que a comunicação sem fio é de ampla utilização no ramo tecnológico, atendendo a uma ampla gama de projetos. O estudo visa elaborar métodos que atendam aos padrões da indústria, focando na criação de um sistema energeticamente eficiente e de baixo custo. Além disso, busca-se a disponibilização pública do hardware utilizado e do código desenvolvido, permitindo que desenvolvedores e instituições possam utilizá-los como referência na construção de seus próprios projetos, com foco em aplicações sonoras e internet das coisas. Ao final do projeto, busca-se ter um protótipo capaz de manter um arquivo de áudio recebido a distância em uma memória e reproduzi-lo quando se desejar.

## METODOLOGIA:

Para construir o sistema especificado, o projeto foi dividido em partes separadas, modularizando o estudo e permitindo a otimização de componentes individuais para atingir o escopo do projeto como um todo. A seguir são apresentadas as metodologias utilizadas.

### Reprodução do Áudio

A parte mais fundamental do projeto é naturalmente a forma como o arquivo de áudio é reproduzido. Aqui, temos o objetivo de, a partir de um arquivo de áudio com formato definido, controlar a saída de um microcontrolador de forma a produzir o sinal sonoro equivalente. Uma forma de atingir esse objetivo é utilizando um sinal PWM (Pulse Width Modulation).

Um sinal PWM consiste em um sinal digital com uma dada frequência que varia entre níveis alto e baixo após uma determinada fração de seu período, denominada *duty cycle* (Figura 1). Uma característica importante do sinal PWM é que a potência do sinal é proporcional ao *duty cycle*, ou seja, a potência pode ser controlada simplesmente alterando o instante da borda de transição. Controlando a potência, é possível reproduzir um sinal de áudio alterando o *duty cycle* de acordo com a potência instantânea do sinal que se deseja reproduzir. Essa informação é obtível a partir de um áudio no formato *raw*, um formato descomprimido que contém as amostras de amplitude do áudio, e para o qual é possível converter facilmente a partir de outros formatos comprimidos como *mp3*.

Uma grande vantagem implementacional do PWM é que a maioria dos microcontroladores possuem módulos embutidos em seu hardware dedicados especialmente para essa função, que ao mesmo tempo facilitam e oferecem precisão para a geração de PWM. Isso amplia a gama de projetos em que esse sistema pode ser aplicado, e mesmo que o microcontrolador não possua um módulo dedicado, o PWM é um sinal simples que pode ser gerado facilmente nas portas de saída de qualquer microcontrolador.

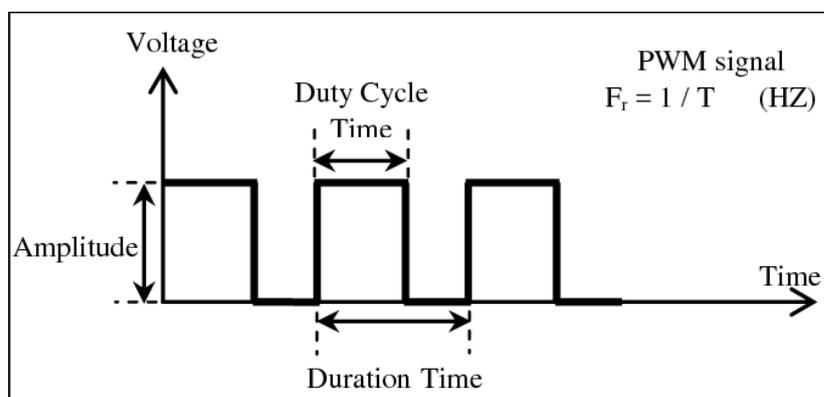


Figura 1: Ilustração de um sinal PWM genérico - fonte: <https://www.squids.com.br/arduino/projetos-arduino/projetos-squids/basico/264-projeto-80-interruptao-por-timer-no-arduino-disparo-de-alarme-com-sensor-de-toque>

Se o sinal PWM for conectado diretamente à entrada de um auto-falante, será possível escutar o áudio, porém, ele terá baixa intensidade e terá alto ruído. Para obter um áudio de qualidade é necessário primeiro filtrar o sinal para remover a alta frequência do PWM (a frequência de amostragem do arquivo *raw*), deixando apenas um sinal analógico com o espectro de frequência do áudio (idealmente), e então amplificar o sinal, como mostra a Figura 2. Os circuitos que compõem o filtro e o amplificador são bem conhecidos, e os parâmetros de cada componente foram estudados para obter uma boa qualidade consumindo o mínimo de potência possível.

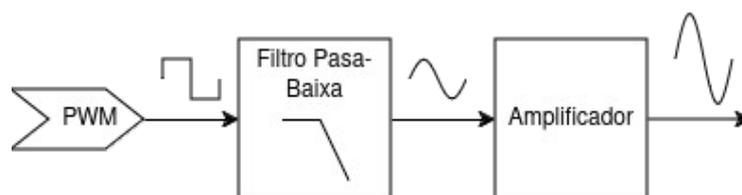


Figura 2: Diagrama de amplificação e filtragem do sinal PWM

## Armazenamento do Áudio

Armazenar o arquivo de áudio foi um dos principais dificultadores da pesquisa. Não seria boa prática armazenar os dados diretamente na memória do microcontrolador, pois estamos tratando de arquivos descomprimidos, e portanto um áudio de pouco mais que alguns segundos iria consumir mais espaço de armazenamento que grande parte dos microcontroladores são capazes de fornecer. Com isso, é necessária para grande parte das aplicações a utilização de uma memória externa. Nos seis primeiros meses do projeto, dedicados à otimização do circuito de reprodução do áudio, foi usada uma pequena memória EEPROM capaz de armazenar 512Kb. Ela tinha a vantagem de ser rápida e de fácil aplicação com vários chips, já que utilizava o protocolo I2C.

Porém, buscando suporte para arquivos de áudio maiores, passou-se a utilizar um Cartão SD para o armazenamento dos arquivos de áudio. O Cartão SD tem as vantagens de geralmente possuir uma capacidade de armazenamento maior e de poder ser formatado com um sistema de arquivos padrão (no caso do projeto, o formato FAT32), além de poder ser facilmente desacoplado do circuito, transportado ou conectado a um computador, permitindo a fácil manipulação dos arquivos. Existem adaptadores utilizados amplamente na indústria para implementar cartões SD em circuitos, e o projeto utiliza um módulo que permite a comunicação por SPI. A exigência para a utilização de um cartão SD é apenas que exista um driver para o microcontrolador utilizado que permita a leitura e escrita de arquivos em formato FAT32.

### **Comunicação à distância**

Está também no escopo do projeto a possibilidade de o sistema receber o arquivo de áudio através de alguma forma de comunicação sem fio e armazená-lo para que possa ser reproduzido a qualquer momento.

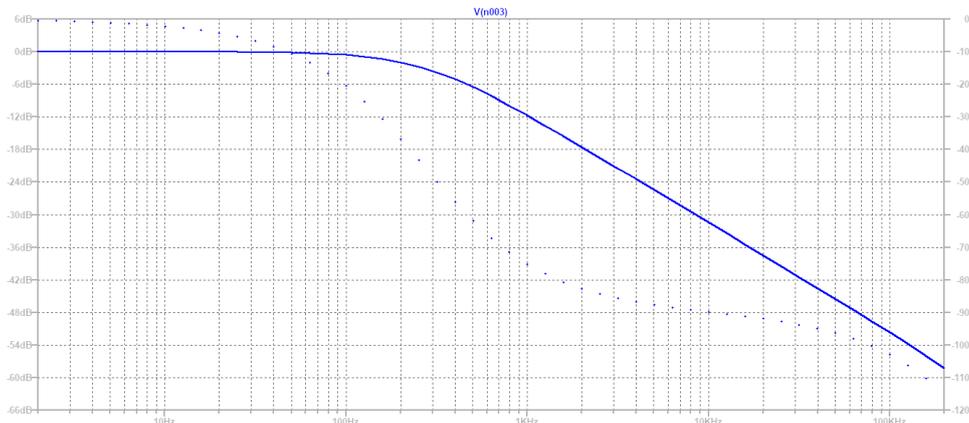
Para essa funcionalidade, foi escolhido usar a comunicação Bluetooth. A tecnologia Bluetooth é bastante conhecida e utilizada amplamente na indústria, a maior parte dos dispositivos possuem o hardware para utilizá-la. Essas características oferecem robustez ao protocolo utilizado pelo projeto para receber os dados, e permite que eles sejam enviados a partir de uma ampla gama de dispositivos, dando flexibilidade de integração em um sistema de vários equipamentos e ampliando para aplicações de Internet das Coisas (IOT).

Bluetooth foi escolhido em vez de Wifi devido a alguns fatores, dentre eles, principalmente, o menor consumo energético sem deixar de suprir as necessidades para a maior parte das possíveis aplicações do estudo. Fora isso, o Bluetooth permite a comunicação entre os dispositivos desde que estejam próximos, sem a necessidade da presença de uma rede Wifi. Para aplicações que exigissem envios mais rápidos de dados, ou que exigissem maior segurança, o Wifi seria uma opção mais adequada.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

O protótipo do projeto, atualmente, consta de um STM32F103C8T6 sendo usado como microcontrolador, o circuito de filtragem e amplificação, um módulo que permite a comunicação com o

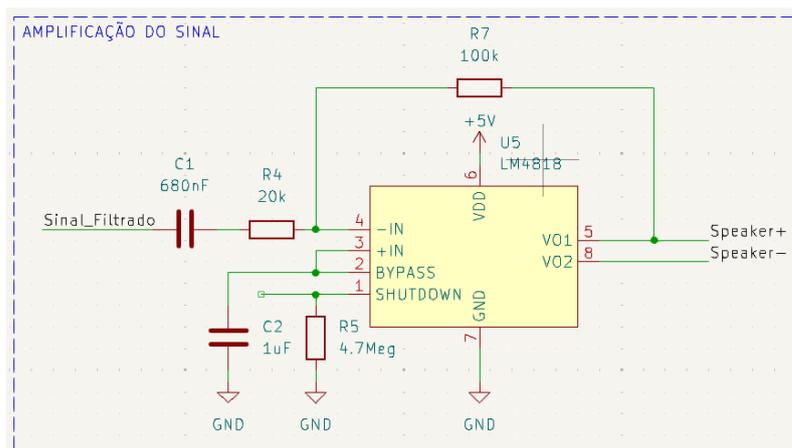
cartão SD, um módulo bluetooth para o HC-06 que permite a adaptação dos sinais captados pelo módulo para o protocolo UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), que é bem conhecido e que, assim como o SPI, permite uma aplicação para a maioria dos microcontroladores. O protótipo, além dessas partes fundamentais, conta também com dois botões para controle e um Display LCD para a mostra de informações.



**Figura 3: Resposta em Frequência do Circuito de Filtragem**

O circuito de filtragem consiste em um filtro passa-baixa RLC bem conhecido. Os parâmetros foram ajustados em simulação e testados de forma a produzir a resposta em frequência mostrada na Figura 3. A faixa de audição humana é em torno de 20Hz e 20kHz, e pela simulação o circuito de filtragem oferece um ganho de 0dB em 20Hz e -36dB em 20kHz, o que configura uma atenuação de em torno de 63 vezes para as maiores frequências audíveis. Isso é intencional, pois as maiores frequências audíveis no sinal de entrada são justamente as geradas pelo PWM, que são muito maiores que as do áudio reproduzido.

O circuito de amplificação foi feito utilizando o amplificador de áudio LM4818, escolhido principalmente devido ao seu baixo custo e consumo de energia. Utilizando este chip, foi construído o circuito amplificador inversor mostrado na Figura 4. A principal vantagem do circuito é que o ganho é proporcional à razão entre as resistências R7 e R4, permitindo o ajuste da intensidade do áudio.



**Figura 4: Circuito Amplificador Inversor construído a partir do LM4818**

Com essa parte do sistema implementada, foi desenvolvido o protocolo de transferência do áudio, que se trata atualmente de uma transferência simples byte a byte por bluetooth, e estes são armazenados em um arquivo no cartão SD. Porém, os testes experimentais mostraram uma baixa velocidade de transferência. Para uma taxa

de amostragem do áudio de 22050 Hz, um arquivo *raw* de 1,5 segundos leva cerca de 1 minuto e 40 segundos para ser enviado. Investigando os tempos de execução das instruções, verificou-se que essa demora é devido à baixa velocidade de ativação da rotina do microcontrolador de transferência de dados. Esse problema persiste até o momento devido ao fato de que, devido a diversas dificuldades em obter um ambiente de testes funcional para o STM32F103C8T6, o estudo efetivo dessa parte do projeto foi iniciado tarde, cerca de dois meses após o que havia sido previsto. Atualmente, possíveis soluções para a lenta transferência e armazenamento de dados estão sendo estudadas.

## CONCLUSÕES:

Em conclusão, atualmente o escopo do estudo foi atingido. O sistema de amplificação e filtragem do sinal, objeto de estudo dos seis primeiros meses do projeto, apresenta resultados satisfatórios, e consiste em um circuito robusto com baixo consumo e baixo custo para reprodução de áudio. O sistema cumpre tarefa de receber um arquivo de áudio e reproduzi-lo corretamente através de um protocolo de comunicação sem fio. Apesar disso, os resultados mostram que há espaço para melhora da velocidade e robustez do sistema, assim, esse se mostra um ponto de continuação para o estudo.

Com a finalização do estudo e a publicação dos resultados finais, espera-se que ele abra espaço para o desenvolvimento menos centralizado de sistemas de geração de áudio e, dada a natureza do projeto e o número de técnicas implementadas em seu desenvolvimento, o seu impacto pode ser estendido para um vasto número de aplicações que implementem partes da pesquisa.

Ao final oficial do período de estudo pelo programa PIBIC, além do relatório final com os resultados, será disponibilizado publicamente na plataforma GitHub um repositório com o software desenvolvido no projeto, bem como explicações detalhadas que possibilitem a reprodução dos resultados. Além disso, visto que o propósito do estudo visa a facilitação do desenvolvimento de projetos, será disponibilizado também um repositório com instruções para a preparação de um sistema para a programação dos chips da família ST, visto que este foi um dos maiores pontos de atraso do estudo, mas que ainda pode ser de grande valor.

---

## BIBLIOGRAFIA

STMicroelectronics . **RM0008 Reference Manual**.

Texas Instruments . **LM4818 Datasheet**

Microchip Technology Inc., **AVR® Low-Power Techniques**. 2018

Sreedev Kodichath, **Digital Audio 101: Playing Audio From A Microcontroller**, 2021

Controllerstech, **STM32 Communication using HC-05**, 2023

Controllerstech, **SD card using SPI in STM32**, 2020