

TECLADO ELETRÔNICO INTERATIVO

João Vitor Caldeira da Silva * Gustavo Farinhuk Wolf**
Vitor Olandoski Kruta ***

* Faculdade de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR, (e-mail: joao.170506@alunos.utfpr.edu.br).

** Faculdade de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR, (e-mail: gustavowolf@alunos.utfpr.edu.br).

*** Faculdade de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR, (e-mail: vitorkruta@alunos.utfpr.edu.br).

Abstract: Music is known as one of the seven types of art and is one of the first cultural manifestations in the world. It has been present daily and is an industry that generates millions of dollars in revenue. This project aims to facilitate access to musical instruments for beginners. Using an ESP32 microcontroller and LEDs, they will blink with the song, and the user should press the buttons in that sequence, allowing them to learn some songs on a one-octave keyboard and encouraging learning.

Resumo: A música é conhecida como uma das sete artes e é uma das primeiras manifestações culturais do mundo. Ela esteve presente no cotidiano e hoje constitui uma indústria que movimenta milhões de dólares em receita. Este projeto tem como objetivo facilitar o acesso aos instrumentos musicais para iniciantes. Utilizando um microcontrolador ESP32 e LEDs que piscam conforme a música, o usuário deve pressionar os botões na sequência indicada, permitindo o aprendizado de algumas músicas em um teclado de uma oitava e incentivando o processo de aprendizagem.

Keywords: Eletronic Keyboard; Microcontrolers; ESP32; DAC.

Palavras-chave: Teclado Eletrônico; Microcontroladores; ESP32; DAC.

1. INTRODUÇÃO

A realização do projeto do Teclado Eletrônico Interativo tem como objetivo integrar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso em um desenvolvimento prático envolvendo hardware, software e eletrônica, além de estabelecer uma relação direta com a música, elemento presente no cotidiano e de grande relevância cultural.

A incorporação de tecnologias digitais no ensino musical tem ampliado significativamente sua eficácia e acessibilidade. Estudos apontam que a música exerce influência direta no desenvolvimento cognitivo e na aprendizagem, contribuindo para atenção, memória e habilidades socioemocionais (Gonçalves et al., 2025). Além disso, a utilização de recursos lúdicos e interativos potencializa o engajamento dos estudantes e favorece o processo de aprendizagem (Luchesi e Santos, 2021). Nesse contexto, justifica-se o desenvolvimento de um teclado eletrônico interativo, voltado para facilitar a aprendizagem musical.

O funcionamento do teclado baseia-se na utilização do microcontrolador ESP32, responsável por comandar tanto os LEDs quanto a lógica de gravação e reprodução das notas. Por meio de um botão interruptor, o usuário pode selecionar o modo de gravação; ao pressionar uma sequência de teclas, o sistema armazena essa sequência e posteriormente a reproduz visualmente por meio dos LEDs, acionada por outro interruptor. Para a síntese sonora, o ESP32 envia sinais digitais a um módulo DAC,

que realiza a conversão para o domínio analógico e os encaminha a um amplificador conectado a um alto-falante, permitindo a emissão da frequência correspondente a cada nota musical.

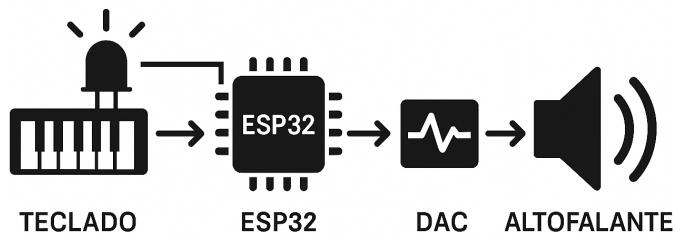


Figura 1. Diagrama de funcionamento do projeto.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

O trabalho tem como inspiração o realizado pelo Instituto Federal da Bahia(IFBA). Esse trabalho propôs a implementação de um teclado musical de uma oitava por meio de sensores piezoelétricos, com o intuito de captar sinais gerados pela pressão das teclas e convertê-los em som. A solução permitia a emissão de notas musicais, porém com qualidade limitada, o que restringia sua fidelidade sonora.

Entretanto, o projeto desenvolvido difere significativamente das abordagem anterior, principalmente no método de geração sonora e na implementação da interatividade. Enquanto o trabalho do IFBA utiliza sensores piezoelétricos como forma de detecção das teclas e produção de som, essa solução apresenta limitações quanto à qualidade acústica e controle preciso da frequência das notas. No presente projeto, essa função é substituída por um sistema formado pelo ESP32 em conjunto com o módulo MAX98357, que integra DAC e amplificação, permitindo a reprodução de sinais digitais com maior fidelidade e clareza sonora. Além disso, o teclado proposto incorpora um sistema de LEDs sequenciais e músicas padrão salvas no ESP com feedback imediado para orientar o aprendizado musical, recurso ausente no trabalho anterior e que adiciona uma camada de interatividade e engajamento ao processo de ensino.

Portanto, as principais diferenças são que o projeto do instituto não incorporava um sistema de LEDs interativos nem um módulo de avaliação da performance do usuário, elementos que caracterizam a proposta do teclado que desenvolvemos. Dessa forma, embora a iniciativa do IFBA tenha servido como base conceitual e funcional, ela apresenta lacunas relevantes que justificam a adoção de uma outra abordagem, com saída via DAC, amplificação por alto-falante e feedback visual interativo.

3. COMPONENTES

Tabela 1. Materiais Utilizados e preços.

COMPONENTE	QUANTIDADE	Custo(R\$)
ESP32 (38 pinos)	1	40,00
Módulo MAX98357	1	40,00
Alto-falantes	1	45,00
PCI	1	50,00
74HC595	2	5,00
Capacitor 10nF	2	0,15
Interruptor	3	1,00
Push-Button	12	2,50
Palitos de Madeira	12	0,50
LED	15	0,20
Resistor 220 Ω	15	0,15
Jumper	70	0,10
TOTAL	135	244,05

4. METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido em duas frentes principais, conduzidas de forma paralela. A primeira consistiu na implementação do software, abrangendo tanto a lógica de funcionamento do sistema quanto o módulo responsável por armazenar músicas pré-programadas e calcular a porcentagem de acertos do usuário. A segunda parte

envolveu a construção física do dispositivo, incluindo a prototipagem, soldagem dos componentes eletrônicos e a elaboração da estrutura mecânica, composta pelas teclas e pela caixa que abriga todo o conjunto.

• MATERIAIS

Para o funcionamento completo do teclado, utilizou-se o ESP32 como microcontrolador principal. Para a geração e amplificação do áudio, foi empregado o módulo MAX98357, que integra as funções de conversão digital-analógica (DAC) e driver para alto-falantes. Os LEDs foram conectados em série com resistores de 220 Ω, garantindo luminosidade adequada e protegendo o circuito.

Como a quantidade de GPIOs disponíveis no ESP32 não seria suficiente para controlar todos os LEDs, optou-se pela utilização do extensor de portas 74HC595, que transforma 3 pinos do microcontrolador para 8 saídas digitais, permitindo o acionamento eficiente dos LEDs. Para a leitura das teclas, foram utilizados botões conectados diretamente às entradas do ESP32 configuradas como INPUT_PULLUP, dispensando resistores externos devido ao uso dos resistores internos de pull-up.

A construção física do teclado foi realizada utilizando uma caixa pintada de preto como estrutura principal. Sobre ela foram montados os botões, cada um com palitos fixados para reproduzir a estética e a funcionalidade de teclas de um teclado musical real. Além disso, todos os componentes foram soldados em uma placa de circuito universal de (20x30) cm.

• SOFTWARE

O software do teclado é responsável por gerenciar a leitura das teclas, realizar a reprodução das notas musicais, controlar os LEDs e garantir o bom funcionamento do sistema de áudio. A implementação utiliza rotinas de interrupção (ISRs) e variáveis **volatile** para assegurar resposta imediata ao acionamento físico do usuário.

Variáveis voláteis e uso em interrupções

Variáveis voláteis permitem que no loop interno da operação do microcontrolador tais variáveis acessadas tanto pela ISR quanto pelas tasks principais devem ser declaradas como **volatile**. No projeto elas foram desenvolvidas a fim da obtenção de um som mais uniforme já que ao apertar mais de uma tecla ao mesmo tempo o sistema realiza a interrupção do loop e atualiza para a última tecla tocada.

Estrutura de tarefas (threads)

O ESP32 utiliza o sistema operacional FreeRTOS, permitindo dividir as funcionalidades em tarefas independentes:

- **Task de Áudio (alta prioridade):** mantém o fluxo contínuo, evitando falhas no som.
- **Task de Entrada (média prioridade):** interpreta as flags definidas pela ISR, realiza debounce e dispara as notas.
- **Task de Interface (baixa prioridade):** atualiza a tela, exibe mensagens, gerencia feedback visual e modos de operação.

Geração e emissão das notas

As notas são gravadas e geradas por meio da frequência específica de cada nota. A frequência é controlada pelo incremento do acumulador de fase. O módulo MAX98357 recebe as amostras e realiza a conversão digital-analógica.

O fluxo operacional funciona da seguinte forma:

- (1) A tecla é pressionada e a ISR aciona a flag associada.
- (2) A Task de Entrada identifica a nota correspondente e acende seu LED.
- (3) A Task de Áudio gera continuamente as amostras e envia ao MAX98357.

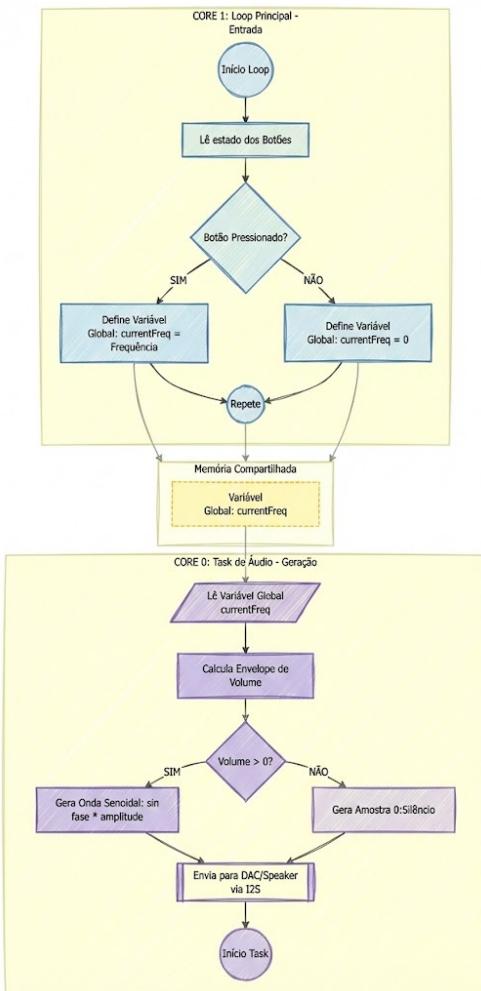


Figura 2. Diagrama de funcionamento do código.

Modos de gravação e reprodução

O teclado contém três modos diferentes: o modo gravação, o modo reprodução visual e o modo reprodução sonora.

No modo gravação, representado pelo LED vermelho, o sistema armazena cada nota tocada pelo usuário na ordem em que foi pressionada, registrando também o tempo entre os acionamentos para preservar o ritmo original. Durante esse modo, os LEDs correspondentes às teclas pressionadas acendem para fornecer feedback visual imediato. Ao finalizar a gravação, a sequência é armazenada em

um buffer dedicado, permitindo que o usuário a reproduza posteriormente de forma fiel.

No modo reprodução visual, representado pelo LED amarelo, o teclado utiliza a sequência previamente gravada e a executa, mantendo tanto a ordem das notas quanto os intervalos de tempo registrados. Enquanto a reprodução ocorre, os LEDs são acionados conforme as teclas virtuais que estariam sendo pressionadas, simulando exatamente a interação original do usuário. Com esse funcionamento, o usuário pode reproduzir a sequência gravada e tentar repetir manualmente o padrão anterior, auxiliando no processo de aprendizado.

No modo reprodução sonora, representado pelo LED verde, o sistema executa a sequência gravada emitindo o respectivo som de cada nota, não permitindo o acionamento de outras teclas durante a execução. Esse modo oferece uma forma prática de demonstração, permitindo que o teclado funcione como um reproduutor automático de trechos gravados, facilitando testes, validações e pequenas apresentações.

Software de feedback e avaliação do usuário

O módulo de feedback analisa o desempenho do usuário nos modos de treino. Cada nível contém uma música com dificuldades especificadas como fácil, médio e difícil cada uma com seu tempo esperado.

Cálculo de acerto

Uma nota é considerada correta quando:

- o usuário pressiona a mesma nota da posição esperada;
- o tempo de execução está dentro de uma janela de tolerância T .

O percentual de acertos é definido por:

$$\text{acerto (\%)} = \frac{N_{\text{corretas}}}{N_{\text{total}}} \times 100$$

Feedback visual

Após a análise de desempenho, o sistema apresenta de forma visual seu percentual de acerto na respectiva música selecionada.

Na figura a seguir, pode-se analisar o desempenho de um usuário que nunca teve contato com algum piano testando seus respectivos níveis e sua taxa de acerto em cada:



Figura 3. Comparação de acertos por nível por um usuário iniciante.

• HARDWARE

A montagem física seguiu quatro etapas principais: prototipagem, esquematização do diagrama, soldagem e finalização estética da caixa.

Prototipagem

A primeira etapa foi a criação de um protótipo em uma protoboard, no qual foi possível testar o código do piano e verificar o funcionamento simultâneo dos componentes. Após sua montagem, o protótipo ficou da seguinte forma:

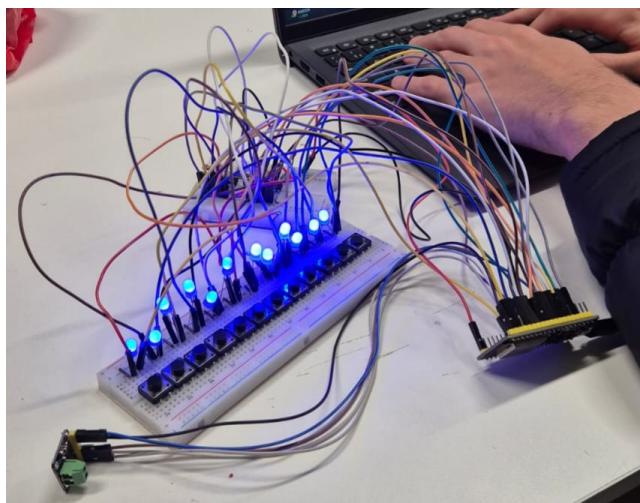


Figura 4. Primeiro protótipo.

Esquemático do projeto

Em seguida, foi desenvolvido um diagrama esquemático com o objetivo de compreender melhor o circuito antes da soldagem. O diagrama foi elaborado utilizando o software Fritzing, que permite montar de forma interativa e visual a parte física do teclado, além de gerar automaticamente o circuito correspondente.

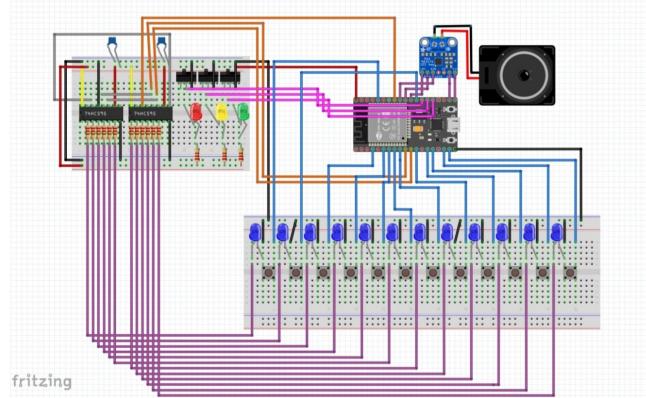


Figura 5. Diagrama visual.

Além disso, foi desenvolvido uma modelagem 3D do projeto, que permite uma visualização e planejamentos futuros de cada etapa:

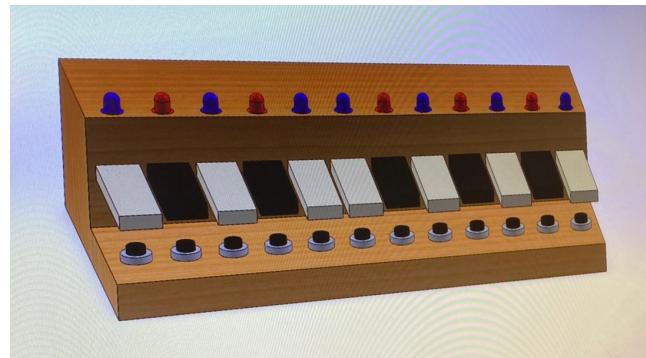


Figura 6. Modelagem 3D.

Com o diagrama e a modelagem prontos, tornou-se mais simples compreender o circuito como um todo. A partir dessa visualização, foi possível identificar corretamente as conexões entre os componentes, planejar a disposição na placa universal e antecipar possíveis interferências.

Nesse processo, concluiu-se que os push-buttons do tipo click não seriam os mais indicados, devido ao excesso de bounce e ao ruído gerado durante o acionamento. Para contornar esse problema, optou-se pela utilização de push-buttons do tipo alavancas, que oferecem acionamento mais estável e com menor incidência de ruídos.

Soldagem

Com o esquemático finalizado, iniciou-se o processo de soldagem dos componentes na placa de circuito universal. Cada botão, resistor e fio foi posicionado conforme o diagrama, garantindo que o layout físico correspondesse fielmente ao projeto planejado. Durante a montagem, foram

realizados testes intermediários para assegurar que cada parte funcionasse antes da integração total do sistema.

A soldagem final do circuito pode ser observada na imagem a seguir:

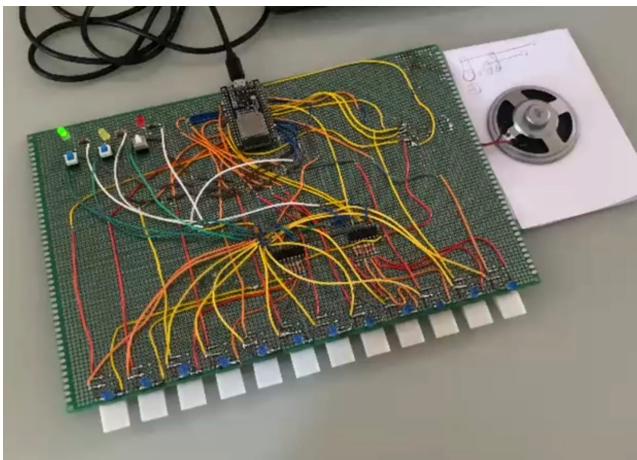


Figura 7. Circuito soldado na placa.

Finalização e montagem da caixa

A etapa final consistiu na construção da caixa. Ela foi montada e colada, recebendo pequenos triângulos de reforço nas paredes internas para aumentar sua robustez estrutural. Em seguida, foram instalados palitos de madeira nos botões, proporcionando a sensação física de teclas. Por fim, realizou-se a pintura das teclas com as cores correspondentes às notas musicais, enquanto a caixa recebeu acabamento em preto para fins estéticos.



Figura 8. Montagem física finalizada.

Através de todos esses processos realizados paralelamente, foi possível integrar de forma eficiente cada etapa do projeto, resultando em um teclado funcional e visualmente organizado.

5. RESULTADOS

A etapa final do projeto consistiu na integração completa entre o hardware, o software e a estrutura física do teclado. Após a montagem definitiva do circuito na placa universal e a instalação do sistema dentro da caixa

construída, foram realizados testes funcionais para validar o desempenho do instrumento interativo.

Primeiramente, verificou-se a correta detecção de cada tecla física. Todos os botões apresentaram resposta estável e imediata, sem acionamentos indevidos ou atraso perceptível, garantindo ao usuário uma experiência de execução próxima à de um teclado musical real. Os LEDs associados a cada nota também responderam adequadamente, acendendo e apagando em sincronia com o toque das teclas.

O módulo de geração sonora demonstrou funcionamento consistente, produzindo as frequências correspondentes a cada nota definida no projeto. Além disso, o modo de gravação e reprodução funcionou conforme o esperado: foi possível registrar sequências de notas, armazená-las temporariamente e reproduzi-las mantendo a ordem e o ritmo definidos pelo usuário.

No aspecto físico, a caixa reforçada mostrou boa rigidez estrutural, sustentando todos os componentes internos sem vibrações excessivas. A aplicação dos palitos de madeira sobre os botões, aliada à pintura diferenciada das teclas e à coloração preta da estrutura externa, resultou em uma aparência visual organizada e coerente com a proposta de um teclado didático.

6. CONCLUSÃO

Portanto, é possível concluir que os principais objetivos do projeto foram plenamente alcançados, uma vez que o teclado eletrônico interativo foi construído com êxito, oferecendo ao usuário uma experiência tátil e visual semelhante à de um teclado musical real. A integração entre hardware e software ocorreu de maneira eficiente, contemplando tanto a geração sonora por meio do módulo DAC e do amplificador, quanto o sistema de LEDs responsáveis pelo feedback visual. Além disso, o software desenvolvido permitiu implementar funcionalidades essenciais, como gravação de sequências, reprodução guiada e cálculo do percentual de acertos, ampliando a utilidade pedagógica do dispositivo.

O projeto demonstrou não apenas viabilidade técnica, mas também relevância educacional, ao possibilitar uma interação intuitiva que favorece o aprendizado musical, especialmente para iniciantes. A abordagem lúdica e guiada pelos LEDs reforça a memorização e estimula a autonomia do usuário, evidenciando o potencial do protótipo como ferramenta auxiliar em ambientes escolares ou projetos de iniciação à música.

Ademais, o desenvolvimento consolidou a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, envolvendo eletrônica, programação embarcada, prototipagem e integração de sistemas. Observa-se ainda que a solução apresenta excelente viabilidade econômica e acessibilidade, visto que teclados eletrônicos comerciais de entrada costumam ser encontrados por valores a partir de R\$500, enquanto o protótipo desenvolvido apresenta custo significativamente inferior. Isso evidencia seu potencial como alternativa de baixo custo para instituições de ensino ou projetos sociais voltados à educação musical.

Por fim, o trabalho abre caminho para diversas possibilidades de aprimoramento, como a inclusão de novas mís-

sicas pré-programadas, implementação de efeitos sonoros, expansão do número de teclas, integração com aplicativos via Bluetooth/Wi-Fi ou até mesmo a criação de modos de ensino mais avançados, além de incluir a polifonia, algo muito presente em diversas músicas. Dessa forma, o projeto constitui uma base sólida para futuras evoluções e demonstra o potencial de soluções tecnológicas acessíveis na promoção do aprendizado musical.

7. REFERÊNCIAS

GONÇALVES, Jociane Galdino Muniz; RABECINI, Marinêz Gonçalves da Silva; DA CRUZ, Jaqueline Veloso; VELHO, Daiane de Lourdes Alves; RODRIGUES, Madalena da Silva. A influência da música na aprendizagem e no desenvolvimento cognitivo. *ARACÉ* Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/4229>. Acesso em: 30 ago. 2025.

LUCHESI, Matheus Henrique. A importância da música no processo de ensino-aprendizagem. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação* Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/799>. Acesso em: 30 ago. 2025.

CABRAL, Pedro Henrique Carvalho Lima; OLIVEIRA, Maria Klara Nunes Martins de; COSTA, Daniel dos Anjos. Implementação de um teclado musical com Arduino. *ERBASE* (SBC). Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/erbase/article/download/27690/27500/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

FERREIRA, Gabriel Silva; FAGUNDES, Frederico Duarte. Construção de uma unidade reprogramável de efeito tremolo para guitarra elétrica. CEFET-MG e UFU-MG. Disponível em: https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/artigos/artigo_720.pdf. Acesso em: 30 ago. 2025.

ELECTRONICSWORKSHOP111. ESP-32-Based-Audio-Player. In: *Instructables*. Disponível em: <https://www.instructables.com/ESP-32-Based-Audio-Player/>. Acesso em: 31 ago. 2025.

REXHEPI, Abaz. Modern digital technologies in teaching music. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, v. 17, n. 1, 2024. Disponível em: <https://aquila.usm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1227&context=jetde>. Acesso em: 30 ago. 2025.