

## ***Bass Learning Tool: Ferramenta Interativa para Aprendizado de Contrabaixo, com Feedback em Tempo Real***

**Bruno Dewes Oliveira<sup>1</sup>, André Roberto Ortoncelli<sup>1</sup>, Franciele Beal<sup>2</sup>, Marlon Marcon<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Dois Vizinhos  
Dois Vizinhos – PR – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Pato Branco  
Pato Branco - PR - Brasil

brunodewes@alunos.utfpr.edu.br,

{ortoncelli, fbeal, marlonmarcon}@utfpr.edu.br

**Abstract.** *Music can be learned from experienced musicians or self-taught through the internet. Music education has been mandatory in Brazil since 2008, contributing to students' logical, linguistic, and motor development. However, it faces challenges, such as a need for qualified teachers and instruments. This work proposes the “Bass Learning Tool,” a cross-platform tool focused on learning the bass guitar. Its interface allows users to upload their music and tablatures, and with an instrument connected to the computer, it provides visual and auditory feedback in real time. We evaluated the tool through a proof of concept, which demonstrated its relevance in supporting bass guitar learning*

**Resumo.** *A música, pode ser aprendida com músicos experientes ou de forma autodidata pela internet. No Brasil, a educação musical é obrigatória desde 2008, contribuindo para o desenvolvimento lógico, linguístico e motor dos alunos, entretanto, enfrenta desafios como falta de professores capacitados e instrumentos. Este trabalho propõe a “Bass Learning Tool”, uma ferramenta multiplataforma, focada no aprendizado de contrabaixo. Sua interface permite que o usuário carregue suas próprias músicas e tablaturas, e com um instrumento conectado ao computador fornece feedback visual e auditivo em tempo real. A ferramenta foi avaliada por meio de uma prova de conceito, que demonstrou sua relevância para suportar a aprendizagem de contrabaixo.*

### **1. Introdução**

Música é uma forma de expressão artística que consiste em uma combinação de melodias, ritmos e harmonias [Epperson 2022]. Existem diversas formas de manifestação de som que os artistas utilizam para fazer música, como instrumentos de sopro, instrumentos de percussão, instrumentos de corda ou até mesmo as suas cordas vocais. Os instrumentos musicais, a princípio, podem ser bastantes desafiadores para manipular, pois requerem muito conhecimento teórico e prático. Um processo muito comum durante o aprendizado de um instrumento é o aprendiz frequentar aulas, nas quais, o ele aprende com um outro músico mais experiente, que repassa técnicas, teorias e exercícios práticos para seu aluno desenvolver-se. Há também aqueles que preferem aprender de forma autodidata, com auxílio de softwares e outros materiais de apoio. Para ambos os cenários, é muito bem-vinda uma ferramenta de baixo custo que contribua de forma eficiente para os estudos.

No Brasil, a educação musical já faz parte do projeto pedagógico de muitas escolas. Isso acontece por conta da lei nº 11.769, aprovada em 2008, que determina a obrigatoriedade do ensino da disciplina na Educação Básica [Brasil 2024]. A educação musical pode trazer muitos benefícios para o desenvolvimento dos estudantes, tais como: desenvolvimento do raciocínio lógico, habilidades linguísticas, memória, concentração, coordenação motora, criatividade e cooperação. Apesar da obrigatoriedade e dos benefícios, a educação musical enfrenta uma série de desafios para a sua implementação no ensino brasileiro, desde a falta de professores capacitados, falta de instrumentos musicais, espaços adequados, falta de investimentos, falta de interesse dos estudantes, até recursos específicos para apoiar o ensino de música [Almeida 2023].

Diante desses obstáculos, acredita-se que **o uso de ferramentas digitais para auxiliar os estudantes a desenvolverem habilidades musicais pode contribuir para facilitar a implantação da educação musical nas escolas**. Essas ferramentas auxiliam os estudantes e podem despertar maior interesse no aprendizado de um instrumento musical. Além disso, podem servir como recursos de apoio para os professores, oferecendo materiais didáticos adicionais, que podem ser personalizados facilmente aos interesses dos estudantes.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma nova ferramenta para auxiliar no aprendizado de contrabaixo com *feedback* em tempo real, que será oferecido de forma visual e auditivo, enquanto o aprendiz executa as notas na sequência da música. A ferramenta foi projetada para que possa ser utilizada de forma acessível em escolas, bastando apenas ter acesso a um computador com microfone e um contrabaixo. Com esse objetivo, as principais contribuições deste trabalho são: i) a ferramenta Bass Learning Tool<sup>1</sup>; e ii) uma Prova de Conceito (PoC) conduzida para validar a funcionalidade da ferramenta proposta. A PoC foi conduzida para avaliar a ferramenta quanto às suas funcionalidades esperadas, fornecendo uma avaliação preliminar em comparação às demais ferramentas existentes.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Trabalhos relacionados são descritos na Seção 2. Limitações das ferramentas relacionadas que motivaram o desenvolvimento deste projeto são apresentadas na Seção 3. A ferramenta proposta é detalhada na Seção 4. A Seção 5, contém os resultados do projeto na forma de uma PoC. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais e propostas de trabalhos futuros.

## 2. Trabalho Relacionados

Existem ferramentas disponíveis no mercado que auxiliam os aprendizes a desenvolver habilidades musicais. Uma delas é o Guitar Pro [Arobas Music 1997], que é um aplicativo que possibilita aos usuários criarem tablaturas para praticá-las. É possível também utilizar tablaturas criadas por outros usuários, que podem ser encontradas no repositório oficial do Guitar Pro<sup>2</sup>, nos formatos ‘.gp3’, ‘.gp4’, etc., conforme a versão do aplicativo.

Outra ferramenta similar é a Songsterr [Songsterr 2008]. A Figura 1(a) exemplifica uma tablatura tradicional de contrabaixo executada na ferramenta. A barra verde representa o tempo atual da música e se move horizontalmente conforme o andamento da

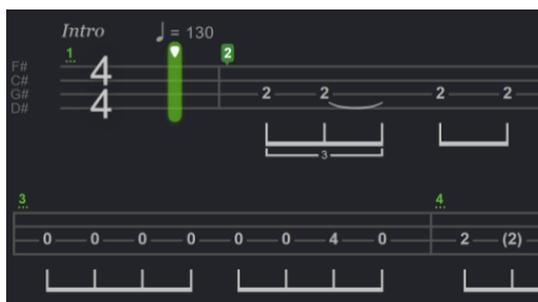
<sup>1</sup>Disponível em: <https://github.com/brunodewes/BassLearningTool>

<sup>2</sup><https://www.guitar-pro.com/tabs>

música. Os números indicam a casa e a linha em que o número está posicionado indica a corda a ser tocada. O número “0” em uma tablatura representa que a corda deve ser tocada solta, sem acionar nenhuma casa. No Songsterr, as tablaturas podem ser reproduzidas online e tocam em ritmo semelhante à música original. Este tipo de ferramenta é eficiente no auxílio ao aprendizado de novas músicas [Hershoff et al. 2020].

Praticar música também é uma tendência no universo dos videogames. Jogos pioneiros como Frequency [Harmonix Music Systems 2001] e Amplitude [Harmonix Music Systems 2003], seguidos pela famosa franquia Guitar Hero [RedOctane 2005], popularizaram essa área. Esses jogos apresentam uma representação abstrata de tocar música [Miller 2013], focando em efeitos visuais que simulam uma apresentação musical, em vez de testar habilidades reais com instrumentos. O jogador pressiona botões no controle conforme os círculos coloridos aparecem na tela, em sincronia com a música, no método *quick time event*. Quanto mais acertos, mais pontos o jogador ganha. Destaca-se que alguns dos controles utilizados simulam o formato de uma guitarra, com botões coloridos no braço para aumentar a imersão.

Alguns anos depois, com a evolução dos consoles e do hardware, surgiram jogos revolucionários como o Rocksmith 2014 Edition - Remastered [Ubisoft 2016]. Embora tenha uma interface semelhante à de Guitar Hero, a experiência com o Rocksmith é diferente, pois o jogador usa um instrumento real (guitarra, baixo ou violão) conectado ao console/computador por meio do “Real Tone Cable” (USB — 6,35mm) [Graham and Schofield 2018]. Em vez de botões, a interface mostra a casa e a corda do instrumento que devem ser tocadas. Nesse contexto, o foco do jogo muda totalmente, além de treinar a coordenação motora, o jogo também pode ser usado como auxílio para praticar música [Graham and Schofield 2018]. A interface desse jogo é apresentada na Figura 1(b) – quadrados coloridos e números, indicam a corda certa e a casa que deve ser tocada, respectivamente.



(a) Interface da ferramenta Songsterr. Fonte: [Songsterr 2017].



(b) Interface do Rocksmith 2014 Edition - Remastered. Fonte: [Ubisoft 2011].

**Figura 1. Demonstração de interface de ferramentas relacionadas.**

Pode-se destacar também a ferramenta JumpApp [Olivieri et al. 2023], que utiliza conceitos de gamificação no treinamento e educação musical. A JumpApp permite ao usuário controlar um avatar com sua voz ou instrumento musical, fornecendo *feedback* da performance através da movimentação desse avatar. Em uma interface 2D, há barras representando diferentes notas musicais. Se o usuário acertar a nota, o avatar pula para a próxima plataforma; se errar, o avatar cai. O objetivo é concluir o trajeto sem que o avatar caia, ou seja, completar a música sem falhar nenhuma nota.

### 3. Motivação para o projeto

As ferramentas de aprendizado musical disponíveis hoje no mercado possuem diversas limitações, que serão descritas nessa Seção. No caso de jogos como o Rocksmith, a interface pode ser confusa inicialmente, exigindo tempo de adaptação e muitas vezes resultando em frustração e desistência do usuário. Na ferramenta proposta neste trabalho, se utiliza uma interface baseada em tablaturas comuns, familiares aos aprendizes de música, facilitando a adaptação e reduzindo as chances de desistência do usuário.

Outra questão importante a ser citada é que, no caso do Rocksmith o usuário precisa obrigatoriamente conectar seu instrumento exclusivamente com o “Real Tone Cable”<sup>3</sup>, o que também é considerado um problema, pois o acesso a este produto é limitado no Brasil. Um problema que pode acontecer com o uso deste cabo proprietário, é um atraso de entrada (*input lag*). Por fim, o Rocksmith possui um preço elevado, além de necessitar de pacotes de expansão para que o usuário possa contar com mais músicas disponíveis e mesmo assim o número de músicas disponíveis é seletivo.

Já as ferramentas focadas na aprendizagem e não em conceitos de jogos/gamificação, como o Songsterr, resolvem o problema de complexidade da interface, apresentando formatos familiares aos aprendizes. No entanto, elas não fornecem *feedback* instantâneo enquanto o usuário está tocando, já que não capturam e processam o som do instrumento utilizado pelo usuário.

Em relação a ferramenta JumpApp [Olivieri et al. 2023], que possui um objetivo similar a ferramenta proposta nesse artigo, porém foca em ensinar escalas e intervalos, (aspectos também muito importantes do aprendizado musical), utilizando mais recursos de gamificação que a ferramenta JumpApp. Apesar das similaridades, a ferramenta JumpApp não explora a tablatura completa das músicas e não permite que usuários selecionem músicas específicas para praticar.

Para superar essas limitações, foi desenvolvida a “Bass Learning Tool”, uma ferramenta focada no aprendizado musical de contrabaixo. Sua interface permite que o usuário veja as notas a serem tocadas em formato de tablatura e analisa se estão sendo tocadas corretamente, fornecendo *feedback* visual e auditivo, a cada nota executada. O algoritmo compara o áudio captado (como um microfone) com a tablatura guia e fornece *feedback* visual pintando as notas na tela: verde para notas corretas e vermelho para notas erradas. Além disso, há uma funcionalidade de *feedback* auditivo que emite um bip sonoro para notas incorretas, oferecendo uma camada adicional de acessibilidade.

### 4. Ferramenta Proposta: Bass Learning Tool

A Ferramenta proposta, foi desenvolvida na linguagem Python, e portanto, é multiplataforma. Esta é distribuída de forma gratuita sob a licença *Creative Commons CC BY-NC-SA*<sup>4</sup> juntamente com um tutorial de instalação, de uso e com vídeos demonstrativos, disponíveis em: <https://github.com/brunodewes/BassLearningTool>.

---

<sup>3</sup>É possível que o usuário utilize uma ferramenta alternativa, porém não oficial do jogo, na qual é necessário instalar um mod feito por terceiros (rs.asio, disponível em: [https://github.com/mdias/rs\\_asio](https://github.com/mdias/rs_asio)) para conseguir conectar seu instrumento via interface de áudio

<sup>4</sup><https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Nesta seção são apresentados detalhes sobre a ferramenta. Uma visão geral do funcionamento da ferramenta é apresentado na Subseção 4.1. As principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento são apresentadas na Subseção 4.2. Os principais algoritmos e cálculos utilizados na ferramenta são detalhados na Subseção 4.3.

#### 4.1. Visão geral do funcionamento da ferramenta

O usuário deve começar a utilizar a ferramenta selecionando um arquivo de tablatura (.gp3, .gp4 ou .gp5) e um arquivo de áudio da música (.mp3 ou .wav), na tela inicial, que possui botões para carregar os arquivos e iniciar a atividade (Figura 2(a)). A tela inicial também possui um botão para visualização dos recordes pessoais (canto superior direito) e um campo que permite habilitar ou não o *feedback* auditivo (canto inferior direito). Na tela de recordes (Figura 2(b)) é exibida uma lista que permite ao usuário escolher a faixa para a qual ele deseja ver as estatísticas de seu recorde de precisão.

Quando o usuário clica em iniciar, é exibida na tela uma contagem regressiva de 3 segundos, em seguida se inicia em paralelo, a reprodução do arquivo de áudio, a captura do áudio do instrumento sendo tocado pelo usuário e a exibição da tablatura na tela com uma barra vertical de progressão, que se movimenta horizontalmente, da esquerda para a direita, percorrendo a tablatura em velocidade constante, indicando o momento certo de tocar as notas (Figura 2(c)). Como percebe-se nesta Figura, quando o usuário toca a nota de forma correta, a nota é exibida na cor verde, e quando está errada ou fora do tempo, na cor vermelha. Além disso, se a opção de *feedback* auditivo estiver habilitada, quando um erro ocorre, um som é tocado indicando um erro <sup>5</sup>.

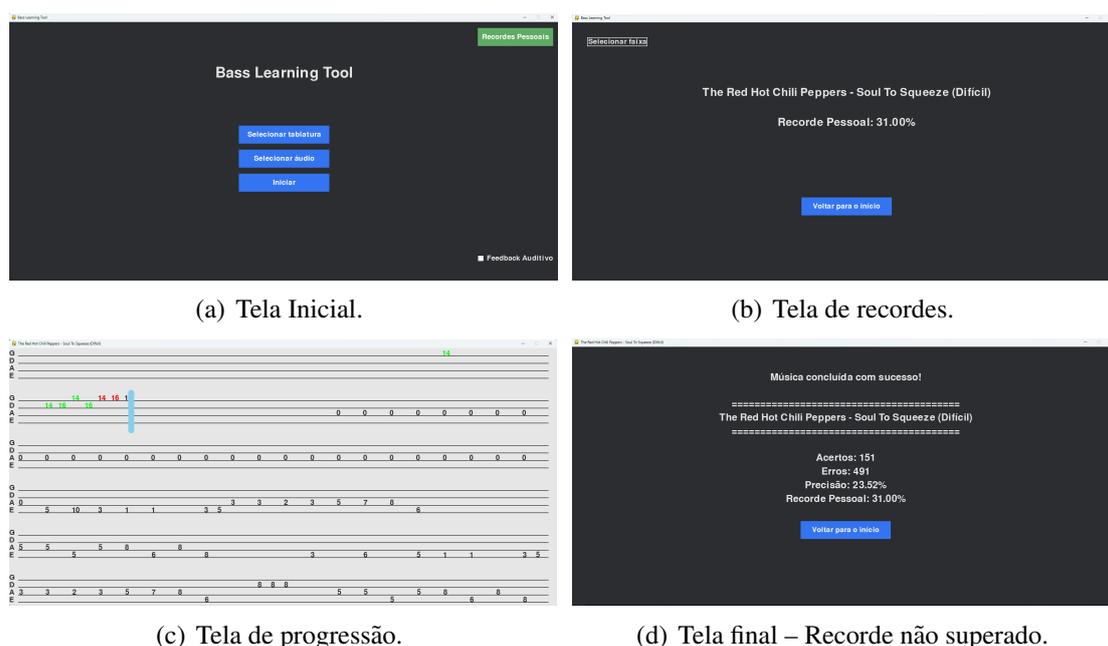
As notas da tablatura são exibidas nessa tela a partir de coordenadas x e y que são calculadas com base nos seus tempos de início. Dessa forma, notas mais próximas na tablatura significam um menor intervalo de tempo entre si em comparação as notas mais distantes. A barra de progresso se desloca em fileiras de quatro linhas cada, representando as cordas do baixo. Cada corda possui, à esquerda do seu início, letras que apontam em qual afinação que o instrumento deve estar para tocar a tablatura selecionada.

Quando o fim da última fileira visível na tela é alcançado, ocorre uma rolagem vertical na tela de modo a exibir as fileiras abaixo. Isso se repete até que seja atingido o fim da última fileira geral, que indica o fim da tablatura. Então, a barra fica estática nessa posição aguardando o fim da reprodução da música. Quando a música termina, é esperado um segundo e então é exibida a tela final.

O número de acertos e erros do usuário são contabilizados, para que ao final da execução da música seja gerado uma tela do relatório de desempenho do usuário (Figura 2(d)), com o número de acertos, a taxa de erros, a porcentagem de precisão (acertos divididos pelo total de notas). Se usuário tiver batido seu próprio recorde, essa informação é exibida, caso contrário aparece o recorde pessoal do usuário alcançado em uma atividade anterior. A tela final também tem um link, que permite retornar para a tela inicial.

Um diagrama desenvolvido com a *Business Process Model and Notation* (BPMN) [Dijkman et al. 2008] para representar o fluxo principal de execução da ferramenta proposta é apresentado na Figura 3.

<sup>5</sup>Exemplos em vídeo que ilustram tais comportamentos são apresentados no repositório do GitHub, disponível em: <https://github.com/brunodewes/BassLearningTool>



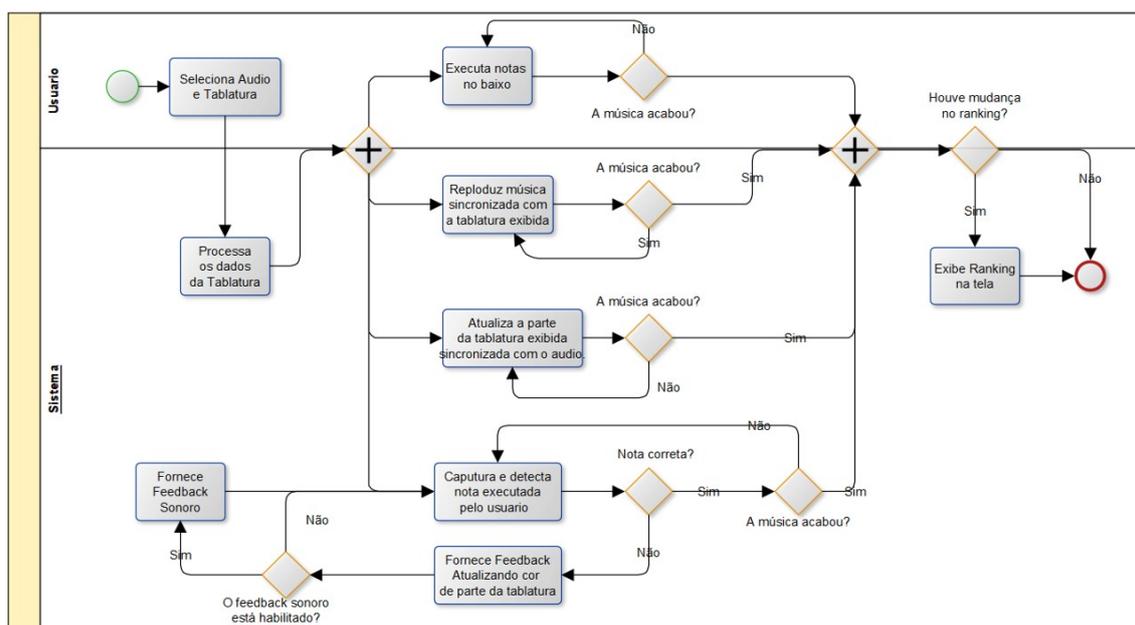
(a) Tela Inicial.

(b) Tela de recordes.

(c) Tela de progressão.

(d) Tela final – Recorde não superado.

**Figura 2. Telas da ferramenta *Bass Learning Tool*.**



**Figura 3. Fluxo principal de execução da *Bass Learning Tool***

## 4.2. Tecnologias Utilizadas

A ferramenta proposta neste projeto foi desenvolvida com a linguagem de programação Python e com o banco de dados SQLite3. Python foi selecionada por oferecer um ecossistema robusto e uma série de bibliotecas especializadas para o processamento de sinais de áudio. Algumas das principais bibliotecas utilizadas para o desenvolvimento da ferramenta são apresentadas nas próximas Subseções.

### 4.3. Algoritmos e cálculos utilizados

Essa Seção apresenta detalhes dos algoritmos e cálculos utilizados na ferramenta para extração de dados da tablatura, mapeamento das notas em letras a partir da tablatura, captura do áudio e detecção das notas tocadas:

**Extração de dados da tablatura:** a biblioteca PyGuitarPro [Sviatoslav Abakumov 2023] foi utilizada para extrair dados das batidas de uma tablatura (como o início da nota, corda e casa) no formato Guitar Pro (especificamente arquivos .gp3, .gp4 e .gp5). A biblioteca também possibilitou a extração de dados de informação de composição da faixa, como o artista e o título. Depois de analisar e extrair os dados da tablatura, esses dados foram normalizados (o tempo de início das notas foi calculado a partir do início da batida onde a nota se encontra) com a seguinte fórmula:

$$time = (((beat.start/960) - 1) * (60/song.tempo) * 1000) \quad (1)$$

onde, *beat.start* representa o início da batida e *song.tempo* é o tempo da música em BPM (batidas por minuto). Em um cenário de 60 BPM, cada segundo equivale a 960 batidas. A partir disso, obtém-se a fórmula. O valor final é multiplicado por 1000 para que o momento de início da nota seja em milissegundos.

**Mapeamento de notas em letras a partir de notas de tablatura:** as notas são coletadas da tablatura em formato de casa e corda. Para futuramente utilizar os dados da tablatura na comparação com o áudio tocado pelo instrumento do usuário, é necessário um algoritmo que faça a equivalência de uma casa em uma corda para a nota em letra que ela representa – na teoria musical notas podem ser representadas por letras (A = Lá; B = Si; C = Dó). A conversão é feita utilizando o valor MIDI das notas do contrabaixo de quatro cordas, sendo que as cordas soltas possuem valores em MIDI múltiplos de 5 (0, 5, 10, 15), com isso basta utilizar o valor em MIDI da corda e somar à casa (por exemplo, a corda que possui MIDI = 5 e tem a casa 10 acionada possui um valor MIDI total de 15). Após obter a soma total, esta é convertida para a letra da nota que representa.

**Captura do áudio e detecção de notas tocadas:** O algoritmo de captura do áudio do instrumento utilizou também a biblioteca 'PyAudio' [Hubert Pham 2017] e o processamento do áudio opera com base em cálculos de FFT (*Fast Fourier Transform*), um algoritmo utilizado para cálculos de aproximação de frequência de ondas sonoras para obtenção das notas musicais que elas representam. Os cálculos de FFT são feitos utilizando a biblioteca 'NumPy'.

A biblioteca PythonTuner<sup>6</sup>, que foi desenvolvida para a detecção de notas executadas com o instrumento *ukulele*, foi adaptada para ser utilizada neste trabalho, pois a gama de notas presentes no instrumento de contrabaixo é maior do que as do *ukulele*. Para isso, é utilizado o valor em MIDI da nota mínima possível e da nota máxima possível do instrumento. No caso de um contrabaixo de 4 cordas e 24 casas a amplitude vai de 28 a 67 (equivalente às notas E1 à G4).

Também foi adaptado o valor de tolerância para detecção de notas, pois durante os testes foi notado que qualquer toque no corpo do instrumento, muitas vezes não intencionais, estavam sendo detectados pelo algoritmo e aproximados para alguma nota.

<sup>6</sup><https://github.com/mzucker/python-tuner>

**Comparação da nota tocada com a nota da tablatura de referência:** para a comparação, é estabelecido um tempo de limite de tolerância (LT), tanto de atraso quanto de adiantamento da nota tocada em relação ao momento de início da nota de referência (NR), pois deve ser levado em consideração que existem atrasos no processamento do áudio tocado. Essa tolerância é uma variável parametrizável, nos testes foi identificado um valor adequado sendo por volta de 500ms. O algoritmo faz então uma busca se há a mesma letra da nota da tablatura, que foi mapeada a partir do processo, dentro da amplitude de tempo compreendida entre  $NR - LT$  e  $NR + LT$ . Caso seja encontrado uma correspondência.

## 5. Resultados: Prova de Conceito (PoC)

Durante o desenvolvimento tecnológico é crucial conduzir uma Prova de Conceito para validar a funcionalidade da tecnologia, segundo o que é descrito por [Vasconcellos et al. 2021]. Esse processo visa demonstrar que o produto funciona conforme o previsto e fornece uma avaliação preliminar de sua eficiência em comparação com os produtos existentes no mercado. A partir da análise das etapas de questionamento apresentadas no referido texto, foram feitas perguntas customizadas para uma maior adequação com a área da tecnologia apresentada nesse artigo, essas perguntas possuem a finalidade de validar os requisitos da ferramenta e fazer uma previsão e gestão de riscos. A avaliação foi conduzida pelo primeiro autor e desenvolvedor da ferramenta e os questionamentos acerca dela, bem como suas respostas são apresentados a seguir.

### **Questionamento 1: Foi realizada uma revisão abrangente das ferramentas e tecnologias existentes de aprendizado de música? Existem recursos ou inovações únicas em sua ferramenta que a diferenciam?**

Sim. As tecnologias presentes na ferramenta, como a exibição da tablatura na tela e reprodução do áudio computadorizado da música, bem como a captura do instrumento podem ser encontradas em outras plataformas de código aberto, tais quais [TuxGuitar 2018] e [Audacity 2000], porém, ao combinar estas duas tecnologias simultaneamente e, além disso, também implementar um sistema de *feedback*, é garantida uma nova experiência ao usuário que o provém maior imersão com o processo de aprendizado.

Uma ferramenta que entrega essa experiência de integração de tablatura, música e *feedback* é o Rocksmith 2014 Remastered [Ubisoft 2016], o qual possui alguns problemas solucionados pela ferramenta desenvolvida neste trabalho:

- **Interface confusa:** sua interface a princípio é bastante confusa, sendo necessário um tempo de jogo até que o usuário se acostume; isso muitas vezes torna a experiência do usuário frustrante e aumenta a chance de desistência. Na ferramenta proposta, a interface é apenas focada na leitura de uma tablatura simples, algo que um aprendiz de música já está acostumado a ler no seu dia a dia e isso diminui as chances do usuário não conseguir se acostumar com a ferramenta.
- **Captação do instrumento feita exclusivamente por cabo vendido pela marca:** no Rocksmith o usuário é obrigado a conectar seu instrumento exclusivamente com o cabo vendido pela marca, chamado de “Real Tone Cable”, o que também

é considerado um problema, pois é bem difícil de ser encontrado para venda no Brasil, além do cabo possuir problemas relatados por usuários de atraso de entrada (*input lag*). Na ferramenta apresentada nesse trabalho, o usuário tem mais possibilidades de entradas de captação do seu instrumento, sendo elas uma interface de áudio ou um microfone.

- **Lista de músicas disponíveis limitada:** no Rocksmith, o usuário precisa comprar pacotes de expansão para que possa contar com um maior número de músicas disponíveis e mesmo assim o número de músicas disponíveis é seletivo. Na ferramenta proposta, é possível o usuário praticar qualquer tablatura que ele desejar, desde que o arquivo de tablatura esteja nas condições necessárias para funcionamento (não conter laços ou mudanças de tempo).

### **Questionamento 2: Com base nos testes iniciais, a ferramenta ajuda efetivamente os usuários a aprenderem contra baixo?**

Sim, principalmente a aprenderem a tocar músicas no contra baixo. Improvisação e teoria musical não são muito exploradas pelo método de aprendizado que a ferramenta oferece, porém, o aprendizado de músicas específicas, que é o que a maioria dos aprendizes procuram, é ativamente explorado durante o uso. Ao tocar a mesma música várias vezes seguindo a tablatura e obtendo *feedback* em tempo real, o usuário consegue rapidamente aprender a progressão da linha de baixo da música e, portanto, melhorar sua performance nela.

### **Questionamento 3: Você realizou uma avaliação preliminar da viabilidade técnica e viabilidade econômica da ferramenta? Ela mostra potencial de escalabilidade e comercialização?**

Sim. Existe um alto potencial de escalabilidade, que se explorado traduziria em maior atração de mercado ao produto. A princípio, a ideia é o fornecimento gratuito do *software*, por possuir um foco em aprendizado. Futuramente, pode ser feita uma implementação de um algoritmo que permita a sincronização da música original com a tablatura, ao invés da música computadorizada, com isso o potencial de comercialização da ferramenta seria consideravelmente aumentado.

### **Questionamento 4: Existem regulamentações ou padrões específicos na indústria de educação musical ou desenvolvimento de *software* que possam impactar o desenvolvimento ou implantação da ferramenta?**

Não. Como o áudio reproduzido das músicas cadastradas por padrão na aplicação é uma simulação computadorizada da música original, não há problemas de regulamentação.

### **Questionamento 5: A ferramenta depende de componentes de *hardware* ou *software* especializados que possam representar desafios em termos de disponibilidade, custo ou compatibilidade?**

Não. Apesar de ser recomendado o uso de uma interface de áudio, pode-se

também fazer a captura do instrumento utilizando em conjunto um microfone e um amplificador conectado ao instrumento. Esse método possibilita aos aprendizes que não possuam uma interface de áudio a capacidade de também utilizar a ferramenta. Portanto, já que os itens de *hardware* necessários para o funcionamento da aplicação são itens que um músico já possui, ou que são de fácil acesso, pode-se concluir que esse não é um fator limitante para a ferramenta.

**Questionamento 6: Como a ferramenta aborda as necessidades e preferências específicas dos aprendizes de baixo? Ela oferece recursos personalizáveis ou capacidades de aprendizado adaptativo?**

Sim. É incluso um tutorial, disponível em: <https://github.com/brunodewes/BassLearningTool>, para a configuração de níveis de dificuldade personalizáveis, que alteram a velocidade de reprodução tanto da tablatura quanto da música, para que seja mais conveniente o aprendizado de um baixista iniciante.

Há também uma configuração de *feedback* auditivo, visando acessibilidade, que quando ativada emite um bip auditivo toda vez que uma nota for tocada errada.

Por fim, vale ressaltar que o repertório de músicas disponíveis é customizável, sendo que é possível o usuário praticar qualquer música que desejar, desde que o arquivo de tablatura esteja nas condições necessárias para funcionamento (não conter laços ou mudanças de tempo).

**Questionamento 7: A ferramenta foi submetida a testes para verificar seu desempenho em relação às funcionalidades propostas? Qual o resultado?**

Sim. Começando pela exibição da tablatura na interface, ela está funcionando satisfatoriamente bem, sendo que não apresentou quase nenhum problema em testes na representação de tablatura de baixo de 4 cordas. As únicas restrições são tablaturas que contém algum segmento que toca em laço ou tablaturas com mudança de tempo, pois ainda não foi possível encontrar uma funcionalidade na biblioteca de extração de dados da tablatura (PyGuitarPro) que permita lidar com esses tipos de situações. Portanto, não é indicado o uso de tablaturas que contenham algum laço ou mudança de tempo durante a utilização da ferramenta.

Sobre a reprodução da música em áudio para acompanhamento da tablatura durante a execução, foram necessárias algumas adaptações em relação as funcionalidades idealizadas inicialmente. Isso, pois o tempo das notas dos arquivos de tablatura, na maioria dos testes, se mostrou diferente do tempo das notas que eram tocadas na música original e isso gerou problemas na sincronização do tempo da música com a tablatura. A partir disso, foi necessário passar a utilizar a representação sonora gerada a partir do arquivo de tablatura, desse modo a sincronização da música com a tablatura acontece de modo satisfatório. A representação sonora computadorizada da música é obtida através da ferramenta [TuxGuitar 2018].

Por fim, sobre o *feedback* de acerto das notas, este possui algumas limitações, isso pois o algoritmo responsável pela captura do áudio do instrumento e detecção de notas utilizado não é o ideal, por se tratar de um algoritmo originalmente criado com

objetivo de funcionar como afinador de *ukulele*. A partir disso, foram necessárias algumas adaptações, abordadas na seção 4.3.

Apesar das adaptações terem surtido efeito, a detecção de notas continuou não sendo perfeita, sendo que é possível notar alguns defeitos quando é tocada a nota correta e o algoritmo confunde com outra. No entanto, como se trata de uma versão inicial, pode-se dizer que o resultado é satisfatório, já que o algoritmo faz a projeção de notas por mais vezes correta do que incorretamente.

## 6. Conclusão e Próximos Passos

Nesse trabalho, foi apresentada uma ferramenta que possibilita aos aprendizes baixistas praticar e aprimorar suas habilidades no instrumento, oferecendo um ambiente interativo e informativo. Com a capacidade de reproduzir música, exibir tablaturas e fornecer *feedback* em tempo real, armazenando os registros pessoais, ela atende às necessidades de músicos iniciantes a avançados. A ferramenta é disponibilizada em um repositório público que inclui tutorial de instalação e uso.

Com base na PoC realizada, a *Bass Learning Tool* se destacou como uma ferramenta gratuita que não exige recursos específicos além de um computador, microfone e contrabaixo, o que facilita sua adoção em escolas públicas que enfrentam dificuldades estruturais e de investimento. Suas características, semelhantes às das ferramentas disponíveis no mercado, a tornam atrativa, podendo aumentar o interesse e o engajamento de estudantes e professores. Além disso, os diferentes níveis de dificuldade e a possibilidade de escolher músicas específicas para praticar são aspectos que podem despertar o interesse dos estudantes pela música, oferecendo aos professores um suporte eficaz para acompanhar a evolução dos alunos. Desta forma, acredita-se que esta ferramenta pode contribuir significativamente para a implementação e o fortalecimento do ensino de música nas escolas pois se mostrou viável tecnicamente e economicamente. Além disso, apresentou características que pode proporcionar uma experiência positiva nos aprendizes.

Visando aprimoramentos gerais, é planejado melhorar o algoritmo de detecção de notas, buscando uma maior precisão no *feedback* fornecido aos usuários. Além disso, pretende-se desenvolver um algoritmo de sincronização entre a tablatura e a música original, o que proporcionaria uma experiência mais interessante ao usuário (é atualmente utilizada a versão sintetizada da música, gerada a partir da tablatura).

Buscando melhorar a interação do usuário com a interface, planeja-se adicionar funcionalidades como pausar, avançar e retroceder a reprodução da música e da tablatura durante a execução. Essas opções oferecerão maior controle aos usuários durante suas práticas musicais. Outro ponto a ser adicionado em versões futuras envolve adicionar funcionalidades de diminuir ou aumentar o tempo da música, bem como dar suporte a músicas com variação de tempo durante a música.

Para aumentar a acessibilidade da aplicação, é considerada a implementação de um algoritmo de leitura de notas para usuários com deficiência visual. Esse recurso seria a complementação do sistema de *feedback* auditivo que já foi implementado. A partir disso, será possível providenciar uma experiência mais completa aos aprendizes cegos para praticarem e aprimorem suas habilidades musicais.

Por fim, pretende-se realizar avaliações com estudantes e professores de música em escolas públicas. Essas avaliações buscarão identificar não apenas a eficácia da *Bass Learning Tool* no processo de aprendizagem de contrabaixo, mas também o seu impacto no engajamento e interesse dos aprendizes estudantes. Além disso, serão analisadas a facilidade de uso da ferramenta, sua integração no currículo escolar e as possíveis melhorias que poderiam ser implementadas para maximizar seus benefícios. O *feedback* coletado será importante para ajustar e aprimorar a ferramenta, para garantir que ela atenda às necessidades específicas do ambiente educacional público e contribua para o apoio e a qualidade do ensino de música.

## Referências

- Almeida, Carlos José Ferreira de; Pereira, W. F. (2023). A música como facilitador da aprendizagem nos anos iniciais do ensino fundamental: desafios e reflexões. *Revista Educação Pública*, 23(4). Acessado em 26/06/2024.
- Arobas Music (1997). Guitar pro. Computer software. Recuperado em 23 de março de 2023, de <https://www.guitar-pro.com/>.
- Audacity (2000). <https://www.audacityteam.org/>. Computer Software. License: GNU General Public License.
- Brasil (2024). Programa debate a educação musical em escolas públicas. <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/musical>. Acessado em 26/06/2024.
- Dijkman, R. M., Dumas, M., and Ouyang, C. (2008). Semantics and analysis of business process models in bpmn. *Information and Software technology*, 50(12):1281–1294.
- Epperson, G. (2022). music.
- Graham, K. and Schofield, D. (2018). Rock god or game guru: Using rocksmith to learn to play a guitar. *Journal of Music, Technology and Education*, 11:65–82.
- Harmonix Music Systems (2001). Frequency. Sony Interactive Entertainment. PlayStation 2, Boston, MA, EUA: Sony Computer Entertainment.
- Harmonix Music Systems (2003). Amplitude. Sony Interactive Entertainment. PlayStation 2, Boston, MA, EUA: Sony Computer Entertainment.
- Hershoff, A., Mulready, C., Thurley, A., and Williams, S. (2020). Online tablature.
- Hubert Pham (2017). PyAudio: Cross-platform audio I/O with PortAudio. Disponível em <https://pypi.org/project/PyAudio/>. Software package.
- Miller, B. (2013). Music learning through video games and apps: Guitar hero, rock band, amplitude, frequency, and rocksmith, and bandfuse , and bit.trip complete, and audiosurf, and beat hazard, and biophilia (review). *American Music*, 31:511–514.
- Olivieri, M., Simeon, F., Comanducci, L., Antonacci, F., and Sarti, A. (2023). Jumpapp: an online didactic game for music training and education. In *2023 4th International Symposium on the Internet of Sounds*, pages 1–7.

- RedOctane (2005). Guitar hero. RedOctane. PlayStation 2, Sunnyvale, CA, EUA: RedOctane.
- Songsterr (2008). Songsterr. Acesso em: 23 mar. 2023. Disponível em: <https://www.songsterr.com/>.
- Songsterr (2017). Green day - pulling teeth bass tab. Disponível em <https://www.songsterr.com/a/wsa/green-day-pulling-teeth-bass-tab-s8670>.
- Sviatoslav Abakumov (2023). PyGuitarPro: Read, write and manipulate GP3, GP4 and GP5 files. Disponível em <https://pypi.org/project/PyGuitarPro/>. Software package.
- TuxGuitar (2018). <https://www.tuxguitar.app/>. Computer Software. License: GNU Library or Lesser General Public License version 2.0 (LGPLv2).
- Ubisoft (2011). Rocksmith. Music Learning Software. Video game. Playstation 3, São Francisco, Califórnia: Ubisoft.
- Ubisoft (2016). Rocksmith 2014 Edition - Remastered. Music learning software. Video game. Playstation 4, São Francisco, Califórnia: Ubisoft.
- Vasconcellos, E. P., Souza, P. M. T. G. d., Franco, M. R., Castro, V. G. d., Souza, L. V., Lago, R. M., and Speziali, M. G. (2021). Escalonamento de tecnologias: desenvolvimento de produto e processo do laboratório à escala piloto conectado ao mercado (parte 1). *Química Nova*, 44(3):377–384.