

Ranqueamento de Acordes de Violão com Base na Dificuldade: Um Conjunto de Dados de Tríades com Pontuações de Dificuldade

Yvson Nunes Figueiredo¹,
Yuri de Almeida Malheiros Barbosa¹,
Thaís Gaudêncio do Rêgo¹

¹Centro de Informática – Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

yvsonnunes7@gmail.com, yuri@ci.ufpb.br, gaudenciothais@gmail.com

Resumo. *Um violão/guitarra de seis cordas oferece amplas possibilidades para a formação de acordes devido à composição de sua escala, refletindo a flexibilidade e adaptabilidade do instrumento. No entanto, alguns formatos de acordes podem ser desafiadores, influenciados por fatores como a colocação dos dedos, a abertura da mão, a presença de pestana, a posição na escala ou a familiaridade do guitarrista com o acorde. Neste trabalho, introduzimos um conjunto de dados composto por 500 formas de acordes na afinação padrão, especificamente tríades maiores e menores, ranqueados por sua dificuldade de execução. O ranqueamento inicial foi determinado por critérios objetivos estabelecidos na literatura, considerando a complexidade na execução dos acordes, e foi refinado com comparações de pares feitas por 10 músicos de níveis de proficiência variados, utilizando o sistema de ranqueamento ELO. Este sistema possibilitou o ajuste dinâmico dos ranques com base no feedback dos músicos, garantindo um refinamento dos níveis de dificuldade. O processo de comparação foi otimizado para comparar apenas acordes com dificuldades próximas, reduzindo o número de pares a serem avaliados. A análise dos resultados com a correlação de Spearman confirmou uma alta concordância entre os critérios iniciais e as percepções humanas, com um valor de 0,99001 e um p-value igual a 0. O conjunto de dados final é um recurso valioso para a comunidade de Recuperação de Informações Musicais e para a criação de sistemas de recomendação personalizados em aprendizado musical, que podem adaptar o conteúdo à experiência do usuário, facilitando o aprendizado progressivo para guitarristas através de ferramentas de ensino que frequentemente desconsideram a dificuldade dos acordes.*

Palavras-chave: *Ranqueamento de Acordes, Dificuldade de Execução, Violão/Guitarra, Recuperação de informações Musicais, Sistema ELO.*

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F475r Figueiredo, Yvson Nunes.

Ranqueamento de acordes de violão com base na dificuldade: um conjunto de dados de tríades com pontuações de dificuldade / Yvson Nunes Figueiredo. - João Pessoa, 2024.

16 f. : il.

Orientação: Yuri Barbosa.

Coorientação: Thais Gaudencio.

TCC (Graduação) - UFPB/CI.

1. Ranqueamento de acordes. 2. Dificuldade de execução. 3. Violão/guitarra. 4. Recuperação de informações musicais. 5. Sistema ELO. 6. Aprendizado de máquina. I. Barbosa, Yuri. II. Gaudencio, Thais. III. Título.

UFPB/CI

CDU 004.8

Abstract. *A six-string guitar offers vast possibilities for chord formation due to its scale composition, reflecting the instrument's flexibility and adaptability. However, some chord shapes can be challenging, influenced by factors such as finger placement, hand stretch, the presence of barre chords, neck position, or the guitarist's familiarity with the chord. In this work, we introduce a dataset consisting of 500 chord shapes in standard tuning, specifically major and minor triads, ranked by their execution difficulty. The initial ranking was determined using objective criteria established in the literature, considering the complexity of chord execution, and was refined with pairwise comparisons made by ten musicians of varying proficiency levels, using the ELO ranking system. This system allowed for dynamic adjustment of rankings based on musician feedback, ensuring a refined difficulty level. The comparison process was optimized to only compare chords with close difficulty levels, reducing the number of pairs to be evaluated. Spearman's correlation analysis confirmed a high agreement between the initial criteria and human perceptions, with a value of 0.99001 and a p-value of 0. The final dataset is a valuable resource for the Music Information Retrieval community and the creation of personalized recommendation systems in music learning, which can adapt content to user experience, facilitating progressive learning for guitarists through educational tools that often overlook chord difficulty.*

Keywords: *Chord Ranking, Execution Difficulty, Guitar, Music Information Retrieval, ELO System.*

1. Introdução

O violão e a guitarra estão entre os instrumentos de cordas mais populares, com cerca de 50 milhões de praticantes em todo o mundo [1]. Afinados na forma padrão [2] (ver Tabela 1), estes instrumentos oferecem uma ampla gama de possibilidades para a formação de acordes, essenciais na música ocidental. Na teoria musical, a construção de acordes frequentemente se baseia em tríades maiores e menores (acordes com três notas), que consistem na nota raiz, a terça (maior ou menor) e a quinta perfeita, formando a base harmônica de muitas composições. Neste contexto, o sistema CAGED [3] é amplamente utilizado para organizar e executar essas tríades ao longo do braço do violão e da guitarra. Baseado nas cinco formas abertas dos acordes C, A, G, E e D, esse sistema permite a transposição de acordes para diferentes tonalidades. Até a primeira oitava do violão, que corresponde à 12ª casa, é possível formar 240 acordes diferentes. Esse número pode crescer ainda mais ao incorporar outras notas, explorar formatos fora do sistema CAGED, omitir certas cordas ou tocar notas abertas, ilustrando a flexibilidade e adaptabilidade desses instrumentos na criação musical.

No entanto, algumas digitações de acordes são mais complexas de executar do que outras, devido a fatores como a distância entre os dedos, o uso de acordes com pestana, a região do braço do violão, ou até mesmo a familiaridade do músico com o diagrama do acorde. Assim, em meio a tantas possibilidades e visando uma melhor tocabilidade, músicos podem escolher formatos que melhor se adequam à música que pretendem tocar. Contudo, tal decisão pode impor um desafio para guitarristas inexperientes, que não conhecem as possíveis digitações e simplificações dos acordes. Nesse contexto, muitos

sites de aprendizado de guitarra online, como Chordfy, TV Cifras e Cifra Club [4, 5, 6], apresentam variações dos formatos dos acordes. No entanto, essas simplificações costumam se concentrar na conversão de tétrades em tríades, muitas vezes sem considerar a configuração dos dedos para a execução do acorde e os fatores mencionados anteriormente, que podem impactar na dificuldade real de execução de um acorde.

Diante do exposto, este trabalho propõe uma base de dados com 500 diagramas de tríades maiores e menores para violão na afinação padrão, ranqueados de acordo com a dificuldade de execução. O ranqueamento foi criado a partir de critérios pré-definidos da literatura e de avaliações comparativas realizadas por guitarristas com diferentes níveis de experiência, que identificaram quais acordes eram mais difíceis de tocar. Esse processo foi refinado com o uso do sistema ELO para ranques. Além de serem recursos valiosos para músicos, essa base e a metodologia de ranqueamento podem beneficiar plataformas de aprendizado musical online, permitindo que adaptem recomendações ao nível de habilidade dos usuários, considerando a digitação necessária para cada acorde.

Corda	Nota	Frequência	Símbolo
6	Mí	~82,41 Hz	E2
5	Lá	~110,00 Hz	A2
4	Ré	~146,83 Hz	D3
3	Sol	~196,00 Hz	G3
2	Si	~246,94 Hz	B3
1	Mi	~329,63 Hz	E4

Tabela 1. Afinação padrão para guitarra e violão

2. Trabalhos relacionados

Relacionado ao contexto de aprendizado adaptativo de violão e guitarra, o trabalho desenvolvido em [7] visa auxiliar músicos iniciantes a ampliar suas opções além dos acordes básicos. Os autores destacam que as ferramentas tradicionais de aprendizado, ao se limitarem a diagramas comuns, podem restringir a criatividade e o progresso musical dos iniciantes. Para superar essas limitações, eles propõem um sistema baseado em redes neurais que usa o acorde anterior como contexto para gerar sugestões mais diversificadas e de maior qualidade. A métrica central de avaliação é a tocabilidade, que identifica diagramas impraticáveis ou que exigem posições desconfortáveis. Esse sistema utiliza uma pontuação anatômica para classificar diagramas como "intocáveis" se estiverem abaixo de um limiar predefinido (0,2 no estudo). No entanto, essa métrica possui limitações, pois pode não refletir a realidade prática, dado que alguns diagramas "intocáveis" podem ser executados com técnicas avançadas de pestana como utilização de outros dedos além do indicador que é usado na métrica, e ignora o contexto da sequência, podendo resultar em transições complexas. Apesar disso, os resultados mostram que o modelo proposto gera diagramas mais tocáveis do que a baseline proposta, e a inclusão do contexto contribuiu para uma coerência musical maior. O estudo conclui que a sugestão automática de acordes é uma ferramenta promissora para o aprendizado de guitarra, especialmente para iniciantes, e pavimentou o caminho para o desenvolvimento de ferramentas mais sofisticadas.

No âmbito da medição de dificuldade musical, em [8] foram propostos sete critérios para criar uma métrica única que quantifica a tocabilidade de uma música completa. Para isso, foi realizada uma entrevista com professores de guitarra, com o objetivo de estabelecer critérios para determinar o que torna uma música desafiadora. A partir dessas entrevistas, foram definidos quatro níveis de dificuldade para os sete critérios: muito fácil (0 pontos), fácil (1 ponto), difícil (2 pontos) e muito difícil (3 pontos). Os critérios de dificuldade envolvem aspectos físicos e cognitivos, sendo eles: a “raridade do acorde”, que captura a frequência com que o acorde aparece na música (peso 3); a “digitação do acorde”, que avalia a confortabilidade de tocar o acorde, considerando o espaçamento entre os dedos, onde acordes são mais difíceis se os dedos estiverem muito espaçados, ou em posições apertadas do que quando os dedos estão juntos e em uma posição relaxada (peso 3); a “dificuldade no formato do acorde”, que leva em conta a quantidade de dedos e a utilização de pestanas (peso 2); a “repetição”, que avalia se a repetição de acordes na música resulta em menos trocas de acorde, tornando-a mais fácil de tocar (peso 2); a “complexidade da mão direita”, que examina a dificuldade do padrão de ataque às cordas (peso 2); a “progressão do tempo no acorde”, que avalia o tempo de transição dos acordes, onde transições rápidas tornam a música mais difícil (peso 1); e a “dificuldade rítmica”, que considera que músicas com maior regularidade no padrão de ataque às cordas são mais fáceis de executar (peso 0).

Esses critérios receberam pesos de importância na construção final da pontuação, conferindo maior confiabilidade ao empregar os pesos junto com os níveis de dificuldade em um somatório, que resulta em uma métrica única. Conforme demonstrado pelos pesos atribuídos, a “dificuldade rítmica” representou pouco ganho de informação, resultando em peso zero.

Assim, foi solicitado a um conjunto de músicos a realização da anotação de 200 músicas, usando os critérios e níveis de dificuldade no conjunto de dados McGill Billboard [9], uma base frequentemente utilizada pela comunidade de Recuperação de informações musicais. Os resultados das pontuações atribuídas pelos anotadores foram avaliados, a fim de garantir a confiabilidade das métricas. Para testar essa característica, os autores utilizaram uma família de modelos de crédito parcial (*partial credit models*), confirmando a utilidade dos critérios de níveis de dificuldade. As pontuações obtidas mostraram uma boa confiabilidade: 0,74, para o modelo de crédito parcial simples, 0,84, para o modelo generalizado e 0,86, para o modelo estendido.

Através do conjunto de dados anotados, os autores realizaram experimentos buscando prever a pontuação de tocabilidade, utilizando como base um modelo feito por regras e modelos de aprendizagem de máquina, como LSTM (*Long Short-Term Memory*) e DeepGRU, treinando-os para prever a soma agregada da pontuação e a pontuação individual de cada critério. Como resultado, ambos os modelos foram superiores, com a LSTM obtendo o melhor resultado, levando em consideração a anotação textual do acorde, em vez do diagrama do acorde. Este resultado não era esperado, uma vez que a informação textual não incorpora como será executado o acorde no instrumento, contudo os autores também levantaram que os diagramas não incorporam limitações físicas da mão, o que pode explicar o resultado inferior.

O trabalho desenvolvido por [10] buscou criar um gerador automático de linhas melódicas de guitarra, que utilizava o áudio como entrada e retornava uma tablatura,

parametrizável por níveis de dificuldade. Para o desenvolvimento dessa aplicação, foram usadas tecnologias de extração de informações musicais. Esse processo envolveu a coleta de linhas melódicas, a partir do contorno da frequência fundamental (F0), das batidas (beats) e dos acordes presentes no áudio. Com essas informações, foi construído um modelo de Markov que considerava o nível de habilidade do guitarrista. A métrica de dificuldade foi desenvolvida com base em experimentos, que levaram em conta fatores que influenciavam a tocabilidade de uma tablatura, como a quantidade média de dedos usados para pressionar as cordas e o movimento médio do dedo indicador da mão esquerda.

Para validar os critérios de tocabilidade, cinco músicos experientes anotaram dez tablaturas cada, totalizando 50 anotações, classificando-as em sete níveis de dificuldade, com base nos aspectos da mão esquerda. Os resultados mostraram correlações significativas entre as anotações de dificuldade e os critérios estabelecidos, sendo 0,55 para a movimentação média e 0,51 para o número de dedos usados. Além disso, as regressões lineares realizadas entre as anotações e os critérios resultaram em 0,3 para o movimento médio dos dedos e 0,26 para o número de dedos utilizados como valores de coeficiente de determinação. Esses resultados indicaram que, para as tablaturas analisadas, a dificuldade tendia a aumentar, conforme os critérios estabelecidos também aumentavam. Com base nesses critérios, três níveis de dificuldade foram definidos: Fácil, Normal e Dífícil.

O trabalho de [7] desenvolve um sistema de sugestão automática de diagramas de acordes para iniciantes, utilizando redes neurais. No entanto, a métrica de avaliação de tocabilidade mostrou-se falha ao lidar com acordes que possuem pestanas diferentes do dedo indicador, o que pode levar a interpretações equivocadas dos resultados. Os trabalhos em [8, 10] propuseram métricas de dificuldade para músicas inteiras. Em [8], foram considerados tanto a mão direita quanto a esquerda, além de outros aspectos que, juntos, capturam a noção de tocabilidade. Já [10] concentrou-se nos desafios da mão esquerda para determinar a dificuldade musical. Diferentemente dessas abordagens, o trabalho desenvolvido aqui foca exclusivamente na dificuldade dos acordes. Ele utiliza critérios da mão esquerda, como a quantidade de dedos, espaçamento entre eles e uso da pestana, para construir uma noção de tocabilidade, combinando isso com a opinião humana para guiar o ranqueamento da dificuldade dos acordes.

3. Metodologia

Esta seção está organizada em quatro partes: Base de dados, que descreve a extração e redução do conjunto de acordes; Construindo um índice de dificuldade, que explica os critérios para calcular a dificuldade dos acordes; Experimentos de ranqueamento, que explica como o ELO foi usado para o ranqueamento, o perfil dos músicos anotadores, a aplicação web desenvolvida e a estrutura do experimento de ranqueamento dos acordes.

3.1. Base de dados

Os diagramas dos acordes foram extraídos usando a Digital Audio Workstation (DAW) Logic Pro [11]. Neste projeto, optou-se por reduzir o escopo para uma quantidade menor de acordes, visando diminuir o número total de anotações e focar em tríades maiores e menores. Isso foi necessário devido a limitações no número de anotadores disponíveis e no tempo que seria necessário para anotar todo o conjunto de 4.410 acordes originalmente composto por outras tríades, tétrades e acordes de cinco notas. Assim, o conjunto foi

reduzido para 500 acordes, todos formados por tríades maiores e menores. A Figura 1 apresenta o histograma desses 500 acordes por tonalidade, enquanto a Figura 2 mostra as notas mais frequentemente pressionadas em todos os acordes.

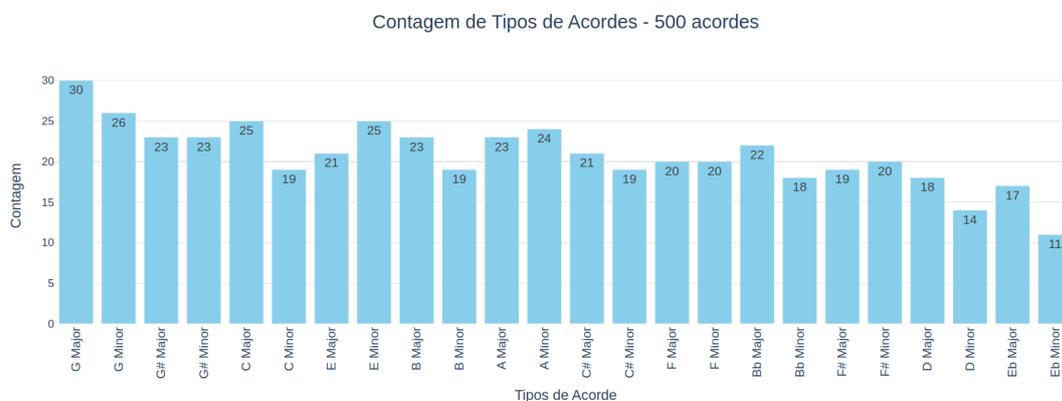


Figura 1. Histograma dos tipos de acordes

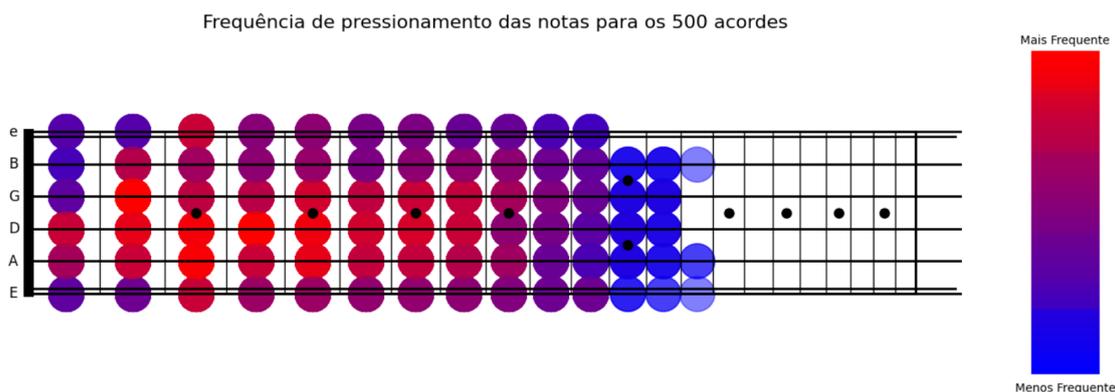


Figura 2. Frequência de pressionamento das notas na escala

Cada acorde possui uma anotação detalhada, indicando quais casas devem ser pressionadas e quais dedos devem ser utilizados para pressionar as cordas. Além disso, também são especificadas quais cordas não devem ser tocadas. A convenção de notação dos diagramas da base dos 500 acordes, para os dedos da mão esquerda, pode ser ilustrada na figura 3.

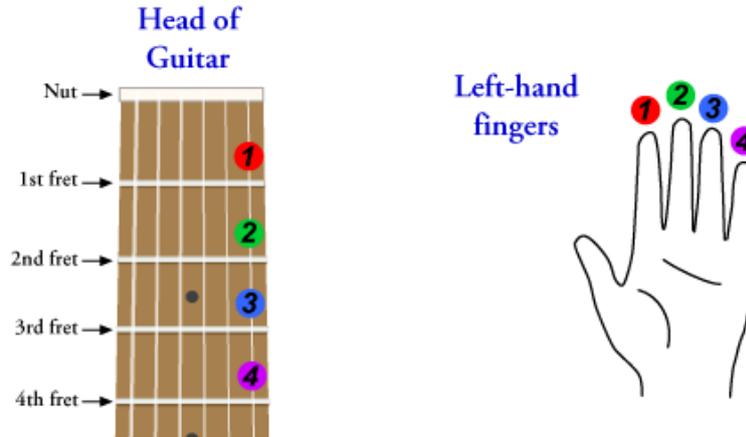


Figura 3. Notação para os dedos da mão esquerda

3.2. Construindo um índice de dificuldade

Como uma forma de construir comparações mais relevantes para o experimento de ranqueamento e evitar $O(N^2)$ comparações exaustivas, o índice de dificuldade busca indicar acordes que podem apresentar dificuldades semelhantes em sua execução. Para isso, alguns fatores são considerados. Como apontado em [8, 10], a dificuldade na execução de acordes em músicas, a respeito da mão esquerda do guitarrista, é influenciada por aspectos como a quantidade de dedos utilizados, o espaçamento entre eles e a utilização da pestana. Assim, o índice de dificuldade utilizado neste trabalho procura englobar esses aspectos em um único valor. Primeiramente, a métrica considera a quantidade relativa de dedos utilizados no acorde, expressa como a razão entre o número de dedos empregados e quatro (Equação 1).

$$Q = \frac{\text{Número de dedos}}{4} \quad (1)$$

Além disso, o espaçamento entre os dedos é levado em conta, refletindo a forma como as casas do violão e da guitarra funcionam. Para isso, foi feita a utilização da fórmula descrita em [12] (Equação 2) do posicionamento das casas na escala do violão:

$$X_n = X_0 \cdot 2^{-n/12} \quad (2)$$

Nesta equação, n representa a casa no braço do instrumento. X_0 é a distância entre o rastilho e a pestana, enquanto X_n indica a distância do rastilho até qualquer casa n do violão (veja a Figura 4). Portanto, para calcular a distância de qualquer casa até o rastilho, basta variar n . Dessa forma, a equação que determina a distância entre duas casas, n_1 e n_2 , no violão é dada por:

$$|X_{n_1} - X_{n_2}| = |X_0 \cdot (2^{-n_1/12} - 2^{-n_2/12})|, \quad \text{onde } n_1 > n_2 \quad (3)$$

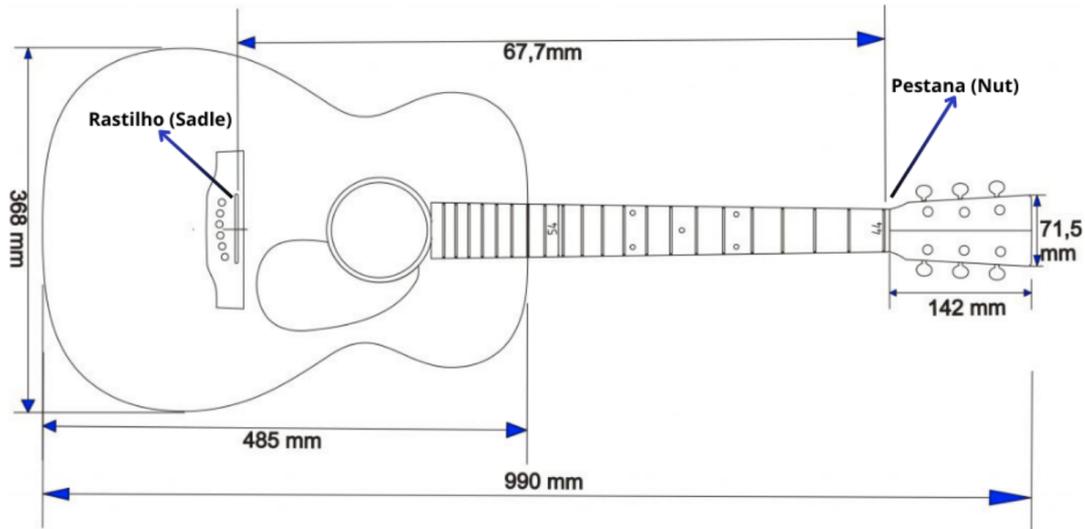


Figura 4. Dimensões de um violão de seis cordas

Onde X_0 é um fator que pode variar de instrumento para instrumento. Para fins de generalização, X_0 foi excluído e a componente $|2^{-n_1/12} - 2^{-n_2/12}|$ foi adotada como um peso para a métrica de espaçamento dos dedos.

Assim, dado um diagrama com as posições em que cada dedo deve pressionar as cordas, o algoritmo identifica os dedos utilizados no acorde. Em seguida, a função calcula a distância ponderada, utilizando o componente $|2^{-n_1/12} - 2^{-n_2/12}|$, entre cada par de dedos, considerando as casas que cada dedo está pressionando. Essas distâncias são então somadas, produzindo um fator de dificuldade E atrelado ao espaçamento dos dedos.

Por fim, na construção dessa métrica de dificuldade, o algoritmo verifica se o acorde inclui algum tipo de pestana. Se uma pestana for identificada, um valor adicional de 1 é atribuído à pontuação final de dificuldade, resultando em um fator B .

Desse modo, dado um diagrama, o índice de dificuldade D pode ser indicado por:

$$D = Q + E + B \quad (4)$$

Como exemplo, utilizando a Equação 4 para o diagrama na figura 5, a dificuldade final é $(0,75) + (0,0471 + 0,1832 + 0,0444) + 1 = 2,025$.

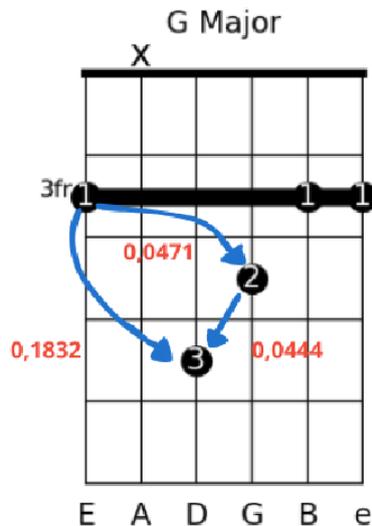


Figura 5. Diagrama de Sol maior

3.3. Experimentos de ranqueamento

Esta subseção está dividida em três partes: Ranqueamento baseado na ideia do ELO, que explica o uso do sistema ELO para ajustar os ranques dos acordes com base nas comparações realizadas; Perfil dos músicos anotadores, que descreve a experiência e o nível de habilidade dos músicos participantes do experimento de ranqueamento; e Tecnologias empregadas e funcionamento do algoritmo de escolha dos acordes, que detalha a implementação da aplicação web usada para gerenciar as comparações e o algoritmo de seleção de acordes para avaliação.

3.3.1. Ranqueamento baseado na ideia do ELO

Na criação de jogos, um desafio comum é selecionar batalhas entre dois jogadores de maneira equilibrada. Diversos critérios podem ser utilizados para escolher o oponente mais adequado para cada jogador e o objetivo é proporcionar batalhas que ofereçam um nível de desafio satisfatório, aumentando o entretenimento dos participantes. Em jogos de soma zero, onde dois jogadores competem e apenas um pode vencer, os ranques refletem a habilidade de cada jogador. Nesse contexto, o sistema ELO [13] é amplamente utilizado. Ele permite ajustar os ranques dos jogadores após cada partida, refletindo suas habilidades: se um jogador habilidoso perder para um iniciante, seu ELO diminuirá consideravelmente, enquanto o ELO do iniciante aumentará bastante. Por outro lado, se dois jogadores de mesmo nível competirem, seus ELOs serão ajustados, mas as variações serão menores. Ademais, no sistema ELO, para a construção dos ranqueamentos não são necessárias todas as disputas possíveis, o que no contexto do trabalho desenvolvido aqui, torna sua utilização adequada.

Dessa forma, para o contexto do ranqueamento dos acordes, foi adotada a mesma ideia de jogos de soma zero e foi empregada a técnica de atualização dos ranqueamentos baseados em ELO descrita pela Equação 5.

$$R' = R + K \times (S - E) \quad (5)$$

onde:

- R' é o novo rating do acorde.
- R é o rating atual do acorde.
- K é o fator de desenvolvimento, que determina o quanto o rating pode mudar após uma partida.
- S é o resultado da partida (1 para vitória e 0 para derrota).
- E é a expectativa de vitória para um acorde A , calculada como:

$$E = \frac{1}{1 + 10^{(R_B - R_A)/400}} \quad (6)$$

Em que R_A é o rating do acorde A e R_B é o rating do acorde B .

Para conduzir os experimentos, o ranqueamento inicial de cada acorde foi determinado proporcionalmente com base no índice de dificuldade (Equação 4) multiplicado por 1500 (esse valor baseia-se em definições iniciais de ranqueamento usando o ELO em sistemas desse tipo). O fator K adotado foi de 32, mantendo-se constante ao longo de todo o experimento.

3.3.2. Perfil dos músicos anotadores

Para os experimentos, foram selecionados dez músicos com diversos níveis de experiência em violão e guitarra elétrica. Destes músicos, 70% têm mais de 10 anos de experiência com os instrumentos, e 60% praticam regularmente, variando de diariamente a algumas vezes por semana. Além disso, 60% possuem conhecimento formal em teoria musical, e todos estão familiarizados com o sistema CAGED. Quando questionados sobre seu nível de proficiência, 60% dos músicos se classificaram como intermediários, 30% como avançados, e apenas 10% como iniciantes. A maioria tem mais experiência com o violão do que com a guitarra elétrica: 40% são familiarizados com ambos os instrumentos, 40% têm experiência apenas com violão e 20% tocam apenas guitarra.

3.3.3. Tecnologias empregadas e funcionamento do algoritmo de escolha dos acordes

Para a construção do experimento de ranqueamento, foi desenvolvida uma aplicação web com o objetivo de facilitar a anotação dos acordes pelos músicos. A implementação foi realizada utilizando a linguagem de programação Python, onde o *frontend* foi desenvolvido com Streamlit [14] e o *backend* com o framework FastAPI [15]. Para a persistência dos dados de ranqueamento, foi utilizado o banco de dados PostgreSQL [16], modelando as tabelas de acordes e comparações de forma estruturada.

A figura 6 ilustra a modelagem do banco de dados. A tabela de acordes foi inicialmente construída contendo informações detalhadas sobre cada um deles, incluindo o nome, os dedos utilizados, as casas pressionadas, um identificador único (*id*), o índice de dificuldade (*score*), que foi construído pelo sistema ELO e pelo índice de dificuldade, conforme previamente explicado, além do número máximo de comparações que cada acorde

pode sofrer. Foi adotado um limite máximo de dez comparações como uma estratégia para reduzir o número total de comparações necessárias no experimento, diminuindo assim o esforço dos anotadores.

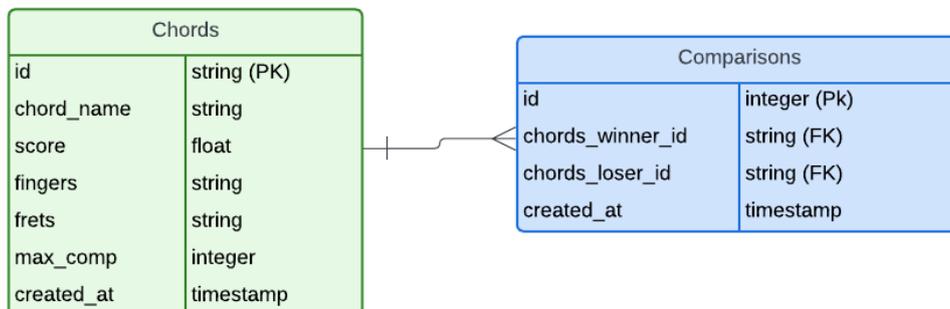


Figura 6. Modelagem do banco

Quando o experimento é iniciado, a tabela de comparações encontra-se vazia e vai sendo preenchida dinamicamente, conforme os músicos realizam suas avaliações. Cada registro na tabela de comparações contém o *id* do acorde vencedor e do acorde perdedor, permitindo a rastreabilidade e análise dos resultados ao final do processo.

O experimento é conduzido de maneira global, onde cada comparação de par de acordes é única e feita por um anotador por vez.

A interface de comparação está ilustrada na figura 7. Nela, dois diagramas são mostrados com seus respectivos nomes e o anotador deve clicar para votar no Acorde A ou no Acorde B como vencedor da disputa.

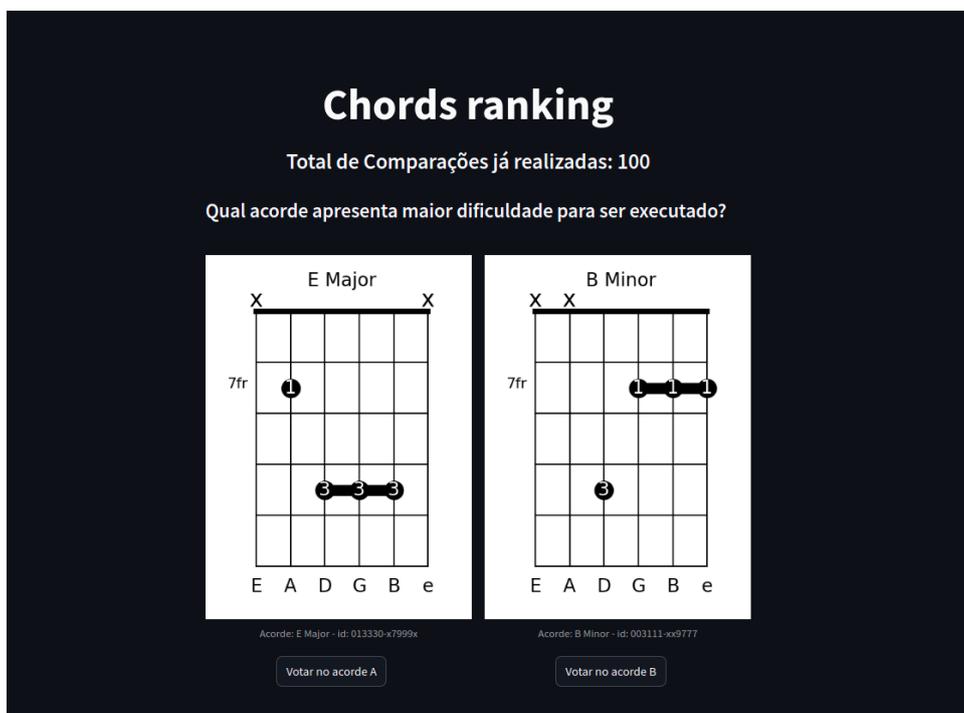


Figura 7. Interface de ranqueamento dos acordes

O algoritmo de seleção dos acordes funciona inicialmente escolhendo aleatoriamente um acorde da tabela para ser comparado. Um acorde é selecionado, desde que não tenha excedido o número máximo de comparações permitidas. Em seguida, o algoritmo procura um segundo acorde para comparação, que deve refletir uma dificuldade semelhante ao do primeiro acorde. Este segundo acorde também deve cumprir a condição de não ter excedido o número máximo de comparações e estar próximo em termos de dificuldade do primeiro acorde, se não houver outro acorde, o programa é finalizado. Se ambas as condições forem satisfeitas, o segundo acorde é escolhido e o par de acordes é apresentado ao anotador para avaliação, repetindo-se esse processo até todas as comparações previstas forem realizadas.

4. Resultados e Discussão

Os experimentos realizados culminaram em 1.150 comparações, um número inferior ao necessário para garantir que todos os acordes fossem comparados ao menos 10 vezes. A figura 8 ilustra o estado do conjunto de 500 acordes, em relação ao número de comparações realizadas.

Dado que nem todas as comparações foram efetuadas, apresentamos um conjunto de acordes que passaram por, no mínimo, cinco comparações. Entretanto, para mostrar o estado corrente do conjunto de dados, todos os acordes são considerados também.

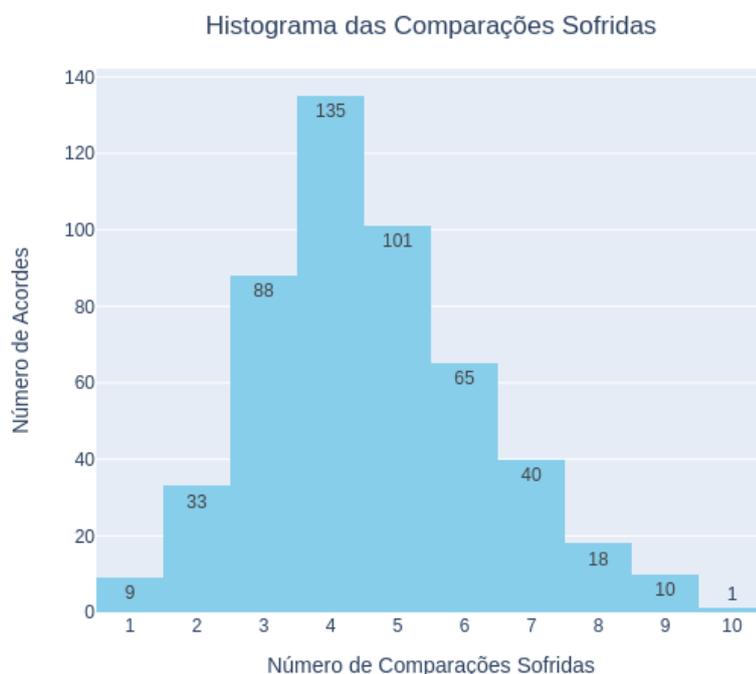


Figura 8. Cobertura dos experimentos

A figura 9 apresenta a comparação dos histogramas do Elo Score antes e depois das comparações realizadas nos 500 acordes avaliados. Além disso, a figura 10 destaca os resultados dos acordes que passaram por pelo menos cinco comparações, totalizando

235 acordes. Para esses 235 acordes, a figura 11 complementa a visualização ao ilustrar a distribuição das diferenças absolutas nas pontuações de Elo.

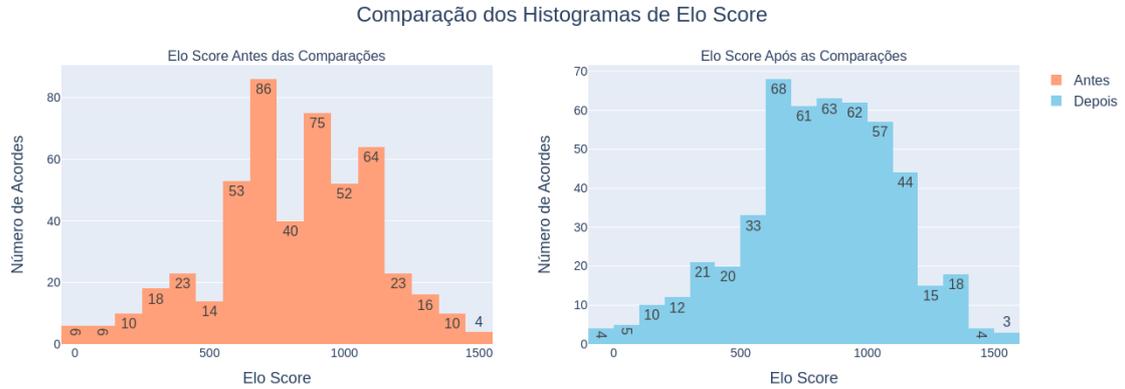


Figura 9. Comparação dos Histogramas de Elo Score - 500 acordes

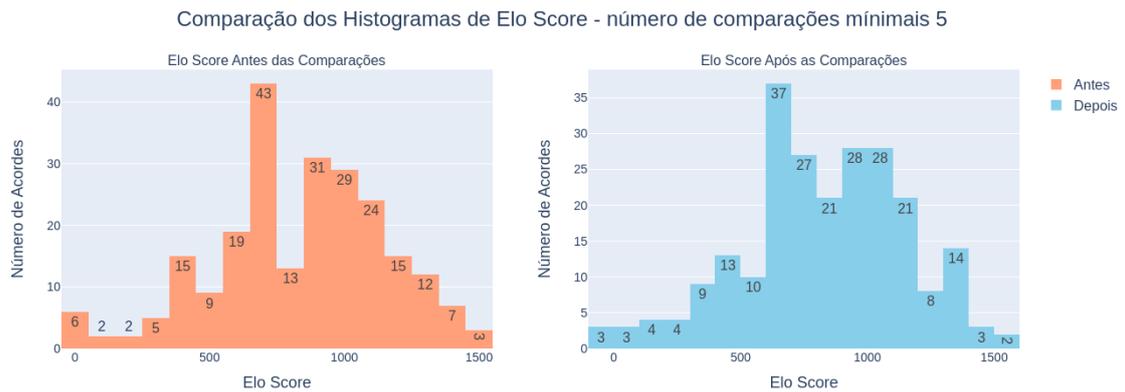


Figura 10. Comparação dos Histogramas de Elo Score - número de comparações mínimas 5 - 235 acordes

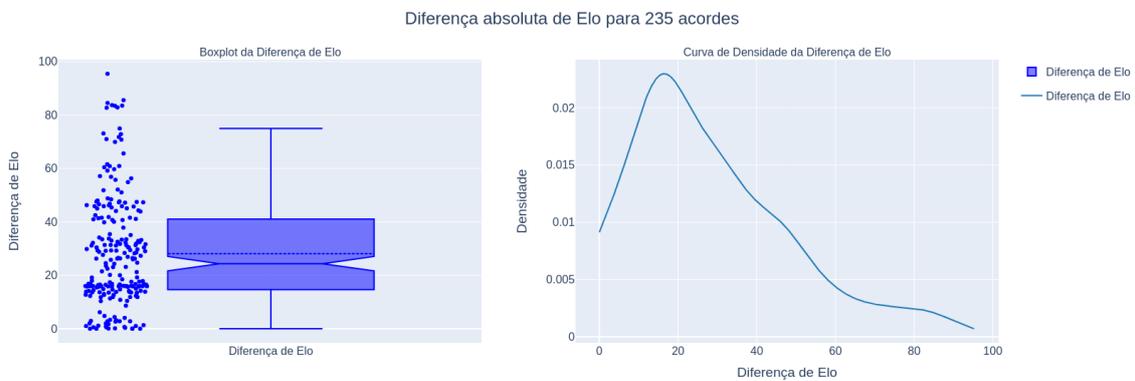


Figura 11. Distribuição da diferença absoluta

Para mensurar a diferença entre os dois ranqueamentos, foi utilizada a correlação de Spearman, uma métrica não paramétrica ideal para avaliar a monotonicidade da relação entre dois conjuntos de dados para ranques [17]. No contexto da figura 10, que analisa 235 acordes filtrados, a correlação calculada foi de 0,99134, acompanhada por um *p-value* igual a 0. Já na figura 9, que considera todos os 500 acordes, a correlação observada foi de 0,99001, também com *p-value* igual a 0. Ambas as correlações se aproximam de 1, e a hipótese nula de que os ranques não estão correlacionados pode ser rejeitada, indicando uma forte concordância entre os ranqueamentos.

Além disso, para o subconjunto de 235 acordes (mínimo de cinco comparações), o qual recebeu mais *feedback* humano, ao comparar a diferença absoluta visualizada na figura 11, algumas hipóteses podem ser levantadas sobre o experimento devido a correlação próxima de 1. Primeiramente, o índice de dificuldade (Equação 4) parece estar alinhado com as observações dos anotadores, resultando em poucas variações no ranqueamento inicial e final. Em segundo lugar, as 1.150 comparações realizadas talvez não tenham sido suficientes, de modo que as comparações feitas pelos músicos anotadores não foram capazes de impactar o ranqueamento final.

5. Conclusão e Trabalhos futuros

Destarte, o trabalho apresentado aqui introduz uma base de dados com 500 acordes, formados por tríades maiores e menores, classificados segundo o nível de dificuldade. Este ranqueamento foi inicialmente estabelecido com base em um índice que considera fatores como a quantidade de dedos utilizados, o espaçamento entre eles e a existência de pestanas. Em seguida, o índice foi refinado através de comparações realizadas por músicos de diferentes níveis de proficiência, utilizando um sistema inspirado no modelo ELO, amplamente empregado em jogos de soma zero.

Os resultados mostraram uma alta correlação entre o ranqueamento inicial e o ajustado, evidenciando que o índice serve como uma aproximação inicial eficaz da dificuldade dos acordes. Contudo, para aumentar a confiabilidade e a precisão dos resultados, seria desejável realizar um maior número de comparações, já que não foi possível efetuar todas as necessárias. Apesar disso, a base de dados constitui um recurso valioso para a comunidade de Recuperação de informações musicais, oferecendo uma ferramenta útil para o desenvolvimento de sistemas de recomendação. Tal ferramenta pode enriquecer a experiência de aprendizado para guitarristas, ao permitir que visualizem formas de acordes acompanhadas por uma indicação clara de sua dificuldade.

Por fim, pensando em melhorias futuras para o sistema, o trabalho atual focou principalmente nas anotações de tríades maiores e menores. Entretanto, a base completa do DAW Logic Pro [11] abrange uma gama mais ampla de acordes, oferecendo oportunidade para expandir os experimentos e melhorar a usabilidade, incluindo mais tipos de acordes. Durante os testes na interface web, foi observado que o tempo de carregamento para novas comparações chegava a cerca de 4 segundos, algo que pode ter prejudicado a experiência dos anotadores e por conseguinte a obtenção de menos anotações para os acordes. Esse atraso deve-se ao uso de um banco de dados PostgreSQL gratuito na plataforma Neon [18], cujo nível básico de serviço e localização remota, por se tratar de um banco na nuvem, contribuíram para a lentidão na resposta. Para otimizar a experiência do usuário e aumentar o número de comparações, pode ser necessário considerar a migração

para outra plataforma, a atualização do plano de serviço, ou uma mudança na região do servidor.

Em termos de modelagem do sistema web, incorporar o registro de usuários e suas comparações seria valioso para um entendimento mais aprofundado do ranqueamento, como para criar pesos na opinião de cada uma na comparação dos acordes de acordo com o nível de proficiência do anotador. Além disso, alterar o algoritmo de seleção dos pares de acordes para priorizar aqueles que ainda não foram amplamente comparados poderia garantir uma cobertura mais completa das anotações, especialmente em cenários onde nem todas as comparações planejadas sejam realizadas. Ademais, a criação de métricas qualitativas para a avaliação do ranqueamento por músicos poderia contribuir para o aumento na confiabilidade dos ranques. Finalmente, considerando a vasta quantidade de possibilidades de acordes no braço do violão, um modelo treinado a partir dos ranques dos acordes poderia ser uma ferramenta eficaz para generalizar a dificuldade para mais acordes. Para alcançar esse objetivo, seria necessário um estudo sobre como os diagramas podem ser representados, levando em conta as limitações biomecânicas no vetor de entrada, já que a utilização direta do diagrama, como apontado por [8], pode não ser a abordagem ideal para alimentar um modelo desse tipo.

Referências

- [1] Alexander Eser. Global music landscape: Most popular instruments across different age groups. <https://worldmetrics.org/most-popular-instruments/#sources>, 2024. Acesso outubro de 2024.
- [2] Joseph Davis. *A Modern Approach to Naming Guitar Chords 4th Ed.* Gatekeeper Press, 2023.
- [3] B. Edwards. Triads. In B. Edwards, editor, *Fretboard Logic: The Reasoning Behind the Guitar's Unique Tuning*, pages 45–50. Edwards Music Pub, Temple Terrace, FL, 1983.
- [4] Chordfy. Chordify: Instant chords for any song. <https://chordify.net/>. Acesso: setembro de 2024.
- [5] TVCifras. Tv cifras - cifras e tablaturas — cifras. <https://www.cifraclub.com.br/>. Acesso: setembro de 2024.
- [6] CifraClub. Cifra club - seu site de cifras e tablaturas. <https://www.cifraclub.com.br/>. Acesso: setembro de 2024.
- [7] A. D’Hooge, L. Bigo, K. Déguernel, and N. Martin. Guitar chord diagram suggestion for western popular music. In *Sound and Music Computing Conference, Porto, Portugal*, Porto, Portugal, 2024.
- [8] Marcel A. Vélez Vásquez, Mariëlle Baelemans, Jonathan Driedger, Willem Zuidema, and John Ashley Burgoyne. Quantifying the ease of playing song chords on the guitar. In *Proc. of the 24th Int. Society for Music Information Retrieval Conf.*, pages 726–729, Milan, Italy, 2023.
- [9] John Ashley Burgoyne, Jonathan Wild, and Ichiro Fujinaga. An expert ground-truth set for audio chord recognition and music analysis. In *Proc. of the 12th Int. Society for Music Information Retrieval Conf.*, pages 633–638, 2011.

- [10] S. Ariga, S. Fukayama, and M. Goto. Song2guitar: A difficulty aware arrangement system for generating guitar solo covers from polyphonic audio of popular music. In *Proc. of the 18th Int. Society for Music Information Retrieval Conf.*, pages 569–570, Suzhou, China, 2017.
- [11] Apple. Logic pro potência, criatividade e inteligência no máximo volume. <https://www.apple.com/br/logic-pro/>. Acesso: setembro de 2024.
- [12] Greg Byers. Classic guitar intonation. *Am. Lutherie*, 47:1–11, 1996.
- [13] ARPAD E. ELO. Elo rating. In *The Rating of Chessplayers, Past and Present*. Arco Pub, New York, 1978.
- [14] Streamlit-1.38. Streamlit — the fastest way to build and share data apps. <https://streamlit.io/>. Acesso: setembro de 2024.
- [15] FastAPI-0.114.0. Fastapi — fastapi framework, high performance, easy to learn, fast to code, ready for production. <https://fastapi.tiangolo.com/>. Acesso: setembro de 2024.
- [16] PostgreSQL-16. Postgresql — the world’s most advanced open source relational database. <https://www.postgresql.org/>. Acesso: setembro de 2024.
- [17] Scipy-1.14.1. Scipy - spearmanr. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.spearmanr.html>.
- [18] Neon. Neon serverless postgres — ship faster. <https://neon.tech>. Acesso: outubro de 2024.