

A importância dos ajustes de afinação dos harmônicos comuns durante a performance musical do clarinetista

Guilherme Bose da Silva
Universidade de Brasília
guilhermebose@icloud.com

Ricardo José Dourado Freire
Universidade de Brasília
freireri@unb.br

Resumo: A afinação pode ser considerada uma ferramenta de suma importância dentro da performance musical, e com isso, compreender a estrutura dos harmônicos que compõem um som complexo permite que o instrumentista possa fazer modificações durante sua performance para buscar a construção de um timbre rico e com maior projeção. Roederer (2022) e Howard, & Angus, J. (2006) são importantes teóricos que trazem definições e exemplos da acústica musical e a relaciona com a percepção dos sons (descrita por meio da psicoacústica). Um exercício foi proposto para que o clarinetista possa trabalhar a sensibilidade auditiva a fim de fazer os ajustes e construir um timbre coletivo durante a performance musical com base na percepção auditiva e levar para todos e quaisquer meios musicais coletivos. Os dois contextos tornam-se únicos e complementares dos pontos de vista objetivo (por meio da acústica musical) e subjetivo (por meio da percepção advinda do *feedback* psicoacústico), o que possibilita um maior leque timbrístico com base nas estruturas dos harmônicos comuns.

Palavras-chave: Afinação; Harmônicos comuns; Performance musical; Clarinetista; Timbre.

The importance of pitch adjustments of common harmonics during the clarinetist's musical performance

Abstract: Tuning can be considered a very important tool within musical performance, and with that, understanding the structure of the harmonics that make up a complex sound allows the instrumentalist to make changes during his performance to seek the construction of a rich timbre with greater projection. Roederer (2022) and Howard, & Angus, J. (2006) are important theorists who bring definitions and examples of musical acoustics and relate it to the perception of sounds (described through psychoacoustics). An exercise was proposed so that the clarinetist can work on auditory sensitivity in order to make adjustments and build a collective timbre during the musical performance based on auditory perception and take it to any and all collective musical means. The two contexts become unique and complementary from an objective (through musical acoustics) and subjective (through the perception arising from psychoacoustic feedback) points of view, enabling a greater timbre range based on the structures of common harmonics.

Keywords: Tuning; Common harmonics; Musical performance; Clarinetist; Timbre.

Introdução

No momento da performance musical, é comum que os músicos que tocam instrumentos não temperados façam ajustes individuais na afinação a fim de construir uma musicalidade em conjunto. Tal musicalidade também pode ter como um dos focos principais, os ajustes do timbre coletivo, fazendo com que a afinação seja um fator relevante na configuração da sonoridade de um grupo ou diferentes formações.

O timbre inicia seu processo de caracterização do som desde a produção, explicado por meio da acústica musical, se propaga em um meio (como o ar, por exemplo), e se finda por meio do processo psicoacústico. Essa identidade sonora se dá pelo equilíbrio entre as diferentes configurações dos harmônicos que compõem um som complexo.

Alves (2013) apresenta algumas temáticas voltadas para a emissão do som na clarineta, demonstrando alguns fatores como respiração e suporte diafragmáticos, e aborda ainda sobre

as manipulações e ressonâncias do trato vocal, permitindo assim, que o clarinetista possa utilizar o controle do trato vocal para construir a sonoridade desejada.

A relação da afinação vai além da concepção de afinação entre duas frequências fundamentais (chamadas de f_1), e envolve ainda, a estrutura da série harmônica entre duas ou mais notas executadas simultaneamente. Os ajustes das notas das séries harmônicas comuns entre duas ou mais estruturas com sons fundamentais diferentes (ou frequências fundamentais diferentes), por exemplo, possibilita um timbre conjunto rico em harmônicos, ressaltando as frequências dos harmônicos superiores comuns entre as duas ou mais diferentes estruturas.

A compreensão sobre a afinação justa torna-se de suma importância para a busca de uma afinação sem batimentos, induzindo assim, uma sensação melhor de estabilidade sonora, facilitando a construção do timbre coletivo. Dessa forma, Freire (2013) afirma que:

A afinação justa (*just intonation*), proposta originalmente por Ptolomeu, está diretamente relacionada à produção de intervalos nos quais os harmônicos coincidentes superiores são ajustados sem batimentos. Neste caso, cada intervalo apresenta uma razão que representa os harmônicos coincidentes, e também uma proporção para encontrar as frequências comuns. (Freire, 2013, p.3).

Saber lidar com as propostas de afinação durante a performance musical extrapola as questões apenas voltadas para as frequências fundamentais (f_1). Tais frequências dão significados aos harmônicos superiores por meio de proporções, aos quais derivam dos sons fundamentais, e equilibrar toda a estrutura de duas ou mais notas, permite a soma do volume sonoro de todas as frequências comuns, possibilitando um timbre subjetivamente descrito como “rico em harmônicos”, ou ainda, um “som cheio”.

De acordo com Jiang, W., Liu, J., Zhang, X., Wang, S., & Jiang, Y. (2020) a altura, a intensidade e o timbre são atributos auditivos distintos que constroem a percepção subjetiva do som. O timbre segundo Patil, K., Pressnitzer, D., Shamma, S., & Elhilali, M. (2012) é um atributo sonoro que permite tanto os animais quanto os humanos distinguirem o som advindo de diferentes fontes sonoras.

Além das questões objetivas explicadas pela acústica, Jiang, W., Liu, J., Zhang, X., Wang, S., & Jiang, Y. (2020) abordam diferentes terminologias em seus estudos para classificação subjetiva do timbre, correlacionando-o com a percepção e por fim, criando adjetivos para descrever um timbre musical como: escuro, brilhante, claro, estridente, suave, entre outras terminologias utilizadas.

A afinação torna-se uma ferramenta básica na composição do timbre entre dois ou mais sons. Para um melhor entendimento sobre o timbre, Silva, G. B., & Freire, R. D. (2022) falam que:

O timbre, apesar de ser uma característica física de identidade e caracterização do som por meio de identificação da equalização dos harmônicos dentro de uma determinada frequência, nos dá o suporte para que entendamos os fenômenos sobre como nosso cérebro interpreta vários sons simultâneos, e o porquê de escutarmos outras notas (notas resultantes) na união de 2 frequências ou mais dentro da performance musical. O timbre por tanto nasce dentro das explicações objetivas da física trazidas pela acústica musical, como explicadas pelo teórico Roederer (1998), e se finda subjetivamente na percepção humana. (Silva, G. B., & Freire, R. D., 2022, p.105).

A relação entre dois sons tocados simultaneamente por dois instrumentos projeta duas estruturas de séries harmônicas de equalizações distintas, de modo que a equalização de cada estrutura forma a característica do timbre individual de cada um desses instrumentos. A soma dessas duas ou mais estruturas individuais forma uma nova equalização, e por fim, um novo timbre composto por duas ou mais fundamentais diferentes, fazendo com que apareçam novos sons resultantes da combinação dessas diferentes estruturas.

Como exemplo, ao levar em conta uma performance musical com duas clarinetas, Freire (2013) explica a importância da relação entre os harmônicos e subharmônicos em um contexto performático coletivo da seguinte forma:

A performance de um duo de clarinetas oferece a oportunidade para ouvir com nitidez a relação entre os harmônicos superiores produzidos pela série harmônica e também a relação de sons resultantes advindos da diferença nas frequências de notas de um determinado intervalo. A partir de estudos de Helmholtz (1885), Révész (2001) e Roederer (2008), é possível estabelecer um referencial teórico para a análise dos espectros harmônicos e subharmônicos dos intervalos tocados por duas clarinetas. (Freire, 2013, p.1).

Objetivo

A altura, intensidade e o timbre são importantes parâmetros utilizados pelos músicos segundo os teóricos Howard, & Angus, J. (2006), e apesar de serem expostos com contextos objetivos por descrições físicas, tais teóricos ainda abordam as questões subjetivas como a qualidade do som atribuindo adjetivos para descrever essas qualidades.

A construção do timbre coletivo vai além de questões puramente físicas, envolvendo também as modificações na emissão do som do clarinetista por meio de suas sensações advindas do *feedback* psicoacústico. Assim, a proposta de um exercício a duas vozes busca trabalhar a sensibilidade da percepção musical do clarinetista a fim de construir um timbre conjunto durante a performance musical por meio da modificação das afinações das ondas que compõem um som complexo.

O ajuste de afinação entre duas notas é fundamentalmente importante para o ajuste dos harmônicos comuns em estruturas de dois ou mais sons e conseqüentemente, para a anulação dos batimentos de desafinação em notas de estruturas superiores, e não somente na afinação de duas frequências fundamentais.

Metodologia

A discussão a partir de referenciais bibliográficos permite criar relações entre diversas áreas distintas, o que permite uma reflexão à prática musical do clarinetista, e assim, cria relações entre a acústica musical, a performance, e a psicoacústica.

A pesquisa bibliográfica é descrita por de Macedo, N. D. (1995) como:

[...] a busca de informações bibliográficas, seleção de documentos que se relacionam com o problema de pesquisa (livros, verbetes de enciclopédia, artigos de revistas, trabalhos de congressos, teses etc.) e o respectivo fichamento das referências para que sejam posteriormente utilizadas (na identificação do material referenciado ou na bibliografia final). (de Macedo, N. D., 1995, p.13).

Dentro de um contexto performático, os músicos ao tocarem instrumentos não temperados, como no exemplo de um duo de clarinetas citado por Freire (2013), buscam os ajustes necessários por meio do *feedback* psicoacústico para aperfeiçoarem com os ajustes mais precisos de afinação, de timbre, de projeção e de outras ferramentas que compõem a performance musical como um todo.

A psicoacústica é trazida por Roederer (2022) da seguinte maneira:

[...] a psicoacústica, um ramo da psicofísica, é o estudo que liga os estímulos acústicos às sensações auditivas. Também como a física, a psicofísica exige que a relação causal entre estímulo físico de entrada e reação de saída psicológica (ou comportamental) seja estabelecida por meio de experimentação e mediações, e precisa fazer suposições simplificadoras e idealizar modelos para poder estabelecer relações matemáticas quantitativas e, assim, aventurar-se no terreno das previsões. (Roederer, 2022, p.27).

A utilização da psicoacústica como *feedback* sonoro possibilita a alteração na estrutura de emissão do som e de configuração do timbre por meio de técnicas específicas utilizadas pelos instrumentistas durante o momento da performance musical.

Sons puros: elementos característicos de uma onda

Ao abordarmos sobre a temática de timbre e sua relação comportamental entre a equalização de uma frequência fundamental (f_1) e seus harmônicos superiores (f_2, f_3, f_4 , etc), faz-se necessário entendermos as características do que podemos chamar de “som puro”, cuja frequência advém de uma onda senoidal demonstrada em um plano cartesiano de dois eixos: x e y .

Uma onda senoidal possui três características básicas representativas, e essa nomenclatura deriva-se da função trigonométrica chamada seno, isso devido ao eixo y representar analiticamente essa função (Roederer 2022).

Um som puro, representado também por uma vibração denominada “harmônica” ou “pura”, é definido pelos valores de três parâmetros distintos: período, amplitude e fase.

A amplitude da onda possui relação direta com o volume sonoro que é produzido, e consequentemente, ao volume o qual percebemos. A seguir, podemos observar duas imagens de ondas senoidais de frequências e fases iguais, contudo, amplitudes diferentes.

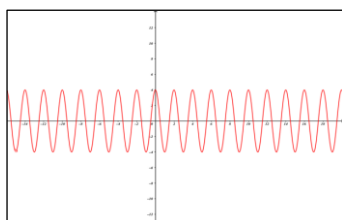


Figura 1: onda senoidal de amplitude 4.

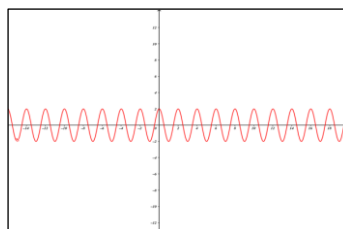


Figura 2: onda senoidal de amplitude 2.

Para que se compreenda a percepção sonora do ouvido humano, Roederer (2022) descreve a sensação de volume sonoro com base em:

[...] dois limites de sensibilidade para um som de frequência definida: (1) um limite inferior ou *limiar de audibilidade*, que representa a mínima intensidade audível; (2) um *limite superior e audibilidade*, além do qual surge dor fisiológica e, eventualmente, comprometimento físico do mecanismo de audição. (Roederer, 2022, p.130).

A altura de uma onda possui relação direta com sua frequência (Roederer, 2022) demonstrada pelo eixo x (tempo) como ciclo de batimentos por segundo, gerando assim a frequência em hertz (Hz).

As próximas duas figuras apresentam ondas senoidais de mesma amplitude e mesma fase, contudo, períodos de repetição diferentes. Na primeira figura, observa-se um padrão de repetição a cada unidade (representada pelo eixo x) enquanto na segunda figura, o padrão de repetição ocorre a cada duas unidades de tempo.

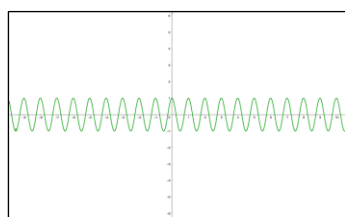


Figura 3: onda senoidal de período 1.

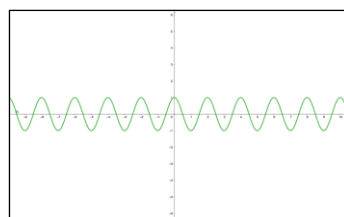


Figura 4: onda senoidal de período 2.

A fase diz respeito ao ponto de início do ciclo de repetição da onda. Roederer (2022) trás esse terceiro ponto como um parâmetro mais delicado quanto à percepção, contudo, na construção da onda resultante da soma da fundamental com seus harmônicos, a fase pode fazer com que uma onda complexa tenha deformações distintas.

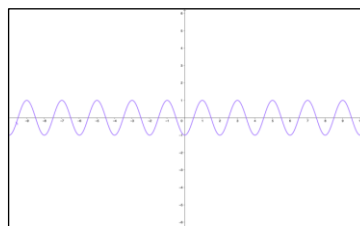
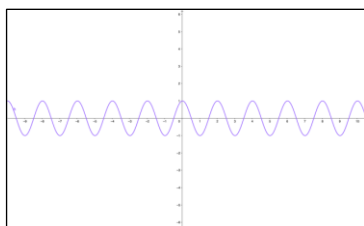


Figura 5: onda senoidal com fase iniciando no pico da onda. Figura 6: onda senoidal iniciando no vale da onda.

O pico da onda representa o ponto máximo de amplitude enquanto o vale representa o ponto mais baixo. Apesar de as duas ondas senoidais apresentarem a mesma frequência e a mesma amplitude de onda, a representação do início de cada ciclo diverge em seu ponto inicial.

Roederer (2022) explica que apesar de uma onda ter três valores aos quais são representados (amplitude, período e fase), o período e a amplitude são as grandezas que possuem uma maior e fundamental importância para a percepção dos sons musicais.

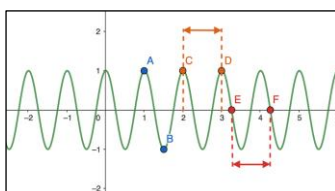


Figura 7: representação de ciclo da onda.

Na figura acima, o ponto A representa o pico da onda (seu ponto mais alto), enquanto o ponto B representa o vale (ponto mais baixo). Os segmentos de reta que ligam os pontos CD e EF possuem o mesmo período (tempo ao qual a onda leva para repetir seu ciclo), contudo o segmento de reta ligando os ponto CD retratam o início do período levando em conta o pico da onda $y = 1$, enquanto o segmento de reta EF marca o ponto zero no eixo y como início (linha horizontal).

Sons complexos e sua relação com o timbre

Os sons complexos são sons construídos a partir da soma de seus sons (ou frequências) fundamentais (f_1) com seus sons complementares (frequências harmônicas), podendo cada um desses sons ter volumes (ou amplitudes) diferentes – equalizando os sons e formando assim um dos parâmetros qualitativos de um som: o timbre.

Roederer (2022) descreve a altura e o volume como dois atributos principais do som, “principalmente em sons puros de frequências únicas” (Roederer, 2022, p.155), contudo explicita a questão de que na música, não são esses sons que desempenham um papel fundamental. Roederer (2022) diz a respeito dos sons ativos que:

Esta é constituída por sons *complexos*, cada um deles consistindo em uma superposição de sons puros misturados em determinada proporção, de forma a parecer ao nosso cérebro um todo indistinto. Surge, assim, um terceiro atributo fundamental do som: a qualidade, ou timbre, relacionado ao tipo de mistura de sons puros, ou componentes harmônicos, que existem em um som complexo [...]. (Roederer, 2022, p.155).

Dentro do plano cartesiano, Roederer (2022) ilustra na parte superior da figura, a soma dos seis primeiros harmônicos de uma onda complexa, e na parte inferior da figura, traz a ilustração dos mesmos seis harmônicos, porém, apresentados como sons puros por meio da análise de Fourier de uma onda dente-de-serra (representada na parte superior da imagem).

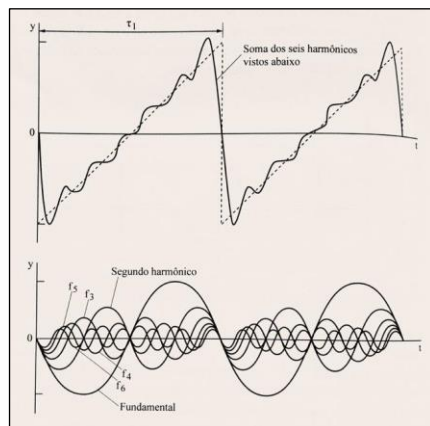


Figura 8: representação de uma onda complexa até o sexto harmônico. (Roederer, 2022, p.174).

Harmônicos comuns

Os harmônicos comuns são estruturas entre dois sons de frequências fundamentais (f_1) de diferentes alturas, que dentro de suas estruturas de sons complexos, possuem algum harmônico em comum (ou frequências de notas de mesmo nome), contudo, dependendo do contexto da afinação utilizada ou da posição da nota dentro de uma estrutura intervalar distinta, podem ter diferenças entre as afinações das duas frequências de mesmo nome, necessitando de ajustes durante a performance musical (no caso de instrumentos que permitem tais ajustes).

Para representar de forma mais clara a relação dos harmônicos comuns entre duas notas diferentes, representaremos as notas enarmônicas possuindo a mesma frequência.

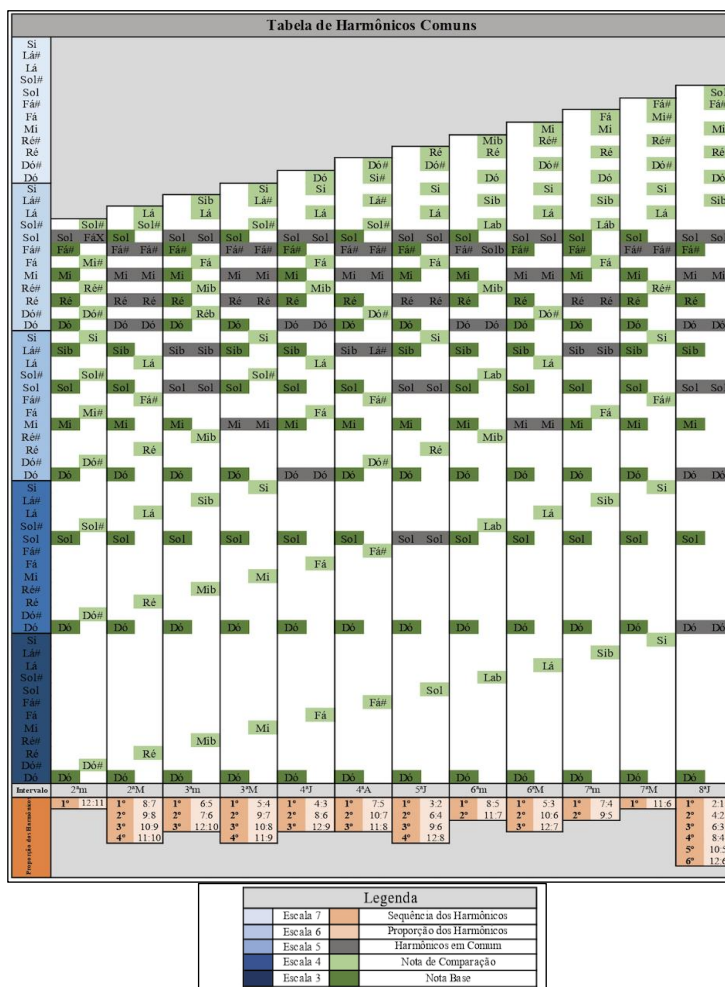


Figura 9: tabela de representação do mapeamento de harmônicos comuns entre duas notas.

Os pares ordenados entre duas notas de alturas diferentes compreendidas em um intervalo de uma segunda menor (2ªm) à uma oitava justa (8ªJ) representadas na tabela acima formam um comparativo da estrutura das séries harmônicas entre notas de frequências (f_1) diferentes, e para cada estrutura de série harmônica, fora utilizado os doze primeiros harmônicos ($f_1 - f_{12}$).

Nas séries harmônicas das notas Dó3 e Sol3 como f_1 (respectivamente como nota base e nota de comparação) temos a seguinte seqüência:

Dó3	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12
	Dó3	Dó4	Sol4	Dó5	Mi5	Sol5	Sib5	Dó6	Ré6	Mi6	Fá#6	Sol6
Sol3	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12
	Sol3	Sol4	Ré5	Sol5	Si5	Ré6	Fá6	Sol6	Lá6	Si6	Dó#7	Ré7

Legenda

	Número sequencial do harmônico (do 1º ao 12º)
	Notas da série harmônica de Dó3
	Notas da série harmônica de Sol3
	Harmônicos comuns entre as duas séries harmônicas

Figura 10: representação dos harmônicos comuns entre as séries harmônicas de Dó3 e Sol3 até o 12º harmônico.

A nota base, como representada nos gráficos, possui estrutura fixa, e as notas de comparação possuem variações (formando pares ordenados de diferentes intervalos), fazendo com que possamos mapear o comparativo dos harmônicos comuns entre as duas estruturas de séries harmônicas (notas representadas pela cor cinza).

Para que se entenda de forma mais eficaz, será apresentado a seguir as duas séries harmônicas das notas escolhidas como exemplo - séries harmônicas de Dó3 e Sol3:



Figura 11: série harmônica do Dó3.



Figura 12: série harmônica do Sol3.

Ao selecionar o intervalo de quinta justa ($5^a J$) como exemplo, é possível identificar os harmônicos em comum representados pela cor cinza. Os harmônicos em comum geram quatro proporções intervalares distintas e em sequência: 3:2; 6:4; 9:6 e 12:8.

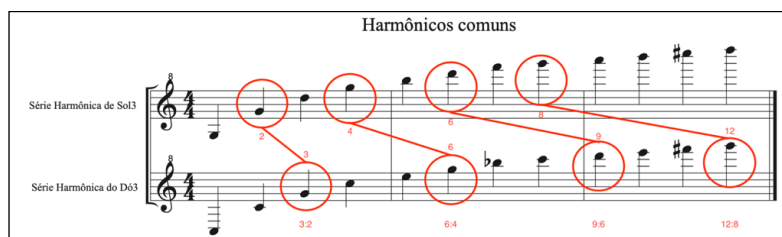


Figura 13: harmônicos comuns entre as séries harmônicas de Dó3 e Sol3 até o 12º harmônico.

As proporções representam notas com alturas específicas e comuns entre as duas estruturas das séries harmônicas, que como exemplo, foram utilizadas as notas Dó3 e Sol3 como f_1 .

Tem-se como base o som mais grave (Dó3 como f_1) – representando o primeiro número dos pares ordenados, e o segundo número, representa a nota de comparação (Sol3 como f_1). Por exemplo, a nota em comum mais próxima entre as duas estruturas (Dó3 e Sol3) é a nota Sol4. Tendo o Dó3 (f_1) como nota mais grave (nota base), em sua estrutura, o Sol4 é o terceiro harmônico (f_3), e na nota Sol3 como base f_1 , representa o segundo harmônico (f_2), ficando assim representado:

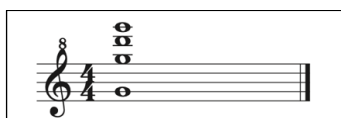


Figura 14: representação dos harmônicos comuns entre Dó3 e Sol3 no pentagrama musical.

A utilização da afinação dos harmônicos comuns em exercícios

O exercício proposto a seguir busca ilustrar a utilização de duas notas de frequências (ou alturas) diferentes a fim de possibilitar aos músicos um ajuste fino de afinação em cada um dos intervalos para que não haja batimentos das frequências com sensações de “desafinação”. O ajuste de afinação entre duas notas e seus harmônicos comuns possibilita o enriquecimento sonoro e uma sensação de estabilidade dentro da performance clarinetística.

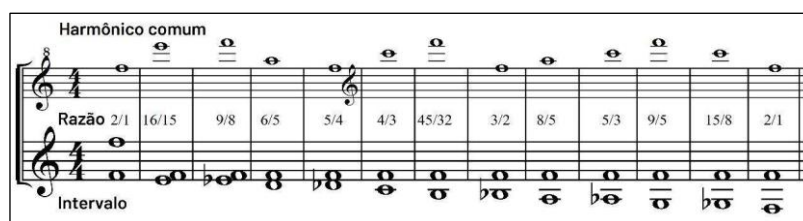


Figura 15: exercício de afinação por meio dos harmônicos comuns entre duas vozes.

A utilização do exercício procura trabalhar o ajuste de afinação da relação intervalar entre duas vozes distintas (apresentadas no segundo pentagrama musical), sendo a voz superior uma voz fixa, e a segunda voz, variável (criando as relações intervalares dentro de uma oitava). Ao se trabalhar com exercícios de afinação por meio de relações intervalares, os ajustes tornam-se cada vez mais claros para os instrumentistas por meio da percepção musical através do *feedback* psicoacústico sobre o que se deve modificar durante a performance para que se construa uma sonoridade coletiva com equilíbrio das frequências fundamentais (f_1) e seus demais harmônicos.

A construção do exercício visa colocar em evidência os harmônicos comuns entre duas notas e fazer com que os músicos possam refletir sobre as diferentes possibilidades de ajustes orgânicos, como o controle do trato vocal descrito por Alves (2013), para a afinação das frequências em comum de um som complexo a fim de anular os batimentos de desafinação dos harmônicos comuns.

O exercício se inicia por um intervalo de oitava justa para que se tenha a sensação de equilíbrio maior entre duas estruturas de sons complexos, e com isso, cada relação intervalar pode vir a requerer ajustes finos diferentes (posições diferentes para a mesma nota, utilização de vogais distintas para um equilíbrio diferente dos harmônicos, mudanças na embocadura, entre outros).

A razão nos guia para o harmônico comum entre duas notas complexas, e quanto maior seus números nos numeradores e denominadores da representação da fração, mais distante o intervalo de suas frequências fundamentais (f_1). As dissonâncias possuem harmônicos comuns mais distantes, o que requer uma sensibilidade auditiva com maior atenção em relação aos demais intervalos, aos quais trazem uma sensação maior de estabilidade. A relação estrutural de duas notas diferentes apresenta notas comuns entre as duas estruturas, e com isso, os harmônicos (ou sons complementares) oriundos dessas duas estruturas permitem que o timbre coletivo apresente uma maior ressonância dessas frequências quando apresentadas em equilíbrio. Freire (2021) diz que:

A combinação das duas notas do intervalo reforça a ressonância da nota comum e assim torna-se possível perceber o harmônico com clareza. A identificação da nota harmônica comum oferece uma nova perspectiva para o controle da emissão do clarinetista, permitindo o equilíbrio entre notas fundamentais e harmônicas no ajuste fino da afinação. (Freire, 2021, p.20).

Na figura abaixo temos quatro harmônicos comuns entre a estrutura dos 12 primeiros harmônicos ($f_1 - f_{12}$) de cada nota (Dó3 e Sol3). O intervalo de quinta justa (5ªJ) apresenta uma relação de quatro harmônicos comuns.

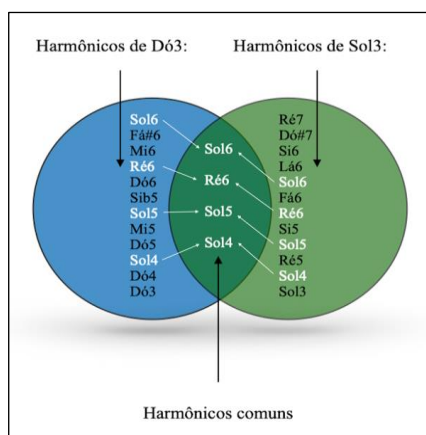


Figura 16: harmônicos comuns das notas Dó3 e Sol3 apresentadas simultaneamente entre as duas estruturas.

Entre as 12 notas compreendidas da estrutura da nota Dó3, temos 4 harmônicos comuns com as 12 notas da estrutura da nota Sol3. Equilibrar o som por meio de ajustes para que a afinação influencie na construção do timbre coletivo, traz a possibilidade de enriquecimento da soma das frequências comuns dos sons complexos das duas estruturas.

Conclusão

Dessa forma a afinação é um fator relevante para o músico durante a performance musical, e com isso, só é possível existir afinação se existir a comparação de ao menos dois sons. O equilíbrio ou ajuste de afinação advém da possibilidade de ajuste entre os sons para que não haja sensação de batimentos ou surgimento de dissonâncias que não deveriam existir dentro da performance musical. Diferentes afinações trazem sensações distintas dentro do contexto musical a ser construído pelos músicos durante a performance, e assim, possibilitam ao músico fazer diversos ajustes para atingir uma afinação mais equilibrada e tornar o som mais rico no quesito aos volumes dos harmônicos de dois sons diferentes, e por fim, permitir uma maior projeção e ressonância do som coletivo.

A junção das estruturas de dois ou mais sons complexos facilita a construção de um timbre novo, visto que ao possuir duas estruturas distintas, as frequências complementares que compõem as duas estruturas, ao estarem afinadas sem que haja batimentos, faz com que some o corpo sonoro dessas frequências equalizando o novo timbre de maneira única e particular de acordo com os ajustes realizados pelos músicos durante a performance musical coletiva.

Com isso, a construção do timbre coletivo por meio da afinação dos harmônicos comuns torna-se, dentro do contexto performático, algo natural, resultando em uma experiência musical ímpar com um maior leque de possibilidades escolhidas pelos músicos para um equilíbrio sonoro durante suas performances. A projeção, o volume do som coletivo e a riqueza de harmônicos permite aos músicos uma experiência performática ímpar em conjunto com as pessoas que participam passivamente de um cenário de performance musical. A consciência de construção de um cenário timbrístico coletivo une os músicos em prol de uma musicalidade específica construída conjuntamente.

Referências

- Alves, C. S. (2013). O processo de emissão do som na clarineta: proposição e validação de um plano de instrução. Tese (Doutorado em Música), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Artes, Campinas, SP.
- de Macedo, N. D. (1995). *Iniciação à pesquisa bibliográfica*. Edições Loyola.
- Freire, R. D. (2013). Em busca de uma afinação justa: Relações entre harmônicos superiores e inferiores na performance com duas clarinetas. *Anais do Performa 2013*. Porto Alegre.
- Freire, R. D. (2021). *A voz do clarinetista: Afinação, Ressonância e Projeção*. Brasília: Sustenutto.
- Howard, & Angus, J. (2006). *Acoustics and psychoacoustics*. 3rd edition. San Diego, CA: Elsevier, 2006.
- Jiang, W., Liu, J., Zhang, X., Wang, S., & Jiang, Y. (2020). Analysis and modeling of timbre perception features in musical sounds. *Applied Sciences*, 10(3), 789. doi:https://doi.org/10.3390/app10030789
- Patil, K., Pressnitzer, D., Shamma, S., & Elhilali, M. (2012). Music in our ears: The biological bases of musical timbre perception. *PLoS Computational Biology*, 8(11), e1002759. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002759
- Roederer, J. G. (2022). *Introdução à física e psicofísica da música*. Edusp. 2a edição
- Silva, G. B., & Freire, R. D. (2022). Qual a importância da psicoacústica para a performance musical do clarinetista? *Anais do Performus 2022*. Goiânia.