



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

A diversidade sonora da flauta transversal: uma abordagem baseada na tipo-morfologia de Schaeffer e no uso de descritores de áudio em tempo real

Frade, R.^{1,2}; Freire, S.^{1,3}

¹ Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

² rodrigofrade14@gmail.com, ³sfreire@musica.ufmg.br

Resumo

A flauta é um instrumento musical explorado em diferentes repertórios e estilos musicais, apresentando grande diversidade sonora e uma gama de possibilidades criativo-expressivas. Propõe-se aqui a análise das sonoridades exploradas, sobretudo, no repertório contemporâneo, tendo como base conceitual os critérios perceptivos propostos por Pierre Schaeffer (1910-1995) em seu Tratado dos Objetos Musicais (1966). Desenvolvemos uma ferramenta interativa em Max que, relacionando descritores de áudio a tais critérios, oferece aos músicos feedbacks visuais em tempo real. Os descritores escolhidos foram: perfil de ataque, envelope dinâmico, número de parciais que representam 50 e 80% da energia total do som, presença de grãos iterativos e finos, presença de *allures*, frequência fundamental (quando existir), centroide espectral, dissonância intrínseca, espalhamento e distribuição espectral. Através de um trabalho realizado nos dois últimos anos pelo autor principal deste artigo, foram estreadas oito peças para flauta solo escritas por jovens compositores de diversas partes do país; alguns excertos destas obras são utilizados para ilustrar as sonoridades aqui analisadas. A prática instrumental com o apoio visual dos descritores de áudio implementados pela ferramenta do Max permitiu compreender melhor certos aspectos das diversas sonoridades exploradas pelo repertório contemporâneo, além de proporcionar comparações entre diferentes estratégias de performance e os resultados obtidos.

Palavras-chave: flauta transversal, música contemporânea, MAX, Tratado dos Objetos Musicais.

PACS: 43.75.Ef, 43.75.Qr, 43.75.St, 43.75.Zz.

The sound diversity of the transverse flute: an approach based on Schaeffer's type-morphology and the use of real-time audio descriptors

Abstract

The flute is a musical instrument explored in different repertoires and musical styles, presenting great sound diversity and a range of creative-expressive possibilities. It is proposed here the analysis of the sounds explored, above all, in the contemporary repertoire, having as a conceptual basis the perceptive criteria proposed by Pierre Schaeffer (1910-1995) in his Treatise on Musical Objects (1966). We developed an interactive tool in Max that, by relating audio descriptors to such criteria, provides musicians with real-time visual feedback. The descriptors chosen were: attack profile, dynamic envelope, number of partials representing 50 and 80% of the total energy of the sound, presence of iterative and fine grains, presence of allures, fundamental frequency (if any), spectral centroid, intrinsic dissonance, spread and spectral distribution. Through work carried out in the last two years by the main author of this article, eight pieces for solo flute written by young composers from different parts of Brazil were premiered; some excerpts from these works are used to illustrate the sounds analyzed here. The instrumental practice with the visual support of the audio descriptors implemented by the Max tool allowed a better understanding of certain aspects of the different sounds explored by the contemporary repertoire, in addition to providing comparisons between different performance strategies and the results obtained.

Keywords: transverse flute, contemporary music, MAX, Treatise on Musical Objects.



1. INTRODUÇÃO

A flauta se caracteriza por ser um instrumento com uma gama de sonoridades amplamente utilizadas por diversos gêneros musicais. No presente artigo, vamos nos concentrar na diversidade sonora explorada no repertório contemporâneo para flauta, ou seja, abordando não apenas as técnicas de produção sonora convencionais, que se remetem à música de concerto dos séculos XVII ao XIX, mas principalmente aquelas nas quais a experimentação e exploração de novas maneiras de se produzir som na flauta são mais proeminentes.

Trataremos dessa diversidade sonora através de duas abordagens: os critérios perceptivos da tipo-morfologia de Pierre Schaeffer e o uso de descritores de áudio em tempo real. Todos os exemplos deste artigo foram extraídos de peças escritas originalmente para flauta solo por jovens compositores participantes das edições do Festival *Escuta Aqui!*¹ [1-8], entre os anos de 2020 e 2021. Tais peças foram estreadas pelo autor principal deste trabalho.

Dividimos nosso artigo da seguinte maneira: na segunda seção apresentamos conceitos da tipo-morfologia de Pierre Schaeffer, juntamente com uma associação perceptiva destes conceitos com os sons da flauta. Na seção seguinte apresentamos a associação entre os critérios tipo-morfológicos de Schaeffer e os descritores de áudio implementados para a construção de uma ferramenta de feedback visual para a prática das diversas sonoridades da flauta. Finalizamos com a quarta seção, onde apresentamos exemplos de aplicação desta ferramenta, seguido das conclusões deste artigo.

2. TIPO-MORFOLOGIA DE PIERRE SCHAEFFER

Nesta seção apresentamos conceitos da tipo-morfologia de Pierre Schaeffer expostos em seu Tratado dos Objetos Musicais [9, 10].

¹ Festival de música contemporânea voltado para alunos de composição das universidades brasileiras. Instagram: @festivalescutaaqui.

Ao lado disso, faremos uma associação perceptiva dos conceitos tipo-morfológicos com os sons da flauta.

Em seu tratado Schaeffer propõe, em contraponto à noção de solfejo tradicional em que a dimensão perceptiva das alturas é dominante, não apenas uma extensa reflexão sobre a escuta, mas também uma noção de solfejo generalizado que leva em consideração diferentes critérios da percepção musical. A partir da discriminação de tais critérios e de tal solfejo, faz-se possível a identificação, classificação e descrição dos objetos sonoros através de uma prática de escuta e de pensamento musical que se alinha com a abordagem de performance da flauta que busca sons – melhor dizendo, objetos sonoros – em que a altura é também parte integrante dos objetos, mas não necessariamente um critério perceptivo dominante.

Michel Chion também explica que os três objetivos principais da tipo-morfologia são: *identificar, classificar, descrever*. Identificar os objetos sonoros quer dizer isolá-los em unidades sonoras. Em seguida, classificar em tipos sumários característicos. Enfim, descrever em detalhes seus caracteres. A tipologia se encarrega dos dois primeiros e a morfologia do terceiro [11]. Do ponto de vista perceptivo, Schaeffer define como correlato do objeto sonoro a escuta reduzida: "intenção de perceber o objeto por ele mesmo" [10, p. 154²], abstraindo-se do conteúdo semântico e do emissor. O caminho que leva aos critérios qualitativos da morfologia passa primeiro por duas importantes definições presentes na tipologia:

1. *Massa* - é a qualidade pela qual um som se inscreve no campo das alturas e se divide em três tipos: tônico, complexo e variável. Sons tônicos são aqueles que possuem "timbre harmônico" da mesma maneira que sons em instrumentos musicais tradicionais, ou seja, são sons de altura fixa e localizável. Os sons complexos são aqueles em que a massa é fixa, mas não localizável, por

² As traduções do Tratado dos Objetos Musicais foram feitas a partir da versão inglesa [10].

exemplo, um sibilo vocal "ssss". Já os sons variáveis são aqueles que evoluem na tessitura, podendo ser tônicos e/ou complexos, por exemplo, todo tipo de glissando [10].

2. *fatura* - se refere ao processo pelo qual a energia é comunicada e mantida (ou não) durante a duração do objeto sonoro e se divide em três tipos: contínuo, impulso e iteração. Sons contínuos são aqueles que conseguem manter suas características energéticas equilibradas ao longo do tempo (uma arcada em uma tecla de vibrafone). O nome impulso é dado a sons muito breves com sustentação inexistente ou de curta duração (*pizzicato* no violoncelo). Por último, os sons do tipo iteração são aqueles cuja sustentação é prolongada por iteração, ou seja, por repetição de impulsos em intervalos de tempo próximos (*tremolo* no violino) [11].

Segundo esses dois critérios de sustentação-entonação, Schaeffer cria a seguinte tabela (Figura 1):

		Criteria of facture		
Criteria of mass	Ordinary note	N	N'	N''
	Complex note	X	X'	X''
	Varied note	Y	Y'	Y''

Figura 1: Tabela dos critérios de massa e fatura de Pierre Schaeffer [10, p. 355].

As letras da tabela possuem os seguintes significados:

N = Sons tônicos;

X = Sons complexos;

Y = Sons variáveis;

Coluna 2 = Sons contínuos;

Coluna 3 = Impulsos (marcados com ');

Coluna 4 = Iterações (marcadas com '').

Através de sonoridades exploradas no repertório para flauta, neste caso as peças do Festival *Escuta Aqui!*, podemos exemplificar essa “triagem” básica dos objetos sonoros proposta por Schaeffer.

Sendo N a indicação de sons tônicos, podemos citar qualquer nota “tradicional” tocada na flauta, além de notas microtonais e harmônicas. As classificações do tipo impulso (N') e iteração (N'') podem ser exemplificadas por uma nota em *tongue ram* e em *frullato*, respectivamente (Figura 2):



Figura 2: Da esquerda para direita, exemplos de som tônico contínuo, impulso e iteração, respectivamente.

Para os sons complexos (X), podemos exemplificar o som contínuo com um multifônico na flauta, o impulso com um som eólico isolado em semicolcheia e o som complexo iterativo com um som eólico em ataques repetidos rapidamente (Figura 3).

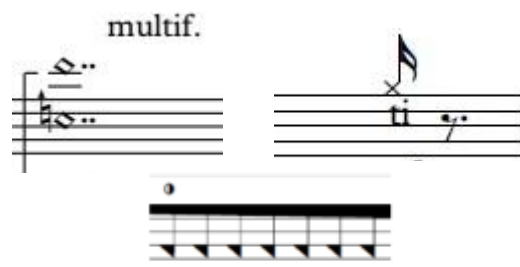


Figura 3: Exemplos de sons complexos - contínuo, impulsivo e iterativo.

Os sons variáveis (Y) podem ser exemplificados por uma nota longa em *whistle*



tone (contínuo), uma nota curta em *jet whistle* (impulso) e um glissando de uma nota em *frullato* (iterativo) (Figura 4).

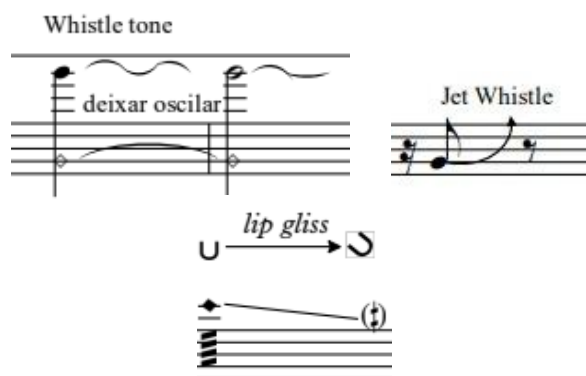


Figura 4: Exemplos de sons variáveis.

Quanto à morfologia, Schaeffer apresenta sete critérios de percepção, a saber: *massa*, *dinâmica*, *timbre harmônico*, *perfil melódico*, *perfil de massa*, *grão* e *allure*. Apresentamos a seguir uma breve explicação sobre dois destes critérios, os perfis melódicos e de massa³. Além disso, exemplificaremos algumas das características destes critérios perceptivos através das sonoridades de flauta presentes no repertório explorado por este artigo.

2.1 Perfis melódicos e de massa.

Perfil melódico - é um critério perceptivo aplicado a sons variados e que descreve uma variação que afeta toda a massa do som, uma espécie de “trajetória” na tessitura. Ao contrário do perfil de massa, que se refere a uma variação interna de massa, o perfil melódico é um deslocamento de todo o som no campo de alturas: é o próprio som que se move, em vez de ser esculpido por um desenvolvimento interno [11].

Segundo Chion, os tipos de perfis melódicos formam, por si só, uma pequena tipologia. Schaeffer pega alguns dos símbolos e tipos da tipologia geral, seja na mesma forma, ou em uma nova: quando os símbolos têm uma barra

horizontal acima deles, isso denota a versão lenta e prolongada do tipo de objeto em consideração e quando eles têm uma vírgula depois deles isso denota a versão “iterativa” e “descontínua”. Por exemplo, Y representa a forma “normal” do Grupo, com duração média e sustentação contínua; $\bar{Y}$ sua forma prolongada ou macro grupo, e Y' sua forma iterativa ou descontínua [11].

Para ilustrar os tipos de variações (não apenas as melódicas, mas também as de massa e as de sustentação), Schaeffer coloca três critérios horizontais, relativos à fatura da variação, numa tabela com três critérios verticais relativos à sua densidade e velocidade, que, considerando dois exemplos distintos para cada combinação (música tradicional e música generalizada), nos dá 18 objetos.

Os três critérios de fatura distinguem a variação por “flutuação” (leve instabilidade), por “evolução” (progressivo e contínuo) ou por “modulação” (em etapas, saltos “esboçando uma estrutura escalar”).

Os três critérios velocidade-densidade são chamados: *progressão*, quando a velocidade é lenta e a densidade de variação fraca; *perfil*, quando ambos são moderados; *anamorfose*, quando a variação é rápida e acentuada [11]. Isso nos dá o seguinte diagrama (Figura 5):

Forms of variation: Speed of variation:	Progression slow		Profile moderate		Anamorphosis fast	
Fracture of variation:	1	2	3	4	5	6
(a) Fluctuation	$\bar{N}$	$\bar{X}$	N	X	N'	X'
(b) Evolution	$\bar{Y}$	T	Y	W	Y'	W'
(c) Modulation	$\bar{G}$	P	G	M	G'	K

(At the intersection of lines a and c and columns 1, 3, 5, are the materials of traditional music. The rest of the diagram refers to the most general music.)

Figura 5: Na interseção das linhas “a”, “b” e “c” e colunas 1, 3 e 5 são materiais de música tradicional. O restante do diagrama se refere à música generalizada [10, p. 456].

Os símbolos que aparecem neste diagrama e que ainda não foram apresentados neste artigo

³ Uma discussão aprofundada do uso do termo perfil no Tratado de Schaeffer se encontra no artigo "The profile concept in Schaeffer's solfège: discussion of its diverse meanings and proposal of a quantitative real-time approach", que também integra a programação deste Congresso FIA 2020/22.

são exemplificados por Schaeffer/Chion [11] da seguinte maneira:

G (grupo) - é um tipo de objeto mais comumente encontrado na música tradicional, sob a forma de uma estrutura de notas, “que pode ser facilmente desmembrada, mas cuja estrutura geral se deseja estudar”, e que tem uma variação do tipo escalar (em estágios).

M (motivo) - é um tipo de objeto variante caracterizado por uma duração relativamente longa, que evolui em etapas, de maneira escalar (descontínua).

W (grande nota) - é um tipo de som excêntrico que apresenta uma variação de duração média, uma variação “ao mesmo tempo lenta e múltipla, mas interligada”, ou seja, fundida por uma unidade coerente de fatura e pela percepção de uma “permanência de causalidade, que liga os sucessivos momentos juntos”.

T (trama) - é um tipo de som excêntrico de duração prolongada, criado pela sobreposição de sons prolongados, “feixes”, “fusões de sons de evolução lenta” que são ouvidos como grupos, macro-objetos, estruturas de desenvolvimento lento, pouco diferenciadas.

K (célula) - Um tipo de objeto excêntrico, que é criado artificialmente pelo corte de um fragmento de fita magnética contendo uma gravação de “micro-sons desordenados”.

P (ostinato) - é um tipo de som excêntrico artificial criado pela repetição mecânica em loop de uma célula.

Os tipos acima descritos são encontrados principalmente na música eletroacústica e na música contemporânea para conjuntos instrumentais, embora alguns deles apareçam também na escrita para instrumentos solistas, como a flauta. Sequências de sonoridades bastante distintas em uma mesma frase podem ser classificadas como ostinatos, motivos ou células, dependendo do andamento.

Na maior parte das sonoridades instrumentais, as variações não se restringem a um único critério (como perfil melódico ou de massa), podendo também ser observadas em outros critérios perceptivos, tais como o perfil

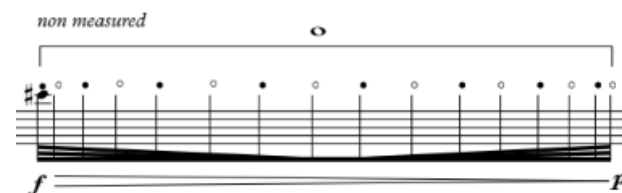
harmônico, perfil dinâmico ou modificações do grão e do *allure*.

A Figura 6 (a, b e c) exemplifica os tipos de perfis melódicos $\bar{N}$, N e N' , ou seja, sons tônicos variados do tipo *flutuação* nas velocidades/densidades lenta (*progressão*), moderada (*perfil*) e rápida (*anamorfose*).

a)



b)



c)



Figura 6: Exemplos de perfis melódicos a) $\bar{N}$; b) N; c) N' .

Como podemos observar, a Figura 6a mostra uma nota longa em *whistle tone*, ou seja, uma nota variável de velocidade lenta (*progressão*) com variação do tipo *flutuação*, pois apresenta uma leve instabilidade no campo das alturas.

As Figuras 6b e 6c também apresentam leve instabilidade no campo das alturas (*flutuação*) por causa da técnica de *bisbigliando*⁴. No entanto, a velocidade de variação é moderada (*perfil*) e rápida (*anamorfose*), respectivamente.

⁴ É um tremolo entre diferentes dedilhados da mesma nota, muitas vezes referido como um trinado de timbre.

A Figura 7 (a e b) exemplifica os perfis melódicos do tipo *evolução/anamorfose* (Y') e *modulação/anamorfose* (G').

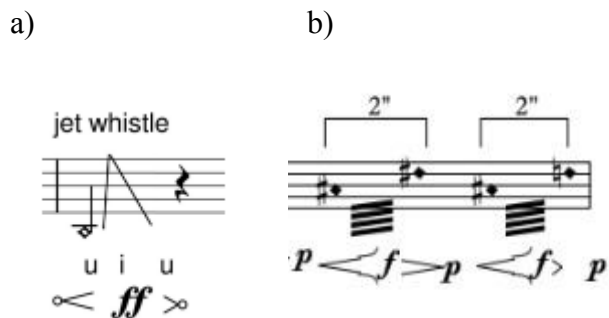


Figura 7: Exemplos de perfis melódicos a) Y'; b) G'.

A Figura 7a mostra uma nota em *jet whistle*, onde sua variação acontece de forma contínua e progressiva, se caracterizando assim como um exemplo de perfil melódico do tipo *evolução/anamorfose*.

Já a Figura 7b nos mostra um exemplo de uma nota em *tremolo* que muda o intervalo superior em meio tom, o que faz com que seja um perfil que varia de maneira rápida e em etapas e saltos “esboçando uma estrutura escalar”, ou seja, um perfil do tipo *modulação/anamorfose*.

Perfil de massa - é o critério morfológico que descreve uma variação interna da massa sonora que é, por assim dizer, “esculpida” no curso de seu desenvolvimento, por modificações que a tornam mais espessa, mais fina, por exemplo, um som tônico evoluindo para um som de massa complexa [11].

Schaeffer fez uma pequena lista em seu Tratado com desenvolvimentos típicos de um tipo de massa para outro: N/X ou X/N; Y/W ou W/Y; G/W ou W/G.

Seguindo este raciocínio, apresentamos a seguir alguns exemplos de variação de massa que ocorrem nas peças exploradas por esse artigo.

O primeiro exemplo (Figura 8) nos mostra uma nota natural se transformando em som eólico e uma nota em som eólico se transformando em som natural, ou seja, um som tônico se transformando em som complexo e vice-versa.

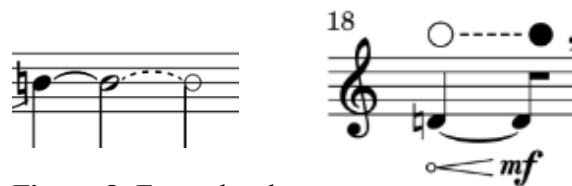


Figura 8: Exemplos de perfis de massa N/X e X/N.

O segundo exemplo (Figura 9) nos mostra um perfil de massa mais elaborado, onde a nota base de um multifônico (X) se transforma em uma nota natural em glissando (Y) e volta a ser um multifônico.

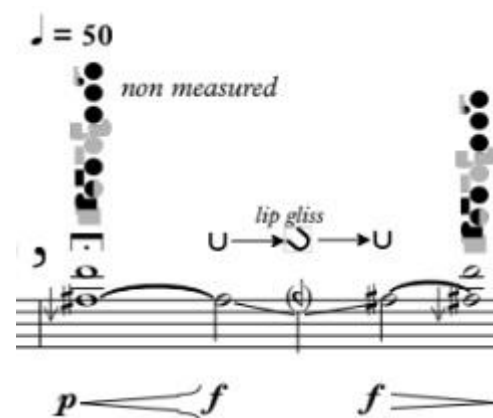


Figura 9: Exemplo de perfil de massa X/Y/X.

A transformação do exemplo anterior também pode ser interpretada como um perfil melódico, já que ocorre uma flutuação no campo das alturas devido à nota em glissando. Isso significa que os materiais composicionais de uma obra musical são bastante complexos se analisados de acordo com os critérios perceptivos aqui estudados. Não é nosso objetivo esgotar as possibilidades de associação entre as sonoridades da flauta e os critérios perceptivos de Pierre Schaeffer, mas esboçar um raciocínio de como esses dois conteúdos podem contribuir com trabalhos de análise sonora e prática instrumental, que é o que veremos a seguir.

No próximo tópico deste artigo apresentamos os descritores implementados para a construção de uma ferramenta de feedback visual para a prática das diversas sonoridades da flauta. Esta ferramenta feita em Max nada mais é que uma associação dos critérios perceptivos explorados neste tópico com descritores de áudio em tempo real.

3. FERRAMENTA DE FEEDBACK VISUAL: IMPLEMENTAÇÃO E ASSOCIAÇÃO.

Com o intuito de auxiliar profissionais e estudantes do instrumento no domínio e aprimoramento de sonoridades presentes, sobretudo, no repertório contemporâneo, desenvolvemos uma ferramenta interativa em Max⁵ relacionando diferentes descritores de áudio aos critérios perceptivos introduzidos por Schaeffer, capaz de oferecer *feedback* visual gráfico em tempo real. Neste tópico apresentaremos os descritores de áudio implementados na criação dessa ferramenta. A fundamentação teórica dessas correlações foram apresentadas em dois artigos produzidos por integrantes de nosso grupo de pesquisa⁶ [12, 13].

Implementamos na linguagem Max descritores de baixo nível ligados a duas formas complementares de representação do som, nos domínios do tempo e das frequências. O domínio do tempo é a forma de onda propriamente dita (ou suas amostras digitalizadas), e o domínio das frequências é o espectro sonoro⁷.

Utilizamos envelopes temporais com diferentes janelas e filtragens em nossa programação. Estes envelopes, que utilizam valores RMS, são indicados por uma abreviação: *rms2048:4* indica que foi utilizada uma janela de 2048 amostras, com fator de deslizamento de 1/4 da janela. Neste caso, os valores são atualizados a cada 10,67 ms, utilizando-se uma frequência de amostragem de 48 kHz. As implementações foram feitas com o objeto [gen~], que se vale de rotinas de processamento da própria CPU, propiciando mais eficiência e precisão. Como são gerados na mesma frequência de amostragem do áudio, estes envelopes são suavizados por um filtro passa-baixa simples (com atenuação de 6dB por oitava) e com

frequência de corte variando de acordo com sua aplicação. Após a filtragem, são geradas séries temporais com um valor numérico para cada atualização das curvas, que podem ser exibidas na tela do programa.

Por se tratar de uma implementação em tempo real, a preocupação com o ruído de fundo é fundamental. O nível de ruído de fundo é regulado pelo usuário, auxiliado pela visualização de uma curva *rms256:4* filtrada a 4 Hz. O início do som a ser analisado (onset) é definido em um valor 6 dB acima do ruído de fundo, e o término do som (offset) em um valor 3 dB abaixo do onset. Estes dois momentos controlam um gate para todos outros cálculos realizados.

O perfil dinâmico (ou envelope) é a curva *rms2048:4* filtrada a 10 Hz, contida entre o onset e offset. O perfil de ataque é representado pelos 300 primeiros valores (400 ms a partir do onset) de uma curva *rms256:4* filtrada a 4 Hz, o que permite sua visualização com grande detalhamento. Esta mesma curva filtrada a 30 Hz é utilizada na identificação de grãos iterativos.

Os *allures*⁸ são estimados a partir da mesma curva do perfil dinâmico, e exibidos como marcas sobre ela. Um parâmetro importante neste cálculo é o tamanho mínimo do desvio esperado entre picos e vales da curva. Os grãos⁹ (gerados pela fricção do ar no bocal) são calculados a partir do pressuposto de que cada mudança de direção das amostras é um grão em potencial. Assim os cruzamentos de zero (zero-crossings) da derivada do próprio sinal de áudio indicam sua presença. Sabemos que sons puros agudos mudam mais de direção do que sons graves; no entanto, em nossa experiência com diferentes timbres, a granulosidade contribui mais do que o registro. Estes grãos são contados para cada 512

⁵ www.cycling74.com

⁶ LaPIS: Laboratório de Performance com Sistemas Interativos – www.musica.ufmg.br/lapis

⁷ Estas ferramentas são derivadas de um projeto em andamento em nosso laboratório, dedicado à identificação, classificação e transformação de sons percussivos.

⁸ Descreve a oscilação e flutuação característica na sustentação de certos objetos sonoros, sendo exemplos o vibrato instrumental ou vocal [11].

⁹ É a percepção qualitativa geral de um grande número de pequenas irregularidades de detalhes que afetam a "superfície do objeto sonoro" e podem ser puras ou mistas de ressonância, fricção e iteração.



amostras, e geram uma curva sincronizada com os demais descritores.

Centroide espectral é um dos mais tradicionais descritores relacionados ao espectro sonoro, e representa o centro de gravidade (em Hz) de cada janela de análise. Em nossa programação utilizamos uma implementação distribuída com o Max. Na representação gráfica de sua curva preferimos usar os valores em Midicents.

Os demais descritores utilizados se derivam de dados gerados pelo objeto [sigmund~] [14]. A partir dos dados de picos espectrais (até 20), de amplitude e de frequência fundamental, calculamos para cada janela de análise valores para os seguintes parâmetros: número de picos espectrais responsáveis por 50% e 80% da energia total do sinal; porcentagem da energia total representada pelos 20 picos; pico mais proeminente; frequência fundamental; distância entre pico mais grave e mais agudo; região espectral. Calculamos ainda a dissonância intrínseca, seguindo o modelo descrito por Sethares [15]. Se diversas características de um som podem ser visualizadas em um espectrograma, propomos aqui ferramentas complementares focadas em aspectos específicos, partindo de uma pré-seleção dos (até) 20 parciais mais importantes de cada análise espectral.

A seguir, listamos os processos envolvidos na estimação destes descritores.

Descritores no domínio do tempo:

- onset / offset
- envelope temporal
- perfil de ataque
- presença (e qualidade) de allures
- presença de grãos (iterativos e finos)

Descritores no domínio das frequências:

- número de parciais contendo 50 e 80% da energia
- energia contida nos 20 parciais mais intensos
- frequência fundamental (presença e valor)
- pico espectral mais proeminente

- dissonância intrínseca
- centroide espectral
- espalhamento espectral
- região/distribuição espectral

Além da representação visual, todas as curvas geradas pelos diferentes descritores entre o *onset* e *offset* de cada evento podem ser submetidas a uma análise estatística simples, na qual são calculadas duração, média e desvio padrão, espalhamento e centróide temporais, assimetria (*skewness*), curtose, *peakness* e *flatness*. Detalhes desses cálculos podem ser encontrados nos artigos citados acima [12, 13].

Esses valores numéricos são importantes para a utilização de um software de aprendizado de máquina (*Wekinator*), que poderá atuar na identificação em tempo real de diferentes gêneros de ataques, por exemplo. As curvas podem também ser aproveitadas em controle de procedimentos interativos de processamento e síntese sonoras.

No próximo tópico apresentamos alguns exemplos de aplicação da ferramenta de feedback visual na prática de algumas das sonoridades da flauta apresentadas neste artigo.

4. FEEDBACK VISUAL EM TEMPO REAL: APLICAÇÕES AO REPERTÓRIO DE JOVENS COMPOSITORES.

Os trechos musicais apresentados no segundo tópico deste artigo exemplificam alguns dos critérios perceptivos presentes na tipo-morfologia de Pierre Schaeffer. Aqui, apresentamos os mesmos trechos para exemplificar a aplicabilidade da nossa ferramenta interativa no entendimento prático dos critérios tipo-morfológicos de Schaeffer e na solução de dificuldades técnicas da flauta.

A Figura 10 mostra o mesmo glissando da Figura 6a, onde exemplificamos uma nota variável de velocidade lenta (*progressão*) com variação do tipo *flutuação*.

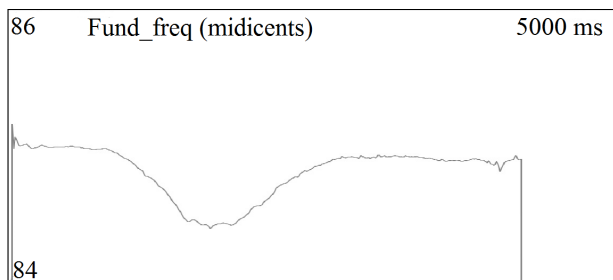


Figura 10: Curva da frequência fundamental da nota Dó 6 (Dó 4 = dó central do piano) em glissando.

Com a visualização do traço gráfico da frequência fundamental o flautista pode praticar a volta do glissando à nota inicial, verificando se a frequência está na mesma altura que começou, trabalhando assim a precisão de afinação.

A Figura 11 nos mostra a visualização gráfica do perfil melódico do tipo *modulação/anamorfose* presente na Figura 7b, uma nota em *tremolo* que muda o intervalo superior em meio tom.

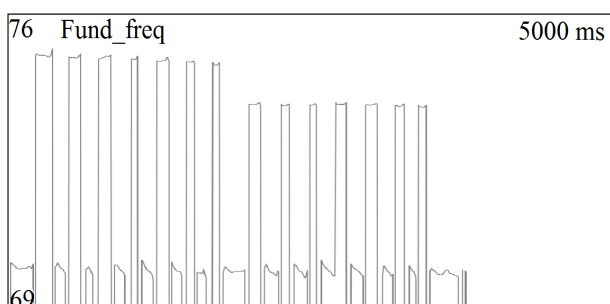


Figura 11: Tremolo com as notas Lá# 4 (lá sustenido) e Ré# 5; e Lá# 4 com Ré 5.

Como exemplo de aplicabilidade do feedback visual na prática desta sonoridade, o flautista pode trabalhar a regularidade na transição entre as notas superiores e do *tremolo* como um todo.

A Figura 12 nos mostra os gráficos da nota Si 4 natural se transformando em som eólico.

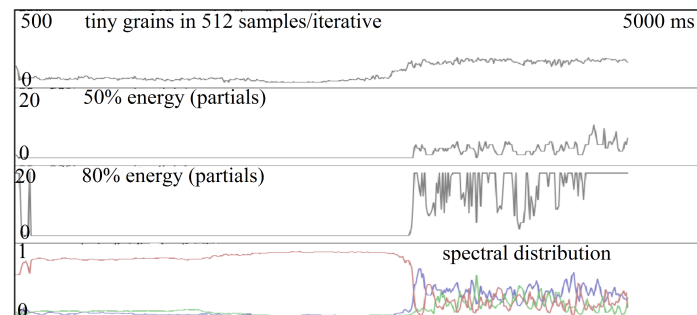


Figura 12: Gráficos da transformação da nota Si 4 natural em eólico.

Neste exemplo de perfil de massa, onde um som tônico se transforma em som complexo, podemos visualizar a transformação gradual nas primeira (grãos) e quarta linhas (distribuição espectral¹⁰); e também a instabilidade do espectro a partir da chegada ao som eólico, visíveis nas segunda e terceira linhas (número de picos vs energia).

O caminho inverso dessa transformação é apresentado na Figura 13, ou seja, som complexo para tônico. No entanto, a nota é o Ré 4, que sai do som eólico e vai para o som natural.

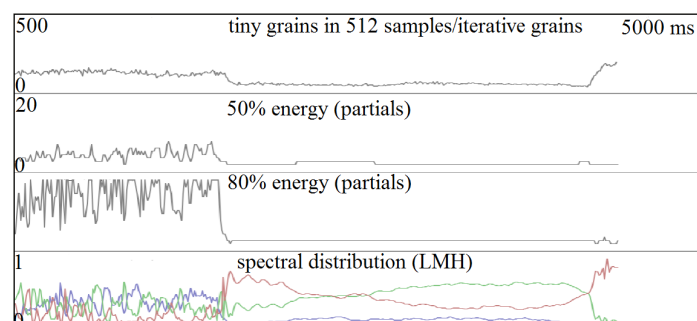


Figura 13: Gráficos da transformação da nota Ré 4 de som eólico para natural.

Através dos gráficos deste exemplo, podemos observar que a transformação foi menos gradual que na Figura 12. Isso se dá pelo difícil ajuste de embocadura na transição do som eólico para natural, especialmente na região grave da flauta. A visualização dessa transformação sonora é uma ótima oportunidade para o flautista praticar a flexibilidade de embocadura para atingir a

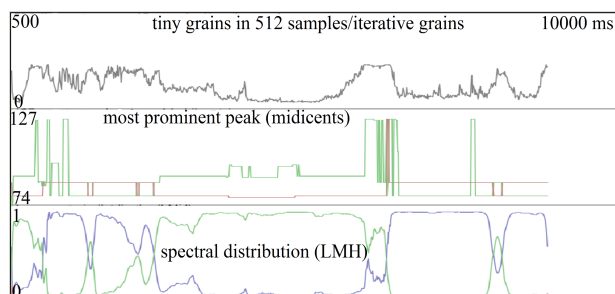
¹⁰ As cores das linhas (vermelho, verde, azul) representam as regiões espectrais grave, média e aguda da flauta, respectivamente.

mudança gradual de timbre exigida neste exemplo.

Como último exemplo deste tópico, a Figura 14 (a, b, c) nos mostra a transformação X/Y/X, ou seja, massa complexa/variável/complexa: um multifônico com as notas Fá#5 (base) e Ré 6 (topo), se transforma em Fá# em glissando e volta a ser multifônico.

Na Figura 14a podemos visualizar as mudanças das sonoridades através dos gráficos de grãos e distribuição espectral. A Figura 14b mostra uma janela em que as notas dos multifônicos são visualizadas em tempo real.

a)



b)



Figura 14: Gráficos do multifônico Fá#5 (base) e Ré 6 (topo) se transformando em Fá# em glissando e voltando a ser multifônico.

Em nossa ferramenta de *feedback* visual podemos trabalhar a estabilidade dos multifônicos observando o desenho dos gráficos produzidos em tempo real, além de trabalhar o equilíbrio de intensidade das notas do multifônico. Ao tentar destacar a nota mais grave ou mais aguda do multifônico o flautista pode visualizar a mudança nos gráficos (*pico mais proeminente*) e consequentemente trabalhar a flexibilidade da embocadura,

aspecto fundamental para a execução dessa técnica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo nos concentramos em demonstrar a aplicabilidade da tipo-morfologia de Schaeffer ao repertório contemporâneo da flauta, utilizando exemplos similares aos propostos por Schaeffer no Tratado: foram escolhidos de modo a demonstrar de maneira clara o conceito discutido em cada momento. Do mesmo modo, destacamos os descritores de áudio mais aptos para descrever cada situação.

No entanto, observamos no repertório que é comum que diferentes variações ocorram ao mesmo tempo: perfil melódico acompanhado de mudanças na dinâmica e no timbre harmônico; perfil de massa combinado com perfil melódico e granulação crescente, dentre várias outras possibilidades.

Se, a princípio, seria possível classificar todas as sonoridades não convencionais sob a variação de timbre, por outro lado o uso dos critérios perceptivos de Schaeffer e do feedback visual dos descritores ajuda o intérprete a reconhecer diferentes tipos de variação e nuances possíveis, proporcionando um maior controle e compreensão de sua interpretação.

REFERÊNCIAS

- [1] Baldaia, Vinicius. Pequeno espelho côncavo sobre o vento. Flauta solo. 2020. Manuscrito do autor.
- [2] Botechia, Tales. Barão Geraldo calling for the underworld. 2021. Manuscrito do autor.
- [3] Caldeira, Tainá. Grãos de Pólen. Flauta solo. Curitiba, 2020. Manuscrito da autora.
- [4] Cesar, Vinicius. Eutrópia I para flauta solo. 2021. Manuscrito do autor.
- [5] Coelho, Marcus. Música para Flauta Solo n.2. 2020. Manuscrito do autor.
- [6] Hiroshi, Eduardo. Six walls by the air window. Flauta solo. 2020. Manuscrito do autor.
- [7] Percuoco, Lucas. En el ápice, para flauta sola. Argentina, 2021. Manuscrito do autor.
- [8] Quinamo, Lucas. Emaranhado de arame farpado, para flauta solo. 2021. Manuscrito do autor.

[9] Schaeffer, Pierre. *Traité des Objets Musicaux*. Paris: Seuil, 1966.

[10] Schaeffer, Pierre. *Treatise on Musical Objects*. Oakland: University of California Press, 2017. Tradução do original francês por Christine North e John Dack.

[11] Chion, Michel. *Guide des Objets Sonores*. Paris: Buchet/Chastel, 1983.

[12] Freire, Sérgio; Padovani, J.H.; Campos, Caio. Estimation of perceptual qualities of percussive sounds inspired by Schaefferian criteria: attack profile, mass, and harmonic timbre. *Anais do 15th International Symposium on Computer Music Interdisciplinary Research (CMMR)*, Tokyo, p. 125-134, 2021.

[13] Freire, Sérgio; Padovani, J.H.; Campos, Caio. Real-time qualification of percussive sounds based on correspondences between Schaeffer's *sofêge* and low-level audio descriptors. *Anais do 18th Brazilian Symposium on Computer Music (SBCM)*, Recife, p. 77-84, 2021.

[14] Puckette, Miller; Apel, Ted. Zicarelli, David. Real-time Audio Analysis Tools for Pd and MSP. In: *International Computer Music Conference*, 1998, San Francisco. *Proceedings of ICMC*, p. 109-112, 1998.

[15] Sethares, William. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. Segunda edição. London: Springer, 2005, 426 p.