

Escuta informada por descritores de áudio na composição instrumental MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

SUBÁREA: Composição e sonologia

Júlio Guatimosim
Universidade Federal de Minas Gerais
juliogn96@gmail.com

José Henrique Padovani
Universidade Federal de Minas Gerais
jhp@ufmg.br

Resumo: O presente trabalho investiga processos de composição instrumental baseados em escutas mediadas por máquinas e técnicas de análise de áudio. Para tanto, introduzimos uma noção de escuta mais ampla que parte de uma reflexão acerca do *solfejo* associado à escuta na prática criativa. Em seguida, observamos algumas abordagens composicionais baseadas em métodos de Orquestração Assistida por Computador (OAC) baseados no uso de descritores de áudio. Por fim, apresentamos uma abordagem de composição centrada na geração de formas de visualização de atributos de áudio, que chamamos de *rascunhos sonoros*, para a composição instrumental. Essa abordagem é exemplificada pela apresentação do processo de composição da peça *Interstício*, para violino e eletrônica em tempo real.

Palavras-chave: Escuta de máquina, Descritores de áudio, Composição com algoritmos

Title: Instrumental Composition Aided by Audio Descriptors

Abstract. This paper investigates instrumental composition processes based on machine-mediated listening and audio analysis techniques. To this end, we introduce a broader notion of listening that starts from a reflection on *solfeggio* associated with listening in creative practice. Next, we look at some compositional approaches based on Computer-Aided Music Orchestration methods based on the use of audio descriptors. Finally, we present a compositional approach centered on generating visualization forms of audio attributes, which we call *sound sketches*, for instrumental composition. This approach is exemplified by presenting the compositional process of the piece *Interstício* for violin and live electronics .

Keywords. Machine-listening, Audio descriptors, Algorithmic composition

Introdução

Práticas de composição assistidas por técnicas computacionais de análise e processamento de áudio compõem um campo vasto de abordagens que tratam o ambiente digital como um lugar de reflexão e exploração criativa. A partir da década de 1990, começaram a surgir ferramentas de análise - em especial, descritores de áudio - que passaram ampliar as possibilidades de análise e de composição assistida por computador. Na música eletroacústica,

essas ferramentas viabilizaram procedimentos automatizados de identificação, classificação e correlação sonora que passaram a compor métodos de interação em performances com sistemas interativos, composição generativa, dentre outros. Apesar disso, a produção de trabalhos que abordam o uso de descritores de áudio na composição instrumental ainda é escassa e quase sempre vinculada a processos de Orquestração Assistida por Computador (OAC).

Considerando o grande impacto da inclusão de descritores de áudio em métodos de composição musical mais recentes, realizamos uma reflexão acerca do seu uso na composição instrumental e como seus dados contribuem para escuta criativa e para o *solfejo* do(a) compositor(a). Realizamos isso destacando o emprego de descritores de áudio em processos de OAC em trabalhos de David Psenicka e Ivan Simurra, e, por fim, apresentando um processo criativo, desenvolvido pelos autores, no qual se utiliza descritores de áudio na composição da parte instrumental da peça *Interstício*, para violino e eletrônica em tempo real.

Escuta e solfejo

Ao se tratar de composição assistida por técnicas computacionais de análise de áudio, consideramos importante apontar para os efeitos dessa mediação na escuta criativa em processos composicionais. Para tanto, é preciso ampliar a noção de escuta para além de uma simples de apreensão da realidade sensível.

Rodolfo Caesar aborda a escuta como uma experiência multidirecional que afeta diversas camadas do ser humano, incluindo afetos, memórias, *imagens* e diversos outros elementos estimulados pela recepção do som (CAESAR, 2013). Valéria Bonafé (BONAFÉ, 2018) explora, de forma semelhante, a ideia de *sonoridade* como um termo que se refere também a essa experiência ampla de escuta, indo além de uma apreensão estritamente timpânica desse conceito e destacando aspectos profundamente humanos que muitas vezes são ignorados em outras áreas de pesquisa vinculadas à música e à acústica.

Essa noção ampla de escuta converge com uma postura ativa de formulação, notação e produção de materiais musicais no contexto da criação musical. Nos referimos a esse processo como um *solfejo* musical. Não se trata, no entanto, de um *solfejo* reduzido à sua delimitação tradicional enquanto processo de reprodução sonora (ou solmização) a partir de um sistema gráfico de símbolos/notação, mas como uma operação de seleção e “filtragem de forças” que compõem o processo criativo (PENHA, 2016):

O solfejo nesse sentido é caracterizado pelas lógicas composicionais, pelas criações sintáticas produtoras de variações das potências e

qualidades materiais dos sons, dos instrumentos, dos espaços, das ideias, enfim, dos diversos corpos envolvidos numa enunciação sonora. O solfejo assim deixa de despertar afetos certos e comandar ações determinadas para ele mesmo tornar-se afetivo, produzindo efetivas invenções ao levar as normas aos seus limites e ao quebrar qualquer concepção de articulação sintática unitariamente regrada, abrindo assim a escuta a novos mundos possíveis. (PENHA 2016, p.88)

Pode-se entender a peça musical como a consolidação do *solfejo* do compositor decorrente de sua escuta particular e do manejo de meios técnicos específicos para a produção e/ou registro sonoro. No caso das práticas de composição assistidas por técnicas de análise e processamento de áudio, os dados de análise servem como material para o *solfejo* e interagem com *imagens e sonoridades* que surgem ao longo do processo composicional. Essa constatação converge com nossa investigação acerca da aplicação de métodos de análise e visualização sonora na composição instrumental. Em especial, exploramos, nesse contexto, como tais técnicas de *escuta com máquina*¹ estimulam a teia de *sonoridades/imagens* e tornam mais diversos os materiais do *solfejo*.

Orquestração orientada por atributos de áudio

Mesmo com a ampla implementação de descritores de áudio em ambientes computacionais e a crescente utilização de ambientes/linguagens de programação no meio musical, a produção acadêmica acerca do uso de descritores de áudio em processos de composição instrumental ainda é incipiente. Nesse contexto, destacam-se, contudo, métodos de Orquestração Assistida por Computador (OAC) nos quais se emprega técnicas de análise para extrair informações relevantes de amostras de áudio correspondentes a sonoridades e a técnicas de execução a serem empregadas no contexto da escrita instrumental/orquestral.

Um dos primeiros trabalhos voltados para o desenvolvimento de técnicas de OAC é o de David Psenicka e seu trabalho de desenvolvimento do programa *Sporch* (PSENICKA, 2003). Esse programa permite a análise espectral de diversos arquivos de áudio para extrair picos espectrais e salvá-los em uma base de dados organizada em listas na linguagem *Common Lisp*. Sons *alvos* (ou de referência) são igualmente analisados e comparados à base de dados. Com isso, procura-se identificar algorítmicamente timbres instrumentais que possuem uma distribuição de picos no espectro similar ao de sons *alvos*, o que pode orientar processos de

¹ Temos preferido utilizar termos como *composição com algoritmos* e *escuta com máquina* para delimitar uma utilização mais dialética de ferramentas tecnológicas em práticas musicais de criação, escuta e performance.

mimesis ou síntese instrumental. Esse método algorítmico de orquestração consolidou-se em certos nichos musicais também a partir do desenvolvimento de programas mais robustos, como o *Orchidea* (CELLA, 2022), cuja implementação envolve uma variada gama de descritores de áudio. Isso resulta em um aumento da base de dados e da variedade de atributos de áudio contemplados, o que contribui para processos de correlação sonora mais robustos. Outros trabalhos também aproveitaram essa aplicação de descritores de áudio na orquestração instrumental, mas com outras abordagens.

Ao abordar o processo criativo de sua peça *O Azeite, a lua e o rio – numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*, Ivan Simurra propõe um método de orquestração assistida baseado em descritores de áudio, um *corpus* com amostras instrumentais e pontos de referência semânticos (SIMURRA, 2016, p.115). Diferentemente de sons *alvos*, os pontos de referências correspondem a descrições sonoras que representam um tipo de timbre/textura para um momento específico da peça. Em sua tese, Simurra exemplifica esses pontos de referências com passagens como “baixa intensidade sonora e baixa irregularidade, resultando em sonoridades aveludadas” e “alta intensidade sonora e baixa irregularidade, resultando em sonoridades aveludadas”. Em seu trabalho, essas impressões sonoras são associadas a descritores de áudio de alto nível que proporcionam dados relativos a aspectos psicoacústicos do som e que correspondem em algum grau aos pontos de referência. A partir da correlação, por meio de descritores de áudio, entre conjunto de misturas sonoras, compostas por amostras instrumentais, e esses pontos de referência, procura-se estruturar texturas e transições entre elas utilizando a notação simbólica da instrumentação selecionada.

Percebe-se que a abordagem de orquestração assistida proposta por Simurra procura conjugar métodos de correlação de atributos de áudio, via descritores, com um plano composicional organizado pelo(a) compositor(a) que orienta previamente o desenvolvimento macroestrutural da peça por meio do estabelecimento de pontos de referência. Em parte, pode-se considerar essa estratégia redundante em algum nível, já que os pontos de referências dados por Simurra configuram atributos sonoros de alto nível bem próximos a o que uma escuta humana não assistida poderia constatar. Por outro lado, a utilização dos descritores ajuda a organizar algorítmicamente e a controlar melhor os procedimentos de interpolação textural que ocorrem ao longo da peça, o que pode refletir em transições texturais mais discretas e contínuas. O fato de as propostas de orquestração produzidas servirem apenas de referência e estarem sempre sujeitas a mudanças intuitivas por parte de Simurra torna o processo ainda mais interessante, permitindo outras escutas que estimulam a criação musical.

Rascunho sonoro no processo composicional de *Interstício*

A seguir, apresentamos um método de composição baseado na visualização de atributos de áudio que foi desenvolvido para a composição da peça *Interstício*, para violino e eletrônica em tempo real. O objetivo foi o de obter uma apreensão ampla do percurso sonoro do material analisado: um estudo acusmático² criado para servir como um modelo para a composição da parte instrumental da peça. Para a análise desse estudo foram utilizadas diferentes técnicas de análise e de visualização de atributos sonoros. Tendo isso em vista, formulamos e implementamos computacionalmente um mecanismo de geração de *rascunhos sonoros*: um registro gráfico que apresenta paralelamente diversos atributos de análise de forma síncrona utilizando diferentes modos de representação.

Aspectos técnicos da geração de um rascunho sonoro

Para a geração desse registro analítico, foi utilizado um pré-processamento do áudio por meio da técnica de *Harmonic-Percussive-Residual Source Separation* (DRIEDGER, 2014). Tal técnica permite decompor o áudio original em duas camadas: uma na qual predominam os elementos harmônicos e percussivos do áudio (camada HP), e outra em que se destacam apenas os elementos residuais/ruidosos (camada R).

Em seguida, foram selecionados descritores de áudio a serem utilizados para gerar o *rascunho sonoro* a partir da observação da variação dos dados na análise dessas duas camadas sonoras, escolhendo-se aqueles descritores cujos fluxos numéricos mais modularam. A seleção dos descritores não se limita à observação de seus valores isoladamente, mas a um artesanato composicional que passa pela seleção de um determinado comportamento geral dos valores do descritor. Procura-se, com isso, adicionar ao *rascunho sonoro* fluxos de dados que apresentem uma variação não apenas perceptível, como também estimulante para o *solfejo* no processo criativo. Fluxos de dados estáticos por longos períodos, apesar de contribuírem para a análise, tornam-se redundantes rapidamente ao longo do processo de leitura.

Para o *rascunho sonoro* em questão, foram selecionados os descritores de *flatness*, *zero-crossing*, *root mean square* (PEETERS, 2004), *spectral complexity* (LAURIER, 2009) e *high frequency content* (MASRI, 1996). Os valores correspondentes a esses descritores foram representados em um gráfico em que a opacidade das figuras corresponde ao valor normalizado

² Esse estudo acusmático é um experimento, realizado no programa *Csound*, composto exclusivamente por sons sintetizados.

retornado pelos descritores, sendo 1 equivalente às figuras menos opacas e 0 às transparentes (não visíveis). Utilizamos também o descritor de *harmonic pitch class profile* (GÓMEZ, 2006) para obter as classes de altura mais presentes no espectro do áudio, representando-as numa pauta musical harmônica, em que cabeças de nota em tons mais fortes de vermelho indicam uma maior presença das respectivas alturas no espectro. Outro dado presente no rascunho é o de início e fim de eventos (*onset* e *offset*) (DIXON, 2006) representado também em notação musical numa pauta rítmica.

Para uma visão geral do espectro sonoro, o rascunho sonoro também contém o sonograma do áudio analisado, complementando as informações dos descritores. Alguns dos descritores, como os de *spectral centroid* e *spectral roll-off* (PEETERS, 2004), são representados a partir de gráficos de envoltória sobrepostos ao sonograma.

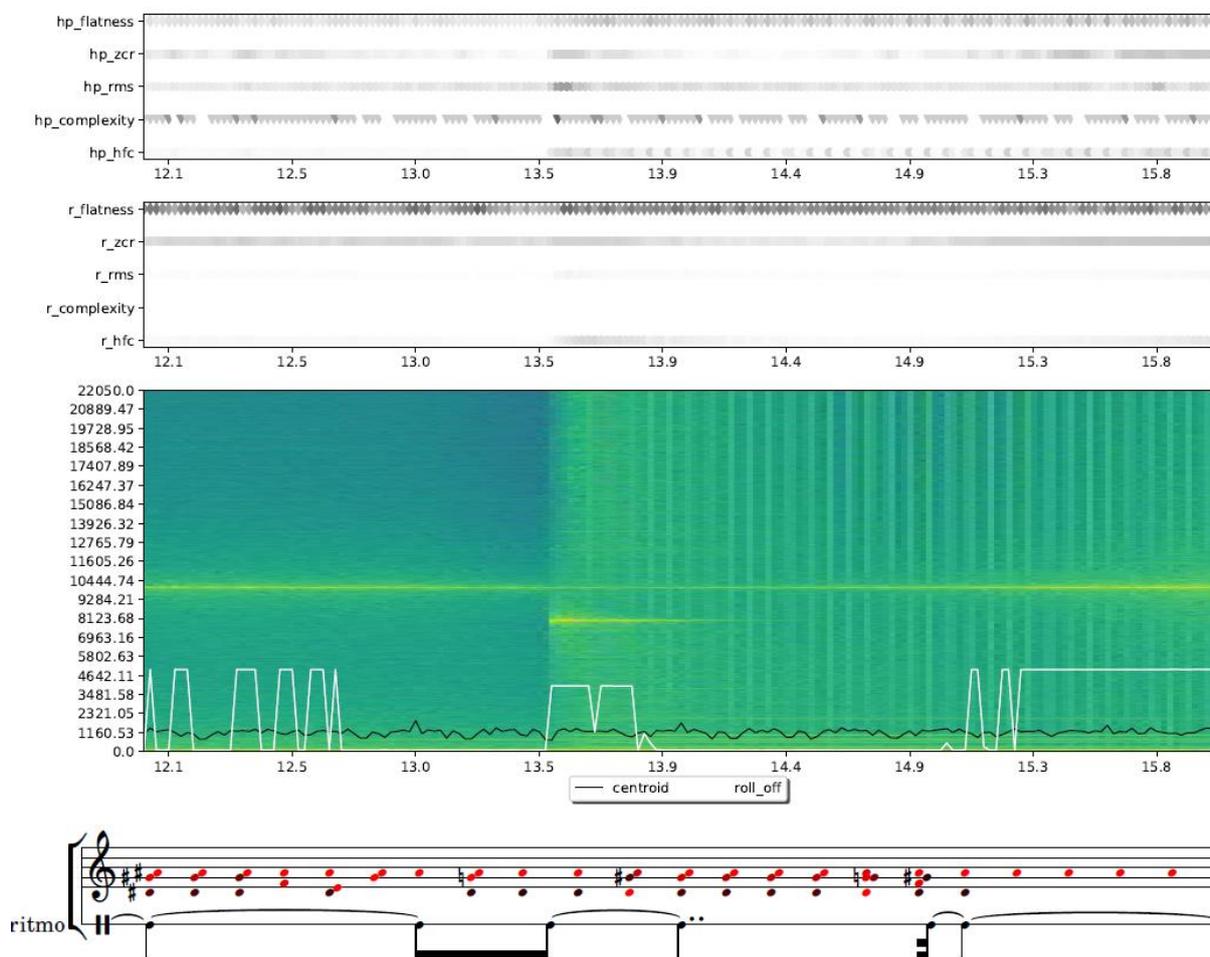


Figura 1: Fragmento do *rascunho sonoro*. No topo, estão os gráficos referentes aos dados dos descritores de áudio empregados. As iniciais “hp” referem-se à camada do áudio composta por elementos harmônicos e percussivos (versão HP), e a inicial “r” refere-se à camada composta por elementos residuais (versão R).

Estímulo criativo na análise e interpretação de dados de áudio

A ideia de gerar um *rascunho sonoro* para o processo de composição instrumental vem da vontade de compor a partir de modelos sonoros previamente existentes. Buscamos utilizar descritores de áudio e técnicas de visualização sonora para além do espectrograma com o objetivo de ampliar a experiência da escuta e enriquecer o *solfejo* desses modelos sonoros no processo de composição. Esse processo não se resume a reproduzir ou tentar mimetizar de maneira literal ou fiel características identificadas no áudio analisado a partir do uso de descritores. A partir de uma perspectiva diferente, a intenção aqui é a de utilizar tais informações como ponto de partida para que os dados acústicos possam ser utilizados, tal como um rascunho, para inspirar ideias musicais. Para tanto, é interessante que o *rascunho sonoro* seja lido e interpretado levando em conta características e especificidades das técnicas de análise utilizadas, assim como de seus respectivos conceitos e algoritmos. Ao lado dessa leitura mais atinente às especificidades técnicas dos processos algorítmicos empregados na análise do áudio, ocorre também, no contexto do processo criativo, uma leitura de caráter mais especulativo e livre. Nesta, as associações entre os valores dos descritores e as ideias musicais, apesar de serem de alguma forma influenciadas pelas informações sobre os processos técnicos em jogo, têm como propósito primordial alimentar processos de *escuta e solfejo assistidos por computador* em que os dados obtidos podem ser livremente interpretados, correlacionados e explorados no processo composicional.

Uma leitura possível da figura 1, por exemplo, pode ser aquela da prevalência de uma sonoridade médio-aguda de baixa intensidade, composta tanto por elementos ruidosos quanto por componentes harmônicos. Isso pode ser indicado pela intensidade da cor dos *bins* entre 8000 e 10000 Hertz do sonograma e também pelos valores medianos de *zero-crossing* e *high frequency content* (MASRI, 1996) da camada do áudio analisado HP (*harmonic-percussive*). Os valores medianos de *flatness* e *spectral complexity*, dessa mesma camada do áudio, indicam uma distribuição de energia relativamente homogênea e com um número considerável de picos no espectro. Essa observação provocou a ideia de uma sonoridade ruidosa, mas ainda com algum grau de harmonicidade. O equilíbrio de intensidade entre elementos ruidosos e harmônicos do som idealizado pôde ser intuído pelos valores de RMS das duas versões do áudio; sendo a intensidade da camada R (*residual*) consideravelmente menor que a da versão HP (*harmonic-percussive*). As classes de altura indicadas na pauta harmônica, por sua vez, contribuíram para uma percepção acerca de intervalos presentes no espectro do áudio, nomeadamente, os de quinta, quarta e segunda maior.

Após compreender esses parâmetros sonoros e as associações criadas destes com os dados dos descritores, foi iniciado o processo de concretização da sonoridade geral

considerando as possibilidades e limitações acústicas do violino. Para essa etapa, foi crucial a colaboração com a violinista Sofia Leandro, que se dispôs a executar a peça e colaborar em sua composição em nossos ensaios. Ao longo desses encontros, discutimos, em especial, formas sutis de emissão de ruído no violino que poderíamos conjugar com sonoridades harmônicas. As soluções encontradas envolveram diferentes formas de arcada e de pressão sobre as cordas, como demonstrado abaixo na figura 2.

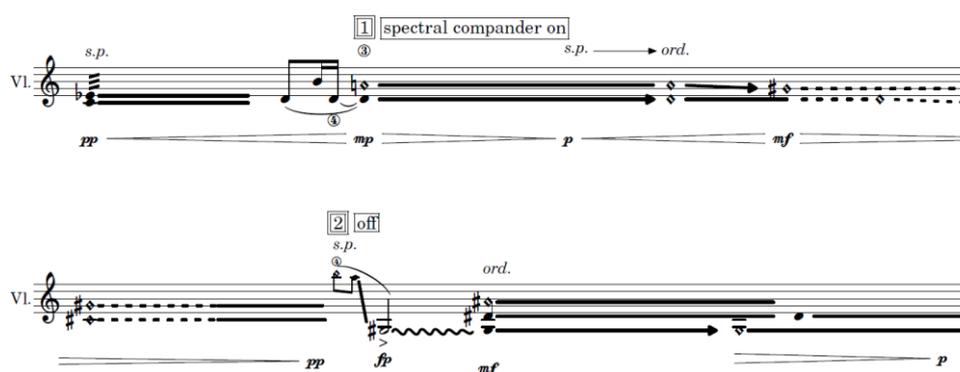


Figura 2: Sistemas 2 e 3 da partitura da peça XXX.

Tanto o uso da arcada *flautado* rápida com pouca pressão (linha pontilhada) quanto a indicação da posição do arco *sul ponticello* (s.p.) configuram tentativas de adicionar ruído à execução de intervalos harmônicos de quinta. A produção de harmônicos fora dos nódulos estacionários da corda - no caso, na posição das notas dó e sol sustentados - também contribui para um efeito ruidoso.

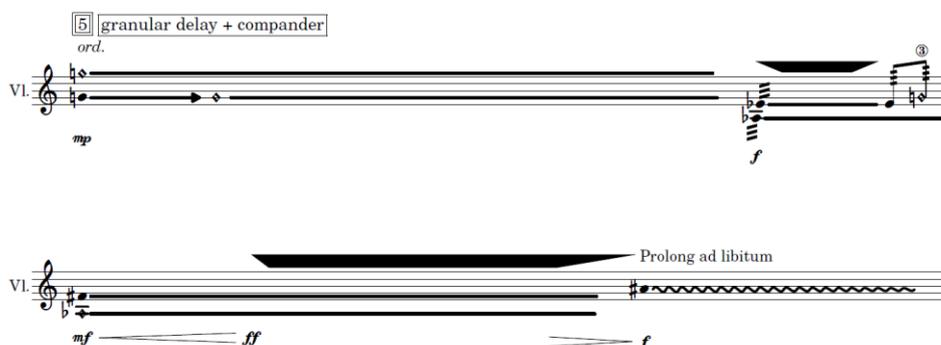
Para a composição da harmonia deste trecho, utilizou-se como referência a tessitura aguda dada pelos picos espectrais predominantes no sonograma que foram associados a harmônicos agudos no violino. A importância da região aguda do espectro também é sugerida pelos valores dados pelo descritor *high frequency content* (MASRI, 1996) da camada HP do áudio, que apresenta valores consideráveis na passagem em questão do *rascunho sonoro*. A escolha das alturas e dos intervalos exatos baseou-se nos dados do descritor de *harmonic pitch class profile* (GÓMEZ, 2006) representado pela pauta harmônica do *rascunho sonoro*, que indica as classes de altura mais presentes no espectro.

A leitura do *rascunho sonoro* utilizada no processo composicional não ocorreu seguindo sua cronologia temporal, mas sim de acordo com uma constante busca por ideias em suas páginas, sendo algumas destas de grande proveito e outras nem tanto. Nesse sentido, o *rascunho*

sonoro demonstrou-se um bom ponto de partida para o percurso criativo. Os dados presentes nele convergiram com ideias musicais interessantes que eventualmente guiaram o processo composicional. Posteriormente, o processo composicional centrou-se no desenvolvimento dessas ideias iniciais e em suas possibilidades de ampliação por meio de um sistema interativo simples, voltado para o processamento do som do violino em tempo real.

O sistema interativo é estruturado no ambiente de processamento de áudio em tempo real *Pure Data*. Assim como o processo de criação do rascunho sonoro, o *patch* desenvolvido também baseou-se em procedimentos de análise do som por meio de descritores de áudio. Para criar os processos interativos, explorou-se principalmente uma técnica conhecida como *mapping* (mapeamento) (OLIVEIRA, 2022, p.6). Essa técnica refere-se ao uso de fluxos de dados numéricos como fontes moduladoras de parâmetros de procedimentos computacionais.

No sistema desenvolvido, utilizamos descritores de *brightness* e *flatness* para modular parâmetros de um *spectral compander*, implementado no módulo de *Pure Data*, *FFTease*. Da forma como o *comparer* está implementado aqui, pode-se entendê-lo como uma técnica para comprimir as amplitudes de um espectro ou destacar seus picos. Isso possibilita tornar um áudio sonoramente mais ruidoso ou mais harmônico, respectivamente. Dentro do esquema composicional da obra, essa técnica serviu para realçar certas características timbrísticas de algumas passagens, como no exemplo a seguir.



The image displays two systems of musical notation for a violin part. System 10 is marked 'ord.' and features a box labeled 'granular delay + compander' above the staff. The dynamic marking 'mp' is present. System 11 includes a trapezoidal dynamic marking that tapers from left to right, with the instruction 'Prolong ad libitum' written above it. The dynamic markings 'mf' and 'ff' are also visible at the beginning and end of the system, respectively.

Figura 3: Sistemas 10 e 11 da partitura da peça *Interstício*.

A ideia gestual exposta na figura acima é que o som ruidoso emitido pela grande pressão exercida sobre as cordas do violino, indicada por um trapézio sobre a pauta, seja realçado. Na eletrônica em tempo real, quanto menores os valores passados ao *comparer*, mais ruidoso torna-se o áudio processado.

Assim, os valores obtidos pelo descritor de harmonicidade – geralmente baixos nessa passagem, devido à qualidade ruidosa do som produzido pelo instrumento – são explorados

para modular o parâmetro *threshold* do *compander*, que torna o som do violino ainda mais ruidoso. Da mesma forma, o descritor de *flatness* foi empregado em passagens compostas por harmônicos produzidos fora dos nódulos estacionários da corda. A resultante sonora desses harmônicos é um misto de uma nota aguda instável e ruído, que gera valores médio-altos de *flatness*. Ao mapear os valores desse descritor para controlar o *compander* espectral, a eletrônica enfatiza os picos do espectro, destacando os componentes harmônicos do áudio captado. Assim, produz-se um efeito semelhante ao de um assobio que se sobressai e que evidencia as instabilidades da nota aguda produzida pelo harmônico do violino.

O desenvolvimento desse sistema interativo foi realizado após a composição da parte instrumental, composta a partir do *solfejo* do *rascunho sonoro*, e teve como objetivo a criação de texturas que se somassem de forma complementar ao violino no momento da performance, dando maior destaque a alguns momentos da peça.

Considerações finais

Em muitos casos, delega-se o processamento dos valores de descritores de áudio a algoritmos computacionais que utilizam seus dados como base para processos automatizados de identificação, classificação e correlação sonora em diversas práticas criativas. Esses processos são comumente associados ao paradigma de *escuta de máquina* (ROWE, 1993), que se refere a formas de modelagem da escuta humana em sistemas computacionais a partir de técnicas específicas de análise, incluindo descritores de áudio.

Na composição de *Interstício*, contudo, procuramos delegar ao agente humano a interpretação desses dados na composição instrumental, de forma que esses dados, apresentados na forma de um *rascunho sonoro*, pudessem acrescentar à experiência de escuta e ao *solfejo* ao longo do processo composicional. Ao utilizarmos tais técnicas em um processo de composição mais artesanal, em que a interpretação dos dados de análise é delegada ao agente humano, o termo *escuta com máquina* demonstra-se mais adequado, pois destaca o papel dos algoritmos de análise como componentes da experiência da escuta humana, ao invés de componentes de um modelo de escuta computacional.

Referências

BONAFÉ, Valéria. The experience of sonority: the dangers of a journey into the unknown. *Interference Journal February*, (p.83-96), 2018.

CAESAR, Rodolfo. A espessura da sonoridade: entre o som e a imagem. In: Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música, XXIII, 2013, Natal. *Anais do XXIII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música*, Natal.

CELLA, Carmine-Emanuele. Orchidea: a comprehensive framework for target-based computer-assisted dynamic orchestration, (p. 40-68), 2022.

DIXON, Simon. *Simple Spectrum-Based Onset Detection*. Vienna, Austria, 2006. Disponível em: <http://www.eecs.qmul.ac.uk/~simond/pub/2006/mirex-onset.pdf>. Acesso em: 04/08/2023.

DRIEDGER, Jonathan. Extending Harmonic-Percussive Separation of Audio Signals. *International Society for Music Information Retrieval Conference*, (p. 6), 2014.

Gómez, Emilia. Tonal Description of Polyphonic Audio for Music Content Processing. *Inform Journal on Computing*, (p. 294 – 304), 2006.

LAURIER, Cyril. Indexing Music by Mood: Design and Integration of an Automatic Content-based Annotator. *Multimedia Tools and Applications, Special Issue on Content-Based Multimedia Indexing*. 2009.

MASRI, Paul. Improved Modelling of Attack Transients in Music Analysis-Resynthesis. *International Computer Music Conference Proceedings*, 1996.

OLIVEIRA, Vinícius Cesar de; PADOVANI, José Henrique. *Map, Trigger, Score, Procedure: machine-listening paradigms in live-electronics*. Revista Vórtex, v. 10, n. 1, 30 apr. 2022.

PEETERS, Geoffroy. *A large set of audio features for sound description (similarity and classification) in the CUIDADO project*. Paris, França, 2023. Disponível em: http://recherche.ircam.fr/anasyn/peeters/ARTICLES/Peeters_2003_cuidadoaudiofeatures.pdf
Acesso em: 04/08/2023.

PENHA, Gustavo. *Entre escutas e solfejos: afetos e reescrita crítica na composição musical*. Campinas, 2016. 363.f. Tese (Doutorado em Música). Instituto de Artes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

PSENICKA, David. An Algorithm for Orchestration Based on Spectral Analyses of Recorded Sounds. *Proceedings of the 2003 International Computer Music Conference*, Singapura, (p.4), 2003.

ROWE, Robert. *Interactive Music Systems*. Disponível em: https://wp.nyu.edu/robert_rowe/text/interactive-music-systems-1993/chapter5/ Acesso em: 25/09/23.

SIMURRA, Ivan. *Contribuição ao problema da orquestração assistida por computador com suporte de descritores de áudio*. Instituto de Artes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.