

# CEGeME 2021 - Gestos, Movimentos, Performance musical e Pandemia

Maurício Alves Loureiro, Alexandre Silva, Aluizio Barbosa de Oliveira Neto,  
Davi Alves Mota, Felipe Brandão Barros, Flávio Luiz Schiavoni,  
Gustavo Machado Oliveira, Luis Fernando Umbelino da Silva, Ravi Shankar Viana Domingues,  
Renato Rodrigues Lisboa, Tairone Nunes Magalhães,  
Thiago de Almeida Magalhães Campolina, Tiago Lima Bicalho Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEGeME - Centro de Estudos do Gesto Musical e Expressão  
Escola de Música  
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

<https://musica.ufmg.br/cegeme/>

**Abstract.** CEGeME - Center for Research on Musical Gesture and Expression is affiliated to the Graduate Program in Music of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), hosted by the School of Music, Belo Horizonte, Brazil, since 2008, is dedicated to the empirical investigation of music performance. Research at CEGeME departs from musical content information extracted from audio signals and three-dimensional spatial position of musicians, recorded during a music performance. Aiming at establishing a musicological approach to different aspects of musical expressiveness, we investigate causal relations between the expressive intention of musicians and the way they manipulate the acoustic material and how they move while playing a piece of music. The group has attracted study postulants from different fields and professional musicians instigated by specific inquiries on the performance on their instruments, such as studies on the use of the modern bass trombone second valve for achieving a better legato, the source-filter acoustic parameters in the trumpet, the facial emotions present in the performance of lyrical singers, the acoustic and psychoacoustic parameters associated with different reed preparations for the oboe, the spectral modeling of note attack on the clarinet, musical timbre analysis based on machine learning, studies of acoustics and kinematics parameters associated to the execution of legato note transition on the clarinet, analysis of note articulation on the performance of a clarinet piece by Debussy, sonological applications in musical education, the influence of musical interpretation consistency on the cohesion of a chamber music performance and the software development on python platform created to support the research demands of the research conducted at CEGeME.

**Resumo.** O CEGeME - Centro de Pesquisa em Gesto e Expressão Musical é filiado ao Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sediado na Escola de Música de Belo Horizonte, Brasil, desde 2008 é dedicado à pesquisa empírica da performance musical, que partem de informação de conteúdo musical extraída de sinais de áudio e da posição espacial tridimensional dos músicos, registradas durante uma performance musical. Com o objetivo de estabelecer uma abordagem musicológica a diferentes aspectos da expressividade musical, investigamos relações causais entre a intenção expressiva dos músicos e a forma como manipulam o material acústico e como se movem durante a execução

de uma peça musical. O grupo atraiu postulantes de estudos de diversas áreas de conhecimento e músicos profissionais instigados por questões específicas envolvidas na expressividade musical, tais como, estudos sobre o uso da segunda válvula do trombone baixo moderno para obter um melhor legato, os parâmetros acústicos do filtro-fonte no trompete, as emoções faciais presentes na performance de cantores líricos, os parâmetros acústicos e psicoacústicos associados a diferentes preparações de palheta do oboé, a modelagem espectral do ataque de notas na clarineta, análise do timbre musical baseada em aprendizado de máquina, estudos de parâmetros acústicos e cinemáticos associados à execução da transição de notas em legato na clarineta, análise da articulação na performance de uma peça para clarineta de Debussy, aplicações sonológicas na educação musical, influência da consistência na interpretação na coesão da performance da música de câmara e o desenvolvimento de software na plataforma python criado para dar suporte às demandas da pesquisa conduzida no CEGeME.

## 1. Introdução

O grupo de pesquisa CEGeME – Centro de estudos do Gesto Musical e Expressão (UFMG) realiza projetos de pesquisa empírica da performance musical, desde sua criação em 2008. A pesquisa do CEGeME parte de informação de conteúdo musical recuperado do sinal de áudio e da posição espacial tridimensional do músico, gravados durante a execução de um excerto musical. Poucos anos antes de sua criação, conduzimos nossos primeiros estudos neste campo no CEFALA (Centro de Pesquisas da Fala, Acústica, Linguagem e Música), um grupo de pesquisa localizado na Escola de Engenharia da UFMG, coordenado pelo professor Hani Yehia. Estes estudos investigaram o timbre musical a partir de um modelo computacional para representar variações dinâmicas do timbre da clarineta [1, 2, 3].

Os resultados deste estudo motivaram Mauricio Loureiro, atual coordenador do CEGeME, a buscar ferramentas e modelos computacionais para abordar outros problemas da performance musical, o que resultou na criação de um grupo interdisciplinar voltado para a pesquisa empírica em performance musical. O CEGeME atraiu postulantes de estudos de diversas especialidades, como Ciência da Computação, Engenharias, Física, Fonoaudiologia e Musicoterapia, além de colaborações de músicos profissionais

instigados por indagações específicas sobre a execução de seus instrumentos. O grupo conta atualmente com a participação de alunos de graduação, mestrado, doutorado e pesquisadores visitantes em estágio de pós doutorando [4].

Vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sediado pela Escola de Música da UFMG, em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, os laboratórios do CEGeME contam com instalações e equipamentos adequados para aquisição e análise de dados acústicos e de movimento corporal de músicos, os quais têm sido patrocinados por bolsas e auxílios financeiros de agências brasileiras de fomento à pesquisa (CNPq, FAPEMIG e CAPES). Além do CEFALA, o CEGeME tem ainda parceria com outro grupo de pesquisa da Escola de Música, o LAPIS – Laboratório de Performance com Sistemas Interativo, coordenado por Sérgio Freire Garcia.

Com foco em diferentes aspectos da expressividade musical, propomos modelos analíticos que buscam identificar relações causais entre a intenção expressiva dos músicos e a maneira como eles manipulam o material acústico e como se movem ao interpretar uma obra musical. A metodologia busca suporte em conhecimentos como modelagem computacional, análise estatística e processamento digital de sinais, que agregam habilidades à musicologia tradicional. Os inúmeros projetos concluídos e em andamento desenvolvidos pela equipe do CEGeME, são norteados por 4 eixos que abordam diferentes problemas envolvidos neste campo de pesquisa, às vezes por vias distintas, adotando novos protocolos de experimentos e novas técnicas de análise, visando sempre aperfeiçoar nossos modelos metodológicos:

1. **Extração multimodal de informação musical:** Consiste no desenvolvimento e melhoria contínua de ferramentas, algoritmos e modelos computacionais para extração de parâmetros acústicos e cinemáticos do sinal de áudio e da posição espacial tridimensional dos músicos, que possam encapsular informação de conteúdo musical. É uma modalidade de pesquisa em constante desenvolvimento e aperfeiçoamento visando dar suporte aos projetos desenvolvidos no CEGeME.
2. **Estudo empírico da música tocada:** Com foco em diferentes aspectos da expressividade musical, esses projetos propõem modelos analíticos que buscam identificar relações causais entre a intenção expressiva dos músicos e a forma como manipulam o material acústico e como se movem na interpretação de uma obra musical.
3. **Interação e coordenação em performance musical de conjuntos:** Com o objetivo de investigar o processo de sincronização / coordenação em pequenos conjuntos musicais, os projetos desta categoria buscam modelar as interações dos músicos em situações típicas de performance, a partir de respostas visuais e acústicas coletadas durante simulações de performances musicais reais. Padrões de sincronização temporal e outros padrões

de acoplamento, manifestados por meio de manipulações sonoras e movimentos corporais, são observados e analisados, visando mapear elementos acústicos e gestuais que possam influenciar no ajustamento entre os músicos.

4. **Aplicações sonológicas na aprendizagem musical e desenvolvimento humano:** Projetos que têm por objeto de investigação o comportamento humano em atividades musicais mediadas por ferramentas tecnológicas voltadas para a aprendizagem e desenvolvimento humano. Com este tipo de estudo, o CEGeME pretende ampliar o escopo de sua pesquisa, visando verificar o potencial de aplicação que os resultados e a tecnologia gerada por estes estudos possam oferecer a outros campos de pesquisa, tais como a pedagogia do instrumento musical e a musicoterapia.

## 2. Projetos do CEGeME

Os seguintes projetos foram desenvolvidos recentemente ou estão sendo desenvolvidos atualmente no CEGeME.

### 2.1. A eficiência na produção do legato utilizando o segundo rotor isoladamente do trombone baixo

O Trombone Baixo é um instrumento que chegou a seu estágio atual de desenvolvimento na década de 1950. O instrumento passou por alterações ao longo dos séculos, tais como como afinações distintas, alterações nas dimensões e calibre do tubo e da campana, as quais incluiu também a incorporação de duas válvulas visando facilitar as dificuldades impostas pelo aumento das dimensões do instrumento. Apesar de já consolidado no cenário musical profissional, há ainda uma carência de estudos sobre técnicas específicas para a utilização dessas válvulas, denominadas de rotores. No trombone baixo, além das sete posições básicas da vara do trombone tenor, o instrumentista se depara ainda com seis posições para cada um dos rotores, mais cinco com os dois rotores acionados [5]. Por ter sido relativamente recente a adição destas válvulas, a extensão das possibilidades do trombone baixo com o uso de seus dois rotores, quer combinados ou isoladamente ainda não é devidamente conhecida, principalmente por estudantes dedicados a este instrumento. A pesquisa de doutorado em andamento tem como objetivo principal verificar a eficiência da execução do legato no trombone baixo utilizando o 2º rotor isoladamente através de uma abordagem quantitativa, contribuindo dessa forma com uma pesquisa original para trombonistas baixo e professores de trombone de modo a facilitar a compreensão do funcionamento e uso dos rotores do instrumento.

Foram estabelecidas 5 condições de utilização do segundo rotor: (1) posições básicas sem utilização do segundo rotor ; (2) acionando somente o segundo rotor; (3) acionando somente o primeiro rotor; (4) acionando ambos os rotores; (5) posições alternativas sem uso de rotor. Três trombonistas baixo profissionais foram recrutados para executar excertos selecionados da obra sinfônica de Anton Bruckner, Richard Wagner e Johannes Brahms

que contêm transições de notas em legato adequadas para a sua execução em duas ou três destas condições. Ambos os excertos de Bruckner foram executados nas condições 1 e 2, o excerto de Wagner nas condições 1, 2 e 3 e excerto de Brahms nas condições 1, 2 e 5. Foram registradas 6 execuções de cada excerto em cada uma dessas condições, totalizando 180 gravações.

A segmentação de notas foi estimada utilizando o software Sonic Visualizer, auxiliado pelas curvas de fluxo espectral e energia RMS. A diferença de tempo gasto na execução das transições entre as diversas condições foi estimada e testada. A duração da transição de nota foi definida como o intervalo de tempo entre o instante de início da queda da energia da nota e o final do ataque da nota seguinte. A diferença de duração entre as condições 1 (somente segundo rotor) 2 (sem utilizar o rotor, etc..) foi comparada aplicando um teste t pareado para evitar qualquer influência de viés de três outros fatores considerados no experimento: características de transição, músico e tomada. Resultados preliminares mostram uma queda significativa na duração das transições na condição 1, indicando uma possível incremento da eficiência na produção do legato com a utilização do segundo rotor [6].

## 2.2. Análise do pulso labial no trompete por filtragem inversa

O controle do sopro na execução do trompete é um elemento essencial da técnica do instrumento, principalmente na execução de notas de uma mesma posição. Este estudo buscou informação relacionada a esse controle no pulso de ar que passa pelos lábios em vibração. A medição direta deste pulso é complexa e invasiva por envolver medições dentro do instrumento e dentro da boca do trompetista.

Assumindo a produção sonora do trompete como resultante do sinal de excitação gerado pela vibração dos lábios, filtrado pelas ressonâncias do tubo do instrumento, o modelo fonte-filtro adotado em estudos da produção de voz, no qual a fonte é sinal de excitação gerado na glote e o filtro as ressonâncias do trato vocal, foi proposto para a estimação do pulso de ar que passa pelos lábios do trompetista. Utilizando metodologia análoga para estimar o fluxo glotal em estudos da produção da voz, este estudo propôs estimar o pulso labial na produção sonora do trompete pela filtragem inversa do som produzido pelo instrumento capturado por microfone [7].

A variação da forma do pulso assim estimado mostrou forte correlação positiva da obliquidade (skewness) com a altura da nota tocada, que pode indicar que a abertura dos lábios em notas agudas executadas no trompete ocorre de forma mais abrupta do que em notas graves. O método, se devidamente validado pode mostrar perspectivas de contribuição para a obtenção de informações valiosas sobre a técnica de execução do trompete [7, 8, 9].

## 2.3. Emoções no canto e expressões faciais

Entendendo que o cantor de ópera também é um ator que interpreta o texto da ária ou recitativo, cada letra dessas peças contém mensagens que despertam algum tipo de emo-

ção. O cantor, além de cantar as notas musicais, interpreta o texto para transmitir a emoção contida na letra. Na fala, as emoções influenciam parâmetros como frequência fundamental, intensidade, ritmo, e andamento. No canto, embora o cantor esteja teoricamente limitado ao que está escrito na partitura, diferentes emoções podem modificar os mesmos parâmetros da fala, mesmo em graus mais discretos. No entanto, ao contrário da fala, em que as expressões faciais tendem a ser espontâneas e naturais, no canto tais emoções são pensadas e fabricadas pelo cantor.

Neste estudo, buscamos verificar se existe um padrão de emissão vocal e expressão facial na interpretação de diferentes emoções no canto. O objetivo desta pesquisa é verificar como as diferentes emoções básicas influenciam a voz e as expressões faciais do cantor lírico e quais parâmetros de expressividade podem ser verificados durante o canto [10].

Para a avaliação dos cantores, as tarefas serão selecionadas dentro de um contexto musical e, para tanto, uma pequena seção musical foi composta com texto neutro e que, a princípio, não desperta nenhuma emoção pelo seu significado. As tarefas são compostas por intervalo de salto, movimentos melódicos ascendentes e descendentes e um crescendo em uma nota sustentada. O excerto será cantado em diferentes condições de emoções básicas: felicidade, tristeza, medo, raiva. Além disso, será solicitado ao cantor que cante de forma neutra. As tarefas serão gravadas em áudio para análise acústica e também serão coletados outros dados da performance como os dados do EGG, o vídeo frontal dos cantores e a posição espacial tridimensional de diversos pontos da face capturados por meio de um equipamento de alta precisão (Qualysis Pro-reflex). Cantores líricos, sopranos e tenores, com idades entre 25 e 45 anos, serão avaliados. A possibilidade de coleta de dados de cantores líricos com idade entre 18 e 25 anos, sem experiência em ópera, também é estudada para comparar com o grupo de profissionais e verificar se a experiência tem algum tipo de influência positiva na interpretação do texto cantado.

## 2.4. Análise de parâmetros acústicos e psicoacústicos da sonoridade do oboé associados aos diferentes estilos de raspados de palheta

O oboé é um instrumento de sopro da família das madeiras que utiliza uma palheta dupla. Sua produção sonora ocorre pela vibração de duas lâminas flexíveis de um tipo de bambu, *Arundo Donax*, que se contrapõem e formam um duto para a passagem do ar, possibilitando a entrada do fluxo do ar modulado por sua própria vibração [11, p.35]. Grande parte das manipulações dos parâmetros musicais, tais como timbre, fraseado, articulação, dinâmica, afinação e vibrato, utilizados para a construção de uma interpretação musical, são realizadas através da sua interação do oboísta com a sua palheta. Além de aspectos técnicos e expressivos, desenvolvidos ao longo da trajetória musical de todo instrumentista, a aprendizagem do processo de produção da palheta é fundamental na formação do oboísta [12, p. 62].

Atualmente, no Brasil e no mundo, há duas escolas de raspado de palhetas de oboé que prevalecem sobre as demais: a escola americana (raspado longo) e escola alemã/europeia (raspado curto). Independentemente do raspado utilizado, os oboístas buscam uma palheta que lhes permitam manipular adequadamente estes parâmetros para realizar com maior eficiência possível suas intenções expressivas em diferentes contextos musicais e melhor adaptar às diferentes situações de performance. Saber fazer a própria palheta é imprescindível para a maioria dos oboístas profissionais, pois, o estilo interpretativo de um oboísta e a realização da sua sonoridade ideal são determinados em grande parte pela palheta escolhida, que afetará diretamente no desenvolvimento técnico e interpretativo do instrumentista[13]. Por essa razão, a produção da palheta, bem como seu processo de aprendizagem, ocupa parte da prática do oboísta, sendo um aspecto fundamental em seu processo formativo [12, p. 58].

Entre 2015 e 2018 realizamos uma pesquisa cujo objetivo foi analisar parâmetros acústicos e psicoacústicos relacionados à sonoridade e à articulação de oboístas que utilizam os dois principais modelos de raspagem de palhetas de oboé, correlacionando-os com os conceitos subjetivos utilizados para descrição desses parâmetros musicais buscando compreender a influência dos estilos de raspado e sua relação com a cultura sonora do oboísta. Realizamos um estudo descritivo do tipo transversal entre setembro e dezembro de 2017, cuja coleta de dados foi dividida em duas etapas. Primeiramente foi aplicado um questionário, semi-estruturado, a 21 oboístas profissionais, brasileiros e estrangeiros, que gravaram dois excertos contrastantes, extraídos da parte de oboé de obras sinfônicas. Em seguida foi realizado um teste subjetivo de percepção em 73 músicos, docentes e discentes de três universidades brasileiras.

Com a utilização do EXPAN[14], seis descritores acústicos foram extraídos do sinal de áudio da gravação dos excertos (centróide espectral, achatamento espectral, irregularidade espectral, duração do ataque, índice de articulação e índice de legato), que foram confrontados com os dados coletados do questionário e do teste subjetivo referentes ao timbre e a articulação. Resultados revelaram que os dois raspados de palheta testados podem influenciar a sonoridade e articulação. Foi observado também que a maneira com que os parâmetros acústicos são manipulados, direcionada pelas referências e as demandas do contexto musical, influencia o processo de produção e os ajustes das palhetas de oboé.

## 2.5. Caracterização de Ataques na Clarineta via Modelagem e Decomposição Espectral

O ataque das notas pode assumir papéis importantes em performances musicais. No ataque, músicos são capazes de controlar timbre, articulação e ritmo, manipulações essenciais para transmitir suas intenções expressivas e tornar a música mais apreciável. Na literatura, ao mesmo tempo que a importância dos ataques para a percepção e construção da performance é evidenciada, são expostas também as dificuldades de analisá-los. Eles são eventos acústicos

de curta duração, sujeitos a interações com a reverberação do ambiente, e com características transientes e não lineares. A modelagem desses eventos busca um melhor entendimento sobre como são manipulados os parâmetros relacionados à expressividade.

Uma tese concluída recentemente [15] com o suporte do CEGeME propõe a modelagem e decomposição espectral como uma via para a caracterização de ataques na clarineta. A primeira parte dos resultados (publicada em [16]) confronta em duas dimensões (2D), proporções de energia (em relação ao sinal original) de três componentes espectrais extraídas no ataque. Nessa representação 2D (nomeada de plano **H2R2**), foi possível verificar visualmente e fazer inferências sobre as proporções das componentes harmônicas, não-harmônicas e interações com a acústica da sala, visando enriquecer o estudo das performances musicais na condição de prática cotidiana, onde ambientes reverberantes estão sempre presentes. Na segunda parte dos resultados (publicada em [17]), foi proposto um descritor tridimensional, nomeado de Perfil Harmônico do Ataque (**PHA**), envolvendo tempo, frequência e magnitude espectral, com o objetivo de caracterizar a estrutura harmônica de ataques na clarineta. O **PHA** foi definido como a sequência de inícios dos harmônicos, começando pela frequência fundamental, seguindo a ordem harmônica crescente. O início de cada harmônico foi considerado como 50% da faixa de variação de sua magnitudes em dB no trecho do ataque.

Para o plano **H2R2** e o **PHA**, foram examinados ataques de notas em transições com diferentes demandas técnicas de execução, em condição de legato e articuladas. Na análise do plano **H2R2**, testes estatísticos para comparação entre médias bidimensionais (MANOVA - Multivariate Analysis of Variance) indicaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), considerando “músico” como fator. Para o **PHA**, testes MANOVA utilizando redução supervisionada de dimensionalidade dos dados através de Análise Discriminante Linear também indicaram separação considerando o fator “músico”.

## 2.6. Modelo de análise de timbre em performances musicais utilizando aprendizado de máquina

A área de performance musical reconhece que instrumentistas utilizam diversas manipulações do instrumento para alcançar diferentes variações do som e, com isto, alcançar uma maior expressividade na performance musical. Tal expressividade difere da expressividade proposta pelo compositor já que o compositor, ao notar a peça em uma partitura, costuma se limitar a definir alguns parâmetros do som como intensidade, duração e altura. Além disso, diversos parâmetros definidos pelo compositor, como mudanças no tempo e de articulações, são notadas de maneira textual e por isso podem ser interpretadas de maneira subjetiva pelo intérprete. Assim, entre essas variações presentes na construção de uma performance encontram-se os atributos que estão além dos notados pelo compositor, como, por exemplo, as variações timbrísticas.

Inicialmente pensamos no timbre como um con-

junto de macro características do som capazes de diferenciar uma nota tocada com mesma altura, duração e intensidade em instrumentos de duas famílias distintas. No entanto, o timbre também permite identificar dois instrumentos de uma mesma família, ou identificar dois instrumentistas tocando instrumentos idênticos, ou ainda identificar duas performances do mesmo instrumentista com o mesmo instrumento em dois momentos distintos de sua carreira.

A complexidade que envolve a identificação do timbre se estende também a tentativa de descrever um som. Nem sempre é possível comunicar as características de um determinado som por não existir um acordo quanto aos adjetivos utilizados para descrever o timbre. É comum utilizar determinados adjetivos, neste contexto denominados correlatos semânticos, para definir o som e, muitas vezes, tais correlatos remetem a outros sentidos que não a audição como pesado / leve, claro / escuro, doce, ardido, metálico entre outros.

Tentando esclarecer como a variação timbrística pode alterar a expressividade da performance instrumental, esta pesquisa propõe investigar os correlatos semânticos utilizados para descrever o som e associar tais correlatos a descritores de áudio e recuperação de informação musical (MIR) de maneira a permitir uma a verificação formal de características timbrísticas. Uma vez que esta variação pode ser verificada formalmente, esta pesquisa propõe ainda o uso de aprendizado de máquina para classificar e agrupar estas variações a partir de gravações de performances musicais realizadas por profissionais. Esperamos com isso alcançar um maior entendimento das características timbrísticas do som para a performance musical, criar um modelo para sua análise, criar um conjunto de dados relacionados ao timbre de instrumentos e encontrar correlatos semânticos na língua portuguesa para as características timbrísticas do som [18].

### 2.7. Estudo do legato na clarineta através de parâmetros acústicos e cinemáticos

A clarineta, como os demais instrumentos de sopro, funciona por meio de feedback acústico permitindo ao músico controlar o fluxo e a manutenção da coluna de ar no interior do tubo; a variação da ressonância do tubo é ajustada e alterada de acordo com a abertura e fechamento dos orifícios do instrumento pela ação dos dedos do clarinetista [19]. Quando os movimentos dos dedos são realizados enquanto o músico sopra continuamente, há mudança de frequência e o efeito musical na transição de notas chamado legato. Estudos anteriores [20] mostraram que as variações na realização do legato dependem da qualidade do instrumento, das características acústicas do ambiente e da habilidade do músico. Partindo do pressuposto de que essa habilidade vem da forma como o músico manipula o trato vocal através da relação entre a posição da língua e a velocidade do ar, bem como a forma como movimenta os dedos, seguindo as afirmações de Stein [21] e Silva [22], pretendeu-se analisar a qualidade do legato na performance de clarinetistas através de parâmetros acústicos e cinemáticos.

Oito músicos profissionais gravaram excertos do

repertório orquestral onde a clarineta tem papel de destaque. Cada excerto foi executado repetidas vezes até que o(a) instrumentista decidisse que haviam sido gravadas quatro execuções consideradas satisfatórias; sem o uso do metrônomo e simulando uma situação real de concerto. Foi usado um microfone condensador cardióide M-audio Solaris disposto a cerca de um metro do(a) instrumentista e usada uma taxa de amostragem para a análise de 44.100 Hz. Foi usado o sistema óptico ativo de captura de movimentos em tempo real Optotrak com marcadores dispostos nas unhas dos músicos. As transições em legato selecionadas foram analisadas através do fluxo espectral, da energia RMS do sinal e do Índice de Legato do EXPAN [23]. Paralelamente, foi aplicado um teste subjetivo do tipo ABX com quarenta clarinetistas dos quais 14 são estudantes e 26 são profissionais.

Os resultados preliminares apontam que há um limite aceitável de assincronia entre os dedos e que essa assincronia pode definir a qualidade do legato nas transições. O teste ABX apontou que os estudantes concordaram percentualmente mais entre si do que os profissionais no ranqueamento das transições no que diz respeito à qualidade do legato e que, das doze combinações possíveis das transições analisadas no referido teste, os estudantes discordam dos profissionais em apenas duas combinações.

As conclusões indicam que a técnica e a preocupação com os movimentos dos dedos são fatores que não devem ser negligenciados no ensino do instrumento e que a percepção e avaliação das transições em legato, apesar de serem elevadas com a experiência, não são habilidades exclusivas de clarinetistas profissionais

### 2.8. Análise da consistência de legatos, ritmos e articulações de clarinetistas na Primeira Rapsódia de Debussy

Músicos profissionais e estudantes dedicam horas de estudos para adquirirem domínio sobre obras do repertório de seu respectivo instrumento. Estudam intensamente precisão rítmica, qualidade de articulações entre outros vários aspectos, necessários a uma boa interpretação. Com o tempo, vão sendo definidos padrões pessoais de qualidade desses aspectos, dada a singularidade de cada indivíduo, que se expandem para o repertório geral.

A Primeira Rapsódia para clarineta e piano de Claude Debussy [24] é uma das obras mais relevantes do repertório de clarineta, pela sua importância histórica e frequência em que é executada em recitais, concertos e processos de seleção [25, 26]. Nela, Debussy explora características do timbre do instrumento, sua extensa gama de dinâmica e de alturas, suas possibilidades de ligadura em grandes saltos intervalares e sua grande variedade de articulações.

A proposta desse trabalho é analisar a consistência interpretativa de clarinetistas profissionais e estudantes, atuantes na cidade de Belo Horizonte, na execução de excertos selecionados desta obra, que contêm dificuldades técnicas específicas e acompanhamento de piano. A um

pianista experiente será solicitado que toque os acompanhamentos de cada trecho selecionado e a cada clarinetista recrutado será solicitado que execute repetidamente sozinho cada trechos. Todas as execuções serão registradas em áudio. Em seguida, será solicitado aos clarinetistas que executem cada excerto repetidamente, ouvindo o acompanhamento da gravação prévia do piano, através de um fone auricular. A detecção de onsets e offsets de cada nota para a segmentação das notas será realizada com a utilização do sistema IRACEMA, desenvolvido no CEGeME para a análise empírica da performance musical [27].

O perfil das proporções rítmicas e da qualidade de articulação das notas e legato serão comparados entre as execuções com e sem acompanhamento de piano, visando verificar a influência do acompanhamento do piano na manipulação da proporção rítmica e da articulação, assim como da consistência interpretativa do clarinetista inferida a partir das repetições de execuções solo.

## 2.9. Aplicações sonológicas ao aprendizado e desenvolvimento musical

Sistemas computacionais mediam uma parte importante de nossas atividades diárias e se tornaram um componente essencial em praticamente todos os cenários que envolvem produção ou consumo de música. Os processos de ensino e aprendizagem musicais também sofreram tal influência, com o desenvolvimento de uma vasta gama de ferramentas de hardware, software, jogos e comunidades online a eles dedicadas. Quando tratamos de questões tradicionalmente consideradas mais subjetivas, como a expressividade musical, e em especial no ensino da música de concerto de tradição europeia, observamos certa resistência a tais abordagens.

Neste projeto investigamos uma série de oportunidades oferecidas pelos recentes avanços em tecnologias de gravação, processamento e reprodução de sinais, em conjunto com o crescente alcance das comunidades e plataformas online, no ensino e difusão da expertise musical. Foram realizados estudos com turmas de graduação de um curso de bacharelado em clarineta. Disciplinas foram ofertadas, com foco no desenvolvimento de habilidades ligadas à expressividade e performance de conjunto, através do estudo das técnicas necessárias para a execução de uma seleção de excertos de peças dos períodos clássico e romântico. Registramos em áudio todos os encontros semanais entre alunos e mestre, com duração de duas a três horas. Por meio de técnicas de processamento digital de sinais e extração de informação musical, foi possível obter uma série de descritores acústicos de tais gravações.

Pretendemos demonstrar como certos aspectos do desenvolvimento das técnicas necessárias para a realização de manipulações sonoras associadas à expressividade musical podem ser modelados computacionalmente, assim como elementos que fundamentam a relação mestre-aprendiz no contexto do ensino da música de concerto. Visamos também, a aplicação de métodos desenvolvidos neste projeto no desenvolvimento de ferramentas que possam enriquecer e facilitar o acesso ao conhecimento e ex-

pertise musical, especialmente em locais e comunidades onde o mesmo é escasso ou inexistente. Toda a tecnologia envolvida depende apenas de um computador pessoal convencional rodando software livre, disponibilizado gratuitamente nos sites de seus desenvolvedores.

Não temos como intenção argumentar que tais tecnologias possam vir a substituir um profissional do ensino da música. Acreditamos no entanto que, com tais técnicas à disposição, professores experientes poderiam não apenas aprimorar sua relação e comunicação com seus estudantes e o controle sobre seus avanços, como também incorporar outras referências de ensino e prática musical em seu trabalho.

## 2.10. Iracema: uma biblioteca Python para auxiliar os estudos empíricos da performance musical

Os primeiros estudos empíricos em performance musical datam do final do século XIX, quando foram criados os primeiros dispositivos mecânicos capazes de gravar as ações de pianistas no instrumento (o pressionar das teclas). Desde então, várias tecnologias que abrem novas possibilidades de coleta de dados de performances musicais foram inventadas ou aprimoradas, incluindo técnicas de extração de informação a partir do sinal de áudio. Tais técnicas, que se aprimoraram em ritmo acentuado ao longo das últimas décadas, impulsionadas pelo rápido desenvolvimento das mais diversas áreas correlatas à computação, são o foco do presente trabalho.

Propomos aqui uma nova biblioteca de software chamada Iracema[27], que contém técnicas para a extração de padrões de duração, energia, e conteúdo espectral, a partir de gravações de áudio monofônicas. Escolhemos a clarineta como o instrumento a ser utilizado nos experimentos de referência e modelos propostos, mas a maior parte das técnicas aqui apresentadas pode ser aplicada em outros instrumentos monofônicos.

Um dos passos mais importante no estudo de performances musicais é a detecção dos instantes de *onset* (início) das notas musicais, já que a nossa percepção rítmica (temporal) está fortemente associada a tais instantes. A este assunto dedicamos atenção especial, e propomos uma interface *web* para a anotação manual precisa dos instantes de onset, além de realizar um experimento para avaliar o erro típico de anotação neste tipo de tarefa, para gravações de clarineta.

Também propomos uma base de dados anotada contendo aproximadamente 23 minutos de áudio tocados na clarineta, contendo um total de 3551 onsets. Utilizando esta base de dados, treinamos uma rede neuronal convolucional para obter um modelo especializado para detecção automática de onsets em gravações de clarineta, e comparamos os seus resultados com os de outros modelos. Por fim, exemplificamos e demonstramos o uso da biblioteca proposta por meio de um estudo de caso, envolvendo a análise de gravações de um excerto de uma peça, tocada por vários clarinetas.

### 2.11. Individualidade, diversidade e consistência musical, e coesão na performance da música de câmara

Com foco no estudo empírico da performance musical, o projeto busca compreender os processos envolvidos na produção e na percepção da performance, a partir da identificação da intenção expressiva do intérprete encapsulada na sua manipulação do material acústico e dos movimentos corporais. Buscando consolidar nossos modelos analíticos da performance musical, a presente proposta avança sobre outros aspectos da prática musical, a performance de música de câmara, visando uma melhor compreensão de como músicos buscam coesão musical na interpretação de uma peça de música de câmara, manifestada pela sincronia entre as notas e pela homogeneidade de intensidade, qualidade sonora e de articulação. Nesta etapa pretendemos abordar questões sobre a performance musical em conjunto, que resultados anteriores fizeram emergir: (1) a evidência de graus distintos de consistência interpretativa entre músicos participantes, na realização de diferentes performances de uma mesma música; (2) a evidência de padrões distintos de sincronização e de acoplamento interpretativo entre os músicos tocando, que pode indicar a existência de habilidades específicas de cada músico para tocar em conjunto, seja como líder ou acompanhador.

O presente estudo pretende verificar correlações e efeitos da individualidade e da consistência interpretativa de um músico na coesão da performance de um conjunto musical e com que eficiência ele venha alcançar esta coesão. Poderia esta consistência contribuir ou influenciar na coesão de uma performance de música de câmara? A eficiência no alcance desta coesão (número de ensaios necessários) poderia também ser influenciada por estes fatores? Entender como músicos acoplam a interpretação da partitura, quando tocam em conjunto pode nos conduzir a uma melhor compreensão dos processos envolvidos na produção e percepção da expressividade de uma performance musical.

Estudos anteriores sobre a prática musical em conjunto utilizaram material musical de excertos sinfônicos de duos em uníssono, visando oferecer uma situação experimental que exigia a sincronização de cada nota com igualdade de condições para ambos os participantes. O presente estudo propõe experimentos que envolverão performance de excertos de obras de música de câmara, que buscarão trazer para o ambiente de experimentação situações mais complexas, com a introdução de elementos da estrutura musical, tais como estruturas harmônicas, rítmicas e de densidade sonora, que induzam em maior grau manifestações de expressividade.

## 3. Considerações Finais e Perspectivas Futuras

Este artigo expõe a variedade das questões tratadas nos estudos conduzidos no CEGeME, a qual revela o perfil essencialmente interdisciplinar da equipe de pesquisadores do Grupo. As diferentes áreas do conhecimento trazidas

por cada membro favorecem a emergência de um espaço de experiências coletivas que promove a aproximação e a articulação entre os diferentes campos disciplinares privilegiando a migração de conceitos e metodologias entre esses múltiplos campos. A inserção das atividades desenvolvidas no CEGeME no ensino, dado seu vínculo com a Pós-Graduação, se eleva a um patamar de formação diferenciada que capacita profissionais a frequentar áreas do conhecimento além de suas especialidades.

Resultados da pesquisa do CEGeME mostram perspectivas de oferecer uma percepção estendida de características e qualidades relacionadas com a expressividade musical, que poderia ser direcionada à prática musical cotidiana de instrumentistas e cantores, seja como recurso pedagógico em aulas de instrumento e canto, ou para contribuir para a própria busca pela excelência de sua performance. Tendo em vista tal perspectiva, prevemos o desenvolvimento de uma plataforma apropriada que possa oferecer a músicos profissionais, professores e alunos instrumentistas, uma interface interativa, que demande do usuário baixo investimento de treinamento, visando fornecer uma ferramenta mais simples e confortável para a pesquisa empírica da performance musical, que facilite a utilização por um maior número de usuários e para um maior volume de dados. Acreditamos que uma ferramenta como esta, devidamente testada e validada em situação real de prática e pedagogia musical, deve apresentar grande potencial de aplicação em diversos setores da prática e do ensino de música. Os resultados deste projeto e eventuais recursos por ele produzidos poderão também despertar interesse na área de pesquisa em outras áreas da música, tais como composição interativa, educação musical e musicoterapia, além de outras artes como teatro, dança e educação artística.

## Referências

- [1] Hugo B de Paula, Hani C Yehia, JA Vasconcelos, and Mauricio A Loureiro. Representing timbre dynamics of a musical instrument: Comparison between ga and pca. In *Proceedings of the 2004 14th IEEE Signal Processing Society Workshop Machine Learning for Signal Processing, 2004.*, pages 381–390. IEEE, 2004.
- [2] Loureiro Mauricio Alves Loureiro, Hugo B de Paula, and Tairone N Magalhães. Modelagem da variação do timbre musical utilizando modelos auditivos e mapas de kohonen. In *I Encontro Nacional de Cognição e Artes Musicais*, pages 156–163, Curitiba, 2006.
- [3] Mauricio A Loureiro and Hugo B de PAULA. Timbre de um instrumento musical: caracterização e representação. *Per Musi*, 14:57–81, 2006.
- [4] Maurício Loureiro, Tairone Magalhaes, Davi Mota, Aluizio Oliveira, and Thiago Campolina. A retrospective of the research on musical expression conducted at cegeme. In Flávio Schiavoni, Tiago Tavares, Rogério Constante, and Régis Rossi, editors, *Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Computer Music*, pages 165–172, São João del-Rei - MG - Brazil, September 2019. Sociedade Brasileira de Computação.
- [5] Renato Rodrigues Lisboa and Maurício Alves Loureiro. O trombone baixo moderno: uma revisão da literatura. In Fausto Borém and Luciana Monteiro de Castro, editors, *di-*

- torial dos Diálogos Musicais na Pós-Graduação: Práticas de Performance N.4. In: Diálogos Musicais na Pós-Graduação: Práticas de Performance N.4.*, pages 274–288. Selo Minas de Som, Belo Horizonte, MG, Brazil, 2019.
- [6] Renato Lisboa, Gustavo Oliveira, Thiago Campolina, and Maurício Alves Loureiro. The effect of the use of the second valve on the duration of legato note transition on bass trombone. In *Proceedings of the 14th International Conference of Students of Systematic Musicology (SysMus21)*, Aarhus, Denmark, November 2021.
- [7] Gustavo Machado Oliveira et al. *Análise do pulso labial no trompete por filtragem inversa*. PhD thesis, Escola de Música, 2020.
- [8] Maurício Alves Loureiro Gustavo Machado Oliveira and Davi Alves Mota. Análise do fluxo labial no trompete através da filtragem inversa adaptative interativa. In *Anais do XXX Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música*, Campina Grande - PB - Brazil, 2020.
- [9] Gustavo Machado Oliveira, Davi Alves Mota, and Maurício Alves Loureiro. Analysis of lip flow in trumpet playing using iterative adaptive inverse filtering. In D Dayser, editor, *Proceedings of the 13th International Conference of Students of Systematic Musicology (SysMus20)*, pages 15–17, York, United Kingdom, September 2020.
- [10] Tiago Lima Bicalho Cruz and Mauricio Alves Loureiro. Analysis of the glottal and supraglottal configuration and acoustic data in countertenor singing. *Per Musi*, 1(40):1–19, Jun. 2021.
- [11] L. Fuks. Acústica e experimentação nas palhetas duplas. In *Coletânea de Trabalhos Apresentados no I Encontro Internacional da Associação Brasileira de Palhetas Duplas e II Encontro Nordeste de Palhetas Duplas*, pages 34–41. UFPB, 2017.
- [12] Ravi Shankar Viana Domingues. *Análise de parâmetros acústicos e psicoacústicos da sonoridade do oboé associados aos diferentes estilos de raspados de palheta*. PhD thesis, Escola de Música, 2018.
- [13] David Ledet. Oboe reed styles. *Theory and Practice (Bloomington 1981)*, 1981.
- [14] Thiago Campolina, Maurício Loureiro, and Davi Mota. Expan: a tool for musical expressiveness analysis. In *Proceedings of the 2nd International Conference of Students of Systematic Musicology*, pages 24–27. IPPEM-Institute for Psychoacoustics and Electronic Music Ghent, 2009.
- [15] Campolina T. de A. M. *Caracterização de Ataques na Clarineta via Modelagem e Decomposição Espectral*. PhD Thesis, 2019, Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Música, 2019. [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/35785/1/Tese\\_ThiagoCampolina.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/35785/1/Tese_ThiagoCampolina.pdf).
- [16] Campolina T. A. M. and M. A. Loureiro. Description of monophonic attacks in reverberant environments via spectral modeling. In *Proceedings of the 14th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research. Perception, Representations, Image, Sound, Music*, pages 534–543, Marseille, France, 2019. [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02382500/file/Proceedings\\_CMMR2019.pdf#page=540](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02382500/file/Proceedings_CMMR2019.pdf#page=540).
- [17] Campolina T. A. M. and M. A. Loureiro. Musical note attacks description in reverberant environments. In Kronland-Martinet R., Ystad S., and Aramaki M., editors, *Perception, Representations, Image, Sound, Music. CMMR 2019. Lecture Notes in Computer Science*, volume 12631, pages 225–247. Springer, Cham, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-70210-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70210-6_16).
- [18] Flávio Luiz Schiavoni. A importância do gesto na análise timbrística da performance musical. In *Artes do Corpo I Corpo das Artes - 14o. Congresso Internacional de estética Brasil*, pages 42–42, Ouro Preto - MG, 2019.
- [19] Thomas D Rossing and Folden B Stumpf. The science of sound. *American Journal of Physics*, 50(10):955–955, 1982.
- [20] MA Loureiro, R Borges, T Campolina, T Magalhaes, D Mota, and HB DE PAULA. Extração de conteúdo musical em sinais de áudio para a análise de expressividade. *Encontro da sociedade brasileira de acústica*, 22:146–152, 2007.
- [21] Keith Stein. *The art of clarinet playing*. Alfred Music, 1958.
- [22] Alexandre Pereira da Silva. Captura do movimento dos dedos de clarinetistas: descrição dos processos metodológicos. *Anais do SIMPOM*, 1(4), 2016.
- [23] Mauricio Alves Loureiro, Davi Alves Mota, Thiago Campolina, Hani Camille Yehia, and Rafael Laboissière. Acolamento interpretativo e sincronização em duos de clarinetas. *OPUS*, 18(2):181–206, 2012.
- [24] Claude Debussy. *Premiere rhapsodie*, 1910.
- [25] Anna Briscoe and James R. Briscoe. Debussy for clarinet solo: The music and the conservatoire context. In *Clarinet-Fest® 2001*, New Orleans, Louisiana, 2001.
- [26] Santiago ABAD. La “première rhapsodie” de claud de-bussy. *Revista de investigación sobre la creación musical y artística de la Asociación de Compositores e Intérpretes Malagueños*, pages 40–56, 2016.
- [27] Tairone Nunes Magalhaes, Felipe Brandão Barros, and Mauricio Alves Loureiro. Iracema: a python library for audio content analysis. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 27(4):127–138, 2020.