

Modelagem matemática: ferramenta potencial para avaliação das inflexões rítmicas na realização musical de estudantes*

Mathematical modeling: A potential tool for the evaluation of timing in students' performance

REGINA ANTUNES TEIXEIRA DOS SANTOS Fundação Municipal de Artes de Montenegro (Fundarte) ▶ jhsreg@adufrgs.ufrgs.br

CRISTINA CAPPARELLI GERLING Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) ▶ cgerling@ufrgs.br

ÁLVARO LUIZ DE BORTOLI Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) ▶ dbortoli@mat.ufrgs.br

resumo

Esse estudo investigou as potencialidades da modelagem matemática como ferramenta de avaliação do produto final do *Ponteio nº 22* de Guarneri, preparado ao longo de 16 semanas, por 15 estudantes (graduandos e pós-graduandos) sem auxílio do professor de instrumento. Para fins comparativos foram utilizadas a execução musical nominal (programa de computador) e aquela de um pianista (registro comercial). A modelagem matemática de um trecho da execução musical dos estudantes permitiu categorizá-los em quatro níveis distintos de realização: i) produto final bom; ii) produto final aceitável; iii) produto final pouco suficiente; e iv) produto final insuficiente, cuja distribuição foi 2, 5, 4 e 4 estudantes, respectivamente. A análise do erro relativo do tempo de execução das notas da linha melódica dos dois primeiros segmentos indicou que o andamento foi o fator mais responsável para os desvios observados. Na população investigada, a manipulação das inflexões rítmicas não se mostrou associada ao nível acadêmico. A abordagem aqui investigada é proposta como potencial ferramenta para desenvolvimento de programas de computação destinados à autoavaliação de produtos gerados por instrumentistas em termos de grau de coerência e desvio aceitável nas inflexões rítmicas de uma dada obra musical interpretada.

PALAVRAS-CHAVE: inflexões rítmicas, modelagem matemática, execução musical

abstract

The present research aimed at investigating the potentialities of mathematical modeling as an evaluation tool of the final product of *Ponteio 22* from Guarneri, prepared within 16 weeks by 15 students (undergraduate and graduate ones), without tuition from their piano teacher. For comparative reasons, nominal performance (computer program) and a pianist (commercial recording) were also employed. Mathematical modeling of a section of the performance allowed categorizing the students in four different levels of competence, namely: i) good final product; ii) satisfactory final product; iii) fair final product; and iv) insufficient final product, which distribution was 2, 5, 4, and 4 students, respectively. The analyses of the relative error of performance time of the notes of the melodic line from the two first segments indicated that the tempo was the factor which was the most responsible for the observed bias. In the investigated sample, the manipulation of timing was not associated to the academic level. The present approach is proposed as a potential tool for developing computer programs devoted to self-evaluation of the production of performers in terms of degree of coherence and acceptable bias of timing in the interpretation of a given musical piece.

KEYWORDS: timing, mathematical modeling, performance

* Agradecemos ao CNPq pelo financiamento da presente pesquisa (Projeto Universal 476204/2010-0).

introdução

A ciência da *performance* é uma área de estudo em consolidação (vide, por exemplo, Williamon; Coimbra, 2007; Williamon; Edwards; Bartel, 2011; Williamon; Pretty; Buck, 2009). Cada vez mais, pesquisas envolvendo recursos tecnológicos (medidas de atividade cerebral, registro de movimentos, análise espectral do som produzido) e ferramentas matemáticas (modelagem) e estatísticas (análise multivariada) vêm sendo empregadas para compreender e sistematizar os processos envolvidos na elaboração e construção de um produto (*performance*) musical. Por exemplo, Windsor (2009) revisou algoritmos e ferramentas estatísticas empregadas na modelagem em *performance*. Goeble e Palmer (2009a), através de recursos de captura de movimento, observaram que os programas motores empregados são distintos em função do andamento da execução. Grahn e McAuley (2009) conseguiram elaborar um modelo matemático capaz de identificar o intérprete a partir da análise do *ritardando* final na *performance* de *Noturnos* de Chopin.

Dentre as diversas linhas de pesquisa na ciência da performance, a investigação das inflexões rítmicas (*timing*) é uma temática bastante atual. Inflexões rítmicas são pequenos desvios realizados na expressão das estruturas rítmicas de uma dada obra musical que geram uma característica singular na realização musical de cada executante. As inflexões rítmicas, quando deliberadas e intencionais, ocorrem graças à manipulação da velocidade relativa entre os eventos nas estruturas temporais, mantendo as proporções da subdivisão métrica e tendo a expressividade por meta. Por exemplo, estudos indicaram a relação entre inflexões rítmicas e características cinemáticas do movimento dos dedos (altura dos dedos em relação à tecla antes do ataque, profundidade da tecla pressionada no ataque, por exemplo), que por sua vez influenciam os eventos subsequentes em uma dada realização musical (Goebl; Palmer, 2008, 2009b; Palmer; Dalla Bella, 2004).

No contexto de *jazz*, Honing e Bas de Haas (2008) estudaram a relação entre inflexões rítmicas e andamento na realização musical de instrumentos de percussão, concluindo que as inflexões rítmicas expressivas não apresentam relação linear com o andamento, ou seja, tocar em andamento rápido ou lento não implica uma maior ou menor manipulação dessas inflexões rítmicas. Conclusões similares foram obtidas na realização musical das *Variações* sobre um tema de Paisello de Beethoven por dois pianistas, em três andamentos distintos (Desain; Honing, 1994).

Em termos de cognição, a análise das inflexões rítmicas na realização musical revela indícios de como o intérprete está compreendendo, organizando e gerenciando o deslocamento das frases no tempo. Por exemplo, Repp (1992a), a partir da observação de 28 gravações de *Träumerei* de Schumann, concluiu que as delimitações entre as fronteiras das frases permitiram somente um pequeno grau de liberdade, levando a uma uniformidade na *performance* dos *ritardandi* nas realizações musicais.

Pesquisas envolvendo análise das inflexões rítmicas demonstraram que seu uso deliberado, ou seja, um pequeno desvio (para mais ou para menos com relação ao valor nominal da figura) com vistas à expressividade na execução musical depende de vários fatores, como características locais (padrões intervalares, fraseado), conhecimento harmônico e tonalidade (Thompson; Cuddy, 1997), aspectos específicos composicionais de expressão (Thompson, 1989), critérios de julgamento (Thompson; Diamond; Balkwill, 1998), entre outros. Esse procedimento é análogo à declamação de um poema, onde o locutor, ao interpretá-lo, realiza tanto (micro)pausas ou (micro)acelerandos em sua fala para enfatizar seu sentido, assim como salienta algumas palavras com vistas a conferir expressão, sem que perca a identidade e coerência do sentido do texto.

Pesquisas envolvendo análise das inflexões rítmicas, geralmente, empregam linhas melódicas delimitadas, como o início do *Träumerei* de Schumann (Repp, 1992b) ou as cinco primeiras notas do *Estudo Op. 10 nº 3* de Chopin (Repp, 1998). Kopiez (2006) critica a limitação desse tipo de análise e sugere abordagens que levem à possibilidade de análise simultânea de várias linhas, em diversas dimensões (compasso a compasso, frase a frase), de forma a contemplar a complexidade do pensamento musical existente na realização musical. Da mesma forma, a população investigada tem sido consistentemente constituída por instrumentistas a partir de gravações comerciais (Repp, 1992a, 1992b, 1998) ou da realização por músicos profissionais (Canazza; De Poli, Vidolin, 1997; Repp, Keller, 2010). Com relação às modelagens de inflexões rítmicas na realização musical (Delgado; Fajardo; Molina-Solana, 2011; Tomic; Janata, 2008), as pesquisas em geral também se restringem apenas à modelagem de uma linha melódica curta (vide, por exemplo, Friberg; Bresin; Sundberg, 2006; Mavromatis, 2009). Cabe esclarecer que modelagens matemáticas são processos dinâmicos de busca de um sistema/estrutura matemáticas que descrevam aproximadamente as características de um fenômeno em questão.

Em nossas pesquisas, a investigação da preparação do repertório por estudantes de piano (graduandos e pós-graduandos) demonstrou haver correlações fortes (Pearson) entre contorno musical-inflexões rítmicas (0,719), andamento-inflexões rítmicas (0,725) e inflexões rítmicas-coerência global (0,779) (Gerling; Santos; Domenici, 2010). A relação entre dinâmica e inflexões rítmicas foi média (0,536). Tendo em vista que a dinâmica é um fator de expressão que pode ser alterado pelo próprio ataque da nota, a correlação média pode ocorrer em função do intérprete, da percepção dos ouvintes ou ainda da sensibilidade de registro de áudio. A literatura específica da área (Dunsby, 1995; Hong, 2003; Todd, 1992) tem afirmado que inflexões rítmicas e a dinâmica normalmente encontram-se vinculadas naquilo que Dunsby (1995) denominou de lógica motora, ou seja, a tendência de enfatizar *crescendos* com *accelerando* e *decrescendos* com *ritardando*. O autor aponta também para o fato que essa relação é mais controlada numa realização musical em nível mais elevado de domínio artístico.

Ao nosso conhecimento, a investigação da manipulação das inflexões rítmicas na interpretação de uma dada obra musical por estudantes ainda não foi investigada na literatura. Além disso, o material musical investigado geralmente é restrito a pequeno número de notas, em geral composto ou extraído do repertório sob forma de uma linha melódica, seja em pesquisas empíricas (geralmente voltadas à percepção por ouvintes), seja na modelagem. Assim, surgiram-nos alguns questionamentos: a manipulação das inflexões rítmicas encontra-se dependente do grau de competência vinculada ao nível acadêmico do estudante? É viável trabalhar em contextos polifônicos em trechos maiores que uma linha melódica ou uma série de notas? Qual a viabilidade e representatividade de uma modelagem da execução musical de um trecho musical? O presente artigo apresenta e discute as potencialidades e limitações da investigação da manipulação de inflexões rítmicas por graduandos e pós-graduandos em piano na execução musical de um Ponteio de Guarneri. Os dados obtidos foram comparados ao produto comercial de um pianista profissional e aquele gerado por um computador, este último realizado com valor nominal, ou seja, isento de quaisquer microvariações rítmicas.

O presente artigo discute as inflexões rítmicas a partir de uma série de análises, partindo da interpretação da obra como um todo, em termos de andamento médio e tempo local despendido em cada frase, até chegar à identificação e escolha da frase tomada como determinante da dispersão entre as interpretações. Os resultados da modelagem da *performance* dessa frase são discutidos com relação à *performance* nominal (computador) e comercial (pianista), tomadas com padrões.

método

Participantes

A população-alvo envolvida foi constituída dos alunos voluntários (de graduação e pós-graduação) que frequentavam o Laboratório de Execução Musical da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Quinze estudantes de piano (graduação e pós-graduação) participaram da pesquisa. No presente manuscrito, G refere-se a estudantes de graduação, M de mestrado e D de doutorado. O número que segue à letra indica o ano em que o estudante se encontra. O uso de letras minúsculas (a, b, c) representa diferentes estudantes pertencentes à mesma categoria. Assim, por exemplo, D1b significa um segundo estudante de doutorado pertencente ao primeiro ano.

Coleta de dados

Em um delineamento quase-experimental, o conjunto de estudantes estudou, sem auxílio de seu professor de piano, o *Ponteio nº 22* de Guarneri (1907-1993) durante 16 semanas. A execução musical como produto final desse experimento foi registrada nas 14^a e 15^a semanas, e cada estudante selecionou aquela que considerou como sendo a melhor, e que foi respeitado e mantido na presente investigação.

Tratamento dos dados

Os arquivos em áudio foram convertidos em .wav, .mp3 e .dat, de acordo com o *software* para tratamento dos dados. Para fins comparativos, foram empregados a realização comercial de um pianista profissional e aquela gerada por um computador, a partir da transcrição da partitura para o *software* Finale Allegro® 2007. Os produtos convertidos foram analisados pelos *softwares* SonyVisualizer® e Wavosaur®. A modelagem foi realizada por análise numérica. Os dados foram comparados em termos de erro relativo e média da raiz do erro quadrático.

O erro quadrático médio (MSE – *mean squared error*) é uma técnica usada para quantificar diferenças entre um conjunto de dados estimados e o valor verdadeiro de uma quantidade de interesse. Esse incorpora tanto a variância do estimador, como o correspondente viés (tendência). Para um estimador isento de viés (ou seja, sem erro sistemático), o MSE corresponde à variância. A vantagem do emprego de MSE reside em: i) ponderar significativamente valores atípicos (*outliers*); ii) ser facilmente aplicável; e iii) possuir propriedades matemáticas, mais especificamente, aquela de cálculo de derivadas, o que permite a determinação de mínimos (De Groat, 1986).

O nível sonoro medido por um instrumento de medida é usualmente correspondente à raiz do valor quadrático médio (RMS – *root mean square*) da amplitude do sinal acústico. O valor de RMS permite calcular o erro da raiz do valor quadrático médio (RMSE – *root mean square error*), que para um estimador sem viés corresponde à raiz quadrada da variância. RMSE é uma medida da magnitude (valores positivos ou negativos) de uma quantidade de variação de uma série de valores discretos ou da variação de uma função contínua. No presente caso, é mais adequado expressar os resultados baseados no RMSE, pois é uma medida do tamanho típico do erro, além de serem medidas nas mesmas unidades dos dados (vide, por exemplo, Berger, 1985).

Com base nessas considerações, os dados foram comparados em termos de raiz do valor quadrático médio (RMSE) tanto com relação à realização nominal (Dn), como com relação àquela do produto comercial do pianista profissional (Dp), ambos usados, alternadamente, como padrões, de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente

$$D_n = \sqrt{\frac{1}{N_i} \sum_{\Upsilon}^{N_i} |V - V_n|} \quad (\text{eq. 1})$$

$$D_p = \sqrt{\frac{1}{N_i} \sum_{\Upsilon}^{N_i} |V - V_p|} \quad (\text{eq. 2})$$

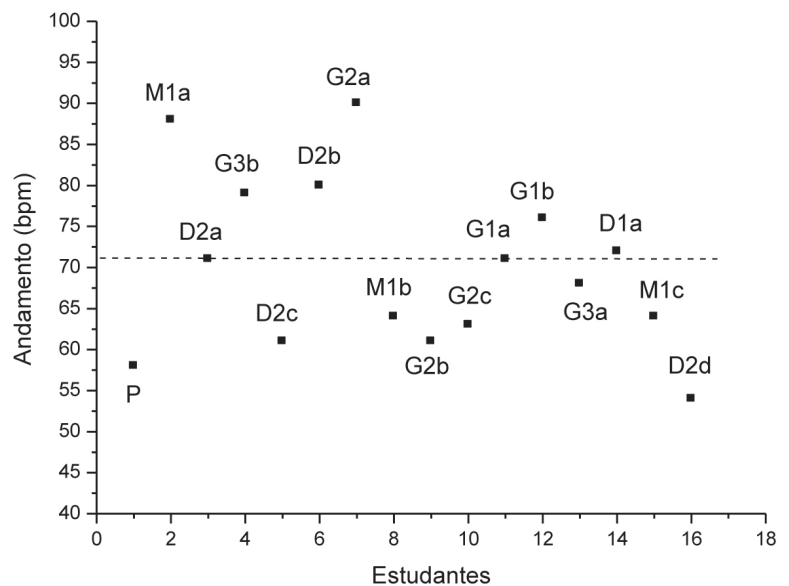
Onde V é o valor médio em cada ponto, V_n , o valor nominal (padrão) ou da VP valor da realização do pianista nesse ponto. Cabe elucidar que no trabalho aqui realizado, um trecho de *performance* foi convertido em um gráfico bidimensional onde o eixo X contém a informação tempo, e o eixo Y, a intensidade do sinal, correspondendo a cerca de 800.000 pontos (em média) para cada *performance*. De posse dessas curvas (ou tabelas com colunas X e Y), *softwares* de programação trabalharam com o conjunto inteiro de dados, fazendo inúmeras interações de forma que uma equação (buscada pelo modelo) ajuste-se o melhor possível à curva experimental (*performance*) convertida. O resultado com RMSE mais baixo é interpretado como aquele que melhor representa a variabilidade da observação: quanto mais próximo de zero, melhor a estimativa do modelo.

A Figura 1 apresenta a distribuição do andamento executado pelo grupo de estudantes na execução do *Ponteio nº 22* de Guarnieri. A linha pontilhada corresponde a 72 bpm, andamento solicitado pelo compositor. O andamento médio empregado foi calculado levando em conta o tempo total de execução e o número total de compassos.

resultados e discussões

FIGURA 1

Andamento adotado pelos estudantes na execução do *Ponteio nº 22* de Guarnieri. G = graduando; M = mestrando; D = doutorando; P = pianista. O número refere-se ao ano acadêmico do estudante. Letras minúsculas referem-se a diferentes estudantes pertencentes ao mesmo nível acadêmico. $N = 15$. A linha tracejada refere-se ao andamento indicado pelo compositor (72 bpm).



De acordo com a Figura 1, a maioria dos estudantes (12 entre os 15 participantes) tocou a peça em um andamento compreendido entre 63 e 83 bpm. Nenhuma relação entre nível acadêmico e desvio do andamento requerido pelo compositor pode ser constatada.

O *Ponteio nº 22* de Guarnieri é estruturado em quatro frases, totalizando 16 compassos centrados em Fá. A riqueza do colorido modal sugerido pelo abaixamento do sexto grau é sustentada pela formação de trítonos em ondulações cromáticas apaziguadas apenas pelo acorde final. A peça é composta por quatro frases (4 + 3 + 5 + 4). No presente trabalho, um estudo mais detalhado da execução dos estudantes foi realizado levando em conta o tempo local despendido na execução de cada uma das frases, conforme ilustrado na Figura 2. Os dados foram reunidos em dois grupos, levando em conta a distribuição observada com relação à terceira frase: cerca da metade dos estudantes tocaram mais lentamente que o andamento solicitado (Grupo 1), enquanto a outra metade tocou em andamento mais movido. Para fins comparativos, dados referentes ao produto comercial de um pianista profissional e ao padrão (tempo nominal, sem desvio temporal) foram incluídos no detalhe da Figura 2.

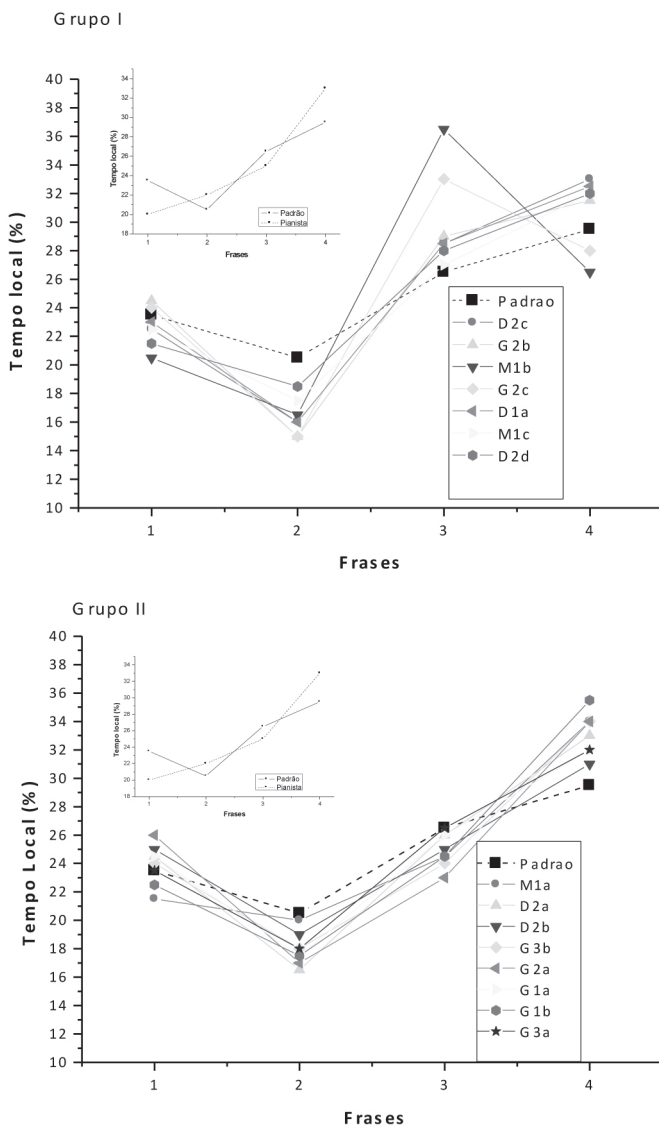


FIGURA 2

Percentual de tempo gasto em cada frase. Dados reunidos em dois grupos: (a) Grupo I, que despende mais tempo na frase 3; (b) Grupo II, que despende menos tempo na frase 3. No detalhe: comparação com a percentagem gasta pelo pianista (gravação comercial) e padrão (tempo nominal). G = graduando; M = mestrando; D = doutorando. O número refere-se ao ano acadêmico do estudante. Letras minúsculas referem-se a diferentes estudantes pertencentes ao mesmo nível acadêmico. N = 15.

De acordo com a Figura 2, a maioria dos estudantes (13) despendeu mais tempo na execução da quarta frase, se comparada com o tempo nominal previsto, descrito pelo padrão. Apenas dois estudantes (G2c e M1b – Grupo I) gastaram menos tempo na realização da quarta frase. Aparentemente, o Grupo II, analogamente à realização do pianista profissional, despendeu mais tempo na execução da última frase, seguido da terceira, que, por sua vez, foram executadas mais lentamente que a segunda frase. Cabe salientar que a realização do pianista profissional difere tanto dos estudantes do Grupo I, como do Grupo II com relação ao tempo relativo gasto na frase 2, uma vez que, contrariamente ao padrão, leva mais tempo para tocar essa frase. No *Ponteio n° 22* de Guarnieri, as duas primeiras frases (comp. 1-7) apresentam o sentido de antecedente-consequente. Dessa forma, a abordagem conferida pelo pianista privilegia a chegada ao clímax (início do comp. 8), no início da terceira frase.

Ainda de acordo com a frase 3 (Figura 2), há divisão clara no comportamento dos estudantes: alguns aceleram a *performance*, e outros desaceleram em termos de tempo local despendido. No caso do Grupo II, observamos que esse grupo de estudantes compensa o *accelerando*, executando a última semifrase mais lentamente que a terceira. Para melhor compreensão, a Figura 3 ilustra a frase 3 desse *Ponteio*, disposta em quatro segmentos (S), cada um constituído de seis notas (N).

The image shows a musical score for the third phrase of Ponteio n° 22 by Guarnieri, measures 8-12. The score is divided into four segments (S1, S2, S3, S4) and six notes (N1-N6). S1 and S2 are the first two measures, S3 and S4 are the last two measures. The notation includes treble and bass staves with various musical symbols like slurs, accents, and dynamics.

FIGURA 3

Trecho do *Ponteio n° 22* de Guarnieri, comp. 8-12, S = segmento. N = nota.

Conforme ilustrado na Figura 3, essa terceira frase (comp. 8-12) é subdividida em duas semifrases (2 + 3), e o ponto culminante é atingido através da expansão do espectro do registro (comp. 8, Fá1-Sol5) acoplado com um aumento sutil da densidade (quatro camadas) e o uso do contraponto imitativo entre o soprano e contralto, dispostos sob forma de sequências descendentes entre a primeira e a segunda semifrases. Essa terceira frase parece exigir decisões interpretativas com relação às inflexões rítmicas. Quando os estudantes

optaram por acelerar, parece ter havido a perda de caráter relacionado ao “Triste”, indicado pelo compositor. As indicações de crescendo e decrescendo nos compassos 8-12 parecem sustentar essa hipótese interpretativa. Cabe salientar que a quarta frase (comp. 13-16) recapitula para concluir os eventos apresentados nas duas primeiras frases.

Assim, levando em conta as considerações acima apontadas, pode-se assumir o papel crucial dos eventos delineados nessa terceira frase. Portanto, a análise da realização dessa terceira frase pode fornecer indícios de níveis de competência dos estudantes, bem como apontar aspectos relevantes quanto às suas decisões interpretativas. Dessa forma, considerando o caráter “Triste” da obra e as características estruturais dessa terceira frase, o Grupo II (vide Figura 2), que acelerou nessa frase, assume uma decisão interpretativa menos coerente com o caráter requisitado a ser comunicado.

A análise das duas semifrases demonstrou que os participantes levaram, aproximadamente, o mesmo percentual de tempo tocando cada uma delas: $49,24 \pm 2,10$ e $50,75 \pm 2,11$, respectivamente para a primeira e a segunda semifrase. Esses resultados sugerem que a diferença observada na Figura 2 deva ser decorrente de aspectos ligados a cada um dos segmentos, correspondentes a cada compasso.

No entanto, não se pode negligenciar que a manipulação das inflexões rítmicas refere-se tanto ao desvio do tempo de ataque da nota como também das implicações de articulação e de dinâmica. Segundo Palmer (1997), expressão musical refere-se aos microdesvios nas inflexões rítmicas e na dinâmica das notas musicais com relação ao que se encontra escrito na partitura. Uma análise da onda sonora produzida pelos estudantes demonstra que os perfis sonoros produzidos são distintos, conforme ilustra a Figura 4.

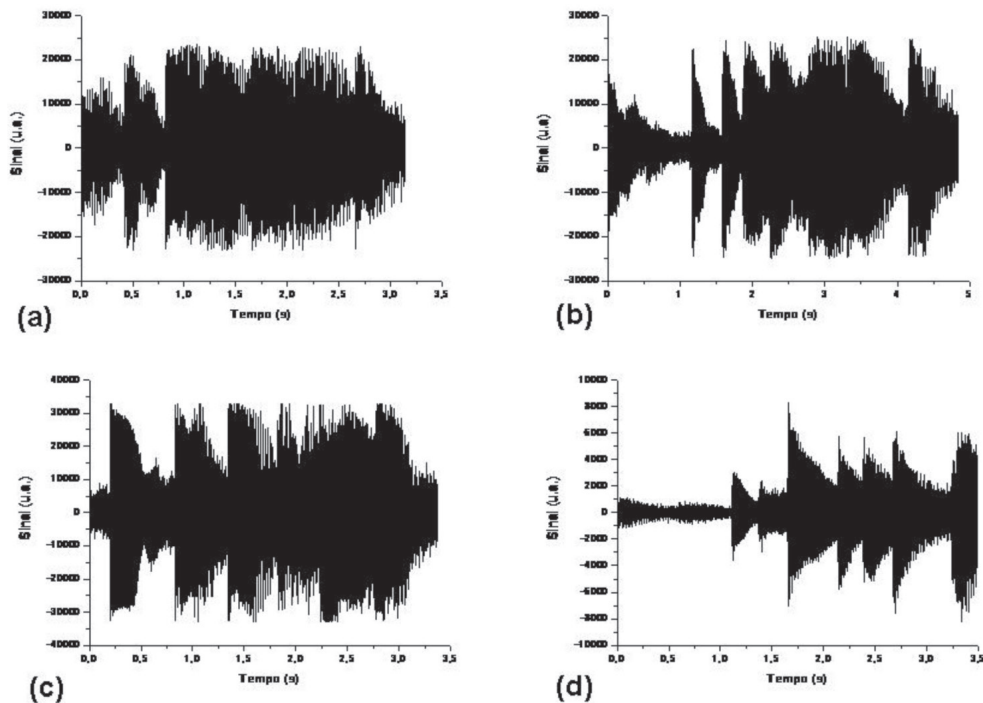


FIGURA 4

Perfil da onda sonora relativa à realização do segmento 1 da terceira frase do Ponteio n° 22 de Guarnieri, gerado após conversão em .wav: (a) D2a; (b) G2c; (c) G1b; (d) Pianista. Ordenada sinal (em unidades arbitrárias) e abscissa tempo (em segundos).

Da mesma forma, os espectrogramas mostram diferenças em intensidade da *performance* dos estudantes, conforme apresentado na Figura 4. Cabe salientar que o espectro sonoro do pianista profissional encontra-se atenuado, tendo em vista as condições de registro fonográfico distintos daqueles empregados na coleta das execuções musicais dos estudantes.

Na sequência, a terceira frase foi posteriormente analisada a partir da modelagem matemática do terceiro fragmento, que gerou uma série de curvas representadas na Figura 5. Os dados não foram normalizados em relação ao andamento (tempo total da realização das frases) a fim de não afetar a qualidade dos mesmos. Portanto, considerando que houve oscilação no andamento de cada estudante, cada fragmento possui diferente duração. A Figura 5 representa as curvas geradas a partir das modelagens da execução musical dos estudantes, assim como aquela do padrão e do produto do pianista.

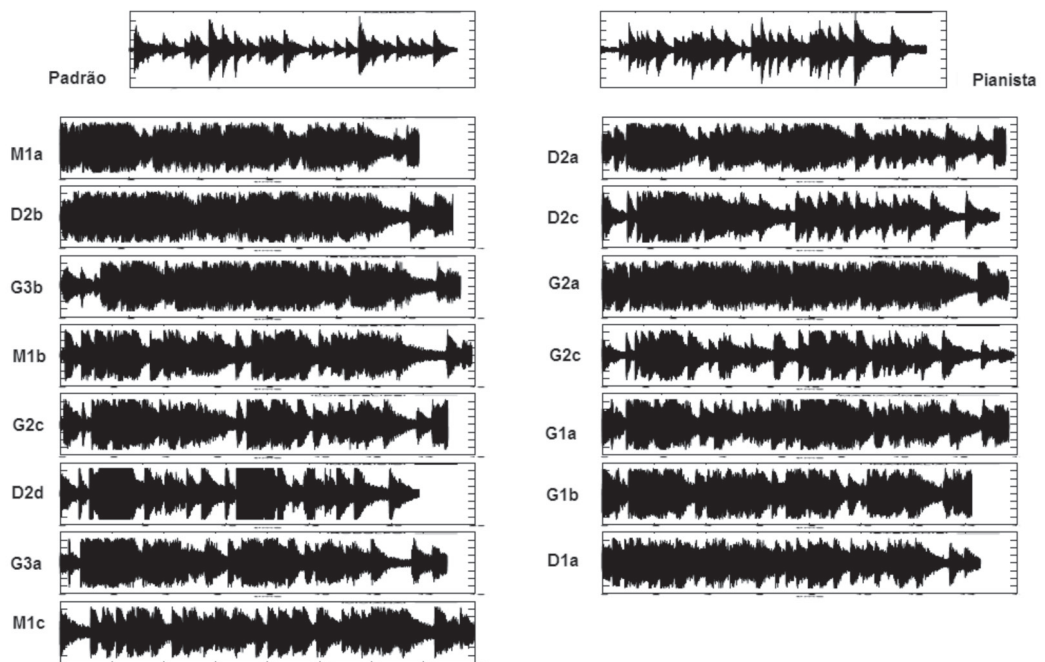


FIGURA 5

Representação das modelagens das realizações da terceira frase do Ponteio n° 22 de Guarnieri pelos estudantes. G = graduando; M = mestrando; D = doutorando. O número refere-se ao ano acadêmico do estudante. Letras minúsculas referem-se a diferentes estudantes pertencentes ao mesmo nível acadêmico. $N = 15$.

Os resultados foram comparados tendo como base o cálculo da média da raiz do erro quadrático com relação ao padrão ($D_{\text{padrão}}$) e pianista profissional (D_{pianista}). A Tabela 1 apresenta os valores de desvio obtidos para cada um dos estudantes.

Estudante	Pontos	D _{padrão}	D _{pianista}
M1a	457627	18,7	19,0
G3b	510590	17,3	17,6
G2a	517947	16,9	17,4
D2d	953513	15,9	15,2
D2b	584173	15,8	16,7
G1b	628318	15,5	16,2
G1a	605245	15,5	16,1
D2a	600360	14,4	15,5
M1b	700420	14,2	15,0
G2b	659205	14,0	15,1
D1a	643032	13,8	14,9
M1c	703348	13,6	14,6
G3a	657733	13,5	14,8
D2c	759262	12,4	12,8
G2c	875506	11,9	11,6
Padrão	668047	0	8,00
Pianista	829909	8,00	0

TABELA 1

Dados de desvios relativos na performance do Ponteio nº 22 de Guarnieri pelos estudantes em relação àquela do padrão (referente à realização nominal) e àquela do pianista. G = graduando; M = mestrando; D = doutorando. O número refere-se ao ano acadêmico do estudante. Letras minúsculas referem-se a diferentes estudantes pertencentes ao mesmo nível acadêmico. N = 15.

Uma análise dos resultados de erro quadrático médio aponta que os desvios não parecem estar relacionados com o nível acadêmico dos estudantes, pois dois (D2b e D2d) dos quatro doutorandos, por exemplo, obtiveram desvio-padrão relativamente elevando. Na Tabela 1 podem ser observados quatro grupos classificados em nível de competência:

- (i) 11-12,5 (produto final bom) (2 estudantes: G2c, D2c)
- (ii) 12,5-13,9 (produto final aceitável) (5 estudantes: G3a, M1b, M1c, D1a, D2a)
- (iii) 13,9 -15,8 (produto final pouco suficiente) (4 estudantes: G1a, G1b, G2b, D2b)
- (iv) 15,8-18,5 (produto final insuficiente) (4 estudantes: D2d, G2a, G3b, M1a)

Sete dos estudantes investigados atingiram grau de realização aceitável ou bom. Curioso observar que os dois estudantes do primeiro semestre de graduação (G1a e G1b) atingiram o mesmo desvio de erro (15,5) – (vide Tabela 1). Esse comportamento pode sugerir que esses estudantes estão tendo o mesmo padrão de erros, tais como imprecisão de acuidade rítmica e de alturas, por exemplo. Da mesma forma, um estudante de graduação (G2c) atingiu um baixo desvio em relação à realização do padrão e do pianista profissional.

Uma comparação do grau de desvio no erro quadrático médio com o desvio em relação ao andamento indicado na partitura sugere que um dos parâmetros responsáveis por tal desvio possa ser o andamento. Uma análise do erro relativo do tempo de execução das notas N1 a

N6 dos dois primeiros segmentos com relação ao tempo nominal permitiu comprovar essa suposição. Por exemplo, a Figura 6 representa a comparação do segmento 1, agrupada segundo os quatro grupos acima mencionados.

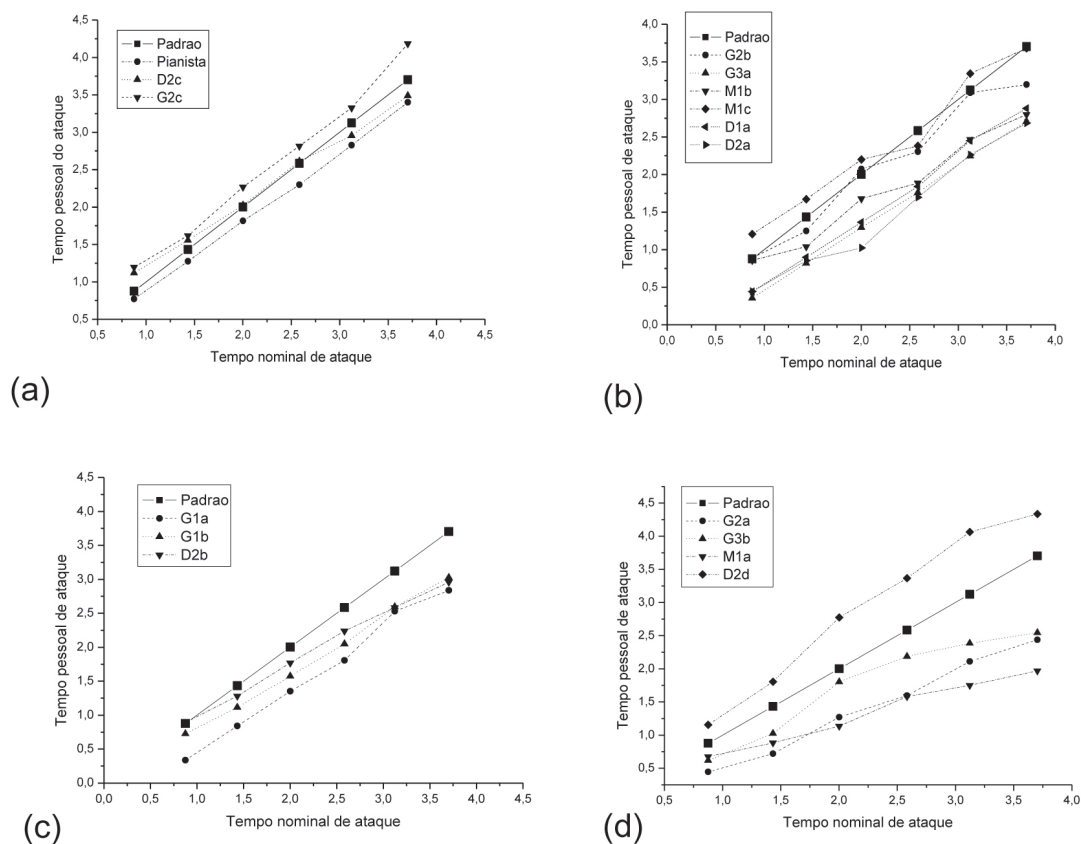


FIGURA 6

Tempo de ataque da nota prevista (nominal) e aquela realizada pelos estudantes. G = graduando; M = mestrando; D = doutorando. O número refere-se ao ano acadêmico do estudante. Letras minúsculas referem-se a diferentes estudantes pertencentes ao mesmo nível acadêmico. N = 15.

De acordo com Figura 6, os estudantes D2c e G2c encontram-se muito próximos das curvas que representam a *performance* nominal e aquela do pianista. O grupo de estudantes do grau “aceitável” (Figura 6b) compensa com *micro-accelerandi* e *micro-ritardandi* o tempo de ataque das seis notas. Os grupos representados em (c) e (d) afastam-se mais do padrão nominal, sem apresentar uma tendência de compensação. Cabe salientar que o grupo “insuficiente” é o grupo que desprezou o andamento, encontrando-se bem mais abaixo que a curva que descreve o comportamento do padrão (vide Figura 6d). Comportamento semelhante foi observado com relação ao segmento 2.

considerações finais

O presente estudo demonstrou a possibilidade da modelagem matemática como instrumento de avaliação de produtos executados pelos estudantes. Para isso, os procedimentos de análise foram realizados a partir e em função das decisões interpretativas do grupo investigado. Por essa razão, a terceira frase foi tomada como elemento-chave para fins de modelagem em função das características interpretativas do grupo.

Cabe ainda salientar que, se por um lado, essa ferramenta de análise permite um tratamento holístico da interpretação dos estudantes, por outro lado, não possibilita ainda uma análise isolada do efeito de cada parâmetro de expressão musical (tais como articulação, dinâmica, contorno, etc.) em cada interpretação.

A presente pesquisa demonstrou ainda que, na população investigada, a manipulação das inflexões rítmicas do *Ponteio nº 22* não esteve associada ao nível acadêmico. As decisões interpretativas na peça investigada, preparada sem auxílio do professor de instrumento, em termos de conhecimento estrutural, não apontaram profundidade na abordagem da obra em questão. Os resultados sugerem que os estudantes realizam um tipo de estudo focado na obtenção imediata de um produto, e, nesse aspecto, quase a metade da população investigada (sete entre os quinze participantes) mostrou um grau de competência satisfatório. Entretanto, o foco e interesse deliberado em atingir um produto artístico não parece ser o principal objetivo da população investigada em relação à preparação dessa obra.

Através de análise numérica, foi possível modelar a realização musical real dos estudantes, com custo computacional aceitável para obtenção das curvas que descrevem a produção sonora. Dessa forma, o cálculo de erro quadrático médio pode funcionar como um guia de avaliação das inflexões rítmicas nas realizações de uma dada obra musical. Especificamente, do ponto de vista de implicações potenciais para a educação musical, essa abordagem pode servir de ferramenta para desenvolvimento de programas de computação (em colaboração com profissionais da ciência da computação) destinados à autoavaliação de produtos gerados por instrumentistas em termos de grau de coerência e de desvio aceitável (ou não) nas inflexões rítmicas de uma dada obra musical interpretada. Além disso, essa ferramenta poderia também vir a ter aplicações em cursos de educação à distância, como dispositivo complementar de autoavaliação para a prática instrumental. Do ponto de vista das situações de ensino e aprendizagem, tal dispositivo poderia ainda fornecer indícios quantitativos do grau de liberdade assumido pelo estudante ou de negligência às convenções estilísticas aceitáveis na *performance* de uma dada obra.

referências

- BERGER, J. O. *Statistical decision theory and Bayesian Analysis*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1985.
- CANAZZA, S.; DE POLI, G.; VIDOLIN, A. Perceptual analysis of the musical expressive intention in a clarinet performance. *Lectures Notes in Computer Science*, v. 1317, p. 441-450, 1997.
- DE GROAT, M. H. *Probability and statistics*. 2nd ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1986.
- DELGADO, M.; FAJARDO, W.; MOLINA-SOLANA, M. A state of the art on computational music performance. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 155-160, 2011.
- DESAIN, P.; HONING, H. Does expressive timing in music performance scale proportionally with tempo? *Psychological Research*, v. 56, p. 285-292, 1994.
- DUNSBY, J. *Performing music: shared concerns*. Oxford: Clarendon Press, 1995.
- FRIBERG, A.; BRESIN, R.; SUNDBERG, J. Overview of the KTH rule system for musical performance. *Advances in Cognitive Psychology*, v. 2, n. 2-3, p. 145-161, 2006.
- GERLING, C. C.; SANTOS, R. A. T. dos; DOMENICI, C. O efeito do estímulo aural ou visual de parâmetros de performance por estudantes de piano. In: CONGRESSO DA ANPPOM, 20., 2010, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Udesc, 2010. p. 1160-1167.
- GOEBL W.; PALMER C. Tactile feedback and timing accuracy in piano performance. *Experimental Brain Research*, v. 186, p. 471-479, 2008.
- _____. Finger motion in piano performance: Touch and tempo. In: WILLIAMON, W.; PRETTY, S.; BUCK, R. (Org.). *Proceeding of the International Symposium on Performance Science*. Utrecht: AEC, 2009a. p. 65-70.
- _____. Synchronization of timing and motion among performing musicians. *Music Perception*, v. 26, p. 427-438, 2009b.
- GRAHN, J. A.; McAULEY, J. D. Neural bases of individual differences in beat perception. *Neuroimage*, v. 47, p. 1894-1903, 2009.
- HONG, J.-L. Investigating expressive timing and dynamics in recorded cello performance. *Psychology of Music*, v. 31, p. 340-352, 2003.
- HONING, H.; BAS DE HAAS, W. Swing once more: Relating timing and tempo in expert jazz drumming. *Music Perception*, v. 25, p. 471-476, 2008.
- KOPIEZ, R. Making music and making sense through music. In: COLWELL, R. (Ed.). *MENC handbook of musical cognition and development*. New York: Oxford University Press, 2006. p. 189-224.
- MAVROMATIS, P. A multi-tiered approach for analyzing expressive inflexões rítmicas in music performance. *Communications in Computer and Information Science: Mathematics and Computation in Music*, v. 28, p. 193-204, 2009.
- PALMER, C. Music performance. *Annual Review of Psychology*, v. 48, p. 115-138, 1997.
- PALMER, C.; DALLA BELLA, S. Movement amplitude and tempo change in piano performance. *Journal of Acoustical Society of America*, v. 115, p. 2590, 2004.
- REPP, B. H. Diversity and commonality in music performance: An analysis of timing microstructure in Schumann's "Träumerei". *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 92, p. 2546-2568, 1992a.
- _____. A constraint on the expressive timing of a melodic gesture: Evidence from performance and aesthetic judgement. *Music Perception*, v. 10, n. 2, p. 221-242, 1992b.
- _____. Individual differences in shaping a musical phrase: The opening of Chopin's Etude in E Major. In: YI, S. W. (Ed.). *Proceedings of the 5th International Conference on Music Perception and Cognition*. Seoul, 1998. p. 27-34.
- REPP, B. H.; KELLER, P. E. Self versus other in piano performance: detectability of timing perturbations depends on personal playing style. *Experimental Brain Research*, v. 202, p. 101-110, 2010.
- THOMSON, W. F. Composer-specific aspects of musical performance: An evaluation of Clynes theory of "pulse" for performance of Mozart and Beethoven. *Music Perception*, v. 7, p. 15-42, 1989.

THOMPSON, W. F.; CUDDY, L. L. Music performance and the perception of key. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v. 23, p. 116-135, 1997.

THOMPSON, W. F.; DIAMOND, C. T. P.; BALKWILL, L. The adjudication of six performances of a Chopin Etude: A study of expert knowledge. *Psychology of Music*, v. 26, p. 154-174, 1998.

TOMIC, S. T.; JANATA, P. Beyond the beat: Modeling metric structure in music and performance. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 124, n. 6, p. 4024-4041, 2008.

TODD, N. P. The dynamics of dynamics: A model of musical expression. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 91, p. 3540-3550, 1992.

WILLIAMON, A.; COIMBRA, D. (Org.). *Proceeding of the International Symposium on Performance Science*. Porto: AEC, 2007.

WILLIAMON, A.; EDWARDS, D.; BARTEL, L. (Org.). *Proceeding of the International Symposium on Performance Science*. Toronto: AEC, 2011.

WILLIAMON, W.; PRETTY, S.; BUCK, R. (Org.). *Proceeding of the International Symposium on Performance Science*. Utrecht: AEC, 2009.

WINDSOR, W. L. Measurements and models of performance. In: HALLAM, S.; CROSS, I.; THAUT, M. (Ed.). *The Oxford handbook of music psychology*. New York: Oxford University Press, 2009. p. 323-331.

Recebido em
01/12/2011

Aprovado em
02/02/2012