

Sobre o acoplamento corda-corpo em guitarras elétricas e sua relação com o timbre do instrumento

Rodrigo Mateus Pereira,^{1,*} Albary Laibida Junior,^{2,3,†} e Thiago Corrêa de Freitas^{4,‡}

¹Tecnologia em Luteria,

Universidade Federal do Paraná,

R. Dr. Alcides Vieira Arcoverde, 1255, 81520-260, Curitiba, Paraná, Brasil

²Faculdades Integradas Espírita - FIES,

R. Tobias de Macedo Júnior, 246, 82010-340, Curitiba, Paraná, Brasil

³Centro Universitário Campos de Andrade,

R. João Scuissato, 1, 80310-310, Curitiba, Paraná, Brasil

⁴Departamento de Física

Universidade Federal do Paraná,

C. P. 19044, 81531-980, Curitiba, Paraná, Brasil

Foram construídos 9 corpos de guitarra elétrica no modelo Telecaster pelo autor RMP, estes foram montados utilizando-se o mesmo conjunto de braço e captador. Uma vez que cada corpo foi montado, procedeu-se realizando a excitação mecânica de duas cordas da guitarra elétrica, o som obtido diretamente do instrumento musical foi gravado para posterior análise. Também foi gravado um trecho musical tocado com cada guitarra elétrica. Para estes sons foi realizado um tratamento de forma a se obter os harmônicos que os formam via transformada de Fourier, estes harmônicos são reponsáveis pelo timbre do instrumento. Os espectros de harmônicos de cada guitarra elétrica são comparados entre si e não se verificam diferenças significativas entre eles. Assim, as variações de timbre de guitarras elétricas, segundo os resultados aqui obtidos, dependem de outros fatores que não a madeira do corpo em si, fato que decorre da não existência de uma acoplamento significativo entre a corda e o corpo do instrumento. Também é feita uma proposta de modelagem do acoplamento corda-corpo, a qual mostra que apenas uma quantidade desprezível de energia da corda vibrante chega até o corpo do instrumento e que uma quantidade menor ainda retorna até a corda.

I. INTRODUÇÃO

A confecção de instrumentos musicais exige uma mão de obra extremamente especializada e também materiais que passam por processos de seleção muitas vezes não científicos, porém rigorosos. A segunda premissa é válida para instrumentos diversos, como exemplo tem-se: o pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) usado em arcos para instrumentos de corda, o ébano (*Diospyros eburnum*) usado nos tubos de instrumentos de sopro como o clarinete e o oboé. Estes materiais já são bem estabelecidos, e resistem apesar de tentativas de introdução de outros materiais sintéticos ou menos ameaçados na natureza [1]. Esta resistência advém tanto de questões técnicas reais, como de tradições obscuras que pouco resistiriam a uma análise científica detalhada [1–3]. Nosso objetivo é analisar a influência de diferentes tipos de madeira no timbre da guitarra elétrica e entender as relações de acoplamento da corda com o corpo do instrumento. É importante salientar que neste caso a situação é diferente da situação dos instrumentos acústicos, pois a obtenção do som na guitarra elétrica se dá através de um processo de indução eletromagnética [4–9]. Assim para que o som seja influenciado pelo corpo do instrumento, a corda precisa interagir com o este de forma a alterar sua vibração, pois somente a vibração da corda é capturada pelo captador e transformada posteriormente em som [8, 9]. Alguns estudos realizados com diferentes tipos de madeiras sugerem que dife-

rentes madeiras interagem de forma diferente com o som [10], algo esperado para materiais não-homogêneos e com propriedades anisotrópicas como a madeira. Estes estudos porém consideram apenas a madeira, e não o instrumento montado como feito neste trabalho. Por outro lado Hiscock [11] diz que, experimentando duas guitarras elétricas de uma renomada marca norte-americana, idênticas em todos os sentidos, inclusive de mesmo ano de fabricação, tendo com única distinção a madeira do corpo, sendo uma delas *Fraxinus americana* (comumente chamada de ash, ash americana ou ash branca) e a outra *Alnus rubra* (comumente chamada de alder ou alder vermelha), ambas soaram iguais na questão timbre.

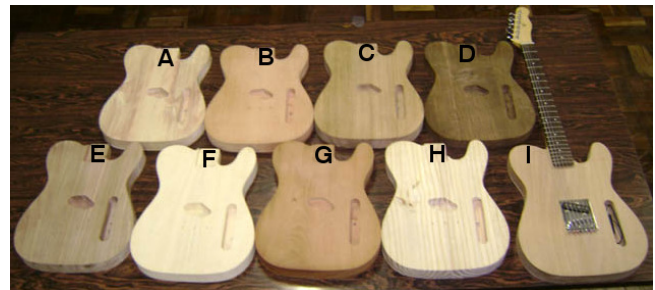


Figura 1: Corpos construídos das diferentes madeiras nomeadas na Tab. I. O corpo I encontra-se montado com o braço e o captador utilizados no experimento.

*rodrigomateus@ufpr.br

†albarylaibida@yahoo.com.br

‡tcf@ufpr.br

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise dos sons das guitarras elétricas com corpos de diferentes madeiras, ver Tab. I e Fig. 1, foram realizados alguns procedimentos para garantir a reprodutibilidade dos dados, sendo: o braço, o captador, a ponte e as tarraxas utilizados foram os mesmos para os diferentes corpos, também foi utilizado um conjunto novo de cordas *GEEGST 10 Série Guitarra* da marca Giannini para cada corpo.

Tabela I: Madeiras utilizadas na construção dos corpos das guitarras elétricas, de A até I. São apresentados o nome vulgar, o nome científico, a massa do corpo e a velocidade de propagação do som no corpo.

Corpo	Nome Nome científico	$m (\times 10^3 \text{g})$	$v (\text{m/s})$
A	Araucária <i>Araucaria angustifolia</i>	2,73	6780
B	Cedro-rosa <i>Cedrela fissilis</i>	1,83	5252
C	Freijó <i>Cordia goeldiana</i>	2,67	5931
D	Imbuia <i>Ocotea porosa</i>	3,18	1792
E	Jequitibá <i>Cariniana sp.</i>	3,36	5428
F	Marupá <i>Simarouba amara</i>	1,93	5562
G	Mogno <i>Swietenia macrophylla</i>	2,86	4496
H	Pinus <i>Pinus tæda</i>	2,20	4055
I	Tauari <i>Couratari sp.</i>	4,03	5887

Para a excitação das cordas foi construído um dispositivo constituído de uma mola acoplada a uma alavanca, ver Fig. 2, esta alavanca possui uma palheta para tocar guitarra elétrica de 0,75mm parafusada em sua extremidade. A força aplicada na alavanca pela mola foi calibrada de modo a se obter um som próximo do que seria a execução por um instrumentista. Para a obtenção de dados, procedeu-se sempre montando o braço e o captador no corpo, em seqüência as cordas são afinadas utilizando um afinador analógico Boss TU15, com precisão de $\pm 1\text{Hz}$. Somente a corda que estava sendo excitada estava disponível a vibrar, as outras cordas foram presas. Este processo mantém as tensões existentes no corpo do instrumento uma vez que todas as cordas estão presentes e simplifica a análise dos resultados, pois poderiam ocorrer ressonâncias entre a corda excitada e as outras cordas levando a um espectro sonoro mais complexo. Uma vez montado o instrumento, para cada corpo foram feitas excitações mecânicas nas corda *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$) e *ré* ($f_0^{ré}=146,8\text{Hz}$). O ponto onde o dispositivo de excitação foi colocado está localizado a 20mm da base da ponte. Isso corresponde a uma posição

de 96mm da extremidade de onde a corda está presa, sendo comprimento da corda $L=647\text{mm}$. O som obtido foi capturado diretamente do captador da guitarra elétrica usando uma placa de som externa do tipo *M-audio Fast Track USB* ligada a um notebook para a gravação e também ligada a uma caixa de som para monitoramento. Também foi gravado para cada guitarra elétrica montada com cada corpo da Tab. I um trecho musical de aproximadamente 30s composto e executado pelo autor RMP. Os arquivos de som foram analisados com o software Audacity [12], versão 1.3. Para cada corpo foram obtidos e gravados cinco sons, de cada um deles foi obtido o espectro de harmônicos, com estes cinco espectros foi feita uma média. Este espectro médio é o espectro utilizado para fins de comparação dos timbres resultantes das guitarras elétricas construídas com corpos de diferentes madeiras. Na Tab. I são apresentados os valores das massas de cada corpo e a velocidade de propagação do som em cada corpo, resultado obtido utilizando o *Lucchimeter* [13], com medida realizada no sentido das fibras da madeira e a temperatura ambiente.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para garantir a reprodutibilidade dos resultados é fundamental que as excitações mecânicas realizadas nas cordas sejam idênticas. Esta prerrogativa é verdadeira, pois pode ser verificada nos espectros obtidos via excitação mecânica para a corda *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$) da guitarra elétrica montada no corpo A mostrados na Fig. 3. Como os espectros são idênticos, o número de cinco medidas para a obtenção do espectro médio foi considerado suficiente.

O primeiro conjunto de medidas realizado consistiu em obter o espectro para a nota *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$), a qual corresponde a corda com a nota de menor frequência da guitarra elétrica. Seguindo o procedimento experimental descrito anteriormente e o processo descrito para o tratamento dos dados, foram obtidos os espectros médios para cada corpo, os quais são

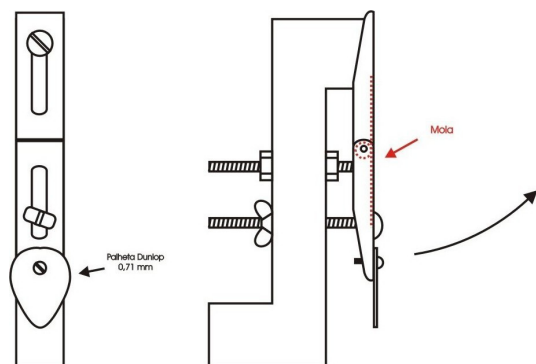


Figura 2: Dispositivo palhetador construído para garantir a reprodutibilidade dos sons obtidos para cada uma das guitarras elétricas. A porca borboleta permite além do acionamento do dispositivo a alteração da intensidade da força aplicada pela mola no braço do palhetador. A seta indica a direção do movimento do braço do palhetador.

mostrados na Fig. 4. Nesta são mostrados as 10 componentes mais intensas do espectro médio obtido para cada corpo, possuindo as frequências nf_0^{mi} , com n inteiro de 1 até 10. Verifica-se que os espectros obtidos não apresentam sinais da existência de ruído proveniente da eletrônica utilizada para a realização das medidas. Quando comparados, estes espectros médios mostram-se equivalentes, não sendo possível apontar diferenças significativas entre eles. Esta é a primeira evidência que aponta para o fato de que diferentes corpos construídos de madeiras diferentes não afetam o som produzido pela guitarra elétrica. Para que isso aconteça não deve haver um acoplamento significativo entre a corda da guitarra elétrica e o seu corpo, como proposto por Fleischer e Zicker [8, 9].

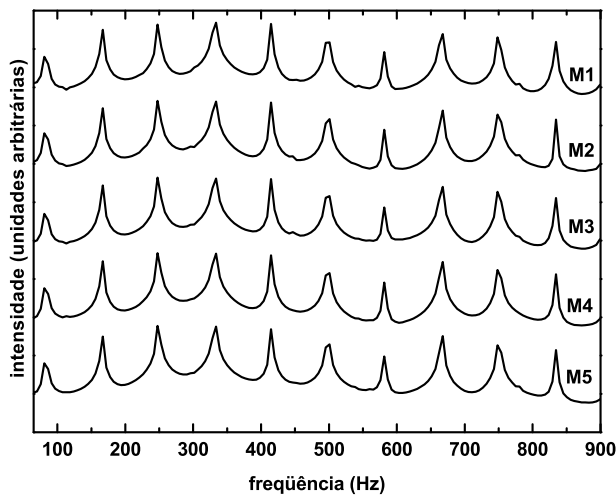


Figura 3: Espectros de harmônicos obtidos para a corda *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$) da guitarra elétrica com o corpo A (ver Tab. I) em cinco medidas via excitação mecânica (M1 a M5). As formas e as intensidades dos diversos picos são idênticas, fato que garante a reprodutibilidade das medidas segundo a metodologia adotada e justifica o uso de cinco medidas para a obtenção do espectro médio de uma determinada nota obtida com a guitarra elétrica montada em um certo corpo.

O segundo conjunto de medidas realizado consistiu em obter o espectro para a nota *ré* ($f_0^{ré}=146,8\text{Hz}$), a qual corresponde terceira corda da guitarra elétrica indo do grave para o agudo. Procedeu-se como para a nota *mi*. O conjunto de espectros médios obtidos para cada um dos corpos é mostrado na Fig. 5, sendo mostradas as 10 componentes mais intensas, possuindo as frequências $nf_0^{ré}$, com n inteiro de 1 até 10. Estes espectros também não apresentam ruídos e são idênticos entre si quando comparados, fato que reforça a idéia de que a interação entre o corpo da guitarra elétrica e a corda deve ser desprezível.

No intuito de realizar um experimento mais próximo da realidade, o autor RMP executou um trecho musical de sua au-

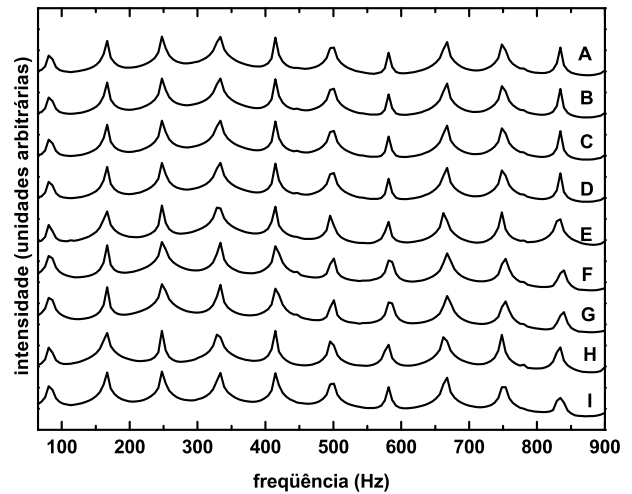


Figura 4: Espectros médios de harmônicos obtidos para os corpos descritos na Tab. I para a corda *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$).

toria, com aproximadamente 30s de duração em cada uma das guitarras elétricas montadas com cada um dos corpos da Tab. I. Estes trechos musicais foram gravados com a mesma montagem utilizada para as gravações das excitações mecânicas e procedeu-se obtendo o espectro sonoro [?], os quais são mostrados na Fig. 6 e são idênticos entre si. Como neste trecho musical não foram utilizadas as notas extremamente agudas, optou-se por mostrar a faixa de frequências que vai desde 82,4Hz (nota mais grave emitida pela guitarra elétrica) até 1600 Hz. A complexidade deste espectro sonoro está associada ao fato de que para cada nota tocada, existe um conjunto de harmônicos associado e, como foram tocadas inúmeras notas de diferentes frequências, todos estes conjuntos de harmônicos de cada nota possuem contribuições neste espectro. Este conjunto de espectros é o resultado mais importante aqui apresentado, pois ao contrário da excitação mecânica controlada que pouco tem relação com a execução musical, foi realizado com um trecho musical tocado por uma pessoa. Como inúmeras notas musicais de diferentes frequências foram tocadas, o espectro obtido tem uma forma bem mais complexa que os espectros obtidos para uma única corda excitada mecanicamente.

O fato de espectros complexos como os mostrados na Fig. 6 serem semelhantes em uma gama considerável de frequência evidencia que os resultados obtidos para as cordas *mi* e *ré* podem ser estendidos para outras cordas e outras notas musicais de diferentes frequências, pois os espectros não começam a diferir a partir de um determinado valor de frequência. Pode-se argumentar a partir destes resultados que de forma geral as cordas não possuem um acoplamento significativo com o corpo da guitarra elétrica.

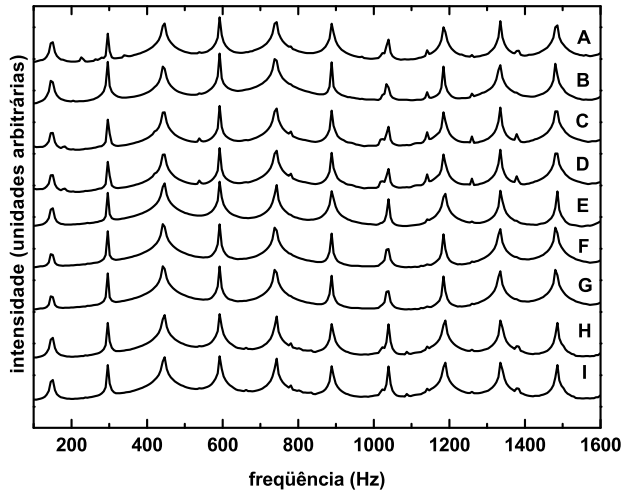


Figura 5: Espectros médios de harmônicos obtidos para os corpos descritos na Tab. I para a corda *ré* ($f_0^{ré}=146,8\text{Hz}$).

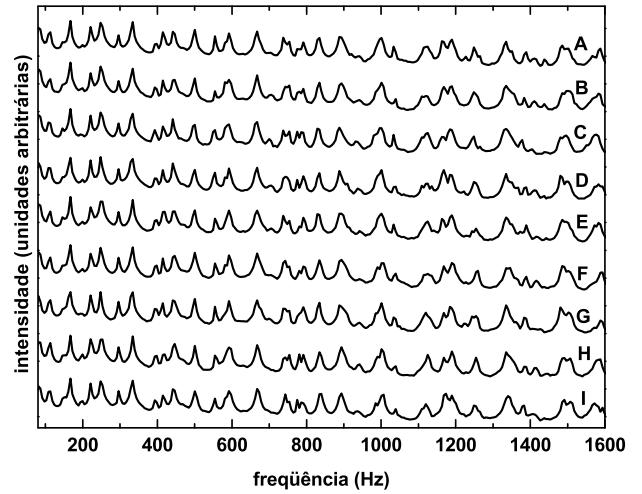


Figura 6: Espectros de harmônicos obtidos para um trecho musical de aproximadamente 30s executado pelo autor RMP. Verifica-se que em todos os espectros as estruturas que aparecem são idênticas na forma, frequência e intensidades relativas.

IV. MODELAGEM DOS RESULTADOS

Uma forma simples de modelar o resultado obtido experimentalmente consiste na obtenção das impedâncias características dos seguintes componentes: a corda (Z_1), a base da ponte (Z_2) e o corpo da guitarra elétrica (Z_3). Uma vez obtidas, estas quantidades podem ser usadas para se obter a quantidade de energia da corda que chega até o corpo da guitarra elétrica por ciclo de oscilação da corda [15].

A impedância característica de uma corda cuja densidade linear seja ρ_L , e cuja onda se propague com velocidade $v_1 = \lambda_1 f$, sendo o comprimento de onda λ_1 e f a frequência, é dada por

$$Z_1 = v_1 \rho_L. \quad (1)$$

Da mesma forma para a base da ponte $Z_2 = v_2 \rho_2$, onde agora entram a densidade do metal, ρ_2 , do qual é feito a base da ponte (captador) e a velocidade de propagação do som neste material, v_2 . Finalmente para o corpo da guitarra elétrica $Z_3 = v_3 \rho_3$, onde entram a densidade da madeira, ρ_3 e a velocidade de propagação do som nesta madeira, v_3 . Como estas impedâncias tem unidades diferentes:

$$Z_1 = [M][T]^{-1}$$

e

$$Z_2 = Z_3 = [M][L]^{-2}[T]^{-1},$$

propõe-se fazer a seguinte transformação linear

$$\tilde{Z}_1 = \int_0^L Z_1 dl, \quad (2)$$

sendo L o comprimento da corda.

Considerando v_1 constante

$$\tilde{Z}_1 = v_1 \int_0^L \rho_L dl \quad (3)$$

$$\tilde{Z}_1 = m_1 v_1, \quad (4)$$

sendo m_1 a massa da corda. Procedendo da mesma forma para Z_2 , integrando sobre o volume da base da ponte V_2 , obtém-se

$$\tilde{Z}_2 = \int_{V_2} Z_2 dV = v_2 \int_{V_2} \rho_2 dV = m_2 v_2. \quad (5)$$

Para Z_3 , integrando-se sobre o volume do corpo V_3 , obtém-se

$$\tilde{Z}_3 = \int_{V_3} Z_3 dV = v_3 \int_{V_3} \rho_3 dV = m_3 v_3. \quad (6)$$

Agora as quantidades \tilde{Z}_1 , \tilde{Z}_2 e \tilde{Z}_3 possuem a mesma unidade

$$\tilde{Z}_1 = \tilde{Z}_2 = \tilde{Z}_3 = [M][L][T]^{-1}.$$

Convém observar que para os casos \tilde{Z}_1 , \tilde{Z}_2 e \tilde{Z}_3 , independente de qual seja a forma funcional da densidade, as integrais que aparecem nas eqs. (3), (5) e (6) resultarão sempre na massa do objeto em questão. Este ponto é especialmente importante para o caso da madeira, material anisotrópico e heterogêneo, para o qual a obtenção de uma função de densidade volumétrica ρ_3 é bastante complicada, o que levaria a resolução de uma integral também complicada. Também

para a eq. (8) foi adotada a aproximação da velocidade do som na madeira como sendo constante e cujo valor adotado foi o valor medido na direção das fibras da madeira.

Propõe-se escrever o coeficiente de transmissão de energia [2] do meio 1 para o meio 2 escrito agora em termos de \tilde{Z}_1 e \tilde{Z}_2 é dado por

$$C_{12} = \frac{4\tilde{Z}_1\tilde{Z}_2}{(\tilde{Z}_1 + \tilde{Z}_2)^2}. \quad (7)$$

Da mesma forma do meio 2 para o meio 3, agora em termos de \tilde{Z}_2 e \tilde{Z}_3

$$C_{23} = \frac{4\tilde{Z}_2\tilde{Z}_3}{(\tilde{Z}_2 + \tilde{Z}_3)^2}. \quad (8)$$

E o coeficiente de transmissão do meio 1 para o meio 3 é o produto de C_{12} com C_{13} :

$$C_{13} = \frac{16\tilde{Z}_1\tilde{Z}_2\tilde{Z}_3}{(\tilde{Z}_1 + \tilde{Z}_2)^2(\tilde{Z}_2 + \tilde{Z}_3)^2} \quad (9)$$

A relação (9) permite estimar a quantidade de energia da corda (correspondente a 100%) que chega até o corpo do instrumento. Aqui é importante notar que formalmente este resultado deve ser obtido resolvendo-se a equação de onda para o sistema corda-base ponte-corpo, algo que só pode ser realizado numericamente através, por exemplo, do método dos elementos finitos. Pode-se definir também um coeficiente que estima qual a porcentagem da energia da corda, passa pela base da ponte, chega ao corpo e realiza o caminho inverso voltando até a corda como sendo

$$C_{131} = C_{13}C_{31} = C_{13}C_{13} = C_{13}^2. \quad (10)$$

As cordas da guitarra elétrica são: *mi* ($f_0^{mi}=329,6\text{Hz}$) com massa 0,51g; *si* ($f_0^{si}=246,9\text{Hz}$) com massa 0,76g; *sol* ($f_0^{sol}=195,9\text{Hz}$) com massa 1,16g; *ré* ($f_0^{ré}=146,8\text{Hz}$) com massa 2,00g; *lá* ($f_0^{lá}=110,0\text{Hz}$) com massa 3,45g; *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$) com massa 5,50g. Para se obter a massa das cordas foi usada uma balança de precisão, com erro de $\pm 0,01\text{g}$. As frequências das notas musicais das produzidas pelas cordas soltas da guitarra elétrica correspondem ao sistema temperado [4], com referência a nota *lá* ($f = 440\text{Hz}$). A massa da base da ponte, onde as cordas ficam presas é de 245,3g. Essa é parte do instrumento que liga as cordas com o corpo, sendo constituída de latão, cuja velocidade de propagação do som é 3490 m/s [15] em temperatura ambiente. O braço da guitarra elétrica não foi incluído em nossos cálculos como sendo parte do corpo da guitarra elétrica, sua massa é de 974,1g.

Nas Tabs. II e III são mostrados os valores calculados para os coeficientes C_{13} e C_{131} para as cordas *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$) e *ré* ($f_0^{ré}=146,8\text{Hz}$) para cada corpo da Tab I. O coeficiente C_{13} mostra que a quantidade de energia que chega da corda até o corpo já é uma porcentagem bastante reduzida da energia total

Tabela II: Coeficientes C_{13} e C_{131} calculados para a corda *mi* ($f_0^{mi}=82,4\text{Hz}$) para os corpos citados na Tab. I.

Corpo	$C_{13} (\times 10^{-4}\%)$	$C_{131} (\times 10^{-5}\%)$
A	4,623	2,137
B	8,217	6,753
C	5,324	2,834
D	12,42	15,43
E	4,686	2,196
F	7,485	5,602
G	6,404	4,101
H	8,742	7,643
I	3,678	1,353

Tabela III: Coeficientes C_{13} e C_{131} calculados para a corda *ré* ($f_0^{ré}=146,8\text{Hz}$) para os corpos citados na Tab. I.

Corpo	$C_{13} (\times 10^{-4}\%)$	$C_{131} (\times 10^{-5}\%)$
A	8,227	6,769
B	14,62	21,38
C	9,474	8,977
D	22,11	48,89
E	8,339	6,954
F	13,32	17,74
G	11,39	12,987
H	15,55	24,20
I	6,545	4,284

da corda ($\sim 10^{-4}$ de forma geral), e o coeficiente C_{131} aponta que uma quantidade ainda menor retorna do corpo até a corda ($\sim 10^{-5}\%$ de forma geral). Para ambas as cordas, a maior transmissão ocorreu para o corpo D (imbuia), e se deve ao fato desta madeira possuir a menor velocidade de propagação do som, fazendo com que a quantidade \tilde{Z}_3 fosse menor (apesar da massa deste corpo não ser a menor) e, conseqüentemente mais próxima de \tilde{Z}_2 , o que segundo a eq. (8) aumenta a transmissão de energia da base da ponte para o corpo da guitarra elétrica. Também para ambas as cordas a menor transmissão acontece para o corpo I (tauari), o qual devido a sua massa (a maior dentre todos os corpos) e a sua elevada velocidade de propagação do som (a terceira maior dentre as madeiras estudadas) leva \tilde{Z}_3 a um valor elevado, diminuindo, segundo a eq. (8), a quantidade de energia transmitida da base da ponte para o corpo da guitarra elétrica. Uma discussão semelhante a esta é apresentada para o caso do violino na Ref. [2].

Estes valores negligenciáveis aqui calculados explicam porque não foi possível perceber diferenças entre as guitarras elétricas com corpos de diferentes madeiras, pouquíssima energia sai da corda vai até o corpo e retorna até a corda [8, 9], a influência desta quantidade não foi detectada na montagem detalhada neste trabalho.

V. CONCLUSÕES

Foram obtidos espectros de harmônicos via excitação mecânica e espectros sonoros via execução musical de nove diferentes guitarras elétricas cujos corpos foram construídos com nove diferentes tipos de madeiras diferentes, a saber: araucária, cedro-rosa, freijó, imbuia, jequitibá, marupá, mogno, pinús e tauari. A comparação destes espectros mostra que não existe diferença significativa entre os espectros de harmônicos das guitarras elétricas construídas com corpos de diferentes madeiras. Da mesma forma não são perceptíveis diferenças significativas entre os espectros sonoros desta nove guitarras elétricas. Desta forma, não é esperada, segundo os resultados obtidos neste trabalho, a existência de diferenças significativas nos timbres destes instrumentos. Assim sendo, variações

de timbres em guitarras elétricas podem ser relacionados com outros fatores que não a madeira do corpo em si, por exemplo: tipo de corda utilizado, tipo de captador utilizado e etc. Neste estudo não foram consideradas outras propriedades como resistência mecânica, peso e anatomicidade, os quais são fatores de relevância para um instrumento musical de qualidade e que seja cômodo para o instrumentista.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos Profs. Aloísio L. Schmid (DAU-UFPR) e Sérgio L. M. Berleze (DFís-UFPR) e Vicente R. Dumke (EM-BAP) pelas sugestões e discussões durante a preparação deste trabalho.

-
- [1] V. Angyalossy, E. Amano e E. S. Alves, *Acta Bot. Bras.* **19**, 819-834 (2005).
 - [2] J. P. Donoso, A. Tannús, F. Guimarães, T. C. de Freitas, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **30**, 2305 (2008).
 - [3] C. M. Hutchins, *J. Acoust. Soc. Am.* **73**, 1421 (1983).
 - [4] H. F. Olson, *Musical Instruments*, 2nd ed., Dover Publications, Mineola, 1967.
 - [5] N. H. Fletcher and T. D. Rossing. *The Physics of Musical Instruments*, Springer, Berlin, 1998)
 - [6] L. Henrique, *Acústica Musical*. Editora Calouste Gulbekian, Lisboa, 2007.
 - [7] B. Parker, *Good Vibrations Physics of Music*, 1st ed., The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2009.
 - [8] H. Fleischer e T. Zwicker, *Acta Acustica united with Acustica* **84**, 758-765 (1998).
 - [9] H. Fleischer e T. Zwicker, *Acta Acustica united with Acustica* **85**, 128-135 (1999).
 - [10] L. Burckle e H. D. Grissino-Mayer, *Dendrochronologia* **21**, 41-45 (2003)
 - [11] M. Hiscock. *Make Your Own Electric Guitar*, 2nd ed., NBS, London, 1998.
 - [12] Disponível em: <http://audacity.sourceforge.net/>
 - [13] Ver: <http://www.lucchiremona.com>
 - [14] T. C. de Freitas e A. Laibida Jr, *Physicæ* **8**, 19-26 (2009).
 - [15] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustic*, 4th ed., John Wiley and Sons, New York, 2000.