

SUCATA SINFÔNICA: UMA ANÁLISE SOBRE A PRESENÇA DE MODELOS MATEMÁTICOS EM INSTRUMENTOS FEITOS DE MATERIAIS DESCARTÁVEIS

Chrisley Bruno Ribeiro Camargos
Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG
chrisley.camargos@ifmg.edu.br

Carlos Eduardo Lucas
Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG
carlooseduardolucas-007@hotmail.com

Gustavo Venancio Pimenta
Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG
gustavo.venancio@hotmail.com

Thais de Oliveira Duque
Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG
adm.thaisduque@yahoo.com.br

Resumo:

Este relato de experiência apresentará a análise de um trabalho realizado por um professor da rede pública municipal de educação (da cidade de Formiga – MG) que envolveu seus alunos no projeto “Sucata Sinfônica”, projeto o qual, a partir da reutilização de materiais descartáveis, reúne duas grandes e, aparentemente, diferentes áreas: a “Matemática” e a “Música”. O professor desenvolve instrumentos musicais com materiais descartáveis, contudo, criou uma miniorquestra com seus alunos, utilizando os instrumentos confeccionados a partir dos materiais reutilizados. O interesse demonstrado pelas crianças e a prática pedagógica deste professor são elementos de grande satisfação para a comunidade, visto que o grupo apresenta seu trabalho em diversos eventos culturais e continuam desenvolvendo novos instrumentos musicais. Neste artigo descreveremos algumas análises feitas em instrumentos musicais produzidos pelo professor durante o desenvolvimento do projeto, analisando se existem modelos matemáticos implícitos na construção destes e comparando com modelos matemático-musicais existentes, objetivando auxiliar o professor em seu processo de produção de novos instrumentos.

Palavras-chave: Reciclagem; Matemática; Modelos Matemático-musicais; Música.

1. Introdução

A partir de 2012, a Música vem sendo inserida como conteúdo obrigatório em toda a Educação Básica do País. A Lei nº 11.769, publicada no *Diário Oficial* da União do dia 19 de agosto de 2008, alterou a LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação) de 20 de dezembro de 1996 com o intuito de promover a sociabilidade e democratização do acesso à arte. O Ministério da Cultura almeja proporcionar aos alunos, além de noções básicas de

Música, um aprendizado sobre a cultura regional do país, fomentando o conhecimento da diversidade cultural brasileira. Conjectura-se que a Matemática é uma das ferramentas que pode contribuir com o desenvolvimento de projetos envolvendo a Música nas escolas. Desta forma, seria possível colocar em foco não somente uma possível aprendizagem musical, mas também a relação Matemática-Música que possibilitaria um aprendizado mútuo de tópicos das duas disciplinas.

Este relato de experiência apresentará a análise de um trabalho realizado por um professor da rede pública municipal de educação (da cidade de Formiga – MG) que envolveu seus alunos no projeto denominado “Sucata Sinfônica”, o qual utiliza reciclagem e música. Serão apresentados alguns resultados da análise dos instrumentos musicais do projeto “Sucata Sinfônica” e, em meio a esta análise, verificaremos se os instrumentos criados pelo professor e alunos seguem algum dos modelos matemáticos existentes.

2. “Sucata Sinfônica”

O projeto “Sucata Sinfônica” foi desenvolvido em 2010 pelo professor de educação musical Alex Sandro Alvarenga Arouca na Escola Municipal Benedita Gomide Leite (Formiga – MG). De acordo com o Professor Alex Arouca, o objetivo principal deste projeto foi apresentar uma opção lúdica para as aulas de Educação musical, onde a principal preocupação seria o desenvolvimento da percepção auditiva dos educandos, deixando-os aptos para entender as características sonoras mediante o aprendizado de melodias simples, fazer com que desenvolvessem a capacidade de ouvir, escutar, e compreender o que escutam.

O professor idealizador do projeto “Sucata Sinfônica”, juntamente com seus alunos, confeccionou vários instrumentos a partir de sucata: tubos de PVC, pedaços de mangueira, garrafas de vidro, garrafas de plástico, latas etc.. O professor Alex Arouca confecciona seus instrumentos nota por nota a partir de consecutivos testes de qualidade do som, alterando a afinação das notas emitidas utilizando outros instrumentos musicais e sua percepção auditiva. Além da confecção dos instrumentos, criaram uma banda, na qual os próprios alunos tocam músicas regidas pelo professor, utilizando os instrumentos confeccionados.

Em projetos similares ao do professor Alex Arouca, Camargos (2011) descreve métodos matemáticos que podem facilitar a produção destes instrumentos, como os modelos matemático-musicais a seguir:

(a) *Modelo Pitagórico*: Pitágoras utilizou o “Percurso das Quintas”. Utilizando o tamanho da corda de um instrumento denominado Monocórdio, hipoteticamente igual a uma unidade, estabeleceu o Dó igual a um (1), obtendo as outras notas da escala diatônica: Dó (C) = 1, Ré (D) = $8/9$, Mi (E) = $64/81$, Fá (F) = $3/4$, Sol (G) = $2/3$, Lá (A) = $16/27$, Si (B) = $128/243$ e Dó (C) = $1/2$.

(b) *Modelo de Zarlino*: Zarlino acrescentou o número 5 nas relações de frequências pitagóricas. Assim, construía-se a escala de maneira que o intervalo de terça maior passava a possuir relação de frequências $5/4$, existente na série harmônica. Supondo-se que a primeira nota, *dó*, tenha frequência 1, seriam obtidas para as outras notas as seguintes frequências: Dó (C) = 1, Ré (D) = $9/8$, Mi (E) = $5/4$, Fá (F) = $4/3$, Sol (G) = $3/2$, Lá (A) = $5/3$, Si (B) = $15/8$ e Dó (C) = 2. Observe que nesta sequência as frações estão inversamente proporcionais às gamas pitagóricas, isto porque Pitágoras baseou sua sequência no comprimento da corda do instrumento Monocórdio, obtendo assim as notas em relação às marcações feitas neste instrumento, já Zarlino baseou sua sequência nas frequências sonoras, inversamente proporcionais ao tamanho da corda.

(c) *Modelo do Temperamento Musical*: De acordo com Rodrigues (1999), Euler e outros matemáticos da época, no intuito de conseguirem uma simetria entre as frequências, dividiram o espaço entre as 12 notas da escala temperada da seguinte forma: “fo.f.f.f.f.....f = fo.f¹² = 2.fo” Após algumas operações algébricas simples, pode-se concluir que o fator f deve assumir o valor de $2^{1/12}$. Considerando a nota Dó com frequência 1 como referência, obtêm-se, para as outras notas da gama temperada, o modelo do Temperamento Musical, cujos valores são: Dó = 2^0 , Dó# = Réb = $2^{1/12}$, Ré = $2^{2/12}$, Ré# = Mib = $2^{3/12}$, Mi = $2^{4/12}$, Fá = $2^{5/12}$, Fá# = Solb = $2^{6/12}$, Sol = $2^{7/12}$, Sol# = Láb = $2^{8/12}$, Lá = $2^{9/12}$, Lá# = Sib = $2^{10/12}$, Si = $2^{11/12}$, Dó = $2^{12/12} = 2$.

3. Análise dos instrumentos produzidos

Após a pesquisa e análise dos modelos matemático-musicais citados anteriormente, foram analisados cinco (5) instrumentos, quatro (4) destes confeccionados pela Banda “Sucata Sinfônica” e o último (Flauta de Canudinhos) produzido pelo grupo de pesquisa. Nesta análise laboratorial, foram medidas as alturas, o comprimento, a largura e, caso houvesse, a quantidade de líquido armazenado (foi desprezada a massa, uma vez que

alguns instrumentos são compostos por materiais diferentes). A seguir a especificação de cada instrumento:

a) *Chinelofone*: O instrumento Chinelofone¹ é composto por tubos de PVC (Policloreto de vinila) cujos diâmetros apresentaram certa uniformidade, porém, diferentes comprimentos, e um chinelo de borracha (utilizado para fornecer pressão de ar externa no tubo para produção do som e escolhido por apresentar flexibilidade ideal).

Tabela 1: Informações sobre as variáveis do Chinelofone

Frequência (nota)	Diâmetro (cm)	Comprimento medido (cm)	Pitágoras (cm)	Zarlino (cm)	Temperamento (cm)	Desvio Padrão (cm)
Sol (G)	3,5	178	176	176	176,2	0,97
Lá (A)	3,5	156	156,4	158,4	156,9	1,05
Si (B)	4	140	139,1	140,8	139,8	0,70
Dó (C)	4	132	132	132	132	0
Ré (D)	4	116,5	117,3	117,3	117,6	0,47

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

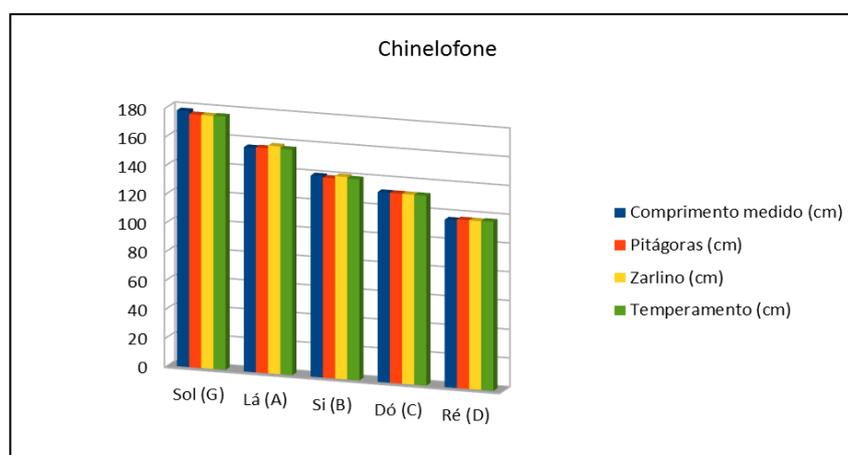


Figura 1: Comparativo entre o comprimento medido (cm) do Chinelofone e os Modelos descritos

Fonte: Elaborado pelos autores (2013)

b) *Flauta de PVC*: Feita com pedaços de mangueira de PVC (Policloreto de vinila), utilizada para irrigação de pequeno porte. Foram analisadas duas flautas com cinco (5) notas cada, no entanto, como algumas notas se repetiam, estabelecemos oito (8) notas para análise, mantendo duas (2) notas “Sol”, uma tônica e outra uma oitava acima. Algumas das partes deste instrumento apresentaram diâmetro uniforme e comprimento diferente como se pode observar na tabela a seguir. Utiliza-se a pressão de ar neste instrumento para a produção de som, através do sopro.

¹ Nome dado pelos integrantes da banda “Sucata Sinfônica”.

Tabela 2: Informações sobre as variáveis Flauta de PVC

Frequência	Diâmetro (cm)	Comprimento medido (cm)	Pitágoras (cm)	Zarlino (cm)	Temperamento (cm)	Desvio Padrão
Sol (G)	1,8	21	19,9	19,9	19,9	0,55
Si (B)	1,2	16,7	15,7	15,9	15,8	0,46
Dó (C)	1,2	14,9	14,9	14,9	14,9	0
Ré (D)	1,2	13,5	13,3	13,3	13,3	0,1
Mi (E)	1	11,8	11,8	11,9	11,9	0,06
Fá (F)	1,1	11,4	11,2	11,2	11,2	0,1
Sol (G) 8a	1,1	9,8	9,9	9,9	9,9	0,1
Lá (A)	1,1	8,4	8,8	8,9	8,8	0,27

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

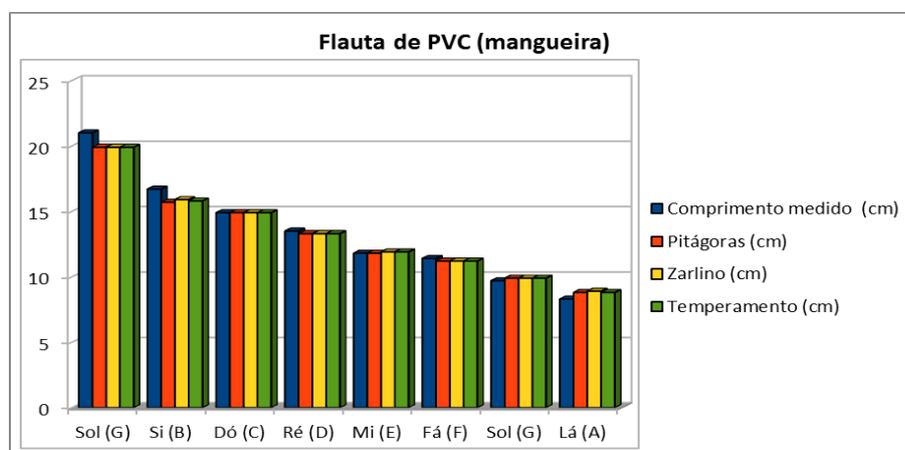


Figura 2: Comparativo entre o comprimento medido (cm) da Flauta de PVC e os Modelos Pitágoras (cm), Zarlino (cm) e Temperamento (cm).
Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

c) Vidrofone: Feito com cinco (5) garrafas de vidro aparentemente uniformes, no entanto, uma das garrafas apresentou formato totalmente diferente das demais, e preferimos analisar somente as outras quatro (4) garrafas, por apresentarem formatos mais homogêneos. Este instrumento apresenta líquido interno (água) em quantidades diferentes. O som é exercido por meio de batidas com pedaços de madeira (baquetas).

Tabela 3: Informações sobre as variáveis do Vidrofone

Frequência	Volume medido (ml)	Pitágoras (ml)	Zarlino (ml)	Temperamento (ml)	Desvio Padrão
Dó (C)	305,8	305,8	305,8	305,8	0
Ré (D)	216,5	271,8	271,8	272,4	27,75
Mi (E)	155	241,6	244,6	242,7	44,00
Fá (F)	0	229,4	229,4	229,1	114,65

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

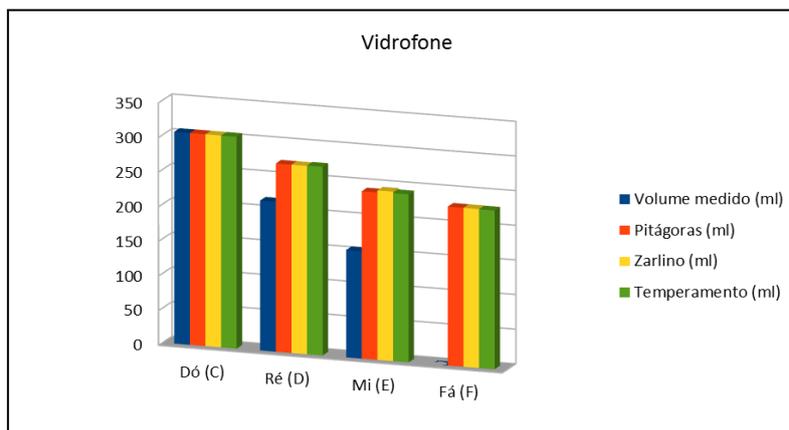


Figura 3: Comparativo entre o comprimento medido (cm) do Vidrofone e os Modelos
Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

d) *Flauta de Tubos*: Tubos de polímeros, de raio uniforme e comprimentos iguais. Similar à Flauta de PVC e à Flauta de Canudinho, este instrumento diferencia-se pela composição de seu material e por utilizar volumes de água internos para produção de diferentes tonalidades, sendo utilizada a pressão de ar para a produção de som através do sopro.

Tabela 4: Informações sobre as variáveis da Flauta de tubos

Frequência	Volume medido (ml)	Pitágoras (ml)	Zarlino (ml)	Temperamento (ml)	Desvio Padrão
Ré (D)	13,5	19,5	19,5	19,6	3,02
Dó (C)	11	11	11	11	0
Si (B)	9,3	5,8	5,9	5,8	1,73
Lá (A)	5	6,5	6,6	6,5	0,77
Sol (G)	0	7,3	7,3	7,3	3,65

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

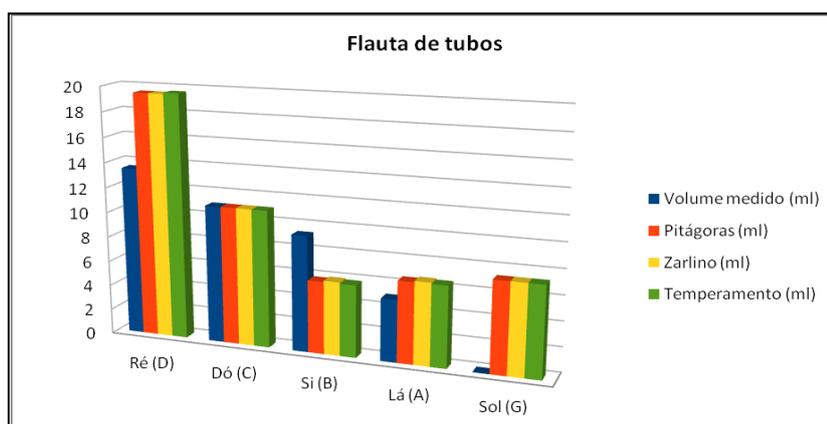


Figura 4: Comparativo entre o comprimento medido (cm) da Flauta de tubos e os Modelos
Fonte: Elaborado pelos autores (2013)

e) *Flauta de Canudinho*: Tubos de polímeros, de raio uniforme e comprimento diferente. Assemelha-se à Flauta de Tubos e PVC, mas diferencia-se de todos os instrumentos analisados por ter sido retirado do mesmo lote de fabricação, ou seja, com condições físicas favoráveis à análise experimental.

Tabela 5: Informações sobre as variáveis da Flauta de Canudinho

Frequência	Diâmetro (cm)	Comprimento medido (cm)	Pitágoras (cm)	Zarlino (cm)	Temperamento (cm)	Desvio Padrão
Dó (C)	0,8	16	16	16	16	0
Ré (D)	0,8	14,5	14,2	14,2	14,2	0,15
Mí (E)	0,8	13	12,6	12,8	12,7	0,17
Fá (F)	0,8	12	12	12	11,9	0,05
Sol (G)	0,8	10,5	10,7	10,7	10,7	0,10
Lá (A)	0,8	9,5	9,4	9,6	9,5	0,08
Si (B)	0,8	8,5	8,4	8,5	8,5	0,05
Dó (C)	0,8	8	8	8	8	0

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

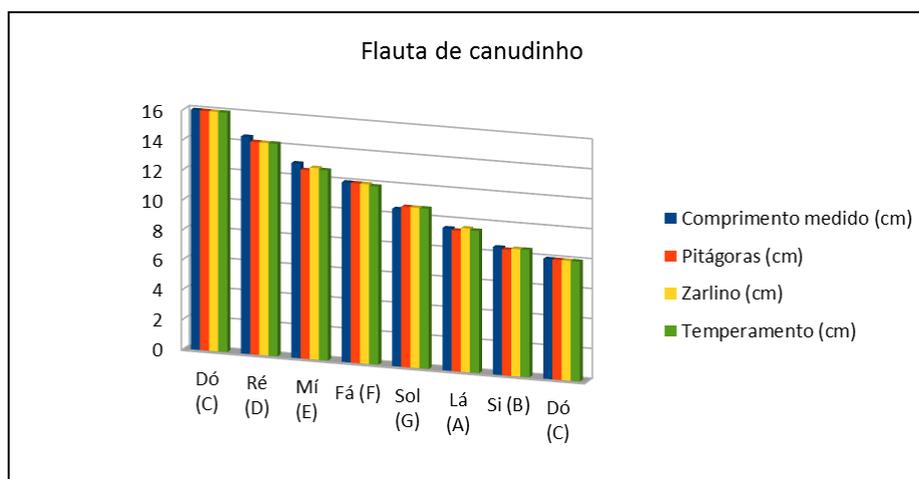


Figura 5: Comparativo entre o comprimento medido (cm) da Flauta de Canudinho e os Modelos Pitágoras (cm), Zarlino (cm) e Temperamento (cm).
Fonte: Elaborado pelos autores (2013)

A Flauta de Canudinhos foi confeccionada pelo grupo de pesquisa com o intuito de analisar se a construção de um instrumento que possui mesmo material e formato homogêneo, utilizando modelos matemáticos, poderia apresentar uma afinação aceitável, permitindo a professores e alunos construírem instrumentos musicais sem necessariamente possuírem conhecimentos musicais, apenas utilizando matemática. Para construção deste utilizamos o modelo de Zarlino. É o instrumento com o formato que mais se assemelha a escala logarítmica (este formato pode ser percebido em instrumentos como os órgãos de tubos, flautas de bambu feitas pelos peruanos, dentre outros).

Após a análise dos instrumentos, confrontando os dados e gráficos, constatamos variações nas medidas aferidas em relação aos modelos matemáticos apresentados para afinação ideal. Estas variações podem ser explicadas devido a diversos fatores que estão relacionados à composição do material (massa específica, rigidez, constituição molecular, forma) e ao meio em que ele é exposto (temperatura, pressão, umidade) no momento da produção e utilização.

Observe que é possível uma melhor visualização dos resultados encontrados por meio da análise da média do desvio padrão dos instrumentos:

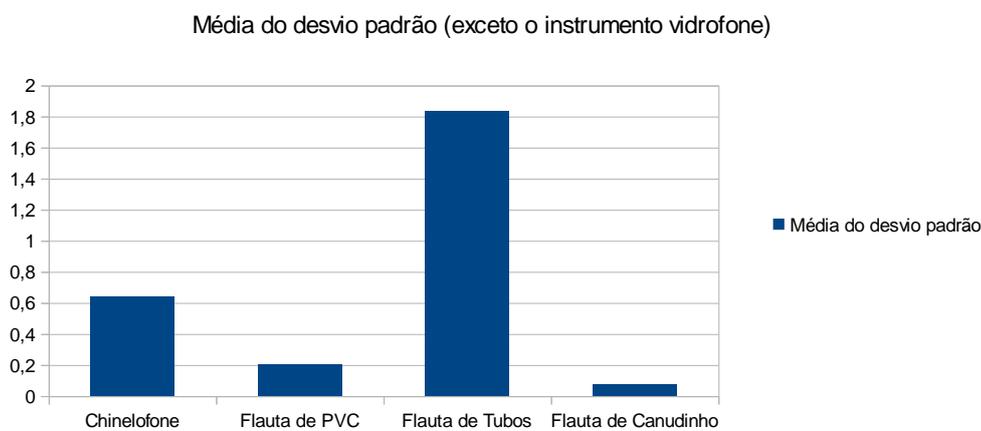


Figura 6: Média do desvio padrão dos instrumentos analisados (exceto o instrumento Vidrofone)

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Os instrumentos que apresentaram maior desvio padrão em relação aos modelos matemáticos de Pitágoras, Zarlino e do Temperamento Musical foram o Vidrofone e a Flauta de Tubos. Quanto ao Vidrofone ou Marimba de Garrafas, por apresentar uma média do desvio padrão bem acima dos outros instrumentos (igual a 46,6), excluímos este instrumento da análise gráfica, para facilitar a visualização do leitor. Neste instrumento, havia garrafas distintas, de volumes e até mesmo de material (vidro) diferentes.

A Flauta de Tubos aparentemente apresenta formato homogêneo, poucas variações foram detectadas, no entanto, pelo fato de também utilizar-se de água para afinação e o som do instrumento ser obtido por meio da pressão do ar exercida pelo sopro, estas variáveis podem ter dificultado a interpretação por meio de modelos matemáticos já definidos.

Alguns instrumentos da Banda Sucata Sinfônica, o Chinelofone e a Flauta de PVC (pedaços de mangueiras), por exemplo, por terem sido confeccionados com materiais mais homogêneos, apresentaram um desvio padrão menor em relação aos outros. No

Chinelofone observamos que, apesar de apresentar tubos de diâmetros distintos (três e meio (3,5) ou quatro (4) cm), que também pode influenciar na obtenção de uma nota musical conforme observado nesta pesquisa, este instrumento apresentou um desvio padrão de valor baixo em relação ao Vidrofone e a Flauta de Tubos, isto provavelmente pelo fato dos tubos apresentarem mesmo material e por se tratar de tubos de comprimentos entre 116 a 178 cm, bem maiores se relacionados ao diâmetro. Já a Flauta de PVC, analisando todas as notas individualmente, observamos que ela apresenta um desvio padrão mais alto (0,55) justamente na nota “Sol”, cujo diâmetro é diferente em relação a todas as outras notas. Apesar disto, a média do desvio padrão foi baixa, conforme observamos na figura anterior (figura 6), contribuindo à nossa conjectura de que a mesma composição física do material e o formato homogêneo contribuem para utilização dos modelos matemáticos citados anteriormente na confecção dos instrumentos.

A melhor média de desvio padrão encontrada foi a da Flauta de Canudinho. O tipo de material utilizado, sua regularidade (composição químico-física aparentemente igual por fazer parte do mesmo lote de fabricação) contribuíram para que o instrumento apresentasse um desvio padrão menor e afinação regular.

É importante ressaltar que o professor Alex Arouca utilizou de sensibilidade auditiva para produzir os instrumentos, e o ouvido humano por mais que seja treinado, poderia não conseguir captar exatamente um valor de frequência exato, logo é normal haver alterações comparando as unidades de medidas aferidas e as consideradas ideais (Pitágoras, Zarlino, Temperamento).

Os leitores deste relato, interessados em trabalhos como este, encontrarão sugestões de confecção de instrumentos em um “Manual Didático para Projetos envolvendo Matemática e Música”, fruto de uma dissertação² do Mestrado Profissional em Educação Matemática da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP – MG), de autoria de um dos autores deste relato.

4. Considerações Finais

No decorrer da análise deste trabalho, observamos a relevância de se utilizar materiais homogêneos para confecção dos instrumentos, caso professores ou estudantes

² Mais detalhes em: CAMARGOS, C. B. R. **Música e Matemática**: A harmonia dos números revelada em uma estratégia de modelagem. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2011.

queiram fazer um trabalho envolvendo modelos matemáticos e música, mesmo que não tenham conhecimento musical. Destacamos aqui, que apesar do professor de música utilizar apenas suas habilidades musicais para cálculo da quantidade de água nas garrafas ou para calcular o tamanho dos tubos utilizados, os instrumentos apresentam uma afinação agradável e quando tocados juntos, e conduzidos de forma alegre e lúdica por seus alunos, estes instrumentos soam realmente como uma mini-orquestra, uma orquestra denominada “Sucata Sinfônica”, onde crianças carentes, desprovidas de instrumentos ditos “verdadeiros” e talvez bem longe de uma inclusão social que os satisfaça (e nos satisfaça), se sentem acolhidas pela sociedade em sua simples apresentação musical, simples para eles, mas glorificante para nós (educadores) e para o público que os assiste e os ouve.

Consideramos que o interesse demonstrado pelas crianças e o processo educativo daquele professor são elementos de grande satisfação para a comunidade. O grupo apresenta seu trabalho em diversos eventos culturais da cidade, e continuam desenvolvendo novos instrumentos, por enquanto, sem utilizar matemática, que conjecturamos, facilitará muito o trabalho deles e permitirá que não só o professor crie os instrumentos, mas também os alunos, utilizando matemática e música, podendo desta forma auxiliar na aprendizagem de tópicos matemáticos pelos alunos, gerando atividades interdisciplinares na escola e contribuindo para novas ideias de como inserir a Educação Musical nas escolas, assunto este, que não pretendemos abordar neste artigo devido à sua extensão.

Não encerramos aqui nossas atividades com a banda “Sucata Sinfônica”, esta primeira fase foi estabelecer e analisar possíveis modelos presentes em seus instrumentos musicais. Estamos traçando novas metas e objetivos para um trabalho colaborativo em 2013, com a participação do Professor Alex Arouca e seus alunos, mediante a utilização de modelos matemáticos e cenários de investigação, propiciando uma interatividade entre o conhecimento musical do professor de música e as possíveis estratégias envolvendo matemática e Modelagem Matemática na confecção de instrumentos musicais.

5. Referências

BRASIL, **Diário Oficial da União**. Lei nº 11.769, Brasília, 19 de agosto de 2008.

CAMARGOS, C. B. R. **Música e Matemática**: A harmonia dos números revelada em uma estratégia de modelagem. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2011.

RODRIGUES, J. F. A Matemática e a Música. **Revista Colóquio/Ciências**, nº23, 1999, p.17-32. Disponível em: <http://cmup.fc.up.pt/cmup/musmat/MatMus_99.pdf>. Acesso em: 28 out. 2012.