



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO PROFISSIONAL



JOÃO LUCAS DE PAULA BATISTA

**UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ACÚSTICA A
PARTIR DA ANÁLISE DOS TIMBRES DE
INSTRUMENTOS MUSICAIS DO SAMBA**

Uberlândia
2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO PROFISSIONAL



JOÃO LUCAS DE PAULA BATISTA

**UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ACÚSTICA A
PARTIR DA ANÁLISE DOS TIMBRES DE
INSTRUMENTOS MUSICAIS DO SAMBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – Mestrado Profissional, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências e Matemática.
Orientação: Prof.a Dra. Débora Coimbra.

Uberlândia
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- B333u Batista, João Lucas de Paula, 1990-
2016 Uma proposta de ensino de acústica a partir da análise dos timbres
de instrumentos musicais do samba / João Lucas de Paula Batista. -
2016.
xi, 93 f. : il.
- Orientador: Débora Coimbra.
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e
Matemática.
Inclui bibliografia.
Produto: 1 Vídeo educativo.
1. Educação - Teses. 2. Samba - Teses. 3. Cultura afro-brasileira -
Teses. 4. Instrumentos musicais – Teses. 5. Acústica - Teses. 6. Ondas
sonoras - Teses. 7. Tonalidade (Música) – Teses. I. Coimbra, Débora. II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDU: 50:37

Dedico este trabalho a todos e todas que me apoiaram e também, para aqueles que
nadam contra a maré.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos envolvem muitas pessoas. Não vivemos sozinhos neste mundo e se eu cheguei onde estou, foi por que estive rodeado de pessoas boas que me engrandeceram. Sou um conjunto das partes de cada pessoa em minha volta. Assim agradeço:

Primeiramente à minha companheira de vida Angélica Guimarães, por total apoio nas partes difíceis da minha vida que vão além das complicações de uma dissertação. Sua paciência, seu carinho, sua perseverança em nosso relacionamento e com toda certeza não estaria recebendo o título de mestre sem suas contribuições tão valiosas no dia a dia.

À minha orientadora Debora Coimbra por ter sido uma orientadora atenciosa, pela sua paciência ao ler meus textos com frases desconexas e por ter me estimulado a escrever e participar de eventos, entre outras coisas.

Ao Maykell Figueira, pela dedicação em me ajudar no percurso final deste trabalho, me orientou, tirou dúvidas, corrigiu português, me apoiou e me motivou a terminar esse processo.

Ao Bruno Messias, com sua genialidade, me ajudou a buscar livros e artigos pela internet e ainda me deu a ideia do *stop motion* na abertura do meu vídeo. Ajudou nas correções do texto da dissertação, entre outras coisas.

À Samia Dantas por ter me emprestado materiais didáticos e por ser referência nos textos.

Ao Abiôlá Àkàndé Yáyì pelo bate papo no dia a dia sobre a África e seu conhecimento de arquiteto nas construções de sua comunidade.

Ao Ronaldo Zebra pelas primeiras gravações do som da cuíca.

Aos músicos, grupo Fita Amarela, que gentilmente participaram da gravação do vídeo, produto final deste mestrado profissional. São eles: Manoel da Cuíca, Bruno do Cavaquinho, DiFeras do Repique de mão, NegroNil do Pandeiro, Toninho 7 Cordas do violão. Suas dedicações para a gravação do vídeo e áudio foram essenciais para realização desse projeto.

Um agradecimento especial a Iyalorisá Cristina Ifatokì, liderança do Centro Ile Oré, o qual cedeu esse espaço para gravação da roda de samba do grupo Fita Amarela e ainda, por usar sua voz no grupo Fita Amarela como cantora e uma das fontes da história do samba no vídeo.

Aos meus pais (Bentão e Lulu) que sempre me ouviram e deram apoio psicológico para continuar na batalha.

À minha irmã e meu irmão que são espelho para minha vida.

“Quem não gosta de samba, bom sujeito não é
É ruim da cabeça ou doente do pé
Eu nasci com o samba, no samba me criei
E do danado do samba, eu nunca me separei”
(CAYMMI, 1965)

RESUMO

Abordagens de ensino que levam em consideração a Lei 10.639/03 parecem distantes da realidade do professor de física. O objetivo deste trabalho foi a elaboração de um vídeo educativo que vai ao encontro das exigências dessa lei em uma abordagem contextualizada e interdisciplinar, destinado ao ensino de timbre a estudantes do Ensino Médio e eventualmente professores de física em formação. Fez-se necessário evocar a abordagem temática, segundo o movimento CTS (ciência-tecnologia-sociedade) para ensino de ondas e acústica. Iniciamos pela modelagem matemática dos timbres, através da série de Fourier (particularmente, somas de funções seno) de alguns instrumentos musicais usados no samba como violão, cavaquinho, pandeiro, repique de mão e cuíca. Tendo em vista cotizar elementos do conhecimento elaborados no continente africano, optou-se pelo tratamento histórico epistemológico do conceito de função, culminando numa abordagem etnomatemática do estudo dos fractais a partir do trabalho de Eglash (1999) que apresenta modelos de fractais nas comunidades da região da África. Apresentamos dois conjuntos de resultados: um em relação a modelagem matemática dos sinais sonoros ajustados utilizando o pacote *MatLab®* e outro relativo as respostas a um questionário encaminhadas via google forms® de apreciação, por professores do Ensino Médio em relação ao vídeo. Essas indicam uma necessidade premente de oferta de formação continuada com foco na Lei 10.639/03, na abordagem CTS e em temas transversais.

Palavras-chave: Timbre, modelagem matemática, CTS, samba.

ABSTRACT

Teaching approaches that take into account the Law 10.639/03 seem to be suitable with reality of High School Physics teachers. In this work, we proposed an educational video that attend requirements of this law in a contextualized and interdisciplinary approach, to teach timbre to High School students and also Physics teachers in training. We adopt the Science, Technology and Society (STS) thematic approach for teaching acoustic and waves. We have started by performing a Fourier series mathematical modelling of the timbres (specially sums of sine functions) of some musical instruments used in Samba, such as acoustic guitar, cavaquinho, tambourine, hand shake and cuíca. In order to valuate essential information, it was performed a historical and epistemological study of the concept of function, culminating in an ethnomathematical approach of fractals based on Eglash (1999). We present two sets of results: one is related to the mathematical modelling of sound signals fitted with MatLab® software and the other one is the answers given by High School teachers to a questionnaire sent by Google Forms after to regard the education video. The data reveal a need for teachers' in service formation focusing on the content of Law 10.639/03, the STS approach and transverse topics.

Keywords: Timbre, samba, mathematical modelling, STS.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 Abordagem de ensino CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) com enfoque temático.....	8
2.1.01 Análise dos livros didáticos	15
2.1.02 Epistemologia conceitual da função	22
2.1.03 Fractais Africanos: conceito de função com dimensão fracionária	35
2.1.04 Equação de onda em sistemas unidimensionais e bidimensionais	44
CAPÍTULO 3. UMA BREVE HISTÓRIA DO SAMBA DO RIO DE JANEIRO	51
CAPÍTULO 4. METODOLOGIA.....	57
CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1 Modelagem matemática para os sinais sonoros	63
5.2 Avaliação do vídeo	68
CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICE A – Modelo de autorização de uso de imagem e depoimentos.....	80
APENDICE B - Roteiro do Vídeo	83
APENDICE C - Ficha de Análise Documental	90
APENDICE D – Questionário de Avaliação do Vídeo	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Significado de tecnologia.....	12
Figura 2 – Diagrama de conjuntos que apresenta a definição de função	23
Figura 3 - Representação de uma circunferência de raio unitário e sua corda (segmento AB) criado para estudos das relações trigonométricas.....	25
Figura 4 – Linha evolutiva representando contribuições de diferentes pesquisadores para o conceito de função	26
Figura 5 – continuação da linha de tempo do conceito de função.....	27
Figura 6 - Esquema possível da deformação da corda quando puxada.	28
Figura 7 - Desenho ilustrativo de um monocórdio	29
Figura 8 – Função de Weierstrass em um intervalo de [-2,2]. A função tem um comportamento fractal.....	33
Figura 9 – século XIX e século XX na linha do tempo do conceito de função.....	34
Figura 10– a esquerda foto aérea do palácio do chefe (Logone-Birni no Camarões); a direita cabelo com aspecto fractal.....	35
Figura 11 – Folhas de samambaia.	36
Figura 12 – Fractal criado por Mandelbrot cuja fórmula é $z_n + 1 = z_n^2 + c$	36
Figura 13 – Conjunto de Cantor	37
Figura 14 – Curva de Koch em diversas etapas de recursividade (a – e).	39
Figura 15 - Foto aérea da cidade de Logone-Birni no Camarões.....	40
Figura 16 – Palácio do chefe e modelo de simulação da estrutura da arquitetura em Logone-Birni.	41
Figura 17 – a) Representação da vila Mokoulek desenhado por um arquiteto francês, Camarões; b) diagrama da estrutura por simulação iterativa.....	41
Figura 18 – a) primeiras três iterações da simulação de Mokoulek; b) quarta iteração da simulação Mokoulek	42
Figura 19 - Medida da dimensão do fractal de Mokoulek. Mostra o resultado indicando a dimensão do fractal de 1,67, não muito distante do da dimensão do fractal obtido analiticamente em simulações computacionais que é 1,53.....	43
Figura 20 – à esquerda: imagem original, à direita: filtrada por TF.....	46
Figura 21 – a) onda sonora em escala pressão x tempo; b) espectro de frequências pelo nível sonoro.	46
Figura 22 - Diagrama de forças aplicado em um elemento de área de uma membrana retangular	48
Figura 23 - Sinal parcial gravado no Programa Audacity® para o grave (superior) e agudo (inferior) da cuíca.	60
Figura 24 - Ajuste de curva usando o ‘cftool’ para o som da cuíca. Os pontos pretos são os dados experimentais e a linha azul é a curva de ajuste.....	60

Figura 25 – Espectro de frequências de um sinal sonoro	61
Figura 26 – Ajuste do sinal sonoro parcial do violão 7 cordas (corda Ré solta) pelo <i>MatLab®</i>	64
Figura 27 - Ajuste do sinal sonoro parcial do cavaquinho pelo <i>MatLab®</i>	64
Figura 28 - Ajuste do sinal sonoro parcial da cuíca pelo <i>MatLab®</i>	65
Figura 29 - Ajuste do sinal sonoro parcial do repique de mão pelo <i>MatLab®</i>	66
Figura 30 - Ajuste do sinal sonoro parcial do pandeiro pelo <i>MatLab®</i>	67
Figura 31 – Relação da porcentagem de respostas de 0 a 10 sobre o conteúdo.	71
Figura 32 - Modelo de autorização de uso de imagem e depoimentos.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Alguns critérios de avaliação dos livros didáticos criados pelo MEC.	16
Quadro 2 - Coleções para apresentação dos dados levantados nos livros didáticos PNLD 2015.	16
Quadro 3 –Instrumentos musicais catalogados nos LD de 2015.....	20
Quadro 4 - Alguns instrumentos usados no samba	51
Quadro 5 - Panorama da quantidade de estações emissoras de rádio no Brasil nas décadas de 30 a 50 do século passado.	54
Quadro 6 - Interpretações do que é o samba para Vagalume e Orestes Barbosa.	55
Quadro 7 – Síntese das respostas dos professores que assistiram o vídeo.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de páginas, ilustrações e esquemas, equações, gráficos e exercícios dedicados aos conteúdos de som e acústica em cada coleção indicada pelo PNLD 2015 (BRASIL, 2014)	18
Tabela 2 - Espectro do violão 7 cordas do <i>Audacity</i>	64
Tabela 3 - Valores resultados do ajuste feito para o violão 7 cordas.	64
Tabela 4 - espectro do Cavaquinho pelo <i>Audacity</i>	65
Tabela 5 - Valores resultados do ajuste feito para o Cavaquinho.	65
Tabela 6 - Espectro de frequências para a Cuíca <i>Audacity</i>	65
Tabela 7 - Valores resultados do ajuste feito para a Cuíca.....	66
Tabela 8 - Espectro de frequências para o repique de mão <i>Audacity</i>	66
Tabela 9 - Valores resultados do ajuste feito para o repique de mão.	66
Tabela 10 - Espectro de frequências par ao pandeiro <i>Audacity</i>	67
Tabela 11 - Valores resultados do ajuste feito para o pandeiro.....	67

INTRODUÇÃO

Materiais didáticos concebidos segundo uma abordagem interdisciplinar vêm sendo valorizados pelas pesquisas em ensino e educação, especialmente naquelas relativas a trabalhos em ensino de ciências e matemática. Para Saucedo (2013, p. 1), “a interdisciplinaridade propõe um conjunto de relações entre os conteúdos disciplinares trabalhados nas escolas” e possibilita o rompimento do tratamento fragmentado e linear do conhecimento em sua produção e socialização. As dificuldades de implantar práticas desta natureza nas escolas públicas são grandes. Por exemplo, Augusto e Caldeira (2007) apresentam em seu trabalho os empecilhos vivenciados numa prática interdisciplinar nas escolas estaduais paulistas e um deles é a falta de conhecimento pelo professor em relação aos conteúdos de outras disciplinas. Cunha (2015) apresenta uma proposta didática para trabalhar matemática utilizando a música de uma maneira interdisciplinar justificando, assim, a viabilidade ao aprendizado da disciplina.

Metodologias de ensino ultrapassadas, centradas na memorização e na busca de informações prontas, em detrimento da compreensão, da originalidade e da criatividade são atualmente problemas de pesquisas considerados por algumas linhas de projeto de ensino e de educação, segundo a Carta Aberta da SBPC de 2003 (SBPC, 2003). Este documento apresenta o resultado de uma reunião de professores que atuam em sala de aula na educação básica; professores, pesquisadores universitários e estudantes de diversos cursos; que durante dois dias, em uma conferência em Recife durante a 55^a reunião da SBPC (Sociedade Brasileira de Pesquisa à Ciência) debateram os problemas principais do ensino de ciências no Brasil e chegaram a um consenso, registrado nesta carta de apelo ao governo, às instituições formadoras e às escolas de educação básica.

Um processo de ensino que apresente, além da interdisciplinaridade, elementos do contexto do aluno, tem mostrado resultados de aprendizagens e interesses em determinados grupos (STRIEDER, 2008), bem mais eficazes que outros métodos de ensino-aprendizagem como “conteudista”, tecnicista, neutra, apolítica; os quais consistem em tratar assuntos não condizentes à realidade do indivíduo levando a um diálogo desestrututivo alienante (LEITE e FEITOSA, 2012). Portanto, propostas de materiais que tratem de um tema relevante envolvendo um diálogo entre outras disciplinas, podem ser uma alternativa ao atual sistema de ensino. Uma maneira de implantar a interdisciplinaridade seria por meio da Lei 10.639 de 2003.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional foi implementada pela Lei 10.639/03 (BRASIL, 2004), cuja relatora foi Petronilha Beatriz Gonçalves e Silva, estabeleceu diretrizes para o ensino de História e Cultura Africana e Afro-Brasileira no ensino brasileiro, a partir da ampla consulta por questionário a grupos do movimento social negro, a conselhos estaduais e municipais de educação, a professores que desenvolvem trabalhos sobre a temática das relações étnico-raciais, entre outros. A incrementação da LDB com a inserção do estudo da cultura da África implica em proporcionar o discurso e práticas metodológicas pelos professores, visando a desmistificação histórica dos descendentes africanos aqui no Brasil, reafirmando a grande importância na cultura e construção do país por estes povos. A proposta de estudos desta natureza, segundo a relatora das Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação das Relações Étnico-Raciais e para o Ensino de História e Cultura Afro-Brasileira e Africana,

(...) têm como objetivo fortalecer entre os negros e despertar entre os brancos a consciência negra. Entre os negros, poderão oferecer conhecimentos e segurança para orgulharem-se da sua origem africana; para os brancos, poderão permitir que identifiquem as influências, a contribuição a participação e a importância da história e da cultura dos negros no seu jeito de ser, viver, se relacionar com outras pessoas, notadamente as negras (Parecer CNE/CP 3/2004, p. 16)

Neste sentido, a cultura e a história dos negros estiveram na formulação de vários aspectos de nossa cultura e uma delas são os ritmos influenciados pelos seus instrumentos africanos. Além da cultura negra estar respaldada pela lei 10.639, há a lei 11.645 “que altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, modificada pela Lei nº 10.639, de 9 de janeiro de 2003, estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, para incluir no currículo oficial da rede de ensino a obrigatoriedade da temática ‘História e Cultura Afro-Brasileira e Indígena’” (BRASIL, 2008).

Segundo Oliveira (2012), “a abordagem de conteúdos e metodologias que valorizem as relações étnico-raciais, permite e estimula o trabalho conjunto entre dois ou mais campos distintos, em busca de um trabalho interdisciplinar” (p.3). Para este mesmo autor, a construção da sociedade brasileira e sua ligação com os negros merecem ser destacadas e mencionadas nos conteúdos sobre as relações étnico raciais. Neste nosso caso apresentamos um recorte na cultura musical trazida pelos afro-brasileiros.

Uma proposta de ensino baseada no movimento CTS foca o estudo da inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade. Assim, estes três elementos estão conectados e se influenciam mutuamente. A mesma leva em consideração as consequências das descobertas científicas e suas aplicações tecnológicas no desenvolvimento social, político, no modo de viver, na cultura, na ética e no meio ambiente (PACHECO, 2016). Permeia, ainda, a intenção de analisar um problema que apresente um significado social relacionando com ciência-

tecnologia (AULER, DALMOLIN e FENALTI, 2009) objetivando a *desalienação* e posicionamento do sujeito *práxis*¹ de sua própria história e cultura (MIZUKAMI, 1986).

Em uma sala de aula, o estímulo para a *práxis* começaria pelo material didático, fonte de consulta principal dos professores (AGUIAR, 2015). Tendo isso em vista, assim como a disponibilidade destes materiais aos estudantes em todo o país, fizemos uma análise dos capítulos de ondulatória e acústica nas coleções dos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2015 (BRASIL, 2014), com finalidade de descobrir se os mesmos abordam os fundamentos da história e cultura afro-brasileira de forma contextualizada, em acordo com a Lei 10639, mencionando alguns instrumentos musicais ou alguns ritmos populares brasileiros.

O caminho traçado até a escolha do tema som, com foco nos instrumentos musicais e no samba, envolveu diversos fatores determinantes. A música sempre foi presente na minha vida e a Física abriu caminho para o entendimento desta e sua produção pois, a manipulação dos fenômenos sonoros desencadeia uma série de fatos intrigantes sobre esta natureza perfeita. Desde a infância toquei violão, no entanto, as relações matemáticas envolvidas nas formações dos acordes e a intenção de cada um no campo harmônico eram pouco assimiladas por mim, mesmo tendo estudado em um conservatório.

Minha percepção sonora e a vontade de entender o que estaria por trás do funcionamento desses artefatos, os quais apresentavam diferentes sonoridades em uma banda, evoluiu à medida que me envolvia com novos ritmos e com meu violão. Por fim, já na vida universitária, no trabalho de conclusão de curso, ministrei aulas para algumas turmas do Ensino Médio utilizando uma proposta didática elaborada por alunos do programa de Pós-graduação de Ensino de Ciências e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. As aulas foram lecionadas seguindo o conteúdo e as atividades propostas no artigo de Abril, Arévalo e Iachel (2010), consistindo de experimentos didáticos e experimentos mentais. Num primeiro momento, a contextualização do som foi implementada usando os ritmos musicais que cada um ouvia ou gostava; na segunda fase, as formas de produção dos sons foram caracterizadas; na terceira fase, explorou-se a noção dos alunos sobre a necessidade de um meio material para propagação da onda sonora; e por fim, na quarta fase, foram incluídas as qualidades sonoras e a relação do timbre com a matemática em um estudo sistemático. Os alunos se envolveram nas

¹ *práxis*: “reflexão e ação verdadeiramente transformadora da realidade, fonte de conhecimento reflexivo e criação” (VILLA, V. e MIGUEL, M. E. B., 2007, p. 3757). Fonte <<http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2007/anaisEvento/arquivos/CI-458-04.pdf>> Data de acesso 28 de setembro de 2016 às 9:46

atividades propostas, se interessaram na participação nas aulas, interagiram entre si e com o professor e, assimilaram o conteúdo parcialmente. Alguns elementos, como a qualidade sonora do timbre, não foram apropriados pelos alunos. Isso ocorreu pelo fato da proposta didática não focar no conteúdo, mas na contextualização do som no dia a dia, exploração de habilidades e interação dos alunos em trabalhos conjuntos e resolução de problemas propostos em sala de aula.

Meus anseios levaram a produção deste projeto de mestrado e consistiam em entender a concepção física do som, quanto ciência, quanto música e a nossa capacidade de diferenciar os timbres produzidos por dois ou mais instrumentos. Neste viés, a vontade de aprofundar na teoria dos fenômenos sonoros, envolvendo os timbres musicais e sua aplicação no dia a dia, aliada ao diagnóstico de materiais didáticos incipientes em relação ao caráter interdisciplinar e contextualizado, foram cruciais para a escolha do tema deste mestrado profissional. O trabalho, no entanto, envolveu outras contingências que enriqueceram o meu conhecimento e não estavam propostos inicialmente. De um estudo do timbre dos instrumentos musicais com apenas enfoque matemático dos sinais sonoros usando modelagem matemática, iniciado em uma disciplina do mestrado (Modelagem Matemática), este trabalho envolveu o tratamento da música numa perspectiva histórica, etnomatemática e cultural. Esse curso tinha como resultado final uma proposta de ensino desta natureza e, a minha consistiu na aplicação de somas de funções senos nos ajustes dos sinais sonoros de dois violões, um de cordas de aço e outro de cordas de nylon. Após ter aprendido as séries de Fourier utilizando o pacote matemático *MatLab®*, resolvemos fazer o ajuste para o espectro sonoro da cuíca, instrumento de membrana originário da cultura africana.

O ensino de acústica e ondas no ensino médio e seu devido tratamento matemático possibilita a compreensão da produção e percepção dos sons musicais, estudo gráfico e matemático das funções trigonométricas. E ainda, com o avanço do entendimento de como se comporta os fenômenos sonoros, a tecnociência possibilitou o desenvolvimento de alguns dispositivos como, por exemplo, fone com cancelamento de ruído evitando efetivamente a surdez em trabalhos com máquinas produzindo altos níveis de decibéis. A ênfase gráfica na caracterização do perfil sonoro neste trabalho alavanca grandes possibilidades de desenvolvimentos de habilidades de análises desta natureza. Essa ferramenta tem enorme aplicabilidade no dia a dia, como, por exemplo, na interpretação de diagramas estatísticos apresentados nas mídias diversas. Para além dos conteúdos matemáticos e físicos, esta proposta tem potencialidade de desenvolver a percepção sonora em seus detalhes, que, de maneira indireta, suscitaria na sensibilização dos indivíduos aos acontecimentos do dia a dia. E por fim,

motiva a estreita relação das áreas história, ciências sociais, religião e política, bem como cumpre com os Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio (PCN+EM) (BRASIL, 2013), que estabelecem algumas competências evidenciadas quando abordado o assunto de ondas e acústica:

- identificar objetos, sistemas e fenômenos que produzem sons, para reconhecer as características que os diferenciam;
- associar diferentes características de sons a grandezas físicas (como frequência, intensidade etc.) para explicar, reproduzir, avaliar ou controlar a emissão de sons por instrumentos musicais ou outros sistemas semelhantes;
- conhecer o funcionamento da audição humana para monitorar limites de conforto, deficiências auditivas ou poluição sonora (p. 26).

Assim, além do alvitrado no PCN, nosso trabalho tange outras qualidades como inter-relações entre ciência-tecnologia-sociedade. Ciência consiste no conhecimento científico atual da sociedade acadêmica que, para nosso caso, refere-se aos conceitos matemáticos envolvidos na modelagem matemática dos sons dos instrumentos musicais por séries trigonométricas caracterizadas por Fourier. Isso significa o estudo científico dos sons dos instrumentos musicais a partir das combinações lineares das funções senos que caracterizam um sinal sonoro. Tecnologia corresponde aos artefatos, que em nossa proposta, são os instrumentos musicais usados para análises sonoras. Por fim, a sociedade envolve toda a conjuntura, incluindo a cultura e sua história tratando da origem do samba e a miscigenação rítmica do europeu e africano. As inter-relações destes elementos formam uma rede entrelaçada indissociável e suas conexões descrevem o contexto que desejamos analisar. Por exemplo, o ritmo samba nasce nos centros de candomblé onde, após as rezas, são comemoradas o que foi sagrado de maneira profana. Neste ambiente temos destaque de alguns instrumentos utilizados, tanto nos rituais, quanto no samba, como, por exemplo, agogô, atabaque, timbal; como resultado da mistura da cultura musical europeia e africana, nos quais elementos de batuque, tango, *fox-trot*, etc., tiveram contribuições para a formação do ritmo de hoje dentro destes terreiros (FERNANDES, 2010).

O produto educativo resultante deste mestrado profissional foi um vídeo de vinte e cinco minutos que apresenta falas do público sobre samba, experiências dos músicos sobre a escolha do instrumento e o papel de cada um numa roda de samba. Assim, estes materiais tratam de conceitos de acústica aliada à música, apresentam a opinião do público sobre o samba, elementos culturais, qualidades sonoras e os diversos timbres de diferentes instrumentos musicais como da cuíca, repique de mão, cavaquinho, pandeiro e violão sete cordas, usados na roda de samba articulada para o vídeo, denominada Projeto Fita Amarela. Assim, sinais sonoros gravados foram modelados e graficamente reproduzidos. O documentário, portanto, trabalha na

interface da física, dos instrumentos musicais e de um dos ritmos musicais considerados cultura popular brasileira: o samba (NAPOLITANO e WASSERMAN, 2000). Para nós, é interessante resgatar este ritmo, pois faz parte dos costumes do brasileiro.

A escolha do vídeo como produto educativo foi motivado por Wohlgemuth (2005), que apresenta em seu livro como fazer uma mídia que atinja grande parte da sociedade de maneira a dialogar com os grupos sociais. Segundo o autor, a forma de transmitir as informações com qualidade para a maior quantidade de pessoas é a partir do vídeo, porque envolve todas as duas comunicações: visual e auditiva resultando numa dinâmica audiovisual atraente e estimulante aos espectadores. Além disso, nós escolhemos este formato de mídia por afinidade própria em confecção.

A dissertação está organizada em cinco capítulos e quatro apêndices. O segundo capítulo apresenta a teoria envolvida no processo de ensino CTS junto a uma abordagem histórica do conceito de função. Em um diálogo etnomatemática, apresentamos o conceito de fractal e algumas aplicações arquitetônicas no continente subsaariano africano. Além disso, neste mesmo capítulo fazemos uma breve análise dos livros didáticos do PNLD 2015 para o tema trabalhado, justificando a necessidade desse material didático. Para nossa proposta CTS, fazemos o tratamento dos elementos ciência e tecnologia (CT) que consiste no estudo matemático do timbre e a aplicação da modelagem para os sons musicais de alguns instrumentos.

No terceiro capítulo, apresentamos um breve histórico do samba no Rio de Janeiro, dando destaque à primeira música gravada e a dificuldade deste ritmo tornar-se parte da cultura brasileira.

O quarto capítulo consiste na metodologia envolvida até a concepção do vídeo.

O quinto capítulo é destinado às apresentações dos resultados. A avaliação do vídeo feita por alguns professores de física de escola pública do Ensino Médio em relação às possibilidades de aplicação deste vídeo em sala de aula e do potencial interdisciplinar desta obra.

No sexto capítulo fazemos as considerações finais.

O apêndice A contém o termo de autorização do uso de imagem e a pauta de entrevista destinado aos participantes do vídeo: povo da rua e aos músicos. As perguntas feitas para o público objetivaram saber se cada um gosta de ouvir samba, se preferem ouvir ao vivo ou em casa. Para os músicos, as arguições foram sobre os fatores que determinaram a escolha do instrumento e a função deste numa roda de samba.

No segundo apêndice, B, apresentamos o roteiro do vídeo com as respectivas falas.

O terceiro apêndice, C, refere-se à ficha documental de análise da obra Fita Amarela de Noel Rosa. No Apêndice D apresentamos o questionário designado ao público que assistiram o vídeo de preferência professores de física do Ensino Médio em Escola Pública.

CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Abordagem de ensino CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) com enfoque temático

O movimento CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) nasceu tendo como pano de fundo questionamentos ao sistema capitalista e seu modo de vida consumista (SANTOS, 2011). Vivemos em uma sociedade tecnológica que, influenciada pela ciência e tecnologia, toma rumos sociais determinados por estes dois elementos indissociáveis. Com a supervalorização do cientificismo, a sociedade passou a acreditar na salvação dos problemas do homem pela ciência, pois tudo poderia ser resolvido cientificamente (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000). Essa mentalidade gerou consequências negativas como, por exemplo, a maneira de exploração dos recursos naturais do planeta, desconsiderando que o mesmo consiste de um sistema finito no qual, a água potável, o petróleo e outros elementos acabarão, se mantivermos o modelo vigente. O consumismo imposto pelo sistema capitalista, junto à alienação das informações pela mídia (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000) têm levado ao cientificismo cuja função ideológica é de dominação. Neste sentido,

segundo Habermas (1983 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000), com o desenvolvimento do modo de produção capitalista, houve uma cientificização da técnica e, nesse processo, o desenvolvimento tecnológico passou a depender de um sistema institucional no qual conhecimento técnico e científico são interdependentes. Ainda, segundo esse autor, “com a investigação industrial de grande escala, ciência, técnica e valorização foram inseridas no mesmo sistema” (p. 330). Habermas defende, assim, a tese central de Marcuse de que a ciência e a técnica cumprem a função de legitimação da dominação, pois as metodologias científicas levam a uma dominação da natureza com uma eficácia cada vez maior, proporcionando os instrumentos para uma dominação cada vez mais eficiente do homem sobre o homem (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p.3).

Neste modo de vida, as necessidades humanas não definem as necessidades de produção e sim, estas últimas criam as demandas de consumo estipulando os valores da sociedade. MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS (2000) apresentam referências de estudos de filosofia e sociologia sobre a ineficiência da ciência na resolução das grandes questões éticas e sociopolíticas da humanidade. Além disso, a ciência e a tecnologia

têm interferido no ambiente e suas aplicações têm sido objeto de muitos debates éticos, o que torna inconcebível a ideia de uma ciência pela ciência, sem

consideração de seus efeitos e aplicações. É nesse contexto que estudos sobre ciência, tecnologia e sociedade têm recebido uma grande atenção, sobretudo no período posterior ao da Segunda Guerra Mundial e, nas últimas décadas, vêm influenciando a elaboração de currículos de ciências no mundo inteiro (BRIDGSTOCK et al., 1998 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 3)

É nesta conjectura também que ergueu-se um novo modo de produção do conhecimento (GIBBONS et al, 1994 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000), cuja aplicação que se faz para o bem comum envolve diferentes setores, como por exemplo, atores sociais, cientistas, representantes do governo, setor produtivo, de organizações governamentais e não-governamentais e da imprensa. Ainda, “as decisões sobre as aplicações das ciências deveriam passar por um filtro social” (VARGAS, 1994 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 4). Assim, para este mesmo autor, “uma nação adquire autonomia tecnológica não necessariamente quando domina um ramo de alta tecnologia; mas quando consegue uma ampla e harmoniosa interação entre esses subsistemas tecnológicos, sob o controle, orientação e decisão dos ‘filtros sociais’” (p.186). Em consequência,

alfabetizar, portanto, os cidadãos em ciência e tecnologia é hoje uma necessidade do mundo contemporâneo (SANTOS e SCHNETZLER, 1997). Não se trata de mostrar as maravilhas da ciência, como a mídia já o faz, mas de disponibilizar as representações que permitam ao cidadão agir, tomar decisão e compreender o que está em jogo no discurso dos especialistas (FOUREZ, 1995). Essa tem sido a principal proposição dos currículos com ênfase em CTS.

Os currículos com ênfase em CTS, para Roberts (1991 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000), referem-se aqueles que tratam as inter-relações entre “explicação científica, planejamento tecnológico e solução de problemas, e tomada de decisão sobre temas práticos de importância social” (p. 4). Estes currículos apresentam, em geral, uma concepção de

- (i) ciência como atividade humana que tenta controlar o ambiente e a nós mesmos, e que é intimamente relacionada à tecnologia e às questões sociais;
- (ii) sociedade que busca desenvolver, no público em geral e também nos cientistas, uma visão operacional sofisticada de como são tomadas decisões sobre problemas sociais relacionados à ciência e tecnologia;
- (iii) aluno como alguém que seja preparado para tomar decisões inteligentes e que compreenda a base científica da tecnologia e a base prática das decisões; e
- (iv) professor como aquele que desenvolve o conhecimento de e o comprometimento com as inter-relações complexas entre ciência, tecnologia e decisões.

Numa visão geral, o ensino na perspectiva do movimento CTS pode ser caracterizado como “o ensino de conteúdo de ciências no contexto autêntico do seu meio tecnológico e social, no qual os estudantes integram o conhecimento científico com a tecnologia e o mundo social de suas experiências do dia-a-dia” (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 5).

Neste caso, o ensino se basearia em uma proposta curricular que integrasse a educação científica, a tecnológica e a social, em que “os conteúdos científicos e tecnológicos são estudados conjuntamente à discussão de seus aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos” (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 5).

O movimento CTS se consolidou em uma abordagem de ensino à medida que crescia a necessidade de formar cidadãos conscientizados sobre os problemas ambientais agravados no pós-guerra, entre outros. Assim, para Mortimer e Pereira dos Santos (2000),

a necessidade da participação popular nas decisões públicas, estas cada vez mais sob o controle de uma elite que detém o conhecimento científico, e, sobretudo, o medo e a frustração decorrentes dos excessos tecnológicos propiciaram as condições para o surgimento de propostas de ensino CTS (WAKS, 1990). Estudos na área da epistemologia da ciência, que incorporaram questões relativas aos aspectos econômicos e políticos da ciência, também contribuíram para o aparecimento dessa ênfase (p. 5).

O surgimento desta demanda curricular aconteceu nos países industrializados, na Europa, nos Estados Unidos, no Canadá e na Austrália. Para a realidade no Brasil, Krasilchik (1987 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000),

ao discutir a evolução da inovação educacional dos currículos de ciências no Brasil no período de 1950 a 1985, assinala que, na década de setenta, os mesmos começaram a incorporar uma visão de ciência como produto do contexto econômico, político e social. Já na década de oitenta, a renovação do ensino de ciências passou a se orientar pelo objetivo de analisar as implicações sociais do desenvolvimento científico e tecnológico (p. 5).

Neste cenário, vários materiais foram desenvolvidos nas universidades. O objetivo dessas propostas para o ensino médio é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos indivíduos, desencadeando habilidades, conhecimentos e valores para as decisões e soluções de questões de ciência e tecnologia na sociedade. Isso implica, na verdade, três objetivos: aquisição de conhecimentos, utilização de habilidades e desenvolvimento de valores (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000). Dentre os conhecimentos e habilidades a serem desenvolvidos, Hofstein (1988) inclui:

a autoestima, a comunicação escrita e oral, o pensamento lógico e racional para solucionar problemas, a tomada de decisão, o aprendizado colaborativo/cooperativo, a responsabilidade social, o exercício da cidadania, a flexibilidade cognitiva e o interesse em atuar em questões sociais (*apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 6).

Sobre o outro objetivo, desenvolvimento de valores, pode-se dizer que

esses valores estão vinculados aos interesses coletivos, como os de solidariedade, de fraternidade, de consciência do compromisso social, de reciprocidade, de respeito ao próximo e de generosidade. Tais valores são, assim, relacionados às necessidades humanas, o que significa um questionamento à ordem capitalista, na qual os valores econômicos se impõem aos demais (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 6).

É a partir da discussão destes valores que podemos traçar um caminho na construção de cidadãos críticos, comprometidos com a sociedade e seu meio, resgatando a cultura de outros ritmos, dando entendimento na formação e escolha na origem dos ritmos brasileiros. Isso oportuniza o desenvolvimento de um pensamento crítico no aluno, para decisão e escolha crítica da música a ouvir.

A estrutura conceitual dos cursos segundo a abordagem CTS é composta pelos seguintes temas, na visão de Bybee (1987) interpretada por Mortimer e Pereira Dos Santos (2000),

conceitos científicos e tecnológicos, processos de investigação e interações entre ciência, tecnologia e sociedade. A aquisição de conhecimentos científicos e tecnológicos enfatizaria aspectos relacionados ao interesse pessoal, à preocupação cívica e às perspectivas culturais. Os processos de investigação científica e tecnológica propiciariam a participação ativa dos alunos na obtenção de informações, solução de problemas e tomada de decisão. A interação entre ciência, tecnologia e sociedade propiciaria o desenvolvimento de valores e ideias por meio de estudos de temas locais, políticas públicas e temas globais (p. 7)

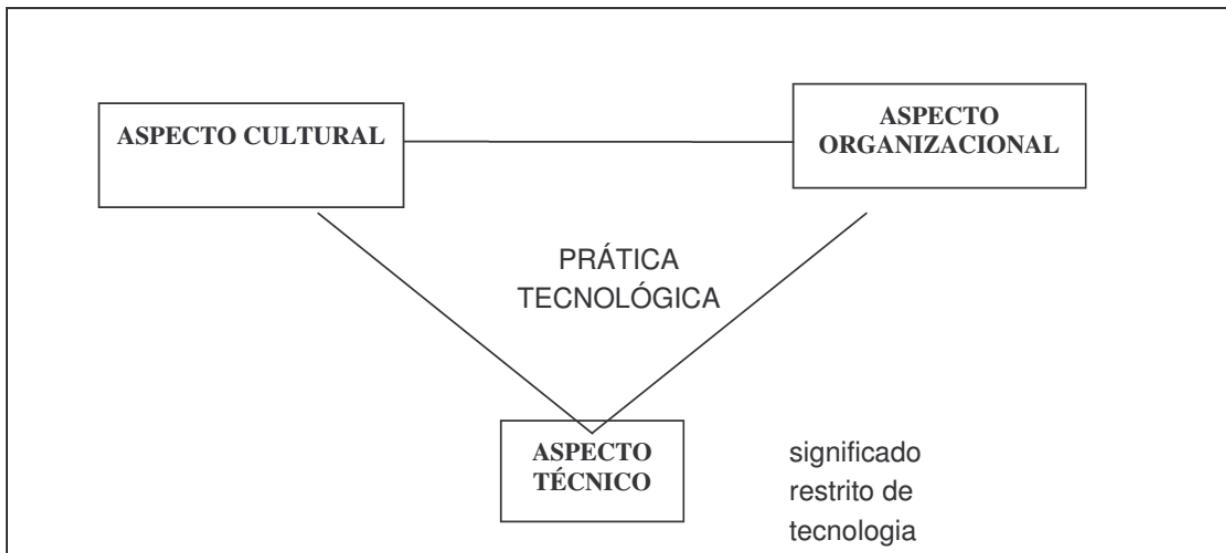
É relevante discutir, nesse sentido, quais perspectivas os currículos CTS apresentam sobre ciência, tecnologia e sociedade e suas inter-relações. A ciência deve ser analisada, conforme mencionado anteriormente, em uma visão crítica, intencionando o rompimento do mito do cientificismo que sustentou ideologicamente a consolidação da submissão aos interesses de mercado, à busca do lucro. Autores como Latour e Woolgar (1997 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000), defendem que a ciência não “é justificada apenas por critérios racionais e cognitivos, pois estes critérios também são construídos socialmente pelos diferentes atores que participam da investigação científica” (p. 7). É neste sentido que, estes autores levantam o questionamento sob a “visão mítica da ciência e seus métodos, a sua a-historicidade, a sua universalidade, a natureza absoluta de suas técnicas e de seus resultados”.

A tecnologia pode ser compreendida como

conhecimento que nos permite controlar e modificar o mundo. Atualmente a tecnologia está associada diretamente ao conhecimento científico, de forma que hoje tecnologia e ciência são termos indissociáveis. Isso tem levado a uma confusão comum que é reduzir a tecnologia à dimensão de ciência aplicada (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p.9).

A tecnologia não é entendida como simplesmente a aplicação da ciência e sim, um conjunto de atividades humanas associadas ao aspecto cultural, organizacional e técnico constituindo, assim, em uma prática complexa, como mostra o diagrama da Figura 1.

Figura 1 – Significado de tecnologia.



Fonte: (PACEY, 1990, p. 19 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 9).

Uma interpretação do diagrama que podemos obter são os seguintes aspectos centrais responsáveis pela prática tecnológica (PACEY, 1990 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000):

1. aspecto técnico: conhecimentos, habilidades e técnicas; instrumentos, ferramentas e máquinas; recursos humanos e materiais; matérias primas, produtos obtidos, dejetos e resíduos;
2. aspecto organizacional: atividade econômica e industrial; atividade profissional dos engenheiros, técnicos e operários da produção; usuários e consumidores; sindicatos;
3. aspecto cultural: objetivos, sistema de valores e códigos éticos, crenças sobre o progresso, consciência e criatividade (p. 10).

Em geral, a tecnologia é reduzida apenas pelo aspecto técnico. Em uma abordagem de ensino CTS, o objetivo é a identificação dos aspectos organizacionais e culturais da tecnologia.

Neste sentido,

a identificação dos aspectos organizacionais e culturais da tecnologia permite compreender como ela é dependente dos sistemas sócio-políticos e dos valores e das ideologias da cultura em que se insere. É com esse entendimento que o cidadão passa a perceber as interferências que a tecnologia tem em sua vida e como ele pode interferir nessa atividade (p. 10).

A alfabetização tecnológica no contexto de CTS inclui a compreensão de todos esses aspectos da prática tecnológica. Segundo Fleming (1989 *apud* MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000):

uma pessoa letrada tecnologicamente tem o poder e a liberdade de usar esse poder para examinar e questionar os problemas de importância em sócio tecnologia. Algumas dessas questões poderiam ser: as ideias de progresso por meio da tecnologia, as tecnologias apropriadas, os benefícios e custos do desenvolvimento tecnológico, os modelos econômicos envolvendo tecnologia, as decisões pessoais envolvendo o consumo de produtos tecnológicos e como as decisões tomadas pelos gerenciadores da tecnologia conformam suas aplicações (: 393-394) (p. 10).

As discussões sobre os valores e de como a tecnologia influencia no comportamento do ser humano é essencial para a formação do cidadão crítico, que comprehende o papel da tecnologia em prol da sociedade e da preservação natural do ambiente que se insere. “É a partir da identificação dos valores que se comprehende melhor as necessidades da sociedade e os aspectos éticos que devem ser considerados no uso mais responsável da tecnologia. Será também pelo desenvolvimento de valores que se consolidará o sentimento de solidariedade cósmica, dentro de um novo paradigma em emergência, o da comunidade planetária” (MORTIMER e PEREIRA DOS SANTOS, 2000, p. 10).

O movimento CTS inclui em seu currículo a sociedade articulando em torno de temas científicos ou tecnológicos, que são potencialmente problemáticos do ponto de vista social. A intensão é mostrar para o indivíduo que ele pode influenciar o seu meio a partir de ações individuais e que repercutem no meio social, como o seu poder de consumidor em influenciar o mercado, selecionando o que consumir. Além disso, estimular a participação em grupos sociais organizados, como centros comunitários, sindicatos, escolas, etc., percebendo o potencial de ação em sua realidade por meio destas organizações.

Uma abordagem de ensino temático por CTS para Ramsey (1993) deve obedecer três critérios:

1. Se é, de fato, um problema de natureza controvertida, ou seja, se existem opiniões diferentes a seu respeito;
2. Se o tema tem significado social;
3. Se o tema, em alguma dimensão, é relativo à ciência-tecnologia (p. 6 apud AULER, DALMOLIN e FENALTI, 2009).

Os critérios propostos pelo autor são usados como orientação à pesquisa desta natureza. Neste sentido, nosso trabalho está de acordo com as mesmas, à medida que se origina de um tema com significado social. A situação-problema proposta neste trabalho: “Porque conseguimos diferenciar dois instrumentos mesmo tocando a mesma coisa da mesma maneira?” pode ser tratada envolvendo uma discussão de ciência-tecnologia na caracterização matemática dos sons e ainda mobilizarmos discussões em relação aos instrumentos usados. A partir da díade ciência-tecnologia para a conceituação de timbre, aproveitamos a perspectiva do desenvolvimento histórico do conceito de função para relacionar a série de Fourier (usada para modelar o som) aos fractais africanos, capazes de modelar a arquitetura das comunidades daquele continente.

Santos (2011) analisou aplicações de propostas didáticas de natureza CTS, identificando resultados positivos em relação à aprendizagem dos alunos quando o ensino é trabalhado nesta perspectiva, afirmando que:

propostas de ensino CTS tem contribuído para a maioria dos estudantes da educação básica que apresentam dificuldades com o ensino tradicional de Ciências Aikenhead (2005 e 2006). As pesquisas apontam resultados positivos em termos de evidenciar a relevância social do conhecimento científico estudado, de melhorar a aprendizagem de conceitos científicos, de contribuir para os alunos desenvolverem a capacidade de tomada de decisão, de orientar os professores para uma educação voltada para a cidadania. Em síntese, Aikenhead (2005 e 2006) demonstra evidências de os materiais de CTS terem sido bem-sucedidos. Donnelly (2004), em sua pesquisa, também reconhece contribuições significativas de matérias de CTS e aponta a existência de materiais que tiveram um caráter de ativismo no sentido de engajar os estudantes em atuação política na sociedade (SANTOS, 2011, p. 28).

A fundamentação teórica dessa proposta de ensino se apoia na perspectiva do movimento CTS, que parte de uma abordagem temática para orientação do ensino das ciências a fim de conhecer e resolver o problema inserido no contexto do indivíduo, as variáveis que os afetam e os valores envolvidos para a solução deste (MARTINS, 2011).

O homem e mundo não são dissociados um do outro. Trata-se de um processo interacionista dialético, no qual o primeiro modifica o segundo e, simultaneamente, vice-versa, uma vez que “a partir da interação homem-mundo, sujeito-objeto é imprescindível para que o ser humano se desenvolva e se torne sujeito de sua práxis” (MIZUKAMI, 1986, p. 86).

Não existem indivíduos concretos, prontos e acabados, e sim uma dinâmica no qual o homem está situado em uma época, inseridos num contexto sócio-econômico-cultural-político. A partir da consciência da conjectura histórica e atual da realidade, é de se esperar que o indivíduo integrado e conscientizado de seu contexto atue na realidade, compromissado com a mudança e a construção de sua própria história e sua cultura (MIZUKAMI, 1986). Neste sentido, a ação transformadora do ensino visa a não alienação do indivíduo e, muito menos, a reprodução da cultura imposta pelos grupos dominantes, gerando uma cultura autêntica. O conceito de cultura é polissêmico, mas na visão de nossa proposta de ensino é concebido como “todo o resultado da atividade humana, do esforço criador e recriador do homem, de seu trabalho por transformar e estabelecer relações dialogais com outros homens (Freire, 1974, p. 41 *apud* MIZUKAMI, 1986, p. 87)”.

Toda tentativa de registrar e sistematizar a experiência humana de maneira crítica consiste em fazer cultura e se estabelecer relações entre os indivíduos, bem como buscar respostas aos desafios exigidos pela natureza. A história da sociedade consiste nas sucessivas conscientizações e práxis do ser humano na transformação de seu contexto, criando novas respostas às suas necessidades. Para este fim, a educação deve apresentar aspectos incorporados em sua estrutura, atividades e conteúdo que proporcionem aos sujeitos tomadas de consciência e ações a fim de praticar a cultura e construir sua história buscando a libertação dos próprios homens. No entanto, a educação não apresenta uma neutralidade. Ela tem duas vertentes, a

primeira intencionada à dominação, criando artifícios para manter o vigente e, a outra, visando a libertação, no qual o sujeito torna-se mais humano em sua prática diária.

A escola teria o comprometimento para tal realização, constituindo em “um local onde seja possível o crescimento mútuo, do professor e dos alunos, no processo de conscientização, o que implica uma escola diferente da atual, com seus currículos e prioridades” (MIZUKAMI, 1986, p. 95). Ao se falar em escola, envolvemos dois elementos fundamentais na formação do próprio indivíduo: a relação entre o professor e o aluno. Neste caso, são vistos numa relação horizontal, em que ambos são educando e educador. O docente realiza o papel de mediador. Diferente de outras práticas de ensino, nas quais este realiza o papel de fonte de conhecimento, neste processo, ele consiste do sujeito mais instruído, e que, a partir de questionamentos e orientações, contribui na construção do conhecimento do aluno, pois ambos reconhecem a posição social de cada um. É somente nestas condições, em que o professor aborta a posição de fonte única, que se cria a educação (MIZUKAMI, 1986). Em outras palavras, a prática educativa nas escolas e academias, segundo a abordagem sociocultural deve apresentar uma relação entre aluno e professor, na qual o último apresenta autoridade sobre os demais, mas não é visto como dono de verdades únicas. Por fim, exerce o papel de orientador para que, a partir dos conhecimentos cotidianos dos alunos (aqueles derivados do senso comum, na maioria intuitivos), molde em conceitos mais gerais, com maiores poderes de resolução de problemas, chegando próximo ao conceito científico.

Os livros didáticos nos ambientes escolares apresentam impactos no cotidiano do professor e do aluno e são vistos como um suporte privilegiado dos conteúdos educativos (GARCIA, 2012). Este mesmo autor afirma que “diversas dimensões da experiência escolar são afetadas pela presença dos livros nas salas de aulas: o ensino, os métodos, a avaliação, a imagem dos professores, o conhecimento, dentre outros” (GARCIA, 2012, p. 146). A análise dos livros didáticos possibilita uma visão panorâmica do assunto tratado neste material e é apresentada na próxima seção.

2.1.01 Análise dos livros didáticos

Na intenção de realizar uma análise quantitativa do conteúdo de ondulatória e acústica dos 14 livros didáticos indicados pelo PNLD 2015 (BRASIL, 2014), a Tabela 1 foi elaborada a partir de alguns critérios do MEC de avaliação exposto no Quadro 1 (ZAMBON, 2012). Estes critérios consistem em alguns itens de análise, baseados em competências relevantes indicadas pelo MEC no processo de ensino.

Quadro 1 – Alguns critérios de avaliação dos livros didáticos criados pelo MEC.

Item	Descrição
I	Utiliza o vocabulário científico como um recurso que auxilia a aprendizagem das teorias e explicações físicas, sem privilegiar a memorização de termos técnicos e definições, não se pautando, portanto, somente por questões de cópia mecânica ou memorização;
II	Apresenta exercícios e problemas, de modo claro, de acordo com a função de cada tipo de questão/atividade. Os problemas devem ser apresentados mediante enunciados acompanhados da contextualização da situação-problema específica e devem ser abertos o suficiente para estimular/permitir estimativas e considerações por parte do professor e do aluno;
III	Apresenta arranjos experimentais ou experimentos didáticos realizáveis em ambientes escolares típicos, previamente testados e com periculosidade controlada, ressaltando a necessidade de alerta acerca dos cuidados específicos para cada procedimento;
IV	Utiliza ilustrações de forma adequada, tendo em vista sua real necessidade e sua referência explícita e complementar ao texto verbal;
V	Apresenta expressões matemáticas de leis, sempre acompanhadas de seus enunciados próprios e em forma adequada, bem como da especificação de suas condições de produção ou criação;
VI	Apresenta os conteúdos conceituais da Física sempre acompanhados, ou partindo de sua necessária contextualização, seja em relação aos seus contextos sócio-cultural-histórico-econômicos de produção, seja em relação a contextos cotidianos em que suas utilizações se façam pertinentes, evitando a utilização de contextualizações artificiais para esses conteúdos.

Fonte: Adaptado de Zambon (2012)

Os 14 LD analisados são apresentados no Quadro 2 e inclui seus respectivos autores e para cada livro seu código adotado nesta dissertação para fins de organização.

Quadro 2 - Coleções para apresentação dos dados levantados nos livros didáticos PNLD 2015.

Código	Nome do Livro	Autores
[1]	Compreendendo a Física	Alberto Gaspar
[2]	Conexões com a Física	Blaidi Sant'Anna Gloria Martini Walter Spinelli Hugo Carneiro Reis
[3]	Física	Alysson Ramos Artuso Marlon Wrublewski
[4]	Física	José Roberto Castilho Piqueira Wilson Carron José Osvaldo de Souza Guimarães

[5]	Física	José Roberto Bonjorno Clinton Marcico Ramos Eduardo de Pinho Prado Renato Casemiro Regina de Fátima S. A. Bonjorno Valter Bonjorno
[6]	Física	Newton Villas Bôas Ricardo Helou Doca Gualter José Biscuola
[7]	Física – Conceitos e Contextos: Pessoal, Social, Histórico	Maurício Pietrocola P. de Oliveira Alexander Pogibin Renata Cristina de Andrade Oliveira Talita Raquel Luz Romero
[8]	Física aula por aula	Claudio Xavier da Silva Benigno Barreto Filho
[9]	Física Ciência e Tecnologia	Carlos Magno A. Torres Nicolau Gilberto Ferraro Paulo Antonio de Toledo Soares Paulo Cesar Martins Penteado
[10]	Física Contexto & Aplicações	Antônio Máximo Ribeiro da Luz Beatriz Alvarenga Álvares
[11]	Física Interação e Tecnologia	Aurélio Gonçalves Filho Carlos Toscano
[12]	Física para o Ensino Médio	Luiz Felipe Fuke Kazuhito Yamamoto
[13]	Quanta Física	Luís Carlos de Menezes Osvaldo Canato Jr. Carlos Aparecido Kantor Lilio Alonso Paoliello Jr. Marcelo de Carvalho Bonetti Viviane Moraes Alves
[14]	Ser Protagonista Física	Angelo Stefanovits

Fonte: própria do autor

A análise foi aplicada objetivando mostrar resultados quantitativos de cada livro, evidenciando os aspectos propostos pelo MEC sobre o assunto de ondas e acústica. Cada item da coluna da Tabela 1 foram delimitados pelo que foi exposto no texto teórico encontrado no Apêndice 4, material confeccionado para subsidiar o professor na teoria de ondas e acústica. Assim os itens ilustrações, equações, gráficos e exercícios propostos foram analisados em cada obra para os seguintes itens: característica básica de uma onda, frequência, comprimento de onda transversal produzida em uma corda, harmônicos, ressonância, batimentos, produção do som, propagação do som no ar, qualidades dos sons musicais (tom, intensidade, timbre), bem como, qual a relação e a diferença entre nível sonoro e intensidade sonora; classificação; produção do som em instrumentos musicais e o gráfico da relação entre frequência do som e o nível sonoro audível. Cada item/coluna da tabela 1, portanto, refere-se às exigências do quadro 1. Neste sentido, a análise das ilustrações e esquemas relaciona com as exigências do item IV do quadro 1; as equações e gráficos para os determinados conceitos: comprimento de onda,

frequência, nível sonoro, timbre inclui no item VI. Já os exercícios propostos foram contabilizados aqueles que envolviam estes conceitos e parte da premissa mostrada pelo item II. E por fim, os experimentos didáticos consistiu nos experimentos propostos ou para sala de aula ou para casa que seguem o item III.

Tabela 1 - Quantidade de páginas, ilustrações e esquemas, equações, gráficos e exercícios dedicados aos conteúdos de som e acústica em cada coleção indicada pelo PNLD 2015 (BRASIL, 2014)

Livros	Ilustrações e esquemas	Equações	Gráficos	Exercícios Propostos	Experimentos Didáticos
[1]	41	9	2	44	5
[2]	19	5	2	24	0
[3]	22	3	2	22	1
[4]	37	6	2	29	0
[5]	22	5	1	27	1
[6]	43	10	2	51	3
[7]	9	6	2	29	2
[8]	24	7	0	48	2
[9]	27	7	0	26	2
[10]	30	9	2	35	7
[11]	-	-	-	-	-
[12]	20	6	1	51	-
[13]	34	3	1	43	1
[14]	32	8	1	69	1

Fonte: própria do autor.

Os resultados mostraram que a maioria dos livros didáticos trata do assunto de ondas e acústica, exceto [11]. Assim, verificamos que todos os livros que abordaram o assunto usaram equações ao falarem de ondas em uma corda, e algumas de suas características (frequência, comprimento de onda, velocidade, intensidade sonora). Apenas [2] e [12] apresentaram a função da onda usando a expressão de funções trigonométricas. O motivo deste ponto ser citado é que a abordagem das funções trigonométricas neste contexto é estruturante para o aprofundamento do conceito de timbre e ainda, consiste no objetivo principal deste trabalho: a exploração física e matemática do conceito de timbre envolvendo a combinação linear das funções trigonométricas. Por fim, os livros que apresentaram os conteúdos de ondas e acústicas tratam, na maioria das vezes, o assunto de maneira técnica, objetivando o desenvolvimento de competências no aluno de assimilar o que é um movimento harmônico e realizar cálculos do comprimento de onda, da frequência, do número de nós em diferentes modos harmônicos em corda e tubos sonoros abertos e fechados, da velocidade de um pulso senoidal numa corda em relação à densidade. Assim, todos os materiais apresentam uma grande quantidade de exercícios e problemas. A preocupação de ilustrar o que se pretende ensinar é evidente em todos os livros,

apenas o livro [7] apresentou quantidade baixa de ilustrações. O último item, o resgate de experimentos simples e eficientes ainda é precário e apenas os livros [1] e [10] apresentaram uma quantidade razoável de práticas experimentais para que o aluno realize em casa ou em sala de aula. Os livros considerados estruturados numa perspectiva de abordagem CTS com base no guia de livros didáticos (BRASIL, 2015), são apenas os [6], [7] e [10], no qual a obra [6] não é considerado declaradamente abordagem CTSA, mas apresenta aspectos didáticos desta linha quando “o texto labora no sentido de formar uma consciência de preservação ambiental e de desenvolvimento sustentável, assuntos indissociáveis da cidadania” (BÔAS, DOCA E BISCUOLA, 2015, p. 325).

Já a obra [7] apresenta abordagens CTSA e em sua metodologia. A concepção da obra apresentada no Guia do Professor aponta a necessidade do “saber sobre a mútua influência entre Física e sociedade” (PIETROCOLA, *et. al.*, 2015). O livro [10], pela avaliação do guia didático, não apresenta muito destaque quando comparado em termos de outras características, como contextualização tecnológica e a interdisciplinaridade. Os autores evidenciam articulações com outras disciplinas, como em ‘tratando do processo humano e histórico do desenvolvimento da física como ciência, permitindo uma interação com as ciências humanas e suas tecnologias’ (ALVARENGA & MÁXIMO, 2015, p. 331). Além destes livros considerados pelo Guia (BRASIL, 2014), a obra [14], em seu manual para professor apresenta a teoria do movimento CTS justificando seu uso na estrutura do conteúdo dos capítulos. Apesar dessas considerações, nenhum dos livros citados apresentam resultados satisfatórios quanto ao tratamento dos temas ondulatória e acústica. A exploração do viés musical é excluída em todas as obras e, consequentemente, as mesmas apresentam um caminho único para o estudo dos sons.

Uma segunda análise dos livros didáticos foi realizada com enfoque nos instrumentos musicais, nos quais catalogamos e analisamos o contexto apresentados pelos autores quando tratam do assunto de acústica e sons musicais. O Quadro 3 apresenta a lista desses instrumentos por obra. A ideia é retratar qual estilo musical fica evidente, erudito ou popular. O que podemos ver, é a tendência dos textos apresentarem apenas conteúdos voltados para o músico erudito e o concerto clássico.

Quadro 3 –Instrumentos musicais catalogados nos LD de 2015.

Livros	Imagens de instrumentos ou ilustrações
[1]	Alaúde; Violão; Violino; Harpa; Fagote; Saxofone; Corne inglês; Flauta; Xilofone; Tímpanos; Tamborim; Triângulo; Xilofone; Berimbau; Guitarra elétrica; Berrante; Oboé; Clarinete.
[2]	Guitarra elétrica; Flauta; Violino; Voz; Harpa; Trombone; Oboé.
[3]	Violino, trompete, flauta.
[4]	Violino; Piano; Clarinete; Violão; Guitarra Elétrica; Saxofone; Flauta Transversal; Trompete; Flauta Inca; Trombone
[5]	Violão corda de aço; tuba; contrabaixo; guitarra elétrica; Celo; Harpa; Piano; Clarinete; Flauta doce.
[6]	Violino; Violão; Saxofone; Guitarra Elétrica
[7]	Violão; Bateria; Atabaque; Call Bell; Flauta; Violino; Piano; Voz
[8]	Violão; Violino; Violoncelo; Flauta inca.
[9]	Surdo; Violão; Órgão; Flauta inca; Violino.
[10]	Violão; Harpa; Órgão.
[11]	Não apresentou conteúdo algum.
[12]	Violão; Órgão; Saxofone.
[13]	Violino; Piano; Bongo; Trompete; Órgão; Flauta Transversal; Flauta latino-americana;
[14]	Berimbau; Violão; Clarineta; Oboé; Flauta de Pã (siku); Violino; Viola; Violoncelo; Contrabaixo; Harpa; Trompete; Trompa; Trombone de vara; Tuba

Fonte: própria do autor

Como pode ser percebido no Quadro 3, grande parte dos livros apresenta instrumentos musicais usados em orquestra. No entanto, a maioria não contextualiza a finalidade dos instrumentos, com exceção do Livro [9], que inicia o capítulo de ondas com uma foto da bateria da escola de samba e expõe, na sequência, um breve texto sobre o carnaval e sua origem. Na introdução do capítulo de acústica, [9] apresenta uma orquestra sinfônica e os vários instrumentos que são usados numa apresentação. Fuke e Kazuhito, [12], iniciam seu capítulo de ondas explicitando sobre o salão da orquestra sinfônica de São Paulo. Artuso e Wrublewski [3], apresentam, no início do capítulo sobre acústica, a composição de uma orquestra, em geral com 100 músicos e os instrumentos separados em tipos de percussão: cordas, metais, madeiras e suas respectivas distribuições em cima do palco de apresentação do salão. Em sua explicação sobre frequências e volumes, mostram a região do palco que deve ser tocado os instrumentos que compõe uma orquestra. Estes livros não declaram sua concepção segundo abordagem CTS.

Ao analisar os resultados deste segundo conjunto, pode ser aferido, em vista dos instrumentos que são apresentados ao longo do conteúdo de acústica e sua contextualização, quando explicitada, que a maioria dos livros didáticos tratam dos sons musicais a partir do meio musical erudito, desconsiderando a face da música popular e dos instrumentos populares usados nos ritmos brasileiros. Neste viés, os livros apresentam um discurso tácito que a música é restrita à erudita, explorando, assim, apenas uma face da música, excluindo de uma forma ou de outra, estilos populares. Essa abordagem parece ser longe do contexto dos alunos de uma escola pública de Ensino Médio (público alvo do vídeo educativo). Por outro lado, não significa dizer que esse tipo de exemplo é irrelevante e deve ser excluído, mas resgatar a cultura popular pode ser relevante, pois ambos têm seu valor e potencial nas soluções dos problemas.

É possível, a partir dos dados levantados afirmar que, exceto a obra [9], nenhuma delas são citados os ritmos e suas implicações na cultura brasileira. E ainda, apenas cinco obras, citam alguns instrumentos como o berimbau e/ou a flauta inca. Alguns ritmos poderiam ser abordados como: samba, baião, xote, frevo, maracatu, toada, choro, xaxado, lundu, maxixe, marchinha; os quais são considerados ritmos populares brasileiros.

A necessidade de elaborarmos materiais, possibilitando um espaço de inclusão destes ritmos e instrumentos, está de acordo com as implicações da Lei 10639/03. Para tanto, escolhemos a abordagem temática do processo de ensino, sob a égide do enfoque CTS, por consistir numa prática pedagógica de aproximação entre o que se ensina e o contexto do aluno levando em consideração a cultura nacional e regional.

Considerando a Lei 10639/03 que altera a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB 9394/96), os conteúdos apresentados nestes livros precisam de uma reformulação, pois é necessário a inclusão no currículo da educação básica do estudo da contribuição da cultura afro-brasileira para a constituição da sociedade atual. Neste sentido, o estudo do samba, dada a sua importância cultural na identidade brasileira, seria profícuo se articulado ao ensino de conceitos relacionados aos sons e aos instrumentos musicais.

Nestas perspectivas, o presente trabalho propõe, fundamentado na linha de ensino CTS (ciência-tecnologia-sociedade), uma forma de abordar os temas som e acústica na disciplina de Física no Ensino Médio, com a inclusão do universo sonoro associado à cultura afro-brasileira, particularmente, estudando alguns dos instrumentos musicais utilizados para tocar samba, atendendo ao que é preconizado na Lei 10639/03.

A partir do diálogo criado pela linha de estudo etnomatemática, a abordagem dos Fractais Africanos é respaldada, já que implica uma maneira de tratamento de funções e modelagem da realidade encontrada na região africana, mostrando um processo completo para

este trabalho e indo além da matemática eurocêntrica. A epistemologia do conceito de função foi escolhida para relacionar, através desse, desde as tabelas dos números discretos às funções fractais. Na próxima sessão desta dissertação, abordamos alguns elementos da história desse conceito, particularmente a origem da série de Fourier e a ideia de funções fractais.

2.1.02 Epistemologia conceitual da função

Uma proposta de ensino que se enquadra no movimento CTS tem pretensão de desmitificar os três elementos Ciência, Tecnologia e Sociedade e considerar que estes elementos são conectados e se completam, implicando numa correlação da atual conjectura da sociedade com a ciência e a tecnologia presente no contexto (SANTOS, 2011). A sociedade é diretamente influenciada pelas Ciência e Tecnologia e, portanto, um processo de entendimento da realidade não alienante se faz levando em consideração a inter-relação destas. Em nosso caso, os elementos ciência e tecnologia englobam a análise matemática dos sons e seus artefatos tecnológicos, os instrumentos musicais. A sociedade é diretamente influenciada por esta, o que resulta no processo de construção cultural do samba e seus instrumentos envolvidos. Referindo-se à Ciência, a análise de modelagem matemática dos sons musicais concerne-se nas relações das funções trigonométricas e na expansão da Série de Fourier no tratamento de funções periódicas. Não há uma desconexão entre os elementos tecnologia ciência e sociedade e, para cada contexto, época, apresentam determinados estágios. Assim, ao analisar a realidade de uma sociedade é necessário levar em consideração seus costumes, suas crenças e suas tecnologias (MARTINS, 2004; D'AMBROSIO, 2004).

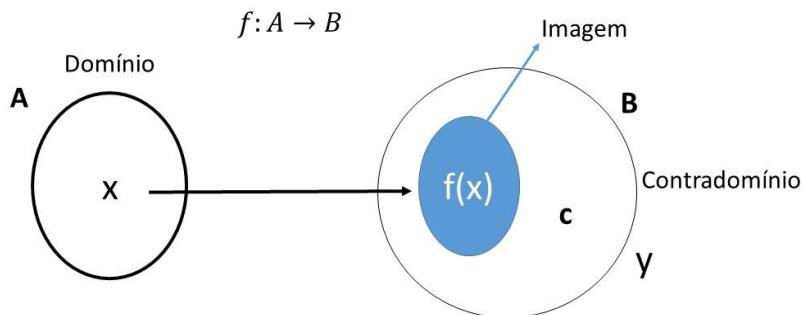
O tratamento epistemológico dado à função apresentada neste corpo textual, é coerente à proposta do movimento CTS pois, partimos da análise levando em consideração a época e o contexto que nasceram e evoluíram as ideias desta concepção, permeando as séries trigonométricas (série e transformada de Fourier), cuja ferramenta matemática foi aplicada neste trabalho na análise de alguns instrumentos musicais e, também, usada por Eglash (1999), na análise de alguns fractais africanos. Os fractais consistem em um tipo de função no qual seus pontos não são diferenciáveis. Baseado no trabalho historiográfico de Sastre Vázquez, Rey e Boubée (2008), vislumbramos que, ao longo da história humana, o conceito de função foi formulado e reformulado à medida do passar dos anos e, a partir do problema da corda vibrante

ocorreu um salto epistemológico concretizando no ensino atual presente nos livros de matemática.

Os fractais, considerados por anos como curvas patológicas, estão ligados às séries trigonométricas (Série de Fourier) pelo conceito de função, que ao longo dos anos, estudiosos como, Euler, D'Alembert, Bernoulli, Dirichlet, Weierstrass, contribuíram para a concepção de função abrangendo estes tipos de gráficos formados por pontos não deriváveis. O trabalho historiográfico de Sastre Vázquez, Rey e Boubée (2008) tenta interpretar ao longo da história do homem a evolução conceitual de função levando em consideração à conjectura da época.

A definição de função atual consiste em “dados dois conjuntos A e B contidos em \mathbf{R} , não-vazios, uma relação f de A em B recebe o nome de aplicação de A em B ou função definida em A com imagem em B se, e somente se, para todo $x \in A$ existe um só $y \in B$ tal que $(x, y) \in f$ ” (IEZZI e MURAKAMI, 1977), como mostra o diagrama apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama de conjuntos que apresenta a definição de função



Fonte própria do autor

Na tentativa de reconstrução da história das ciências e matemática, os estudiosos destas áreas desenvolveram métodos e fundamentos para interpretar os fatos e acontecimentos do passado. No entanto, alguns processos devem ser seguidos para criar uma história das ciências e matemática. Segundo D'Ambrósio (2004)

pode-se dizer que a antiga historiografia “internalista” da ciência excluía do seu estudo o cientista e seu contexto histórico; e que a recente historiografia sociológica da ciência (que adota o “programa forte” da sociologia da ciência) exclui do seu estudo a relação entre as obras científicas e o universo estudado pelos cientistas, quando não ignora o próprio conteúdo dessas obras científicas. Ambos são ruins, pois são extremos. Assim, o uso de conhecimentos científicos por parte do historiador não deve ser considerado algo negativo, a ser evitado a todo custo (p. 139)

A historiografia consiste nos arquivos e registros feitos pelos historiadores (MARTINS, 2004). A história, considerada por alguns autores como historiografia, é entendida como um conjunto de situações e acontecimentos pertencentes a uma época e uma região. Em outras palavras, pode-se dizer que a história é constituída por um encadeamento de atividades humanas

ocorridas ao longo do tempo e a historiografia, por outro lado, é o produto primário da atividade dos historiadores (MARTINS, 2004). Estes tentam desvendar aspectos da história, no entanto, não constitui meramente numa descrição da realidade histórica. Em nosso caso, as ciências naturais em si, constituem os resultados das observações e reflexões dos fenômenos naturais pelos cientistas (segundo nível). Assim, os fenômenos naturais existem independente dos cientistas (primeiro nível). Além destes níveis, existe um terceiro nível, que consiste nos estudos metacientíficos, que incluem a filosofia da ciência, a metodologia científica e a história da ciência. Estes estudos não têm intenção de desvendar os fenômenos ou refletir sobre eles, e sim esclarecer as atividades dos cientistas que estão envolvidos no estudo dos fenômenos naturais (MARTINS, 2004).

Neste novo viés meta-historiográfico, Martins (2004) fez uma análise de dois tipos de pesquisadores/historiadores que levam em consideração o caráter dos materiais produzidos: ora focados unicamente na história, ora apresentam aspectos científicos. Neste cenário, Martins (2004) cita que, para alguns estudiosos, os textos criados pelos historiadores não devem conter conceitos científicos. No entanto, Martins (2004) afirma que não existem maneiras de descreverem a história da ciência eficazmente sem mencionar os aspectos científicos. Assim, de acordo com este autor, a história da ciência é bem traçada se existir um equilíbrio nas descrições históricas e nas formulações científicas criadas ao longo do período em estudo. No caso dessa dissertação, a concepção de função é tratada a partir de sua epistemologia e, seu desenvolvimento evolutivo está presente no corpo do texto, pois o conteúdo vagaria sem a inserção das expressões matemáticas.

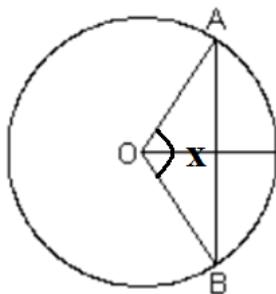
A epistemologia conceitual de função perpassa vários anos e em seu trabalho, Sastre Vázquez, Rey e Boubée (2008), apresentam a evolução deste ao longo da idade antiga (entre 4000 a.C. – 476 d.C.), idade média (entre 476 d.C. até 1453) e a idade moderna (1453 até 1789). A partir da síntese dessa história, apresentamos uma análise historiográfica do conceito de função para os gregos e arábicos e como é atualmente formulada.

Na idade antiga, entre os períodos 2000 a.C. a 500 a. C, havia uma noção de função como operações numéricas encontradas nas tábuas babilônicas como multiplicação e divisão, expoente quadrado, cubos e raízes quadradas e cúbicas (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008). Nesse período, estes povos tinham noções de números discretos e não se tinha noção de função relacionando com o contínuo.

No início do século II a.C. os astrônomos gregos adotaram o sistema babilônico de armazenamento de frações e registraram em tábuas o estudo do círculo e seu raio de valores determinados. A partir da extensão da corda chegaram às relações trigonométricas de proporção

do tamanho da corda em relação ao incremento do ângulo central (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008). Assim, ao observarmos a Figura 3, o segmento AB consiste no cateto oposto do triângulo retângulo de ângulo $\frac{x}{2}$, resultando assim a relação de seno do ângulo, o cateto oposto sobre a hipotenusa. Assim, o valor do ângulo x é $2\text{sen}\left(\frac{x}{2}\right)$, conforme Figura 3. Estas tábua deram início ao que hoje é a trigonometria (SAMISTRADO, 2004).

Figura 3 - Representação de uma circunferência de raio unitário e sua corda (segmento AB) criado para estudos das relações trigonométricas



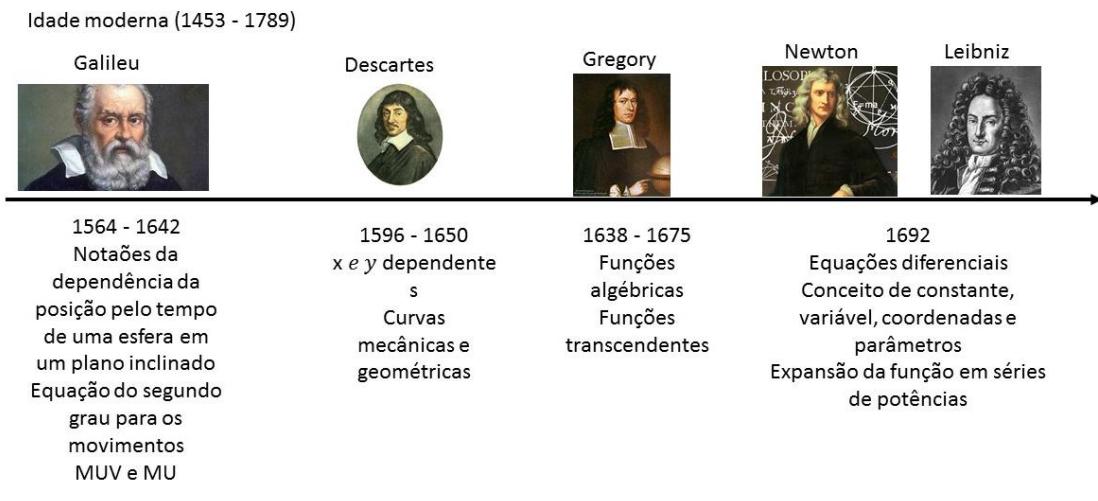
Fonte (SAMISTRADO, 2004)

A palavra cosseno surgiu somente no século XVII, como o seno do complemento de um ângulo. Os conceitos de seno e cosseno foram originados pelos problemas relativos à astronomia, enquanto o conceito de tangente surgiu da necessidade de calcular alturas e distâncias (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008).

A Idade Média começa com a queda de Constantinopla para os turcos no ano de 476, e finaliza no ano de 1453. Alguns consideram que, neste período, a matemática enfrentou uma época ausente de saltos conceituais. Podemos dizer que este fato aconteceu devido à Europa ser constituída de povos isolados e de pouco nível intelectual considerando a igreja como centro do pensamento, no qual houve um distanciamento do pensamento clássico grego desde o império romano (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008). No entanto, os árabes recuperaram grande parte das obras gregas proporcionando uma enorme gama de informações para o desenvolvimento da aritmética e de um novo ramo da matemática, a Álgebra.

A Idade Moderna é repleta de saltos conceituais e sua evolução pode ser representada por uma linha de tempo, como na Figura 4.

Figura 4 – Linha evolutiva representando contribuições de diferentes pesquisadores para o conceito de função



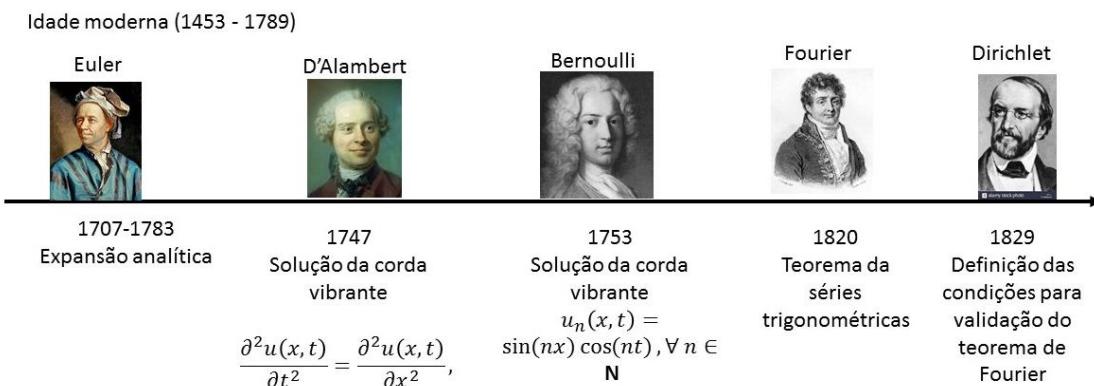
Galileu, por meio de observações experimentais de natureza mecânica, descreveu os movimentos uniforme e uniformemente variado usando conceitos de proporção e variável. Assim, afirmava que uma quantidade x é variável quando passa por diferentes estados de grandeza (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008). A dependência funcional do espaço (S) em relação ao tempo (t) foi constatada por Galileu em seus experimentos e concluiu que um objeto em queda livre percorre uma distância proporcional ao tempo de queda e essa relação é quadrática. Isso quer dizer, o espaço percorrido é proporcional ao quadrado do tempo de queda.

Descartes foi o primeiro a propor de fato que uma equação x e y consiste em uma forma de mostrar uma dependência entre as quantidades variáveis, de maneira que os valores de uma poderiam ser calculados a partir da relação dos correspondentes da outra variável. Descartes propôs, também, as curvas geométricas e mecânicas: a primeira referente àquelas que podem ser expressas mediante uma equação algébrica e as demais denominadas como curvas mecânicas (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008).

Gregory aproveitou a definição dada por Descartes sobre estes dois tipos de curvas e considerava que essas consistiam de: funções algébricas e transcendentais. Em 1667, apresentou o conceito de função mais concreto até então, como “uma quantidade que se obtém de outras quantidades mediante uma sucessão de operações algébricas ou mediante qualquer outra operação imaginável” (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008, p. 146).

Newton e Leibniz introduziram as equações diferenciais. Leibniz (1646 - 1716) foi o primeiro matemático a enunciar a palavra função em 1692 e apresentou as palavras constante, variável, coordenadas e parâmetros. Ambos definiram que uma função seria aquela que poderia ser expressa por uma expansão em séries de potências.

Figura 5 – continuação da linha de tempo do conceito de função

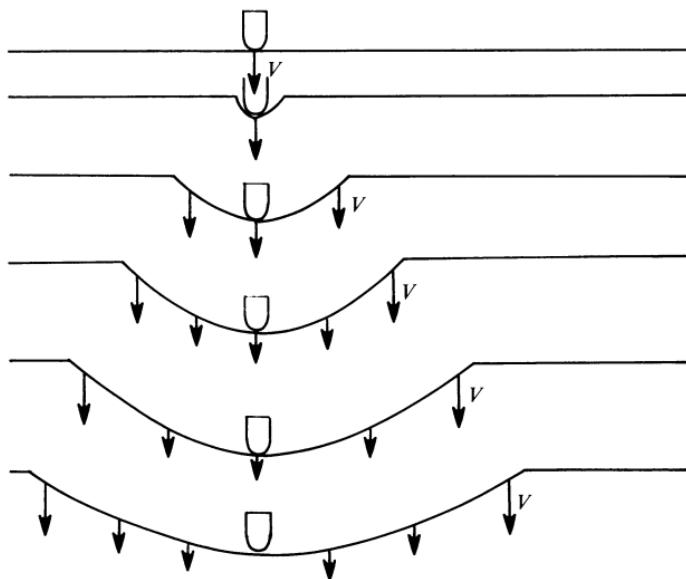


Fonte própria do autor.

Euler, matemático e físico do século XVIII, desenvolveu a representação da função em série de potências, como proposto por Leibniz e Newton. Assim, Euler introduziu elementos como constante, quantidade variável e, por fim, função como uma expressão analítica explicitando: “a função de uma quantidade variável é uma expressão analítica composta de qualquer maneira a partir dessa quantidade variável de números ou quantidades constantes” (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008, p. 148). As expressões analíticas admissíveis consistem naquelas que contém as quatro operações elementares, raízes, expoentes, logarítmico, funções trigonométricas, derivadas e integrais, classificadas por Euler em (1) algébricas e transcendentais, (2) univariadas e multivariadas; (3) implícita e explícita (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008).

O conceito de função foi enriquecido com as discussões decorrentes da análise do problema da corda vibrante, iniciada por D'Alembert e Euler a partir de 1747 (ver linha do tempo Figura 5). Este consistia em: uma corda elástica esticada fixa em seus extremos e de alguma forma deformada inicialmente posta a vibrar como por exemplo mostrado na Figura 6. A questão era determinar a função que descrevia a forma da corda em cada instante.

Figura 6 - Esquema possível da deformação da corda quando puxada.



Fonte (FLETCHER e ROSSING, 1991, p. 44)

O problema da corda vibrante foi essencial para compreender a produção do som, sua percepção e o desenvolvimento do conceito de função. No início dos estudos, o que se tentava fazer era assimilar como o instrumento de corda, o monocórdio, produzia ondas sonoras e a partir deles entender o fenômeno em si. No entanto, nos registros históricos entre os séculos VIII a. C. e V d. C., a música consistia apenas em relações matemáticas (BROMBERG, 2016).

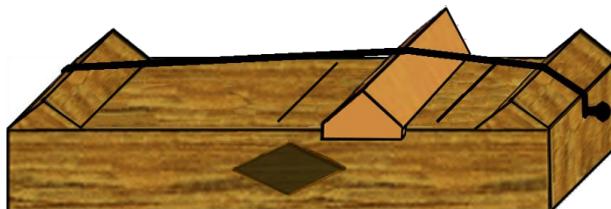
Existe uma estreita relação entre o desenvolvimento da música grega e a matemática ao longo da história, resultando em uma base teórica hoje aplicada nas escolas no Brasil, consistindo na escala temperada e seus modos gregos (Jônio, Dórico, Frígio, Lídio, Mixolídio, Eólico, Lócrino). No início, considerava-se ambos um só e suas estruturas (rítmico, melódica, harmônica) e elementos (notas, sistemas de afinação, figuras rítmicas) eram expressos matematicamente e os intervalos e escalas eram expressos por razões de números inteiros (BROMBERG, 2016).

Ainda hoje se constrói as melodias usando as relações dos intervalos musicais, levando-se em consideração as regras matemáticas envolvidas, bem como a sensação sonora, caracterizando como sons consoantes ou dissonantes. Por exemplo, um tom dó é consoante com sua terça (Mi), quinta (Sol) e oitava (Dó). Por volta do século XVIII, a música passou a ser considerada arte e seus elementos (notas, escalas, sistemas de afinação, figuras rítmicas) foram apreciados pela audição. Aristóteles foi um dos responsáveis por identificar que as notas oitavadas soavam como consonantes (agradáveis), isto é, uma nota Lá terça (220 Hz) tocada

junta com Lá quarta (440Hz) consistia num intervalo consoante. Nesse sentido, a execução sonora da música passou a ser apreciada, superando as relações matemáticas entre os intervalos musicais.

Panécio de Rodes, ao apresentar um interesse na discussão sobre a natureza quantitativa dos intervalos e sua relação com o resultado sonoro, percebeu que ao tocar na mesma corda duas vezes o mesmo intervalo, a primeira execução fraca e a segunda vez executada mais intensamente, verificava que o som se modificava (a corda e o intervalos eram idênticos). Fazendo analogia com o estudo da visão à época, Panécio acreditou que, como a visão necessitava de objetos que ampliassem a imagem para ver mais detalhes, para audição deveria acontecer o mesmo. Então ele sugeriu o estudo dos intervalos usando um *kanon* (Figura 7) mas não tinha a noção de que o fenômeno que caracterizava a diferença dos sons produzidos e identificados dos instrumentos consistia no timbre (formações das frequências de uma onda sonora complexa) (BROMBERG, 2016). O *kanon* ou monocórdio é um instrumento que existe desde a antiguidade clássica, podendo variar entre 1 a 6 cordas e é representado na Figura 7.

Figura 7 - Desenho ilustrativo de um monocórdio



Fonte:< <http://2.bp.blogspot.com/-nM0x5Y5DnTA/VMogv44cc9I/AAAAAAAADso/P7H6vQV0QCk/s1600/monocordio.png> > Data de Acesso em 20/07/16

Registros mostram que além de ter sido usado como instrumento musical, tinha finalidade para o estudo da matemática durante a antiguidade grega. “Durante a Idade Média, o instrumento teria mantido esta característica, além de servir como um diapasão². Na Renascença, o instrumento teria sido utilizado para a experimentação com diferentes escalas musicais” (BROMBERG, 2016, p. 116).

O monocórdio foi importante para estudar a vibração da corda e seus respectivos intervalos que se apresentavam segundo a matemática pitagórica, nos quais os mesmos só poderiam ser expressos por razões de números inteiros construídas com os algarismos 1, 2, 3 e

² Um instrumento que produz apenas uma nota (normalmente frequência de 440 Hz) e é referência para que outro instrumento musical possa ser afinado.

4. A medição dos pontos de vibração da corda possibilitava comparar visualmente os intervalos que existiam apenas na teoria matemática.

Foi na tentativa de entender a propagação e percepção do som que Jean-Jacques Dortous de Mairan apresentou na Academia de Ciências de Paris sua hipótese dizendo que o ar seria composto de partículas de tamanhos distintos e cada partícula possui capacidade de vibrar em frequências distintas:

“[entre as partículas] estão aquelas de mesmo tipo, mesma duração e tempo de vibração e que, se encontrando em uníssono com os corpos sonoros, são capazes de produzir as mesmas vibrações [que em sequência] vão se transmitindo até o ouvido” (MAIRAN *apud* BROMBERG, 2016, p.128).

Para Mairan, o ouvido perceberia o som de forma harmônica, quando afinado com as partículas que vibram em volta. “Jean-Philippe Rameau adotaria o estudo de Mairan na sua concepção do som fundamental e da definição da série harmônica” (BROMBERG, 2016, p. 128). Rameau acreditava que o tom era composto por partes, até então a concepção era de ordem singular, e apresentava uma natureza complexa formada por uma série harmônica. O problema é que essa definição/concepção dependia da percepção sonora do ouvido da pessoa e que alguns admitiam não conseguir ouvir estes harmônicos (BROMBERG, 2016). Já D'Alembert, Euler e Bernoulli centraram-se na busca da forma da função que solucionasse o problema da corda vibrante.

Durante o século XVIII, os estudiosos aceitaram um tipo de “artigo de fé” que fazia a seguinte afirmação: “se duas expressões analíticas coincidem em um intervalo, elas coincidem em todas as partes”. D'Alembert e Euler, em 1747, propuseram uma solução para a equação da corda vibrante e suas condições de contorno (CAÑADA, 2005):

$$\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < \pi, t > 0 \quad (1)$$

$$u(x, 0) = f(x), \quad 0 \leq x \leq \pi \quad (2)$$

$$\frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0, \quad 0 \leq x \leq \pi \quad (3)$$

$$u(0, t) = u(\pi, t) = 0, \quad t \geq 0. \quad (4)$$

A primeira equação é a equação de onda e as outras três são as condições de contorno. A condição (2) mostra que a posição inicial do formato da corda é $f(x)$. A expressão (3) condiciona a velocidade inicial nula no instante inicial. E, por fim, a Equação (4) refere-se aos extremos fixos da corda (CAÑADA, 2005).

Bernoulli, em 1753, propõe uma nova solução para este mesmo problema usando superposições de ondas da forma

$$u_n(x, t) = \sin(nx) \cos(nt), \forall n \in \mathbf{N}, \quad (5)$$

sendo \mathbf{N} o conjunto de números naturais, e para cada tempo t fixo, a função anterior é múltiplo de $\sin(nx)$, que se anula exatamente em $n-1$ pontos do intervalo $(0, \pi)$. A forma matemática para aplicação resulta em

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(nx) \cos(nt). \quad (6)$$

Na equação (6), os coeficientes a_n devem ser escolhidos adequadamente. A solução proposta por Bernoulli foi rejeitada tanto por D'Alembert quanto por Euler. Baseando-se no “artigo de fé”, eles observaram, dada uma função $f(x)$, se esta coincidir em um intervalo, a mesma deveria coincidir em todos os lados. A partir deste pressuposto, concluíram que a solução de Bernoulli conduzia a um absurdo: a função $f(x)$ ser par e periódica.

Ambos aceitavam que, se para duas expressões analíticas resultam nos mesmos valores em todos os pontos em um intervalo, estas duas deviam ser idênticas. Também era de comum acordo que a palavra “equação” tinha significado de igualdade entre duas expressões analíticas. No entanto, o conceito de função era diferente: D'Alembert concebia como qualquer relação de expressão analítica; Euler afirmava de que se tratava de qualquer curva escrita livremente a mão.

A discussão do problema da corda vibrante resultou na extensão do conceito de função que apresentou a inclusão daquelas 1) definidas por expressões analíticas; 2) representada por gráficos, mas não tinham uma expressão analítica. A partir de 1720 até 1820, começaram a desenvolver uma nova matemática cujo objeto de estudo foi análise de função usadas para Cálculo e se discutia se deviam ser geometricamente representadas (na forma de uma curva), analiticamente (em forma de uma fórmula) ou, por lógica (sob a forma de uma definição).

Fourier, estudando o fluxo do calor nos corpos, contribuiu para a evolução deste conceito ao considerar a temperatura como uma função de duas variáveis: espaço e tempo. Contudo, ele não provou matematicamente que era possível representar tal função dada em um intervalo apropriado mediante uma série trigonométrica. Este matemático rompeu com o artigo de fé proposto no século XVIII e propôs as representações das funções por meio de expressões analíticas (algébrica) no mesmo nível das representações geométricas (curvas). Seu trabalho impactou na comunidade científica de maneira que obrigaram a reexaminar a formulação integral que foi ponto de início à criação da teoria de conjunto de Cantor.

Em 1829, Dirichlet estabeleceu condições para validar o teorema de Fourier. Assim, f é possível e definida se: "y é uma função de variável x , definida no intervalo $a < x < b$, se para todos os valores da variável x no intervalo, este corresponde a um valor particular da variável y e é irrelevante como se estabelece esta correspondência" (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008, p. 150). Dirichlet citou pela primeira vez a definição de função como uma "correspondência" arbitrária e não como curva, nem como analítica. Em outras palavras, a definição diz sobre a existência de função descontínua por todas as partes, que pode ser conceituado independente do conceito de expressão analítica. Euler e Cauchy pareciam estar de acordo com a natureza arbitrária das funções, já que, na prática, eles pensavam como expressões analíticas e curvas.

Validado, portanto, o teorema de Fourier, sua análise de funções foi além do conceito que os matemáticos estavam tentando entrar em acordo. As expansões das séries trigonométricas em função do tempo e espaço caracterizaram um avanço conceitual, pois implicava na definição de que qualquer função em um determinado intervalo era escrita/caracterizada pela formulação matemática geral da expansão em série de Fourier, seguindo as condições de Dirichlet (LATHI, 2006, p. 547):

1. $f(x)$ Deve ser unívoca (para cada elemento do domínio corresponde um único elemento do contradomínio);
2. Deve ter número de descontinuidade finito no intervalo T ;
3. Deve ter número de máximos e mínimos finito no intervalo T ;
4. A integral $\int_0^{2\pi} f(x) dx$ deve existir.

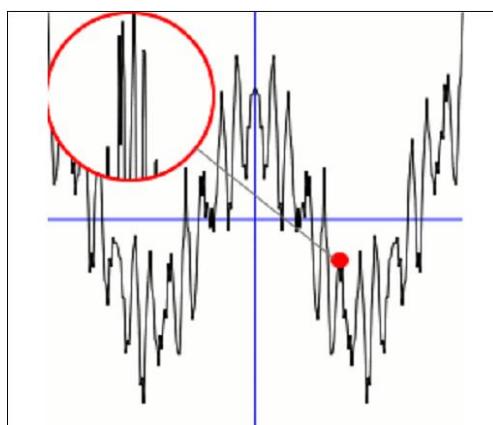
A função apresentada por Dirichlet é uma função de variável real e não é contínua em nenhum ponto da reta. Se define no intervalo $[0,1]$ da seguinte maneira

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in [a, b] \cap \mathbb{R} \\ 0, & \text{se } x \in [a, b] \cap \mathbb{Q} \end{cases}$$

no qual, \mathbb{R} e \mathbb{Q} representam o conjunto de números reais e conjuntos dos números racionais, respectivamente. Em palavras, a função vale uma unidade para todo o ponto de $[0,1]$ irracional, e zero para todo ponto racional do mesmo intervalo. Portanto, a função está definida para todo ponto de $[0,1]$. A representação gráfica desta função é: dois quaisquer pontos racionais de $[0,1]$ existem infinitos pontos irracionais e o inverso também é verdadeiro, por isso o gráfico da função consiste em um conjunto de pontos lineares e uma unidade ordenada e outro conjunto de pontos de ordenada nula.

Os trabalhos de Dirichlet indicavam a necessidade de separação dos conceitos de função e de sua representação analítica. Em 1872, Weierstrass propôs um exemplo, mostrado na Figura 8, de uma função contínua que não é diferenciável em qualquer ponto no seu domínio, demonstrando que eram falsas as proposições dos matemáticos naquela época (funções contínuas eram diferenciáveis, exceto as de pontos isolados).

Figura 8 – Função de Weierstrass em um intervalo de [-2,2]. A função tem um comportamento fractal.

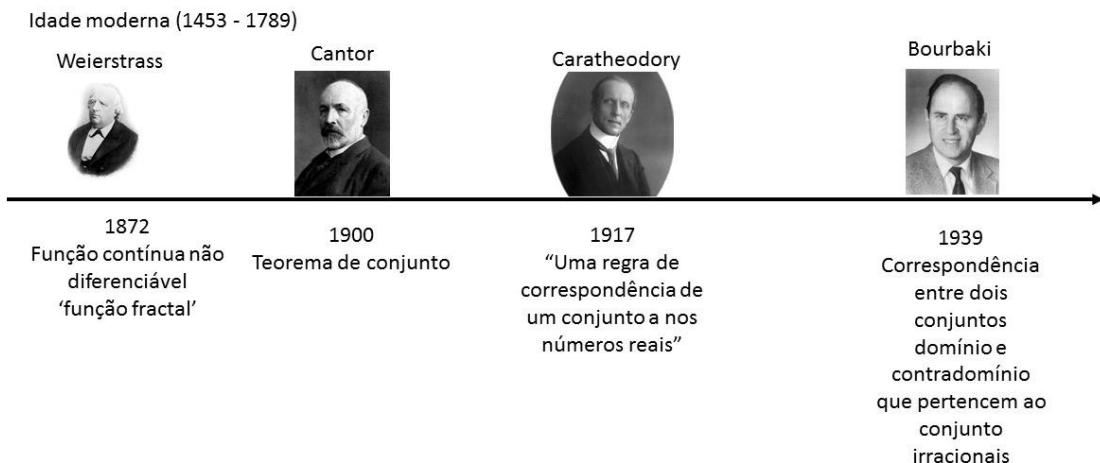


Fonte: (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008)

Durante algum tempo, as definições de função dadas por Dirichlet e Weierstrass foram totalmente aceitas pela comunidade matemática. No entanto, nem todos estavam completamente de acordo sobre o valor e o sentido dessas definições. Alguns contestaram, afirmando que a definição de Weierstrass era demasiada restritiva; outros acharam perfeita; outros acreditaram que estava generalizada demais, e outros ainda, carente de significados (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008).

A Teoria de Conjunto iniciada por Cantor que, posteriormente foi denominada de conjunto de Cantor, produziu um novo salto epistemológico no conceito de função, redefinido como “toda correspondência arbitrária que satisfaça a condição de unicidade entre conjuntos numéricos e não numéricos” e a partir da introdução do conceito de correspondência, os matemáticos passaram a utilizar a concepção de relação (Figura 9).

Figura 9 – século XIX e século XX na linha do tempo do conceito de função



Fonte própria do autor.

De 1900 a 1920, alguns elementos foram introduzidos na matemática, como espaço métrico, espaço topológico, espaço de Hilbert e espaço de Banach; o que levou a novas definições de função, baseadas em conjunto arbitrários e não mais somente conjuntos reais. Carathéodory (1917) define-a como: "Uma regra de correspondência de um conjunto A nos números reais" (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008, p. 152).

O grupo Bourbaki, em 1939, definiu função como uma correspondência entre dois conjuntos de um modo semelhante ao que é dado por Dirichlet em 1837 (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008):

Sejam E e F dois conjuntos, que podem ou não ser distintos. A relação entre um elemento variável x de E e elemento variável y de F é chamado relação funcional e, se para todos os x em E , existe um único elemento variável em F , que apresenta uma relação com x . Damos o nome da função para operação que, desta maneira, associa cada elemento x em E com elementos em F que está relacionada com (p.12).

Bourbaki também formulou uma definição de função equivalente como um conjunto de pares ordenados. Em suas palavras: "uma função do conjunto E em um conjunto F é definida como um subconjunto especial do produto cartesiano $E \times F$ ". O exposto difere do ponto de vista da Dirichlet em relação ao domínio e ao contradomínio, pois eles não são restritos ao conjunto de números reais. Para Dirichlet, domínio consiste em um conjunto dos elementos $x \in A$ para os quais existe $y \in B$ tal que $(x, y) \in f$. O contradomínio B é composto de números reais (SASTRE VÁZQUEZ, REY e BOUBÉE, 2008).

Foi a partir da inserção dos exemplos de funções fractais propostos por Weierstrass, que a comunidade científica teve seus conceitos revistos e a necessidade de incluir este tipo de curva continua, cujos pontos não são diferenciáveis. Por motivo de completeza, na próxima seção é

apresentado o conceito de fractais e alguns exemplos desse tipo de figura nas comunidades africanas da região subsaariana.

2.1.03 Fractais Africanos: conceito de função com dimensão fracionária

O estudo dos fractais aqui esboçado é realizado segundo a perspectiva de uma abordagem etnomatemática. De acordo com D'Ambrósio (2002), o objetivo do tratamento de outras matemáticas, como por exemplo, os fractais africanos, é encontrar uma forma de proliferar o conhecimento desta cultura subsaariana e ainda, ressaltar os valores históricos sociais da matemática destas comunidades, objetivando o reconhecimento de outras formas de pensar e encorajando amplas reflexões sobre a natureza do pensamento matemático, do ponto de vista cognitivo, histórico, social e pedagógico.

Apesar do tratamento matemático das figuras fractais apresentados aqui ter sido proposto por estudiosos europeus, como o francês Mandelbrot, podemos encontrar tais aspectos nas comunidades africanas como na estética, construções de artefatos, vilas e comunidades como ilustrado na Figura 10.

Figura 10– a esquerda foto aérea do palácio do chefe (Logone-Birni no Camarões); a direita cabelo com aspecto fractal.



Fonte: (EGLASH, 1999, p. 22);
[<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/Penteado_Afro.jpg>](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/Penteado_Afro.jpg) Data de acesso 30 de agosto de 2016.

“Tecnicamente, um fractal é um objeto que apresenta invariância na sua forma à medida em que a escala, sob a qual o mesmo é analisado, é alterada, mantendo-se a sua estrutura idêntica à original” (ALBUQUERQUE DE ASSIS *et. al.*, 2008, p. 1). Na natureza é comum encontrar exemplos de estruturas baseadas em repetições recursivas como são definidas os fractais, por exemplo a folha de uma samambaia (Figura 11).

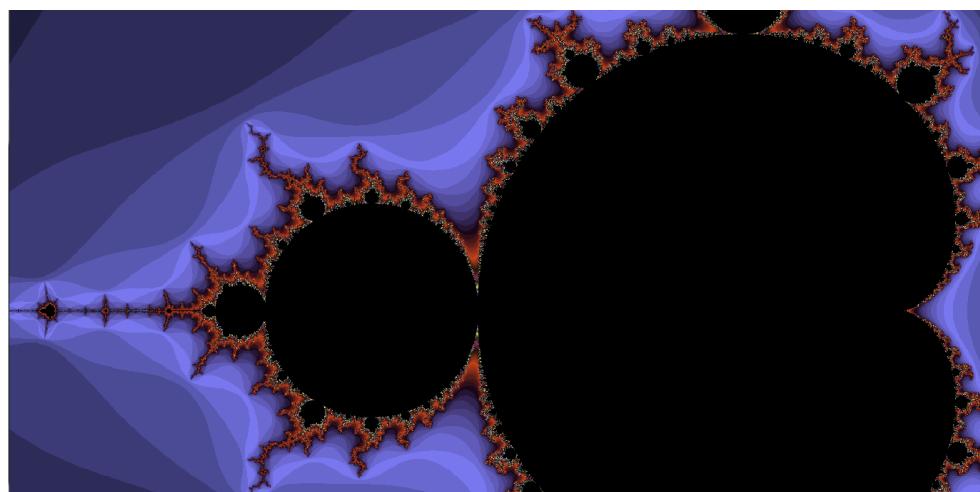
Figura 11 – Folhas de samambaia.



Fonte: <<https://ojovemarquiteto.wordpress.com/2010/05/31/ron-eglash-e-os-fractais-africanos/>> Data de acesso 22/04/16.

A primeira figura fractal constuída através de uma expressão matemática foi por Mandelbrot a partir de um computador, resultando no diagrama mostrado na Figura 12.

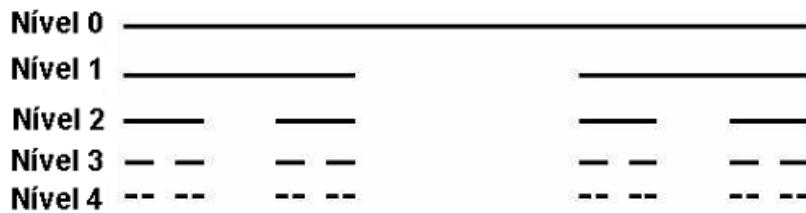
Figura 12 – Fractal criado por Mandelbrot cuja fórmula é $z_{n+1} = z_n^2 + c$



Fonte própria utilizando o programa XaoS (software livre)

A fórmula $z_{n+1} = z_n^2 + c$ é gerada infinitas vezes recursivamente em sequência, resultando em um conjunto que graficamente apresenta o aspecto mostrado na Figura 12. Para assimilarmos o processo de criação de um conjunto fractal vamos partir pelo exemplo mais simples criado por George Cantor. Ele propos se desenhar uma linha e apagar 1/3 dela, , e repetir o mesmo processo estas duas partes restantes, ou seja, um processo recursivo, obtém uma linha, depois duas linhas, depois quatro, depois oito, depois dezesseis e assim sucessivamente, como apresenta a Figura 13.

Figura 13 – Conjunto de Cantor



Fonte (EGLASH, 1999)

Esse processo recursivo pode ser aplicado infinitas vezes, cujo produto será infinitas linhas e, cada linha com infinitos pontos, que seria um conjunto maior que o infinito. Denominou-se então de conjunto transfinito (EGLASH, 1999).

Algumas características que definem este tipo de curva são: dimensão de imersão – a dimensão no qual o objeto está imerso; dimensão fractal (D) – a ocupação do espaço da figura e dimensão topológica que consiste na *dimensão desconexa + 1*.

Para Mandelbrot, “um dado conjunto A constitui um fractal se, em A , $D_i > D > D_t$ sendo D_i dimensão de imersão, D a dimensão fractal e D_t a dimensão topológica do conjunto A ”. Portanto, a dimensão fractal

surge então como uma alternativa de medição já que pode assumir valores fracionários, obtendo assim o grau de complexidade de uma forma. Pode-se afirmar que a dimensão fractal de um conjunto é um valor que diz o quanto densamente um conjunto ocupa o espaço métrico em que ele existe (MACEDO, OLIVEIRA e ALBUQUERQUE).

O cálculo da dimensão fractal é feito da seguinte forma: baseado na Figura 13 tem-se os cinco primeiros níveis de construção do conjunto de Cantor. O comprimento de cada seguimento é dado por

$$c_N = \left(\frac{1}{3}\right)^N$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} c_N = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{3}\right)^N = 0$$

Isso quer dizer que o comprimento de cada seguimento de reta é igual a zero à medida que avançamos no nível até o infinito. Ou seja, o seguimento de reta é tão pequeno que podemos aproximá-los por vários pontos (dimensão zero). Para obter à dimensão fractal deste conjunto, devemos calcular o número de seguimentos quando repetimos o processo infinitas vezes. Assim, o número de seguimentos é dado por 2^N e

$$\lim_{N \rightarrow \infty} (2)^N = \infty.$$

Para sabermos o comprimento total C_{tN} do conjunto de Cantor, basta que se multiplique o número de segmentos pelo comprimento de cada um deles:

$$C_{tN} = \left(\frac{2}{3}\right)^N$$

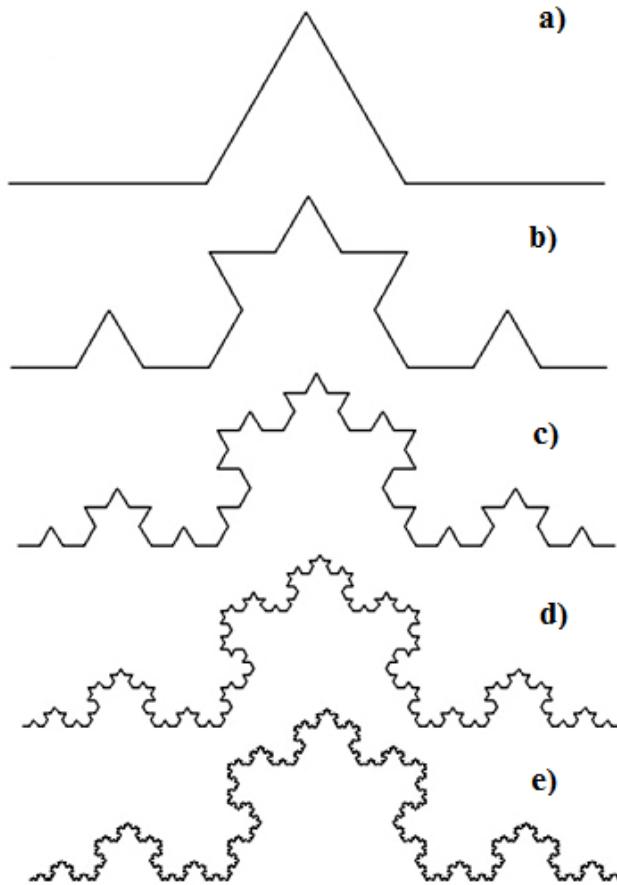
Quando o número de gerações tende ao infinito, temos

$$\lim_{N \rightarrow \infty} C_{tN} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{2}{3}\right)^N = 0.$$

Podemos observar, intuitivamente, que o conjunto de Cantor tem dimensão entre 0 e 1.

Usando a expressão do cálculo da dimensão fractal $D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[\frac{\ln(N(A, \varepsilon))}{\ln(1/\varepsilon)} \right]$ e sabendo que os termos $\varepsilon = \left(\frac{1}{3}\right)^N$ e $N(A, \varepsilon) = 2^N$ referem-se ε aos seguimentos de reta dado o comprimento e, N número de seguimentos que são necessários para cobrir a estrutura. Substituindo cada um na expressão da dimensão fractal (D), temos $D = \frac{\log(2)}{\log(3)} = 0.630$. Para melhor exemplificar, podemos observar outra figura criada por von Koch. Ele repetiu o processo recursivo adicionando linhas como mostra a Figura 14, ao invés de apagar um terço do comprimento como feito por Cantor. Koch pegou 1/3 do comprimento da linha e adicionou perpendicular à linha resultando em um triângulo equilátero. É evidente que a linha total agora é maior do que um passo anterior, pois adicionou-se 1/3 do comprimento inicial, diferente do efetuado por Cantor, que reduziu 1/3 da linha em relação ao seu comprimento, resultando em duas linhas menores do que a etapa anterior (linha completa). As duas figuras fractais são distintas pois, a do Cantor apresenta uma redução do comprimento total da linha tendendo a zero à medida que avança as etapas e, a criada por Koch tem seu comprimento aumentando a cada passo tendendo ao infinito ao avançar infinitas fases.

Figura 14 – Curva de Koch em diversas etapas de recursividade (a – e).



Fonte (EGLASH, 1999)

Dizemos que a etapa a) da figura é a semente, e de b) a e) são figuras geradas pela iteração recursiva desta semente, no qual o todo apresenta a mesma propriedade que as partes. Assim, existe uma evolução da iteração, aumentando para cada passo de a) a e), replicando a semente em toda a linha. Este tipo de curva, durante 100 anos foram considerados pelos matemáticos como curvas patológicas (EGLASH, 1999). No entanto, essas figuras são encontradas nas arquiteturas e artefatos africanos.

Os estudos de Eglash (1999) mostram que as arquiteturas das casas e suas disposições de alguns estados africanos como Camarões, Nigéria e Mali, apresentam um padrão de organização regida pelas figuras fractais como ilustrado na Figura 15, uma foto aérea de Logone-Birni em Camarões.

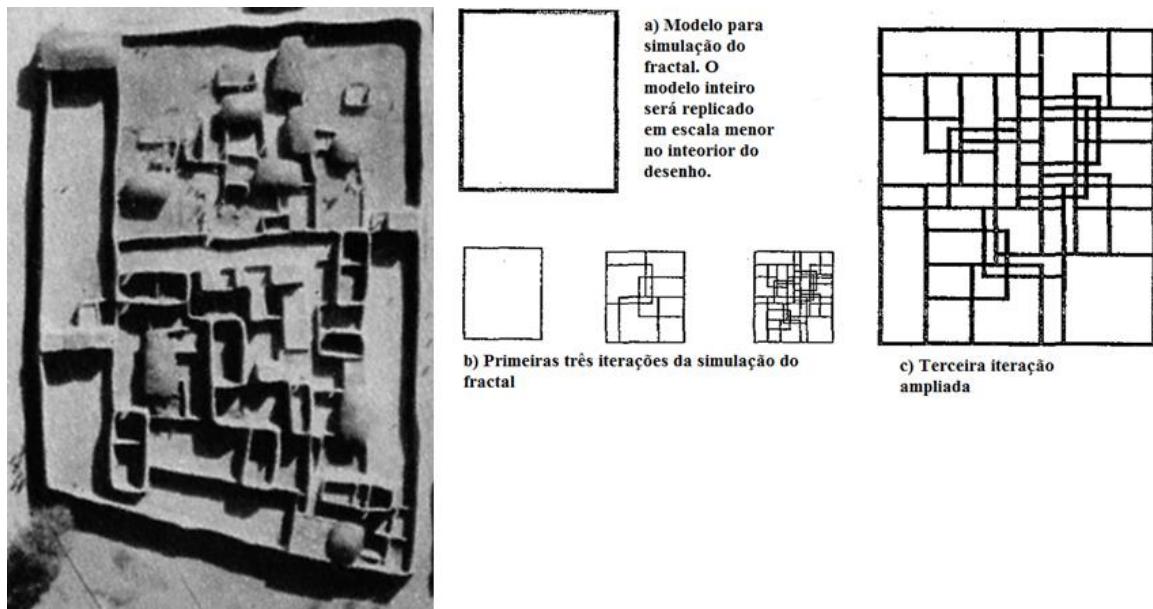
Figura 15 - Foto aérea da cidade de Logone-Birni no Camarões



Fonte: (EGLASH, 1999, p. 22)

Esta vila tem como centro um palácio destinado ao chefe e Eglash (1999), a partir das fotos, conseguiu simular a célula principal e suas iterações recursivas como mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Palácio do chefe e modelo de simulação da estrutura da arquitetura em Logone-Birni.

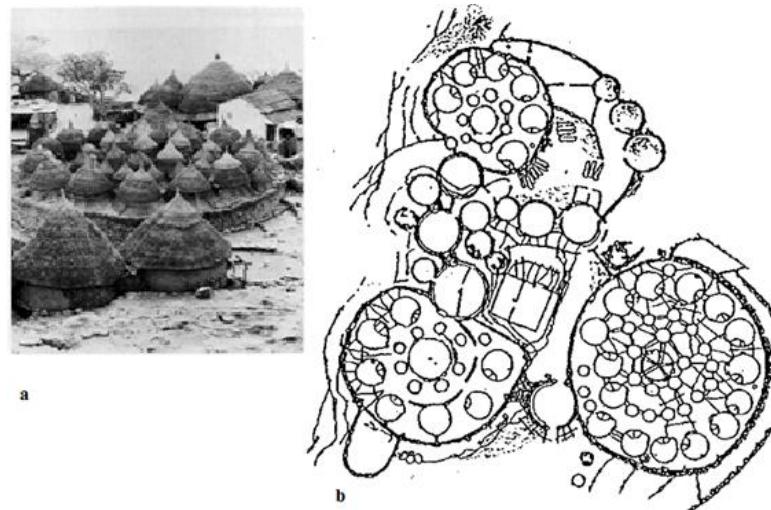


Fonte (EGLASH, 1999, p. 22)

Durante sua visita a Logone-Birni, Eglash (1999) perguntou ao homem que lhe guiava sobre a variação da escala da arquitetura do local onde vivia, e ele respondeu com as seguintes palavras: “um homem gostaria que seu filho vivesse próximo dele e então nós construímos adicionando paredes na casa do pai. No passado, invasões por saqueadores nortenhos eram comuns, e então uma parede defensiva foi necessário” (p. 21). Essas construções em escalas fractais não é simplesmente resultado do inconsciente social dinâmico, é um objeto da representação abstrata, e, ainda, uma técnica prática de aplicação na classificação social.

A Figura 17-a mostra outro exemplo de uma vila chamada Mokoulek, perto das montanhas de Mandara, próximo à borda nigeriana com os Camarões. A Figura 17-b mostra o desenho desta comunidade.

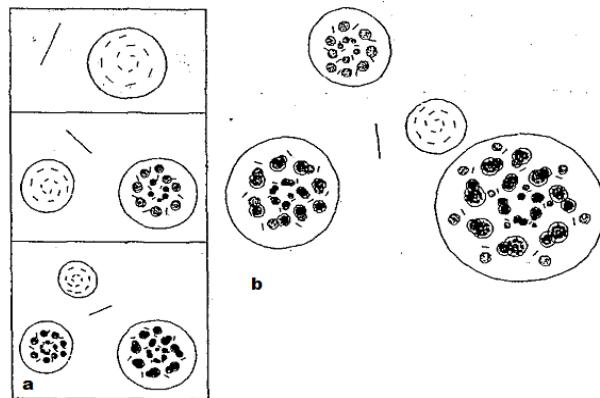
Figura 17 – a) Representação da vila Mokoulek desenhado por um arquiteto francês, Camarões; b) diagrama da estrutura por simulação iterativa.



Fonte: (EGLASH, 1999, p. 37)

A Figura 18 apresenta a simulação das iterações da célula que possibilita uma esquemática da estrutura fractal dessas casas.

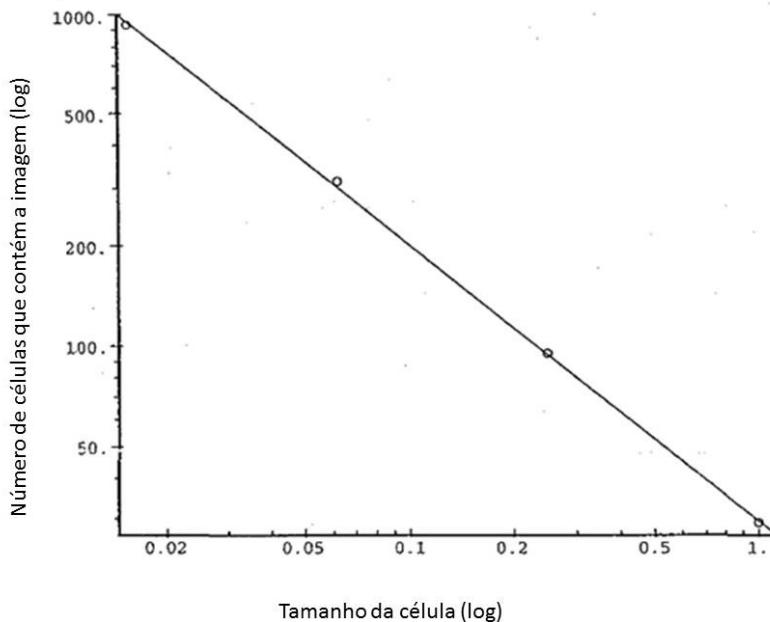
Figura 18 – a) primeiras três iterações da simulação de Mokoulek; b) quarta iteração da simulação Mokoulek



Fonte: (EGLASH, 1999, p. 37)

Egash (1999) analisou a imagem da vila Mokoulek (Figura 17) e, a partir de técnicas específicas que permitem realizar a plotagem bidimensional, tamanho por pontos, representou o aumento da área em relação à redução da dimensão da célula, como representado graficamente pela reta inclinada na Figura 19.

Figura 19 - Medida da dimensão do fractal de Mokoulek. Mostra o resultado indicando a dimensão do fractal de 1,67, não muito distante da dimensão do fractal obtido analiticamente em simulações computacionais que é 1,53.



Fonte: (EGLASH, 1999, p. 231).

Portanto, Eglash (1999) apresenta um método para determinar a inclinação da escala de $1/F$ da técnica de análise de ruído por série temporal unidimensional aplicando a transformada de Fourier para encontrar a dimensão fractal da foto analisada. Seu objetivo foi comparar com uma dimensão de um fractal construído por simulação computacional e verificar se coincidem os valores ou se pelo menos estão próximos. Sendo assim, o resultado mostra que o valor encontrado na modelagem foi 1,67 e comparado ao valor padrão computacional 1,53, pode-se afirmar que são bem próximos e, realmente, as arquiteturas das casas e sua disposição espacial são regidos pelo padrão fractal, no qual o crescimento da vila se dá internamente a uma célula maior e que, na medida em que se criam mais casas, seu tamanho vai diminuindo respeitando a iteração recursiva das células resultando em uma dimensão fracionária.

Neste capítulo, descrevemos a estruturação da concepção de função ao longo da história. No início, se tinha noções das operações matemáticas. Os astrônomos gregos utilizavam sistemas de divisão criados pelos babilônicos para estudar relações trigonométricas e obtiveram a proporção do tamanho do arco do círculo pelo incremento do ângulo. No período moderno, Galileu, através de observações experimentais, concluiu uma relação de proporção entre o espaço e o tempo, revolucionando o que se tinha de entendimento de função. A noção de dependência dos dois lados de uma equação x e y é tratado por Descartes que, ainda propôs duas definições de curvas, as geométricas, representadas por uma equação algébrica e as demais

como mecânicas. Leibniz e Newton contribuíram para um salto epistemológico ao tratar a função como expansão em séries de potências. Euler, adicionou elementos como constante, quantidade variável e função como expressão analítica. Um problema pertinente desta época, que contribuiu para a concretização do conceito foi o da corda vibrante. Enquanto alguns se prendiam ao aspecto sonoro criado pelo instrumento de uma corda (monocórdio), outros atentavam ao movimento e à matemática que define o estado do mesmo. Euler propôs uma solução em derivadas de segunda ordem que se intitulou equação de onda. Bernoulli apresentou como resposta funções trigonométricas. A discussão do problema da corda vibrante resultou na extensão do conceito de função que apresentou a inclusão daquelas 1) definidas por expressões analíticas; 2) representada por gráficos, mas que não tinham uma expressão analítica. Fourier elucidou, usando a soma de cossenos e senos para qualquer função em um determinado intervalo, afirmando que qualquer função poderia ser expandida em somas de funções trigonométricas para um dado intervalo. Foi Dirichlet que validou este teorema, com algumas condições. O contraponto das teorias vigentes era que uma função tinha seus pontos que formavam os gráficos contínuos. Weierstrass propôs um exemplo de gráfico contínuo num determinado intervalo em que os pontos não eram diferenciáveis tendo comportamento fractal. Cantor e outros estudiosos fizeram proposta da relação de um conjunto arbitrário que leva a outro conjunto ligados por uma relação de função. A evolução do conceito de função conecta o estudo dos fractais à análise dos sinais sonoros dos instrumentos musicais a partir da teoria de Fourier (séries trigonométricas). O tratamento matemático é detalhado na próxima seção.

2.1.04 Equação de onda em sistemas unidimensionais e bidimensionais

Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768 - 1830) foi um matemático e físico francês que desenvolveu um teorema que descreve qualquer função periódica em termos de funções trigonométricas. Fourier, ao tentar matematizar como se dava a condução térmica em um sólido, chegou à solução na forma de um somatório de funções trigonométricas de senos e cossenos. A aplicação dessa série ao fenômeno referido não foi bem-sucedida, mas mostrou-se suficientemente adequada para o tratamento de ondas sonoras expandindo em soma de harmônicos (MONTEIRO JUNIOR, 2010). Vaz (2011) acredita que foi no Egito, onde Fourier desenvolveu sua teoria.

A matemática e a física apresentam uma interdependência evidente e necessária para descrição dos fenômenos da natureza. No entanto, a valorização de apenas uma delas suprimindo a interpretação da segunda causaria um engrandecimento das ferramentas matemáticas representando além do que é a realidade (KARAM, 2012). Para Karam (2012) esses raciocínios lógicos vão além de uma forma de expressar os fenômenos e consistem em pensamentos que podem demonstrar ou caminhar mais longe do que os nossos olhos conseguem enxergar. Torná-las maior que o sentido físico produziria um grande amontoado de termos não correspondentes aos fenômenos observados ou à realidade. Por fim, de acordo com Einstein (1934), “o pensamento lógico não pode nos fornecer conhecimento sobre o mundo da experiência: tudo que conhecemos da realidade vem da experiência e nela resulta. Proposições puramente lógicas são completamente vazias em relação à realidade” (p. 165 *apud* Paty, 1995, p. 255).

Diante de diversos argumentos da necessidade de ambas ciências serem trabalhadas de forma equilibrada, esta seção explora matematicamente os fenômenos das vibrações em uma corda fixa (simulando a produção do som dos instrumentos de cordas) e a vibração bidimensional representado pelos instrumentos de percussão.

Em um conceito mais atual, a série de Fourier consiste em representar qualquer função periódica em uma série trigonométrica cuja expressão é

$$y = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \sin(nx) + b_n \cos(nx)\} \quad (7),$$

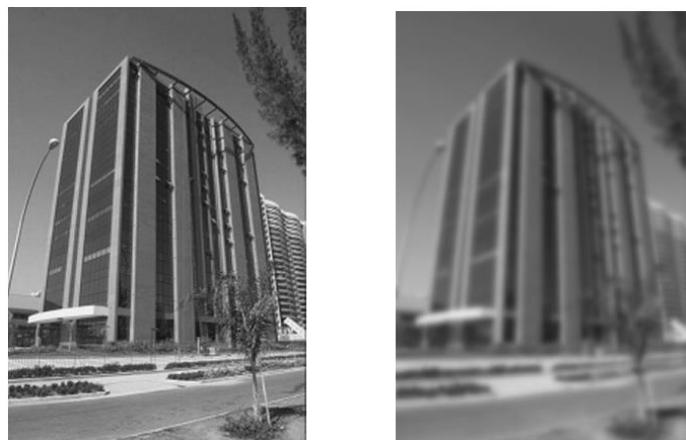
e os coeficientes a_0 , a_n e b_n estão relacionados à função periódica $f(x)$ por integrais definidas, como:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx \\ a_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx dx \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx dx, \quad n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Uma grande vantagem da representação por Séries de Fourier em relação às séries de potências é que, em dadas circunstâncias, aquela é uniforme e global, isto é, sua convergência, uma vez estabelecida, é válida para todo o domínio da função, enquanto que geralmente tem convergência apenas local, isto é, dentro de um intervalo chamado intervalo de convergência que depende da série mas não da função. A discretização das funções de interesse é bastante desejável em muitas aplicações, em especial aquelas que se baseiam em técnicas digitais. Essa discretização dá origem a Transformada Discreta de Fourier (DFT) que provê uma aproximação muito boa para os coeficientes da Série de Fourier de funções periódicas e em alguns casos, essa aproximação é exata. No entanto, o cálculo da DFT costuma ser realizado por um algoritmo pouco intuitivo, mas muito mais eficiente chamado Transformada Rápida de Fourier (FFT) (PUPIN, 2011, p. 81)

A Transformada de Fourier (TF) é uma particularidade das séries de Fourier que trata da parte da integral dos coeficientes dos termos desta. A aplicação da TF tem grande potencial em análise de imagens e sons e, basicamente sua matemática consiste em uma transformada integral que expressa uma função em um determinado intervalo em termos de funções trigonométricas. Na aplicação de filtros de imagens, um dos resultados obtidos é mostrado na Figura 20, considerado um tipo de filtro de suavização.

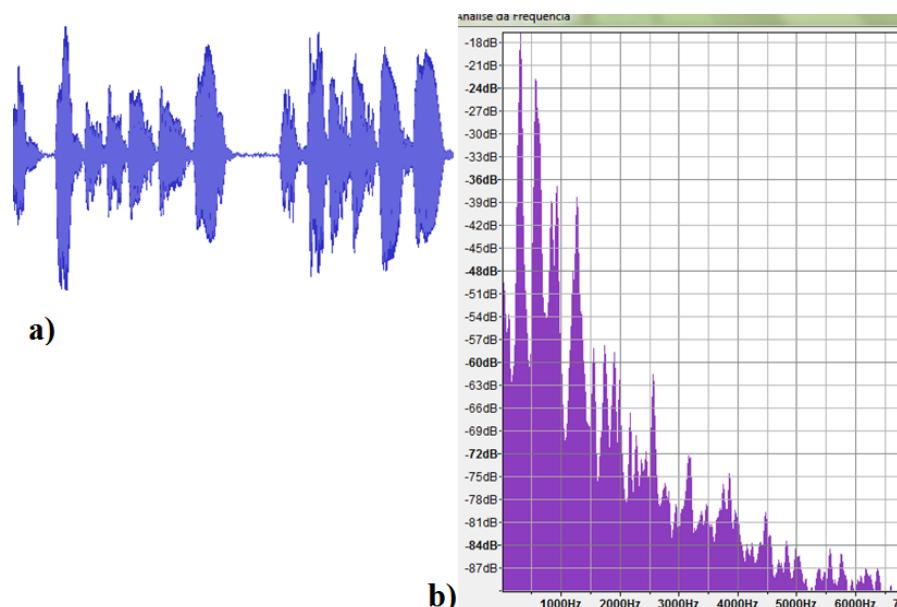
Figura 20 – à esquerda: imagem original, à direita: filtrada por TF



Fonte: (FECHINE, J. M., 2010)

No tratamento de sinais sonoros obtemos o espectro de frequências e seus respectivos níveis em decibel (dB) como exemplificado na Figura 21, no qual gravamos o som de uma cuíca com o programa *Audacity* (Figura 21- a) e, no próprio foi feito a análise do espectro representado pela Figura 21 - b).

Figura 21 – a) onda sonora em escala pressão x tempo; b) espectro de frequências pelo nível sonoro.



Fonte própria do autor.

No tratamento de sinais sonoros, as formas da expansão da série de Fourier tomam características harmônicas representadas pela equação 8.

$$y = \sum_n A_n \sin(n\omega t + \phi_n) + B_n \cos(n\omega t + \phi_n) \quad (8)$$

A vibração em uma corda presa em suas extremidades gera movimentos harmônicos simples propagando ao longo de seu comprimento sendo expressas pelas funções f_1 e f_2 da solução geral de D'Alembert (CAÑADA, 2005) do tipo

$$y = f_1(ct - x) + f_2(ct + x) \quad (9)$$

A função $f_1(ct - x)$ representa a onda viajando para direita com velocidade c ; similarmente, $f_2(ct + x)$ para a esquerda com a mesma velocidade. A função é arbitrária, podendo ser senoidal ou descrever um pulso de ondas. Algumas condições de contorno são necessárias para solução do problema: a corda tem comprimento L fixa nos pontos $x = 0$ e $x = L$; $y(0, t) = 0$ requer $A = -C$ e $B = -D$ na equação 9 com suas respectivas funções f_1 e f_2 substituídas por senos e cossenos, ficando

$$\begin{aligned} y(x, t) &= A \sin \frac{\omega}{c} (ct - x) + B \cos \frac{\omega}{c} (ct - x) + C \sin \frac{\omega}{c} (ct + x) \\ &\quad + D \cos \frac{\omega}{c} (ct + x) \end{aligned}$$

$y(x, t) = A \sin(\omega t - kx) + B \cos(\omega t - kx) + C \sin(\omega t + kx) + D \cos(\omega t + kx)$ no qual $k = \omega/c = 2\pi/\lambda$ é o número de onda. Assim:

$$y = A[\sin(\omega t - kx) - \sin(\omega t + kx)] + B[\cos(\omega t - kx) - \cos(\omega t + kx)] \quad (10)$$

Usando a relação de soma e subtração de senos e cossenos,

$\sin(x \pm y) = \sin x \cos y \pm \cos x \sin y$; $\cos(x \pm y) = \cos x \cos y \mp \sin x \sin y$, temos que $y = 2A \sin kx \cos \omega t - 2B \sin kx \sin \omega t = 2[A \cos \omega t - B \sin \omega t] \sin kx$.

A segunda condição, $y(L, t) = 0$, requer que $\sin kL = 0$ ou $\omega L/c = n\pi$. Isso restringe ω aos valores de $\omega_n = \frac{n\pi c}{L}$ ou $f_n = n(c/2L)$. Por conseguinte, a corda tem modos normais de vibração dados por

$$y_n(x, t) = (A_n \sin \omega_n t + B_n \cos \omega_n t) \sin \frac{\omega_n x}{c} \quad (11).$$

Esses modos são harmônicos porque cada f_n é n vezes $f_1 = c/2L$. A solução geral da vibração de uma corda com extremidades fixas pode ser escrita como a soma dos modos normais, ou seja:

$$y = \sum_n (A_n \sin \omega_n t + B_n \cos \omega_n t) \sin k_n x \quad (12)$$

e a amplitude de modo *nth* é $C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ para qualquer ponto $y(x, t) = \sum_n y_n(x, t)$.

Alternativamente, a solução geral pode ser escrita como

$$y = \sum_n C_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \sin k_n x \quad (13)$$

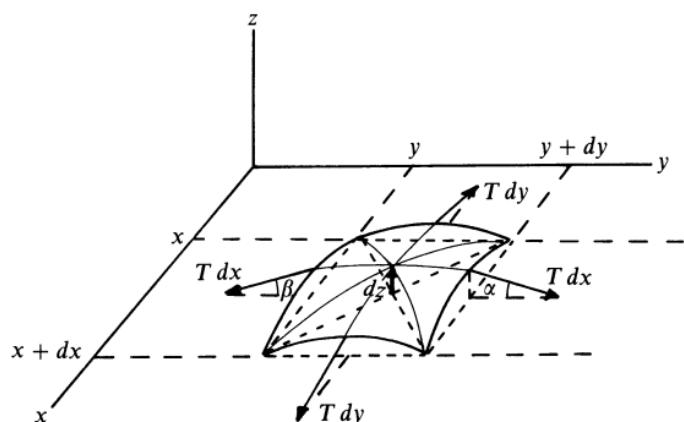
Nesta equação, temos os parâmetros C_n , representando a amplitude do modo *nth* e ϕ_n , a fase do harmônico. O termo $k_n = \omega_n/c$ e consiste no número de onda. Para nossa modelagem de um pequeno sinal sonoro, consideramos a onda estática, $k_n = 0$ e o termo $\sin k_n x = 1$ resultando o somatório

$$y = \sum_n C_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (14)$$

As equações 13 e 14 são consideradas uma particularidade da série de Fourier, usando apenas os termos de seno.

Demonstrado a equação do movimento vibratório em uma corda, abordaremos para uma membrana retangular (FLETCHER e ROSSING, 1991), que é uma aproximação idealizada de uma superfície de um instrumento de percussão. Assim, consideraremos um sistema de duas dimensões de vibração contínua, com e sem rigidez. Quando não existe rigidez, um sistema modelo, as oscilações dependem apenas da força restauradora aplicada por uma tensão nas extremidades. Podemos considerar um sistema de duas dimensões simples como uma membrana retangular cujas dimensões são L_x e L_y ; extremidades fixas e sua superfície tensionada com intensidade T constante em toda a região. Consideremos um elemento de área com densidade σ , como mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Diagrama de forças aplicado em um elemento de área de uma membrana retangular



Fonte: (FLETCHER e ROSSING, 1991, p. 66)

A Figura 22 mostra um elemento da membrana deslocado numa distância dz do ponto de equilíbrio, e a tensão T aplicada à superfície realizando papel de força restauradora. As forças agindo nas pontas dx tem magnitude Tdx , e as componentes verticais são $T\sin \alpha dx$ e $T\sin \beta dx$. Para pequenos valores de β e α

$$\sin \alpha \cong \tan \alpha = \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_{y+dy}; \sin \beta \cong \tan \beta = \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_y$$

Portanto,

$$F_y = -Tdx \left[\left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_{y+dy} - \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_y \right] = -Tdx \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} dy \quad (15)$$

Similarmente, a componente vertical da força agindo nas extremidades dy é

$$F_x = -Tdy \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} dx$$

A força restauradora total do elemento $dxdy$ é $F = F_x + F_y$, então a equação do movimento, pela segunda lei de Newton é

$$\begin{aligned} Tdxdy \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) &= \sigma dxdy \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} &= \frac{T}{\sigma} \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) = c^2 \nabla^2 z \end{aligned} \quad (16)$$

A equação 16 representa a onda transversal com velocidade $c = \sqrt{T/\sigma}$ e é possível resolver escrevendo a deflexão $z(x, y, t)$ como produto de três funções, cada qual de única variável $z(x, y, t) = X(x)Y(y)T(t)$. As segundas derivadas são

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{d^2 X}{dx^2} YT, \quad \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \frac{d^2 Y}{dy^2} XT, \quad e \quad \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = \frac{d^2 T}{dt^2} XY$$

As expressões necessariamente devem atender algumas condições nos quais os resultados com as devidas soluções para a equação diferencial de segunda ordem nos dá

$$\frac{d^2 X}{dx^2} + \left(\frac{\omega^2}{c^2} - k^2 \right) X = 0$$

Com soluções $X(x) = A \sin \sqrt{(\omega^2/c^2) - k^2}x + B \cos \sqrt{(\omega^2/c^2) - k^2}x$ e

$$\frac{d^2 Y}{dy^2} + k^2 Y = 0$$

Com soluções $Y(y) = C \sin ky + D \cos ky$. Para uma membrana retangular com dimensões L_x por L_y , fixado em seus quatros lados, a condição de contorno requer que $z = 0$ para $x = 0, x = L_x, y = 0$, e $y = L_y$. Dessa primeira condição, observamos que $B = 0$; da segunda condição,

$$A \sin \sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} - k^2 L_x} = 0, \text{ então } \sqrt{\omega^2/c^2 - k^2 L_x} = m\pi; X(x) = A \sin \frac{m\pi x}{L_x}$$

com $m = 1, 2, \dots$, da terceira condição, $D = 0$; e da quarta, $C \sin kL_y = 0$, então $kL_y = n\pi$ e

$$Y(y) = C \sin \left(\frac{n\pi}{L_y} y \right) \text{ com } n = 1, 2, \dots \text{ No entanto,}$$

$$z_{mn} = A \sin \frac{m\pi x}{L_x} C \sin \frac{m\pi y}{L_y} (E \sin \omega t + F \cos \omega t)$$

$$z_{mn} = \sin \frac{m\pi x}{L_x} \sin \frac{m\pi y}{L_y} (M \sin \omega t + N \cos \omega t), \quad m = 1, 2, \dots \quad (17).$$

Para determinar os modos vibracionais da corda, devemos resolver a expressão $\sqrt{(\omega^2/c^2) - k^2} = m\pi/L_x$ para ω :

$$\omega^2 = \left(\frac{m\pi}{L_x} \right)^2 c^2 + k^2 c^2 = \left(\frac{m\pi}{L_x} \right)^2 c^2 + \left(\frac{m\pi}{L_y} \right)^2 c^2,$$

e

$$f_{mn} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{T}{\sigma}} \sqrt{\frac{m^2}{L_x^2} + \frac{n^2}{L_y^2}}, \quad m, n = 1, 2, \dots \quad (18)$$

Comparando as equações 14 e 18 responsáveis por descreverem os modos de vibração de uma corda, podemos identificar para uma membrana retangular estas oscilações podem ser chamadas dos modos de vibração das cordas em duas dimensões, pois os harmônicos na direção x aparecem independentemente dos harmônicos na direção y .

As vibrações em uma dimensão e duas dimensões foram tratadas a partir das equações gerais de D'Alambert, expressas por f_1 e f_2 , representando o pulso de onda para a direita e esquerda. Fletcher e Rossing (1991) apresentam detalhadamente a análise de uma vibração propagando em uma corda e em uma membrana. a partir de manipulações algébricas, obtém uma equação diferencial de segunda ordem. As equações apresentam formas distintas sendo, para a corda expressa em função de senos e para a membrana em forma de modos vibracionais. No entanto, suas interpretações físicas são semelhantes, uma vez que, a superfície se comporta como duas vibrações independentes em x e y . Esta análise foi apresentada porque subsidia a modelagem dos sons dos instrumentos de cordas e membrana realizada detalhada no Capítulo 4 cujos resultados são apresentados na primeira seção do Capítulo 5.

CAPÍTULO 3. UMA BREVE HISTÓRIA DO SAMBA DO RIO DE JANEIRO

A concepção do samba vem num trajeto de mutação por diversos anos e até os dias de hoje e as características evidenciadas para cada classificação deste ritmo são definidos e fundamentado no documentário de 100 anos de Samba (2013), apresentando o samba brasileiro de maneira evolutiva. O cerne da palavra samba teve sua origem africana e apresenta diversas interpretações semânticas como um verbo que se dava à determinado movimento de dança. O primeiro samba gravado foi pelo artista Donga intitulado Pelo Telefone em 1917 e são diversos os instrumentos utilizados neste samba e outros, variando entre instrumentos de cordas, percussão e sopro, como apresentado na Quadro 4.

Quadro 4 - Alguns instrumentos usados no samba

Tipo	Instrumentos
Corda	Violão, cavaquinho, bandolim, guitarra
Percussão	Agogô, cuíca, pandeiro, reco-reco, repinique, surdo, tarol, tamborim, timbas, tan-tan
Sopro	Flauta transversal, Clarinete, saxofone, trompete, tuba, trombone

Fonte própria do autor adaptada <http://samba-ap.blogspot.com.br/2009/05/instrumentos-do-samba.html>.

Data de acesso 14 de novembro de 2016 às 11:00.

Atualmente existem diversas formações de samba definidos pelos músicos como (100 anos de samba, 2013):

- a) Samba de Carnaval ou Enredo: assim definido por tocar nos desfiles de carnaval, diferente do ritmo embrionário que se improvisavam as letras, este apresentava letras com história e enredo, e ainda mais ritmado. Foi aceito e ainda tocado na festa da penha e normalmente tem um tema que é baseado em personagens brasileiros, considerados importantes para o brasil. E por fim, este estilo é tocado pelas escolas de sambas nas festividades do carnaval;
- b) Marchinha: consiste em um samba 2 por 4 (tempo binário), bem próximo do samba de enredo, iniciou com a música Aurora de 1940 por Joel e Gaúcho e se tocavam em carnaval. O primeiro registro foi em partitura por Francisca Gonzaga (1847 - 1935);
- c) Samba de Breque: aproxima do andamento do choro e tem uma sincopada por influência da música africana. Assim, este ritmo tem um tempo mais lento e um swing bem acentuado. A palavra sincopada quer dizer que não se segue a métrica do tempo, “perdendo” o ritmo momentaneamente. A terminologia breque diz respeito às pausas dos instrumentos e a continuação da letra falada normalmente;

- d) Samba de Gafieira: tem grande influência do Jazz e por isso muitos instrumentos permitem entre ambos, como trompete, saxofone, entre outros, são usados para tocar este tipo de samba. Este tipo de samba, normalmente não é cantado e tem ritmo rápido, bastante dançado com influências do maxixe e tango;
- e) Samba Partido Alto: foi o primeiro estilo de roda que surgiu caracterizado por sua letra improvisada e desafiando os integrantes da roda. Neste sentido, a improvisação segue um tema e a partir de um refrão que se repete, os cantores são desafiados a improvisar nesta linha. Na década de 50, Jamelão (1913 - 2008) gravou a música “*bom é assim*”, primeiro partido alto e um dos grandes divulgadores deste estilo foi e é o Martinho da Vila;
- f) Pagode Romântico e Samba Pop: antes de usar a palavra Pagode para denominar um estilo de samba, era uma forma íntima dos sambistas chamar a festa que reuniam os músicos para tocarem samba. Hoje é considerado um estilo musical e a harmonia do pagode é mais extensa, sendo composta de mais instrumentos. Nas na década de 90 com seus precursores do grupo Raça Negra. A diferença, portanto, do pagode (festa de samba) dos anos 80 e dos anos 90 é que no primeiro não existia uma figura que cantava e todos os integrantes da roda cantavam. Já no segundo, existia a figura do cantor;
- g) Samba de Sampa, bumbo ou lenço: veio do interior de São Paulo, zona norte, e difere do carioca na divisão dos compassos, harmonia e tem sonoridade mais grave, com o bumbo destacado;
- h) Samba Canção e Bossa Nova: O primeiro deriva do bolero mexicano no período de 1920 e apresenta um aspecto romântico e lento. Já o segundo deriva do primeiro, consistindo em um ritmo “sensual” e também com letras românticas mexendo com a melodia e a batida, introduzindo acordes usados no Jazz da costa oeste. Nasce, então, nas casas e apartamentos da classe média. Por fim, a bossa nova nasceu da fusão do samba, jazz, bolero considerado samba canção;
- i) Sambalanço, samba rap e samba rock: o sambalanço é intermediário ao ritmo do samba gafieira e a bossa nova, considerado apropriado para dançar em baile. Samba Rap consiste em letras rapidamente cantadas aproximando do estilo rap. O rock foi introduzido e influenciado também em nosso ritmo brasileiro, originando o samba rock e um dos ícones foi Novos Baianos com Pepeu Gomes na guitarra marcante apropriou de técnicas deste instrumento para produzir samba.

Feitas as classificações do ritmo samba, apresentamos uma breve história de sua origem no Rio de Janeiro, e disseminação no Brasil, incluindo grandes músicos como Noel Rosa e sua contribuição para que se tornasse parte da cultura. Nosso recorte é baseado na perspectiva historiográfica de Fernandes (2010) e Tinker (2000) que defendem o início deste ritmo na casa da Tia Ciata, pseudônimo de Hilária Batista de Almeida (1854 - 1924). As interpretações dos materiais históricos vão ao encontro da visão meta-históriográfica, conforme abordado no Capítulo 2 e tem objetivo de explorar algumas interpretações do trajeto desse conhecimento. A partir desse estudo, podemos afirmar que este seja autêntico do Brasil e que passou por várias modificações antes de se consolidar como música constituinte da cultura brasileira. Entre o período de 1850 a 1940, houve conflitos com a cultura erudita vigente e a partir do governo de Getúlio Vargas, passou a ser incorporado oficialmente como cultura nacional (FERNANDES, 2010).

O embate entre o erudito e o não-erudito caracterizava um cenário onde taxavam as músicas não-eruditadas como de mau gosto, associadas à selvageria, aos aspectos vistos como provenientes das baixas camadas sociais, de um Brasil indesejável (FERNANDES, 2010). O cenário cultural se dividia em uma parte erudita, essencialmente de influência europeia, e a outra, popular, mais simples, cujos estilos eram tango, polcas, maxixe, batuque; todos influenciados pela musicalidade indígena, africana e portuguesa.

Um fator que ajudou a disseminar a música popular da época foi a incorporação de elementos da música erudita nestes ritmos. Alguns estrangeiros começaram a influenciar a música do Brasil e a torná-la, na concepção das elites, menos “selvagem”. Apesar das resistências futuras desta junção, por parte da sociedade e da comissão composta por artistas compositores de samba, proporcionou variedades sonoras ampliando o jeito de tocar samba.

Em 1940, os estilos musicais brasileiros como batuque, lundu, modinha, cateretê, polca, maxixe, tango, *fox-trot*, chula, e capoeira, famosos e usuais no século XIX, foram incorporados pelo samba e pelo choro.

A propagação da nova cultura popular por meio da mídia foi um dos principais fatores da ascensão do samba. Neste sentido, o rádio e os vinis, bem como as revistas “O Careta”, “Revista da Semana”, “Fon-Fon”, “Para Todos”, “Cena Muda” e “O Malho” traziam manchetes desta nova manifestação musical que se consolidava no Brasil (FERNANDES, 2010), o que reforçou a possibilidade de alguns artistas de viver às custas da música. Neste sentido, a crescente aquisição de rádios nas casas dos cidadãos brasileiros e o aumento das estações emissoras (Quadro 5) foram fatores determinantes para o crescimento deste ritmo na cultura.

Quadro 5 - Panorama da quantidade de estações emissoras de rádio no Brasil nas décadas de 30 a 50 do século passado.

Ano	Estações pelo Brasil
1930	04 estações
1935	14 estações
1950	300 ³ estações

Fonte: FERNANDES, 2010

Aproveitando essa grande quantidade de estações de rádio, o presidente Getúlio Vargas adotou o modelo americano de radiodifusão de informação, no qual as propagandas sustentavam financeiramente as estações. A partir desta conjuntura do cenário midiático, foi possível a proliferação de alguns compositores e intérpretes como Noel Rosa, Marília Batista, Carmen Miranda, Francisco Alves, Orlando Silva, Almirante, Orestes Barbosa, entre outros. No entanto, existia uma resistência de aceitação dessa manifestação cultural pela elite, baseado em Fernandes (2010),

o articulista e burocrata de Vargas, Almeida Azevedo (1935), por exemplo, escreveria na “Revista Voz do Rádio” que “o horrível samba de morro, anda por aí desamparado, sem juiz de menores que olhe por ele, sem polícia de costumes que o proteja, sujo, malcheiroso” (*apud* FERNANDES, 2010, p. 35). O articulista Renato Alencar, também descreve “o samba é um dos ramos das danças importadas com o tráfico negreiro e que se fixou e evolucionou entre nós (...) Divide-se em duas classes: o samba de morro, a batucada, dança litúrgica bárbara e sensual; o outro é o samba de arte, suportado no salão e nutrido pela influência dos mais altos pendores líricos” (*apud* NAPOLITANO, 2007, p. 42 *apud* FERNANDES, 2010, p.36).

O samba, ao longo do tempo, teve algumas mudanças em sua estrutura rítmica, melódica, letras e harmonias. Nas palavras do jornalista Francisco Guimarães

O primitivo samba era o raiado, com aquele som e sotaque sertanejos. Depois, veio o samba corrido, já melhorado e mais harmonioso e com a pronúncia da gente da capital baiana. Apareceu então, o samba desenvolvido, cheio de melodia, exprimindo uma mágoa, um queixume, uma prece, uma inovação, uma expressão de ternura, uma verdadeira canção de amor, uma sátira, uma perfídia, um desafio, um desabafo, ou mesmo um hino! É este samba de hoje, de Caninha, de Donga, [Heitor dos] Prazeres, João da Baiana, Lamartine [Babo], Almirante, Pixinguinha, Vidraça, Patrício Teixeira, Salvador Corrêa, muitos outros e que constitui – o reinado do grande mestre, do saudoso, do inolvidável – do imortal Sinhô (GUIMARÃES, 1978 *apud* FERNANDES, 2010, p. 49)

Guimarães (1978 p. 108 *apud* FERNANDES, 2010) confirma e conclui em seu livro

No dia em que o samba se relacionar com a gramática, perderá toda a sua beleza, todo o seu encanto, porque passará a ser monopólio dos poetas e será até apresentado na fonética, como prova de habilitação para a Academia de Letras... (...) Quando o samba

³20 estações apenas no Rio de Janeiro e 1945 – 85% lares brasileiros tinham aparelho receptor.

tiver gramática, quando o samba passar da roda em que foi gerado para a dos gramáticos e dos maestros, quando ele sair do seu próprio meio e for para o seio dos poetas deixará de ser samba. (...) a transformação se fará, mas durará muito pouco, porque, será tão grande a repulsa que o protesto partirá dos editores, que notarão a queda da indústria, com a diminuição assombrosa da renda (p. 48)

Ao analisarmos as palavras de Guimarães (1978), percebemos que existia uma grande preocupação por parte de alguns músicos e jornalistas com o caminho que o samba estava percorrendo. Guimarães, prezava pela essência e permanência da origem dessa origem, consistindo em letras mal elaboradas, sem preocupação com regras gramaticais e ritmo simples com tempo dois por dois.

Em contrapartida, Orestes Barbosa, jornalista, carioca, compositor e poeta (1893 – 1966), buscou a excelência nos estudos e profundidade no trabalho. Orestes Barbosa não optou por defender a divisão de gênero popular entre autêntico e inautêntico. Ele assume o rádio como uma ferramenta necessária e benéfica ao samba. O Quadro 6 apresenta um resumo da interpretação do que é samba segundo Vagalume e Orestes.

Quadro 6 - Interpretações do que é o samba para Vagalume e Orestes Barbosa.

	Vagalume	Orestes Barbosa
Quanto à Forma	Autêntico ou Inautêntico	Único
Quanto às remotas origens	Bahia/Africa	Rio de Janeiro/Brasil
Quanto ao território de reprodução	Morro/Roda	Cidade como um todo/Rádio
Quanto ao local de nascimento	Tia Ciata	Rio de Janeiro

Fonte: (FERNANDES, 2010, pg. 60)

Outro personagem marcado na história do samba foi Francisco Alves (1898-1952) que talvez fora o cantor comercial de maior sucesso naquela época. Apelidado de Chico da Viola, tinha uma estreita relação com Orestes Barbosa e interpretou algumas de suas canções, além de ter composto em parceria outras mais. O fato de terem feito sucesso no comércio da música brasileira deve-se ao motivo por pertencerem ao grupo que tinha relações próximas com as empresas comerciais, as difusoras dos gêneros populares urbanos (FERNANDES, 2010, p. 58).

É através destes personagens citados, Chico da Viola e Barbosa, o samba se estruturou num formato diferente do antigo, “samba-amazixado”, de artistas como Sinhô, Donga, Heitor dos Prazeres, Pixinguinha etc., executados na casa da Tia Ciata e que animavam os carnavalescos e os ranchos (SANDRONI, 2001 *apud* FERNANDES, 2010, p. 59).

É neste cenário que existe uma dificuldade em determinar se o samba veio do morro ou da cidade. Estácio de Sá, bairro de gente simples, centro propulsor deste estilo, contava com

práticas musicais que no final houveram destaques nacionais como Ismael Silva, Bide (Alcebíades Barcelos) e Armando Marçal. O músico Bide compôs em 1936 música e letra *O x do problema*, no qual, Noel Rosa se rendia aos encantos do samba do Estácio. Assim, sob influência destas músicas, morando em Vila Isabel, bairro de classe média, vários compositores e cantores apareciam na rádio: Almirante, João de Barro, Francisco Alves, Nássara, Cristóvão de Alencar, Orestes Barbosa, Antonio Almeida, Ciro de Sousa, J. Cascata, os irmãos Evaldo Rui e Haroldo Barbosa, Barbosa Jr.

Nesta mesma época de conflitos entre sambistas da Vila Isabel e Estácio de Sá, o estilo musical que invadia os salões era o *fox-trot*, música originada nos Estados Unidos, trazia consigo uma influência internacional intensa. Neste sentido, no percurso do samba até sua consolidação como cultura nacional, os artistas articulavam ideias e músicas para reforçar a “superioridade” do mesmo em relação ao *fox-trot* de modo a não deixar que este se desconfigure o samba.

Alguns artistas se articularam em prol do nacionalismo musical e uma delas, Carmem Miranda, expressava a ira dos nacionalistas contra o *fox-trot* na música “Eu gosto da minha terra”. Noel Rosa também mostrava seu repúdio às canções feitas por brasileiros em língua inglesa. Em 1928, o samba-canção já se considerava rubrica musical, no entanto com poucos registros musicais em relação aos outros estilos como sertanejo, valsa, marchinhas. Nos anos 30, era evidente que estava em voga os gêneros populares estrangeiros como tango, fado. O mais influente, aqui já citado, era o *fox-trot* estrangeiro e também os nacionais, incluindo João de Barro, Alberto Ribeiro, Lamartine Babo e Orestes Barbosa, muitas delas filmes musicais norte-americanos.

É fato que o samba apresentou em diversos momentos da sua história grandes influências de outros ritmos. Até ser considerado parte da cultura do Brasil, enfrentou grandes dificuldades, resistências ao reconhecimento pelo próprio brasileiro, em vista ainda, por ter tido grandes influências da cultura negra. Atualmente é considerado patrimônio cultural. A presença de alguns instrumentos musicais para cada vertente deste ritmo nos leva a considerar o estudo dos mesmos. No próximo capítulo apresentamos as escolhas metodológicas trilhadas para o estudo mencionado assim como, para elaboração do vídeo educativo.

CAPÍTULO 4. METODOLOGIA

A elaboração do produto educacional do mestrado profissional (MP) de acordo com os pesquisadores Ostermann e Rezende (2008), Leodoro e Balkins (2010), apresenta particularidades em relação ao mestrado acadêmico (MA). Primeiramente o que diferencia de um MA de um MP é que esse visa preparar o formando para o mercado de trabalho. Para nosso caso, mestrado profissional em ensino (MPE), consiste em preparar o aluno para ser professor em sala de aula (OSTERMANN e REZENDE, 2008). Neste sentido, os resultados almejados em ambos são distintos no que tange ao objetivo do MP, tratar assuntos relevantes que podem ser aplicados. Assim,

os critérios de avaliação do MPE, publicados pela CAPES em 2006, estabelecem que o trabalho de conclusão deverá apresentar alta qualidade, resultando em publicações em veículos reconhecidos (científicos e/ou de divulgação) pela área, em publicações didáticas e produtos educacionais com potencial de transferência e aplicabilidade no sistema educativo (OSTERMANN e REZENDE, 2008, p. 4).

Ostermann e Rezende (2008) apresentam um discurso de fomento ao diálogo entre os pesquisadores acerca da natureza do trabalho de conclusão dos cursos de MPE e “sua relação com projetos de desenvolvimento e de pesquisa, com a prática educativa e com a realidade escolar” (p. 4). Assim, na concepção de Ostermann e Rezende (2008) “os chamados projetos de desenvolvimento em ensino podem ser definidos como aqueles que se referem às inovações didáticas e que estariam estreitamente relacionados aos trabalhos de conclusão no âmbito dos mestrados profissionais nas áreas de ensino” (p. 5).

Segundo Moreira (2004 *apud* OSTERMANN e REZENDE, 2008)), o trabalho final do MPE deve ser uma pesquisa aplicada, descrevendo o desenvolvimento de processos ou produtos de natureza educacional, visando à melhoria do ensino na área específica, sugerindo-se fortemente que, em forma e conteúdo, este trabalho se constitua em material que possa ser utilizado por outros profissionais

Os produtos do MPE na visão da Comissão de Avaliação da área, em 2006, podem ser “um trabalho de investigação, uma proposta de ação e/ou uma intervenção, voltado para um tema aplicado ou uma solução de problema” (OSTERMANN e REZENDE, 2008, p. 5). O MPE não exclui a parte de pesquisa, muito menos ignora a realidade do ensino pesquisado pelos programas de pós acadêmicos. São necessários os dois, pois um complementa o outro (OSTERMANN e REZENDE, 2008).

A concepção do vídeo envolve diversos referenciais teóricos educacionais e se estrutura em concordância com a proposta pedagógica associada ao movimento CTS, conforme abordado no Capítulo 2 e se configura num trabalho de investigação por apresentar uma alternativa de

subsídio ao professor de física e ciências. A confecção do vídeo educativo foi referenciada no trabalho de Wohlgemuth (2005) que resgata uma pedagogia audiovisual apresentando métodos de confecção com intuito de atingir o maior número de público visando

recuperar, produzir, conservar e reproduzir, por meio do vídeo, o conhecimento real, composto pelo conhecimento científico e formalizado do técnico (conhecimento acadêmico), agregado ao conhecimento científico, não formalizado e empírico dos setores populares da sociedade (conhecimento popular) (p. 24).

Algumas regras são necessárias para a finalidade proposta pelo autor:

- a) Apresentar a estrutura locutora em primeira pessoa do plural (nós vamos fazer tal coisa, etc.);
- b) sempre tentar usar símbolos claros sobre fundos neutros;
- c) deve-se evitar músicas melódicas (com letras) que confunda a informação do interlocutor prejudicando a atenção – o uso de música produzida pelos próprios interlocutores é de total recomendação;
- d) a sobreposição de áudio quase não é utilizada, ou seja, quando é fala do narrador, não se coloca música de fundo e vice e versa;
- e) evitar depoimentos técnicos dos especialistas dos assuntos;

O produto deste MPE está estruturado numa perspectiva CTS (SANTOS, 2011; AULER, DALMOLIN e FENALTI, 2009) e interdisciplinar (CARLOS, 2007). A mídia é arquitetada da seguinte maneira: opinião pública sobre o gosto particular pelo samba; apresentação dos conceitos de som (apresentação elaborada no *Prezi®*) e narrativa respeitando a não sobreposição de áudios exposto no item d); entrevista com os músicos do porque a escolha do instrumento tocado por cada um e o papel de cada um em uma roda de samba possibilitando um discurso alternativo do técnico, como expresso no item e); comparação do perfil sonoro gravado no programa com o gráfico construído no *Modellus* usando a equação da modelagem matemática; a origem do samba e sua estreita relação com os terreiros de candomblé e; por fim, a música fita amarela interpretada pelos músicos em coerência com o item c). Para a obra de autoria de Noel Rosa, de domínio público⁴, o grupo criou sua própria versão.

A interdisciplinaridade é fomentada pela abordagem a partir de uma perspectiva CTS do tema som e acústica, possibilitando o tratamento de alguns conceitos como timbre, intensidade e frequência de maneira conjunta aos conceitos físicos e musicais. Também

⁴ Acessar obras consideradas de domínio público no sítio http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=84608. Data de acesso 13 de novembro de 2016 às 21:18.

apresentamos em nosso produto educativo elementos culturais, física, matemática e história, a inter-relação da ciência, tecnologia e sociedade que acontece na análise dos instrumentos musicais (tecnologia) a partir da soma de funções trigonométricas (ciência) e a perspectiva social do samba para o público e os músicos (sociedade).

O estudo do timbre apresentado neste texto consiste na abordagem científica de nosso produto e a partir das equações para cada timbre dos sons emitidos pelos instrumentos (cavaquinho, violão 7 cordas, pandeiro, cuíca, repique de mão) usados na roda de samba, foi executado usando-se a ferramenta de Fourier (FLETCHER e ROSSING, 1991; IEZZI e MURAKAMI, 1977). Nesta parte temos a justificativa da teoria apresentada pelos referenciais Fletcher e Rossing (1991) no capítulo dois que diz sobre a caracterização da vibração de uma corda e de uma membrana.

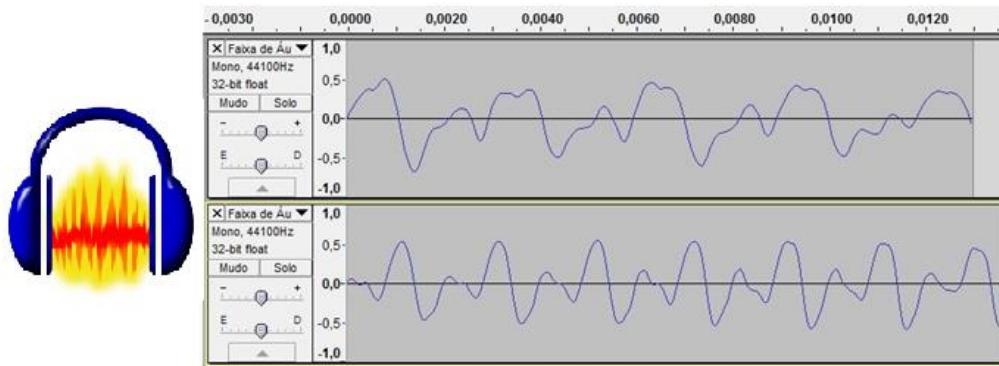
Para os instrumentos de cordas (violão 7 cordas, cavaquinho), gravamos apenas uma corda solta⁵ do instrumento e, para os de membrana, analisamos apenas o seu som grave⁶. As gravações foram masterizadas no estúdio da rádio universitária da Universidade Federal de Uberlândia. Os áudios devidamente gravados e equalizados foram importados para o programa de gravação e edição *Audacity®* e, a partir da seleção e do corte de cada sinal, foram importados para o pacote matemático *MatLab 2014®* e ajustados cada curva usando a ferramenta “*cftool*”.

O *Audacity®* é um programa gratuito *open source* que possibilita gravar, editar, importar e exportar áudio em diversos formatos e ainda permitir a visualização do sinal gravado numa escala: amplitude (U. A) por tempo (ms). A Figura 23 mostra parte de um sinal gravado do instrumento cuíca.

⁵ Corda solta é quando não existe pressão em nenhuma sob a extensão do braço do instrumento. A corda está livre e vibra entre o cavalete e a pestana.

⁶ O som grave em um instrumento de membrana é produzido a pele é posta a vibrar solta, ou seja, sem nenhuma pressão externa em qualquer região da superfície.

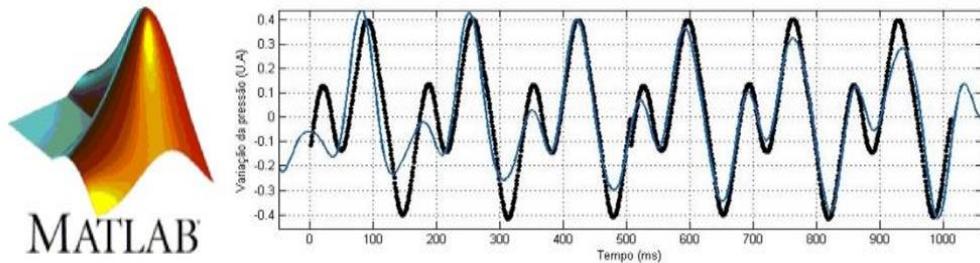
Figura 23 - Sinal parcial gravado no Programa Audacity® para o grave (superior) e agudo (inferior) da cuíca.



Fonte própria do autor.

O pacote matemático *MatLab 2014®* é um programa interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico. Permite construir gráficos, cálculo com matrizes, processamento de sinais. A Figura 24 apresenta parte de um sinal sonoro importado e ajustado pelas ferramentas disponibilizadas no pacote.

Figura 24 - Ajuste de curva usando o ‘*cftool*’ para o som da cuíca. Os pontos pretos são os dados experimentais e a linha azul é a curva de ajuste.



Fonte própria do autor.

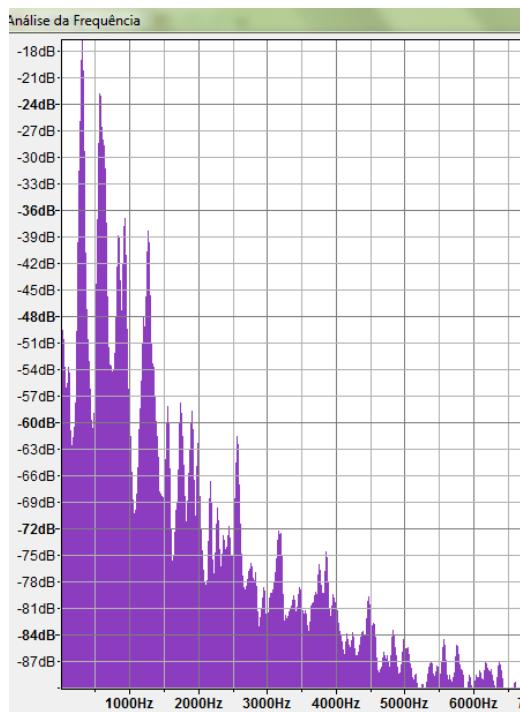
Além da possibilidade da obtenção gráfica do ajuste, o pacote gera a série trigonométrica e seus parâmetros resultantes pela equação 19

$$y = a_n \operatorname{sen}(b_n t + c) \quad (19).$$

Os passos realizados para cada ajuste matemático do timbre dos instrumentos foram:

1. Identificou-se as frequências mais predominantes no espectro obtido pelo *Audacity®*;

Figura 25 – Espectro de frequências de um sinal sonoro



Fonte própria do autor.

2. Exportou-se a tabela de espectro intensidade (dB) x frequência (Hz);
3. Ajustou-se o sinal sonoro (cortado e importado) no *MatLab®* e anotou-se os coeficientes b_s (frequências);
4. Comparou-se a tabela de frequências do espectro com os coeficientes b_s do ajuste. Registrou-se as frequências coincidentes em ambos;
5. Fixou-se os valores de c_s para um único valor (valor do c referente à frequência fundamental) resultado do passo 3;
6. Realizou-se o ajuste com o novo valor fixo de c e observou-se os valores dos coeficientes de b_s . Se caso mudassem, aproximar das frequências do item 4.

A quantidade de termos para a modelagem foi determinada a partir da comparação gráfica da curva prática com a teórica e levando em consideração o menor número de funções senos (BUNGE, 2013). Os resultados obtidos para cada ajuste dos timbres foram usados no vídeo entre as falas dos músicos. Numa visão panorâmica, a estrutura do vídeo foi esquematizada da seguinte maneira: entrevista com o povo da rua; apresentação da teoria musical; apresentação do objetivo da modelagem matemática por nós; entrevista com os

músicos; reprodução gráfica do sinal sonoro usando a equação obtida para cada instrumento comparando com o sinal gravado no *Audacity*; recorte da história do samba do Rio de Janeiro e o objetivo desta mídia produzido por nós; créditos finais. Os motivos para esta arquitetura foram: da fala do público no início do documentário: aumenta a possibilidade de interesse do espectador evitando um discurso muito técnico sobre o tema; apresentação *prezi*: parte científica do trabalho estrategicamente exposto logo após uma fala descontraída do público em relação ao estilo de música samba; entrevista com os músicos seguidas com o ajuste matemático e reprodução gráfica do timbre: uma maneira de tratar a parte matemática do tema; e por fim, a fala sobre o samba de maneira histórica e sociológica. Na próxima seção, apresentamos alguns comentários de pessoas que assistiram o vídeo. A mídia foi disponibilizada no *youtube®*⁷ e compartilhada para alguns professores de física com algumas perguntas referente ao vídeo mostradas no apêndice F.

⁷ Link de acesso <https://www.youtube.com/watch?v=tStM8K1VJWk>

CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo foi dividido em duas subseções: a primeira consiste na apresentação dos resultados e discussões feitas em relação às análises matemáticas dos sons produzidos pelos instrumentos usados na roda de samba; a segunda parte refere-se as respostas do público requisitadas em nosso questionário para àqueles que viram a mídia.

5.1 Modelagem matemática para os sinais sonoros

Os resultados apresentados nesta seção compreendem aos ajustes matemáticos dos perfis sonoros dos instrumentos musicais e suas respectivas equações e coeficientes obtidos da expansão da série de Fourier na forma harmônica

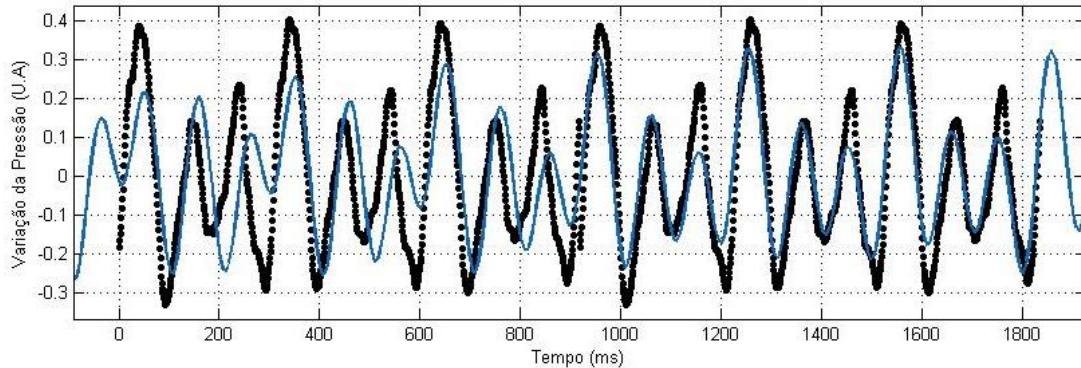
$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(b_n t + c),$$

no qual os termos a_n correspondem às amplitudes das frequências, b_n consistem nos componentes que contém a frequência do harmônico e, c é a constante de defasagem do harmônico em relação ao zero no eixo y . A unidade de frequência angular dada pelo *MatLab* é em *rad/s* (ω). Para fazermos a conversão da frequência em Hertz (Hz) utilizamos relação da equação 20

$$\omega = 2\pi f_0 \rightarrow f_0 = \frac{\omega}{2\pi} 10^4. \quad (20)$$

As figuras 26, 27, 28, 29 e 30 apresentam os gráficos (variação da pressão pelo tempo) dos respectivos sinais ajustados para cada timbre instrumental. Os pontos pretos são os dados experimentais e a linha azul é ajuste teórico. As tabelas 2, 4, 6, 8 e 10 apresentam os espectros de frequências identificados no programa de gravação *Audacity* e as tabelas 3, 5, 7, 9 e 11, referem-se às respectivas frequências e intensidades dos harmônicos resultados do ajuste de curva pelo pacote matemático.

Figura 26 – Ajuste do sinal sonoro parcial do violão 7 cordas (corda Ré solta) pelo *MatLab®*.



Fonte própria do autor.

Tabela 2 - Espectro do violão 7 cordas do *Audacity*.

Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$	Nº harmônico
32,30	0,0203	1
53,83	0,0338	2
96,9	0,0609	3

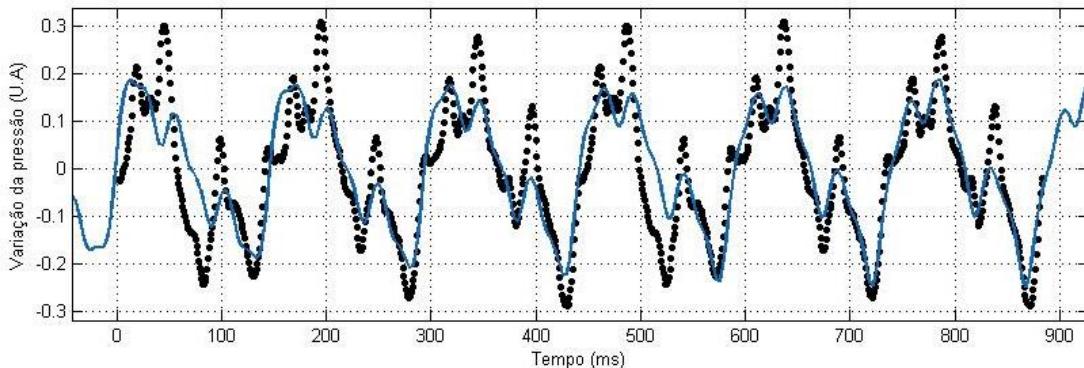
Tabela 3 - Valores resultados do ajuste feito para o violão 7 cordas.

Ordem	Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$ (coef. b_s)	Nº harmônico	Amplitude (coef. a_s)	C
1	98,4	0,0618	3	-0,177	0,0629
2	62,83	0,0416	2	0,0932	0,0629
3	32,64	0,0205	1	0,0669	0,0629

Fonte própria do autor.

Os resultados dos ajustes do violão de 7 cordas foram 3 harmônicos sucessivos com frequência fundamental 32,64 Hz, c fixo no valor 0,0629. O segundo harmônico é o que apresentou maior intensidade.

Figura 27 - Ajuste do sinal sonoro parcial do cavaquinho pelo *MatLab®*



Fonte própria do autor.

Tabela 4 - espectro do Cavaquinho pelo *Audacity*.

Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$	Nº harmônico
64,59	0,0406	1
129,2	0,0812	2
193,8	0,1218	3
409,1	0,2570	6

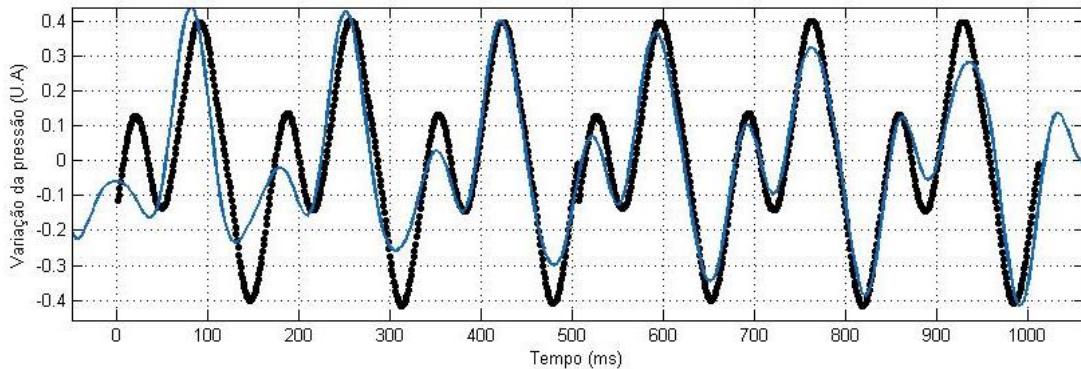
Fonte própria do autor.

Tabela 5 - Valores resultados do ajuste feito para o Cavaquinho.

Ordem	Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f(\text{coef. } b_s)$	Nº harmônico	Amplitude (coef. a_s)	c
1	67	0,0421	1	0,147	0,0982
2	133,8	0,0841	2	0,0515	0,0982
3	204,6	0,1286	3	0,0598	0,0982
4	411,6	0,2586	6	0,0257	0,0982

Fonte própria do autor.

Para o cavaquinho foram obtidos 4 harmônicos no qual a frequência fundamental é 67 Hz e os demais segundo, terceiro e sexto harmônico, respectivamente. O coeficiente de deslocamento de fase (c) foi fixado em 0,0982 e o harmônico de maior intensidade é o primeiro (fundamental).

Figura 28 - Ajuste do sinal sonoro parcial da cuíca pelo *MatLab®*.

Fonte própria do autor.

Tabela 6 - Espectro de frequências para a Cuíca *Audacity*.

Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$	Nº harmônico
53,83	0,0338	1
118,43	0,0744	2
183,03	0,1150	3

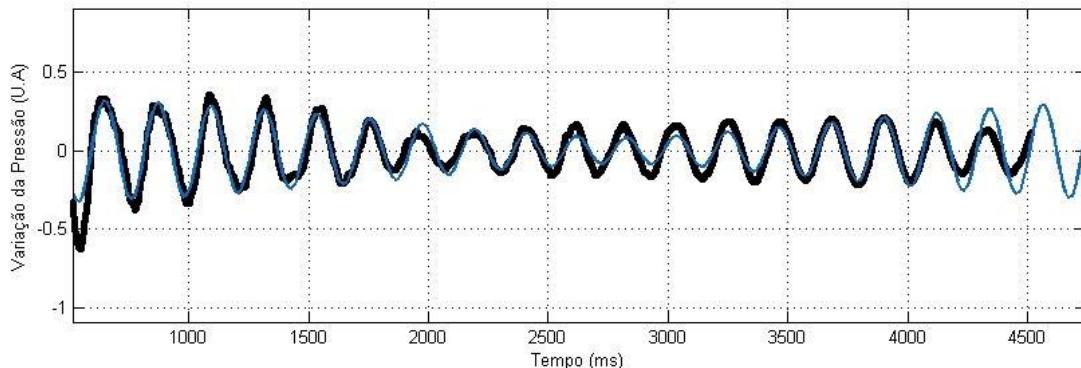
Fonte própria do autor.

Tabela 7 - Valores resultados do ajuste feito para a Cuíca.

Ordem	Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$ (coef. b_s)	Nº harmônico	Amplitude (coef. a_s)	c
1	114,43	0,0729	2	-0,1919	-1,329
2	58,8	0,0370	1	0,2111	-1,329
3	180,3	0,1133	3	0,0419	-1,329

Fonte própria do autor.

Ao analisar o ajuste do sinal sonoro da cuíca a partir dos dados, verificamos que foram necessários 3 harmônicos para modelagem.

Figura 29 - Ajuste do sinal sonoro parcial do repique de mão pelo *MatLab®*.

Fonte própria do autor.

Tabela 8 - Espectro de frequências para o repique de mão *Audacity*.

Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$	Nº harmônico	c
43,06	0,0271	1	-1,329
48,45	0,0304	2	-1,329

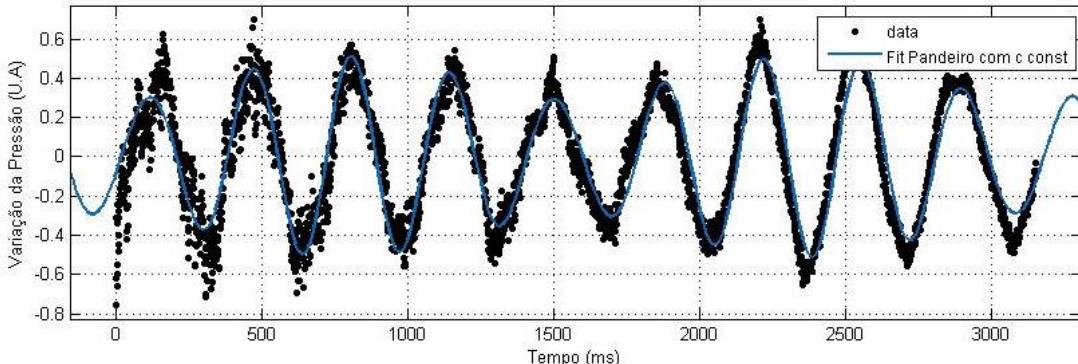
Fonte própria do autor.

Tabela 9 - Valores resultados do ajuste feito para o repique de mão.

Ordem	Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$ (coef. b_s)	Nº harmônico	Amplitude (coef. a_s)	c
1	45,7	0,0287	2	0,2131	2,039
2	43,9	0,0276	1	0,1302	2,039

Fonte própria do autor.

Figura 30 - Ajuste do sinal sonoro parcial do pandeiro pelo *MatLab®*.



Fonte própria do autor.

Tabela 10 - Espectro de frequências par ao pandeiro *Audacity*.

Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f$	Nº harmônico
32,30	0,0203	2
21,53	0,0135	1

Fonte própria do autor.

Tabela 11 - Valores resultados do ajuste feito para o pandeiro.

Ordem	Freq. (Hz)	$\omega = 2\pi f(\text{coef. } b_s)$	Nº harmônico	Amplitude (coef. a_s)	c
1	28,48	0,0179	1	0,3222	-0,322
2	34,85	0,0219	2	-0,1128	-0,322

Fonte própria do autor.

Os resultados mostram que o timbre de cada instrumento é composto por diferentes coeficientes a_s e b_s , que são as amplitudes e as frequências dos harmônicos. Isso quer dizer que, além da afinação do instrumento ser diferente um do outro (definida pela frequência fundamental), o espectro que os compõem é diferente. No afinador⁸, a corda ré do violão 7 cordas deu 146 Hz nota Ré terça (D3). Para o cavaquinho deu 294 Hz nota Ré quarta (D4). A cuíca fazendo o som grave é nota 269 Dó quarta (C4). Não foi possível verificar a nota pelo afinador para os instrumentos de percussão, pandeiro e repique de mão.

Para os instrumentos de membrana percutidos, pandeiro e repique de mão, foram necessários dois termos de funções seno para modelar o perfil da onda resultando em um batimento. Os fenômenos sonoros chamados batimentos geralmente são observados entre duas vibrações de frequências próximas resultando numa onda que cresce e decresce com frequência

⁸ Afinador é um dispositivo usado por músicos para detectar a altura das notas tocadas em instrumentos musicais, e assim afinar seu instrumento. < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Afinador> > Data de acesso 13 de novembro de 2016 às 21:56

distinta. Quanto menor a diferença entre elas, menor a frequência do batimento. No campo da música este tipo de fenômeno que acontecem entre dois tons próximos são chamados de “tensão”.

A modelagem do som da cuíca foi a partir de 3 harmônicos. Apesar da cuíca ser um instrumento de membrana (grupo membranofone), ela não apresenta o mesmo padrão de modelagem que o pandeiro e repique de mão, resultando em um batimento. Como a cuíca é tocada de maneira distinta dos demais citados, friccionando-se uma haste/vareta de bambu fixa na membrana do instrumento, o som produzido não resulta da percussão da membrana com as mãos, proporcionando, assim, uma produção do som mais próxima dos instrumentos de corda apresentando mais de 2 termos.

Os instrumentos do grupo de cordofone, cavaquinho e violão 7 cordas, apresentaram em sua modelagem, quatro harmônicos e 3 harmônicos, respectivamente. É interessante ressaltar que para o cavaquinho as posições dos harmônicos (1, 2, 3, 6) mostra que não necessariamente deve ser de ordem crescente sequencial.

Aprofundando no conceito sonoro do timbre, Grey (1978) e Junior (2010), entre outros, afirmam que os fatores estruturais do corpo do instrumento, bem como, a classificação do instrumento (membranofone, ar, corda, idiofone) são algumas características responsáveis pela grande variação do timbre dos instrumentos. Junior (2010) afirma que até a maneira de tocar, intensidade, posição da membrana percutida ou corda, por exemplo, influencia diretamente no timbre produzido.

5.2 Avaliação do vídeo

Foi realizado um levantamento de opiniões a partir de um questionário usando a ferramenta *google forms* (Anexo D) aos professores de Física do Ensino Médio de escolas públicas (federais, estaduais) e privadas, em relação ao conteúdo do vídeo e seu potencial didático interdisciplinar. Até então, a mídia não foi aplicada. O formulário foi enviado por e-mail a 48 professores e obtivemos respostas de 25% do total. Doravante, R1, R2, R3 ... R12 representarão os respondentes nas citações das falas, preservando o anonimato dos mesmos em conformidade com as normas de ética em pesquisa.

O Quadro 7 – Síntese das respostas dos professores que assistiram o vídeo. Quadro 7 apresenta duas das perguntas realizadas e algumas respostas recolhidas do questionário online⁹.

Quadro 7 – Síntese das respostas dos professores que assistiram o vídeo.

Repostas gerais	Você usaria este vídeo em suas aulas de física?	Você acredita que este material tem potencial de ser aplicado em conjunto com professores de outras áreas em sua escola?
Sim	<p>Sempre usei este tipo de mídia.</p> <p>Vídeo traz, além das informações físicas e matemáticas, dados culturais e acredito que tem potencial para despertar e manter o interesse dos estudantes.</p> <p>Independente do estilo musical, a música faz parte do cotidiano de todos. Nesse vídeo, ao associar a forma da onda à cada instrumento, o estudante literalmente vê a diferença.</p> <p>Conceitos de física são discutidos e trabalhados no contexto do nosso país, facilitando o interesse dos alunos pela temática.</p> <p>Acredito que a física alinhada ao conhecimento cultural é tudo que nossos jovens gostariam de ver e ter... taí uma combinação que eu, particularmente, adoraria. acho lindo, perfeito e estimulador!!!</p> <p>Utilizarei o material na próxima semana, devido a semana da consciência negra e o presente trabalho possibilita essa abordagem de valorização cultural concomitante com o ensino de ondas, no caso acústica.</p>	<p>Física aliada com sociologia, história, português e geografia</p> <p>Professores de matemática, história, arte e sociologia</p> <p>A interdisciplinaridade é a solução para amenizar a falta de dialogicidade</p> <p>Pois, o material está com um linguagem de fácil acesso e muito bem detalhado.</p> <p>Biologia, história e física podem desenvolver uma situação de estudo sobre o samba</p> <p>Artes</p>
Não	<p>Em aulas não. O detalhamento e a ênfase matemática pode tornar os estudos desinteressantes.</p> <p>Mas indicaria como parte de um dever de casa acompanhado com um questionário sobre o vídeo.</p>	Nenhuma resposta.
Parcial	<p>Quando se propõe a trazer apologias (elogios a doutrina) a crenças e dogmas leva a uma criticização (Paulo Freire) que agride outros dogmas já internalizados por estudantes diversos.</p>	Nenhuma resposta.

Fonte própria do autor

⁹ O questionário está disponível no link para o acesso <https://docs.google.com/forms/d/1ykVgXTD3bjwczsexRV3g6yO3c2PFImsp2usvkRNWCBI/edit>. Data de acesso 16 de novembro de 2016.

A resposta de R5 considerou o assunto inadequado e, a parte do vídeo específica sobre o candomblé discrepante com os dogmas que o mesmo acredita já internalizados pelos alunos. Em suas palavras, “*a consequência é a manifestação da anti-dialogicidade (sic.) colocando o professor mediador em situação que as vezes foge aos limites da profissão*”. A fala desse respondente evidencia a ausência de um trabalho comprometido com a implementação da Lei 10639/03. Nossa trabalho tem a finalidade de enfatizar a responsabilidade ao professor em relação ao diálogo com outras religiões e outras culturas. E ainda, R5 reitera “*fazendo cortes no quesito sessão de candomblé ou outro nome que se dá e eliminando a ideia de relacionar com a origem do samba, talvez eu utilizaria do referido produto, pois o mesmo poderiam (sic.) gerar problematizações/contextualizações saudáveis para a aprendizagem e introdução no ensino da ondulatória*”. Os argumentos apresentados por R5 destacam a necessidade deste material e da oferta de formação continuada, capacitando o professor na abordagem deste tipo de assunto exigida pela Lei 10.639/03.

Na pergunta “na sua opinião, o conteúdo do vídeo apresenta informações relevantes? Se sim, quais são elas e quais chamaram mais a sua atenção? ”. As respostas foram diversas e alguns pontos importantes são detalhados na sequência. R1 afirma que o assunto é relevante pois apresenta um conteúdo com “*a utilização dos softwares aliados a teoria da ondulatória*”. R2 aponta que “*o trabalho com timbres reais dos instrumentos, a modelagem matemática para reproduzir tais timbres, o uso do software na reprodução dos mesmos, a riqueza de informações culturais e históricas*”. A resposta de R3 indica dificuldades em relação ao conteúdo matemático: “Sim. Mas em termos de Ensino Médio não há tempo hábil para trabalhar com os alunos a leitura de funções trigonométricas fato este que engessa as possibilidades de uso do filme em sala de aula”. Segundo R4: “[...] *a que me chamou mais atenção foi (sic.) as informações à respeito de cada instrumento apresentado.*”

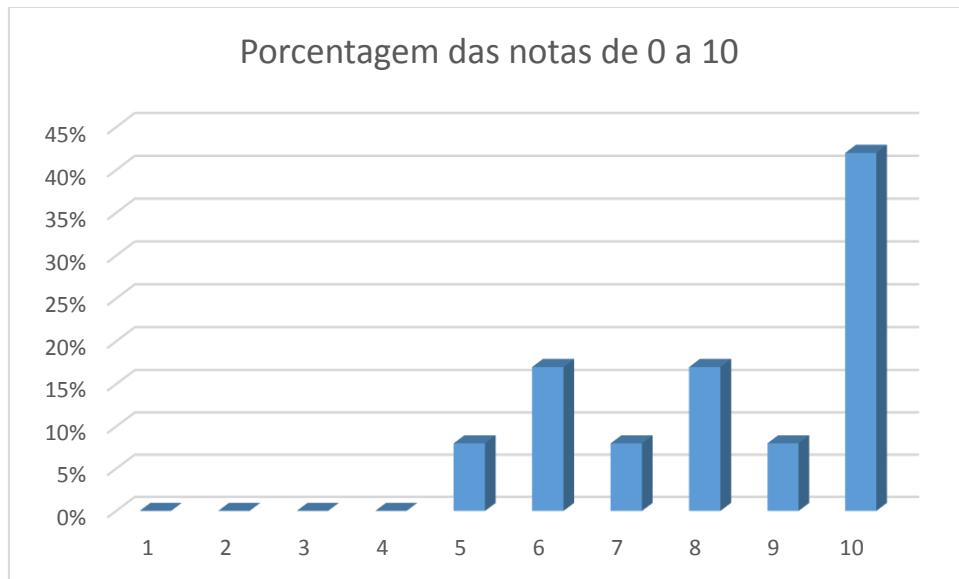
O respondente R7 conclui que: “*As informações relevantes foram algumas falas dos participantes do vídeo, a discussão de conceitos utilizando equipamentos para compreensão do fenômeno da ondulatória, a apresentação dos sons de cada instrumento e a relação com dos conceitos de física com os de matemática*”, enquanto R8 apresenta algumas ideias como: “[...] *apresenta características científicas diferenciadas das quais são apresentadas normalmente no Ensino Médio. Trabalha com uma descrição matemática mais refinada e a própria representação gráfica. Os relatos pessoais e histórico nos mostram uma vertente pouco conhecida, e que enriquece o trabalho*”.

A avaliação feita do vídeo nos dá a percepção de que houve uma aceitação do assunto discutido, abrindo caminho ao diálogo com os professores. No entanto, existe uma falta de

compreensão CTS e noções da aplicabilidade da Lei 10639/03. Portanto, é possível reforçar a necessidade de formação continuada aos professores para capacitação e implementação destas abordagens de ensino.

Na pergunta “Dê uma nota de 0 a 10, considerando 0 no caso de não apresentar informações relevantes e 10 no caso de apresentar informações relevantes”, chegamos a uma relação de porcentagem das notas e a Figura 31 apresenta os resultados obtidos.

Figura 31 – Relação da porcentagem de respostas de 0 a 10 sobre o conteúdo.



Fonte própria do autor.

Analisando o gráfico percebemos que grande parte dos participantes acharam relevantes o conteúdo do vídeo. Aproximadamente 42% deram nota 10. Ambas as notas 6 e 8 tiveram 17% da opinião pública.

No próximo capítulo são traçadas as perspectivas futuras deste trabalho.

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos grandes motivos de se usar uma abordagem de ensino CTS é o potencial interdisciplinar e de contextualização que pode ser explorado em sala de aula a partir das ideias deste movimento. Os elementos ciência, tecnologia e sociedade, trabalhados de maneira inter-relacionada possibilita descrever a realidade do aluno evitando um tratamento do conteúdo superficial e alienante. A intenção deste movimento, no princípio, era alertar à sociedade dos grandes efeitos do consumismo sobre a natureza, desmitificando o que se pensa da ciência e tecnologia nas soluções dos problemas humanos, principalmente em relação à degradação do ambiente. Atualmente, essa linha educacional expandiu seus horizontes e tem sido utilizada para temas diversos, proporcionando discussões, o envolvimento dos alunos e o desenvolvimento do pensamento crítico. Usa-se este tipo abordagem didática de maneira a tornar o indivíduo protagonista da práxis de sua história e cultura. Na perspectiva da abordagem temática, é proposto um tema pelo professor ou escolhido em sala pelos alunos. Trabalha-se uma problematização do tema e, ao esmiuçar os fatores que o envolvem, dos pontos de vista técnico e científico, o grupo identifica as interpelações da ciência e da tecnociência. Esse processo de articulação possibilita a evolução da consciência do sujeito enquanto ser humano, desenvolvendo habilidades e competências que visam o bem-estar do próximo e da sociedade.

A Física e a Matemática são indissociáveis, resultando na necessidade de ambas para se fazer ciências exatas. Na realidade, se torna impraticável o ensino de Física sem mencionarmos a matemática envolvida nos fenômenos, por a última estruturar os raciocínios imprescindíveis à primeira. O tema Acústica demanda, além desta, interfaces concretas com a música.

O produto deste mestrado foi o vídeo educativo, mas a elaboração do mesmo demandou vastas aprendizagens para o autor. O tratamento matemático dos sons musicais apresentado desenvolveu habilidades de modelagem e compreensão da aplicação da Série de Fourier abordada corriqueiramente em disciplinas de Métodos Matemáticos da Física ou Física Matemática, em nível de graduação. A estrutura do vídeo e da dissertação foram arquitetadas numa perspectiva de ensino CTS. O aprofundamento de referenciais teóricos discutidos no Capítulo 2, explorando a abordagem epistemológica do conceito de função permitiu associar o conceito de fractais às somas trigonométricas.

As entrevistas realizadas com o público e com os músicos aproximou a nossa proposta da perspectiva CTS no que refere à visão do sujeito fora do contexto acadêmico. Para além

disso, o tratamento histórico do samba tanto no vídeo, quanto no Capítulo 3, possibilita o tratamento, de maneira contextualizada e sociológica a utilização de instrumentos musicais e a importância de elementos da cultura africana na formação da brasilidade.

Uma perspectiva imediata deste trabalho consiste na proposição e validação de uma sequência didática voltada a estudantes do Ensino Médio, cujas atividades incluíssem a utilização do vídeo em sala de aula e a eficácia dos conteúdos relacionados no e-book.

No processo desenvolvido para modelagem matemática do timbre, foi possível modelar os instrumentos de membrana percutidas por duas frequências próximas resultando em um batimento. Isso permitiu identificar o comportamento para os diferentes instrumentos analisados (repique de mão e pandeiro), explicitando a possibilidade de representar matematicamente objetos estruturalmente semelhantes.

As respostas dos professores ao questionário relativo as apreciações apontam sugestões em relação às modificações do material. Por exemplo, o respondente R12 indica que: “*poderia ter sido melhor explorada o conceito de som no campo da biofísica (psicoacústica) e da produção moderna (decodificadores de sons, etc.) explicando os fatores que explicam esses efeitos*”. Permitiram também identificar a necessidade de oferta de formação continuada com foco na Lei 10639, na abordagem CTS e em temas transversais.

REFERÊNCIAS

- 100 anos de Samba. Direção: D. BURGER. Produção: C. REISKY. Intérpretes: Paulinho da Viola, Zeca Pagodinho Beth Carvalho. [S.l.]: Globo. 2013. Disponível em <<http://globosatplay.globo.com/canal-brasil/v/3411571/>> Data de acesso em 19/01/2016.
- A verdadeira história do Samba. Direção: Tereza Brandão Costa. Produção: Janine Houard. [S.l.]: Feeling Prod. 1987.
- ABRIL, O. L. C.; ARÉVALO, D. F. V.; IACHEL, G. Proposta didática para o ensino do som. II Simpósio Nacional de Ensino Ciência e Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, n.86, p.1-15, 2010.
- AGUIAR, C. F. O livro didático e a organização do currículo pelo professor de física no ensino médio. Curitiba: UTFPR, 2015. 56 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento Acadêmico de Física, Licenciatura em Física, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015
- ALBUQUERQUE DE ASSIS, T. Geometria Fractal: propriedades e características de fractais ideais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 10, 2008.
- ARFKEN, G. B. (George Brown), 1922. Física matemática: métodos matemáticos para engenharia e física/ George Arfken e Hans Weber. tradução de Arlete Simille Marques – Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física**. Vol. 2. Curitiba: Positivo, 2013.
- AUGUSTO, T.G.S.; CALDEIRA, A.M.A. Dificuldades para implantação de práticas interdisciplinares em escolas estaduais, apontadas por professores da área de ciências da natureza. **Investigações em Ensino de Ciências** – V12(1), pp.139-154, 2007.
- AULER, D.; DALMOLIN, A. M. T.; FENALTI, V. S. Abordagem Temática: natureza dos temas em Freire e no enfoque CTS. **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, ALEXANDRIA, v. 2, n. 1, p. 67-84, mar 2009. ISSN ISSN.
- BARRETO FILHO, B.; SILVA, C. X. **Física: aula por aula**. 2º ed. Vol.3. São Paulo: Ed. FTD, 2013.
- BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Física 2**. 2º ed. Vol. 2. São Paulo: Saraiva, 2013.
- BONJORNO, J. R. et. al. **Física: termologia, óptica, ondulatória**. 2º ed. Vol. 2. São Paulo: FTD, 2013.
- BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica. **MEC, SEB, DICEI**, Brasília, p. 562, 2013. ISSN ISBN. Disponivel em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em: 14 Agosto 2016.
- BRASIL. Lei Federal nº 11.645 de 10 de março de 2008.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica** Guia de livros didáticos: PNLD 2015: Física. Brasília: 2014.

BROMBERG, C. Audição e Visão na tecnologia da Música. In: BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; ANDRADE, L. S. P. **História da Ciência:** tópicos atuais 4. São Paulo: Livraria da física, 2016. p. 234.

BUNGE, M. Teoria e realidade; tradução Gita k. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2013. 2º reimpr. da 1 ed. 1974.

CARLOS, J. G. **Interdisciplinaridade no Ensino Médio:** desafios e potencialidades. Brasília: Unb, 2007. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Instituto de Física e Química, Universidade Federal de Brasília, Distrito Federal, 2007.

CASTRO, M. Z. G. **A formação continuada de professores na escola de aperfeiçoamento de profissionais da educação (EAPE) referente a lei 10.639.** Brasília: UNB, 2011. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Licenciatura em Pedagogia, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2011.

CAÑADA, A. Una perspectiva histórica de las series de Fourier. **Seminario de Historia de la Matemática**, Espanha, Abril 2005. 1-35.

CAYMMI, D. **Samba da minha terra.** [S.l.]: EMI-Odeon, 1965.

CIÊNCIA HOJE NA ESCOLA, 5: ver e ouvir. – 4º Edição – Rio de Janeiro – Ciencia Hoje, 80p. 2006.

CUNHA, A. N. B. Uma proposta didática interdisciplinar para o ensino de matemática envolvendo música. **Científica da Facerb**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, Jul./Dez. 2015. ISSN ISSN.

D'AMBRÓSIO, U. Etnomatemática. Elo entre as tradições e a modernidade. 2a Edição. Belo Horizonte: Autêntica, 2002. p. 110 (Coleção Tendências em Educação Matemática).

_____. Tendências historiográficas na história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. **Escrevendo a história da ciência:** tendências, propostas e discussões historiográficas. 1º. ed. São Paulo: EDUC/Livraria Editora da Física/Fapesp, 2004. Cap. 7, p. 229.

EGLASH, R. **African Fractals:** Modern Computing and Indigenous Design. 1º. ed. [S.l.]: Rutgers University Press, 1999.

FECHINE, J. M. A Transformada de Fourier e suas aplicações. Disponível em <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/ciclo_seminarios/tecnicos/2010/TransformadaDeFourier.pdf> acesso em 20/07/16 as 14:39.

FERNANDES, D. C. A inteligência da Música Popular: A “autenticidade” no samba e no choro. São Paulo: USP, 2010. 414 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Sociologia, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2010.

FERREIRA NETO, M. F. **60 + 60 = 63 ?Píon Ligado na Física.** São Paulo, n. 471, março. 2013. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/v1/novopion/index.php/publicacoes/artigos/471-60-60-63>>. Acesso em: 21 fev. 2015.

- FEYNMAN, R. P. Lições de Física. 2008. **Tradução:** Adriana Válio Roque da Silva
- FLETCHER, H.; MUNSON, W.A. Loudness, its definition, measurement and calculation, Journal of the Acoustic Society of America 5, 82-108, 1933.
- FLETCHER, H. N.; ROSSING, D. T. **The Physics of Musical Instruments.** New York: Springer-Verlag, 1991.
- GARCIA, N. M. D. Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas para a transformação do ensino. **Educar em Revista**, Curitiba, n. 44, p. 145-163, abr./jun 2012.
- GARCIA, T. M. F. B. Cotidiano escolar, livros didáticos e formação docente. In: FONSECA, S.; GATTI JR., D. (Orgs.). Perspectivas do ensino de História: ensino, cidadania e consciência histórica. Uberlândia: Edufu, 2011, p. 361-371.
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física.** 2º ed. Vol 2. São Paulo: Ática. 2014.
- GONÇALVES & SILVA, B. P. Aprendizagens e Ensino das africanidades brasileiras. In MUNANGA, Kabengele (Org). Superando o racismo na escola. Brasília: MEC/SECAD, 2005.
- GREY, J. M. An exploration of musical timbre. Department of music. Center for computer research in music na acoustics. Stanford University. February 1975.
- GUERDES, P. On Mathematics in the History of Sub-Saharan Africa. **Historia Mathematica**, Mozambique, v. 21, p. 345-376, 1994.
- GUIMARÃES, F. “VAGALUME”. **Na Roda do Samba.** 2º ed. Rio de Janeiro: Funarte, 1978.
- GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R. C.; CARRON, W. **Física (Ensino Médio).** Vol 3. São Paulo: Ática, 2014.
- HELMHOLTZ, H. L. F. On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music. A. J. Ellis, trans. Dover, New York. 1954.
- HEWITT, P. G. **Física Conceitual.** Bookman. 2008.
- HUYLEBROUCK, D. África, berço da matemática. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. especial, 2001. ISSN 82.
- IAZZETTA, F (2007). Intensidade Sonora. Disponível em: <<http://www2.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/intensidade/intensidade.htm>> Acesso em 14 fev. 2015.
- IEZZI, G.; MURAKAMI, C. **Fundamentos de Matemática Elementar.** 3ª. ed. São Paulo: Atual, v. 1, 1977.
- JOSÉ, J. R. O Samba. Disponível em: <<http://samba-ap.blogspot.com.br/2009/05/instrumentos-do-samba.html>> Acesso em 23 fev. 2015.
- KARAM, R. A. S. **Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas.** Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 292. 2012. (ISSN).
- KREYSZIG, E. **Matemática superior.** v. 3. Rio de Janeiro: LTC, 1978.

- LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2. ed. [S.l.]: Bookman, 2006.
- LEITE, R. C. M.; FEITOSA, R. A. **As contribuições de Paulo Freire para um Ensino de Ciências Dialógico**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. São Paulo: [s.n.]. 2012.
- LEODORO, M. P.; BALKINS, M. A. A. S. Problematizar e participar: elaboração do produto educacional no Mestrado Profissional em Ensino. **II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Paraná, 07 a 09 outubro 2010.
- MACEDO, M.; OLIVEIRA, D.; ALBUQUERQUE, M. P. **Site da CBPF**. Disponível em: <<http://www.cbpf.br/~maysagm/>>. Acesso em: 22 Julho 2016.
- MARTINS, R. A. Ciencia versus hitoriografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. 1º. ed. São Paulo: EDUC/ Livraria Editora da Física/Fapesp, 2004. Cap. 5, p. 229.
- MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. **Física Contexto & Aplicações**. Vol. 2. São Paulo: Ed. Scipione, 2014.
- MIZUKAMI, M. G. N. **Ensino**: As abordagens do preocesso. São Paulo: EPU, 1986.
- MOZENA, E. R.; OSTERMANN, F. UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A INTERDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA. **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 16, n. 02, p. 185-206, maio-ago 2010.
- MONTEIRO JUNIOR, N. Somando Funções Trigonométricas: uma reconstrução didática do conceito de timbre a partir de duas experiências pedagógicas. **Bolema**, Rio Claro, v. 23, nº 36, p. 597-624, agosto 2010.
- MORTIMER, F. E.; PEREIRA DOS SANTOS, W. L. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Minas Gerais, v. 2, n. 2, p. 1 - 23, Dezembro 2000. ISSN ISSN: 1415-2150.
- NAPOLITANO, M. A síncope das Idéias: a questão da tradição na música popular brasileira. São Paulo: Perseu Abramo, 2007.
- NAPOLITANO, M.; WASSERMAN, M. C. Desde que o samba é samba: a questão das origens no debate historiográfico sobre a música popular brasileira. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v. 20, n. 39, p. 167-189, 2000.
- NIKOLOVA, I. **The Illustrated encyclopedia of musical instruments**: From all areas and religions of the world. Könemann. China, 2006.
- OLIVEIRA, L. M. A Interdisciplinaridade e a Transversalidade na abordagem da educação para as Relações Étnico-Raciais. **Curso Educação, Relações Raciais e Direitos Humanos**, São Paulo, 2012.
- OSTERMANN, F.; REZENDE, F. PROJETOS DE DESENVOLVIMENTO E DE PESQUISA NA ÁREA DE ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA: UMA REFLEXÃO SOBRE OS

MESTRADOS PROFISSIONAIS. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n. 1, p. 66-80, abril 2008.

PACHECO, L. H. M., 2016 <<http://www.inf.ufsc.br/~lucia/INE5407/4-CT&S-topicos/O%20que%20%C3%A9%20Ci%C3%A1ncia,%20Tecnologia%20e%20Sociedade.ppt>> Acesso em 27 de agosto de 2016 às 16:49

PATY, M. **A matéria roubada**. São Paulo: Edusp, 1995, p. 320.

PERALES PALACIOS, F. J. ESCUCHANDO EL SONIDO: CONCEPCIONES SOBRE ACÚSTICA EN ALUMNOS DE DISTINTOS NIVELES EDUCATIVOS. **Investigación Didáctica**, Granada, v. 15, n. (2), p. 233-247, 1997. ISSN 18071.

PIETROCOLA, M. et. al. **Física Conceitos e Contextos: pessoa, social, histórico**. Vol. 2. São Paulo: FTD, 2013.

POINCARÉ, H. **O Valor da Ciência**. Tradução Maria Helena Franco Martins. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995. 173 p.

SAMISTRADO, F. **FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS: senx, cosx e tgx. Estudo de proposições de abordagem no ensino médio**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 91. 2004 (Trabalho de Conclusão de Curso - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004).

SANDRONI, C. Feitiço Decente: Transformações do Samba no Rio de Janeiro (1917-1933) – Rio de Janeiro, Jorge Zahar Ed. & Ed. UFRJ, 2001

SANTOS, C. A. Experimentos de Galileu. **ufrgs**, 2002. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/historia/galileu.html>>. Acesso em: 01 setembro 2016.

SANTOS, W. L. P. Significados da educação científica com enfoque CTS. In: AULER, D.; SANTOS, W. L. P. **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. Cap. 1, p. 460.

SANT'ANNA, B.; MARTINI, G.; REIS, H. C.; SPINELLI, W. **Conexões com a física**. 2º ed. Vol 2. São Paulo: Moderna, 2013.

SASTRE VÁZQUEZ, P.; REY, G.; BOUBÉE, C. El concepto de función a través de la Historia. **UNIÓN Revista Iberoamericana de Educación Matemática**, v. 16, p. 141-155, Dezembro 2008. ISSN ISSN: 1815-0640.

SAUCEDO, K. R. R. . E. A. **PRÁTICA INTERDISCIPLINAR NO ENSINO FUNDAMENTAL:** Os limites e as possibilidades de atuação do pedagogo. Simpósio Internacional sobre Interdisciplinaridade no Ensino, na Pesquisa e na Extensão - Região Sul. Porto Alegre: [s.n.]. 2013. p. 1-10.

SBPC, 2003. Carta Aberta. Disponível em <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/188367.pdf>> Data de acesso 14 de novembro de 2016 às 18:00

SOUZA, R. R.; FERREIRA, C. N. IFF.EDU. **ESSENTIAEDITOR**A, 2012. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/CircuitoIC/article/download/1878/1053>>. Acesso em: 13 out. 2016.

- STEFANOVITS, A. **Ser Protagonista: Física.** 2º ed. Vol. 2. São Paulo: SM, 2013.
- STRIEDER, Roseline Beatriz. **Abordagem CTS e ensino médio:** espaços de articulação. 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/D.81.2008.tde-01072013-135158. Acesso em: 2016-11-14.
- TINKER, J. J. C. Um Panorama da Música Aro-Brasileira. **SÉRIE ANTROPOLOGIA,** Brasilia, 2000. 275.
- VAZ, F. Fourier, 1768-1830. **Electrónica e Telecomunicações**, v. 5, n. 3, p. 273-278, Junho 2011.
- YAMAMOTO, K.; FUKE, L. F. **Física para o Ensino Médio.** 3º ed. Vol. 2. São Paulo: Saraiva, 2013.
- WOHLGEMUTH, J. **Vídeo Educativo:** Uma Pedagogia Audiovisual. Distrito Federal: Senac, 2005.
- ZAMBON, L. B. Seleção e Utilização de Livros Didáticos de Física em Escolas de Educação Básica. Santa Maria: UFSM, 2012. 285 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Centro de Educação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

APÊNDICE A – Modelo de autorização de uso de imagem e depoimentos

Figura 32 - Modelo de autorização de uso de imagem e depoimentos

Universidade Federal de Uberlândia
Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Mestrado Profissional em Ensino de Física
 Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica, Bloco 1A - Uberlândia-MG Fones: (34) 3239-9418

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM E DEPOIMENTOS

Eu _____, CPF _____, RG _____, depois de conhecer os motivos da necessidade de me filmar, bem como de estar ciente da importância do uso de minha imagem e/ou depoimento, especificados no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), AUTORIZO, através do presente termo, João Lucas de Paula Batista e em conjunto com sua orientadora Débora Coimbra , responsável pelo referido projeto, a realizar as fotos que se façam necessárias e/ou a gravar meu depoimento em vídeo/áudio (filmagem) sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes.

Ao mesmo tempo, libero a utilização destas fotos (seus respectivos negativos) e/ou filmagens para fins científicos e de estudos (documentários, livros, artigos, slides, transparências, congressos, seminários, entre outros), por tempo indeterminado em favor do professor acima especificado, desde que sem fins lucrativos.

Qualquer dúvida a respeito do projeto, você poderá entrar em contato com: Débora Coimbra , na Secretaria de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, situada na Av. João Naves de Ávila, nº 2121, bloco 1A, sala 207 A, Campus Santa Mônica – Uberlândia –MG, CEP: 38408-100 e pelo telefone: (34) 3239-9418.

Uberlândia, ____ de _____ de 2016

DÉBORA COIMBRA Orientadora do Projeto
João Lucas de Paula Batista Realizador do Projeto
_____ Responsável Legal (Caso o participante tenha um)

Fonte própria do autor.

Pauta de entrevista destinada ao público

Perguntas feitas na entrevista da rua

1. Qual é sua relação com o samba
2. Você prefere o samba gravado em mídia ou ir em uma apresentação de roda de samba?
3. Qual instrumento de uma roda de samba que você mais gosta?

Pauta de entrevista destinada aos músicos do grupo Fita Amarela

Estas são as pautas de entrevistas que nortearam as entrevistas feitas da cantora (Iyá Ifatoki) e dos músicos que compuseram a roda de samba interpretando o samba Fita Amarela de Noel Rosa (domínio público). Assim, Bruno Valentino, Toninho 7 cordas, DiFeras, Manoel, Negronil e Iyá Ifatoki foram entrevistados para devidos fins. Para melhor esclarecimento apresentamos a pauta de entrevista da vocalista Iyá Ifatoki e para os músicos.

Pauta: João Lucas de Paula Batista

Retranca: Samba/timbre dos instrumentos

Data: 13/01/2016

Fonte: Iyá Ifatoki (Cristina).

TEMA: A origem do samba e seus instrumentos musicais numa roda.

SINOPSE:

A origem do samba no Rio de Janeiro tem estreita relação com os africanos escravizados na Bahia. Foi na casa da Tia Ciata que nasceu o samba de roda, samba partido alto. A necessidade de resgatar essa participação da cultura afro-brasileira que é tratado nesta entrevista.

ENCAMINHAMENTO:

Questionar como foi a decisão de cantar e a importância dessa prática na vida do músico.
Descobrir a origem do samba e sua relação com a cultura afro-brasileira.

FONTE: Iyá Ifatoki (Cristina).

SUGESTÕES DE PERGUNTAS:

1. Baseado na sua posição, realizadora e idealizadora de um centro cultural, bem como sua experiência de vida, como você enxerga o samba na sociedade brasileira.
2. Baseado em suas experiências religiosas quais são as relações que você estabelece em relação samba e candomblé;

SUGESTÃO DE MATERIAL GRÁFICO:

- filmagem e gravação da entrevista

Pauta: João Lucas de Paula Batista

Retranca: Samba/timbre dos instrumentos

Data: 22/01/2016

TEMA: Os instrumentos usados no samba.

SINOPSE:

O som produzido pelo instrumento musical é composto de parâmetros que permitem diferenciá-lo de um ruído. O som musical, assim definido, tem periodicidade na forma da onda que permite distinguir cada instrumento usado para tocar samba. É neste universo das ondas sonoras que tentamos extraír a matemática dos timbres sonoros e a percepção de cada instrumento.

ENCAMINHAMENTO

Questionar como foi a decisão de tocar o instrumento cuíca e a importância na vida pessoal do músico. Descobrir o papel da cuíca numa roda de samba, bem como na composição harmônica e melódica.

FONTES: Músicos instrumentistas.

SUGESTÕES DE PERGUNTAS:

1. Como foi a decisão de escolher seu instrumento?
2. Qual outros instrumentos você toca?
3. Qual a importância deste instrumento para sua vida pessoal?
4. Atualmente você usa seu instrumento para tocar que tipo de música?
5. Que papel desenvolve seu instrumento numa roda de samba?

SUGESTÃO DE MATERIAL GRÁFICO:

- fotografias da entrevistada
- filmagem e gravação da entrevista

APENDICE B - Roteiro do Vídeo

Introdução

Sonora: Introdução do samba fita amarela.

Imagen: Clave e sol + Título (slides amarelos) + Instrumentos sendo contornado pela fita amarela + Desenho da roda + grupo musical na entrada da gravação na DIRCO.

Sonora: Cuíca solo

Imagen: Manoel com a Cuíca

Abertura

Sonora:

Imagen: Mercado municipal de Uberlândia

Desenvolvimento

Sonora: Entrevistado 1

Imagen: Recorte 65

Transcrição da fala: “ÉÉÉ, eu gosto bastante de Samba, gosto de tudo aquilo que venha, é, que a gente possa valorizar a origem da nossa Cultura e pra mim o samba é uma cultura bem original gosto de Noel Rosa, pra mim é o símbolos da Cultura do Samba, da arte do Samba.”

Sonora: Entrevistado 2

Imagen: Recorte 62

Transcrição da fala: “Na verdade eu não sou de frequentar muito roda de samba, mas assim uma coisa que eu acho bacana é quando comparado a esse Samba gravado e tudo mais, é porque na roda de Samba é uma coisa mais informal, sabe? Não tem toda aquela técnica e, querendo ou não, os próprios músicos eles se envolvem mais com o público, eu acho uma coisa bem mais descontraída e até mais divertida. Não que a roda de samba ela seja melhor do que o samba técnico, talvez, mas eu acho uma coisa mais descontraída e melhor, assim, de vivenciar.”

Sonora: Entrevistado 3

Imagen: Recorte 67

Transcrição da fala: “Fui começar a ter contato com samba depois de adulto a partir dos 20 anos por aí, e meu contexto familiar não, nunca foi muito ligado ao samba e depois na faculdade eu tive mais, ahn, ahn, relação, mais contato com samba. Gosto muito de ouvir, principalmente ao vivo percebo que o som é mais orgânico né? toca mais a gente assim, é, mas,

talvez por essa mais razão eu ouço samba sempre em momentos de festa, vamos dizer assim, sempre ligado quando estou na presença de amigos, né? Nunca, raramente eu ouço sambas outros contextos que não sejam esses, raramente ouço samba sozinho em casa, por exemplo. Então a minha relação com samba é essa.”

Sonora: Entrevistado 4

Imagen: Recorte 66

Transcrição da fala: “É uma música que eu gosto muito e que agente (...), bom como uma alternativa, né? Que o sertanejo sempre toca em todos os lugares, né? Pelo menos a gente tem o samba pra dar uma aliviada.”

Desenvolvimento – aspectos técnicos e teóricos dos sons emitidos pelos instrumentos musicais

Sonora: Quando dois instrumentos distintos tocam a mesma nota ou acorde da mesma maneira, nosso ouvido pode identificar a diferença de ambos. Essa diferença é o que chamamos de timbre. Fisicamente o timbre é a forma da onda sonora emitida e depende das frequências e das amplitudes associadas a essa onda.

Na teoria musical, dizemos que um som é alto quando este som é agudo. Ou seja, alto e baixo está relacionado à frequência. Um som grave é um som baixo, baixa frequência. Nossos ouvidos conseguem captar sons entre 20 Hz a 20KHz, abaixo dessa faixa, os chamados infrassons e acima dela, os ultrassons são imperceptíveis.

No dia-a-dia, dizemos que um som é alto, ou que o volume do som é alto se ele apresenta uma grande intensidade. Fisicamente essa intensidade é a amplitude da onda ao quadrado.

O timbre é representado pela combinação linear de funções seno. Ou seja, Y é combinação linear do seno cujo argumento é composto por uma constante b que multiplica o tempo e tem, pelo fato de que os argumentos de funções trigonométricas devem ser adimensionais, dimensão de frequência, somada a uma constante de defasagem, que é o deslocamento do ponto inicial da onda no eixo y em relação ao zero. Por fim, A é uma constante multiplicativa e representa a amplitude da onda.

$$y = \sum A \cdot \text{sen}(b \cdot t + c)$$

Imagen: Apresentação da teoria musical usando Prezi.

Imagen Vídeo gravado no Centro Cultural Ile Ifá (áudio DIRCO)

Sonora: O ouvido consegue diferenciar naturalmente as vozes das diferentes pessoas e os instrumentos musicais diversos. Na teoria musical, essa qualidade sonora é chamada de timbre. Nossa proposta pretende mostrar que, na Física, essas distinções são imaginadas como diferentes perfis sonoros e estes, podem ser representados matematicamente como combinações lineares de senos. Vamos começar pela cuíca, um instrumento de membrana, considerado percussão, cujo modo de tocar é peculiar.

Imagen: João Lucas falando.

Sonora: “A Cuíca foi escolhida por mim porque é um instrumento que aqui em Uberlândia a gente não acha muitos tocadores de cuíca. E aí, por sua particularidade de ser um instrumento de percussão onde se fricciona, puxa uma vareta, fricciona uma vareta tem. Tem essa particularidade. É um instrumento de percussão único, diferente de tambores que são tocados com a mão, esse tambor é tocado com a fricção e isso me chamou a atenção”.

Imagen: Recorte 00053 - Entrevista Manuel

Sonora: Sinal gravado do instrumento cuíca

Imagen: Linha de áudio gravado Audacity®

Sonora: Esta é a codificação do som gravado da cuíca pelo programa Audacity e essa é a forma da onda sonora, isto é, a representação gráfica do timbre.

Imagen: Imagem gráfica do Audacity

Sonora: Para representarmos o som da cuíca são necessários quatro termos de funções senos. O valor de b_1 , a frequência do primeiro modo, foi ajustado em 0.073 e c é igual a -1.328, que consiste na defasagem da onda no ponto inicial em relação ao zero e é a mesma para todos os termos. a_1 , a amplitude do harmônico é -0.192.

O segundo termo tem argumento da função seno b_2 igual a 0.037, a frequência do segundo modo e a amplitude a_2 igual a 0.211. O terceiro termo tem argumento da função seno b_3 igual a 0.1133 que é a frequência do terceiro modo e a amplitude que é a_3 igual a 0.042. Acionamos o play e o gráfico gerado é este semelhante ao observado no programa de gravação de áudio.

Sonora: “Quando eu vi eu apaixonei todo mundo parava o cara vinha fazia o molho, todo mundo voltava na sequência e eu apaixonei pelo instrumento, eu falei. Eu peguei outros instrumentos pra trocar, mas quando eu vi aquilo todo mundo parar e fazer a entrada, o intervalo do Samba, minha paixão foi essa, o repique de mão. Foi justamente essa, o molho, o intervalo que ele preenche dentro do Samba na cozinha”

Imagen: Recorte 57 – entrevista Bruno DiFeras

Sonora: Esta é a codificação do som gravado da repique de mão pelo programa *Audacity* e essa é a forma da onda sonora, isto é, a representação gráfica do timbre.

Imagen: Imagem gráfica do *Audacity*

Sonora: Para representarmos o som do repique de mão são necessários dois termos de funções senos. O valor de b_1 , a frequência do primeiro modo, foi ajustado em 0.028 e c é igual a 2.039, que consiste na defasagem da onda no ponto inicial em relação ao zero e é a mesma para todos os termos. A_1 , a amplitude do harmônico é 0.213.

O segundo termo tem argumento da função seno b_2 igual a 0.027, a frequência do segundo modo e a amplitude a_2 igual a 0.130. Acionamos o play e o gráfico gerado é este semelhante ao observado no programa de gravação de áudio.

Imagen: Repique de Mão (Modellus edit)

Sonora: “Minha família é uma família muito musical. Tenho um primo que é percussionista, então sempre teve música na casa, principalmente da minha vó, mas na minha casa também. Então, e eu já coloca com cavaquinho e tendo este ambiente, eu fui tentar aprender, né? O máximo de músicas e coisas que eu poderia aprender. Então eu fiquei muito em contato com esse pessoal que meu primo sempre levava na casa da minha vó, né, que tocava samba e ali ficava sempre ao lado das pessoas que tocavam cavaquinho tentando tocar perguntando como fazia logo em seguida eu eu comecei a pegar as famosas revistinhas de cifras para tentar tocar as músicas com passar do tempo eu já com o instrumento eu fui apaixonado e assim apesar de tocar outros instrumentos é o meu instrumento principal”

Imagen: Recorte 54

Sonora: Esta é a codificação do som gravado do cavaquinho pelo programa *Audacity* e essa é a forma da onda sonora, isto é, a representação gráfica do timbre.

Para representarmos o som do cavaquinho são necessários quatro termos de funções senos. O valor de b_1 , a frequência do primeiro modo, foi ajustado em 0.042 e c é igual a 0.0982, que consiste na defasagem da onda no ponto inicial em relação ao zero e é a mesma para todos os termos. A_1 , a amplitude do harmônico é 0.147.

O segundo termo tem argumento da função seno b_2 igual a 0.084, a frequência do segundo modo e a amplitude a_2 igual a 0.051. O terceiro termo tem argumento da função seno b_3 igual a 0.128 que é a frequência do terceiro modo e a amplitude que é a_3 igual a 0.059. O quarto termo tem o argumento da função seno b_4 igual a 0.258 que é a frequência do quarto modo e a amplitude que é a_4 igual a 0.025. Acionamos o play e o gráfico gerado é este semelhante ao observado no programa de gravação de áudio.

Imagen: Cavaquinho Modellus edit

Sonora: “Eu toco pandeiro a 15 anos, mas a escolha do instrumento ela veio junto, junto veio com congruência com outros instrumentos que também eu já tocava. Como a percussão é uma coisa muito vasta, é uma área que tem diversos vertentes, o pandeiro ficou como mais uma dessas linhas percussivas a se seguir”

Imagen: Recorte 68 – entrevista com NegroNil

Sonora: Esta é a codificação do som gravado do pandeiro pelo programa Audacity e essa é a forma da onda sonora, isto é, a representação gráfica do timbre.

Para representarmos o som do pandeiro são necessários dois termos de funções senos. O valor de b_1 , a frequência do primeiro modo, foi ajustado em 0.0179 e c é igual a -0.322, que consiste na defasagem da onda no ponto inicial em relação ao zero e é a mesma para todos os termos. A_1 , a amplitude do harmônico é 0.399.

O segundo termo tem argumento da função seno b_2 igual a 0.022, a frequência do segundo modo e a amplitude a_2 igual a -0.112. Acionamos o play e o gráfico gerado é este semelhante ao observado no programa de gravação de áudio.

Imagen: Modellus pandeiro

Sonora: “O violão de 7 cordas ele tem uma função nos grupos de harmonizar e fazer os contrapontos, né? Que seria as baixarias ou baixos cantantes, vamos dizer assim, academicamente falando. O sete cordas borda. Esse termo bordas, porque ele vai sobrepondo os acordes (sonora violão sendo tocado)”

Imagen: 0056 - entrevista Toninho 7 cordas.

Sonora: Esta é a codificação do som gravado do violão de 7 cordas pelo programa Audacity e essa é a forma da onda sonora, isto é, a representação gráfica do timbre.

Imagen: sinal sonoro gravado no programa Audacity.

Sonora: Para representarmos o som do violão de 7 cordas são necessários três termos de funções senos. O valor de b_1 , a frequência do primeiro modo, foi ajustado em 0.062 e c é igual a 1.069, que consiste na defasagem da onda no ponto inicial em relação ao zero e é a mesma para todos os termos. A_1 , a amplitude do harmônico é -0.177.

O segundo termo tem argumento da função seno b_2 igual a 0.0407, a frequência do segundo modo e a amplitude a_2 igual a 0.093. O terceiro termo tem argumento da função seno b_3 igual a 0.020 que é a frequência do terceiro modo e a amplitude que é a_3 igual a 0.066. Acionamos o play e o gráfico gerado é este semelhante ao observado no programa de gravação de áudio.

Imagen: Violão 7 cordas Modellus.

Sonora: Música Fita Amarela de Noel Rosa versão própria.

Imagen: Imagens gravadas no Centro Cultural Ilé Ifá.

Sonora: O samba tem vários estilos, né? O samba é um gênero e daí dentro do Samba você pode colocar a Cuíca de várias maneiras, né? O jeito de tocar, velocidade e isso vai determinar os estilos que você, você está engajado, né?. Então o samba ele não está restrito apenas um instrumento, ele é samba pela, por várias formações.

Imagen: Manuel com a cuíca.

Sonora: O samba no Rio de Janeiro, no começo do século passado, em 1903, já se tinha mais uma organização desta musicalidade que foi se organizando e uma dessas das suas organizações acontece exatamente dentro das casas do Candomblé. É nas casas de candomblé que os ritmistas que esses instrumentos vão ganhando vida né? Como a Cuíca e outros instrumentos que passaram até ser segundo nome de alguns músicos importantes.

Imagen: Iya Ifatokí.

Sonora: Música de uma roda de Candomblé.

Imagen: Roda de Candomblé.

Sonora: “Desde o Brasil colonial, quando o Brasil começa a se configurar como um estado, nós temos aí a grande participação da cultura negra dentro do Brasil. Então essa cultura é que fez com que esses ritmos novos fossem surgindo. Não podemos esquecer de falar um pouquinho também do século passado, do Rio de Janeiro, de tia Ciata porque o samba surge exatamente dentro das Comunidades de matriz africana porque o samba ele passa a ser uma comemoração depois do candomblé que está intrinsecamente ligado entre o sagrado e profano. O som que nós reverenciamos as nossas divindades na sala passam aí, para a roda de samba que hoje é até mais conhecida de pagode, não é mesmo? Então, este samba ele acontecia após os xirés, após a comemoração, para comemorar de forma profana tudo aquilo de sagrado que aconteceu e que foi bom.

E esse samba ele nasce exatamente junto com essa organização com as comunidades de candomblé. O samba depois ganha, o que? Ganha o movimento da rua, né? Ganha o samba na avenida, ganha as escolas de samba. E aí a gente também não pode esquecer que a grande ala hoje, que compõem as escolas de samba, que são as baianas, ela nada mais é uma referência ao sagrado das mulheres dentro do candomblé.”

Imagen: Iyá Ifatoki

Sonora: “O samba é algo que está incrustado em nossa vida, é algo que está incrustado no nosso sangue. Não dá pra ouvir um samba e não se arrepiar, é algo assim muito gostoso, que mexe com a gente. É a nossa raiz!

Imagen: Recorte 0064 - Entrevista Carlos.

Finalização

Sonora: A física e matemática estão unidas até mesmo quando nós ouvimos uma música. As manifestações culturais do mundo apresentam música em sua estrutura. A nossa cultura brasileira é formada por diversos ritmos e um deles é o samba, enraizado na mistura europeia e africana. Um dos instrumentos para se tocar samba é a cuíca. Cada dia é mais difícil de encontrar músicos que tocam esse tipo de instrumento. Este material é destinado à professores de física e ciências que almejam aproximar conhecimentos científicos elementos

Imagen: João Lucas finalizando.

Sonora: Música Fita amarela Noel Rosa Versão própria.

Imagen: roda de samba + Créditos e agradecimentos

APENDICE C - Ficha de Análise Documental

FONTE: Música Fita Amarela. Letra Noel Rosa

Quando eu morrer, não quero choro nem vela
 Quero uma fita amarela gravada com o nome dela
 Se existe alma, se há outra encarnação
 Eu queria que a mulata sapateasse no meu caixão

Não quero flores nem coroa com espinho
 Só quero choro de flauta, violão e cavaquinho
 Estou contente, consolado por saber
 Que as morenas tão formosas a terra um dia vai comer.

Não tenho herdeiros, não possuo um só vintém
 Eu vivi devendo a todos, mas não paguei a ninguém
 Meus inimigos que hoje falam mal de mim
 Vão dizer que nunca viram uma pessoa tão boa assim.

Análise da poética (letra)

Temas e questões:

Encarnação, candomblé, a luxúria, dualidade, malandragem.

Construção do “eu poético” (emissor) e dos interlocutores (destinatário)/ quem fala através da letra e para quem fala.

O eu poético (emissor) fala de um personagem que é simples e humilde financeiramente que não teve muita sorte no amor. Quando o personagem fala que as morenas tão formosas a terra um dia vai comer, ele quer dizer sobre as mulheres mulatas que não deram chances amorosas nas rodas de sambas onde as conheciam.

Construção de espaços sociais (campo, cidade, periferia)

A letra remete aos dois espaços sociais, podendo ser cidade ou periferia. Quando o compositor diz sapatear no caixão.

Construção de tensões e conflitos

Existe uma construção de tensão entre o personagem (eu poético) e as mulatas que não corresponderam ao amor dele. Bem como, conflitos entre os inimigos dele, que são os jornalistas da época. Entre religião católica e candomblé.

Construção de temporalidades (diagnóstico do presente, significação do passado e projeção do futuro)

A letra faz construção de todas as temporalidades, presente, passado e futuro. No que diz a respeito ao presente, o personagem está consolado e contente em saber o destino das mulheres que não corresponderam ao amor dele e sobre seu nível de status financeiro e social (fama). O passado para o personagem conclui no presente quando ele diz que viveu devendo a todos, mas não pagou a ninguém. Mas, de fato, o eu poético vive “ligado” mais ao futuro do que as outras temporalidades. Ele projeta o que viveu ou que está vivendo para no futuro resolver. Assim, existe um desejo e vontades que serão realizadas futuramente.

Ocorrência de figuras e gêneros literários (alegoria, metáfora, metonímia, paródia, paráfrase, etc.)

Figuras e gêneros literários encontrados: Metáfora.

Ocorrência de intertextualidade literária (citação de outros textos literários).

Não ocorre.

Análise da Música (sonoridade)

Melodia; Arranjo; Andamento/ ritmo: rápido, lento, dançante.

O ritmo é lento

Performance

Voz/ intérprete e instrumentistas: intensidade (altura da voz em relação aos instrumentos musicais; tessitura (graves/agudos); quem canta, fala ou toca e como canta, fala ou toca;

Ouvintes: quem ouve/consume a música; como ouve/consume a música

Gênero musical (samba, pop/rock, sertanejo, caipira, rap, funk, etc)

Samba

Ocorrência de intertextualidade musical

Relação entre letra e música (confirmação, reforço ou ruptura?)

Não se aplica.

Efeito do arranjo sobre a canção (comparar arranjos diferentes para uma mesma canção).

Não se aplica

Análise Contextual

Compositor/intérprete: quem é; formação cultural e influências estéticas.

Noel Rosa. Influenciado pelo samba do Estácio de Sá. Estudante de medicina.

Influências da época 8 batutas, sertanejo da época. Influenciado pelo estilo jazz, Noel saiu da banda Bando de Tangarás. (Fonte Fenerick. Pg 30)

Produção: tecnologia e suporte sonoro.

Ná época estava saindo o cinema falado

Circulação: meio privilegiado de circulação e escuta da canção.

Rádio fusão.

APENDICE D – Questionário de Avaliação do Vídeo

Timbre e Samba - Uma mistura que deu Física

- 1 - Você usaria este vídeo em suas aulas de física? Justificar resposta
- 2 - Na sua opinião, o conteúdo do vídeo apresenta informações relevantes? Se sim, quais são elas e quais chamaram mais a sua atenção?
- 3 - Dê uma nota de 0 a 10, considerando 0 no caso de não apresentar informações relevantes e 10 no caso de apresentar informações relevantes.
- 4 - Você acredita que este material tem potencial de ser aplicado em conjunto com professores de outras áreas em sua escola?