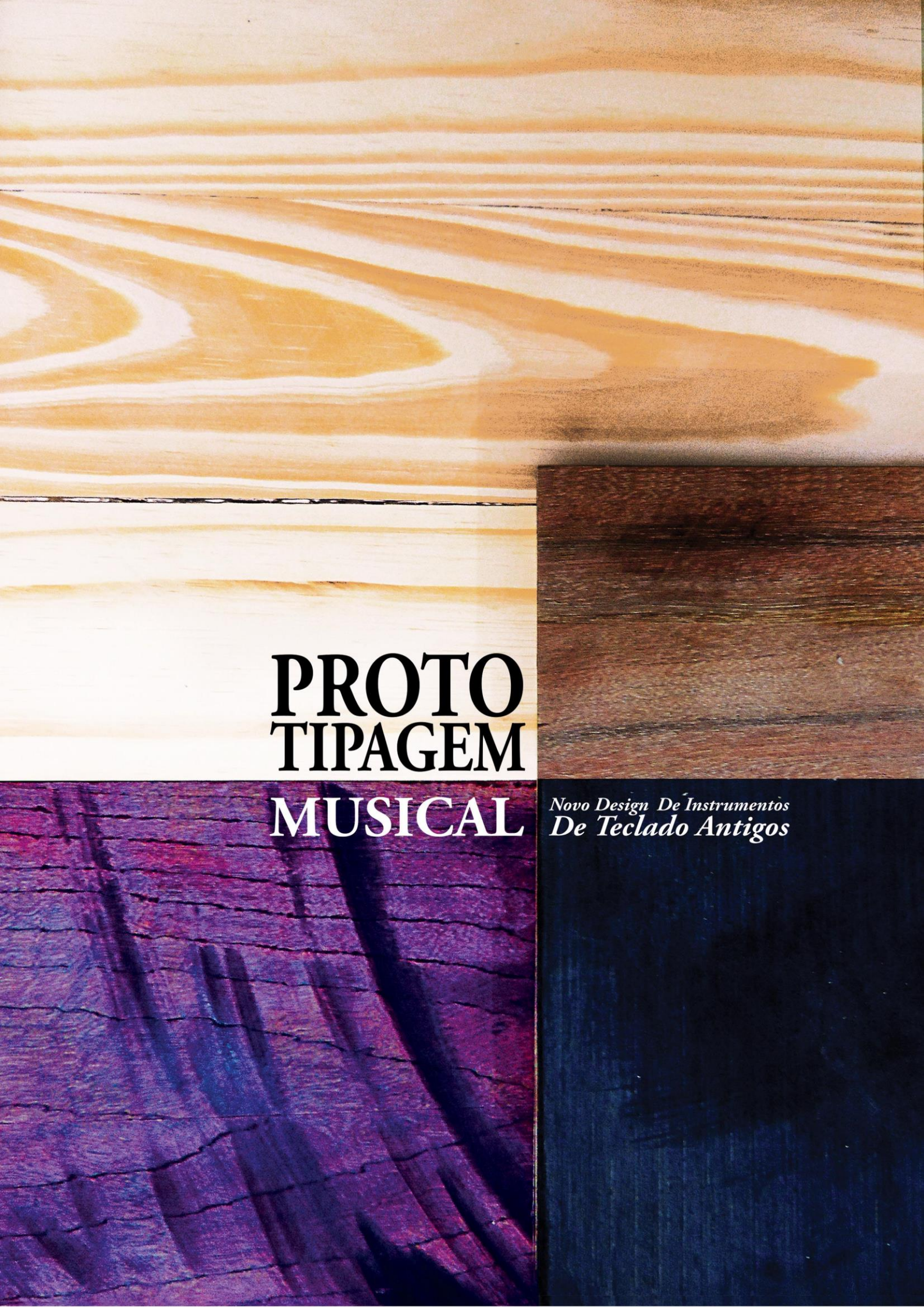




PROTO TIPAGEM MUSICAL

*Novo Design De Instrumentos
De Teclado Antigos*

♫ PROTOTIPAGEM MUSICAL

Novo Design De Instrumentos De Teclado Antigos

BAU, SILVESTRE (JOÃO SILVESTRE MEDEIROS DE BAU)

Técnico em Informática pelo Colégio Técnico Industrial "Prof. Isaac Portal Roldán" (CTI) e estudante de Bacharelado em Design De Produto pela Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (FAAC), ambas as instituições ligadas à Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" (UNESP)

E-mail—<sylverfalls@gmail.com>

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência para a obtenção do grau de Bacharelado em Design De Produto pela Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (FAAC) do *campus* de Bauru da Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" (UNESP), sob a orientação do professor Dr. Osmar Vicente Rodrigues

UNESP 2015

UNESP—UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE
MESQUITA FILHO"

FAAC—FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO

DEPARTAMENTO DE DESIGN

BANCA EXAMINADORA

ORIENTADOR

Prof. Dr. Osmar Vicente Rodrigues
FAAC—UNESP
E-mail—<osmar@faac.unesp.br>

EXAMINADOR I

Prof. LD Luís Carlos Paschoarelli
FAAC—UNESP
E-mail—<lcpaschoa@faac.unesp.br>

EXAMINADOR II

Prof. Dr. Tomas Queiroz Ferreira Barata
FAAC—UNESP
E-mail—<barata@faac.unesp.br>

BAURU, ESTADO DE SÃO PAULO
29 SETEMBRO 2015

“A Vida se resume a medo, raiva, desejo e amor. Parar de sentir emoções, de querer estas sensações, é como a Morte. Por isto então pega tudo que estás sentindo, tudo aquilo que realmente importa para ti, coloca dentro de teus punhos e luta!”.

— Citação derivada da fala da personagem Sun Bak da série *Sense8* (2015).

Do autor:

Gratidão pela oportunidade rara e ínfima de existir neste vasto Universo.

Gratidão aos seres humanos do passado que buscaram a luz da Verdade sob o Obscurantismo; as gerações futuras estão eternamente em débito para com estes homens e mulheres, apoiadas no ombro destes gigantes.

Gratidão a seus pais pela educação rígida, mas amorosa, e sua dedicação esmerada ao fornecer possibilidades e opções.

Gratidão à 3D Transform (José Martin Router ME) de São Paulo (SP) pelo patrocínio.

Gratidão à ajuda dos amigos Levy, Danilo, Pedro, Walmir, Roberto, Vinícius, Adriano e Paulo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	I
1.1. Contexto	I
1.2. Objetivos	II
1.2.1. Objetivos específicos	II
1.3. Fundamentação teórica	III
1.3.1. Detalhamento	III
1.4. Métodos aplicados	IV
1.4.1. Materiais	IV
1.4.2. Procedimentos	V
1.4.3. Laboratório	V
2. O ESTADO DA ARTE	7
2.1. O cravo	7
2.1.1. Origens	7
2.1.2. Descrição	8
2.1.2.1. Mecanismo	9
2.1.3. Escolas de construção	10
2.1.3.1. Italiana	10
2.1.3.2. Francesa	11
2.1.3.3. Alemã	12
2.1.4. Obsolescência e renascimento	12
2.1.4.1. O movimento autenticista	13
2.1.5. O cravo no Brasil	14
2.1.5.1. Construtores	15
2.1.5.2. Nova geração	16
2.2. A PR	18
2.2.1. Definição	18
2.2.2. Modelagem	19
2.2.2.1. Metodologia básica	20
2.2.2.2. Usinagem CNC	21
2.2.2.3. Corte a <i>laser</i>	22
2.2.3. Papel ante à Indústria	22
2.3. Similares	23

2.4. Encordoamento	23
3. PESQUISA	27
3.1. O Design neste projeto	27
3.1.1. Abordagem escolhida	28
3.2. A Harmonia Do Mundo	28
3.2.1. A dinergia	28
3.2.2. Cálculo	29
3.2.2.1. Teorema De Ptolomeu	29
3.2.2.2. Frações contínuas de números Fibonacci	30
3.3. Ondulatória	30
3.3.1. Derivação	31
3.3.1.1. Equações finais	32
4. DESENVOLVIMENTO	34
4.1. Materiais	34
4.1.1. Madeiras	34
4.1.2. Fios metálicos	35
4.2. Sketches	35
4.2.1. Corpos	36
4.2.2. Teclado	37
4.2.2.1. Aderência	38
4.3. Renders	39
4.4. Fotografias do mockup	40
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6. REFERÊNCIAS	43
6.1. Bibliográficas	43
6.1.1. Normas	46
6.1.2. Patentes	46
6.1.3. Verbetes	46
6.2. Discográficas	46
6.3. Iconográficas	47
6.4. Videográficas	48

RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 1**—de cima para baixo: um *ottavino* (espineta italiana), um virginal italiano e um flamengo. Adaptado de Praetorius (1620/2010: 290) I
- Figura 2**—CADEP, onde a finalização do Protótipo I, e do trabalho, foi realizada. Adaptado do autor V
- Figura 3**—detalhe do retábulo de Minden, Alemanha. Adaptado de *Re-Creating The Clavisimbalum...* (2012: 2) 7
- Figura 4**—*fac simile* do manuscrito de Zwolle (ca. 1440). Adaptado de Ripin & alii (1989: 8) 8
- Figura 5**—reprodução d'um cravo italiano (séc. XVI e XVII). Adaptado de Gamberi [snt] 9
- Figura 6**—1. Visão esquemática d'um modelo com dois coros de 8' e um manual (1): A—pivô (estrutura do teclado); B—pino de balanço; C—tecla-alavanca; D—guia inferior; E—registros; F—porca (*nut*); G—guia superior; H—primeira corda; I—segunda corda; J—primeiro saltarelo; K—segundo saltarelo; L—caveleto/ ponte (*brigde*) | 2. Visão esquemática do saltarelo: M—corpo; N—mola; O—eixo; P—lingueta; Q—plectro. R—corda; S—abafador [tradução e adaptação do autor]. Adaptado de Ripin & alii (1989: 2) 10
- Figura 7**—detalhe do cravo de Grandi (1687). Adaptado de Fondazione Cassa Di Risparmio Di Modena (2015) 10
- Figura 8**—reprodução do cravo em ébano de Cristofori (déc.de 1690). Adaptado de Chinnery [sa] 11
- Figura 9**—um cravo francês de dois teclados Taskin–Goermans (1764/1783–4). Adaptado de The University of Edinburgh Exhibitions (2015) 11
- Figura 10**—reprodução d'uma rosácea/rosa (1668) de Girolamo Zenti (1609 – 1666) para o tampo harmônico d'um instrumento. Adaptado de Cortivo (2000) 12
- Figura 11**—detalhe de decoração em teclado n'uma reprodução d'um virginal de 1531 de Alessandro Trasuntino (ca. 1485 – ca. 1545). Adaptado de Platte [sa] 12
- Figura 12**—diferentes reproduções de saltarelos: autenticistas (A e B) e renovados (C e D); da esquerda para a direita, de cima para baixo: **A.** saltarelo com plectro de latão (Nazard) de Marc Vogel GmbH; **B.** saltarelo com plectro de couro (Peau De Bouf) de Blaise; **C.** saltarelo padrão de 1976, em poliacetal DuPont™ Delrin®, do Early Music Shop; **D.** saltarelo padrão de 1950, em latão, de JC Neupert GmbH & Cº KG. Adaptado respectivamente de Marc Vogel GmbH [sa]: 2, wellington101-0001 (2015), Cassan (2013) e *The Jacks Are...* (2009) 13
- Figura 13**—um dos *kit* Zuckermann para um cravo italiano. Adaptado de ZHI (2008) 14
- Figura 14**—o cravista Roberto De Regina em concerto. Adaptado de Marques (2011) 15
- Figura 15**—Vargas restaurando um órgão de tubos de sua autoria. Adaptado de Museu da Música de Mariana (2014) 16

Figura 16 —Takahashi em seu ateliê. Adaptado de Padovano (2010)	17
Figura 17 — <i>fac simile</i> da patente de Blather. Adaptado de Blather (1892)	18
Figura 18 —gravura mostrando François Willème (1830 – 1905) em seu estúdio, ca. 1870. Adaptado de WTEC (1997: 23)	19
Figura 19 —o almirante David Farragut (1801 – 1870) sentado para fotoescultura, ca. 1870. Adaptado de WTEC (1997: 23)	20
Figura 20 —braço de violão usinado numa fresadora por CNC. Adaptado de XINTECH03 (2015)	21
Figura 21 —peças obtidas através de corte a <i>laser</i> . Adaptado de Bruscatto & alii (2014: 11)	22
Figura 22 —virginal de Da Pesaro (séc. XVI). Adaptado de Janot (2010)	23
Figura 23 —reprodução de virginal baseado em um modelo Da Pesaro. Adaptado do autor	24
Figura 24 —as proporções áureas seccionadas no formato do teclado. Adaptado de Dóczy (2012: 10)	29
Figura 25 —as proporções áureas seccionadas no pentágono ($a/b = b/c$); ao lado, o quadrilátero derivado do mesmo. Adaptado do autor	30
Figura 26 —organização dos fios dos coros de 4' e 8' no modelo final. Adaptado do autor	36
Figura 27 — organização dos fios dos coros de 4' e 8' no <i>mockup</i> . Adaptado do autor	36
Figura 28 —o corpo do modelo final e indicações das proporções áureas. Adaptado do autor	36
Figura 29 —o corpo do modelo virtual final e indicações das proporções áureas. Adaptado do autor	37
Figura 30 —em destaque o teclado do <i>mockup</i> e a posição dos conectores; o teclado do modelo hipotético tem cinco oitavas, de F ₁ a F ₆ . Adaptado do autor	37
Figura 31 —fluidez do esquema do teclado, gerando um teclado de usinagem para dois instrumentos diferentes ao retirar as peças vermelhas. Adaptado do autor	38

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1—Tabela das proporções finais do instrumento; em amarelo, os fios de latão e em preto, aço. Adaptado do autor. 25

Tabela 2—os cinquenta primeiros números Fibonacci e suas razões. Adaptado do autor 30

RELAÇÃO DE GRÁFICOS

Gráfico 1—Tensão nos fios do coro de 8'. Adaptado do autor 26

Gráfico 2—Tensão nos fios do coro de 4'. Adaptado do autor 26

RESUMO

O cravo, um dos ancestrais do piano moderno juntamente com o clavicórdio, floresceu na Europa do século XV ao séc. XVIII, tendo até então sua construção planejada de maneira artesanal/experimental. Em meados do séc. XX musicólogos e especialistas como Frank Hubbard e Wolfgang Zuckermann, além de outras personalidades, decidiram reviver o instrumento ao compilar seus antigos métodos de Marcenaria, mantendo, porém, suas tradições de manufatura. Uma vez que a prototipagem rápida (PR) é uma tecnologia que permite economia de tempo e precisão de detalhes na fabricação de produtos, há a possibilidade de se idealizar um novo projeto de cravo que permita o trabalho com materiais nacionais, tornando o instrumento acessível para estudantes de cravo ou admiradores de Música Antiga, além de gerar nova literatura sobre o assunto. Por possuir o caráter multidisciplinar, o projeto demanda estudo bibliográfico sobre o histórico e a construção do instrumento, conceitos da Seção Áurea, *sketches* para um novo produto, estudo das afinações do instrumento, Teoria Musical e Ondulatória (Física De Ondas). Por fim, há a apresentação de partes d'um protótipo para sua avaliação ante ao público.

PALAVRAS-CHAVE

prototipagem rápida

cravo

Música Antiga

Design De Produto

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho é resultado de mais d'uma década de existência. Desde os 13 anos o autor anseia por construir seu próprio instrumento de teclado. O desejo específico pelo cravo começou anos antes, durante um dos episódios do *anime* Digimon Adventure em que se ouvia a música-tema (ARISAWA. 2000) da personagem Myotismon/Vamdemon; a partir daí passaram-se quatro anos até que descobrisse o nome do instrumento que gerava tais timbres uma "hipótese" confirmada após ouvir em meados de setembro de 2004, uma *allemande*, a dança alemã do compositor Jean-Henri D'Anglebert (1629 – 1691).

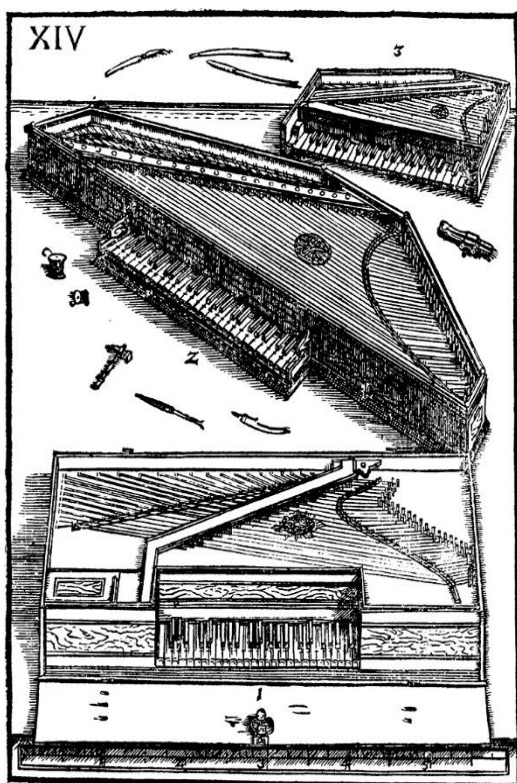


Figura 1—de cima para baixo: um *ottavino* (espineta italiana), um virginal italiano e um flamenco. Adaptado de Praetorius (1620/2010: 290)

De lá para janeiro 2008 teve a oportunidade de visitar o ateliê de William Takahashi na cidade de São Paulo, experiência que lhe abriu as portas para o mundo dos teclados antigos através de mostra de livros e métodos para se começar a pesquisa e construção de cravos e clavicórdios. Após adentrar à faculdade em 2011 e amadurecer suas ideias, Bau entrou com uma proposta de trabalho de conclusão de curso (TCC) que visava a união do Design e novos processos de fabricação com as tradições de manufatura do cravo. Ao elaborar a proposta escreveu um artigo (ANDRADE, BAU & RODRIGUES. 2014), junto de seu orientador e a colaboradora Dr^a Ana Beatriz Pereira De Andrade, para o congresso Ergotrip Design 2014.

Em 30 janeiro 2015, o orientando visitou à M^a Maren Gehrts radicada em São Roque, quem lhe forneceu novas explicações retirada de dúvidas acerca da construção e a sugestão de focar, ao invés d'um cravo grande num instrumento menor: o virginal (ver Figura 1).

1.1. CONTEXTO

A motivação inicial do projeto deu-se a partir das inúmeras possibilidades existentes hoje no mercado internacional para a construção de modelos e protótipos, oportunidades estas que oferecem/estabelecem interfaces ao mesmo tempo em que propõem resultados práticos e precisos; desta forma, existe a probabilidade de haver relações destas com a produção de instrumentos musicais.

Datam dos séculos XIII e XIV na Europa, os primeiros instrumentos de teclado, o clavicórdio e o órgão de tubos; o aperfeiçoamento do primeiro permitiu inovações já no séc. XV que originaram os instrumentos de cordas pinçadas/tangidas a saber: a espineta, o virginal e o cravo—este último, uma evolução em termos dimensionais dos dois primeiros instrumentos (ver Origens).

Então popularizada do final da Renascença até a criação do *gravicembalo col piano e forte* (piano) por volta de 1700, a "família" do cravo legou três séculos de tradição em sua construção,

foi abandonada no séc. XIX (o que não ocorreu muito com o clavicórdio) só reaparecendo no século seguinte, especialmente no pós-II Guerra Mundial (1945—), com a tentativa de construção de "cravos renovados" utilizando princípios do piano e peças em polímeros / ligas modernas de metais (ver Obsolescência e renascimento).

Após esta tentativa fracassada de reviver o instrumento houve um retorno à tradição artesanal (autenticismo); o problema, porém é que a relação objeto–homem é sempre reestabelecida cada vez que surgem novos processos tecnológicos de fabricação, agindo no pensar e agir acerca dos projetos e moldando o valor daquele produto na sociedade. Desta forma a PR surge como uma forma de adequação do cravo no séc. XXI.

Sendo essencialmente um conjunto de processos aditivos–subtrativos a PR produz modelos e protótipos em cascata através de desenhos vetoriais; uma de suas configurações aqui ressaltada é o comando numérico computadorizado (CNC) método que usina (subtrai) material através de fresas controladas virtualmente. Os resultados de máquinas de PR dispensam moldes e o uso de ferramentas manuais já que as principais vantagens são a rapidez e a precisão de detalhes, a redução de custos relativos de materiais e a liberdade formal dada ao *designer* (ver Modelagem).

Cabe registrar que algumas das patentes das máquinas de PR caíram em domínio público recentemente (déc. de 1990) o que propiciou não apenas o barateamento do processo, mas a ampliação de possibilidades; o processo que une a modelagem virtual e o trabalho com as tecnologias de PR para fabricar um produto final é denominado "Manufatura Rápida" (ver Definição).

Em Design considera-se a aptidão para a busca de soluções para as questões propostas sobretudo em termos de projeto e adequação de novas tecnologias ao produto. O caso especificado aqui envolve a multidisciplinaridade Música–Física–Design e considera a aplicação d'uma das técnicas de PR para a "revisão" construtiva/experimental, do cravo.

1.2.OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento d'um protótipo que considere o uso do Design, a Física e a Música num instrumento a ser produzido por PR e que mantenha as mesmas características do instrumento musical cravo tal como este era produzido no passado.

1.2.1.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A. Desenvolver métodos práticos para a construção de cravos e seus "primos" com o uso de tecnologias de PR, principalmente da usinagem por CNC.

B. Ampliar o campo de trabalho do Design ao tecer relações com a Música e a Física.

C. Demonstrar que as técnicas de PR podem ser úteis no Design De Produto.

D. Reduzir o custo de produção do instrumento considerando também que a PR traz maior precisão, redução no tempo de produção, liberdade formal e economia de material.

E. Possibilitar que instituições musicais, músicos profissionais ou leigos amantes de Música Antiga possam adquirir o instrumento devido à redução do custo final.

F. Demonstrar as possibilidades de materiais alternativos em instrumentos musicais.

1.3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Foram selecionados alguns autores para a composição do referencial teórico inicial seguindo o caminho da interdisciplinaridade, classificados em áreas que constituem a base da pesquisa, tais como:

- a história, os conceitos, a construção e manutenção de instrumentos de teclado, alguns destes voltadas especificamente para o cravo;
- o uso da Proporção Áurea, da sequência Fibonacci e suas relações/aplicações;
- a inclusão de conceitos da Marcenaria, vistos durante os tempos de academia, juntamente com os processos de PR.

Comparado com o primeiro artigo sobre este projeto (ANDRADE, BAU & RODRIGUES. 2014: 2) o amadurecimento da pesquisa e da prática de campo acabou por substituir/excluir alguns autores em detrimento de outros além da inclusão de informações fornecidas através de verbetes e consultas rápidas na Internet (ver Métodos aplicados).

1.3.1.DETALHAMENTO

Hubbard (1974) contribui imensamente pelo fato de ser um compilado de todos os antigos métodos, medidas, modos de afinação e a própria história da construção da família do cravo; possui um prefácio escrito pelo musicólogo Dr. Ralph Kirkpatrick (1911 – 1984) além de apresentar plantas próprias dos diferentes instrumentos, um anexo de ilustrações da época e um rico apêndice de transcrições de cartas e ofícios originais que agregam valor em relação aos aspectos da Música. Pode-se considerar esta obra como referência primordial para qualquer *designer* de instrumentos de teclado antigos.

Acrescenta-se os estudos do Dr. Edward L. Kottick (1930—)(KOTTICK. 2003; KOTTICK & LUCKTENBERG. 1997) sobre a história dos cravos através de imagens e catálogos de museus, características e histórico resumido; os dois livros são tão abrangentes quanto o livro anterior, sendo o de 2003 basicamente uma "versão ilustrada" atualizada e ampliada daquele. Ripin & alii (1989) funciona como um dicionário apresentando desenhos e esquemas detalhados, um resumo sobre a história do cravo, definições e uma lista de verbetes diretamente relacionados com os primeiros teclados.

Para tratar de Design e a abordagem dele neste projeto foram escolhidos dois livros: um sobre a filosofia da área (CARDOSO & FLUSSER. 2012) e o outro sobre o cenário industrial (BAXTER.

2011); este último, além de introduzir o leitor ao universo dos produtos e explicar a importância do planejamento, fala um pouco da proporção áurea e da sequência Fibonacci, assuntos complementados por Dóczy (2012).

A consultoria acerca da Física especificamente Ondulatória (Física De Ondas), foi fornecida ao autor por seu colega Levy Alvarenga¹; o único livro a se destacar aqui é Walker, Halliday & Resnick (2009), obra de referência na área há mais de três décadas.

Por fim, a introdução à nova tecnologia da PR, seus princípios, benefícios, principais processos e diversas aplicações é dado por Volpato & alii (2013).

1.4. MÉTODOS APLICADOS

Como cada usuário e consumidor pensam de formas diferentes, fica difícil definir a melhor metodologia de projeto; o mais importante porém, é que cada *designer* dentro de suas características peculiares desenvolvam uma forma própria de definir projetos. Para Baxter (2011: 19) até chegar ao projeto final as ideias vão e voltam diversas vezes num processo iterativo que resulta numa metodologia; ao final, qualquer metodologia acaba por facilitar o desenvolvimento e apresentar novos caminhos para se fazer Design.

Em princípio, a pesquisa conta com as experiências pessoais do autor com instrumentos musicais; o mecanismo de busca *online* Google², o *site* de compartilhamento de vídeos YouTube³ e a enciclopédia virtual Wikipedia⁴ foram utilizados para a obtenção de informações rápidas ou mesmo para consulta de Iconografia/Videografia.

Esta última, em sua versão inglesa, “redigida e editada por internautas, é quase tão rigorosa em relação a temas científicos quanto à Encyclopedia Britannica [tradução e adaptação do autor]” (GILES. 2005: 901); segundo este artigo da conceituada revista científica Nature, além de não haver diferenças significativas entre ela e enciclopédias tradicionais, a Wikipedia serve efetivamente como contato primário a informações confiáveis e bibliografias revisadas—por este motivo, outras versões desta foram consultadas.

1.4.1. MATERIAIS

Para a fase de PR utilizou-se dos seguintes:

- computador pessoal (PC) *notebook*, com processador Intel Core i3, memória RAM de 4 GB e sistema operacional Microsoft Windows 7, versão 64-bits;
- *software* para PC Dassault Systèmes SolidWorks, versões inglesas 2012 e 2015;
- balança digital portátil WeiHeng;

¹ E-mail de contato: <levyvalvarenga@hotmail.com>

² Disponível em: <<http://google.com>>

³ Disponível em: <<http://youtube.com>>

⁴ Disponível em: <<http://wikipedia.org>>

- micrômetro externo digital Digimess, capacidade: 0 – 25 mm, precisão: 0,001 mm;
- paquímetro digital Lee Tools, capacidade: 0 – 150 mm, precisão: 0,01 mm;
- conjunto básico de 12 lâminas X-Acto X5083;
- plaina manual Bailey Stanley Hobby nº 3;
- serra de fita de bancada Ferrari SF-9, capacidade: 100 mm × 240 mm, mesa: 335 mm × 335 mm;
- *router* CNC 3D Transform 2000/2, com área de usinagem de 2550 mm × 1850 mm.

Para a adequação do modelo digital à máquina utilizou-se também dos *software* interno dela. Já os fios metálicos para se criar as cordas do instrumento pertencem à duas ligas:

- latão amarelo, H02 66/34 meio-duro (*half-hard*), fornecido pela Metal Aço BH Ltda⁵, de Belo Horizonte;
- aço inoxidável, AISI 302 duro (*full-hard*), fornecido pela Inova Inox Comércio De Metais Ltda⁶ ME⁶, de Santo André.



Figura 2—CADEP, onde a finalização do Protótipo I, e do trabalho, foi realizada. Adaptado do autor

1.4.2. PROCEDIMENTOS

Após complementar os estudos bibliográficos com informações adicionais obtidas através das ferramentas citadas anteriormente, buscou-se aplicar cada conceito estudado na modelagem virtual de dois protótipos (ver Sarabanda)—o Protótipo I de verificação e o Protótipo II, modelo final do novo instrumento; devido ao custo–benefício somente o primeiro foi manufaturado como forma de avaliar a aplicação de materiais: os arquivos foram convertidos para os formatos STL, 3DXML, X_T e X_B, os quais qualquer máquina de PR interpreta.

Com a correção de pequenas falhas, lixamento, posicionamento e montagem da peça, houve a verificação do funcionamento e da sonoridade ante ao público da apresentação.

1.4.3. LABORATÓRIO

A parte física do projeto foi desenvolvida no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos (CADEP)⁷, ligado ao Departamento de Design da FAAC–UNESP (ver Figura 2); este laboratório é coordenado pelo orientador do autor e docente Dr. Osmar Vicente Rodrigues e tem a multidisciplinaridade como finalidade a necessidade das áreas de Humanas, Exatas e Biológicas como

⁵ Website oficial: <<http://metalaco.com.br>>

⁶ Website oficial: <<http://inovainox.com.br>>

⁷ Website oficial: <<http://cadepunesp.com.br>>

atendimento e um centro de pesquisa para a própria faculdade e para as indústrias locais/regionais como referência.

O CADEP torna a UNESP uma das 70 universidades globais a possuírem tecnologias de PR ao mesmo tempo em que o pioneirismo possibilita combinar tecnologias convencionais como as que existem neste laboratório com esta nova tecnologia digital de confecção de modelos e protótipos.

2. O ESTADO DA ARTE

2.1. O CRAVO

“A mais antiga referência conhecida d'um cravo data de 1397, quando um jurista em Padua [Itália] escreveu que um certo Hermann Poll alegava ter inventado um instrumento chamado de ‘clavicembalum’; a mais antiga representação conhecida d'um cravo é uma escultura num retábulo de 1425 de Minden na Alemanha Noroeste [ver Figura 3; tradução e adaptação do autor].”

— Ripin & alii (1989: 1).



Figura 3—detalhe do retábulo de Minden, Alemanha. Adaptado de *Re-Creating The Clavisimbalum...* (2012: 2)

A ideia de controlar instrumentos musicais através de claves/chaves de registros móveis—do latim *clavis* que significa "clave", "cravo" (no sentido de "prego"/"espinho")⁸ ou mesmo "chave", o que em português se conhece por "teclas"—já havia funcionado cerca d'um século antes com o órgão de tubos um instrumento de origem grega na Antiguidade; outros idiomas indo-europeus ainda preservam o nome original do instrumento cravo: "clavicímbalo" (adaptação ao português), *clavecin* [francês] *clave/clavecín* [espanhol] *clavicembalo* [espanhol/italiano] *gravicembalo* [italiano] e *cembalo* [alemão/italiano]. O autor já presenciou em sua breve experiência pessoal o neologismo "clavecino" para designar o instrumento em português.

2.1.1. ORIGENS

As palavras isoladas *cembalum*, *cin* e *cembalo*, ou mesmo *symbalum*, são corruptelas de címbalo um tipo de saltério (instrumento musical de origem medieval) muito popular ainda hoje na Europa Oriental e Oriente Médio; é possível, ao pesquisar os termos "cymbalum", "cimbalom" e "dulcimer" no YouTube, verificar que se trata d'um cordofone de cordas metálicas, dedilhado com as mãos ou tangido com a ajuda de marteletes manuais (o timbre assemelha-se um pouco com o som d'um cravo e lembra ao longe, um piano).

Inúmeras fontes bíblico-iconográficas ligam a origem da família do cravo e d'um de seus "primos" o clavicórdio, como uma "mecanização" do saltério—ou mesmo como as palavras indicam, do címbalo; os séculos XIII e XIV da Idade Média europeia representaram avanços nos maquinários do

⁸ Provavelmente estes são os sentidos que deram origem e significado a palavras como "clavícula" (osso), "clave" (arma de bastão), "cravo" ("coroa de cravos/espinhos") e "cravelha" (prego/pino móvel presente em diversos instrumentos cordofones)

cotidiano e mecanismos que "beliscavam" a corda (pinçamento) ganharam forças em detrimento de mecanismos que tangiam a corda (como o clavicórdio)—muito provavelmente pela diferença de amplitude (volume) entre os dois tipos.

De acordo com Ripin & alii (1989: 1 – 4), o esquema d'um destes primeiros instrumentos (ver Figura 4) foi preservado num manuscrito em latim de ca. 1440 por Henri Arnault De Zwolle (ca. 1400 – 1466), médico, astrônomo e organista de Philippe III Le Bon (1396 – 1467), duque da Borgúndia [na atual França]—o mesmo homem quem entregou Jeanne D'Arc (ca. 1412 – 1431) aos ingleses, selando seu destino; o trabalho de Zwolle descreve três mecanismos para o que ele denomina *clavissymbalum* (clavicímbalo a primeira forma de cravo). Outro contemporâneo dele o compositor e teorista Sebastian Virdung (ca. 1465 –?), descreve em seu trabalho *Musica Getuscht Und Angezogen* (1511) três instrumentos: o virginal, o clavicímbalo e o clavicitério (uma versão vertical do cravo).

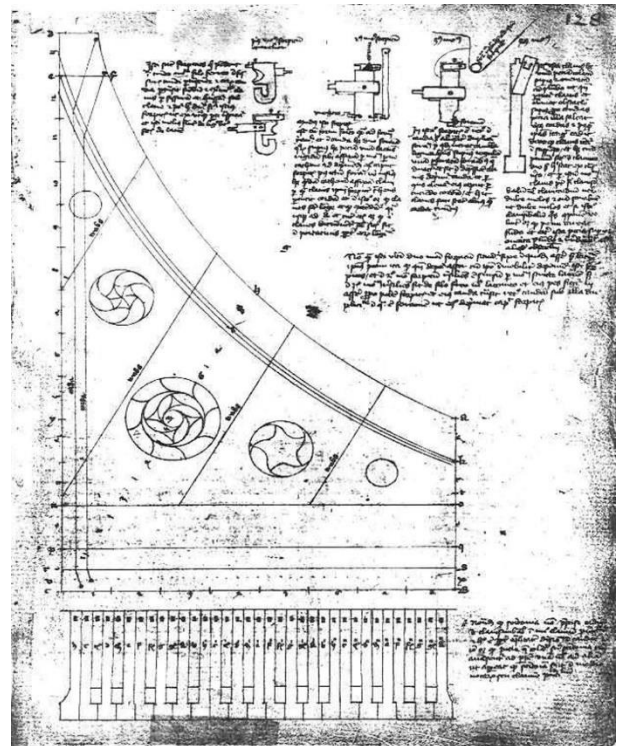


Figura 4—*fac simile* do manuscrito de Zwolle (ca. 1440). Adaptado de Ripin & alii (1989: 8)

Fica claro que a extensão desses teclados à época não ultrapassava três ou quatro oitavas (36 a 48 teclas), o que leva Hubbard (1974: 165-166) a afirmar que os instrumentos de Virdung foram erroneamente identificados e que se tratavam de *ottavini*⁹ (espinetas italianas), instrumentos menores e uma oitava mais agudos; o motivo claro desta afirmação é que instrumentos de teclados menores e de fácil transportes eram populares antes do auge dos grandes cravos nos séculos seguintes (ver Figura 5).

2.1.2. DESCRIÇÃO

Este trabalho não trata do clavicórdio e do fortepiano¹⁰; aqui a família do cravo está dividida em 3 (três) ramos:

- pequenos cravos: espinetas e *ottavini*;
- médios cravos: virginais (*spinettas*, *spinetten* e *muselaars*)¹¹;

⁹ Singular: *ottavino*, nome dado às espinetas italianas

¹⁰ Convencionou-se designar o piano histórico como "forteplano" ao invés de "pianoforte", termo este utilizado para designar o piano moderno nas línguas italiana e russa. Cortesia de Dr. Pedro Aurélio Persone. Centro de Artes e Letras (CAL)—Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail de contato: <persone@ufsm.br>

¹¹ Singular: *spinetta* (1), *spinett* (2) e *muselaar* (3), nome dado ao virginal italiano (1), ao virginal flamengo com o



Figura 5—reprodução d'um cravo italiano (séc. XVI e XVII). Adaptado de Gamberi [snt]

— grandes cravos: cravo (em suas mais variadas versões) e clavicitério.

Devido ao fato de os mecanismos de todos os ramos serem iguais, fique o leitor atento com o uso da palavra "cravo" como referência a todos ramos, não somente ao instrumento-mestre; este último foi um instrumento de grande importância no período Barroco (ca. 1590 – ca. 1740)¹², tanto como solista como para acompanhamento de cantores e instrumentos.

2.1.2.1. Mecanismo

Os cravos são instrumentos cordofones em que as cordas são pinçadas através d'um plectro (pequena palheta), tido também como uma "unha"¹³; esse[a] plectro/"unha" está acoplado ao saltarelo (em Portugal: saltador), o mecanismo do cravo propriamente dito acionado pela tecla quando esta é pressionada. O saltarelo/saltador possui ainda um pequeno abafador de feltro também acoplado e que amortiza a vibração da corda quando a tecla repousa; o plectro era fabricado com penas de corvos (ver Figura 6).

Originalmente o cravo possuía um único coro de cordas (um único timbre) denominado 8' (lê-se "oito pés"), em referência ao órgão; a medida de 8' (aprox. 2,44 m)¹⁴ quer dizer que a maior corda do cravo / flauta do órgão (a nota mais grave) *a priori* possuía esta medida. Posteriormente esse conceito foi abandonado e o coro principal dos cravos médios e grandes era designado por 8' enquanto que nos cravos pequenos por serem uma oitava mais aguda (metade dos anteriores), 4' (lê-se "quatro pés"). Com o avanço do número de timbres, alguns construtores acoplaram dois teclados aos instrumentos alguns destes ganharam dois coros de 8' (com diferenças de amplitude para criar dinâmica ao toque do cravista), além de outras variações; o uso dos coros é acionado movendo o teclado ou por meio de registros.

teclado à esquerda (2) e ao virginal flamengo de teclado direito (3); nenhum dos dois primeiros deve ser confundido com "espineta". Cortesia do Dr. Persone, já citado

¹² É comum se usar 1600 a 1750, devido à publicação de *Le Nuove Musiche* (1600) de Giulio Romolo Caccini (1551 – 1618) e à morte, em 1750, de JS Bach. Cortesia do Dr. Persone, já citado

¹³ KetelOneBrasil (2011)

¹⁴ Conversão dada pelo Google: <<http://google.com.br/webhp?ie=UTF-8#q=8+feet+to+meters>>

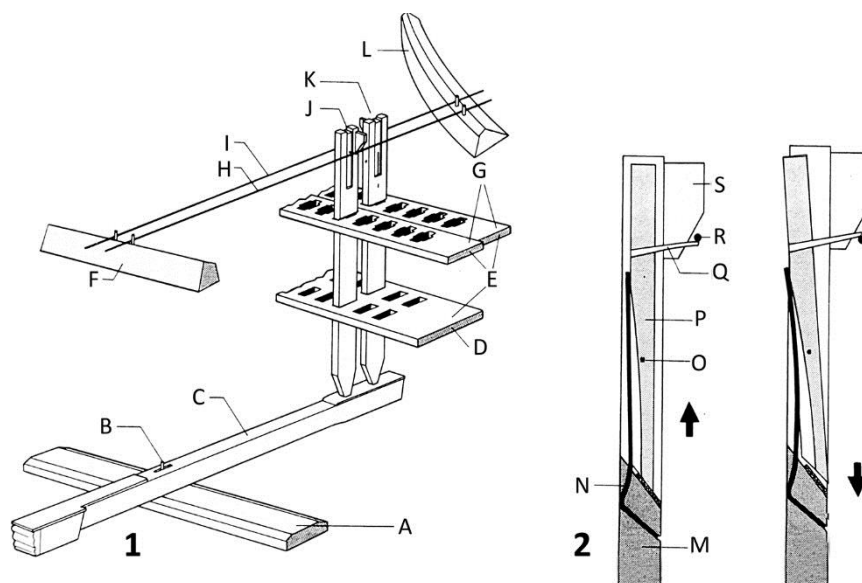


Figura 6—1. Visão esquemática d'um modelo com dois coros de 8' e um manual (1): A—pivô (estrutura do teclado); B—pino de balanço; C—tecla-alavanca; D—guia inferior; E—registros; F—porca (*nut*); G—guia superior; H—primeira corda; I—segunda corda; J—primeiro saltarelo; K—segundo saltarelo; L—cavalete/ ponte (*brigde*) | 2. Visão esquemática do saltarelo: M—corpo; N—mola; O—eixo; P—lingueta; Q—plectro. R—corda; S—abafador [tradução e adaptação do autor]. Adaptado de Ripin & alii (1989: 2)

2.1.3. ESCOLAS DE CONSTRUÇÃO

As tradições inglesas e flamengas assim como as escolas minoritárias ibéricas, não serão tratadas neste trabalho.



Figura 7—detalhe do cravo de Grandi (1687). Adaptado de Fondazione Cassa Di Risparmio Di Modena (2015)

2.1.3.1. Italiana

O exemplar mais completo e ainda preservado d'um cravo provém da Itália e data de 1521 (a mesma época da Reforma Protestante); outros instrumentos italianos posteriores já apresentavam um desenvolvimento fórmico/acústico muito diferente do aspecto rústico que permeia sua origem. A escola italiana é caracterizada por instrumentos:

- em sua maioria, virginais e *ottavini*;
- d'um teclado, ou manual;
- de construção leve e ricamente decorados;
- que apesar do timbre agradável serviam somente para acompanhamento.

A região possuía os principais portos comerciais da Europa à época o que possibilitou, durante o período de Colonização, o acesso fácil a materiais raros e extravagantes (ver Figuras 7 e 8):

pode-se citar o cravo (1687)¹⁵ em mármore branco provindo de Carrara, Itália por Michele Antonio Grandi (1635 – 1707) para Francesco II D'Este (1660 – 1694), duque de Modena e Reggio [na atual Itália], ou mesmo o cravo (déc. de 1690)¹⁶ inteiramente em ébano construído por Bartolomeo Cristofori (1655 – 1731), o inventor do piano para Ferdinando De' Medici (1663 – 1713), grão-príncipe da Toscana [*idem loci citatum*]; esta madeira ainda hoje é um material caro e raro derivada de árvores do gênero *Diospyros spp.*—o mesmo gênero do caqui (*Diospyros kaki*)—, sendo o Ébano-Do-Gabão (*Diospyros crassiflora*) uma árvore ameaçada¹⁷.



Figura 8—reprodução do cravo em ébano de Cristofori (déc.de 1690). Adaptado de Chinnery [sa]

2.1.3.2. Francesa

As maiores inovações no instrumento haviam ocorrido em Flandres com a família Ruckers e seus descendentes: a adição de outro manual, o aumento do compasso, o crescimento do corpo e a aplicação de novos coros de cordas (dois coros de 8' e um de 4') para amplificar o volume; a escola francesa acabou por aperfeiçoar essa tendência.



Figura 9—um cravo francês de dois teclados Taskin-Goermans (1764/1783–4). Adaptado de The University of Edinburgh Exhibitions (2015)

Na escola flamenga por exemplo, o segundo teclado possuía a função de transposição (mudança de nota), enquanto que os franceses mudaram o propósito deste manual para acionar/adicionar novos coros, permitindo a mudança rápida de timbres pelo cravista e assim criar maior dinâmica ao instrumento (HUBBARD. 1974: 105); um dos coros populares nos cravos grandes franceses é o Luth.

A tradição francesa era dominada por cravos grandes tendo seu auge durante o século XVIII com a família Blanchet e um de seus sucessores, Pascal Joseph Taskin (1723 – 1793, ver Figura 9); nesta época, para criar ainda mais dinâmica quase todos os cravos franceses possuíam um registro extra denominado *peau de bouf* ("couro bovino"), com um sistema de saltarelos possuindo plectros fabricados em couro afim de criar um timbre mais suave.

¹⁵ Fondazione Cassa di Risparmio di Modena (2015)

¹⁶ Kottick (2003: 214–5)

¹⁷ The IUCN Red List of Threatened Species (2013)

2.1.3.3. Alemã

Os cravos alemães seguiram a tendência iniciada nos modelos franceses mas com um interesse especial em aprimorar a variedade sonora ao invés da dinâmica, muito provavelmente porque a maioria dos construtores—como Gottfried Silbermann (1683 – 1753), por exemplo—também manufaturava órgãos de tubos (não é à toa que as maiores obras de JS Bach são para o instrumento). A escola é caracterizada por instrumentos amplos de construção pesada e a infinidade de cores parte de timbres de 2' a 16'; o interesse único e particular desta escola se resume ao registro Nazard, presente nos cravos alemães a partir de 1630¹⁸ e que apresenta um som metálico "anasalado" criado através de saltarelos com plectros em latão pinçados próximo à uma das pontes do instrumento.



Figura 10—reprodução d'uma rosácea/rosa (1668) de Girolamo Zenti (1609 – 1666) para o tampo harmônico d'um instrumento. Adaptado de Cortivo (2000)



Figura 11—detalhe de decoração em teclado n'uma reprodução d'um virginal de 1531 de Alessandro Trasuntino (ca. 1485 – ca. 1545). Adaptado de Platte [sa]

2.1.4. OBSOLESCÊNCIA E RENASCIMENTO

A invenção por volta de 1700 do *gravicembalo col piano e forte*, o fortepiano, por Cristofori trouxe maior dinâmica e amplitude num único instrumento resultando no desuso dos instrumentos da família do cravo, fato intensificado com o surgimento já na metade do século XVIII, do Classicismo (período relacionado ao Rococó nas Artes) onde compositores como Joseph Haydn (1732 – 1809), Wolfgang Amadeus Mozart (1756 – 1791) e Ludwig Van Beethoven (1770 – 1827) acabaram por popularizar de vez o fortepiano/piano; o autor deste trabalho acredita que o advento da Revolução Francesa (1789 – 1799) caracterizou também o cravo como um instrumento do *Ancien Régime* ("antigo regime") ou seja, obsoleto um instrumento da Corte que deveria ser banido, inclusive segundo Hubbard (1974: 116), o *Conservatoire De Paris* [na França] usou já no século XIX, cravos abandonados como lenha para lareira.

O reinteresse no instrumento voltou no início do século XX (KOTTICK & LUCKTENBERG. 1997: 32) e caracterizou-se pela tentativa de redescobrir as antigas técnicas de Marcenaria e construção daqueles instrumentos de teclado e a aplicação de novas tecnologias para se ampliar seu repertório; pode-se citar deste período inicial:

- o construtor de instrumentos Eugène Arnold Dolmetsch (1858 – 1940) um dos primeiros autenticistas (ver abaixo), trabalhando na união de técnicas e materiais modernos, porém em contraponto com às técnicas tradicionais (ver Figuras 10 e 11);

- a fábrica francesa Pleyel & C^{ie}, que tentou aplicar os conceitos de fabricação do piano moderno ao cravo;

¹⁸ Marc Vogel GmbH [sa]: 2

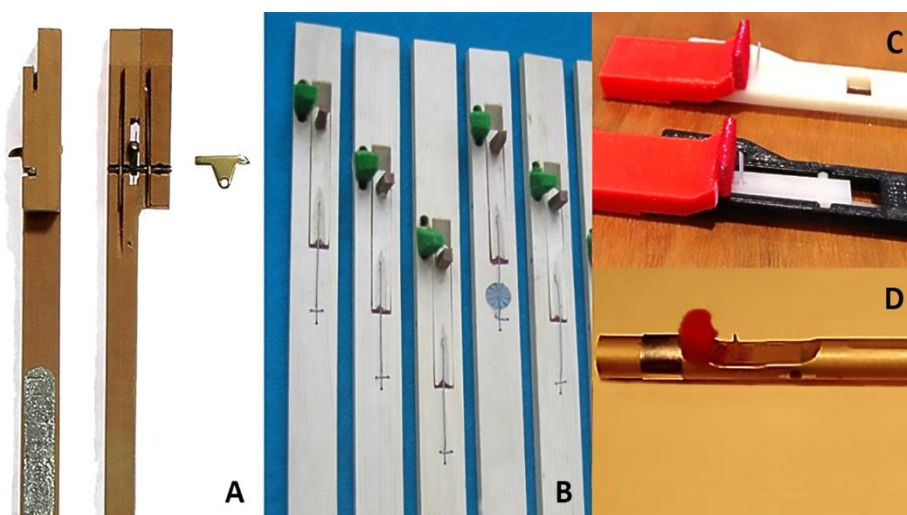


Figura 12—diferentes reproduções de saltarelos: autenticistas (A e B) e renovados (C e D); da esquerda para a direita, de cima para baixo: **A.** saltarelo com plectro de latão (Nazard) de Marc Vogel GmbH; **B.** saltarelo com plectro de couro (Peau De Bouf) de Blaise; **C.** saltarelo padrão de 1976, em poliacetal DuPont™ Delrin®, do Early Music Shop; **D.** saltarelo padrão de 1950, em latão, de JC Neupert GmbH & Co KG. Adaptado respectivamente de Marc Vogel GmbH [sa]: 2, wellington101-0001 (2015), Cassan (2013) e *The Jacks Are...* (2009)

— e a cravista polonesa Wanda Landowska (1879 – 1959), que além de ser a primeira a gravar as obras de Bach também acabou por divulgar os cravos Pleyel.

Os instrumentos desta primeira fase são denominados por Kottick (2003: 435) como *revival harpsichords*, "cravos renovados", caracterizados por instrumentos pesados e muito diferentes em termos de acústica, amplitude e timbre dos originais do passado; outros construtores que seguiram essa linha foram Johann Christof Neupert (1842 – 1921), Kurt Sperrhake (1909 – 1991) e Kurt Wittmayer (1917 – 1997)¹⁹. Kottick & Lucktenberg (1997: 80) descrevem um instrumento de 1970 deste último presente no Musikinstrumenten-Museum de Berlin, Alemanha: “Em um esforço para dar a este instrumento enorme mas relativamente silencioso, alguma ressonância que os antigos possuíam, este foi equipado com um amplificador e dois alto-falantes foram construídos dentro do tampo [tradução e adaptação do autor].”.

2.1.4.1. O movimento autenticista

O fim da II Guerra Mundial (1939 – 1945) deixou a Europa devastada, dando ênfase a um interesse na recuperação do patrimônio histórico; neste contexto o movimento autenticista iniciado por Dolmetsch, ganha força na fabricação de instrumentos musicais ao tentar seguir os antigos métodos de Marcenaria com o mínimo ou nulo uso de materiais, ferramentas e técnicas modernos (ver Figura 12).

Devotado aos princípios históricos, o movimento segundo Kottick (2003: 248 250; 440-441; 451), abandonou o uso de polímeros, metais e madeiras laminadas/processadas na constituição

¹⁹ Cortesia do Dr. Persone, já citado

dos corpos dos instrumentos o uso de aço moderno no lugar das ligas antigas de ferro fundido do encordoamento bem como o estilo de construção dos cravos renovados (baseados no piano) em favor do estilo tradicional; os instrumentos autenticistas acabaram por superar os pesados instrumentos, “[...] assim, aqueles primeiros cravos pioneiros permanecerão fatalmente esquecidos para todo o sempre!” (SOARES. 2010). Obviamente alguns construtores como Wittmayer, passaram a construir instrumentos mais autenticistas.



Figura 13—um dos *kit* Zuckermann para um cravo italiano. Adaptado de ZHI (2008)

Alguns dos principais acadêmicos e construtores dentro deste movimento são Frank Twombly Hubbard (1920 – 1976), William De Blaise (1907 – 1978)²⁰, William Richmond Dowd (1922 – 2008), Franz Hermann Martin Skowronek (1926 – 2014) e Wolfgang Joachim "Wallace" Zuckermann (1922—); este último adicionou uma revolução na maneira de se construir cravos: *kits* de peças pré-fabricadas desde espinetas até cravos grandes de diferentes tradições tornando a construção de cravos popular, acessível e pragmática (ver Figura 13).

2.1.5. O CRAVO NO BRASIL

Como este trabalho não trata da Música no Brasil sugere-se o excelente e completo documentário por Kanji, Castanha & Maranhão (1999).

Segundo Vale (1978: 17), *apud* Fagerlande (2015), o primeiro cravo (quicá uma espineta ou virginal) provavelmente chegou à nova colônia de Portugal em 1552, ano em que veio D. Pedro "Pero" Fernandes Sardinha (1496 – 1556), o primeiro bispo do país para organizar a primeira igreja na região conhecida hoje como Bahia; diversas passagens em crônicas das missões jesuítas também atestam a presença do instrumento em conventos daqui. Já Pereira (2005), *apud* Fagerlande (2015), demonstra referência a cravos no porto do Rio De Janeiro em 1721, um decreto real de 1829 tabelando o preço destes e um anúncio de jornal leiloando os mesmos já em 1830. José Maurício Nunes Garcia (1767 – 1830), o maior compositor carioca do fim do século XVIII, “[...] fazia ingentes esforços para desenvolver na população o gosto pela Música já dando por mínima retribuição, lições em casas particulares de violão, cravo e espinheta [espineta] [...]” (VISCONDE DE TAUNAY. 1983: 12 *apud* FAGERLANDE. 2005).

Estando ou não em solo tupiquinim, Kipnis (2014: 197) aponta que Raimund Fugger Jr.

²⁰ Cortesia de Peter Bavington, construtor de clavicórdios em London, Reino Unido. E-mail de contato: <peter.bavington@ntlworld.com>

(1528 – 1569)—mecenas de musicista, patrono da Música e membro da rica família de banqueiros alemães Fugger—possuía no inventário (1566) de sua coleção pessoal um cravo pequeno talvez um virginal, feito em madeira de Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*) por Francesco Ungaro (ca. 1500 – ca. 1563)²¹ à Venezia, Itália.

2.1.5.1. Construtores

São raros os nomes de construtores brasileiros de instrumentos musicais do período colonial (ca. 1530 – 1808); segundo Fagerlande (2005), construtores de órgãos de tubos como Agostinho Rodrigues Leite (1722 – 1786) em Olinda, e marceneiros de instrumentos e ferramentas em geral como Manuel Inácio Valcácer (?)—provavelmente um ex-escravo ou descendente de escravos ativo em Igarassú—podem ter feito também cravos no país. Somente à partir do séc. XX é que se destacam quatro pessoas dedicadas à construção de teclados antigos no país, especialmente de cravos:



Figura 14—o cravista Roberto De Regina em concerto. Adaptado de Marques (2011)

A. Giuseppe "José" Masano (1907 – 1984), natural de Catania (Sicília), Itália, e radicado desde 1928 em São Paulo, foi um construtor de cravos renovados e teve formação em Desenho e Música; de acordo com Soares (2001), ele “[...] carecia d’um verdadeiro *know-how* em construção de cravos, destacando-se suas habilidades como carpinteiro (principalmente pela seleção de madeiras de lei), bem delineadas nos poucos instrumentos que construiu [tradução e adaptação do autor]”.

B. Hidetoshi Arakawa [荒川英寿] (1935—)²², natural de 東京 [Tōkyō], Japão, e radicado desde 1961 em Campinas, formou-se em Ciências Naturais (*Natural Science*) e Artes Liberais (*Liberal Arts*) pela International Christian University (ICU); convidado a trabalhar no Laboratório de Acústica e Artes Sonoras (LASOM) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), começou uma pesquisa pioneira no país, definida primordialmente pela investigação científica e o estudo das características acústicas do cravo histórico (autenticista) (SOARES. 2001). Hoje está aposentado.

²¹ O autor deste trabalho estipula a data baseado no que M^a Maren Gehrts relatou sobre o tempo de formação d’um aprendiz—1 década, idade mínima de 17—, considerando o ano de morte cerca de 1 ano após seu último trabalho; segundo Smith [sa], *apud* Koster (1981/2015: 197), Francesco Ungaro pode ser associado a Franciscus Patavinus dicti Ongaro, que *floruit* entre 1527 e 1562 (KIPNIS. 2014: 358). Este Francesco não deve ser confundido com seu conterrâneo, o compositor italiano Francesco Patavino (ca. 1478 – ca. 1556)

²² Cortesia de sua filha Ana

C. Roberto Miguel De Barros Regina (1927—, ver Figura 14) natural do Rio De Janeiro, é um dos primeiros cravistas brasileiros, responsável pela construção autodidata do primeiro cravo do país; após uma temporada de aprendizado com o estadunidense Frank Hubbard nos anos 1960, passou a construir modelos históricos. (SOARES. 2001; 2010). Renomado intérprete, é dono d'uma vasta discografia; para Fagerlande (2015) Regina trilhou um importante movimento nacional ao reviver a tradição do cravo no Brasil.

D. Abel Santos Vargas (1947—, ver Figura 15), natural de São Paulo, é arquiteto pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP); de 1975 a 1987 trabalhou no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)—USP, desenvolvendo projetos pioneiros de instrumentos com madeiras brasileiras além de estudos sobre Acústica (SOARES. 2001; 2010).



Figura 15—Vargas restaurando um órgão de tubos de sua autoria. Adaptado de Museu da Música de Mariana (2014)

2.1.5.2. Nova geração

Algumas décadas após estes primeiros pioneiros, surgiu no país gerações de cravistas e de construtores sem contar a implementação do cravo, bem como da Música Antiga, como habilitação em cursos universitários da UNICAMP e da Universidade Federal do Rio De Janeiro (UFRJ). Desta segunda geração pode-se destacar:

A. William Takahashi (? , ver Figura 16), natural de São Paulo, decidiu construir o instrumento após ouvi-lo pela primeira vez durante a adolescência; por dez anos foi autodidata, trabalhou por um ano como operário no Japão para pagar os estudos em construção de cravos²³, estabelecendo seu ateliê no início dos anos 1990 em sua cidade natal.

B. Maren Hanna Gehrts De Ambrosis Pinheiro Machado (?), natural de Kiel, Alemanha, é mestra em Construção De Cravos E Pianos (*Klavier- Und Cembalobaumeisterin*) pela Handwerkskammer (HWK) de München e pela Oscar-Walcker-Schule (OWS) de Ludwigsburg, ambas as cidades na Alemanha; radicada em São Roque desde 2005 segue a linha autenticista.

²³ KetelOneBrasil (2011)



Figura 16—Takahashi em seu ateliê. Adaptado de Padovano (2010)

C. César Augusto Ghidini (1976—)²⁴ é natural de São Paulo, onde se formou pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI); estudou Restauração e Acústica no Conservatório Dramático e Musical "Dr. Carlos De Campos" de Tatuí, foi aprendiz no ateliê de Takahashi e estagiário na Hubbard Harpsichords, Inc. Radicado em Americana desde 2010, segue a linha autenticista mas com a adaptação de alguns materiais.

Existe um grupo virtual na rede social Facebook sobre o assunto: Grupo Brasileiro de Cravistas e Teclados Antigos²⁵.

²⁴ Cortesia do Dr. Persone, já citado

²⁵ Website oficial: <<http://facebook.com/groups/211718692248312>>

2.2.A PR

Segundo Cardoso & Flusser (2012: 36 – 44) o Design como um todo, reestabelece a relação objeto–homem cada vez que surgem novos processos tecnológicos de fabricação; essa metamorfose atinge a maneira de construção de produtos, repercute no pensar e no agir sobre os projetos e molda os valores e a cultura vigentes acerca dos objetos. A principal questão é que a adequação de novas capacidades técnicas não melhora apenas as condições de trabalho do *designer* como essencialmente melhora os produtos e consequentemente seus valores na sociedade²⁶.

As tecnologias de PR surgem nesse contexto como ferramentas relevantes a serem consideradas no trabalho dos *designers* e no ensino do próprio Design; o uso destas técnicas permite a experimentação projetual, o treinamento de habilidades como a criatividade e o aprimoramento dos produtos.

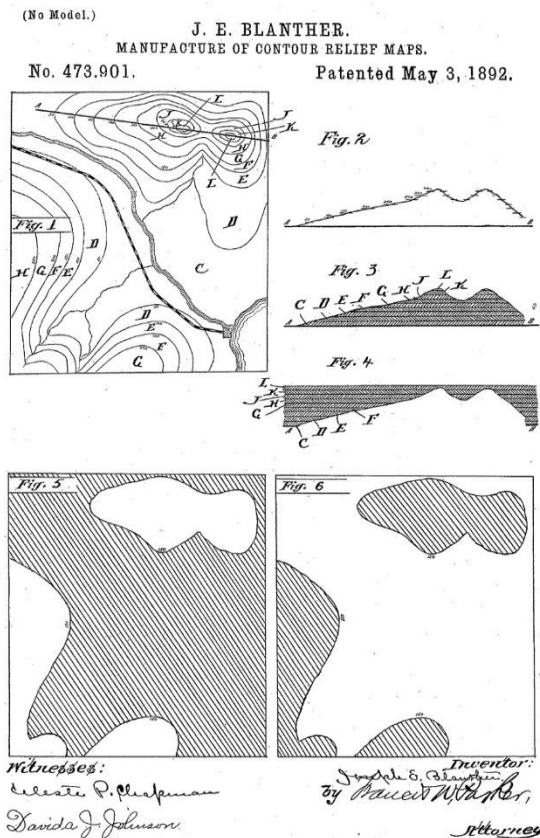


Figura 17—*fac simile* da patente de Blather. Adaptado de Blather (1892)

2.2.1.DEFINIÇÃO

A PR é um grupo de técnicas ou tecnologias usadas para fabricar rapidamente um modelo em escala, d'uma parte ou montagem físicas, usando dados tridimensionais gerados através de desenhos assistidos por computador (DAC, mais conhecidos como CAD—*computer aided design*)²⁷; a modelagem digital e a prototipagem física são complementares, podendo serem executadas em paralelo com a pesquisa e desenvolvimento d'um novo produto. A "ponte" entre os modelos virtuais e a máquina de PR é feita através do *software* interno desta última designado por CAM—*computer aided manufacturing*, manufatura assistida por computador (MAC); portanto, o processo da PR é um processo CAD–CAM, em português: DAC–MAC, ou também denominado "Manufatura Rápida".

A fabricação de objetos com essa tecnologia ocorre geralmente em impressoras 3D (métodos aditivos), mas há máquinas de PR que subtraem peças a partir de matrizes materiais brutas (métodos subtrativos) a saber:

- máquinas por comando numérico computadorizado (CNC), que usinam peças

²⁶ Cardoso & Flusser (2012: 60–5) e Volpato & alii (2013: 1 – 2)

²⁷ eFunda (2013), Volpato & alii (2013, *passim*: 2 – 29) e WTEC (1997: 2 – 5)

tridimensionais através de fresas virtualmente controladas²⁸;

— máquinas de corte a *laser* que usinam partes bidimensionais (2D), que unidas formam um modelo tridimensional²⁹.

Essas peças são designadas "protótipos" e nada mais são do que objetos físicos confeccionados para auxiliar o desenvolvimento de novos produtos; submetidos a testes e ensaios antes de sua aprovação para a produção industrial final ou apenas para a visualização do desenho/de geometrias, os protótipos são ideias que serão "trazidas ao mundo real".

Os protótipos gerados com essa nova tecnologia dispensam moldes ou mesmo o uso de ferramentas manuais para sua confecção; há mais de 20 tipos de sistemas de PR, muitos disponíveis desde a década de 1980³⁰. O que era tarefa especializada e demorada passou a ser barato e de relativa qualidade, aumentando a demanda por protótipos de verificação antes da produção além da permissão quase ilimitada de liberdade formal que alguns métodos proporcionam; esses fatos atraíram profissionais das seguintes áreas (VOLPATO & *alii*. 2013, *passim*: 28–9; 195 – 224): Design De Instrumentos Musicais, Joalheria, Instrumentação Médica, Odontologia, Ortopedia, Paleontologia e na fabricação de Brinquedos.

As prototipagens aditivas não serão tratadas neste trabalho.

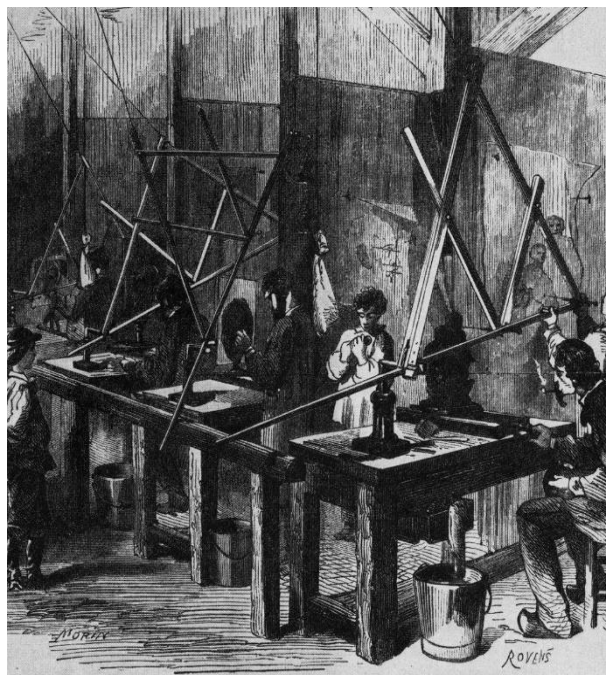


Figura 18—gravura mostrando François Willème (1830 – 1905) em seu estúdio, ca. 1870. Adaptado de WTEC (1997: 23)

2.2.2. MODELAGEM

Relatos históricos do séc. XIX ligam a modelagem virtual para PR às técnicas de produção de simulacros usadas por escultores da época; não é à toa que reproduzir formas e *designs* a partir d'um conjunto de dados (modelo) era uma habilidade que acabou por ser amplamente explorada, assim como hoje o é a interpolação de dados unidimensionais para dados tridimensionais na construção d'um modelo virtual a ser prototipado (escaneamento 3D). As raízes da PR podem ser traçadas nas práticas de Topografia³¹ e da Fotoescultura³².

Dentro da Topografia Blather (1892) e Blather (1892), *apud* WTEC (1997: 21; 30),

²⁸ Volpato & *alii* (2013: 28–9)

²⁹ Bruscatto & *alii* (2014: 10–1)

³⁰ Volpato & *alii* (2013: 9; 29) e WTEC (1997: I; 22; 94)

³¹ Volpato & *alii* (2013: 4 – 5)

³² Volpato & *alii* (2013: 6 – 7)

sugerem um método para se fazer moldes de papel através de camadas e que servem para mapear relevos (ver Figura 17); o processo envolvia linhas de contorno numa série de placas empilhadas. Já Matsubara (1974), *apud* WTEC (1997: 22; 30) propôs, dentro do departamento de desenvolvimento da Mitsubishi o mesmo processo topográfico adaptado à resina/polímero fotossensível que endurece conforme cada camada é empilhada e sensibilizada com luz (espectros de ultravioleta ou infravermelho).

Usada ordinariamente durante todo o século XIX, a Fotoescultura servia para criar réplicas tridimensionais exatas de modelos; o método—criado por Willème (1860), *apud* WTEC (1997: 22–3; 28; 30)—consiste na alocação de 24 câmeras numa matriz circular que fotografam simultaneamente o assunto a ser modelado (ver Figuras 18 e 19). Morioka (1935; 1944), *apud* WTEC (1997: 22; 24; 30), desenvolveu outro método similar em que feixes de luz fotografavam o objeto de modo a definir apenas os contornos que servirão como linhas-guias na estruturação do protótipo; por sua vez Munz (1956), *apud* WTEC (1997: 24; 30), criou outro em que um cilindro transparente fotossensível conservava a silhueta resultante d'uma exposição seletiva, camada por camada do objeto a ser reproduzido.

É importante ressaltar que a maioria das patentes dessas tecnologias assim como de seus mecanismos e das máquinas criadas para executá-los, estão caindo em domínio público desde os anos 1990's, o que propicia seu uso auxiliar durante a modelagem virtual por CAD/DAC.



Figura 19—o almirante David Farragut (1801 – 1870) sentado para fotoescultura, ca. 1870. Adaptado de WTEC (1997: 23)

2.2.2.1. Metodologia básica

“A metodologia básica para as técnicas atuais de PR podem ser resumidas a seguir:

- A. Um modelo por CAD é construído, então convertido para o formato STL³³, que pode ser configurado a fim de minimizar distorções [‘stair stepping’].
- B. A máquina de PR processa o arquivo STL ao criar cortes de camadas do modelo.
- C. A primeira camada do modelo físico é criada. O modelo é então baixado até a espessura da próxima camada, e o processo é repetido até a compleição do modelo.
- D. O modelo e quaisquer suportes são removidos. A superfície do modelo é finalizada e limpa [tradução e adaptação do autor].”
— eFunda (2013).

³³ Ver Procedimentos

2.2.2.2. Usinagem CNC

Muito utilizado na fabricação de protótipos da indústria automobilística³⁴ como também na maioria das confecções de pequenas peças o CNC é um processo que surge quando uma ferramenta de corte (geralmente um conjunto de fresas), controlada virtualmente, retira material d'uma matriz bruta até formar a peça desejada; essa técnica possibilita o uso de variados tipos de madeiras, ligas de metais e polímeros em detrimento da gama de outras tecnologias de PR que necessitam de produtos específicos como matriz material (ver Figura 20):

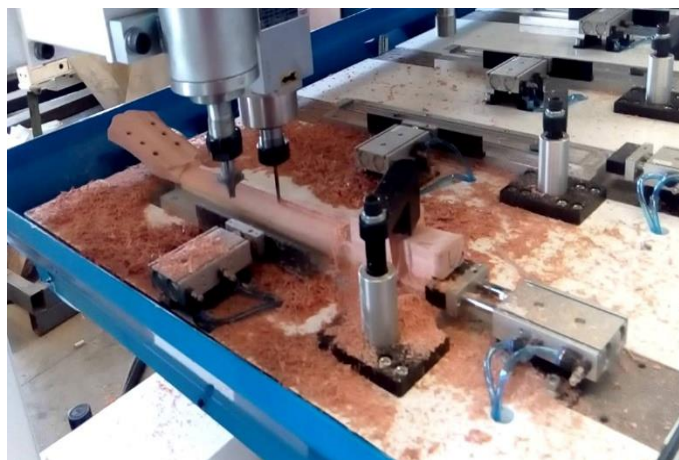


Figura 20—braço de violão usinado numa fresadora por CNC. Adaptado de XINTECH03 (2015)

A. Wall & alii (1992), *apud* Volpato & alii (2013: 28), “[...] ressaltaram em seu estudo publicado em [*opus citatum*] que a usinagem CNC foi apontada na época como uma das melhores alternativas [...]”.

B. A capacidade d'uma fresadora CNC depende diretamente da maneira como os objetos estão modelados; para alguns destes o protótipo de usinagem é mais viável do que protótipos por deposição de ABS (método aditivo) “[...] devido ao tempo de confecção ser menor e o material mais barato.” (AVIZ, GUERRA & GUERRA. 2012: 33).

As instruções de máquinas (*Assembly*) são obtidas após a interpretação da geometria do modelo virtual desenvolvido por DAC/CAD, pelo *software* CAM/MAC do aparelho CNC, codificando tais dados na forma de números e letras; por sua vez, estes serão utilizados como coordenadas nos eixos X, Y e Z, aumentando a flexibilidade, a precisão e a versatilidade³⁵ da máquina. Porém, Volpato & alii (2013: 28) e WTEC (1997: 16–7) afirmam ambos que a CNC possui uma única limitação: o alcance da ferramenta de usinagem.

Para o preparo da matriz, Aviz, Guerra & Guerra (2012: 22) listam os seguintes procedimentos:

“Em termos gerais, os sistemas CAD/CAM disponíveis no mercado exigem

³⁴ WTEC (1997: 18)

³⁵ Aviz, Guerra & Guerra (2012: 22)

os seguintes passos para a obtenção de programas CNC [quando os autores falam ‘programa’ o fazem no sentido de usinagem por CNC]:

- preparação das superfícies a serem usinadas;
- seleção dos parâmetros e variáveis de processo (tolerâncias, sobremetal, ferramentas, parâmetros de corte, &c.);
- geração automática das trajetórias das ferramentas;
- pós-processamento dos programas, adequando ao formato do comando numérico específico³⁶.” [Adaptação do autor].

2.2.2.3. Corte a laser



Figura 21—peças obtidas através de corte a *laser*. Adaptado de Bruscato & alii (2014: 11)

O corte a *laser* é outra opção de técnica de PR quando há a inviabilidade de fabricação d'um protótipo físico produzido via deposição/métodos aditivos em função de seu alto custo de processamento; o processo corta uma matriz material plana bidimensional (2D) em múltiplas peças, também planas separadas entre peças estruturais e principais (BRUSCATO & alii. 2014: 10–2, ver Figura 21).

O único constrangimento deste método é que para estruturar o produto final, o modelo virtual deve ser adaptado, o que significa dimensões alteradas e um protótipo

físico de baixa fidelidade (em relação ao modelo proposto)³⁷; de toda forma, apesar da baixa fidelidade, o protótipo final é ideal para testar aspectos funcionais/ergonômicos do produto³⁸.

2.2.3. PAPEL ANTE À INDÚSTRIA

Os diversos métodos de PR são de legítima importância para resolver um paradoxo que ainda "assombra" qualquer produção industrial: a viabilidade de produtos. Para Volpato & alii (2013: 3) o protótipo gerado d'um objeto/componente é essencial no desenvolvimento d'um novo produto pois possibilita a análise da forma e da funcionalidade antes da fase definitiva de manufatura facilitando também³⁹ o fluxo de informações entre a equipe de projeto, os fornecedores e os prováveis clientes; de acordo com os autores⁴⁰, muitas empresas deixam de fabricar novos produtos devido ao baixo índice de desenvolvimento de seus projetos e os altos custos e tempo associados na

³⁶ Ver Procedimentos

³⁷ *Ibidem*: 10 11

³⁸ *Ibidem*: 11

³⁹ *Ibidem*: 30–1

⁴⁰ *Ibidem*: 18

fabricação de protótipos convencionais manuais; ou seja, a tecnologia da PR abre caminho para que ideias e conceitos se manifestem, através d'um protótipo barato e viável (em relação ao tempo e custo manuais), antes do gasto com materiais do início dos processos de fabricação e do ciclo de vida comercial do novo produto.

2.3. SIMILARES



Figura 22—virginal de Da Pesaro (séc. XVI). Adaptado de Janot (2010)

Gehrts sugeriu ao autor focar num instrumento menor ou seja, num cravo médio ou pequeno ao invés d'um grande cravo e esta apresentou a possibilidade da construção d'um virginal italiano o qual a própria estava terminando de construir para um cliente (ver Figura 23); dois meses após a primeira visita ao ateliê o autor retornou dia 12 março 2015 para tocar o instrumento e avaliar sua construção. Antes, porém já havia buscado imagens mais específicas e referências audiovisuais de virginais. Pode-se citar o instrumento de Domenico Da Pesaro (ca. 1506 – ca. 1576, ver Figura 22)⁴¹, presente hoje (cat. nº 324) no *Musikinstrumenten-Museum* (Berlim, Alemanha), que por um acaso foi um elemento inspirador para a cópia da M^a Gehrts.

2.4. ENCORDAMENTO

Todos os fios metálicos citados em Materiais foram medidos com um micrômetro para dar maior precisão aos cálculos.

O novo virginal contará com uma configuração inédita: um coro de 4' e um de 8', além d'um registro *Luth*; havia em Flandres alguns instrumentos designados "mãe e filho", em que se acoplavam uma espineta ao corpo do *muselaar/spinett* para se utilizar os dois coros, ou utilizando cada um destes somente⁴². A proposta, porém, quer tentar colocar num virginal dois jogos de timbres pensando nos estudantes de cravo que não poderão tão cedo adquirir um cravo grande, ou seja, um instrumento completo e com uma variedade de coros.

Vale ressaltar que para todos os teclados a nota de afinação é A4/Lá₄, de frequência 440 Hz (ISO. 1975/2011); no período barroco, a frequência definida para esta nota variava de 392 Hz a 415

⁴¹ Segundo Kipnis (2014: 153–4) Domenico *floruit* entre 1533 e 1575; seguindo a mesma lógica anterior o autor estipulou sua data de nascimento e morte

⁴² Visto no vídeo de Maad (2012)

Hz, respectivamente suas notas antecessoras. Para a construção, definiu-se A4 = 441 Hz para manter uma margem de segurança em relação ao limite de escoamento dos fios.

O tamanho máximo da corda/nota de afinação (A4) antes de escoar (deformar) é dado pela fórmula C, já citada: $\sigma = \delta(2fL)^2$; considerando inicialmente a liga de aço inoxidável AISI 302, duro, que tem o limite de escoamento (LE) igual a 1070 MPa.

Note que os valores da espessura (d) e frequência (f) devem ser proporcionais à razão 1/2 o quanto possível⁴³, algo que o autor já havia percebido durante suas experiências pessoais, na literatura consultada e com a confirmação de M^{re} Gehrts. Utilizando uma das fórmulas: $T = \pi\delta(dfL)^2$ (A) ou $\sigma = (4T) / (\pi d^2)$ (B), o resultado indica que a força de tensão (T) da corda com essa espessura é 32,614153536 N, correspondente a uma massa de 3,325702 kg puxando-a, já que essa força é múltipla da gravidade ($g = 9,80665 \text{ m/s}^2$).

A utilização de 441 Hz no planejamento das dimensões do instrumento fixa o comprimento da corda de maneira a possibilitar a mudança de afinação desde o padrão moderno 440 Hz (ISO 16/1975) até aos padrões barrocos 415 Hz e 392 Hz, dando uma margem de segurança de 0,453 a 20,99%, dependendo de qual afinação escolher, o que evita o constrangimento da deformação do fio.

Determina-se então um padrão de tamanhos, conforme o *designer* desejar e respeitando o limite de escoamento em cada corda; após esta etapa, ao procurar igualar a tensão dos fios para o valor encontrado (32 N) se acha a espessura para cada corda. Nesta etapa se adapta as medidas calculadas com as medidas disponíveis fisicamente.

Para este projeto, encontrou-se os seguintes valores para o protótipo:



Figura 23—reprodução de virginal baseado em um modelo Da Pesaro. Adaptado do autor

⁴³ Em relação ao aço disponível, o fio mais próximo a 0,2205 mm é 0,197 mm

8'			4'		
d (m)	f (Hz)	L (m)	d (m)	f (Hz)	L (m)
0,000197	1327,382	0,131	0,000291	2654,764	0,041
0,000197	1252,885	0,138	0,000291	2505,769	0,043
0,000197	1182,567	0,145	0,000352	2365,134	0,045
0,000197	1116,194	0,152	0,000352	2232,389	0,048
0,000197	1053,546	0,160	0,000352	2107,091	0,050
0,000197	994,412	0,167	0,000352	1988,825	0,053
0,000197	938,603	0,176	0,000352	1877,206	0,056
0,000197	885,924	0,184	0,000352	1771,847	0,059
0,000197	836,200	0,193	0,000352	1672,400	0,062
0,000197	789,268	0,203	0,000352	1578,535	0,066
0,000197	744,970	0,213	0,000352	1489,940	0,069
0,000246	703,158	0,223	0,000352	1406,316	0,073
0,000246	663,692	0,234	0,000352	1327,383	0,077
0,000246	626,442	0,245	0,000352	1252,884	0,081
0,000246	591,283	0,257	0,000366	1182,565	0,085
0,000246	558,097	0,270	0,000366	1116,194	0,090
0,000246	526,773	0,283	0,000366	1053,546	0,095
0,000246	497,207	0,296	0,000366	994,414	0,100
0,000246	469,301	0,311	0,000366	938,601	0,106
0,000246	442,961	0,325	0,000366	885,923	0,111
0,000246	418,100	0,341	0,000366	836,200	0,117
0,000246	394,634	0,357	0,000366	789,269	0,124
0,000246	372,484	0,374	0,000366	744,969	0,130
0,000246	351,578	0,392	0,000366	703,157	0,138
0,000246	331,846	0,410	0,000366	663,693	0,145
0,000246	313,221	0,430	0,000366	626,443	0,153
0,000246	295,641	0,450	0,000366	591,283	0,161
0,000246	279,048	0,471	0,000366	558,096	0,170
0,000246	263,387	0,493	0,000366	526,774	0,179
0,000246	248,605	0,516	0,000366	497,209	0,189
0,000291	234,651	0,540	0,000366	469,302	0,199
0,000291	221,481	0,565	0,000366	442,962	0,210
0,000291	209,050	0,590	0,000366	418,100	0,221
0,000291	197,317	0,617	0,000366	394,633	0,233
0,000291	186,242	0,646	0,000366	372,484	0,245
0,000291	175,789	0,675	0,000366	351,578	0,259
0,000291	165,923	0,705	0,000403	331,846	0,272
0,000291	156,611	0,737	0,000403	313,222	0,287
0,000291	147,821	0,770	0,000403	295,641	0,303
0,000291	139,524	0,805	0,000403	279,048	0,319
0,000291	131,693	0,840	0,000403	263,386	0,336
0,000352	124,302	0,878	0,000403	248,604	0,354
0,000352	117,326	0,916	0,000403	234,652	0,373
0,000352	110,741	0,956	0,000403	221,481	0,393
0,000352	104,525	0,998	0,000403	209,050	0,414
0,000352	98,658	1,041	0,000454	197,317	0,436
0,000352	93,122	1,086	0,000454	186,243	0,459
0,000366	87,895	1,132	0,000454	175,790	0,484
0,000366	82,962	1,180	0,000454	165,924	0,510
0,000366	78,305	1,230	0,000454	156,610	0,537
0,000366	73,910	1,282	0,000454	147,820	0,566
0,000366	69,762	1,335	0,000454	139,524	0,596
0,000366	65,846	1,390	0,000454	131,693	0,628
0,000366	62,151	1,447	0,000454	124,302	0,661
0,000366	58,663	1,506	0,000454	117,326	0,696
0,000366	55,370	1,567	0,000454	110,741	0,733
0,000366	52,263	1,630	0,000454	104,525	0,772
0,000366	49,329	1,694	0,000454	98,658	0,813
0,000403	46,561	1,761	0,000454	93,122	0,856
0,000403	43,947	1,829	0,000454	87,894	0,902
0,000403	41,481	1,899	0,000454	82,962	0,950

Tabela 1—Tabela das proporções finais do instrumento; em amarelo, os fios de latão e em preto, aço. Adaptado do autor.

Recalculando os dados acima encontra-se uma média de 2,9 a 3,2 kg de tensão neste

fios (ver Gráficos 1 e 2):

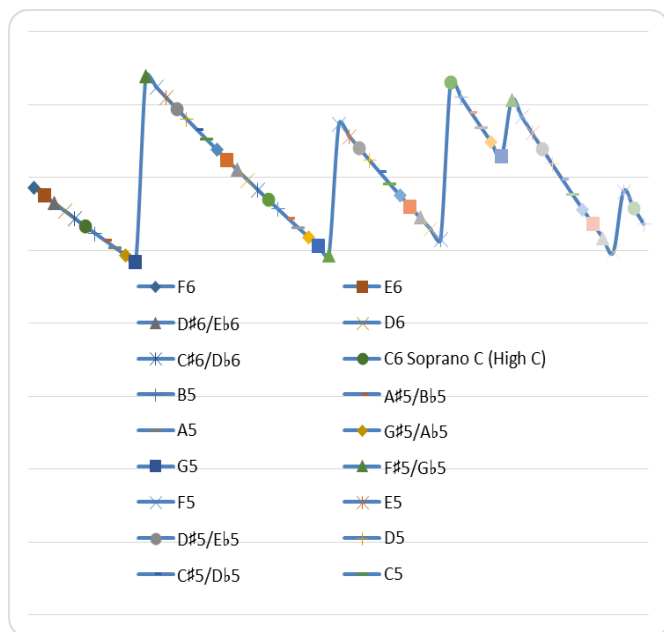


Gráfico 1—Tensão nos fios do coro de 8'. Adaptado do autor

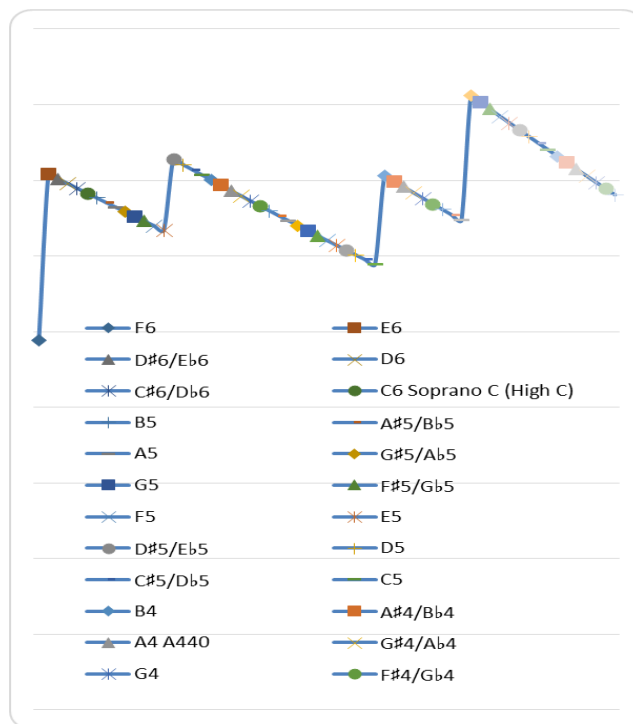


Gráfico 2—Tensão nos fios do coro de 4'. Adaptado do autor

3. PESQUISA

3.1. O DESIGN NESTE PROJETO

A história da Humanidade demonstra que esta sempre se utilizou do conhecimento, procurando aplicar novas capacidades afim de melhorar as condições ou adaptação ao meio; provavelmente a característica que define o *Homo sapiens sapiens* seja a Tecnologia, e esta sempre esteve ligada aos objetos, aos artefatos, às coisas que cercam aquela primeira:

“Em inglês, a palavra design funciona como substantivo e também como verbo (circunstância que caracteriza muito bem o espírito da língua inglesa). Como substantivo significa entre outras coisas, ‘propósito’, ‘plano’, ‘intenção’, ‘meta’, ‘esquema maligno’, ‘conspiração’, ‘forma’, ‘estrutura básica’, e todos esses e outros significados estão relacionados a ‘astúcia’ e a ‘fraude’. Na situação de verbo – *to design* – significa, entre outras coisas, ‘tramar algo’, ‘simular’, ‘projetar’, ‘esquematizar’, ‘configurar’, ‘proceder de modo estratégico’.”

— Cardoso & Flusser (2012: 181).

Vilém Flusser (1920 – 1991) chama a atenção para o fato de que não é apropriado apegar-se aos aspectos históricos do Design, mas em compreender seu atual significado; a partir do segundo parágrafo, o filósofo explica e analisa a raiz etimológica latina *signum* e sua equivalência com a palavra alemã *Zeichen*, ambas significando “signo”⁴⁴. Ou seja, o Design nesta reflexão não é apenas uma prática profissional das sociedades industriais mas uma proposta de elemento do projeto contemporâneo, visto por exemplo na formulação de novos materiais e suas tecnologias; pode-se concluir a aptidão do Design para buscar soluções para as questões propostas⁴⁵ sobretudo em termos de projeto e adequação de novas tecnologias, bem como no caso específico da pesquisa: a multidisciplinaridade⁴⁶.

O Design é um processo de inovação, um funil de decisões porém, não é algo unidirecional nem unidimensional já que “a atividade de desenvolvimento d’um novo produto não é simples e nem direta; ela requer pesquisa, planejamento cuidadoso, controle meticuloso e o mais importante, o uso de métodos sistemáticos.” (BAXTER. 2011: 3). Muitas vezes o desenvolvimento d’um produto não é uma atividade linear, tendendo a ser aleatório pois a mente humana explora algumas ideias no nível conceitual ao mesmo tempo em que pensa nos detalhes em outros níveis⁴⁷.

⁴⁴ *Ibidem*: 181–3

⁴⁵ Cardoso & Flusser (2012, *passim*: 90–6) e Baxter (2011, *passim*: 3 – 10)

⁴⁶ Cardoso & Flusser (2012, *passim*: 94 – 150)

⁴⁷ *Ibidem*: 13–4

3.1.1. ABORDAGEM ESCOLHIDA

Portanto, o Design está neste projeto através:

- da mudança de materiais, como exploração da acústica do produto;
- do uso das técnicas de prototipagem rápida (PR) como inovação;
- da aplicação das teorias aqui expostas, explorando o nível conceitual.

Assim espera-se melhorar a viabilidade técnico-econômica do novo produto.

3.2. A HARMONIA DO MUNDO

“O poder da seção áurea em criar harmonia deriva de sua propriedade única de unir partes diferentes d'um todo de forma a que cada uma delas preserve sua identidade própria, mas amolda-se a um padrão maior d'um todo.”

— Dóczy (2012: 13).

Os gregos antigos acreditavam em *Ἀρμονία*, a Harmonia, deusa do equilíbrio e da concórdia, cujo conceito filosófico dizia que tudo na Natureza estava interligado/unido; o movimento de corpos celestes fazia parte da crença harmônica *Μουσική*—a Música a "arte das Musas"—, que não era audível, porém baseada na Matemática (ver Figura 24). Pitágoras [Πυθαγόρας] (ca. 569 – 495 AEC) e seus discípulos, os pitagóricos, diziam que a Música era a harmonia do mundo, a *harmonia mundi*, e procuraram as relações matemáticas que a ligavam ao mundo natural⁴⁸. Uma destas relações é a proporção áurea provavelmente descoberta a partir de seu símbolo-mestre: o pentagrama (ver Cálculo).

3.2.1. A DINERGIA

As seções da proporção áurea podem ser encontradas tanto na Natureza quanto no homem⁴⁹; em padrões Fibonacci presentes no crescimento de plantas e suas flores⁵⁰ e nas frações musicais que os pitagóricos descobriram⁵¹; elas existem nas estruturas do ser humano, em animais, na formação dos ossos⁵² ou em construções atemporais como o Stonehenge (Inglaterra) e o Parthenon (Grécia)⁵³. Falando desta última, a razão áurea está presente especialmente nas artes, literatura e arquitetura gregas.

Para Baxter (2011: 41): “O retângulo áureo, baseado na série Fibonacci, é uma abstração

⁴⁸. Dóczy (2012, *passim*: 1 – 20); Sagan, Druyan & Soter (1980) e Steinkirch & Equipe SciCast (2015)

⁴⁹ Dóczy (2012: 2 – 7)

⁵⁰ Baxter (2011: 39 – 40) e Dóczy (2012: 2 – 4; 11–3)

⁵¹ Dóczy (2012: 8 – 13)

⁵² *Ibidem*, *passim*: 14 – 28

⁵³ Dóczy (2012: 20–8) e Sagan, Druyan & Soter (1980)

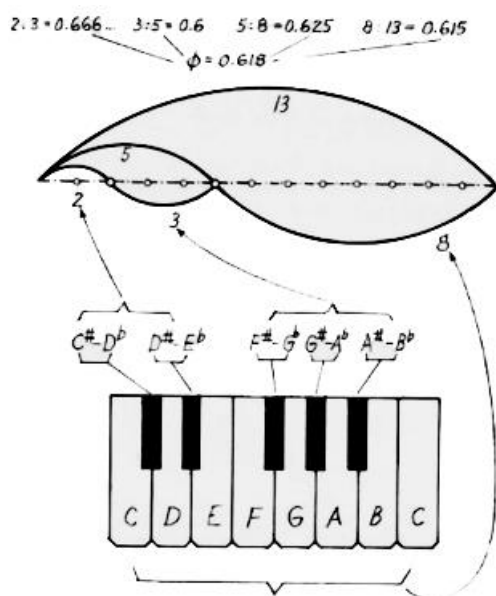


Figura 24—as proporções áureas seccionadas no formato do teclado. Adaptado de Dóczy (2012: 10)

humana, resultado de relações matemáticas encontradas em objetos naturais. Assim mesmo é o preferido pelas pessoas sugerindo que podem haver preferências ainda mais fortes de outras formas naturais.". O ser humano é "programado geneticamente" para gostar e apreciar tudo que esteja nos padrões áureos; onde estiver, a seção áurea cria harmonia e os conceitos harmônicos da Música derivam desse relacionamento recíproco natural (DÓCZI. 2012: 8 – 10).

Ainda segundo Dóczy (2012, *passim*: 1 – 28), este relacionamento/comunhão é vital para a dinâmica da vida e por isso representa a *dinergia*—*διά*, "dia" que significa "através" mais a palavra "energia"—, termo cunhado pelo próprio autor como o oposto à sinergia que dirige o crescimento orgânico e que atua na interconexão da Natureza; o conceito de dinergia vai diretamente na raiz d'um dos mais perplexos paradoxos da vida: a "dualidade *yin-yang*" (陰陽), que György Frederic Dóczy (1909 – 1995) irrefutavelmente reconhece como um limite que persiste nas

fronteiras do conhecimento e permite a criação criativa.

Portanto, "os *designers* que se propõem a projetar os seus produtos seguindo formas orgânicas, não podem desprezar essas regras." (BAXTER. 2011: 41).

3.2.2.CÁLCULO

Para que este projeto de Design crie dinergia com a Música e as demais áreas aqui resumidas, é necessário o conhecimento da proporção áurea e seu cálculo para a aplicação prática no produto. Este número é caracterizado pela letra grega ϕ (lê-se "fí") minúscula, e seu valor está registrado por Sloane (1991):

$$\phi = 1,618033988749 \dots$$

Neste projeto é considerado o valor de $\phi \approx 1,61803398875$ para homenagear as doze notas dentro d'uma oitava; o cálculo deste número é possível através de dois métodos⁵⁴, a seguir.

3.2.2.1.Teorema De Ptolomeu

⁵⁴ Baxter (2011: 38 – 40), Dóczy (2012: 2), Hailperin, Kaiser & Knight (1999: 61–4) e Sloane (1991)

Este teorema cria relações entre diagonais e laterais opostas nos quadriláteros (Figura 23), derivados do pentagrama, o símbolo-mestre pitagórico, formado por a e b . Ao aplicar a fórmula do teorema e derivar temos que $a^2 = b^2 + a \cdot b$, que ao ser solucionado resulta em:

$$\varphi \Leftrightarrow a/b = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,618033988749 \dots$$

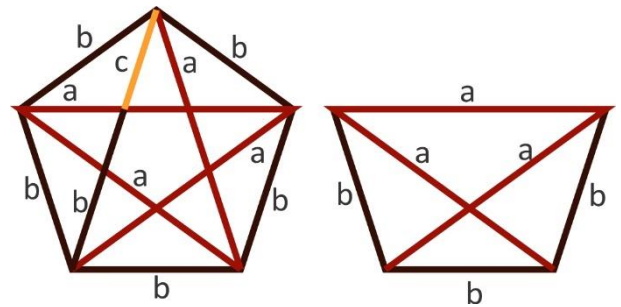


Figura 25—as proporções áureas seccionadas no pentágono ($a/b = b/c$); ao lado, o quadrilátero derivado do mesmo. Adaptado do autor

3.2.2.2. Frações contínuas de números Fibonacci

Índice	Número	Razão
0	1	—
1	1	1
2	2	2
3	3	1,5
4	5	1,6666666666666666...
5	8	1,6
6	13	1,625
7	21	1,61538461538462...
8	34	1,61904761904762...
9	55	1,61764705882353...
10	89	1,61818181818182...
11	144	1,61797752808989...
12	233	1,61805555555556...
13	377	1,61802575107296...
14	610	1,61803713527851...
15	987	1,61803278688525...
16	1597	1,61803444782168...
17	2584	1,61803381340013...
18	4181	1,61803405572755...
19	6765	1,61803396316671...
20	10946	1,6180339985218...
21	17711	1,61803398501736...
22	28657	1,6180339901756...
23	46368	1,61803398820532...
24	75025	1,6180339889579...
25	121393	1,61803398867044...
26	196418	1,61803398878024...
27	317811	1,6180339887383...
28	514229	1,61803398875432...
29	832040	1,6180339887482...
30	1346269	1,61803398875054...
31	2178309	1,61803398874965...
32	3524578	1,61803398874999...
33	5702887	1,61803398874986...
34	9227465	1,61803398874991...
35	14930352	1,61803398874989...
36	24157817	1,6180339887499...
37	39088169	1,61803398874989...
38	63245986	1,6180339887499...
39	102334155	1,61803398874989...
40	165580141	1,61803398874989...
41	267914296	1,61803398874989...
42	433494437	1,61803398874989...
43	701408733	1,61803398874989...
44	1134903170	1,61803398874989...
45	1836311903	1,61803398874989...
46	2971215073	1,61803398874989...
47	4807526976	1,61803398874989...
48	7778742049	1,61803398874989...
49	12586269025	1,61803398874989...
⋮	⋮	⋮

Tabela 2—os cinquenta primeiros números Fibonacci e suas razões. Adaptado do autor

Os números Fibonacci foram supostamente descobertos por Leonardo Bonacci (ca. 1170 – ca. 1250) em Pisa, Itália; a sequência começa com os números 1 e 1 e continua com a soma dos dois números anteriores. O curioso é que a razão entre um número e seu antecessor tende ao valor de ϕ conforme se avança os membros da sequência como visto na tabela ao lado.

3.3. ONDULATÓRIA

Lenoble (1948/2015: 53) tem Marin Mersenne (1588 – 1648) como um dos pensadores mais significantes da Era Moderna; o fato se atribui a sua importância para a Física, a Matemática, a Engenharia (quicá também para o Design De Produto) e a Acústica. O autor alega que o *opus magnum* de Mersenne, *Harmonie Universelle* (1636), demonstra que as ciências emprestam algo umas das outras (multidisciplinaridade).

O terceiro tomo de seu livro apresenta várias equações conhecidas como Leis De Mersenne, a mais famosas delas, a proposição XXII (MERSENNE. 1636–7/2010), descreve a oscilação d'uma frequência inicial numa corda, sendo portanto uma referência para o cálculo de instrumentos:

$$f = 1/2L \cdot \sqrt{T/\mu}$$

Onde: f é a frequência, em hertz (Hz, ou s^{-1}); L , o comprimento da corda em metros (m); T , a força de tensão em newtons (N, ou $kg \cdot m/s^2$) e μ , a densidade linear, ou seja, a

massa por unidade de comprimento (kg/m).

3.3.1. DERIVAÇÃO

A organização das cordas do instrumento apresentada anteriormente (ver Encordoamento) foram graças à derivação da fórmula de Mersenne. Durante a conceituação do projeto esperava-se uma fórmula derivada daquela equação que necessitasse somente da massa, do comprimento e da frequência para o cálculo da corda ideal para cada frequência, de modo a manter igual a amplitude (volume) do corpo sonoro do instrumento; através de Walker, Halliday & Resnick (2009: 151–2) tentou-se por um mês estudar os princípios da Ondulatória (Física De Ondas) para substituir os elementos desta fórmula:

— é de conhecimento que $\mu = m/L$, onde m é a massa em quilogramas (kg);

— pensando na corda como um objeto tridimensional, a massa é o contrário da densidade do material, que desta forma trabalharia com o volume do mesmo: $m = \delta \cdot V$, onde δ é densidade, em kg/m³, e V , o volume (m³).

O volume da corda, por sua vez, seria a o volume d'um cilindro: $V = L \cdot \pi \cdot d^2/4$, onde $\pi \cdot d^2/4$ é a área (seção) circular da corda—uma vez que o raio (r) é igual a metade do diâmetro/espessura (d); portanto, $\mu = \delta \cdot L \cdot \pi \cdot d^2/4 \cdot L$. Fazendo as devidas substituições:

$$f = 1/2L \cdot \sqrt{T/(\delta L \pi d^2/4L)} \Rightarrow f = 1/2L \cdot \sqrt{4LT/\delta L \pi d^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = 1/2L \cdot (2/d) \cdot \sqrt{T/\delta \pi} \Rightarrow f = 1/Ld \cdot \sqrt{T/\delta \pi}$$

Esta é a fórmula adaptada de Mersenne; o autor não havia compreendido qual o papel da força de tensão (T) na fórmula até se deparar, três meses depois com Catelli & Mussato (2013: 153–5), que demonstram esta mesma derivação e interpretam:

— T como um facilitador na mudança de parâmetros como o tipo de material⁵⁵ ou mesmo a espessura da corda⁵⁶;

— T como a massa que a corda está suportando⁵⁷ ou seja, supondo que a força de tensão d'uma corda dê 30 N, esta representa aproximadamente um peso de 3,07 kg puxando a corda já que a T pode ser derivada da aceleração da gravidade ($g = 9,80665 \text{ m/s}^2$).

Então surge uma questão: "qual a T ideal máxima para que o fio não rompa?"; para responder esta questão, o autor lembrou uma de suas aulas sobre materiais e propriedades mecânicas, onde havia estudado uma propriedade chamada Limite De Escoamento (LE), conhecida também como Tensão De Limite Elástico (TLE). O LE é a tensão (pressão) máxima que o material

⁵⁵ *Ibidem*: 154

⁵⁶ *Ibidem*: 156

⁵⁷ *Ibidem*: 156–8

suporta antes de sofrer deformação elástica/plástica; o óbvio que o leitor deve se atentar é que se a corda do instrumento musical sofrer deformação não haverá a possibilidade de afiná-lo, ocorrendo maiores chances numa nova tentativa do mesmo romper.

O LE é medido em pascals (Pa), a mesma medida da pressão, e $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg/m}\cdot\text{s}^2$; desta forma, ao saber o limite de escoamento d'um fio de determinado material é possível descobrir também a força de tensão máxima que este suporta em determinada frequência, espessura e comprimento de corda.

3.3.1.1. Equações finais

Abaixo encontram-se as três equações usadas neste projeto:

A. Derivando a fórmula adaptada de Mersenne em função de T :

$$T = \delta\pi(dfL)^2$$

B. O limite de escoamento (LE) será designado pela letra grega σ (lê-se "sigma") minúscula; pelo fato da corda ser um objeto cilíndrico a área de atuação da força de tensão é dada pela seção circular do fio (vista anteriormente):

$$\sigma = T/\pi r^2 \Rightarrow \sigma = T/\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \Rightarrow \sigma = T/\pi \frac{d^2}{4} \Rightarrow \sigma = 4T/\pi d^2$$

C. Substituindo a equação A em B:

$$\sigma = 4(\delta\pi(dfL)^2)/\pi d^2 \Rightarrow \sigma = \delta(2fL)^2$$

Uma das primeiras coisas que se observa é que um limite de escoamento (LE) pré-determina somente o tamanho máximo do fio em dada frequência; portanto, sabendo qual material (densidade), o LE deste material e a nota que se quer (frequência), é possível determinar o tamanho dos fios. Para especificar a espessura, depende-se mais da força de tensão do que o LE.

O leitor deve saber que todas estas equações são aproximações de segurança para o planejamento de instrumentos musicais; toda onda sonora é uma onda mecânica (WALKER, HALLIDAY & RESNICK. 2009: 150–2) e depende da temperatura, da pressão e do meio material. Obviamente o uso da espessura, comprimento e mesmo da densidade do material determinam cálculos mais precisos; para uma maior especificidade recomenda-se Scholl (2009), que através da amplitude (volume) utiliza praticamente as mesmas fórmulas (mas adaptadas para aquele cálculo específico) na determinação da espessura ideal de cada comprimento de corda.

A importância da Ondulatória no Design De Instrumentos Musicais também se justifica

pelo comentário inicial do projeto: muito do que foi construído veio com a experimentação; apesar de à mesma época existir pessoas como Mersenne, o estudo estava muito restrito à academia. É possível, no entanto, que os testes empíricos e as experiências pessoais destes primeiros artesãos geraram alguns instrumentos que tenham resultados similares aos apresentados neste trabalho; de toda forma “com um pouco de Física os erros dessas gerações poderiam ser evitados [tradução e adaptação do autor].” (SCHOLL. 2009: 15).

4. DESENVOLVIMENTO

“A atividade de desenvolvimento d'um novo produto não é tarefa simples. Ela requer pesquisa, planejamento cuidadoso, controle meticoloso e mais importante, o uso de métodos sistemáticos. Os métodos sistemáticos de projeto exigem uma abordagem interdisciplinar, abrangendo métodos de *marketing*, engenharia de métodos e a aplicação de conhecimentos sobre estética e estilo. Esse casamento entre ciências sociais, tecnologia e arte aplicada nunca é uma tarefa fácil, mas a necessidade de inovação exige que ela seja tentada.”.

— Baxter (2011: 3).

4.1. MATERIAIS

Através da literatura e da pesquisa de campo achou-se inúmeras possibilidades sobre materiais, além de sugestões e adaptações para o mercado nacional brasileiro.

4.1.1. MADEIRAS

Sobre o corpo e a estrutura do cravo, Hubbard (1974, *passim*: 38–9; 176–7; 199 – 204) levanta que os antigos artesãos construíam os instrumentos sobre as seguintes madeiras: abeto (*Abies spp.*), carvalho (*Quercus spp.*) cedro (*Cedrus spp.*) cipreste (*Cupressus spp.*) esprusse (*Picea spp.*) noqueira (*Juglans spp.*) e pinho (*Pinus spp.*); outro materiais como o ébano (já citado) ossos (incluindo o marfim e a casca de tartaruga) e pedras semipreciosas foram usados majoritariamente para decoração. O autor ainda indica que os construtores modernos se atenham a usar apenas o abeto/esprusse para o tampo harmônico e mecanismos, o cipreste para outras partes adjacentes à acústica do instrumento e o pinho para o "esqueleto". Alguns destes materiais são confirmados por Estrompa (2012: 9 – 13) em sua análise do cravo de Pascal Taskin de 1782 (cat. MM 1096) presente no Museu Da Música em Lisboa, Portugal; por meio da caracterização material de sua policromia exterior através de reflectografia e microespectrometria de infravermelho, e espectrometria, microscopia e microdifração de raios X.

Como citado no primeiro artigo sobre o projeto (ANDRADE, BAU & RODRIGUES. 2014: 5), o pinho e o cedro são encontrados no Brasil; os fornecedores de madeira sugeriram a substituição de noqueira e carvalho por cumaru (*Dipteryx odorata*) e o pinho e cipreste por caixeta (*Tabebuia cassinoides*). Por sua vez, Maren importa as madeiras citadas por Frank Hubbard e utiliza o cumaru e caixeta no lugar do pinho, que a mesma afirmou ser muito poroso e pouco acústico; para substituir ossos esta se utiliza do pau-marfim (*Agonandra brasiliensis*). A pesquisa retornou também a madeira de ácer/bordo (*Acer spp.*) mais conhecida como *maple* para o tampo harmônico dos instrumentos.

Ao aprofundar o conhecimento sobre madeiras constatou-se que o bordo, o cumaru o carvalho e a noqueira pertencem ao clado *Rosidae*, sendo estes dois últimos da mesma família: Fagales; o mesmo se pode dizer do cipreste, cedro, abeto, esprusse e do pinho, todos da ordem *Pinales*, os quatro últimos da família *Pinaceae*. Cabe registrar portanto, que a correta substituição das madeiras originais europeias, além das sugestões dadas, deve também explorar membros genéticos

próximos de cada espécie em qualquer local do mundo; isto abre precedentes para se explorar a madeira de caquizeiro no Brasil em substituição ao ébano por exemplo, já que ambos pertencem ao mesmo gênero *Diospyros*. Optou-se explorar a madeira brasileira roxinho (*Peltogyne paniculata*) no corpo do instrumento devido a sua cor exótica, dureza e resistência.

4.1.2. FIOS METÁLICOS

De acordo com Ripin & alii (1989, *passim*: 4 – 5; 243–4) e Hubbard (1974, *passim*: 11; 205–9, 235–6; 246), o cravo, independente de qual escola de construção usar como modelo, tinha suas cordas fabricadas em latão, para os sons mais graves, e ferro fundido para os mais agudos; um tipo de liga de latão chamado latão vermelho (*red brass*), com alto teor de cobre é indicado para os sons mais graves caso o latão normal não produza um bom timbre no instrumento. Numas das configurações indicou-se usar cobre puro para o mesmo fim. Atualmente, a maior parte dos construtores modernos substituiu o ferro pelo aço; Gehrts prefere utilizar somente latão amarelo e bronze fosforado no lugar do aço/ferro.

Assim como o tópico anterior, a pesquisa de campo realizada (ANDRADE, BAU & RODRIGUES. 2014: 4 – 5) descobriu que hoje os diâmetros (símbolo: $\emptyset$) de fios metálicos são padronizados internacionalmente e seguem três escalas diferentes: AWG—*American wire gauge*, a escala estadunidense e a mais usada para aço, latão e alumínio; BWG—*Birmingham wire gauge*, sistema britânico obsoleto ainda em uso para algumas ligas; e SWG—*standard wire gauge*, a versão britânica moderna conhecida também como escala imperial. É possível fazer correspondência de qualquer uma delas com as escalas antigas; no mercado brasileiro predominam as duas primeiras. Neste último, todo fio daquelas ligas metálicas bem como de zinco e alumínio, é utilizado apenas na Indústria para usinagem por eletroerosão; são poucos os fornecedores no país que forneçam aço, latão e cobre para pessoas físicas ou para outros fins que não os de produção (ver Materiais).

Uma tréplica d'uma mensagem de *e-mail* enviado a Claudio Di Veroli⁵⁸, especialista irlandês em restauro e música barroca franco-alemã, não indicava o uso de cobre puro já que anteriormente o autor deste trabalho havia testado o material em sete diferentes espessuras e o mesmo não suportou bem a força de tensão da afinação, deformando-se facilmente. Já tanto o latão quanto o aço adquiridos não apresentaram problemas—o primeiro artigo deste trabalho (*opus citatum*) possui erros de metodologia, agora corrigidos, para com o teste dos fios de latão.

4.2. SKETCHES

O formato do instrumento final foi definido ao se desenhar as formas das cordas em adequação ao corpo idealizado (ver Figura 26):

⁵⁸ *E-mail de contato*: <dvc@braybaroque.ie>

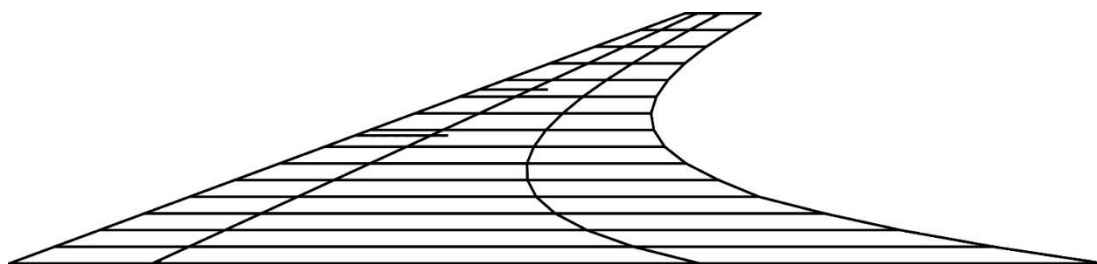


Figura 26—organização dos fios dos coros de 4' e 8' no modelo final. Adaptado do autor

Esta organização do coro de 4' (interno) e de 8' serve ao modelo virtual idealizado do virginal. Além deste, designou-se um modelo *mockup*, menor (correspondente a 1/5 do produto final) e que serve para verificação de materiais e mecânicas, para apresentação e prototipagem. Seu encordoamento corresponderá a uma única oitava ($C_4 - B_4$, ver Figura 27):

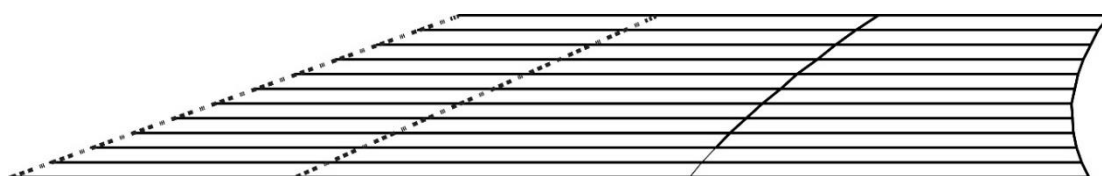


Figura 27— organização dos fios dos coros de 4' e 8' no *mockup*. Adaptado do autor

4.2.1. CORPOS

Após as medidas do teclado, quase todo o corpo do modelo virtual final baseou-se nas proporções áureas encontradas no teclado do instrumento final e os fios (Figura 28):

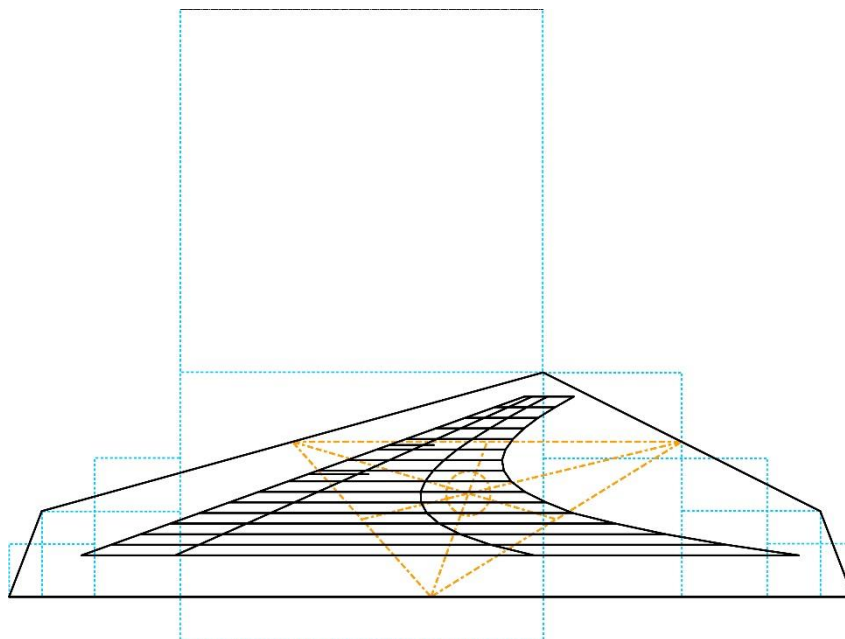


Figura 28—o corpo do modelo final e indicações das proporções áureas. Adaptado do autor

Por sua vez, o *mockup* representa 1/5 do modelo virtual e portanto seu corpo segue

algumas medidas o tanto quanto possível (Figura 29):

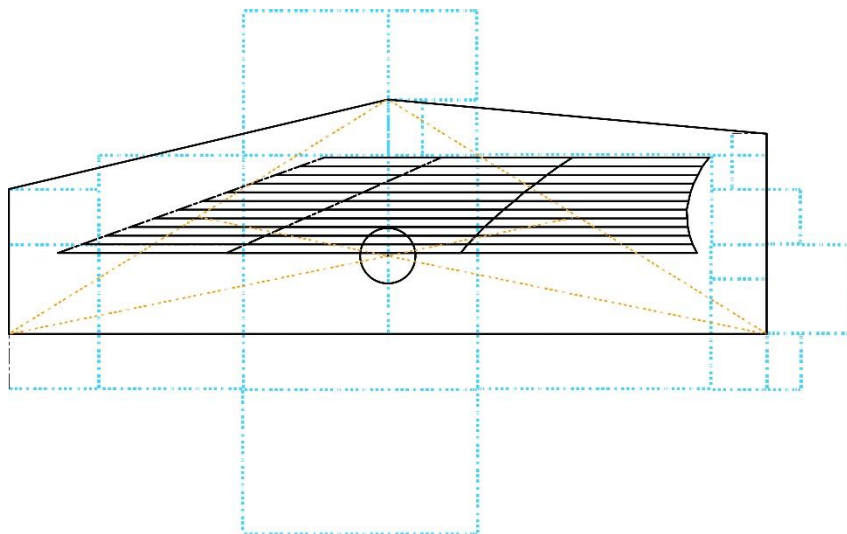


Figura 29—o corpo do modelo virtual final e indicações das proporções áureas.
Adaptado do autor

4.2.2. TECLADO

O teclado dos virginais possui formato trapezoidal (ver Figura 30), enquanto que nos instrumentos maiores este é retangular. Existe uma diferença entre o ponto de conexão das teclas “pretas” e “brancas” em ambos os casos:

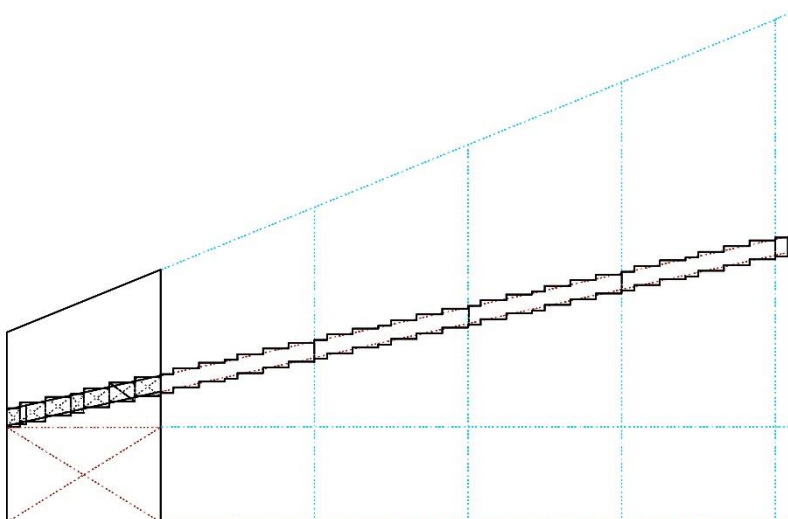


Figura 30—em destaque o teclado do *mockup* e a posição dos conectores; o teclado do modelo hipotético tem cinco oitavas, de F_1 a F_6 . Adaptado do autor

O comprimento (L) do teclado é baseado em Paschoarelli & *alii* (2010: 6 – 7), cujo valor é 189 mm, um mínimo múltiplo comum (MMC) entre as proporções da oitava (5, 7 e 12) sob os números 187,95 mm e 188,10 mm, as maiores medidas da mão de indivíduos masculinos pesquisados naquele trabalho; a escolha deveu-se a tentar achar uma medida confortável à pega manual dos

brasileiros.

4.2.2.1. Aderência

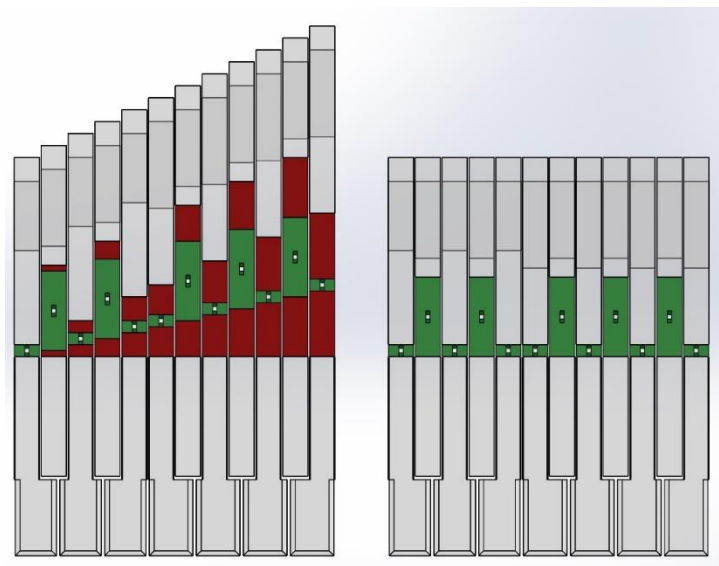
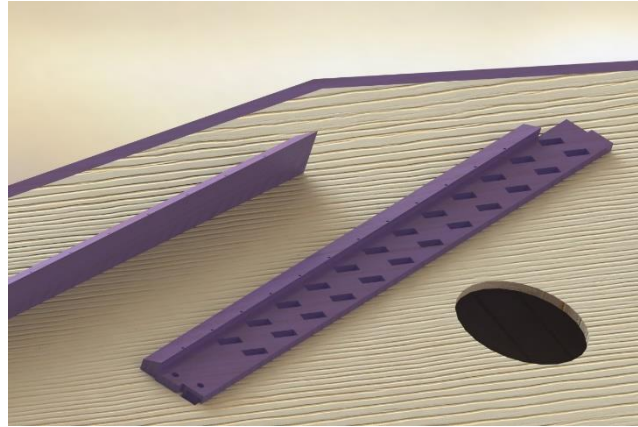
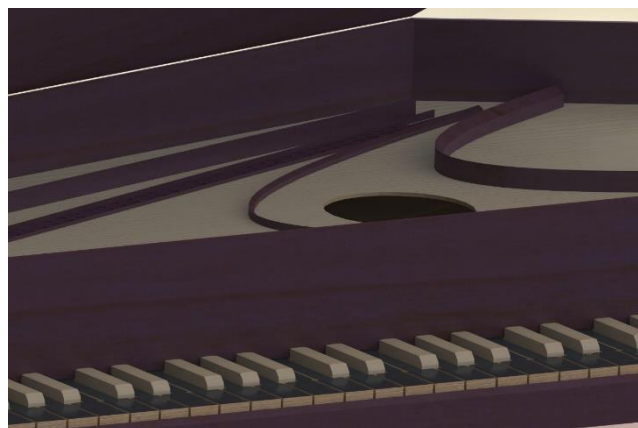
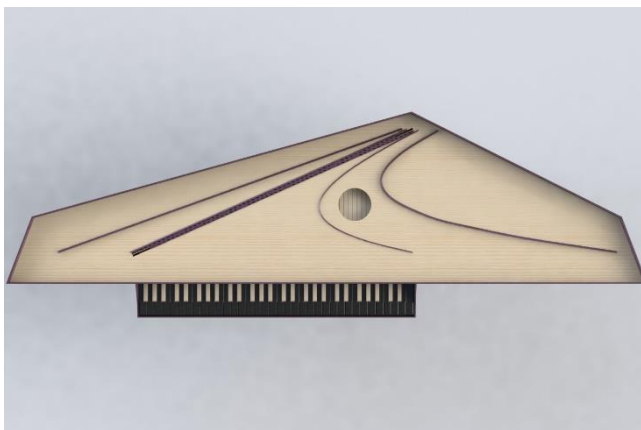


Figura 31—fluidez do esquema do teclado, gerando um teclado de usinagem para dois instrumentos diferentes ao retirar as peças vermelhas. Adaptado do autor

Inspirado em Wolfgang Zuckermann (ver O movimento autenticista) o autor decidiu criar "peças" virtuais para os modelos tridimensionais de forma a propiciar a possibilidade de arranjar um teclado tanto para cravos grandes (retangular) quanto para pequenos e médios (trapezoidal) somente ao retirar algumas peças. A seriação das peças também permite ao usuário final escolher quantas oitavas gostaria de ter em seu instrumento, tornando a personalização do instrumento mais prática e rápida. Durante o processo de prototipagem, estas "peças" (em vermelho, ver Figura 31) seriam processadas unicamente em conjunto, formando então o teclado e as alavancas que acionam o mecanismo.

4.3. *RENDERS*

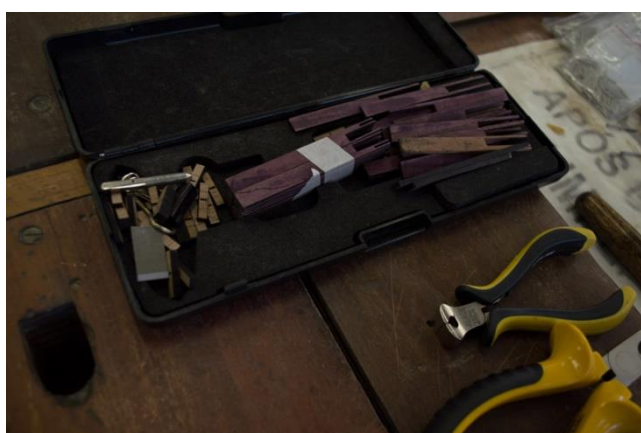
A seguir algumas imagens renderizadas a partir dos modelos virtuais em 3D do modelo final e do *mockup*:



Os dois modelos estão disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico <<http://drive.google.com/folderview?id=0B2UENIQqumVuVU1La3hzQVJyVlk&usp=sharing>>.

4.4. FOTOGRAFIAS DO *MOCKUP*

A seguir algumas fotografias do processo de montagem do *mockup*:



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto teve como ponto norteador a viabilidade de um produto musical através das possibilidades da prototipagem rápida (PR) e o uso de materiais brasileiros.

Os processos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) foram otimizado com o comando numérico computadorizado (CNC) e com as informações compiladas pelas referências, dando ênfase ao processamento da peça antes do acabamento final, o que mostra sua superioridade em relação aos antigos métodos de Marcenaria e, por outro lado, a necessidade, pelo menos no que diz respeito aos instrumentos musicais e de mobiliário fino, de ainda se haver uma fase artesanal/manual final que permita terminar a peça com responsabilidade e qualidade.

Durante a compra de materiais e o gerenciamento de custos percebeu-se que a PR aplicada aos instrumentos musicais, neste caso o cravo e outros teclados antigos, pode reduzir o custo final de material (se explorado majoritariamente os suprimentos nacionais) em até 28%, e o tempo de alguns meses para algumas semanas, algo acima da ordem de 50%. De toda forma, ao se utilizar do método de “moldura” pode-se perder uma quantidade relativa de material de até 100% dependendo de quanto mais fino e delicado a peça necessitada for.

Esperava-se um modelo que atendesse às necessidades dos estudantes e usuários amantes de Música Antiga. Obviamente o formato e algumas características não foram mudados já que o produto não venderia caso tivesse mudanças radicais de desenho, e assim, a modelagem virtual permitiu o desenvolvimento direto do produto sem a necessidade de se preocupar com muitos esboços para se determinar o produto.

Um das questões foi o barateamento do custo de materiais e a valorização do mercado nacional de madeiras; a melhoria acústica advinda desta exploração necessita de testes mais físicos para se avaliar tais pressupostos.

Infelizmente falta investimentos em relação ao acesso a madeiras de lei no Brasil, o que não ocorre ao consultar suprimentos estrangeiros.

Se considerado o aspecto de acabamento, este não fugiu muito do esperado em um instrumento artesanal, porém, a cópia acabou por ser fidedigna ao modelo virtual, o que possibilitou explorar novos coros ou mesmo medidas mais finas e delicadas no novo produto.

De toda forma, os futuros *designers* de instrumentos musicais devem se atentar às fórmulas e métodos apresentados aqui; pode-se concluir destes métodos que o limite máximo de escoamento (σ) de um fio metálico depende principalmente da frequência (f) e do comprimento (L), enquanto que a força de tensão (T) depende principalmente do diâmetro (d).

Portanto, a PR deve ser usada como uma ferramenta de corte e não apenas como um processo final, quando se tratar de instrumentos musicais; provavelmente a união de métodos manuais com os computadorizados (CNC) acarreta em um objeto construído de forma mais rápida, precisa e de maior qualidade do que se fosse criado somente artesanal ou industrialmente.

6. REFERÊNCIAS

6.1. BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, ABP; BAU, JSM; RODRIGUES, OV. O Cravo Bem Modelado: A Prototipagem Rápida Aplicada Em Instrumentos De Teclado Antigos. *In: ERGOTRIP DESIGN—Congresso de Design, Ergonomia e Interação Humano–Computador*; III; Natal, Brasil: 11–3 dez. 2014. **Anais...** Universidade Federal do Rio Grande Do Norte (UFRN); 2014. 6 p; ISBN₁₃ 978–85–425–0379–1. Disponível *online* (14 jul. 2015): <<http://academia.edu/10603799>>.

AVIZ, A.; GUERRA, CA; GUERRA, TC. Construção De Protótipos Por Adição E Remoção De Material, Comparativo Entre Deposição Em ABS x Usinagem CNC. *In: E-TECH—Atualidades Tecnológicas Para Competitividade Industrial; Metalmecânica* [nº esp.]. Florianópolis, Brasil: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial–Santa Catarina (SENAI–SC); 2012. P. 14 – 36; ISSN 1983–1838. Disponível *online* (12 jul. 2015): <<http://revista.ctai.senai.br/index.php/edicao01/article/viewFile/238/216>>.

BAXTER, MR. **Projeto de Produto**—Guia Prático Para O Design De Novos Produtos; 3ª ed.; trad. Itiro Iida. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher Ltdª; 2011. 344 p.; ISBN₁₃ 978–85–212–0614–9.

BRUSCATO, UM & *alii*. Projeto De Produto Utilizando Processos De Modelagem Paramétrica, Prototipagem E Fabricação Digital. *In: P&D DESIGN—Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*; XI; Gramado, Brasil: 30 set. – 2 out. 2014. **Anais...** [= **BLUCHER Design Proceedings**; vol. 1, nº 4]. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher Ltdª; 2014. 12 p.; ISSN 2318–6968. Disponível *online* (12 jul. 2015): <<http://proceedings.blucher.com.br/download-pdf/233/12830>>.

CARDOSO, R. (org.); FLUSSER, V. **O Mundo Codificado**—Por Uma Filosofia Do Design E Da Comunicação; 3ª reimpr.; trad. Raquel Abi-Sâmara. São Paulo, Brasil: Cosac Naify Ltdª; 2012. 224 p; ISBN₁₃ 978–85–7503–593–1.

CATELLI, F.; MUSSATO, GA. Tensão, Calibre E Frequência Das Cordas De Instrumentos. *In: ENCONTRO ESTADUAL DE ENSINO DE FÍSICA*; V; Porto Alegre, Brasil: 17–9 out. 2013. **Atas...** Universidade Federal do Rio Grande Do Sul (UFRGS); 2013. P. 151–8; ISBN₁₃ 978–85–64948–09–9. Disponível *online* (17 dez. 2014): <http://if.ufrgs.br/mpef/5eeefis/V_EEEFis-RS/Atas_V_EEEFis_RS.pdf>.

DÓCZI, GF. **O Poder Dos Limites**—Harmonias E Proporções Na Natureza, Arte E Arquitetura; 3ª ed.; trad. Júlia Bárány Bartolomei & Maria Helena De Oliveira Tricca. São Paulo, Brasil: Mercuryo Ltdª; 2012. 149 p.; ISBN₁₃ 978–85–7272–305–3.

EFUNDA—Engineering Fundamentals, Inc. **Rapid Prototyping: An Overview** [inglês]. Sunnyvale, Estados Unidos: 14 jul. 2013. [Pu]. Disponível *online* (18 jul. 2015): <http://efunda.com/processes/rapid_prototyping/intro.cfm>.

ESTROMPA, RLM. V. **Cravo De Pascal Taskin (1782)**: Caracterização Material Da Policromia Exterior; jan. 2012. Dissertação (Mestrado em Conservação e Restauro, especialização em Ciências da Conservação); Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologias (FCT)–Universidade Nova de Lisboa (UNL); 2012. 94 p. Disponível *online* (16 fev. 2015): <<http://hdl.handle.net/10362/6881>>.

FAGERLANDE, M. **O Cravo No Brasil**. Rio De Janeiro, Brasil: Marcelo Fagerlande [Website]; 2005. Disponível *online* (17 jun. 2015): <http://marcelofagerlande.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=59>.

GILES, J. *Special Report Internet Encyclopaedias Go Head To Head* [inglês]. In: **NATURE**; vol. 438, nº 7070. London, Reino Unido: Nature Publishing Group (NPG)–Verlagsgruppe Georg Von Holtzbrinck GmbH; 15 dez. 2005. P. 900–1; ISSN 0028–0836. Disponível *online* (19 jul. 2015): <<http://nature.com/nature/journal/v438/n7070/pdf/438900a.pdf>>.

HAILPERIN, M.; KAISER, B.; KNIGHT, K. **Concrete Abstraction—Introduction To Computer Science Using Scheme** [inglês]. Pacific Grove, Estados Unidos: Brooks/Cole Publishing Co–International Thomson Publishing Co (ITP); 1999. 670 p.; ISBN₁₃ 978–0–534–95211–2.

HUBBARD, F. **Three Centuries Of Harpsichord Making** [inglês]; 4ª reimpr. Cambridge, Estados Unidos: Harvard University Press; 1974. 373 p.; ISBN₁₃ 978–0–674–88845–6.

KIPNIS, I. (org.). **The Harpsichord And Clavichord—An Encyclopedia** [inglês]; 2ª ed.; série *Encyclopedia Of Keyboard Instruments*. London, Reino Unido: Routledge–Taylor & Francis Group LLC–Informa PLC; 2014a. 576 p.; ISBN₁₃ 978–1–138–79145–9.

KOSTER, J. *Italian Harpsichords And The Fugger Inventory* [inglês]. In: **THE Galpin Society Journal**; vol. 34. London, Reino Unido: The Galpin Society; mar. 1981 [= Edição *fac simile*: Journal Storage (JSTOR)–Ithaka Harbors, Inc.; 2015]. P. 149 – 151. Disponível *online* (2 jul. 2015): <<http://jstor.org/stable/841480>>.

KOTTICK, EL. **A History Of The Harpsichord** [inglês]. Bloomington, Estados Unidos: Indiana University Press; 2003. 576 p.; ISBN₁₃ 978–0–253–34166–2.

KOTTICK, EL; LUCKTENBERG, G. **Early Keyboard Instruments In European Museums** [inglês]. Bloomington, Estados Unidos: Indiana University Press; 1997. 304 p.; ISBN₁₃ 978–0–253–33239–4.

LENOBLE, R. *Quelques Aspects D'une Revolution Scientifique—A Propos Du Troisième Centenaire Du P. Mersenne (1588 – 1648)* [francês]. In: **REVUE D'Histoire De Sciences Et Leurs Applications**; vol. 2, nº 1. Paris, França: Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR); 1948 [= Edição *fac simile*: Persée Scientific Journals; 2015]. P. 53 – 79. Disponível *online* (31 jul. 2015): <http://persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rhs_0048-7996_1948_num_2_1_2730>.

MERSENNE, M. *Proposition XXII* [francês/latim]. _____. *Harmonie Universelle, Contenant La Theorie Et La Pratique De La Musique; Du Mouvement, De La Tension, De La Force, De La Pesanteur, & Des Autres Proprietez Des Chordes Harmoniques, & Des Autres Corps* [vol. 3]. Paris, França: Sébastien Cramoisy; 1636–7. P. 221–4 [= Edição *fac simile*: Gallica Bibliothèque Numérique–Bibliothèque Nationale de France (BNF) & Miwarre; 2 set. 2010. P. 65–8]. Disponível *online* (31 jul. 2015): <http://petrucci.mus.auth.gr/imglnks/usimg/c/ce/IMSLP77424-PMLP156089-MersenneM_HarmUniv_Pt1_03.pdf>.

PASCHOARELLI (org.) & *alii*. Antropometria Da Mão Humana: Influência Do Gênero No Design Ergonômico De Instrumentos Manuais. In: **AÇÃO Ergonômica**—Revista Brasileira de Ergonomia; vol. 5, nº 2. [Sl]: Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO); 2010. 8 p.; ISSN 1519–7859. Disponível *online* (27 jun. 2015): <<http://abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/83>>.

RE-CREATING The Clavisimbalum Of The Minden Cathedral Altarpiece [inglês]. [Sl]: Square Piano Tech [Website]; abr. 2012. Disponível *online* (6 jun. 2015): <<http://squarepianotech.com/wp-content/uploads/2012/04/minden-altar-1.1.pdf>>.

RIPIN, EM (org.) & *alii*. **Early Keyboard Instruments** [inglês]; série *The New Grove Musical Instruments*. New York, Estados Unidos: WW Norton & Cº; 1989. 313 p.; ISBN₁₃ 978–0–393–30515–9.

SCHOLL, K. **Stringing The Harpsichord**—*Some Physical Considerations* [inglês]. Jestetten, Alemanha: Marc Vogel GmbH; 2009. 20 p. Disponível *online* (26 abr. 2014): <<http://vogel-scheer.de/images/pdf/Infos/Saiten-Scholl-StringingTheHarpsichord-en.pdf>>.

SOARES, C. [Calimério Augusto Soares Netto]. *Artesanos Del Clave Em Brasil* [espanhol]. In: **FILOMUSICA ¡Amor A La Música!**—*Revista De Música Culta*; nº 20. [Snt]: set. 2001. [Pu]. ISSN 1576–0464. Disponível *online* (27 jul. 2015): <<http://filomusica.com/filo20/tito.html>>.

_____. O Cravo Na Contemporaneidade. In: **SINFONÍA Virtual**—*Revista De Música Clásica Y Reflexión Musical*; nº 16. [Snt]: Sinfonía Virtual [Website]; jul. 2010. [Pu]. ISSN 1886–9505. Disponível *online* (27 jul. 2015): <http://sinfoniavirtual.com/revista/016/o_cravo_na_contemporaneidade.php>.

THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES. **Diospyros crassiflora** [inglês]. [Sl]: 24 jul. 2013. [Pu]. Disponível *online* (27 jul. 2015): <<http://iucnredlist.org/details/33048/0>>.

VOLPATO, N. (org.) & *alii*. **Prototipagem Rápida**—Tecnologias E Aplicações; 1ª reimpr. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher Ltdª; 2013. 244 p.; ISBN₁₃ 978–85–212–0388–9.

WALKER, J. (org.); HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos De Física**; Gravitação, Ondas E Termodinâmica [vol. 2]; 8ª ed.;

trad. Ronaldo Sérgio De Biasi. Rio De Janeiro, Brasil: Livros Técnicos & Científicos SA (LTC)—Grupo Editorial Nacional (GEN); 2009. 295 p; ISBN₁₃ 978-85-216-1903-1.

WTEC—World Technology Evaluation Center. *Rapid Prototyping In Europe And Japan* [inglês]; *Analytical Chapters* [vol. 1]. Dearborn, Estados Unidos: Rapid Prototyping Association (RPA)—Society of Manufacturing Engineers (SME); mar. 1997. 147 p.; ISBN₁₃ 978-1-883712-44-0. Disponível *online* (18 jul. 2015): <http://wttec.org/pdf/rp_vi.pdf>.

6.1.1. NORMAS

ISO—International Organization for Standardization. *Standard Tuning Frequency (Standard Musical Pitch)* [inglês]; [SI]: ISO-16/1975; 1 jan. 1975 (rev. 2011). [Pu]. Disponível *online* (2 nov. 2014): <http://iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=3601>.

6.1.2. PATENTES

BLANTHER, JE. *Manufacture Of Contour Relief-Maps* [inglês]. Estados Unidos: US-473901-A; 3 maio 1892. [Pu]. Disponível *online* (25 jul. 2015): <<http://google.com/patents/US473901>>.

6.1.3. VERBETES

"HOLZSPRINGER MIT MESSINGPLEKTRUM". In: MARC VOGEL GMBH. *Mechanik/Mechanics/Mechanique/Meccanica* [alemão & alij]. Jestetten, Alemanha: [sa]. 18 p. Disponível *online* (27 jul. 2015): <<http://vogel-scheer.de/images/pdf/katalog/1.%20mechanik.pdf>>.

"DECIMAL EXPANSION OF GOLDEN RATIO PHI (OR TAU) = (1 + SQRT(5))/2". In: SLOANE, NJA. *The On-line Encyclopedia Of Integer Sequences* [inglês]. [SI]: The OEIS Foundation, Inc.; 30 abr. 1991. [Pu]; cat. OEIS nº A001622. Disponível *online* (3 maio 2015): <<http://oeis.org/A001622>>.

6.2. DISCOGRÁFICAS

ARISAWA, T. [有澤孝紀]. 闇からの目覚め [f. 23]. In: デジモンアドベンチャー歌と音楽集 Ver. 2 [japonês]. 東京 ["Tōkyō"], Japão: NECインターチャネル株式会社—株式会社インデックス; 2000. 1 áudio (1 min e 38 s); formato MP3, estéreo; 4 MB. Disponível *online* (11 jul. 2015): <<http://mediafire.com/download/qoj9m43ug4gu4kn/23+-+Yami+kara+no+Mezamase+~Vandemon+no+Theme~.mp3>>

STEINKIRCH, E. [Estrela Mariana Prux Von Steinkirch Souza] (org.); EQUIPE SCICAST. Música: Aquele Com A Música Do Universo [ep. 83]. In: EQUIPE SCICAST. *SciCast*—Porque A Ciência Tem Que Ser Divertida. [SI]: 29 mai. 2015. 1 áud. (2 h, 6 min e 39 s); form. MP3 estéreo; 78,4 MB. Disponível *online* (30 jun. 2015): <<http://scicast.com.br/83-musica>>.

6.3. ICONOGRÁFICAS

CASSAN [Malcolm Messiter]. *Replacement Jacks For Early Music Shop Harpsichord From 1976* [inglês]. London, Reino Unido: Thingiverse–Makerbot Industries, LLC; 15 jun. 2013. 1 ima. (1417 px × 715 px): form. JPEG, color.; 626 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <<http://thingiverse.com/thing:104143>>.

CHINNERY, T. *Clavicembalo D'Ebano Di Cristofori*. Vicchio, Itália: Tony Chinnery Clavicembali [Website]; [sa]. 1 ima. (1134 px × 504 px): form. JPEG, color.; 468 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <http://it.early-keyboard.com/Ebony_harpsichord.htm>.

CORTIVO, E. *Girolamo Zenti (1668)* [italiano]. [SI]: Elena Dal Cortivo (Website); 2000. 1 ima. (630 px × 630 px): form. JPEG, color.; 444 KB. Disponível *online* (14 nov. 2006): <http://parchmentroses.com/imgs/g_zenti_1668.jpg>.

FONDAZIONE CASSA DI RISPARMIO DI MODENA. *Cembalo. Marmo Bianco Di Carrara, cm 267 × 80* [italiano]. Modena, Itália: Galleria Estense; 2015. 1 ima. (630 px × 918 px): form. JPEG, color.; 461 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <<http://galleriaestense.org/opera/cembalo/>>.

GAMBERI, G. *16th - 17th Century Italian Harpsichord Of The Inner/Outer Tipe* [inglês]. [Snt]. 1 ima. (1008 px × 675 px): form. JPEG, color.; 618 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <http://gabrielegamberi.com/Immagini/1d_copia_95kb.jpg>.

JANOT, G. *Virginal Polygonal De Dominicus Pisaurensis (Venise, Milieu Du 16^e Siècle) – Berlin, Musikinstrumentenmuseum. Cat.-N° 324* [francês]. [SI]: Wikimedia Foundation, Inc.; 28 maio 2010. 1 ima. (1512 px × 538 px): form. JPEG, color.; 456 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <http://fi.wikipedia.org/wiki/Virginaali#/media/File:Virginal_Pisaurensis.JPG>.

MARQUES, RJ. *Roberto De Regina Abre Temporada Da Solo Música*, No Teatro Da Caixa. [SI]: Blog do Curitibamania [Website]; 7 fev. 2011. 1 ima. (661 px × 472 px): form. JPEG, color.; 286 KB. Disponível *online* (2 jul. 2015): <<http://cwbmania.blogspot.com.br/2011/02/roberto-de-regina-abre-temporada-da.html>>.

MUSEU DA MÚSICA DE MARIANA. *Restauo Do Órgão Da Catedral Anglicana De São Paulo*. Mariana, Brasil: Facebook [Website]; 12 jul. 2014. 1 ima. (882 px × 990 px): form. JPEG, color.; 431 KB. Disponível *online* (2 jul. 2015): <<http://facebook.com/restaurodoorgao/posts/707745395973438>>.

PADOVANO, LS. *Apoio Da Mesa*. São Paulo, Brasil: Flickr–Yahoo!, Inc.; 19 abr. 2010. 1 ima. (1260 px × 711 px): form. JPEG, color.; 531 KB. Disponível *online* (2 jul. 2015): <<http://flickr.com/photos/lorenzopa/5638236611>>.

PLATTE, V. *Alessandro Trasuntino (1531)* [inglês]. Remscheid, Alemanha: Volker Platte Cembalobaumeister GmbH; [sa]. 1

ima. (504 px × 765 px): form. JPEG, color.; 260 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <http://volkerplatte.de/img_werkstatt/werkstatt_neu_1-5_640.jpg>.

PRAETORIUS, M. [Michael Schultze]. XIV. In: _____. *Syntagma Musicum* [alemão/latim]; *De Organographia* [vol. 2]. Wolfenbüttel, Alemanha: Elias Holwein; 1620 [= Edição *fac simile*: Konrad Stein & Ralph Theo Misch; 2010]. 1 ima. [= P. 290] (768 px × 1024 px): form. JPEG, p&b; 582 KB. Disponível *online* (10 jul. 2015): <<http://imslp.nl/imglnks/usimg/8/8e/IMSLP68476-PMLP138176-PraetoriusSyntagmaMusicumB2.pdf>>.

THE Jacks Are Metal [inglês]. [Sl]: [sn]; 2009. 1 ima. (1417 px × 715 px): form. JPEG, color.; 626 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <http://w140.com/kurt/harps/ruler_jack.jpg>.

THE UNIVERSITY OF EDINBURGH EXHIBITIONS. *Double-Manual Harpsichord. (1764)* [inglês]. Edinburgh, Reino Unido: 2015. 1 ima. (1134 px × 756 px): form. JPEG, color.; 686 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <<http://exhibitions.ed.ac.uk/record/23201>>.

WELLINGTON101-0001. *Harpsichord Jacks—Original William De Blaise Wooden Jacks—Limited Stock* [inglês]. London, Reino Unido: eBay, Inc.; 17 jul. 2015. 1 ima. (1417 px × 715 px): form. JPEG, color.; 626 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <<http://ebay.ie/itm/Harpsichord-Jacks-Original-William-de-Blaise-Wooden-Jacks-Limited-Stock-/252030214851>>.

XINTECH03 [XINTECH—Xintech CNC Machinery Cº Ltd]. *Guitar Making CNC Router, 8 Heads Musical Instrument CNC Wood Carving Machines, Turkey Mold Wood Car* [inglês]. 青岛 [Qīngdǎo], China: YouTube, LLC—Google, Inc.; 14 maio 2015. 1 ima. (1134 px × 638 px): form. JPEG, color.; 457 KB. Disponível *online* (25 jul. 2015): <<http://youtube.com/watch?v=VsOk8q65fmA>>.

ZHI—Zuckermann Harpsichords International LLC. *ZHI Neapolitan Harpsichord Kit* [inglês]. Stonington, Estados Unidos: 3 jul. 2008. [Pu]. 1 ima. (1260 px × 756 px): form. JPEG, color.; 461 KB. Disponível *online* (31 jul. 2015): <<http://zhi.net/instr/IN51ZHI-K.shtml>>.

6.4. VIDEOGRÁFICAS

KANJI, R. (org.); CASTANHA, P.; MARANHÃO, R. *História Da Música Brasileira*; dir. Reinaldo Volpato. São Paulo, Brasil: CEPEC—Centro de Produções Editoriais e Culturais Ltda; mar. 1999 [= Edição virtual: YouTube, LLC—Google, Inc.; abr. 2012]. 1 sér., 10 ep. (28 min /cada): color., son. estéreo; SDTV 4 × 3. Cat. CEPEC nº 011.282–4671. Disponível *online* (2 jul. 2015): <<http://youtube.com/watch?v=WO1Uwyn62v4&list=RDWO1Uwyn62v4>>.

KETELONEBRASIL [Ketel One Vodka—Double Eagle Brands Holding NV]. *Artesão Contemporâneo – William Takahashi*; dir. João Jardim. São Paulo, Brasil: YouTube, LLC—Google, Inc.; 4 jul. 2011. 1 víd. (5 min e 3 s): form. FLV, color., son. estéreo; HD720. Disponível *online* (1 jul. 2015): <<http://youtube.com/watch?v=xKnf2CtRw5A>>.

MAAD, K. **Atelier David Boinnard** – *Muselaar Flamand D'après Ionnaes Rückers (1623) – 2/2* [francês]; dir. Maëlen Ripe. Dugny-Sur-Meuse, França: M3 Production; 2012 [= Edição virtual: YouTube, LLC–Google, Inc.; 15 jun. 2012]. 1 víd. (1 min 47 s): color., son. estéreo; HD720. Disponível *online* (23 abr. 2015): <<http://youtube.com/watch?v=U2UAiE14-eU>>.

SAGAN, C. (org.); DRUYAN, A.; SOTER, S. *Harmony Of The Worlds* [ep. 3]. In: _____. **Cosmos—A Personal Voyage** [inglês]; dir. Adrian Malone. Los Angeles, Estados Unidos: KCET–Public Broadcasting Service (PBS); 12 out. 1980 [= Edição virtual: YouTube, LLC–Google, Inc.; 11 jun. 2011]. 1 víd. (58 min e 45 s): color., son. estéreo; SDTV 4 × 3. Disponível *online* (1 jul. 2015): <<http://youtube.com/watch?v=N9C0MpJvymU>>.

