

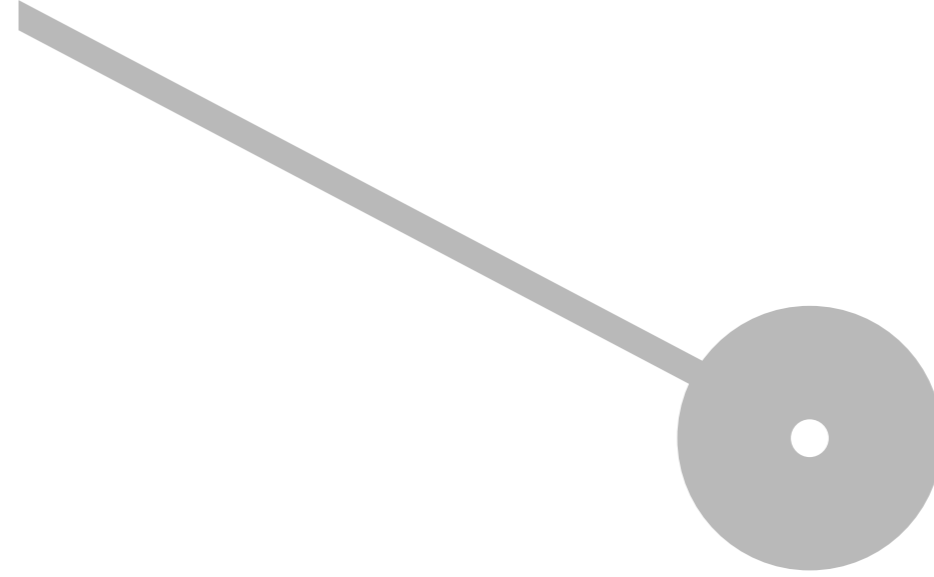
Guitarra Clássica/Cordofones: projeto de  
design e construção de um instrumento  
musical  
Maria Isabel Costa Nunes

Maria Isabel Costa Nunes. Guitarra Clássica/Cordofones: projeto de design e  
construção de um instrumento musical

# Guitarra Clássica/Cordofones: projeto de design e construção de um instrumento musical

Maria Isabel Costa Nunes

07/2023



Politécnico do Porto  
Escola Superior de Media Artes e Design

Maria Isabel Costa Nunes

**Guitarra Clássica/Cordofones: projeto de design e construção de um  
instrumento musical**

Trabalho de Projeto

**Mestrado em Design**

Orientação: Prof.<sup>(a)</sup> Doutor(a) Cristina Ferreira Fonseca Lousada Soares

Coorientação: Prof. Doutor Filipe Cunha Monteiro Lopes

Vila do Conde, julho de 2023

Maria Isabel Costa Nunes

**Guitarra Clássica/Cordofones: projeto de design e construção de um  
instrumento musical**

Trabalho de Projeto  
Mestrado em Design

**Membros do Júri**

Presidente

Prof.<sup>(a)</sup> Doutor(a) Dirk Gerard Celina Robert Loyens

Escola Superior de Media Artes e Design – Instituto Politécnico do Porto

Prof.<sup>(a)</sup> Doutor(a) Cristina Ferreira Fonseca Lousada Soares

Escola Superior de Media Artes e Design – Instituto Politécnico do Porto

Prof. Doutor Demétrio Ferreira Matos

Escola Superior de Design – Instituto Politécnico do Cávado e do Ave

Vila do Conde, julho de 2023

Para os futuros designers de instrumentos,

## AGRADECIMENTOS

A execução desta proposta de projeto contou com importantes apoios e incentivos que o orientaram até se tornar realidade e aos quais passo a agradecer.

À docente Cristina Lousada Soares e ao docente Filipe Lopes, pela sua orientação, pelo apoio, pela disponibilidade, pelos conhecimentos transmitidos e pelas opiniões críticas, que impulsionaram novos rumos no projeto.

Ao Sr. Alfredo Teixeira, construtor de cordofones da Casa da Guitarra, pelo acolhimento, pela disponibilidade e cooperação na execução do protótipo e pelas ideias e soluções sugeridas. Também pela transmissão de conhecimentos práticos e teóricos relacionados com a construção de um cordofone, que me permitiu focar os assuntos mais relevantes a abordar no meu relatório.

Ao Alexandre Oliveira, pela disponibilidade e ajuda na execução do protótipo, pelas soluções sugeridas, pela boa disposição e histórias partilhadas.

Ao docente Horácio Tomé-Marques, pelo interesse, entusiasmo e incentivo dado ao longo do processo projetual. Assim como, pelas referências sugeridas, pela disponibilidade e envolvimento ativo no projeto.

Ao técnico da nossa oficina da ESMAD, Sérgio Bessa, pela paciência, disposição e tempo que tivemos de investir na execução de uma das partes do projeto.

Aos docentes que acompanharam nas sessões coletivas, Abel Tavares, Ana Coelho, Marta Fernandes, Pedro Serapicos e Vítor Quelhas, pelas opiniões e diretrizes que foram sugerindo durante o processo de desenvolvimento do projeto.

À minha colega Telma Oliveira, pelo apoio incondicional, pelas ideias sugeridas e por ter estado sempre disponível durante o desenvolvimento do projeto.

Por último, porque sempre me estimularem a dar o meu melhor e a ter uma melhor noção do tempo para trabalhar, pela sua paciência, pelo seu apoio incondicional, incentivo e disponibilidade na resolução dos obstáculos que foram surgindo ao longo do projeto, dirijo um agradecimento especial aos meus pais.

## RESUMO ANALÍTICO

A área da música, a sua relação e influência com o ser humano é bastante diversa, integrando desde os estudos sobre a prática musical, o estudo de diferentes instrumentos e géneros musicais até à psicologia e ciência. Contudo, o foco desta proposta de projeto é o design de instrumentos musicais, particularmente, instrumentos cordofones – nos quais, a principal influência é a guitarra clássica.

O objetivo principal, neste projeto, é a aplicação da teoria investigada na construção de um protótipo de um instrumento cordofone, baseado na guitarra clássica. Para isso, foi necessário recolher dados relativos aos cordofones, à guitarra clássica e sua construção, aos aspetos mais pertinentes da acústica e ergonomia. Quanto à componente prática, a mesma contou com a orientação de um construtor de cordofones, que transmitiu conhecimentos teóricos e práticos relacionados com a construção de um instrumento cordofone.

Deste projeto resultou um protótipo funcional de um novo instrumento musical, com características ligadas a diferentes cordofones, englobando alguns componentes que permitem que o mesmo funcione acusticamente, sem a necessidade de um amplificador.

**Palavras-chave:** Guitarra Clássica; Cordofones; Design de instrumentos musicais; Construção da guitarra; Design de Produto.

## ABSTRACT

The music field, its relationship and influence with the human being is quite diverse, integrating from studies on musical practice, study of different musical instruments and genres to psychology and science. However, the main scope of this project proposal is the design of musical instruments, particularly, string instruments - in which, the main influence is the classical guitar.

In this project, the main goal is the application of theoretical review in the construction of a prototype of a string instrument, based on the classical guitar. For that, it was necessary to compile data regarding the string instruments, the classical guitar and its construction, the most pertinent aspects of acoustics and ergonomics. As for the practical component, it had the guidance of a maker of string instruments, who transmitted theoretical and practical knowledge related to the construction of a string instrument.

A functional prototype of a new musical instrument resulted from this project, with characteristics related to different chordophones, including some components that allow it to work acoustically, without the need for an amplifier.

**Keywords:** Classical Guitar; String Instruments; Musical Instrument Design; Guitar making; Product Design.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO ANALÍTICO .....	v
Palavras-chave:.....	v
ABSTRACT.....	vi
Keywords: .....	vi
Lista de figuras.....	x
Glossário .....	xiii
0 – INTRODUÇÃO.....	15
0.1 Enquadramento.....	15
0.2 Motivação.....	16
0.3 Objetivos .....	16
0.4 Metodologia de trabalho.....	16
0.5 Estrutura do Relatório.....	17
1 – CORDOFONES .....	19
1.1 Componentes principais de cordofones.....	19
1.2 Cordas .....	21
1.2.1 Comprimento das cordas.....	22
1.2.2 Propriedades Físicas das Cordas.....	23
1.3 Tipologia de Cordofones.....	23
1.4 Guitarra Clássica .....	24
1.4.1 Breve história.....	25
1.4.2 Principais Componentes.....	27
1.4.3 Construção.....	28
2 – CONCEITOS ACUSTICOS RELEVANTES.....	31

2.1 Vibração sonora.....	31
2.2 Ressonância e Frequência Natural.....	32
2.3 Radiação sonora.....	33
2.4 Sistema excitador, sistema ressoador e sistema radiante.....	34
2.5 Espaçamento dos trastes .....	35
3 - ERGONOMIA.....	37
3.1 Caminhos de intervenção do design .....	39
3.2 Notas/Observações retiradas.....	40
4 – ESTUDOS DE CASO.....	42
4.1 Silent Guitar .....	42
4.2 <i>Pipa</i> .....	44
4.3 Scalloped Fretboard Guitar.....	45
4.4 Outras menções.....	47
5 – DESENHO E CONCEPTUALIZAÇÃO .....	49
5.1 Briefing autoproposto.....	49
5.2. Esboços Iniciais .....	50
5.3 Caracterização do instrumento .....	55
5.3 Esboços intermédios e de exploração.....	56
5.4 Conceito do instrumento.....	60
6 - MAQUETES.....	62
6.1 Maquetes de volume .....	62
6.2 Maquetes de estudo.....	63
7 - PROTÓTIPO.....	67
7.1 Materiais .....	67
7.2 Desenho Técnico.....	69
7.3 Construção do Protótipo .....	71

7.4 Fotografias do Protótipo.....	93
EXPLORAÇÕES FUTURAS.....	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
ANEXOS .....	108
Anexo A – Alteração final do braço para o corte na CNC .....	109
Anexo B – Desenho Técnico da Cabeça, Cavalete e Pente.....	110
Anexo C – Registo da Modelação 3D e renders de teste .....	112

## Lista de figuras

Figura 1 - Esquema ilustrativo da caixa de ressonância (2) e dos pontos de fixação das cordas (3).....	19
Figura 2 - Dedilhar uma corda (de uma Guitarra Portuguesa).....	20
Figura 3 - Friccionar uma corda (de um Violino).....	20
Figura 4 - Percutir uma corda (de um <i>Dulcimer</i> ).....	21
Figura 5 - Esquema com a demarcação a vermelho da escala (comprimento da corda) .....	22
Figura 6 - Cítara, lira e harpa.....	24
Figura 7 - Cordofones antecessores à guitarra clássica.....	25
Figura 8 - Guitarra clássica, modelo de António de Torres, 1864.....	26
Figura 9 - Esquema com a localização dos componentes principais da guitarra.....	28
Figura 10 - Guitarra de <i>papier mâché</i> de António de Torres.....	29
Figura 11 - <i>Joe e Josephine, Designing for People</i> , Henry Dreyfuss.....	37
Figura 12 - Esquema das possibilidades de design de instrumentos.....	39
Figura 13 - Tabela de antropometria da mão.....	41
Figura 14 - <i>Silent Guitar</i> , modelo SLG200S da Yamaha.....	43
Figura 15 - <i>Pipa</i> , instrumento musical.....	45
Figura 16 - <i>Scalloped Fretboard Guitar</i> .....	46
Figura 17 - <i>Veena</i> , instrumento musical.....	46
Figura 18 - Guitarra Portuguesa, modelo de Coimbra.....	47
Figura 19 - <i>Koto</i> em performance.....	48
Figura 20 - Esboços iniciais para a forma do corpo do instrumento.....	50
Figura 21 - Esboços iniciais de desconstrução do desenho de uma guitarra em formas simples.....	51
Figura 22 - Esboços iniciais, simetria vs. assimetria.....	52
Figura 23 - Esboços iniciais para o corpo do instrumento.....	53
Figura 24 - Esboços da recolha e primeiros estudos de cabeças de guitarras.....	53
Figura 25 - Continuação do estudo para a cabeças do instrumento.....	54
Figura 26 - Esboço final para o corpo do instrumento.....	54
Figura 27 - Esboços da exploração dos trastes.....	57

Figura 28 - Esboços iniciais para o braço como peça autónoma.....	57
Figura 29 - Esboços para o braço e cavalete.....	58
Figura 30 - Esboços e apontamentos para o braço.....	59
Figura 31 - Esquema da ligação entre o corpo e o braço.....	60
Figura 32 - Maquetes de estudo da curvatura para o corpo do instrumento.....	62
Figura 33 - Maquete de volume do instrumento à escala real.....	63
Figura 34 - Maquete de estudo do braço e a sua integração no corpo.....	64
Figura 35 - Pormenor dos trastes.....	65
Figura 36 - Pormenor do cavalete móvel.....	65
Figura 37 - Maquete de estudo em balsa.....	66
Figura 38 - Mogno Sapele .....	68
Figura 39 - Abeto Europeu .....	68
Figura 40 - Teste da rampa dos trastes.....	71
Figura 41 - Primeira tentativa de corte do braço .....	72
Figura 42 - Corte do braço em CNC .....	72
Figura 43 - Esquema da furação para a colocação dos afinadores .....	73
Figura 44 - Braço do instrumento, sem cabeça .....	73
Figura 45 - Esquema da execução manual das ranhuras .....	74
Figura 46 - Pente e Cavalete.....	74
Figura 47 - Braço completo com cordas.....	75
Figura 48 - Molde para as ilhargas com as duas peças de união.....	76
Figura 49 - Colagem das metades para o tampo.....	77
Figura 50 - Colagem das metades para o tampo.....	77
Figura 51 - Farol.....	78
Figura 52 - Dobragem das ilhargas com o farol.....	78
Figura 53 - Ilharga no molde para a marcação de corte.....	79
Figura 54 - Colocação dos grampos após a colagem das ilhargas.....	79
Figura 55 - Colagem das metades para o fundo.....	80
Figura 56 - Corte da madeira para os cerquilhos .....	81
Figura 57 - Aplicação dos cerquilhos nas ilhargas .....	81
Figura 58 - Curvatura na ponta da travessa .....	82
Figura 59 - Detalhe do rebaixo no cerquilho .....	82

Figura 60 - Colagem das travessas nos cerquilhos.....	83
Figura 61 - Corte do fundo com a serra de fita .....	84
Figura 62 - Retificação do corte do fundo.....	84
Figura 63 - Colagem do fundo com auxílio de grampos .....	85
Figura 64 - Esquema da separação do molde das ilhargas.....	85
Figura 65 - Colagem dos cerquilhos na parte superior da ilharga.....	86
Figura 66 - Colagem e medição das travessas para o tampo .....	87
Figura 67 - Referência do braço para as travessas.....	87
Figura 68 - Marcação do local onde passa a travessa para o encaixe com o tampo.....	88
Figura 69 - Furação para o encaixe do braço com o tampo .....	89
Figura 70 - Fixação da peça para o encaixe na zona da ilharga .....	89
Figura 71 - Escavação para embutir a peça de metal .....	90
Figura 72 - Experimentação do encaixe com o tampo .....	90
Figura 73 - Colagem do tampo.....	91
Figura 74 - Retificação do braço.....	91
Figura 75 - Goma-laca em estado sólido.....	92
Figura 76 - Acabamento na caixa de ressonância.....	92
Figura 77 - Aplicação da goma-laca no fundo .....	93
Figura 78 - Ilha, o braço.....	94
Figura 79 - Pormenor do cavalete móvel e prisão das cordas.....	94
Figura 80 - Pormenor dos trastes e cabeças .....	95
Figura 81 - Arquipélago, a caixa de ressonância .....	95
Figura 82 - Ilha com escala humana .....	96
Figura 83 - Pormenor do encaixe com as costas do braço.....	97
Figura 84 - Pormenor do encaixe com as costas do braço.....	97
Figura 85 - Conjunto da guitarra Illa desmontado.....	98
Figura 86 - Vista das costas da Ilha e Arquipélago.....	98
Figura 87 - Pormenor das furações no tampo e encaixe.....	99
Figura 88 - Guitarra Illa .....	99
Figura 89 - Guitarra Illa .....	100
Figura 90 - Guitarra Illa com escala humana.....	100

## Glossário

Acústica: área científica que estuda o som.

Afinação: ajuste de uma nota/tom de um instrumento a uma certa frequência.

Alma: é uma madeira com formato cilíndrico que se coloca dentro do corpo do instrumento entre o tampo e o fundo. Para além de sustentar o tampo, também permite que este e o fundo vibrem em conjunto. Usualmente, a madeira utilizada é abeto.

Amortecimento (*damping*): dissipação da energia de um movimento de um objeto oscilante.

Boneca: Pano branco com algodão, que serve para dar acabamento.

Caixa acústica (de ressonância): corpo de um instrumento que permite a amplificação ou ressonância do som.

Carrilhão: chamado comumente de afinador. Peça componente de instrumentos musicais utilizada para os afinar, mas que ao contrário da cravelha se encontra conectado por uma peça de metal.

Cavalete: peça de madeira num instrumento de cordas, responsável por transmitir a vibração das cordas ao tampo acústico.

Cerquilhos: madeira que circunda o interior das ilhargas, servindo de suporte para colar as costas.

Condutor: objeto ou corpo que permite a passagem de uma corrente elétrica.

Corda (musical): fio de diferentes materiais, tais como, tripa, seda, nylon ou metal para produzir sons em alguns instrumentos.

Cordofone: instrumento de cordas.

Cravelha: peça componente de instrumentos musicais utilizada para os afinar.

Ergonomia: área científica que estuda a relação dos objetos com o corpo humano, tendo em conta as suas dimensões.

Escala: conjunto de sons musicais que, de acordo com o sistema que derivem, se sucedem de forma ascendente e descendente. Também é o termo utilizado para se referir ao componente presente no braço dos cordofones que está dividido pelos trastes.

Etnomusicologia: estudo do fenómeno musical com atenção para a estética musical, ensino, investigação histórica e música tradicional popular de cada um deles.

Farol: máquina usada para dobrar as ilhargas. Funciona através de calor.

Frequência: número de vezes que um fenômeno periódico se repete num determinado espaço de tempo.

Harmônico: na área da física, é um movimento de oscilação de um ponto material segundo uma determinada direção, cujo comprimento é uma função sinusoidal do tempo.

Inércia: propriedade que não permite a um objeto, por si mesmo, alterar o seu estado de repouso ou movimento.

Luthier: construtor de instrumentos musicais.

Movimento vibratório: é o movimento de repetição da vibração ou oscilação de um objeto.

Nota (musical): é um elemento do som, com uma determinada frequência sonora e duração.

Onda sonora: são ondas mecânicas que se caracterizam através da sua altura, intensidade e timbre.

Oscilador: objeto que vibra numa determinada frequência.

Pestana: peça que se encontra na extremidade mais próxima dos afinadores/cravelhas numa guitarra. Esta peça juntamente com o cavalete formam a medida do comprimento da escala.

Recetor: corpo que recebe as vibrações sonoras transmitidos por outro corpo.

Repouso (física): estado de descanso de um corpo.

Ressonância: é quando um objeto vibra através de um objeto oscilador com a mesma frequência natural.

Sanaifas: madeira que circunda a borda (silhueta) do tampo.

Som: é uma onda sonora que se propaga pelo ar (entre outros meios).

Tensão (das cordas): resultado das forças exercidas numa corda. No exemplo da guitarra, através dos dois pontos de fixação das cordas.

Timbre: o que diferencia dois sons com a mesma frequência/nota.

Tom puro: som com uma frequência única.

Trastes: divisórias da escala dos instrumentos musicais.

## 0 – INTRODUÇÃO

*“A música pode ser o exemplo único do que poderia ter sido – se não tivesse havido a invenção da linguagem, a formação das palavras, a análise das ideias – a comunicação das almas.”* (À Procura do Tempo Perdido, Marcel Proust)

### 0.1 Enquadramento

Dentro dos instrumentos musicais há uma classificação normalmente utilizada, que os divide conforme a maneira como se produz som, sendo esta: instrumentos de percussão, instrumentos de sopro e instrumentos de cordas. Os instrumentos de cordas sempre tiveram um papel significativo na cultura portuguesa, existindo ao longo do território português diversos instrumentos cordofones criados por músicos ou construtores, oriundos e enraizados em diferentes regiões. Este projeto de mestrado dá enfoque aos instrumentos de cordas para estudo teórico e consequente desenvolvimento de um projeto prático: um protótipo de uma guitarra.

Algo possível de deduzir a partir de pesquisas sobre a história da guitarra, um dos cordofones mais populares, é como a sua origem é difícil de definir e como há diferentes perspetivas acerca deste assunto. Pode-se, por exemplo, identificar ao longo da história, outros instrumentos que nasceram de uma de versões mais antigas da guitarra ou que incorporem características dessas guitarras. Um exemplo de um cordofone e de guitarra, é a guitarra clássica. Este instrumento que, na atualidade, acompanha a guitarra portuguesa nos fados, é apelidada de “viola de fado”. Além disso, este instrumento, para além de acompanhamento à guitarra portuguesa, também é tocado na música clássica tanto a solo ou num conjunto de guitarras (e.g. duos, quartetos), como fazendo parte de uma orquestra.

Tendo os cordofones como pano de fundo de todo este projeto, foi necessário aprender e a assimilar as principais características históricas, físicas, ergonómicas, dos cordofones já existentes, tanto na cultura portuguesa como globalmente, para o desenho e construção do protótipo de um novo instrumento musical de cordas.

## 0.2 Motivação

Este projeto surge como resposta à autoproposta de estudo e desenvolvimento de um instrumento musical de cordas, tendo como base e ponto inicial, a guitarra clássica. No desenvolvimento deste projeto também foram influenciados outros instrumentos de cordas tanto portugueses como de outras culturas.

Primeiramente, a escolha de desenvolver esta tipologia de objeto, deve-se ao interesse pela música e a relação entre esta e a pessoa. Esta relação pode ser facilitada através dos instrumentos musicais que ajudam a pessoa a expressar-se e, conseqüentemente, a criar música.

Em segundo lugar, a guitarra clássica e a família dos cordofones foram escolhidos como ponto de partida para o desenvolvimento de um instrumento, não só pela existência de uma ligação pessoal da mestrandia com este instrumento, mas também pela conexão que os cordofones têm com a cultura portuguesa.

## 0.3 Objetivos

A proposta tem os seguintes objetivos:

- Descrever a história, evolução e métodos de produção/construção da guitarra clássica;
- Identificar as principais características que definem uma guitarra clássica;
- Compreender e descrever o processo de construção de uma guitarra clássica;
- Implementar conhecimentos relacionados com o design de um instrumento musical e necessários para o processo projetual;
- Experimentar com a forma do protótipo, a partir dos conhecimentos adquiridos anteriormente e desenvolver o projeto de um instrumento musical que, partindo de uma guitarra clássica, tenha essa familiaridade, mas também tenha a sua própria particularidade.
- Construir um protótipo funcional para experimentação.

## 0.4 Metodologia de trabalho

No que toca à metodologia, inicialmente foi feita uma revisão literária com a leitura e análise de excertos de livros, dissertações e teses, e projetos desenvolvidos relacionados com a área de design de instrumentos musicais, instrumentos de cordas e

acústica, para estabelecer uma fundação sólida para o projeto. Tanto numa fase inicial como ao longo do desenvolvimento, foram explorados alguns estudos de caso, de modo a recolher informações de métodos já utilizados no desenho de instrumentos, para melhor entender certas características pertinentes para a proposta e conhecer trabalhos que tivessem conceitos e ideias semelhantes.

Na fase de desenvolvimento da ideia para o projeto, foi feita uma exploração através do desenho, com o estudo de silhuetas de instrumentos de cordas já existentes, tal como, os cordofones tradicionais portugueses e outros cordofones que fazem parte da evolução da guitarra; com o uso do desenho para encontrar novas formas e materializar as ideias, e como forma de explicar o método de funcionamento do instrumento e alguns dos seus pormenores. A par do desenho, foram também executadas maquetes de estudo para um melhor entendimento do volume do objeto e de como as peças que o constituem se relacionam entre si.

Ainda nesta proposta, abordagem metodológica escolhida foi a da investigação através do design, possibilitou o estabelecimento de uma conexão entre a teoria e a construção de conhecimentos, com o intuito de melhorar a prática de design. Esta envolve todo o processo desde a investigação inicial, de materiais, o desenvolvimento até às experiências e resultados obtidos no projeto de design.

### 0.5 Estrutura do Relatório

Quanto à estruturação do presente relatório, o mesmo começa pela introdução da proposta de projeto, com o enquadramento do tema, a motivação, os objetivos e as metodologias utilizadas durante o processo de trabalho.

Em seguida, é introduzida a primeira fase do projeto: a fase de enquadramento teórico. Esta parte do relatório, engloba a informação analisada e inicia-se pelos cordofones, neste capítulo, é abordada a definição e categorização de instrumentos de cordas assim como as características das cordas; continua-se com o capítulo sobre a guitarra clássica – que é o instrumento escolhido como ponto de partida, – em que se trata a sua história e origem, os componentes que a constituem e a construção de uma guitarra.

Investiga-se a parte mais teórica ligada aos princípios acústicos que sejam relevantes para a construção da guitarra, com o estudo mais geral como a oscilação

sonora, a ressonância, a forma de propagação e amortecimento do som. Fez-se também um estudo mais direcionado à guitarra e instrumentos semelhantes como a importância do distanciamento dos trastes, entre outros; aborda-se a área de ergonomia, para uma melhor compreensão da forma como o objeto resultante do projeto se relacionará com o corpo humano, com o objetivo do mesmo ser confortável de tocar para o músico, assim como perceber quais as diferentes áreas de intervenção do design na área musical; no capítulo do Estudos de caso, menciona-se o exemplo de uma guitarra, um instrumento de cordas de origem chinesa, para além de um formato diferente para a escala de uma guitarra, entre outras menções pertinentes.

A segunda parte do relatório contém a fase do projeto e o seu desenvolvimento. Inicia-se com um capítulo para a conceptualização e desenho, de modo a explicitar o trajeto e decisões tomadas no desenho do instrumento, assim como mostrar os primeiros esboços que antecederam o desenho final; segue-se um capítulo para as maquetes e experimentação, de modo a mostrar o processo de entender o volume para o objeto e também da escolha de algumas características; após isto, apresenta-se um capítulo que aborda o protótipo, desde os materiais (explicando em maior detalhe algumas das suas características), desenho técnico do projeto até à sua construção, com fotografias do resultado do instrumento musical.

Por último, fecha-se este relatório com as considerações retiradas após a elaboração do projeto e a bibliografia lida e utilizada.

## 1 – CORDOFONES

Os cordofones são instrumentos musicais cujo som é produzido através da vibração de uma ou mais cordas, que estão esticadas entre dois pontos fixos. Normalmente estes instrumentos possuem um corpo que tem como função servir de caixa de ressonância e assim amplificar o som produzido pela vibração das cordas (Dicionários Porto Editora, 2008, pp. 208; Hopkin, 1996).

Definido o conceito de “Cordofones”, serão em seguida descritos alguns aspetos relevantes para o desenvolvimento de um cordofone, começando de forma genérica e, posteriormente, com foco na guitarra clássica.

### 1.1 Componentes principais de cordofones

Os instrumentos de cordas têm como componentes principais: (1) as cordas, (2) uma caixa de ressonância (i.e. permite a transmissão do som das cordas), (3) dois pontos de fixação das cordas – um deles que as prenda e outro que as coloque em tensão, como é o exemplo da ponte que serve para delimitar o tamanho da corda e da sua vibração, – (4) trastes metálicos, presente na maioria dos cordofones, que possibilitam produzir um conjunto de tons (i.e. uma escala) na mesma corda (Hopkin, 1996).



Fonte: APC Instrumentos Musicais

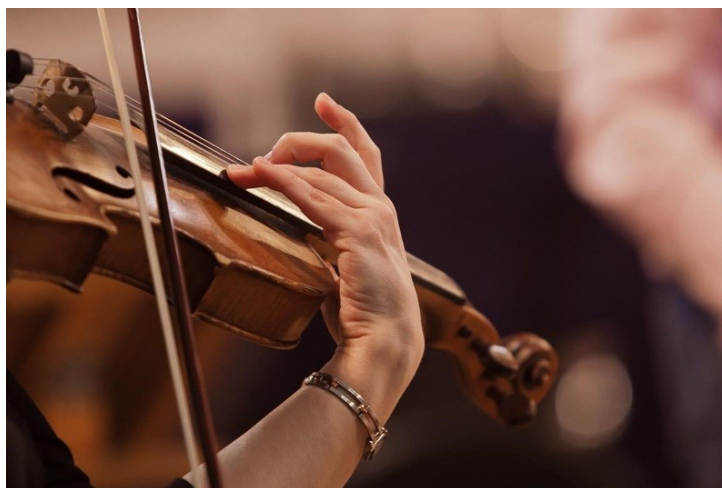
Figura 1 - Esquema ilustrativo da caixa de ressonância (2) e dos pontos de fixação das cordas (3)

Relativamente à produção de som no instrumento é geralmente feita empregando uma de três maneiras: (1) dedilhando a corda, como é o exemplo da guitarra, alaúde, harpa ou lira; (2) friccionando a corda com um arco, como o violino, violoncelo ou contrabaixo; (3) percutindo a corda, como o piano, clavicórdio (Hopkin, 1996).



*Fonte: Centro Cultural de Amarante*

Figura 2 - Dedilhar uma corda (de uma Guitarra Portuguesa)



*Fonte: SABRA – Sociedade Artística Brasileira*

Figura 3 - Friccionar uma corda (de um Violino)



Fonte: Centro Cultural de Amarante

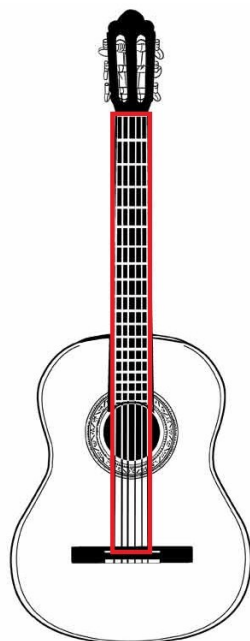
Figura 4 - Percutir uma corda (de um *Dulcimer*)

## 1.2 Cordas

As cordas são o elemento principal para instrumentos cordofones, e as mesmas podem ser definidas como um fio fino de um material que é esticado entre dois pontos fixos (Hopkin, 1996).

Os materiais que já foram ou continuam a ser usados para as cordas de instrumentos musicais são (1) tripa/intestinos de animais (este material era usado em todos os instrumentos de cordas inicialmente); (2) aço sólido, que tem como principal propriedade uma boa estabilidade de afinação; (3) aço trançado, este tipo de cordas foi desenvolvido inicialmente para dar uma maior flexibilidade à corda e também para obter uma variedade mais ampla de tons, quando comparada às cordas de aço sólido; (4) cordas de *nylon*, que proporcionam uma melhor estabilidade de afinação face às cordas de tripa, e foram introduzidas pela primeira vez em 1940. Além destes materiais vulgares, existem também outros materiais sintéticos e metais (Making Music, s.d.) porém, adentrar neste assunto está fora do escopo desta tese. Todos estes diferentes materiais permitem que o instrumento tenha diferentes sonoridades, já que o timbre está diretamente relacionado com o material com o qual as cordas são feitas (Hopkin, 1996).

## 1.2.1 Comprimento das cordas



Fonte: Google Imagens

Figura 5 - Esquema com a demarcação a vermelho da escala (comprimento da corda)

O termo *string scaling* faz referência ao comprimento que a corda tem para um determinado instrumento musical. A fase em que se tem de escolher o tamanho das cordas é importante no design de um instrumento musical porque esse aspeto irá determinar o registo dos sons que o instrumento irá produzir (i.e. graves, médios, agudos), além de afetar o tamanho do instrumento.

As variáveis que influenciam a escolha do comprimento das cordas são proporcionar às mesmas uma densidade linear, tamanho e sonoridade intencional (Hopkin, 1996). Quanto mais comprida for a corda, maior o corpo do instrumento e mais grave será o som produzido; da mesma forma, quanto mais curta for a corda, o instrumento musical não necessitará de uma caixa de ressonância tão grande e o som produzido tem um registo mais agudo. O corpo do instrumento (ou caixa de ressonância) precisa de ser extenso/grande quando as cordas são mais compridas, porque quanto mais grave o som, mais espaço o mesmo necessita para repercutir.

### 1.2.2 Propriedades Físicas das Cordas

As cordas apresentam quatro propriedades físicas principais: o amortecimento interno, a rigidez, a resistência à tração e a elasticidade. Relativamente à primeira – *internal damping* na nomenclatura inglesa – refere-se ao grau com o qual a energia da vibração é dissipada. Quanto mais elevado for o amortecimento, menor a sustentação da nota e pior a qualidade do som; Relativamente à segunda propriedade, a rigidez, se a corda apresentar uma rigidez forte, a altura da som tenderá para o registo agudo, sucedendo-se o contrário no caso da rigidez ser fraca; Relativamente à terceira, a resistência à tração, serve sobretudo para saber o nível de tensão a que a corda pode ser exposta sem que a mesma quebre; Por fim, relativamente à elasticidade, serve para medir a habilidade do material ser pressionado e esticado sem que se deforme (Hopkin, 1996).

### 1.3 Tipologia de Cordofones

Quanto à subdivisão dos cordofones, a tipologia mais usada e conhecida para o sistema de classificação de instrumentos musicais é aquela que foi proposta de 1914 pelos musicólogos Erich Moritz von Hornbostel e Curt Sachs. Na sua classificação, os instrumentos cordofones são subdivididos pela forma em que são tocados, ou seja, os instrumentos de cordas dedilhadas, friccionadas e percutidas (Doktorski, s.d.).

O autor Bart Hopkin (Music Instrument Design, 1996), contudo, focando-se somente nos instrumentos musicais de cordas, subdividiu esta família de instrumentos em quatro grupos: cítaras, alaúdes, harpas e liras. Tanto as cítaras como os alaúdes assemelham-se no que toca à posição das cordas face à caixa de ressonância, sendo estas paralelas. O que diferencia as cítaras dos alaúdes é a presença de um braço como componente nos alaúdes. O braço permite produzir mais do que um som de altura definida na mesma corda, por isso, os alaúdes conseguem subdividir uma oitava num maior número de intervalos com um número de cordas menor, enquanto nas cítaras, cada corda tem somente um som base de altura definida. As harpas e as liras são semelhantes pois, ao contrário das cítaras e dos alaúdes que têm cordas paralelas à caixa de som, as cordas destas têm uma inclinação face à caixa de som.



Fonte: Google Imagens

Figura 6 - Cítara, lira e harpa

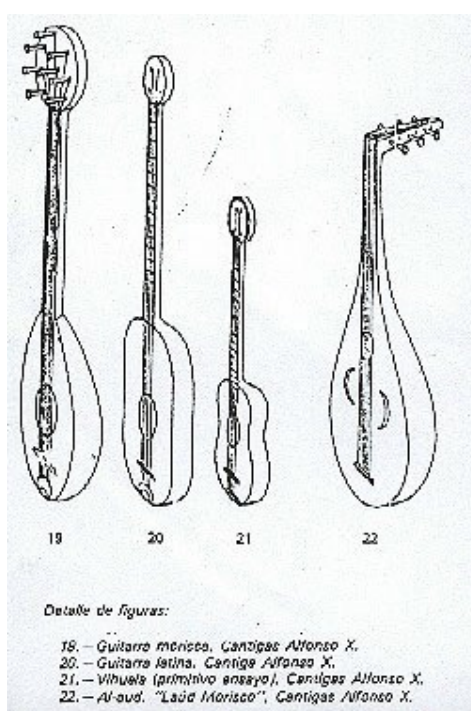
#### 1.4 Guitarra Clássica

Tendo falado previamente dos instrumentos de cordas num contexto global, neste subcapítulo, o foco principal será a guitarra clássica. Irei começar pela sua definição, seguindo-se o seu contexto histórico, componentes principais e a sua construção.

A família das guitarras engloba cordofones de cordas dedilhadas com um braço e uma caixa de ressonância. Alguns exemplos destes instrumentos incluem o alaúde, que também é visto como um antecessor da guitarra clássica como é conhecida atualmente ou, por exemplo, o bandolim e a guitarra portuguesa, que fazem parte dos cordofones tradicionais portugueses. Outra propriedade dos instrumentos da família das guitarras é, para além do braço e caixa de ressonância, um corpo com lados incisivos que formam o formato de um “8” (Bacon, 1991).

### 1.4.1 Breve história

Acerca da origem da guitarra há desacordos. Segundo Machado (2019), certas fontes afirmam que a mesma deriva da *kithara* – instrumento grego – que se desenvolveu através de *phornix* e da *lyra*, enquanto outras fontes afirmam que a guitarra foi difundida pelos muçulmanos durante a sua ocupação na Península Ibérica, derivando assim do *al-oud* (alaúde, considerado pai dos instrumentos atuais que possuem cordas dedilhadas e um braço). A chegada do alaúde à Península Ibérica fez com que esta região se tornasse no berço para os instrumentos de cordas dedilhadas.



Fonte: Machado, 2019

Figura 7 - Cordofones antecessores à guitarra clássica

Embora haja instrumentos que possam ser antecessores ou simplesmente semelhantes, a guitarra, em si, somente surgiu por volta do final do século XV, início do século XVI (Bacon, 1991). Alguns dos instrumentos que aparecem nessa altura são a guitarra mourisca, um instrumento de cordas dedilhadas, que surgiu no século XI, com um corpo redondo, braço amplo e várias perfurações sonoras; também a guitarra latina, que surge no mesmo período que a mourisca, que tem um braço idêntico ao da guitarra contemporânea e uma abertura na caixa de ressonância; refira-se ainda a *vihuela de mano*, que surge na Península Ibérica (Machado, 2019).

No século XVII, surge a guitarra romântica ou barroca que se aproxima da guitarra clássica atual. Tem a mesma afinação, mas uma caixa acústica mais pequena, usa cordas de tripa e cravelhas de madeira – semelhante a instrumentos de cordas friccionadas. A guitarra clássica moderna surge no final do século XIX, construída pelo *luthier*<sup>1</sup> António Torres e foi tocada por Miguel Llobet e Francisco Tarrega. Esta guitarra já tinha as dimensões atuais da caixa de ressonância assim como os mecanismos metálicos de afinação, contudo, em contraste com a guitarra clássica atual que usa cordas de nylon ou carbono, nesta ainda se usavam cordas de tripa (AMAC, s.d.).



Fonte: *Guitar Salon International*

Figura 8 - Guitarra clássica, modelo de António de Torres, 1864

Com o modelo de Torres, as alterações feitas à guitarra são relativamente simples, adaptando-a para se conseguir obter um maior volume sonoro do instrumento e um timbre mais próximo dos gostos da época. A partir do estudo que Torres fez em torno da guitarra, foi possível entender a importância que o tampo do instrumento tem,

---

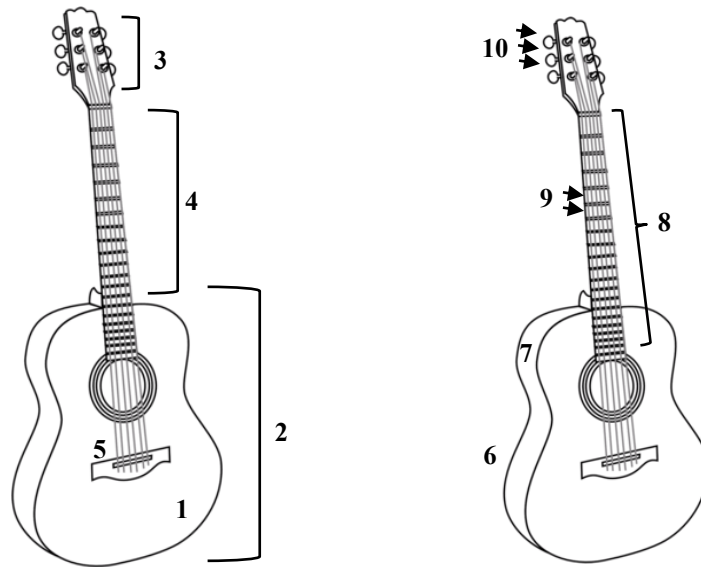
<sup>1</sup> Um *luthier* é aquele que aprendeu o ofício de fazer instrumentos de cordas, geralmente numa pequena escala. Fonte especificada inválida..

no que toca ao volume produzido. Para tal, desenhou uma experiência na qual, construiu uma guitarra com o corpo em cartão e colou neste um tampo de madeira. Embora o cartão não tenha muita resistência nem boas propriedades sonoras, o resultado obtido foi idêntico ao de uma guitarra construída inteiramente em madeira (Barceló, 2013). Esta experiência ficou conhecida como guitarra de *papier mâché*.

A guitarra atual, consolidou-se por volta do século XIX com António de Torres e desde então manteve a estrutura e os componentes que atualmente a configuram.

#### 1.4.2 Principais Componentes

Os componentes que integram uma guitarra clássica são o tampo (identificado na Figura 9 com o número 1), que produz quase todas as qualidades acústicas e, normalmente utiliza-se na sua construção madeira de abeto; o corpo (identificado na Figura 9 com o número 2) que inclui a caixa de ressonância que produz som na guitarra, sustenta a cabeça (identificado na Figura 9 com o número 3) e o cavalete, para além de ser composto pelo fundo e as ilhargas; a cabeça que contém as cravelhas ou afinadores; o braço (identificado na Figura 9 com o número 4) que é o elo entre a cabeça e o corpo da guitarra, e contém a escala e os trastes; o cavalete (identificado na Figura 9 com o número 5) que tem como função ancorar as cordas ao corpo; o fundo (identificado na Figura 9 com o número 6) que pode ser formado por duas ou três partes; as ilhargas (identificado na Figura 9 com o número 7) que são as laterais da guitarra e são peças de madeira curvada; a escala (identificado na Figura 9 com o número 8) que é a parte onde se coloca os dedos para produzir os diferentes sons e notas; os trastes (identificado na Figura 9 com o número 9) que servem para encurtar o comprimento eficaz vibratório da corda, o que a habilita a produzir notas diferentes a partir da mesma corda; e as cravelhas ou afinadores (identificado na Figura 9 com o número 10) que são mecanismos que permitem aumentar ou diminuir a tensão das cordas, alterando assim a sua afinação.



Fonte: Google Imagens

Figura 9 - Esquema com a localização dos componentes principais da guitarra

### 1.4.3 Construção

Neste subcapítulo sobre a construção da guitarra, irei abordar o trabalho desenvolvido pelo *luthier* Antonio de Torres, devido ao papel fundamental que o mesmo assumiu para a consolidação do desenho e método de construção da guitarra clássica atual.

Tendo mencionado, anteriormente, os componentes que constituem a guitarra (ver ponto 1.4.2), aquele que possui maior influência na produção de som é o tampo, algo que é possível compreender através da experimentação de Antonio de Torres com a guitarra de *papier mâché*. Nesta experiência, ele usa somente madeira para o tampo harmónico e com as costas e ilhargas do instrumento em *papier mâché*, mostrando o seu conhecimento claro da função, comportamento e papel estrutural do tampo harmónico.

A partir da experiência de construção da guitarra de *papier mâché*, observa-se também a necessidade da calibração da espessura do tampo, nomeadamente que a sua parte inferior precisa de ser robusta o suficiente para suportar a força da tensão das cordas, e, ao mesmo tempo, ser fino para uma melhor vibração do mesmo. Esta guitarra contém o tampo mais fino de todos os conhecidos, tendo as extremidades da parte inferior com cerca de 0.4 mm de espessura (Romanillos, 1997).



Fonte: Google Imagens

Figura 10 - Guitarra de *papier mâché* de António de Torres

Apesar do tampo assumir um papel importante na produção do som, a qualidade do som não depende somente de um componente único, mas da integração de vários outros fatores, tais como: a relação entre o tamanho e a forma da guitarra; o comprimento da corda face ao tamanho do corpo, para encontrar a tonalidade do som; a distribuição e a calibração da espessura final do tampo harmónico; o método de assemblagem para a construção da guitarra como um todo (Romanillos, 1997).

Outro aspeto importante a ter em consideração é o peso do instrumento e a sua estrutura. Através das experiências de Torres, foi-se procurando tornar a guitarra leve ao nível da sua estrutura interna, pois notou que, ao ser mais leve, é mais fácil fazer a guitarra vibrar. As vibrações referidas são energia que se transformam em som que é posteriormente ouvido. Com a estrutura leve da guitarra, também se prova a existência de uma correlação entre a sua leveza e a durabilidade das cordas utilizadas. As cordas duram mais tempo num instrumento leve do que num pesado, e a principal razão para isto acontecer deve-se à força necessária que é preciso imprimir para o instrumento

vibrar, ou seja, essa força precisa de ser bastante superior num instrumento pesado (Romanillos, 1997).

A fórmula para atingir um meio de tornar o instrumento leve, sem que o mesmo não produza dissonâncias, não é simples. Isto faz parte do trabalho primário dos construtores de guitarras, ou seja, construir uma guitarra suficientemente fina e estável para evitar dificuldades ao nível do som produzido. Para isso, muitas vezes de instrumento para instrumento vão fazendo alterações para melhorar a sua sonoridade ao nível harmónico (Sloane, 1976).

Comparando a construção de uma guitarra com a construção de um violino ou de um contrabaixo, pelas semelhanças evidentes na produção de som, percebe-se o impacto que o tamanho do corpo do instrumento tem na ressonância; ao aumentar o corpo do instrumento e, conseqüentemente, o ar contido dentro do mesmo, aumenta a ressonância das notas graves. Isto observa-se também na guitarra, em que as guitarras maiores e fundas acentuam os sons graves, e, em contraste, as guitarras mais pequenas acentuam as notas mais agudas (Sloane, 1976).

## 2 – CONCEITOS ACUSTICOS RELEVANTES

A acústica deriva da grega *akoustikós*, que significa relativo ao ouvido. É, por isso, a área da ciência que estuda o som e que se ocupa essencialmente do estudo da produção, propagação e a forma como o som é rececionado, objetiva e subjetivamente, albergando todos os tipos de ondas e vibrações sonoras (Dicionários Porto Editora, s.d.).

No que toca a produção do som, depreende a compreensão do funcionamento dos instrumentos musicais, tendo em conta a sua afinação, a correção de defeitos – tais como descontinuidades tímbricas, mudanças de registo e problemas de propagação sonora, – a aplicação de novos materiais, a ergonomia na execução, criação de novos instrumentos. Na propagação do som no espaço, a acústica estuda os parâmetros que caracterizam espaços para concertos, a elaboração de projetos acústicos, a simulação de ambientes sonoros e a otimização das condições para a gravação de som. Relativamente à forma como o som é rececionado pelo ouvinte, estuda-se a psicologia da música e o aparelho auditivo, através da relação entre os aspetos físicos e a perceção dos sons, e também através de conhecimentos de mecanismos psicofisiológicos e neuronais da perceção acústica (Henrique, 2002).

*“A acústica musical é uma área muito complexa devido à sua interdisciplinaridade. Nela se relacionam música, física, engenharia, psicologia, fisiologia, anatomia, biologia, estética e muitas outras áreas consoante o problema específico que se estiver a estudar: arquitetura, etnomusicologia, construção de instrumentos.”* (Henrique, 2002, p. 8)

Neste capítulo, vão ser abordados os princípios acústicos considerados mais pertinentes para a guitarra clássica, visto esta ser o objeto de estudo neste projeto. Como referência principal, escolheu-se o livro *Acústica Musical* (2002) de Luís Henrique, que fala desde a origem da acústica e os diferentes tipos de estudo desta área. Em particular, neste livro são abordados os princípios acústicos relacionados com instrumentos musicais, matéria que importa para o estudo e projeto desenvolvido.

### 2.1 Vibração sonora

Tanto os instrumentos musicais como maioria dos sons são dependentes da presença de vibrações em frequências constantes, pois todos os objetos quando são

atingidos, dedilhados, ou de alguma forma perturbados, vibram. Todos os objetos têm uma frequência natural (i.e. frequências de ressonância) ou conjunto de frequências nas quais vibram, e estas oscilações resultam na qualidade ou timbre do som produzido pelo objeto vibrante. No que toca aos instrumentos musicais, estes podem apresentar uma vibração com uma frequência dominante, como é o caso de uma flauta, e assim pode também dizer-se que têm um tom que se aproxima de um tom puro; ou podem produzir ondas sonoras mais complexas, ou seja, produzir um conjunto vasto de frequências simultâneas, como acontece com a tuba (The Physics Classroom, s.d.). Para estas oscilações naturais ocorrerem, há três fatores essenciais, sendo eles, o deslocamento, a força restauradora e algo que contraponha a força restauradora, geralmente a inércia<sup>2</sup> (Hopkin, 1996). Estes fatores afetam a velocidade de propagação da onda sonora, e isto resulta numa alteração da frequência natural. Tomando o exemplo da guitarra, as seis cordas que a constituem, apresentam todas uma densidade linear diferente, uma tensão diferente e um comprimento diferente, todos controlados pelo guitarrista. O papel que o músico assume é o de gerir estas variáveis de modo a produzir uma determinada frequência a partir do instrumento que é tocado (The Physics Classroom, s.d.).

## 2.2 Ressonância e Frequência Natural

Ressonância é uma propriedade física que resulta no aumento da intensidade de um som (Dicionários Porto Editora, s.d.). Esta palavra refere-se à resposta positiva entre dois objetos – oscilador e condutor – com frequências naturais semelhantes, e acontece, pois, ao terem uma frequência natural, o condutor transmite energia de forma consistente na altura e direção certa, provocando uma maximização do seu efeito sonoro. Quando um objeto vibra na mesma frequência natural que um segundo objeto, força este segundo a entrar (i.e. oscilar) no seu movimento vibratório. O resultado deste acontecimento é uma grande vibração, que se produzir uma onda sonora dentro do alcance audível da audição humana (i.e. 20Hz a 20000 Hz), torna possível que se ouça um som forte (The Physics Classroom, s.d.).

---

<sup>2</sup> A inércia, na área da física, pode ser definida como a propriedade em que um corpo não pode alterar por si mesmo o seu movimento ou repouso (Dicionários Porto Editora, 2008, pp. 407-408). É a tendência de um objeto em movimento se manter no mesmo movimento, na eventualidade de não existir nenhuma força externa que o force a parar (Hopkin, 1996).

Os instrumentos musicais entram num movimento vibratório na sua frequência natural quando uma pessoa os dedilha, golpeia ou simplesmente perturba o seu estado estático. As frequências naturais dos instrumentos musicais são, usualmente, designadas por harmónicos. Um instrumento pode ser forçado a oscilar num dos seus harmónicos se outro objeto interligado o excitar com uma dessas frequências. Usando como exemplo a situação que acontece no presente projeto, ao tocar as cordas do instrumento quando o braço está conectado à caixa acústica, o som inicial é amplificado pela caixa acústica pois a vibração das cordas é transmitida a esta através do cavalete. Esta ocorrência é chamada de ressonância.

A frequência natural é dependente das propriedades do material em que o objeto é feito – esta característica afeta a velocidade da onda sonora – e o comprimento do material – esta característica afeta o comprimento da onda sonora. Todos os objetos têm uma frequência ou conjunto de frequências a que vibram naturalmente. Contudo, certos objetos tendem a vibrar numa frequência única, e por essa razão se diz que produzem um tom puro (The Physics Classroom, s.d.).

Para os músicos, o objetivo fundamental é que os instrumentos possuam a capacidade de oscilar com conjuntos de frequências que soem musicalmente, ou seja, implica que estejam matematicamente relacionadas e se assim for, diz-se que produzem sons de altura definida.

### 2.3 Radiação sonora

A energia produzida pela vibração de uma corda é, relativamente, exígua porque a superfície vibratória de uma corda é muito pequena. Num cordofone, o som é ouvido pois à energia vibratória da corda é adicionada a vibração que, por sua vez, excita o cavalete, o tampo harmónico, e a massa de ar contida dentro do corpo – que é excitada pela vibração do tampo e se expele pela boca do instrumento. Por isso, pode-se considerar que os sistemas que radiam energia sonora eficazmente são o tampo e o ar contido dentro do corpo do instrumento, através da boca (Henrique, 2002).

*“O tampo harmónico transmite energia para o fundo através das ilhargas e da massa de ar, a baixas frequências. A altas frequências a energia sonora é radiada essencialmente pelo tampo harmónico.”* As diferentes frequências correspondem a notas musicais que, dependendo da sua frequência natural, podem ter uma maior

projeção sonora do que as restantes notas. Tal acontece quando essas notas coincidem com as ressonâncias mais intensas da guitarra ou outro cordofone (Henrique, 2002).

De modo a analisar a influência daquilo que é escutado e daquilo que é radiado, foram estudadas diferentes configurações estruturais da guitarra por Rosen e Chaigne no artigo científico “*Analysis of Guitar Tones for Various Structural Configurations of the Instrument*”, em 1996. Dentro dessas experiências conclui-se que a colocação de uma alma entre o tampo e o fundo permite a ambos vibrarem em conjunto, reforçando a radiação; quanto às melhorias qualidade do som, verifica-se que com a introdução da alma é provocado um deslocamento da energia, correspondendo a alterações tímbricas que são detetáveis pelo ouvido, mas sem nenhum aumento significativo de energia total do som emitido (Henrique, 2002).

#### **2.4 Sistema excitador, sistema ressoador e sistema radiante**

Os instrumentos musicais comportam-se como um conjunto de osciladores complexos, e, independentemente do tipo de instrumento que seja, o mesmo será constituído por três tipos de sistemas: sistema excitador, sistema ressoador e sistema radiante (Henrique, 2002).

O sistema excitador consiste no mecanismo físico gerador das vibrações, ou seja, o sistema a partir do qual o instrumento que se encontra em repouso começa a vibrar. No exemplo dos instrumentos de cordas, as cordas são colocadas em oscilação quando estas são percutidas (como no piano, onde pequenos martelos atingem as cordas), friccionadas (como no violino através do uso de um arco) ou dedilhadas (como na guitarra, com os dedos do músico ou palheta). O sistema excitador pode variar conforme o tipo de instrumento. Se este for mecânico (acústico), o mesmo consiste na produção de vibração como as mencionadas anteriormente; se este for elétrico, a produção de som é conseguida a partir de um amplificador que irá transformar a energia elétrica em energia acústica; se este for tanto acústico como elétrico, a origem do som será mecânica e a parte elétrica servirá somente para modificar ou amplificar o som antes deste se propagar (Henrique, 2002).

O sistema ressoador trabalha em consonância com o sistema excitador, mas não consiste somente na amplificação do som base que advém do sistema excitador. “*Este atua como uma função de transferência específica para cada caso, modificando esse som*

*de base que é uma espécie de matéria-prima.*” Isto significa que um sistema ressoador amplifica, filtra e modifica o som num instrumento, o que permite que haja também a vibração de um corpo em estado de repouso como consequência da vibração sonora (Henrique, 2002). Um exemplo de um sistema ressoador com grande importância neste projeto é a caixa de ressonância (numa guitarra tradicional é o seu corpo), que nos instrumentos cordofones filtra o som das cordas e amplifica-o segundo os seus modos de vibração e nas diferentes frequências que este assume.

O sistema radiante é aquele que permite ao som ser escutado, e é constituído pelos mecanismos presentes num instrumento para a radiação do som – transmissão das vibrações ao ar circundante que origina a onda sonora e que se propaga no meio até ser ouvida. Os instrumentos musicais possuem uma relação entre a energia que é necessária para a criação de ondas estacionárias no interior dos mesmos, e a energia radiada para o exterior para que o instrumento se faça ouvir (Henrique, 2002).

## 2.5 Espaçamento dos trastes

Na construção de um instrumento de cordas, uma das principais preocupações é a afinação e o espaçamento dos trastes. Normalmente, os trastes têm a função de dividir a corda de forma que seja possível executar uma escala cromática temperada, subindo meio tom de traste para traste, e diminuindo a distância entre trastes à medida que estes se aproximam da boca do instrumento (Henrique, 2002).

Atualmente, já existem meios tecnológicos que calculam o distanciamento dos trastes, nos quais só se tem de definir o tamanho da escala (distância entre o pente e o cavalete). Dependendo do material das cordas, os programas também calculam a inclinação que o cavalete terá de ter (quando as cordas são de metal, o cavalete precisa de ter uma certa inclinação quando visto de topo, para uma melhor afinação). Contudo, antes da criação destes programas de cálculo do espaçamento dos trastes, e como teoria para a sua criação, alguns autores estudaram e propuseram uma regra para a facilitação deste processo. Fletcher e Rossing (*The Physics of Musical Instruments*, 1998), sugerem a regra dos dezoito, em que o primeiro traste se situa a  $1/18$  da distância entre a pestana e o cavalete, e a partir daí os seguintes estarão a  $1/18$  da distância entre o traste anterior e o cavalete. Contudo, Luís Henrique (*Acústica Musical*, 2002) reflete que esta regra pode

não ser a mais exata, visto haver uma pequena margem de erro que faz com que a afinação pareça sempre mais baixa do que o suposto.

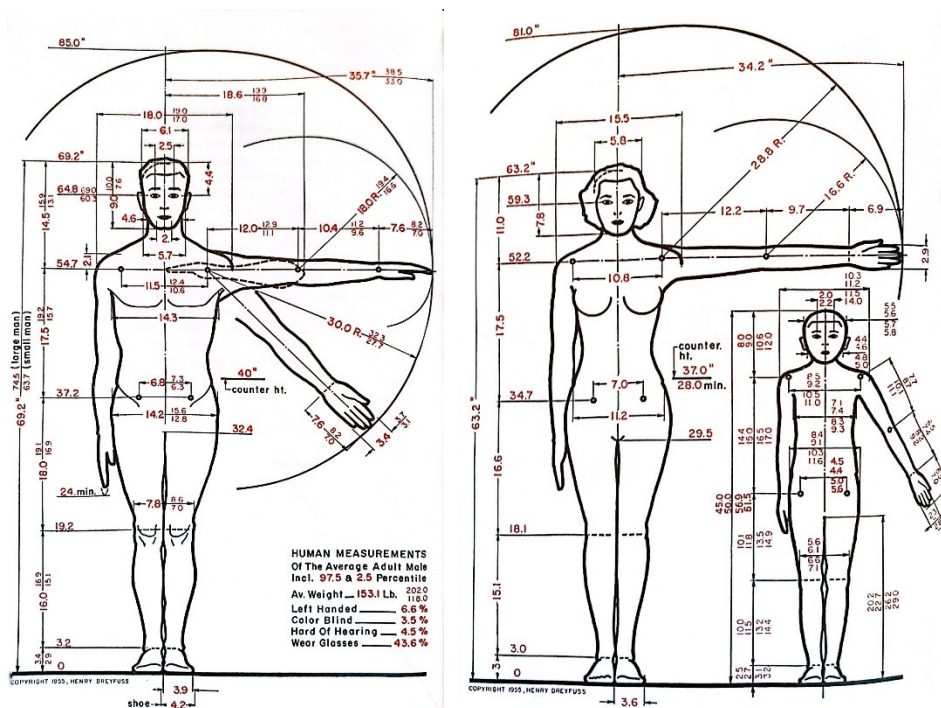
No que diz respeito à afinação e aos trastes, ainda há a problemática da tensão exercida pela corda, ainda mais acentuado quando as cordas são metálicas. “*A pressão aplicada provoca um ligeiro aumento da tensão da corda, e quanto mais altas estiverem as cordas relativamente aos trastes, ligeiramente altas quando comparadas com as cordas soltas.*” (Henrique, 2002)

Como forma de compensar a tensão exercida no instrumento, a distância real entre a pestana e o cavalete é substancialmente maior do que a utilizada na divisão dos trastes. Normalmente, este aumento denominado de compensação da corda pode ir de 1mm a 5mm (Henrique, 2002).

### 3 - ERGONOMIA

Este capítulo trata, superficialmente, a disciplina de ergonomia, incidindo com maior foco na análise de um estudo de León e Galindo (2022), que aborda alguns dos problemas musculares que advêm da prática musical, com base em entrevistas feitas a músicos. Além disto, analisa-se também possíveis caminhos de intervenção do design na área musical. Espera-se com este capítulo compreender a importância que a área de ergonomia tem na prática musical e nos objetos ligados a esta, sobretudo os instrumentos musicais.

A ergonomia é uma área de estudo que se relaciona com o design, no que cerne a relação entre o utilizador e o objeto, procurando que o mesmo seja eficiente e eficaz. Com isto, entende-se que o design emprega parte dos conteúdos estudados em ergonomia, para o desenho de um objeto com um impacto positivo no seu utilizador. Este impacto pode ser observado na forma como a pessoa interage com o objeto e nas reações, por ele, provocadas.



Fonte: Dreyfuss, 2003

Figura 11 - Joe e Josephine, *Designing for People*, Henry Dreyfuss

A ergonomia analisa também o comportamento do ser humano para com o objeto num determinado ambiente (León & Galindo, 2022), e um dos principais autores que aprofunda os conhecimentos acerca a ergonomia e a anatomia humana nas diferentes fases de vida, género e especificações especiais, é Henry Dreyfuss. Este cria duas personagens, *Joe* e *Josephine* (Figura 11), que funcionam como modelo para ajudar designers a adaptar melhor os seus desenhos ao ser humano.

Já o design, por outro lado, trabalha a adaptação dos produtos às necessidades físicas e psicológicas do utilizador. Com isto, compreende-se que estas duas áreas complementam-se e devem ser trabalhadas em conjunto, com a finalidade de melhorar o bem estar do utilizador (León & Galindo, 2022). No presente projeto, o objeto de estudo para a ergonomia e para o design é o contexto da música e o instrumento musical.

Para desenvolver o projeto de um instrumento musical foi necessário analisar artigos/estudos, tal como o “*Human Factors in Musicians: Design Proposals*” de León, Galindo e Prado (2015), que reúne dados de entrevistas feitas a músicos, de modo a entender problemas que advém da prática musical, meios utilizados para os prevenir, assim como entender onde as áreas de ergonomia e design podem intervir. Observa-se, com este estudo, a necessidade de analisar dados sobre como um instrumento musical se relaciona com o músico, e também sobre problemas de saúde aos quais os músicos, devido à prática musical, estão expostos.

Ao estudar-se as ações dos músicos do ponto de vista ergonómico, pode-se identificar alguns fatores de risco para o desenvolvimento de problemas musculares, tais como: as posições de stress – nos instrumentos de cordas, estas podem ser a flexão ou extensão do pulso; o uso prolongado – a repetição e longa duração é uma característica inerente às *performances* e à aprendizagem do instrumento, em que se ensaiam os mesmos movimentos, repetidamente; a carga estática nos músculos, por exemplo, a posição sentada em ensaios e concertos; o contacto de stress, como acontece com a pulsação que as cordas têm sob os dedos do guitarrista (León, Galindo, & Prado, 2015).

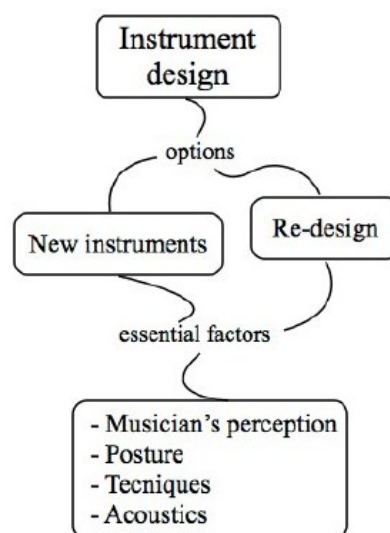
Embora alguns dos problemas apresentados não sejam fruto do desenho do instrumento, e, por isso, o design não consegue intervir de modo a melhorar ou corrigir o problema. Mesmo assim, alguns problemas dão oportunidade ao design para intervir como no mobiliário ou objetos auxiliares à prática musical, que ajudem a retificar a postura do músico ou que possam ser utilizados fora da prática para restabelecimento

de um bom estado físico, invertendo as posições de stress. Contudo, estes caminhos de intervenção não foram explorados no presente projeto, demonstrando somente formas de ação do design na área musical com o complemento da ergonomia.

### 3.1 Caminhos de intervenção do design

Tendo sido feita uma introdução à disciplina da ergonomia e à sua relação com a área musical, neste subcapítulo são abordados alguns dos caminhos que o design pode seguir para intervir na área musical e de instrumentos musicais.

*“Assim como a ergonomia, o design também desempenha um papel essencial na avaliação de alguns objetos auxiliares, como mobiliário, estantes de música e até os instrumentos em si; todos estes podem ter um impacto direto na saúde do músico”* (León, Galindo, & Prado, 2015). O desenvolvimento de objetos auxiliares à prática musical é uma das possibilidades de intervenção do design, em que esses objetos podem corrigir a postura e assim prevenir alguns problemas musculares mencionados, anteriormente, ou tornar o estudo do instrumento mais confortável; outro caminho, mais pertinente para o projeto presente, é o design de instrumentos musicais, no qual há duas vertentes: o redesign de um instrumento já existente ou o design de um novo instrumento musical (León & Galindo, Ergonomics and Design for Musicians, 2022).



Fonte: León & Galindo, 2022

Figura 12 - Esquema das possibilidades de design de instrumentos

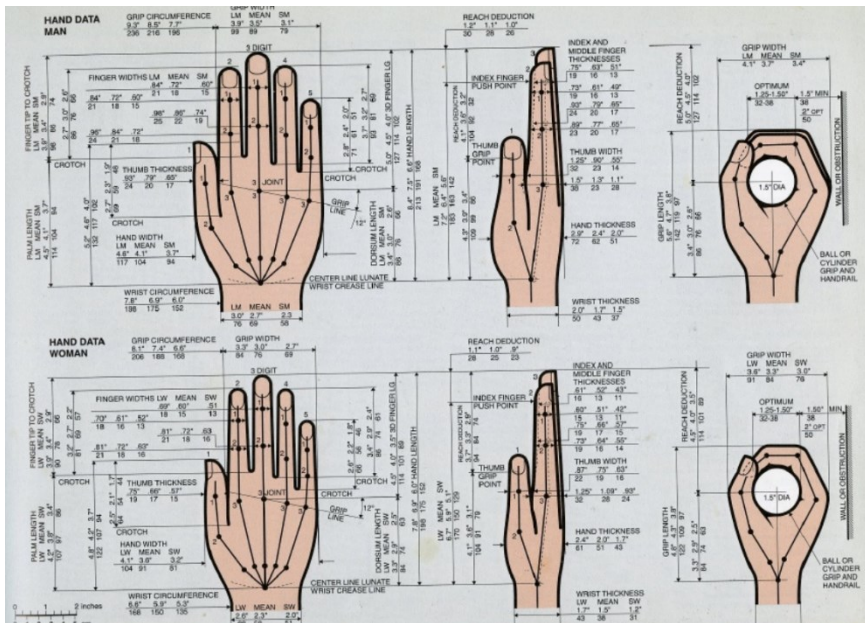
Na figura 8, identificam-se os fatores essenciais para o design de instrumentos musicais: a perspectiva do músico, a postura, a técnica e a acústica. Com a perspectiva do músico precisa-se de pensar como se obtém o som no instrumento, preferencialmente, procurar formas para retirar o máximo de qualidade de som. Por vezes, no caso de se estar a redesenhar um instrumento já existente pode haver alguma resistência na sua aceitação por parte dos músicos. Isto torna este caminho complexo, pois ao alterar a forma do instrumento, a acústica e técnica de tocar podem ser afetadas; contudo, é possível modificar algumas partes dos instrumentos, se estas forem para melhorar a postura dos músicos, melhorem a qualidade de som ou facilitem a prática musical (León & Galindo, *Ergonomics and Design for Musicians*, 2022).

### **3.2 Notas/Observações retiradas**

Tendo sido abordado, anteriormente, dados relativos à interdisciplinaridade entre ergonomia e design, alguns problemas que advém da prática musical, alguns caminhos de intervenção para o design e, em particular, o caminho escolhido para a atuação do presente projeto; neste subcapítulo, tecem-se algumas considerações e notas auxiliares ao desenvolvimento do projeto.

Em primeiro lugar, referenciando Henry Dreyfuss (*The Measure of Man and Woman*, 1993), o mesmo elabora tabelas antropométricas que procuram acompanhar as diferentes fases da vida humana (infância, juventude e idade adulta), com base em diversos cenários ilustrativos da atividade quotidiana. Das tabelas que são possíveis observar no livro “título”, seleciona-se uma que tem uma maior pertinência para este trabalho. Na Figura 13, apresenta a tabela relativa à antropometria da mão que serve para entender quais os pontos a ter em atenção no desenho do instrumento musical, sobretudo para a zona detrás do braço onde a mão se encaixa.

Os estudos antropométricos feitos por Dreyfuss, contribuem para o desenvolvimento de projetos no âmbito do design, assim como para outras áreas (e.g. arquitetura), permitindo aos seus profissionais desenvolver projetos que se adaptem melhor às características do corpo humano, o que será visível na forma como a pessoa se relaciona com os mesmos.



Fonte: Dreyfuss, 1993

Figura 13 - Tabela de antropometria da mão

No que toca a este projeto, considero que o estudo, ainda que superficial, de alguns pontos relacionados à área de ergonomia, foram úteis para que no desenho, maquetes e protótipo, se procurasse uma boa relação entre o objeto – instrumento musical – e a pessoa. As intervenções com cariz ergonómico foram sobretudo feitas através do modelo físico (i.e. maquetes de estudo), pois permitia uma melhor perceção dos locais onde era necessário fazer alterações ou onde o objeto se “encaixava” com a pessoa.

## 4 – ESTUDOS DE CASO

Dentro da construção de instrumento, particularmente cordofones, existem na atualidade explorações tanto na sua forma como sonoridade, em como a anatomia do objeto pode influenciar o seu som, permitindo novas explorações. Neste capítulo estão presentes alguns exemplos considerados pertinentes para esta proposta, pela sua semelhança ou pelas suas características.

O primeiro instrumento a ser explorado é a *Silent Guitar*, que é relevante pela exploração que faz ao retirar uma grande parte do volume sonoro produzido pela vibração das cordas no corpo de uma guitarra. O segundo instrumento é de origem chinesa e chama-se *Pipa*, que é relevante devido a possuir trastes salientes, algo que foi adaptado para o projeto. Por último, traz-se o exemplo da exploração feita na *Scalloped Fretboard Guitar*, interessante pela escavação feita na escala do braço que permite uma ondulação no som, uma característica cativante para explorar ao tocar a guitarra.

Para além destes três exemplos estudados, é de referenciar os cordofones tradicionais portugueses, pela exploração de diferentes formas, tonalidades e afinações; os instrumentos de cordas clássicos e também eventos de partilha de instrumentos experimentais como acontece com o *Maker Music Festival*, em que músicos e pessoas interessadas em música partilham os seus instrumentos experimentais, explicando-os e fazendo uma breve demonstração de como tocá-los.

### 4.1 Silent Guitar

As guitarras silenciosas, mais conhecidas como *Silent Guitar*, têm como principal característica um braço com uma secção central conectada e a zona de afinação, que em alguns modelos diferentes estão na cabeça (semelhante a uma guitarra tradicional) ou aparecem integradas com o sistema de amplificação do instrumento. Este tipo de guitarras ficou mais conhecido pela série *Silent Guitar* da Yamaha, e possuem, normalmente, conector de saída para a conexão de auscultadores e também para amplificador, para além de alguns componentes eletrónicos integrados para o controlo do som (Sam, 2022).

Uma curiosidade é que estas guitarras são muitas vezes associadas também às guitarras de viagem, diferenciando-se essencialmente pelo seu tamanho, no qual uma

guitarra de viagem tende a ser mais compacta, enquanto uma guitarra silenciosa possui ainda um tamanho habitual de uma guitarra. Em contraste às guitarras de viagem, as guitarras silenciosas têm um comprimento de escala total, o que transmite uma sensação semelhante ao toque de uma guitarra tradicional para o músico (Sam, 2022).

Este modelo de guitarras foi concebido para ser utilizado em cenários onde seja necessária maior discrição, como por exemplo o estudo individual numa sala com outros instrumentos. Como há a ausência de um corpo na guitarra, dá-se uma redução significativa do volume produzido pelas cordas. Na sua maioria, o som é amplificado ou ouvido através de auriculares ou através de um amplificador (o que a torna semelhante a uma guitarra elétrica), e, nos modelos da Yamaha, este é um instrumento digital, no qual se utilizam gravações de estúdio de guitarras reais para a criação de tons ajustáveis e similares ao som natural de uma guitarra quando amplificados (Arpon, 2023).



Fonte: Google Imagens

Figura 14 - *Silent Guitar*, modelo SLG200S da Yamaha

Com a exploração do desenho e funcionalidade que o braço tem no presente projeto, faz sentido mencionar as guitarras silenciosas, pois mesmo estas se diferenciando do âmbito do projeto, por terem uma componente elétrica para amplificação, continuam a ter um objetivo comum: a possibilidade de reduzir o som de

uma guitarra para momentos de estudo ou mais intimistas. Considera-se este exemplo bastante pertinente porque diverge do objetivo primordial que muitos construtores procuram: retirar o máximo de som possível do instrumento; e procura exatamente o oposto, que com a ausência do corpo em madeira, há uma redução significativa do som mesmo comparando com o som produzido por uma guitarra elétrica sem amplificador.

A *Silent Guitar* é um guia interessante para consultar nos pontos comuns ao projeto e também para fomentar novas explorações futuras que advenham deste projeto.

## 4.2 Pipa

A *pipa* é um instrumento musical tradicional chinês antigo. A sua nomenclatura vem inicialmente das técnicas de tocá-lo, o caractere chinês 琵 (“Pi”) significando o movimento das mãos para a frente e o caractere chinês 琶 (“Pa”) significando o movimento inverso (Arte do pipa, 2021).

Quanto à sua estrutura, a *pipa* possui uma caixa de ressonância em forma de pera, o seu braço está dividido em 30 trastes – o que depreende que o instrumento contenha aproximadamente três oitavas e meia – e contém entre quatro a cinco cordas. As suas cordas são de seda e, usualmente, utiliza-se uma palheta de marfim, madeira, osso ou a unha do músico para as tocar. Quanto à técnica utilizada, este instrumento requer uma destreza e agilidade espetacular. Muitas das peças e obras escritas para ser tocadas com a *pipa* perderam-se ao logo do tempo, enquanto outras são transmitidas geracionalmente em pequenos nichos familiares ou de estudiosos (Pipa - instrumento de música chinesa tradicional, s.d.).

Em relação ao projeto, este instrumento é uma influência pela abertura a uma nova forma de tocar o instrumento, na qual o instrumento se encontra no sentido vertical, e pela abordagem diferente feita nos trastes, em que estes são mais salientes. Sobretudo na última razão, considero este pertinente, pois assim há uma facilidade no posicionamento dos dedos sob os trastes e também na aplicação de pressão para a produção de melodias. Algo que é possível de observar neste instrumento também é a ausência de uma boca, tendo somente umas pequenas perfurações, que permitem que o som tenha uma forma de ser transmitido.



Fonte: Google Imagens

Figura 15 - Pipa, instrumento musical

### 4.3 Scalloped Fretboard Guitar

Chama-se *Scalloped Fretboard*, a uma guitarra cuja escala tenha uma curvatura (rebaixo) que cria a forma de um “U”. Consegue-se este efeito através da escavação da madeira entre trastes, contudo, o processo de escalonar o braço é um trabalho minucioso, e, normalmente, executado por *luthiers* com fresadoras especiais que possuem 22 a 24 ferramentas de corte de madeira – de acordo com as diversas dimensões do braço e quantidade de trastes (The Scalloped Fretboard Guitar, s.d.).

Ao criar uma escala *scallop*, o som do cordofone sofrerá alterações, assim como, a forma de tocar o instrumento. Uma das vantagens inerentes a este tipo de escala é o alívio de peso, visto que se reduz o material do braço ao escavar o traste; contudo, as alterações ao tocar o instrumento, podem tornar a adaptação do músico ao mesmo, um pouco mais complexa, dependendo de fatores adicionais como as cordas utilizadas (The Scalloped Fretboard Guitar, s.d.).



Fonte: Google Imagens

Figura 16 - *Scalloped Fretboard Guitar*

A guitarra de escala recortada, *scalloped fretboard*, combina características da *Veena* – instrumento originário do sul da Índia – e da guitarra de cordas de aço. O braço ser esculpido faz com que haja uma redução do atrito entre os dedos do músico e o braço da guitarra, uma vez que as pontas dos dedos toca somente a corda. É possível encontrar este tipo de escala em alguns alaúdes, com intuito muitas vezes decorativo, o que torna a *scalloped fretboard guitar*, um fenómeno relativamente novo (Gjoni, 2023).



Fonte: Google Imagens

Figura 17 - *Veena*, instrumento musical

Este tipo de solução para a escala de uma guitarra é pertinente para este projeto, pois tendo como objetivo um braço com uma escala saliente, interessa saber as diferentes técnicas de tornar a escala, que normalmente é plana, numa escala mais dinâmica. Isto dá ao músico liberdade para explorar uma nova sonoridade no instrumento.

#### 4.4 Outras menções

Tendo falado sobre os exemplos anteriores, neste subcapítulo, salienta-se alguns instrumentos cordofones que são pertinentes por apresentarem algumas características que foram utilizadas como referência durante o desenvolvimento do projeto. O primeiro a mencionar é a guitarra portuguesa, pela forma como funciona o cavalete – é móvel – que possibilita a produção do som através da força exercida pelo movimento das cordas no cavalete, que o empurra contra o tampo. Há assim uma transmissão direta das vibrações ao tampo harmónico. Outros instrumentos em que esta situação acontece são o violino, viola d’arco ou contrabaixo.



Fonte: Google Imagens

Figura 18 - Guitarra Portuguesa, modelo de Coimbra

Em segundo lugar, é pertinente mencionar o *koto* (instrumento de origem japonesa), pela sua forma de tocar e por este ser um instrumento, no qual não há uma afinação base, mas que se adapta à música que será feita a *performance*. Esta característica torna este um instrumento peculiar, e que se destaca perante os instrumentos ocidentais. Durante o processo de desenvolvimento do braço, este instrumento expandiu a forma como poderia funcionar a escala do braço, mesmo que no final, tenha sido decidido optar por uma escala semelhante à da guitarra.



*Fonte: Google Imagens*

Figura 19 - Koto em performance

## 5 – DESENHO E CONCEPTUALIZAÇÃO

Este capítulo introduz a segunda fase do projeto, que está contêm as problemáticas relacionadas com o desenvolvimento do projeto, *per si*. Partindo do desenho, da escolha das características, do conceito, até às experiências através de maquetes e por último a seleção de materiais e a construção do protótipo.

Neste capítulo, inicia-se com o raciocínio e formalização da primeira ideia; segue-se com o conceito e caracterização do objeto resultante desta proposta; por último, define-se os pontos base do projeto, servindo de mote para o capítulo seguinte.

Os capítulos da segunda fase relativos ao desenvolvimento do projeto, em certos momentos, estarão escritos na primeira pessoa do singular, de modo a facilitar a explicação do mesmo.

### 5.1 Briefing autoproposto

De modo a introduzir o desenvolvimento do projeto, este subcapítulo aborda os requisitos autopropostos para o mesmo.

Como este projeto tem um cariz mais experimental, na medida em que o principal objetivo é explorar a forma e sonoridade do mesmo, não foi definido um público-alvo previamente. Contudo, defini que o objeto resultante deveria ter em consideração as características e componentes dos instrumentos de cordas, em especial da guitarra clássica; além de implementar, no protótipo, as madeiras já utilizadas em cordofones.

Dentro do requisito dos materiais, os mesmos teriam de reunir as propriedades necessárias – encontradas durante a pesquisa – e de ser económicos, para a construção do protótipo. Ainda relacionado à prototipagem, a mesma teve como requisito autoproposto ser executada segundo as técnicas e métodos de construção tradicionais.

Por último, prevendo possíveis percalços, um requisito foi ter uma margem para fazer alterações que facilitem a construção do protótipo, caso necessário.

## 5.2. Esboços Iniciais

Após a primeira fase de investigação, com o intuito de começar a esboçar ideias para o instrumento musical, explorou-se a partir do desenho a sua forma, sob influência dos instrumentos cordofones já existentes. Nesta parte, o principal foco foi a libertação da mão, esboçando formas orgânicas.

Visto que os cordofones atuais prezam a simetria no desenho da sua forma, algo que decidi experimentar foi a assimetria pois era pertinente entender se a forma alteraria o som produzido pelas cordas na caixa de ressonância, o que, teoricamente, não seria negativo porque o tamanho do instrumento é a parte mais impactante na produção de som. Como foi investigado nos capítulos anteriores, o tamanho do objeto varia de acordo com o tamanho das cordas (da escala), pois quanto maior as cordas, maior terá de ser o instrumento para deixar a vibração das cordas ressoar no corpo do instrumento.

Numa fase mais primária dos esboços, os instrumentos que serviram de maior influência foram a guitarra clássica, a guitarra portuguesa e alguns instrumentos experimentais. Estes últimos, em especial, permitiram a exploração da forma para o objeto a partir de figuras geométricas e também da desconstrução dos instrumentos (Figuras 20 e 21).

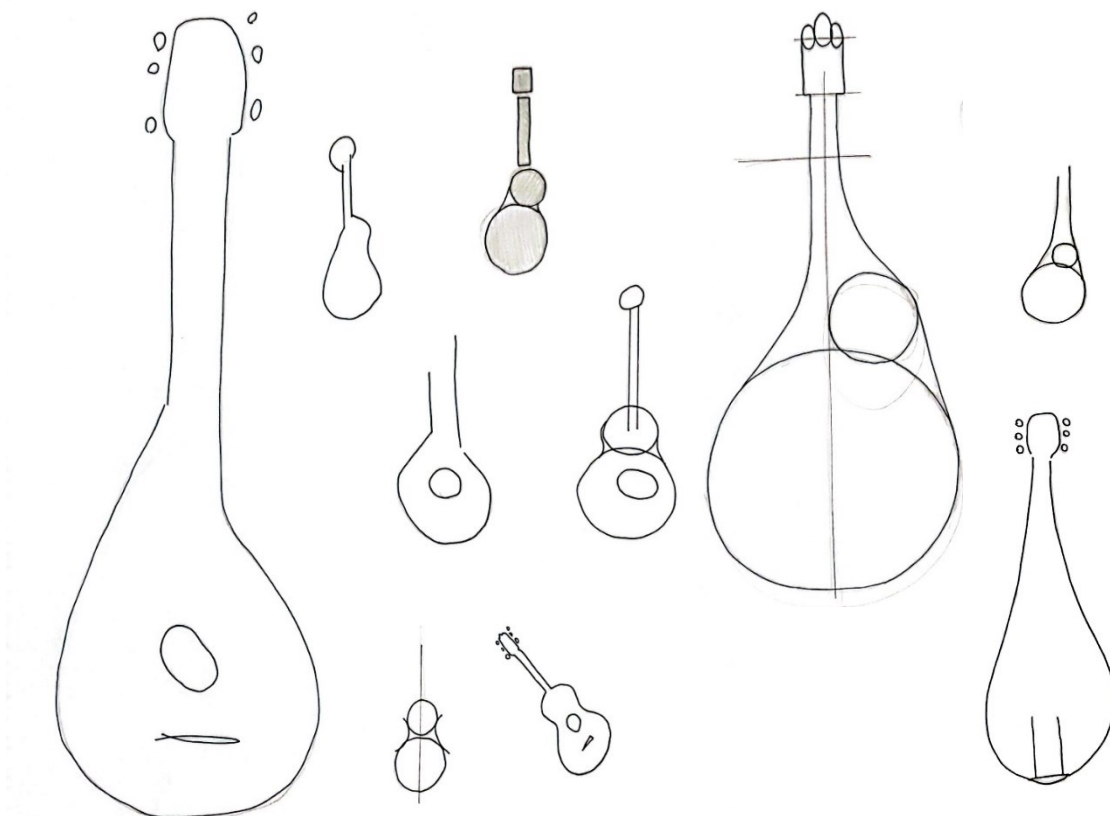


Figura 20 - Esboços iniciais para a forma do corpo do instrumento

A guitarra é o principal objeto de estudo nesta proposta, por essa razão, seguindo alguns exemplos de instrumentos experimentais, comecei a desconstruir o seu desenho em formas mais básicas – o círculo, o quadrado (Figura 21). Tendo estas figuras, reorganizei-as em diferentes posições. Enquanto explorava as diferentes opções de agrupar as figuras simples, encontrei uma forma que considerei mais interessante de continuar a explorar.

Em paralelo, trabalhei a parte de simetria e assimetria, esboçando diferentes ideias a partir de figuras geométricas e algumas formas orgânicas (Figura 22). Contudo a forma que decidi para corpo da guitarra, parte da reorganização das figuras geométricas em que tinha dividido a guitarra clássica, anteriormente. Para esta, mantive o círculo inferior (que forma o “8” da guitarra clássica) na parte inferior do desenho, reduzi o tamanho do círculo superior do “8”, e, traçando uma linha vertical no centro do círculo inferior, desenhei-o à direita. Posteriormente a esboçar esta ideia, notei que esta se pareça com uma combinação da guitarra portuguesa e da guitarra clássica (Figura 26).

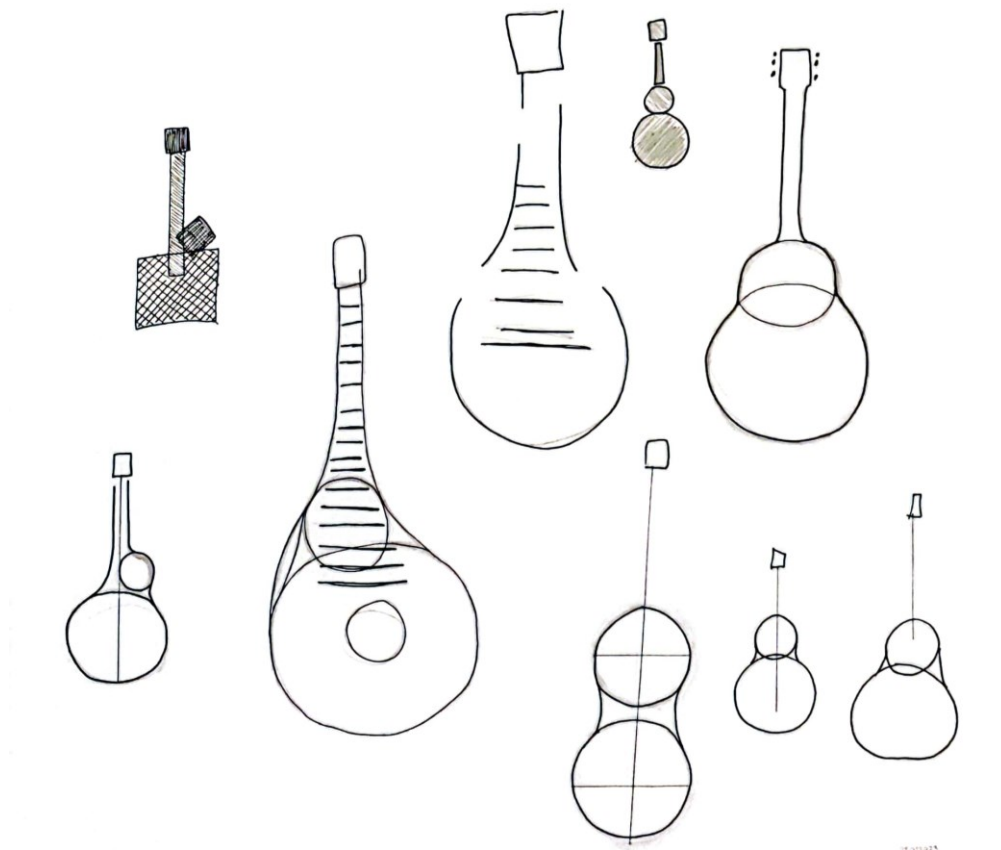


Figura 21 - Esboços iniciais de desconstrução do desenho de uma guitarra em formas simples

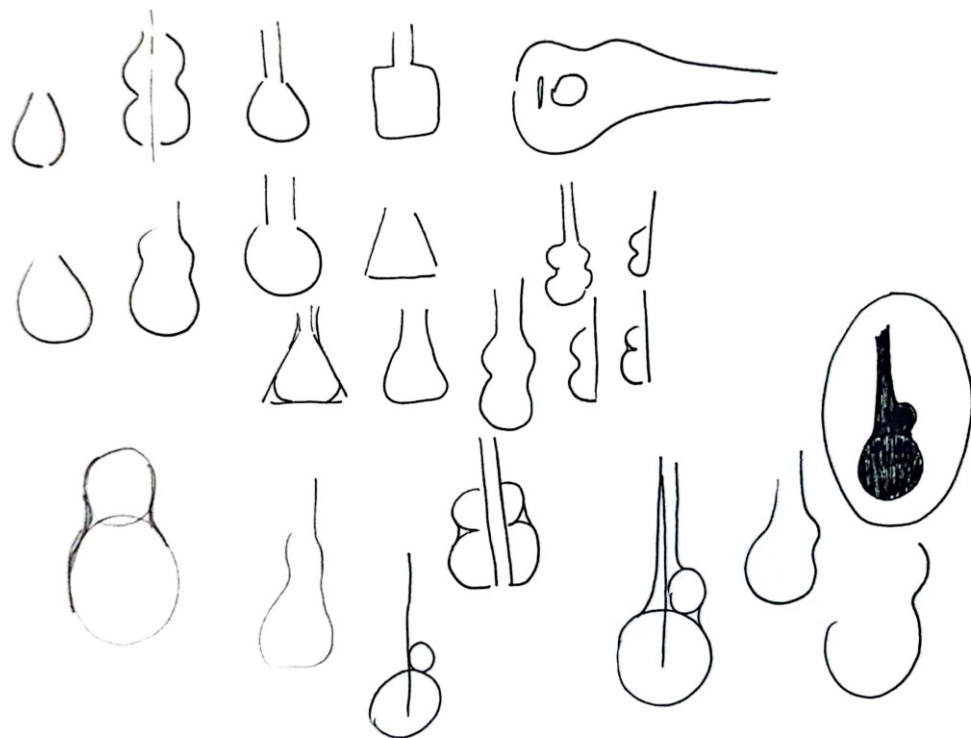


Figura 22 - Esboços iniciais, simetria vs. assimetria

Pensando no objeto como em qualquer outro instrumento musical, o passo seguinte foi o desenho da cabeça ou mão (Figuras 24 e 25). Para isso, inicialmente, fiz uma recolha visual de cabeças de guitarra e, paralelamente, desenhava opções que tentassem ir de encontro ao desenho escolhido para o corpo do objeto, algo que se mostrou complicado pois mesmo quando a mão e o corpo tinham uma linguagem similar no seu desenho, pareciam não se relacionar completamente. Mesmo assim, continuei a esboçar à procura a forma que completasse o desenho do corpo.

Com base numa estilização do desenho da mão de uma guitarra portuguesa, continuei a exploração chegando a uma solução que mesmo não a considerando a final, se relacionava melhor com o desenho já definido para o objeto. Visto que o desenho da cabeça não estava a chegar ao resultado esperado, alterei o foco para a parte já definida e para a caracterização do objeto.

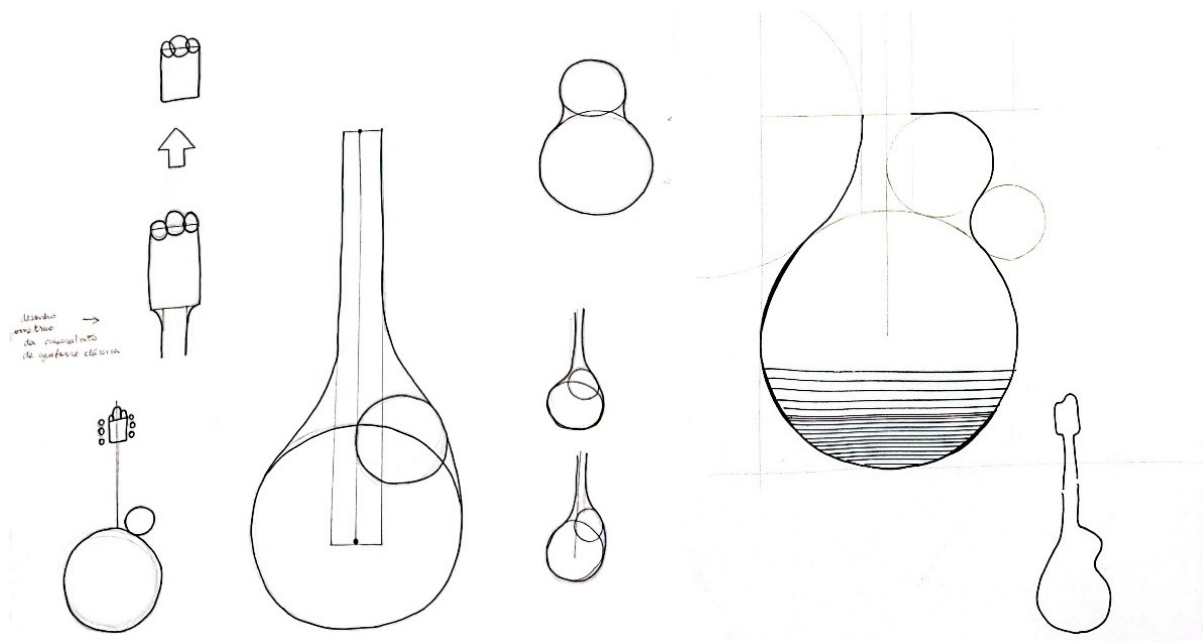


Figura 23 - Esboços iniciais para o corpo do instrumento

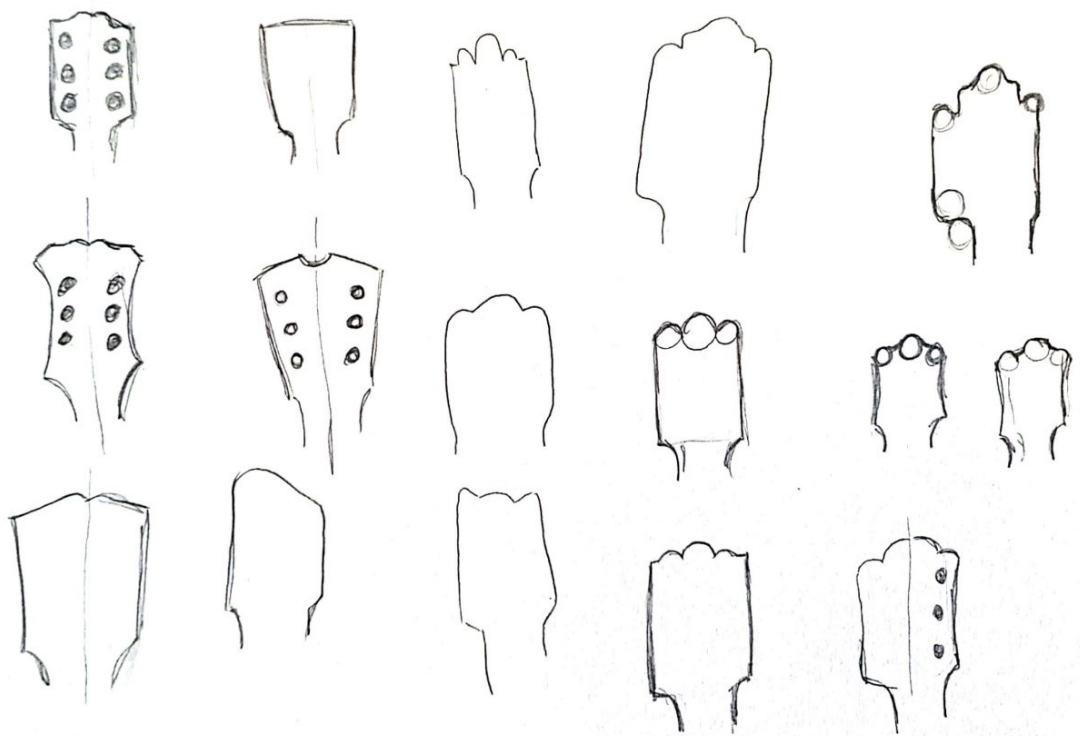


Figura 24 - Esboços da recolha e primeiros estudos de cabeças de guitarras

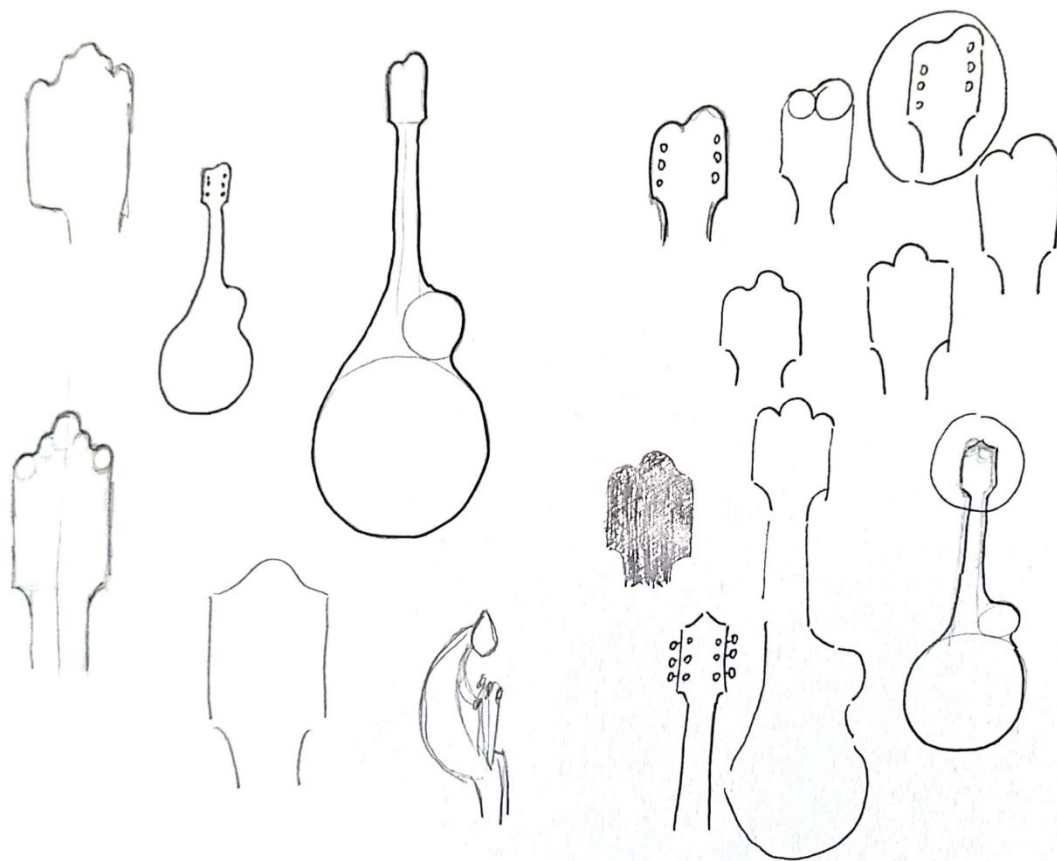


Figura 25 - Continuação do estudo para a cabeças do instrumento

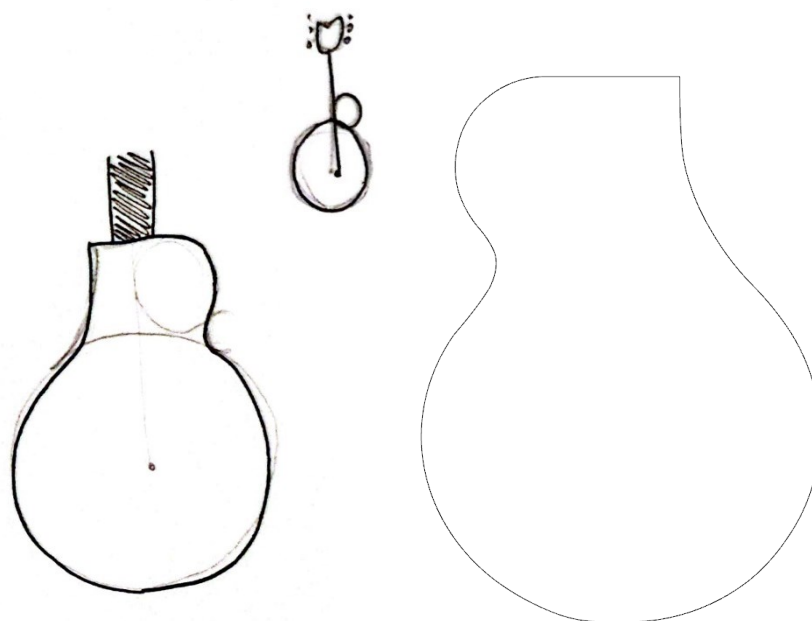


Figura 26 - Esboço final para o corpo do instrumento

### 5.3 Caracterização do instrumento

Durante a primeira fase de investigação, fui colocando algumas questões relativas às características de um instrumento musical, de modo a entender os pontos que necessitaria que colmatar para a criação de um novo cordofone. As questões autopropostas a responder são as seguintes:

Como se toca o instrumento?

Qual o seu registo/timbre?

Qual o comprimento das cordas?

Qual o tamanho do instrumento?

Que tipo de cordas são utilizadas?

Como se afina o instrumento?

Quais os materiais que são utilizados na sua construção?

Quantas cordas tem o instrumento?

A resposta a cada questão define as características principais do objeto, como se pretende que este se relacione com o músico e também problemáticas mais técnicas a ter em consideração.

Quanto ao tamanho do instrumento e cordas, o objeto está entre o tamanho de uma guitarra clássica e uma guitarra portuguesa, e o tamanho das suas cordas, mais propriamente da escala é entre os 43 centímetros e os 50 centímetros. Ou seja, é relativamente inferior ao tamanho da escala de uma guitarra clássica. Mesmo assim, a afinação para o objeto escolhida é a mesma usada na guitarra clássica: EBGDAE (mi agudo, si, sol, ré, lá, mi grave), entre a primeira corda (mais aguda) e a última (mais grave), que têm a mesma nota musical, há duas oitavas. Quanto ao número de cordas, igual à guitarra clássica, o objeto contém seis cordas. As cordas pensadas utilizadas no projeto são feitas de um material semelhante ao nylon, que apresenta uma composição que se aproxima das cordas feitas em tripa – utilizadas nos instrumentos de cordas antecessores à guitarra.

Com a pesquisa acerca dos materiais, foram escolhidas as seguintes madeiras pelas suas características, disponibilidade e preço para o objeto, tendo em conta a gama de madeiras já utilizadas na construção de cordofones: o mogno sapele (que apresenta características semelhantes ao mogno) – para as ilhargas, costas/fundo, braço e

cabeça/mão, porque, nestas partes, é necessário usar uma madeira mais dura para melhor estabilidade do instrumento – e o abeto europeu – para o tampo, porque como este componente necessita de vibrar, a madeira a usar precisa de ser mais mole.

Quanto à forma de tocar o instrumento, foram influências a *pipa* e a guitarra portuguesa (instrumentos abordados no capítulo “Estudos de Caso”), em que o músico com o braço do instrumento numa posição mais vertical do que acontece na guitarra clássica. A principal razão para a escolha desta forma de tocar o instrumento é por esta facilitar a visibilidade da escala no braço e também o seu acesso. Retornando ao assunto da sua afinação, numa fase inicial pensou-se em localizar os afinadores ou cravelhas noutra local no instrumento em vez da mão, o que iria fazer com que esta parte não tivesse de existir, contudo ao entender os problemas que advinham dessa hipótese, mantem-se a mão como destino para a localização dos carrilhões.

Uma característica extra às questões colocadas é a anatomia dos trastes, que usualmente na guitarra são lisos e, por isso, produzem um som constante; para o objeto com o intuito de procurar uma sonoridade diferente, mas sobretudo para dar mais visibilidade aos trastes e à sua localização, pensei em desenhar os trastes com relevo – possível de observar nos esboços mais à frente.

As informações mais específicas acerca dos materiais das cordas e madeiras utilizadas estão presentes no capítulo “Protótipo”, subcapítulo “Materiais”.

### 5.3 Esboços intermédios e de exploração

Com a caracterização base para o instrumento, continuei a esboçar ideias e, visto que o foco anterior tinha sido no formato do corpo do instrumento, neste segundo estágio de esboços, o foco foi alterado para o braço do instrumento que ainda estava em aberto. Como uma das características a implementar no braço era a tridimensionalidade da escala e trastes, trabalhei mais para esse detalhe nos desenhos.

Pensei em como poderiam estar divididos os trastes, se de uma forma mais tradicional ou se de uma forma mais aleatória, algo que decidi que fosse mais tradicional (e com isto, haver uma divisão calculada da escala). A razão por detrás disto, era para o

instrumento manter a sua ligação com a guitarra e afinação. Até porque o som já seria ligeiramente diferente, por causa do relevo dos trastes.

- ideia para a escala e trastes:  
 poder escolher o número e localização  
 dos trastes no braço do instrumento.

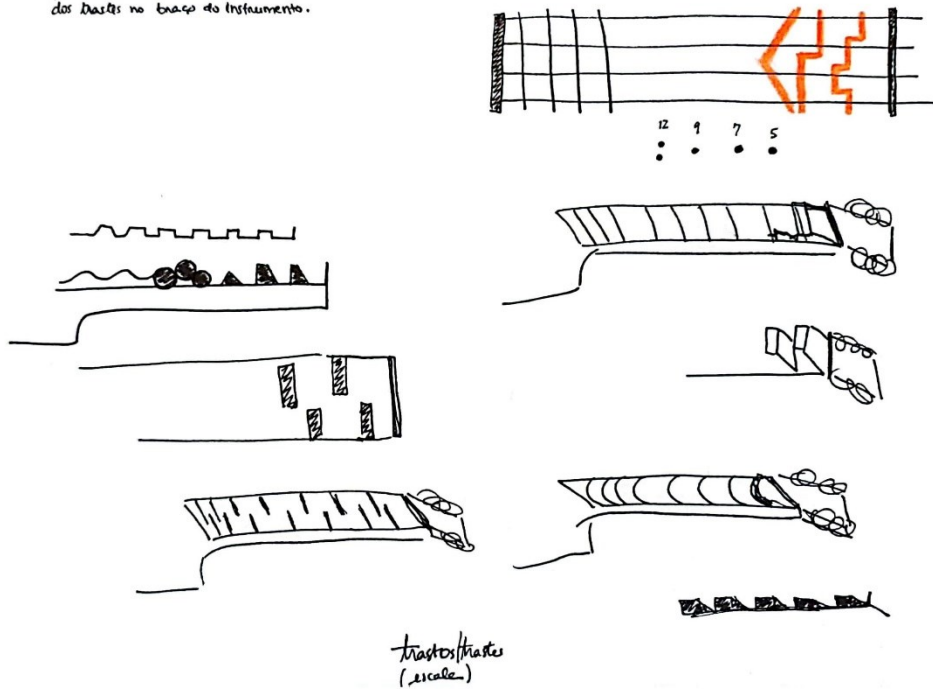


Figura 27 - Esboços da exploração dos trastes

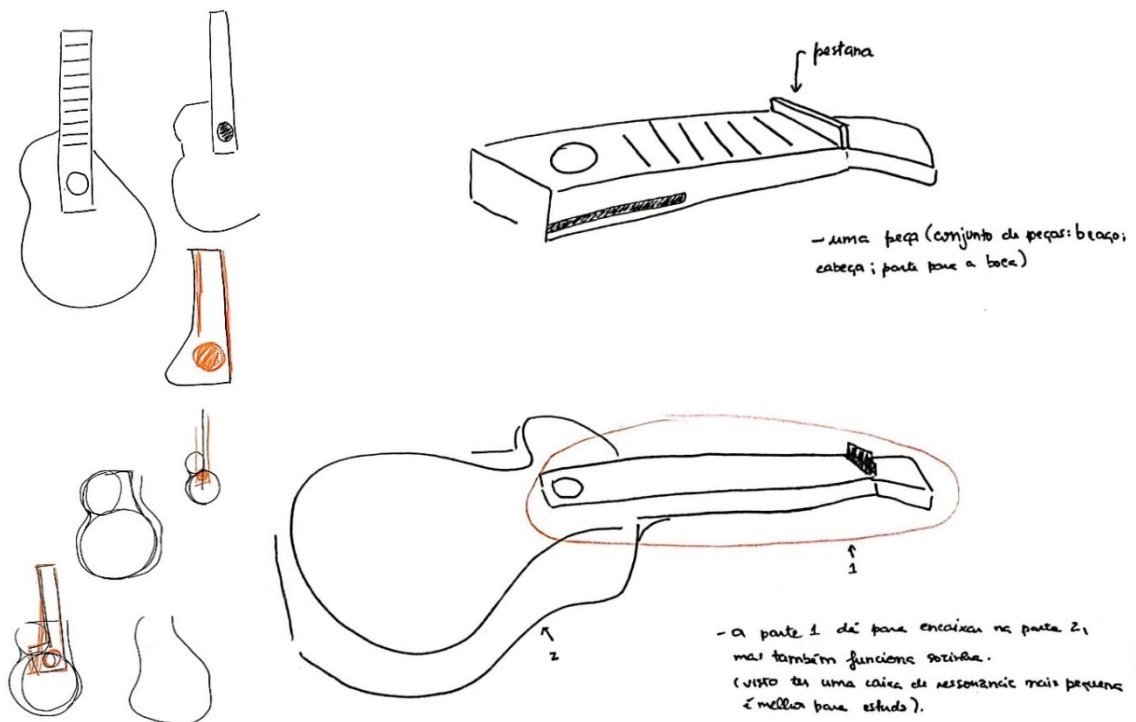


Figura 28 - Esboços iniciais para o braço como peça autónoma

O ponto que comecei a trabalhar em paralelo com o desenho do braço, foi a sua relação com o corpo do instrumento. Durante esta exploração, surgiu a ideia de ambos poderem se separar e, tornar o braço, uma peça autónoma. O processo de como interligar o braço e o corpo passou por pensar em rebaixar a zona onde o braço encaixaria no corpo, mas esta hipótese foi descartada porque, em conversa com o Sr. Alfredo (construtor de instrumentos – detalhado no capítulo 7), ele explicou que isso iria fragilizar o tampo, que é a parte essencial para que o instrumento ressoe. Esta foi também a razão pela qual foi descartada a ideia de colocar os afinadores do instrumento na outra ponta do braço, porque isto iria infligir muito peso sob o tampo, e este precisa do maior espaço livre possível para vibrar.

A solução encontrada para unir o braço ao corpo do instrumento foi através da parte onde o braço pousa sob o tampo, e onde o braço passa pela ilharga, como é possível ver no esquema da figura 31. Uma grande parte desta fase, foi intercala entre desenho e modelação 3d (em Rhino), pois, por vezes, estava com dificuldade em perceber como a parte funcionava num todo ou como conseguir desenhar determinada parte da peça.

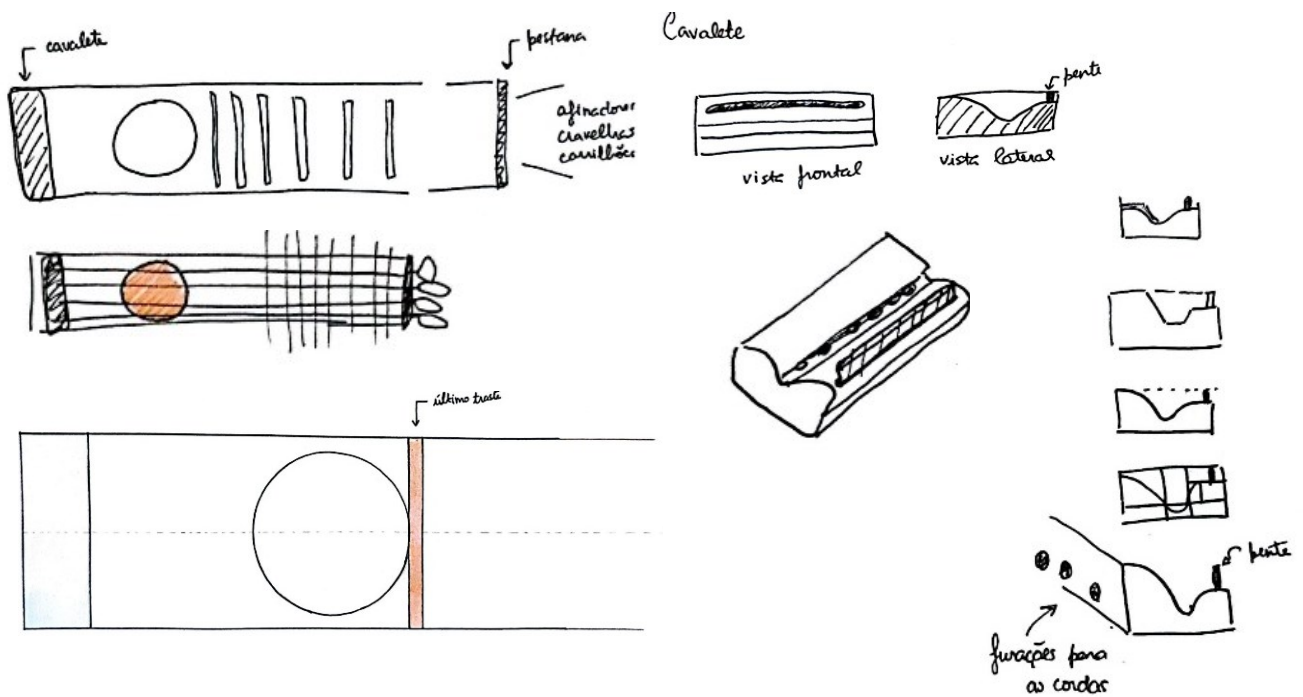


Figura 29 - Esboços para o braço e cavelete

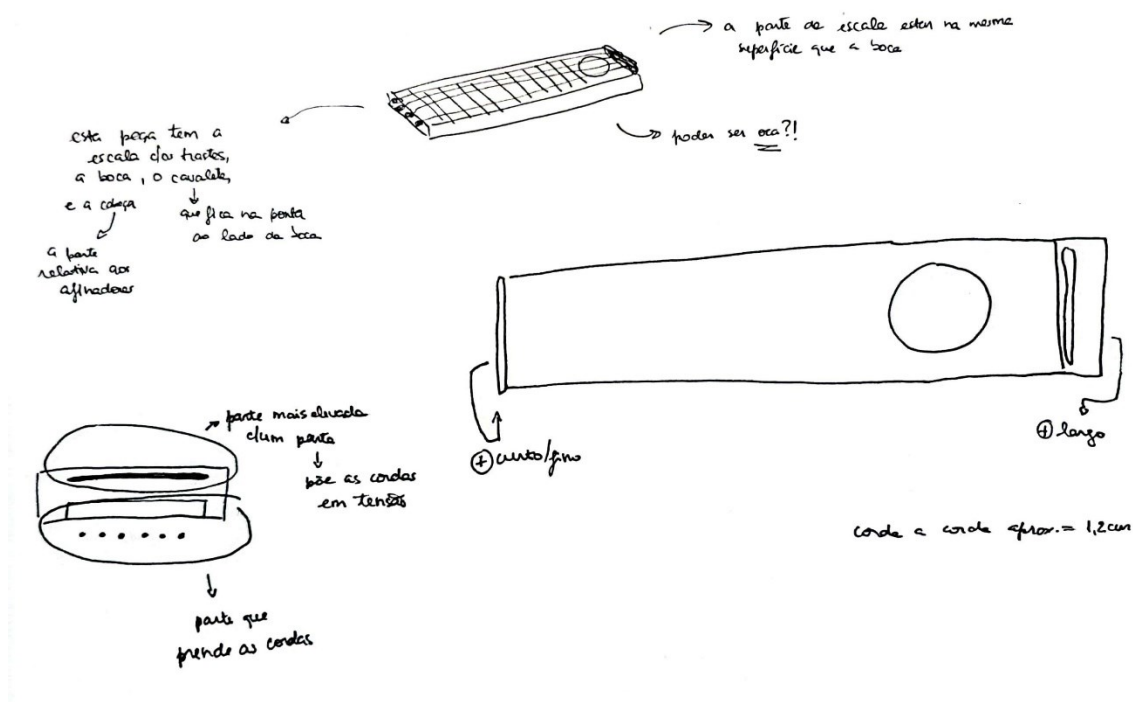


Figura 30 - Esboços e apontamentos para o braço

O braço, neste projeto, tem um papel importante, pois é a peça que vai conter as cordas e terá de suportar a tensão que estas exercem. Esta solução assemelha-se à guitarra silenciosa, abordada no capítulo “Estudos de Caso”, subtítulo “*Silent Guitar*”, no que compete a conter as cordas e todo o sistema que as prende e afina, assim como a característica de fazer com que, por si só, o instrumento produza menos som, por não ter um corpo que vibre por simpatia. Contudo, ao contrário da guitarra silenciosa, que são usualmente eletrificadas e têm um esqueleto que segue a forma de uma guitarra; o instrumento deste projeto é na sua totalidade acústico, dependendo de uma caixa de ressonância para uma amplificação do som produzido.

O trabalho desenvolvido em modelação, assim como renders do braço numa fase mais finalizada, são encontrados no anexo C.

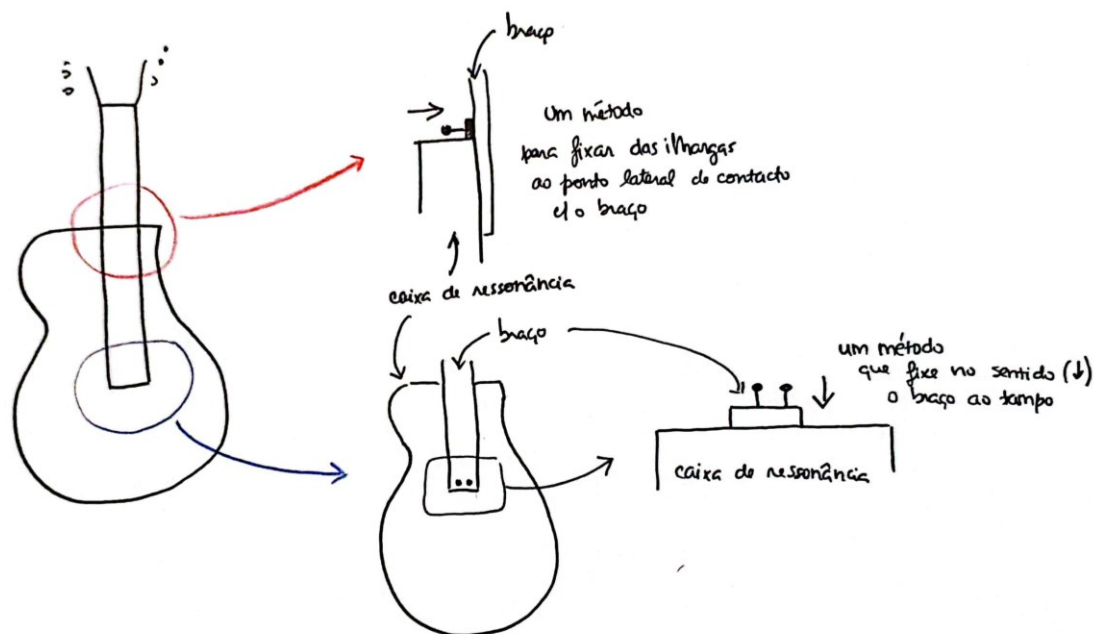


Figura 31 - Esquema da ligação entre o corpo e o braço

#### 5.4 Conceito do instrumento

Tendo sido abordado nos subcapítulos a parte ligada à caracterização e desenho do instrumento, este subcapítulo trata o conceito e propósito do mesmo.

O instrumento que resulta deste projeto, está dividido em duas peças principais, o braço (que engloba também a cabeça) e a caixa de ressonância. Esta divisão permite que o instrumento tenha duas possibilidades acústicas: uma primeira, em que só com o braço, o som é mais baixo e é pensado para ser tocado em ocasiões mais intimistas e de estudo; e uma segunda, em que o braço está conectado com a caixa de ressonância, na qual o som se caracteriza por ser mais alto que a anterior, podendo ser ouvido com mais clareza.

O ponto referido, faz com que este instrumento se diferencie dos demais, quer dos cordofones, por permitir que o som seja reduzido, quer nas guitarras silenciosas, por ser um instrumento acústico e recorrer a uma caixa de ressonância para a amplificação do som.

No que toca ao nome para este instrumento, o escolhido foi guitarra IIIa. O braço da guitarra como é uma parte bastante importante e como produz som por si só, ainda

que de baixo volume tem o nome de Ilha porque, assim como uma ilha, o braço é auto suficiente. A caixa de ressonância, pelo papel que desempenha de amplificar o som, tem o nome de Arquipélago porque, em analogia, se um arquipélago é formado por um conjunto de ilhas e, essa união, as torna mais fortes, também a caixa de ressonância dá mais força ao som produzido pelo braço, amplificando-o.

## 6 - MAQUETES

Dedica-se um capítulo para a experimentação através da maquetização, porque esta foi fulcral para responder a questões acerca das dimensões do objeto e como as diferentes partes se relacionam entre si, para além de ter sido determinante no exercício de encontrar algumas falhas e incongruências.

### 6.1 Maquetes de volume

Com o desenho para o corpo do instrumento encaminhado, surgiu a necessidade de entender a dimensão que o mesmo teria e como o instrumento se relacionaria com o corpo humano. Por isso, comecei por fazer uma maquete somente para entender a volumetria do objeto.

Nesta maquete inicial, dividi o instrumento pelos seus componentes: o corpo/caixa de ressonância, o braço e a cabeça. Na parte do corpo, fiz algumas experiências com a curvatura, se esta seria mais evidente ou mais subtil, como é possível observar na figura abaixo.

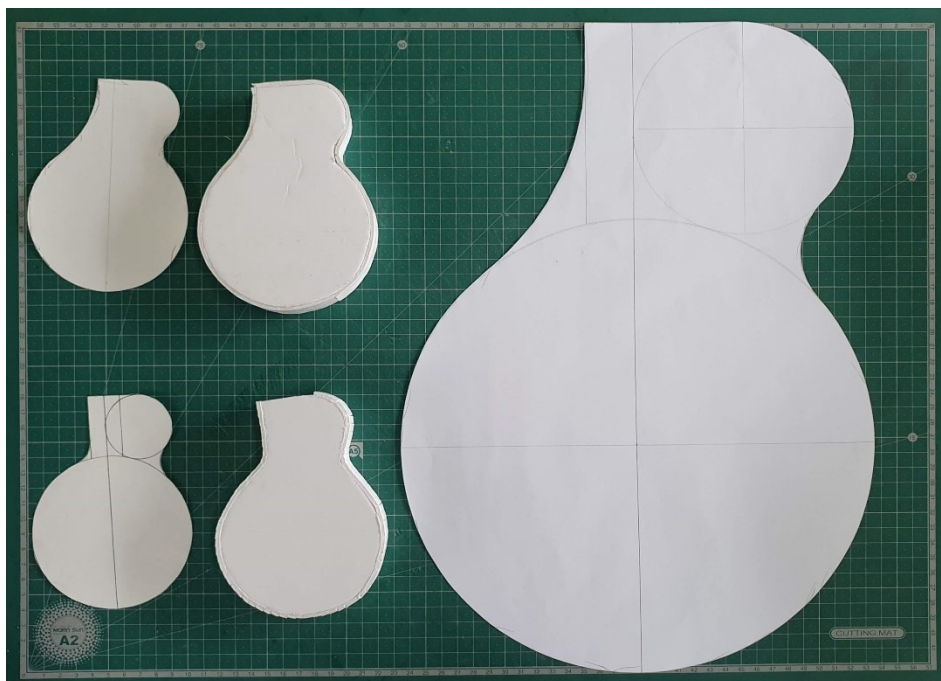


Figura 32 - Maquetes de estudo da curvatura para o corpo do instrumento

Após ter selecionado a curvatura para o corpo, passei para uma maquete à escala real, de modo a comparar com o tamanho da guitarra e com o corpo humano. À *posteriori*, construí o braço e a cabeça (nesta fase inicial ainda não estava selecionado o desenho para a cabeça, por isso, utilizei uma das opções que tinha desenhado).

Nesta fase inicial da maquetização, o principal foco foi entender a volumetria e também a relação entre o músico e o instrumento. A par do desenvolvimento das maquetes, comecei a modelar a versão tridimensional do instrumento, o que permitiu experimentar os possíveis materiais a utilizar quando chegasse a fase de prototipagem.



Figura 33 - Maquete de volume do instrumento à escala real

## 6.2 Maquetes de estudo

Dentro deste subcapítulo de maquetes estudo, aborda-se a maquete feita do braço – na qual houve uma exploração da fisionomia dos trastes e a sua inclinação, também contribuiu para compreender algumas fragilidades que esta parte apresentava.

Com esta maquete de estudo houve uma conversa com o construtor de guitarras, Alfredo Teixeira, ajudando a encontrar os pontos a trabalhar – como é o caso da boca que estando presente também no braço, torna aquela zona frágil e apta a partir, – a ter algumas noções práticas associadas à construção do instrumento, e quais os materiais a utilizar para que o protótipo pudesse ser funcional.

Na figura abaixo, observa-se a maquete feita em cartão com o corpo da primeira maquete, mostrando como ambos interagem um com o outro. É possível reparar na zona do cavalete que o mesmo estava pensado para ser fixo, algo que teve de ser alterado para que se desse a propagação do som na caixa de ressonância, visível na figura 36 em que o mesmo é um cavalete móvel.

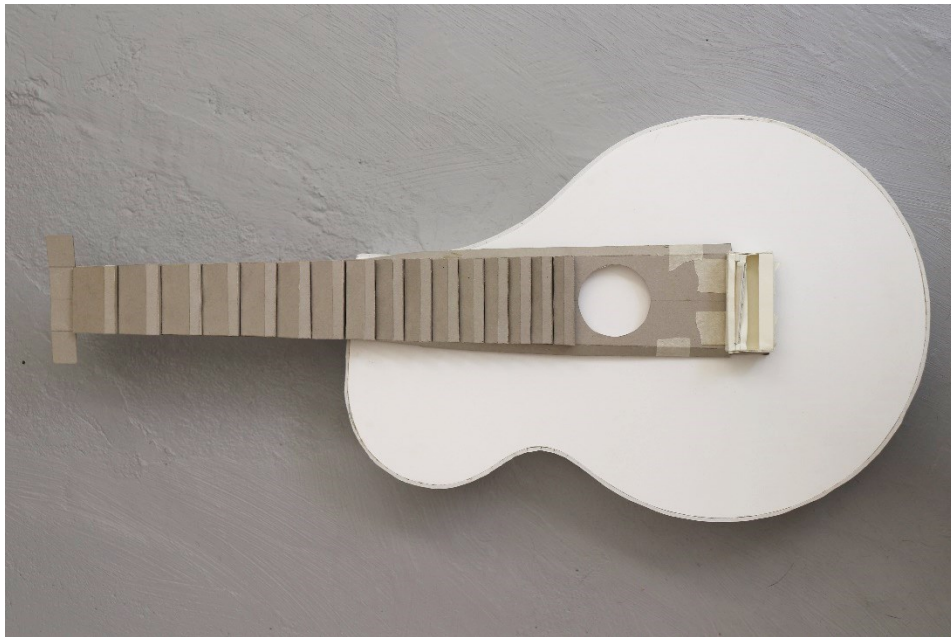


Figura 34 - Maquete de estudo do braço e a sua integração no corpo

Com isto, aprimorei a estrutura do braço e trastes, utilizando uma aplicação que calcula o espaçamento dos trastes com base no comprimento da escala (abordado no capítulo “Conceitos Acústicos Relevantes”, subcapítulo “Espaçamento dos trastes”). A figura 37 é a maquete que executei em balsa para ter uma previa de como seria o som do instrumento, o que foi difícil devido às características físicas do material, que não consegue suportar a tensão provocada pelas cordas. Para esta maquete tive de selecionar também as cordas, que foram as mesmas utilizadas no protótipo, em que o material com

o qual são feitas é um género de tripa sintética com *nylon* e permite ao objeto ter uma sonoridade semelhante à dos instrumentos de cordas mais antigos.

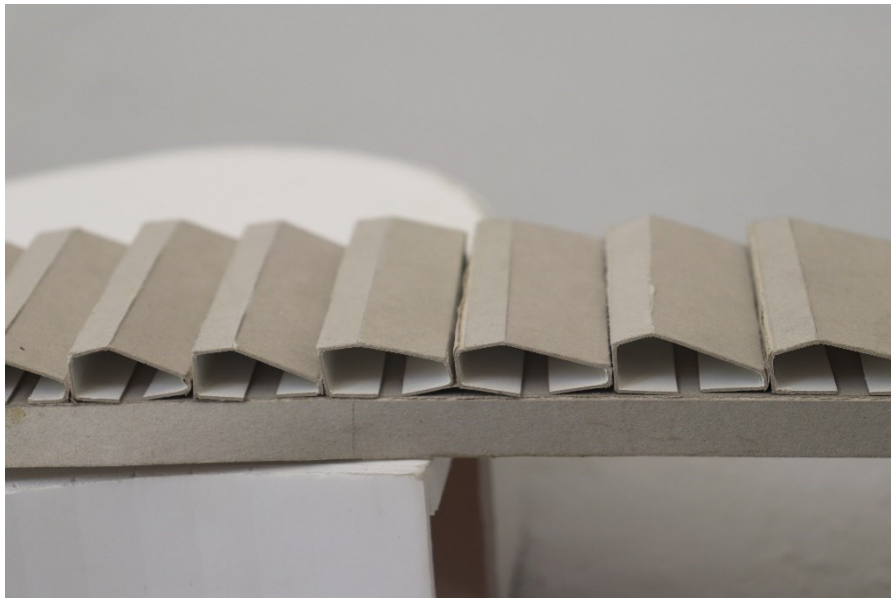


Figura 35 - Pormenor dos trastes

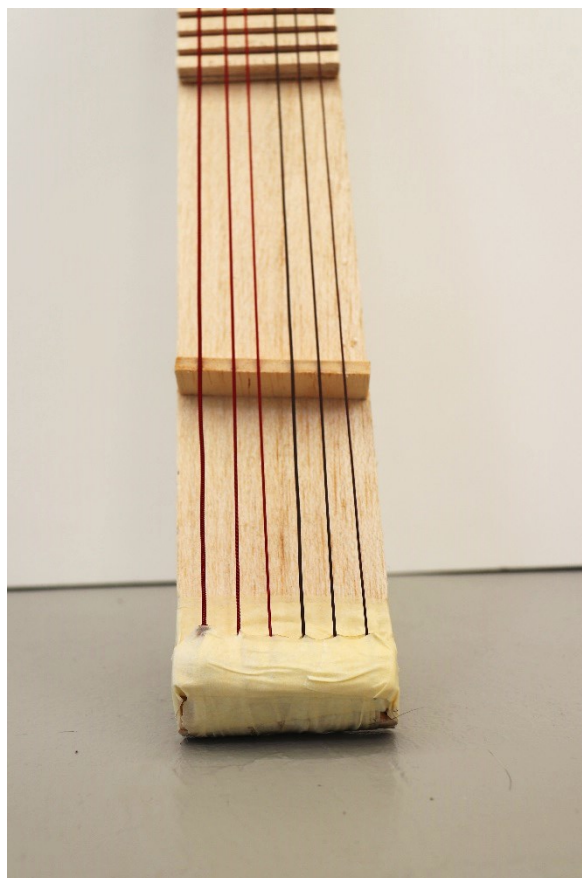


Figura 36 - Pormenor do cavalete móvel



Figura 37 - Maquete de estudo em balsa

## 7 - PROTÓTIPO

Este capítulo é constituído pela informação relativa aos materiais utilizados para o protótipo e as suas principais características, ao desenho técnico, à construção do protótipo e também por fotografias do instrumento e renders.

### 7.1 Materiais

Para materiais para o instrumento, visto o mesmo ser um instrumento acústico, houve um cuidado por escolher madeiras com boas propriedades acústicas para a execução do protótipo do projeto.

As diferentes características das madeiras são o principal fator que as torna apropriadas para a construção de guitarras e outros instrumentos de cordas. As propriedades da madeira diferenciam-se sobretudo na densidade, peso e rigidez, o que influencia a velocidade da vibração e o som final que o instrumento produz. O som final é conseguido através da amplificação e projeção da vibração das cordas pelo corpo do instrumento (Costa, Madeiras & Guitarras (Parte 2): Porquê a madeira? A escolha da madeira no braço e escala, 2023).

Tendo em consideração, tanto as características das madeiras como a sua utilização atual em cordofones, foram selecionadas para as diferentes partes do instrumento, as seguintes madeiras:

- No braço, mão, cavalete e escala, foi utilizado o mogno sapele que tem um timbre semelhante ao mogno. Esta madeira tem como características a sua durabilidade, densidade e boa definição em frequências mais graves, resistência às mudanças de temperatura e à humidade, o que a torna uma madeira estável, e apresenta uma cor castanha-rosada ou avermelhada. No protótipo selecionou-se esta madeira também para as ilhargas e para o fundo da caixa acústica (Costa, Madeiras & Guitarras (Parte 3): Os diferentes tipos de madeira e as suas propriedades, 2023).

- No tampo, usualmente as madeiras utilizadas para uma melhor qualidade sonora são o abeto ou o cedro, ambas apresentam características semelhantes, contudo para este protótipo foi escolhido o abeto europeu (em inglês, *spruce*). Quanto às suas propriedades, o abeto apresenta uma boa resistência e elasticidade, é estável (quando seco), tem uma baixa durabilidade natural, mas a mesma pode ser compensada através

da aplicação de uma camada de verniz ou tinta, é fácil de trabalhar com ferramentas e máquinas - serrar, aplainar, perfurar e lixar (admin, 2022).



Figura 38 - Mogno Sapele

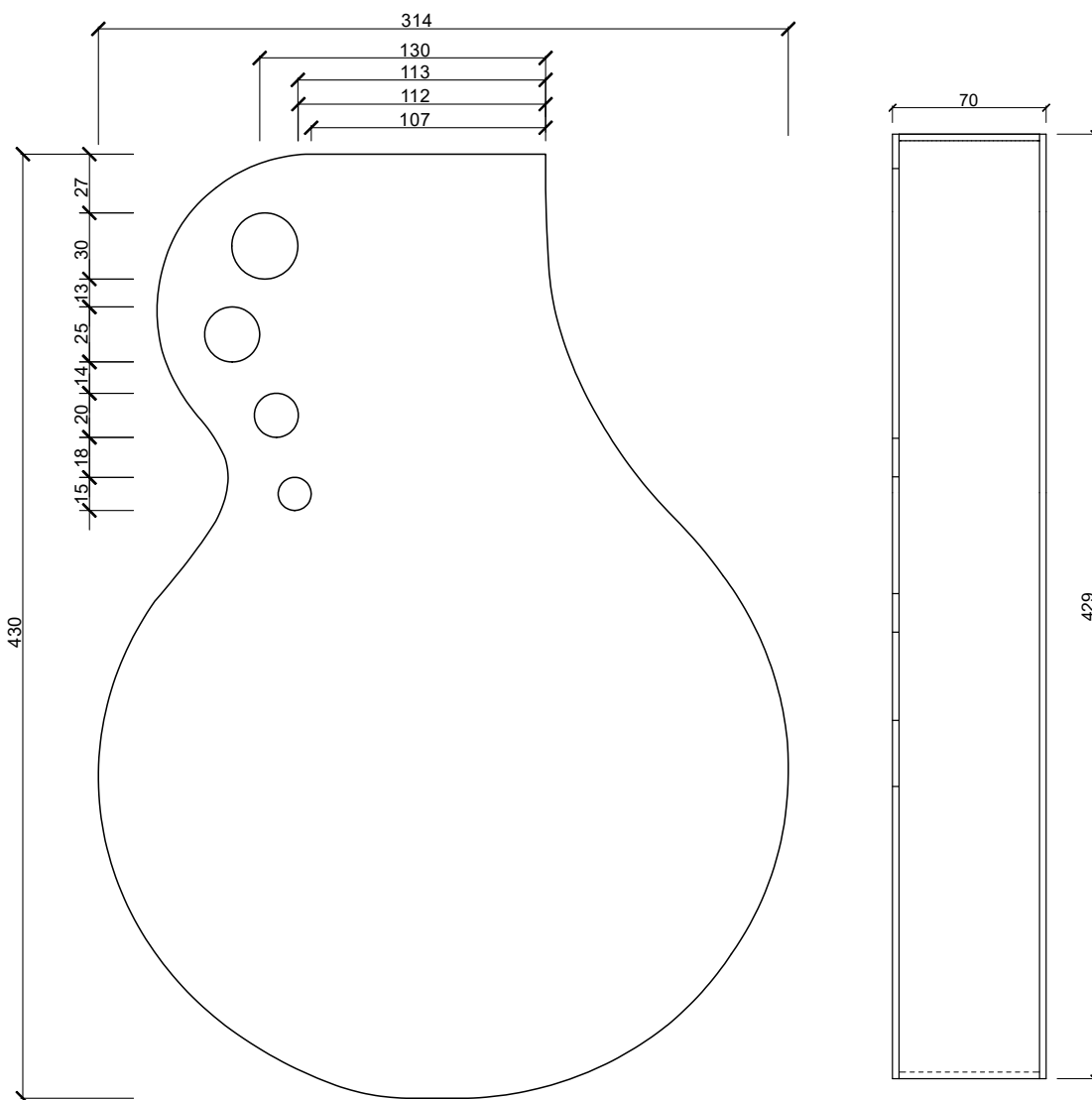


Figura 39 - Abeto Europeu

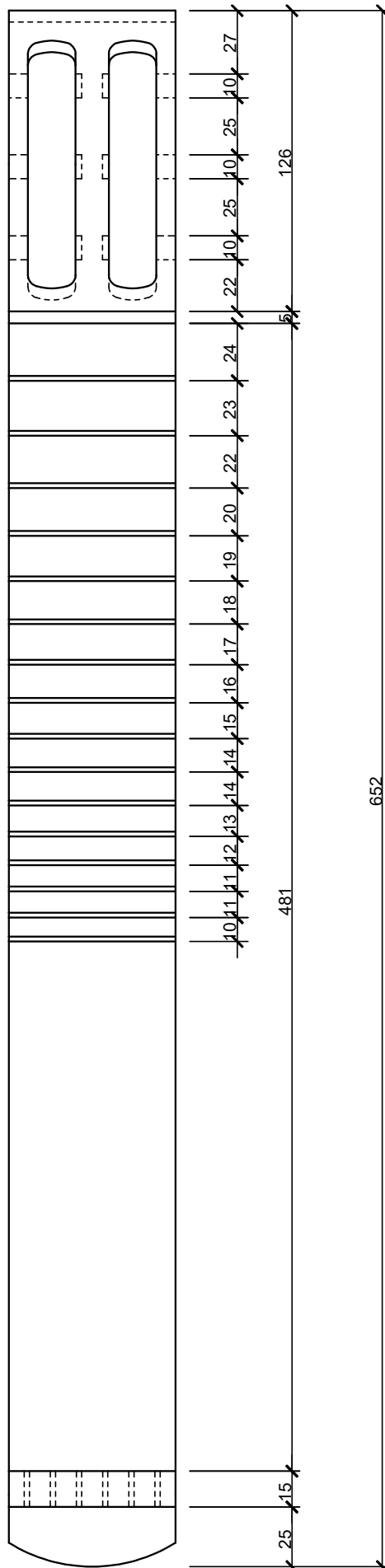
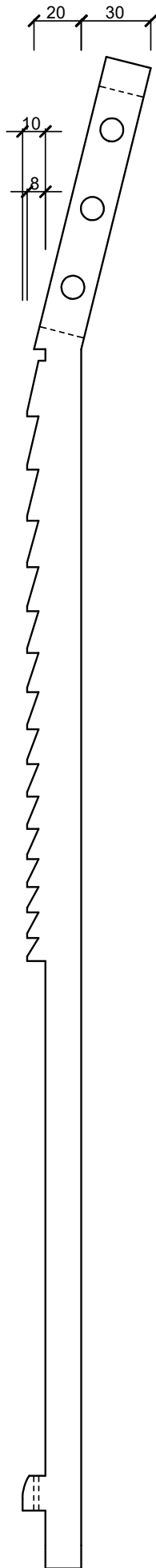
## 7.2 Desenho Técnico

O desenho técnico do projeto está dividido no braço e na caixa de ressonância (i.e. corpo). No desenvolvimento do protótipo o desenho técnico do braço sofreu algumas alterações da versão original entendida para o objeto, por causa do material e maquinaria disponível para a construção do mesmo.

Neste capítulo estarão somente os desenhos técnicos para o objeto como estava determinado inicialmente, e no capítulo “Anexos”, estão presentes os desenhos com as alterações efetuadas durante a elaboração do protótipo, assim como os desenhos de alguns pormenores considerados relevantes.



Instituto Politécnico do Porto - Escola Superior de Media Artes e Design	
<b>CORPO</b>	Vista Frontal e Lateral UM = Milímetros (mm)
	<b>S/E</b>



Instituto Politécnico do Porto - Escola Superior de Media Artes e Design	
<b>BRAÇO</b>	Vista Lateral e Frontal UM = Milímetros (mm)
	S/E

### 7.3 Construção do Protótipo

A construção do protótipo foi dividida em duas partes: a construção do braço e a construção da caixa de ressonância. Esta divisão deve-se aos locais onde essas peças foram executadas. Enquanto o braço foi desenvolvido na oficina da Escola Superior de Media Artes e Design (ESMAD), a caixa de ressonância foi construída com a direção e apoio do construtor de instrumentos Alfredo Teixeira. Por esse motivo, este subcapítulo está organizado pela execução do braço e depois pela caixa de ressonância.

Para a construção do braço, foi necessário fazer alterações no desenho e modelação, que podem ser consultadas no anexo A. Como no desenho do braço o mesmo tem uma escala com os trastes em rampa, para um melhor rigor a mesma foi cortada em CNC. Contudo, devido ao diâmetro da fresa em uso na oficina, teve-se de dar uma folga de cerca de 6 mm, e, para isso, foi imprescindível fazer alterações no desenho original dos trastes.

Esta peça foi testada num pequeno segmento (Figura 40), que correu bem na primeira tentativa, mas, ao cortar a peça na sua totalidade, percebeu-se que a CNC não estava a ler corretamente os espaçamentos e era necessário voltar a trabalhar na modelação e fazer ajustes, como demonstra a Figura 41.



Figura 40 - Teste da rampa dos trastes

Após muitas tentativas na modelação e se confirmar que a fresa reconhecia todos os espaçamentos e rampas da modelação, passou-se para uma segunda tentativa

no material, nesta vez, com sucesso (Figura 42). Com a parte mais complexa do braço executada, cortou-se depois a cabeça e fez-se as furações laterais no local onde ficam os afinadores, como representa o esquema da Figura 43.



Figura 41 - Primeira tentativa de corte do braço



Figura 42 - Corte do braço em CNC

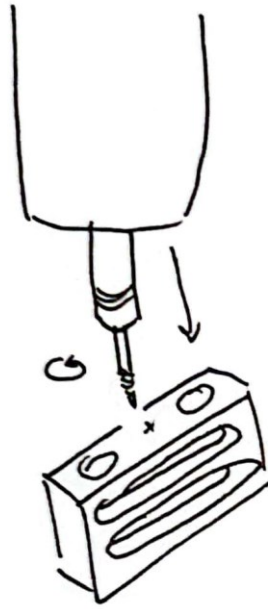


Figura 43 - Esquema da furação para a colocação dos afinadores



Figura 44 - Braço do instrumento, sem cabeça

Finalizou-se esta peça com a junção do braço à cabeça, e com a execução manual das ranhuras que servem para segurar as cordas, como representa o esquema da figura 45. Estas ranhuras foram influenciadas pela forma como se prende as cordas num ukulele, visto que, não foi possível fazer as furações pretendidas inicialmente no

desenvolvimento do projeto. Foram também cortados o pente e o cavalete (figura 46) usando o mesmo material, o mogno sapele.

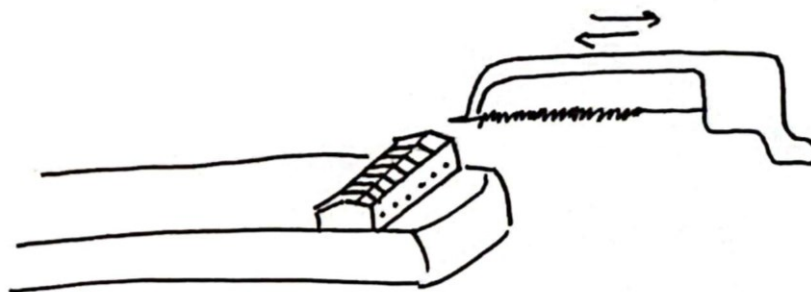


Figura 45 - Esquema da execução manual das ranhuras



Figura 46 - Pente e Cavalete



Figura 47 - Braço completo com cordas

Para a construção da caixa de ressonância, seguiram-se os seguintes pontos, relativamente na ordem apresentada:

1 – O molde. Este ponto envolveu o desenho e corte do molde para as ilhargas, que se escolheu que fosse somente interior, mas que normalmente pode ser também exterior, consistindo numa redução do desenho do tampo e fundo à espessura das ilhargas (quando interior) ou num aumento à espessura das ilhargas (quando exterior).

Depois do corte do molde na CNC foi necessário furar ao longo da margem do molde para prender as ilhargas ao molde.

Para além do molde, também se cortaram dois pedaços de madeira com a altura total da caixa para ficar na zona interior da junção das ilhargas. Estas peças serão fixadas às ilhargas através de apenas um ponto de colagem no molde, para depois de se fazer a colagem das ilhargas, estas se possam separar do molde.



Figura 48 - Molde para as ilhargas com as duas peças de união

2 – A colagem das duas metades do tampo, pois para fazer a área total do desenho do tampo da caixa são necessárias duas metades de madeira. Para esta colagem utilizam-se uns mecanismos que funcionam como uma espécie de esticadores, mas que têm exatamente a função oposta, ou seja, ao invés de esticar a peça, vão forçar as duas metades uma contra a outra.

De modo que a madeira se mantenha plana e não haja uma ondulação ou para que a mesma não empene, utilizam-se pesos que pressionam a madeira no sentido vertical.



Figura 49 - Colagem das metades para o tampo



Figura 50 - Colagem das metades para o tampo

3 – Curvatura das ilhargas. Para este passo, utiliza-se o farol e também água – para facilitar a dobragem. Aquecendo a madeira das ilhargas aos poucos no farol, começa-se a exercer força para que a mesma curve pouco a pouco. Durante o processo de dobragem das ilhargas é necessário que se confirme com o molde, os locais onde é necessário curvar mais. Após curvar as ilhargas, prende-se uma de cada vez ao molde, usando grampos, para fazer as marcações necessárias para o seu corte. Com o corte das

ilhargas feitas, volta-se a colocar ambas no molde com os grampos e cola-se as mesmas às duas peças de madeira feitas no primeiro passo.



Figura 51 - Farol



Figura 52 - Dobragem das ilhargas com o farol

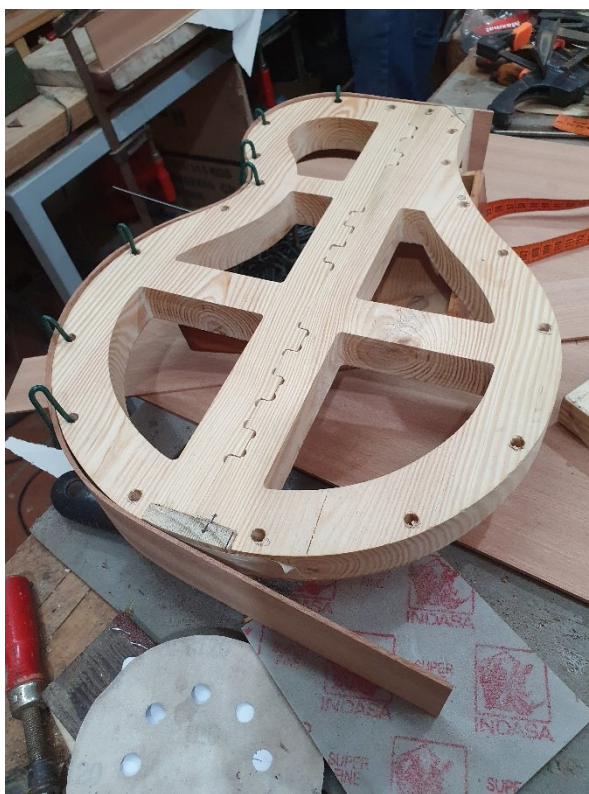


Figura 53 - Ilharga no molde para a marcação de corte



Figura 54 - Colocação dos grampos após a colagem das ilhargas

4 – Colagem das metades do fundo. Este passo segue a mesma lógica que o segundo ponto, contudo, entre as duas metades do fundo é colocada uma tira preta e branca, que para além do sentido estético, também serve como conetor entre as duas metades. Esta tira é necessária no instrumento pois a madeira utilizada nas costas<sup>3</sup>, ao contrário do tampo, é dura, e, por isso, com as mudanças de temperatura a madeira tende a oscilar, o que resulta numa irregularidade da superfície das costas bastante visível. Ao colocar a tira entre as duas metades, esta vai compensar a oscilação da madeira.



Figura 55 - Colagem das metades para o fundo

5 – Preparação dos cerquilhos. Para os cerquilhos, usa-se a madeira que sobrou do corte das ilhargas e corta-se em tiras de, aproximadamente, dois centímetros. Começa-se por dobrar as tiras com o farol e confirma-se, aos poucos, se estas estão a circundar a parte interna das ilhargas. Quando os cerquilhos estiverem relativamente a seguir o formato das ilhargas, marca-se o limite e corta-se. Após cortar os cerquilhos, cola-se os mesmos às ilhargas e usa-se grampos para prendê-los durante a secagem.

---

<sup>3</sup>O termo “costas” refere-se ao fundo da caixa de ressonância ou corpo de um instrumento de cordas.



Figura 56 - Corte da madeira para os cerquilhos



Figura 57 - Aplicação dos cerquilhos nas ilhargas

6 – Preparação das travessas das costas. Escolhe-se dois pedaços de madeira com o veio perpendicular ao veio das costas. Corta-se os dois pedaços, com uma largura ligeiramente maior que a do local onde vão ser colocadas, e a fazer uma curva subtil em que afunila nas pontas do pedaço de madeira. Após ter as travessas cortadas, marca-se o local onde vão encaixar nos cerquilhos, rebaixando estes uns milímetros. Confirma-se se estão à altura certa, lixando as travessas de modo que estejam alinhadas com a superfície das ilhargas. No final, colam-se as travessas aos cerquilhos com o auxílio de grampos.



Figura 58 - Curvatura na ponta da travessa



Figura 59 - Detalhe do rebaixo no cerquilho



Figura 60 - Colagem das travessas nos cerquilhos

7 – Fecho das costas. Primeiramente, foi necessário desenhar a silhueta do fundo, a partir das ilhargas no molde. Com o desenho na madeira para as costas feito, corta-se o fundo na serra de fita. Em seguida, coloca-se sobre as ilhargas para perceber se é necessário reduzir a margem com uma lixa, como mostra na figura 60.

Após retificar as costas, passa-se cola sob as ilhargas, cerquilhos e travessas, e depois coloca-se o fundo sobre os mesmos. De forma, a certificar que as costas ficam sem coladas coloca-se grampos ao longo da silhueta. Algo que se fez posteriormente no protótipo, que deve ser feito antes de colar as costas é colocar um contrapeso por entre as travessas e o molde, para que estas fiquem a fazer pressão contra o fundo e colem direito. Isto é essencial para a acústica do instrumento.



Figura 61 - Corte do fundo com a serra de fita



Figura 62 - Retificação do corte do fundo



Figura 63 - Colagem do fundo com auxílio de grampos

8 – Retirar o molde e a preparação dos cerquilhos. Com a secagem da colagem do fundo executada, o próximo passo é retirar o molde das ilhargas, para isso, utiliza-se uma faca que separa os pedaços de madeira dos topos do resto do molde, como demonstra o esquema da figura 62. Para os cerquilhos, repete-se o mesmo que no passo número 5, na parte superior das ilhargas onde vai ser colado o tampo.

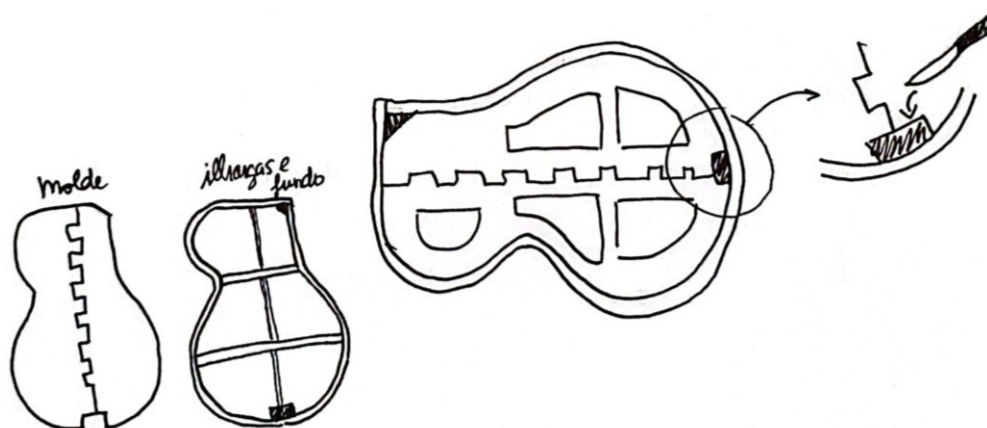


Figura 64 - Esquema da separação do molde das ilhargas



Figura 65 - Colagem dos cerquilhos na parte superior da ilharga

9 – Preparação das travessas para o tampo. Segue-se o mesmo exercício do passo número 6, mas para o tampo. Neste caso, como o tampo tem um encaixe com o braço e como vai ter de suportar a força exercida pelo cavalete móvel, as travessas têm um esquema diferente. A travessa onde estará acoplado o encaixe com o braço será feita numa madeira mais dura, de modo a conferir à travessa mais consistência. A travessa que suportará a força do cavalete ficará localizada uns centímetros (2-3 cm) acima da localização do cavalete. Para isto é preciso utilizar o braço como referência.



Figura 66 - Colagem e medição das travessas para o tampo



Figura 67 - Referência do braço para as travessas

10 – Sistema de encaixe entre o braço e a caixa de ressonância. Antes da colagem do tampo é necessário fazer todos os encaixes internos, e compreender como as partes vão funcionar juntas. No protótipo são usados dois sistemas de encaixe: um deles com o tampo e um com a ilharga. Para o encaixe com o tampo foi necessário primeiro cortar o tampo com a silhueta dada pelas ilhargas, depois marca-se nas ilhargas a localização da travessa que vai suportar este encaixe (que é a de madeira mais dura). Com a marcação feita, coloca-se o tampo sob as ilhargas e fundo, prendendo-o com o auxílio de grampos para demarcar o local onde passa a travessa. Após esta parte, coloca-se o braço sob o tampo para marcar as furações para o encaixe, furando depois através do braço, tampo e travessa. Para o segundo encaixe, usa-se uma peça em metal embutida num pedaço de madeira, por dentro da ilharga.

Com os sistemas de encaixe resolvidos, marca-se os pontos para a saída do ar da caixa de ressonância.



Figura 68 - Marcação do local onde passa a travessa para o encaixe com o tampo

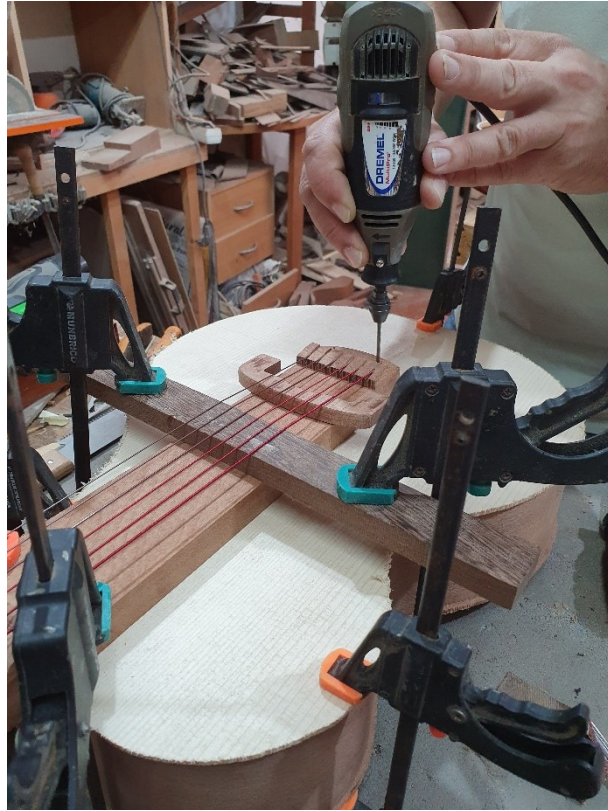


Figura 69 - Furação para o encaixe do braço com o tampo



Figura 70 - Fixação da peça para o encaixe na zona da ilharga



Figura 71 - Escavação para embutir a peça de metal



Figura 72 - Experimentação do encaixe com o tampo

11 – Fecho do tampo e retificação de todas as partes do protótipo. Para o fecho do tampo, após se ter experimentado o seu funcionamento, cola-se o mesmo às travessas e ilhargas, usando grampos para assegurar a colagem. Passado o tempo de secagem, retifica-se as laterais da caixa de ressonância para que as ilhargas, tampo e fundo, formem uma superfície lisa. Retifica-se também o braço, devastando o excesso de

madeira atrás dos trastes, com o objetivo de tornar o braço mais confortável para tocar o instrumento.



Figura 73 - Colagem do tampo



Figura 74 - Retificação do braço

12 – Acabamento. O acabamento dado é o acabamento tradicional dado aos instrumentos de cordas, chamado de acabamento goma-laca. A goma-laca vem de uma resina de um inseto do sudoeste asiático, *kerria lacca*, e apresenta-se num estado sólido, que para ser utilizado se dilui em álcool.

Para a aplicação da goma-laca utiliza-se a boneca<sup>4</sup>, e vai-se aplicando camada após camada. O instrumento ficará mais brilhante, quantas mais camadas de goma-laca forem aplicadas. Para a parte dos trastes no braço aplica-se azeite ou outro tipo de gordura com uma lixa fina em vez da goma-laca, pois esta ficaria com marcas com a utilização do instrumento.



Figura 75 - Goma-laca em estado sólido



Figura 76 - Acabamento na caixa de ressonância

---

<sup>4</sup> Pedaco de pano branco com um algodão por dentro.



Figura 77 - Aplicação da goma-laca no fundo

O processo de construção suscitou alguns possíveis trajetos ou soluções a ser exploradas futuramente. Estas estarão expostas no capítulo “Explorações Futuras”, apresentado posteriormente.

#### 7.4 Fotografias do Protótipo

Tendo sido abordado anteriormente, os materiais utilizados, os desenhos técnicos do instrumento e o processo de construção do mesmo, serão agora apresentadas fotografias que representam os resultados deste capítulo “Protótipo” e projeto. As fotografias serão de ambos os objetos em separado e também em conjunto, visto estes funcionarem juntos de modo acústico.



Figura 78 - Ilha, o braço



Figura 79 - Pormenor do cavalete móvel e prisão das cordas



Figura 80 - Pormenor dos trastes e cabeças



Figura 81 - Arquipélago, a caixa de ressonância



Figura 82 - Ilha com escala humana



Figura 83 - Pormenor do encaixe com as costas do braço



Figura 84 - Pormenor do encaixe com as costas do braço



Figura 85 - Conjunto da guitarra Ilha desmontado



Figura 86 - Vista das costas da Ilha e Arquipélago



Figura 87 - Pormenor das furações no tampo e encaixe



Figura 88 - Guitarra IIIa



Figura 89 - Guitarra IIIa



Figura 90 - Guitarra IIIa com escala humana

## EXPLORAÇÕES FUTURAS

Adiciono este capítulo ao relatório porque considero que com a conclusão deste projeto, surgiram novas ideias relacionadas com a temática em questão e também melhorias a ser estudadas futuramente. Este capítulo consiste, então, nas ideias que surgiram no decorrer do projeto que são consideradas pertinentes para uma exploração futura dentro da mesma área.

Em primeiro lugar, uma exploração que surgiu na fase final da construção do protótipo, seria a uniformização do encaixe e ferragens a utilizar, de modo a fazer com que a caixa de ressonância se torne universal e se possam acoplar diferentes tipos de braços, de diferentes instrumentos de cordas.

Em segundo lugar, estudar uma forma de tornar este num instrumento eletroacústico, colocando, por exemplo, um sistema no braço, de modo a poder ligar este a um amplificador. É interessante pois assim envolverá a parte acústica que poderá sempre ser melhorada e que foi um foco neste projeto, acrescentando a parte elétrica que permitirá ao músico poder amplificar o som produzido pelo objeto.

Em terceiro lugar, uma exploração dos materiais e máquinas utilizadas na construção do instrumento, com o objetivo de poder melhorar o desenho dos objetos que são utilizados, para que estes facilitem a concretização do cordofone. Como, por exemplo, a prensa que pressiona as madeiras para a colagem das duas metades, podendo neste, não só desenhar a parte que está a forçar uma contra a outra, mas também a parte dos pesos que fazem com que as madeiras se mantenham na mesma posição.

Em quarto lugar, uma exploração da escala do instrumento e caixa de ressonância, tendo um desenho base que permitisse a alteração do tamanho do objeto, e também que permitisse o desenho de outras caixas de ressonância, de acordo com as necessidades e gosto do músico. Tudo isto dentro de uma grelha que permitisse a sua funcionalidade.

Por último, uma exploração sugerida durante a fase de desenvolvimento, que considero interessante pela experiência a ela inerente, seria o desenho de um encaixe e ferragens a utilizar que permitam ao braço se conectar com diferentes superfícies e objetos. É interessante porque vai permitir a produção de sons diferentes conforme os materiais dos objetos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto partiu do interesse pela guitarra clássica, expandindo de forma a albergar também outros instrumentos cordofones, que fossem semelhantes à guitarra ou que apresentassem características interessantes a explorar na criação do instrumento para o projeto. Mesmo com os exemplos que foram referidos ao longo do documento, há muitos outros instrumentos que foram recolhidos numa fase inicial da investigação, mas que depois não foram selecionados como mais importantes para o desenvolvimento do instrumento.

Com este projeto, foi possível começar a explorar uma pequena parte da área da acústica, que é bastante extensa e que despertou uma grande curiosidade para continuar a ser estudada no futuro. Outro ponto foi a contraposição da teoria acústica com a prática de construção, em que observei que a parte matemática associada à disciplina, não deve ser aplicada a 100%, pois a simetria que esses factos matemáticos trazem para o instrumento, nem sempre se traduzem na sua melhor sonoridade. Necessita-se de uma certa irregularidade para um som mais natural e agradável.

Quanto à parte criativa, particularmente, sinto que embora tenha explorado o desenho do objeto, a forma como as partes se uniam e a relação entre as peças que o constituem; ficou muito mais por explorar, porque o design de instrumentos musicais, e mais especificamente de instrumentos de cordas, tem tanta informação e detalhes que não foram explorados e tornam este projeto, um capítulo concluído e início para futuras explorações e experimentos.

Mesmo assim, o instrumento que resultou deste projeto esteve acima das minhas expectativas, pois, inicialmente, achei que este seria um cordofone semelhante aos outros, no qual apareceriam alguns traços que o distinguissem. No final, o instrumento acabou por se afastar das previsões iniciais, para se tornar em algo inovador na forma como se apresenta e caracteriza. Esta inovação pode-se observar na aplicação do cavalete móvel no objeto, permitindo que o mesmo possa ser constituído por dois componentes modulares – o braço e o corpo – e o som seja amplificado acusticamente. Para além disto, identificam-se algumas vantagens neste projeto, com a continuação do seu desenvolvimento, tais como: a possibilidade de tocá-lo sem ter o braço acoplado ao corpo, e assim não produzir ruído sonoro, o que permite estudar sem a preocupação de

incomodar terceiros; a possibilidade de com o mesmo braço acoplá-lo a diferentes caixas de ressonância ou superfícies e explorar diferentes sonoridades; ou usando o mesmo corpo, acoplar outros tipos de braços, algo pertinente para quem estude diferentes instrumentos e que permite, caso se queira iniciar o estudo noutra instrumento, a necessidade de comprar somente o braço; por fim, o facto do instrumento se separar em dois componentes permite que o mesmo ocupe menos espaço para arrumação e também que seja mais facilmente transportável.

Creio que consegui cumprir os objetivos a que me propus e explorar o objeto, assim como aprender sobre os métodos de construção, participando na mesma. Neste projeto, foi essencial aliar a teoria à prática, compreender onde ambas se complementam e os pontos onde divergem. Foi também possível conhecer e trabalhar em conjunto com um construtor de instrumentos, algo muito enriquecedor, e que se mostrou não só disponível para acompanhar e ajudar na execução do instrumento, como também estimular à exploração de ideias e soluções para o mesmo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

admin. (10 de outubro de 2022). *Spruce Wood: Properties, Types & Uses*. Obtido em 04 de maio de 2023, de Cameroon Timber Export Sarl:

<https://cameroontimberexport.com/spruce-wood-properties-types-and-uses/>

Almeida, C. (novembro de 2016). *O design aliado aos valores culturais, na construção de um instrumento para iniciação musical*. Obtido de Repositório Científico IPVC: <http://repositorio.ipvc.pt/handle/20.500.11960/1868>

Almeida, S. C. (2009). *A guitarra clássica: caracterização técnica, estilística e estética*. Obtido de RIA repositório institucional: <https://ria.ua.pt/handle/10773/7257>

AMAC. (s.d.). *Guitarra Clássica*. Obtido de Academia Musical dos Amigos das Crianças: <https://www.amac.pt/guitarra-cl%C3%A1ssica>

Arpon, Thomas M. (19 de janeiro de 2023). *Yamaha Silent Guitar review: a closer look at SLG200 model's*. Obtido em 18 de maio de 2023, de Guitar Top Review: <https://guitartopreview.com/yamaha-silent-guitar-review/>

*Arte do pipa*. (24 de dezembro de 2021). Obtido em 18 de maio de 2023, de CRI Português:

<https://portuguese.cri.cn/videos/Mandarinizando/4800/20211224/724058.html>

Bacon, T. (1991). *The Ultimate Guitar Book*. Londres: Dorling Kindersley.

Barceló, R. (2013). *Um instrumento em evolução: novas tendências e possibilidades na construção de guitarras*. Obtido em dezembro de 2022, de RepositóriUM: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/54107>

Campbell, M., & Greated, C. (1988). *The Musician's Guide to Acoustics*. Nova Iorque: Schirmer Books.

Costa, J. (11 de março de 2023). *Madeiras & Guitarras (Parte 2): Porquê a madeira? A escolha da madeira no braço e escala*. Obtido em 04 de maio de 2023, de Guitarrista: <https://guitarrista.pt/madeiras-guitarras-parte-2-porque-a-madeira-a-escolha-da-madeira-no-braco-e-escala/>

Costa, J. (16 de março de 2023). *Madeiras & Guitarras (Parte 3): Os diferentes tipos de madeira e as suas propriedades*. Obtido em 04 de maio de 2023, de Guitarrista: <https://guitarrista.pt/madeiras-guitarras-parte-3-os-diferentes-tipos-de-madeira-e-as-suas-propriedades/>

- Cumpiano, W. R., & Natelson, J. D. (1987). *Guitarmaking: Tradition and Technology*. Amherst, Mass.: Rosehood Press. Obtido de <https://archive.org/details/guitarmakingtrad0000cump/mode/2up>
- Dicionários Porto Editora (2008). *Dicionário da Língua Portuguesa*. Porto: Porto Editora.
- Doktorski, H. (s.d.). *Taxonomy of Musical Instruments*. Obtido em 30 de janeiro de 2023, de The Classical Free-Reed, Inc.: <https://www.ksanti.net/free-reed/description/taxonomy.html>
- Dreyfuss, H. (1993). *The Measure of Man and Woman*. New York: Whitney Library of Design.
- Dreyfuss, H. (2003). *Designing for People*. New York: Allworth Press.
- Equipa editorial de Conceito.de. (20 de janeiro de 2020). *Conceito de Cordófono*. Obtido em 27 de janeiro de 2023, de Conceito.de: <https://conceito.de/cordofono>
- Fletcher, N. H., & Rossing, T. D. (1998). *The Physics of Musical Instruments*. Nova Iorque: Springer-Verlag.
- Gjoni, A. (31 de janeiro de 2023). *Scalloped Fretboard Guide*. Obtido em 10 de junho de 2023, de Guitar Space: <https://guitarspace.org/electric-guitars/scalloped-fretboard-guide/>
- Gómez, S., Galindo, J., & González, C. (20 de outubro de 2019). Analysing working conditions for classical guitarists: Design guidelines for new supports and guitar positioning. pp. 891-901. doi:10.3233/WOR-203140
- Gutierrez, K. (9 de outubro de 2022). *2 Main Types of Resonance In Musical Instruments*. Obtido de Bright Star Musical: <https://brightstarmusical.com/2-main-types-of-resonance-in-musical-instruments/>
- Henrique, L. (2002). *Acústica Musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Hopkin, B. (1996). *Music Instrument Design*. Arizona: See Sharp Press.
- Kennedy, M. (2007). *The Concise Dictionary of Music*. Oxford: Oxford University Press.
- León, L., & Galindo, J. (janeiro de 2022). Ergonomics and Design for Musicians. *Applied Human Factors and Ergonomic International*. Obtido em 11 de março de 2023, de <https://openaccess.cms-conferences.org/#/publications/book/978-1-4951-2108-1>

León, L., Galindo, J., & Prado, P. (2015). Human Factors in Musicians: Design Proposals. *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 6124-6132). Elsevier.

Luthier Cardoso. (11 de janeiro de 2023). *Madeiras*. Obtido de Luthier Cardoso: <https://luthiercardoso.weebly.com/madeiras.html>

Machado, A. (8 de maio de 2019). *A origem e a evolução da viola vulgo Guitarra clássica*. Obtido de Correio do Minho: <https://correiodominho.pt/cronicas/a-origem-e-a-evolucao-da-viola-vulgo-guitarra-clssica/10969>

Making Music. (s.d.). *What Are Strings Made Of? The Basics of Orchestral String Construction*. Obtido em 27 de janeiro de 2023, de Making Music: <https://makingmusicmag.com/what-are-strings-made-of-the-basics-of-orchestral-string-construction/>

Martin, B., & Hanington, B. (2019). *Universal Methods of Design* (Expanded and Revised ed.). Beverly, Massachusetts: Rockport.

Mcintyre, M., Schumacher, R., & Woodhouse, J. (novembro de 1983). *On the oscillations of musical instruments*. doi:10.1121/1.390157

Norman, D. (2013). *The Design od Everyday Things*. Massachusetts: MIT Press Books.

Pedgley, O., Norman, E., & Armstrong, R. (2009). *Materials-inspired innovation for acoustic guitar design*. Obtido de Journal of the Faculty of Architecture: [http://jfa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2009/cilt26/sayi\\_1/157-176.pdf](http://jfa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2009/cilt26/sayi_1/157-176.pdf)

*Pipa - instrumento de música chinesa tradicional*. (s.d.). Obtido em 18 de maio de 2023, de Philmultic: <http://www.philmultic.com/pipa/>

Portela, M. S. (2014). *Estudo das propriedades acústicas da madeira amazônica marupá para tampo de violão*. Obtido em 27 de janeiro de 2023, de Repositório Institucional UFSC: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/132450>

Revkin, A. (28 de novembro de 2006). *String Theory: New Approaches to Instrument Design*. Obtido de The New York Times: <https://www.nytimes.com/2006/11/28/science/28acou.html?pagewanted=all>

Romanillos, J. (1997). *Antonio de Torres: Guitar Maker - His Life and Work*. Westport, CT: Bold Strummer.

Rossing, T., Askenfelt, A., Beebe, C., Bissinger, G., Bynum, E., Caldersmith, G., . . . Yoshikawa, S. (2010). *The Science of String Instruments*. (T. Rossing, Ed.) Nova Iorque: Springer. doi:10.1007/978-1-4419-7110-4

Sam. (23 de outubro de 2022). *What is a Silent Guitar? Which ones are worth buying?* Obtido em 18 de maio de 2023, de Guitar Division: <https://guitardivision.com/what-is-a-silent-guitar/>

Scataglini, S., Peeters, T., Truijen, S., Verwulgen, S., Campenhout, E., & Verheyen, S. (janeiro de 2020). Motion Capturing for the Evaluation of Ergonomically Designed Guitars. pp. 130-135. Obtido de [https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_21)

Sloane, I. (1976). *Classical Guitar Construction*. Londres: Omnibus Press.

*Spruce: amostra, propriedades, aplicação, dimensões, fabricante*. (s.d.). Obtido em 04 de maio de 2023, de [musterkiste.de](http://www.musterkiste.com/en/holz/pro/1012_Spruce.html): [http://www.musterkiste.com/en/holz/pro/1012\\_Spruce.html](http://www.musterkiste.com/en/holz/pro/1012_Spruce.html)

String Fixer. (s.d.). *Fabricação de guitarras*. Obtido de String Fixer: [https://stringfixer.com/pt/Guitar\\_manufacturing](https://stringfixer.com/pt/Guitar_manufacturing)

The Physics Classroom. (s.d.). *Lesson 4 - Resonance and Standing Waves: Natural Frequency*. Obtido em 19 de fevereiro de 2023, de The Physics Classroom: <https://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-4/Natural-Frequency>

*The Scalloped Fretboard Guitar*. (s.d.). Obtido em 10 de junho de 2023, de Ancient-Future: <https://www.ancient-future.com/guitar/scallop.html>

Wade, G. (2001). *A Concise History of the Classic Guitar*. Missouri: Mel Bay Publications.

## ANEXOS

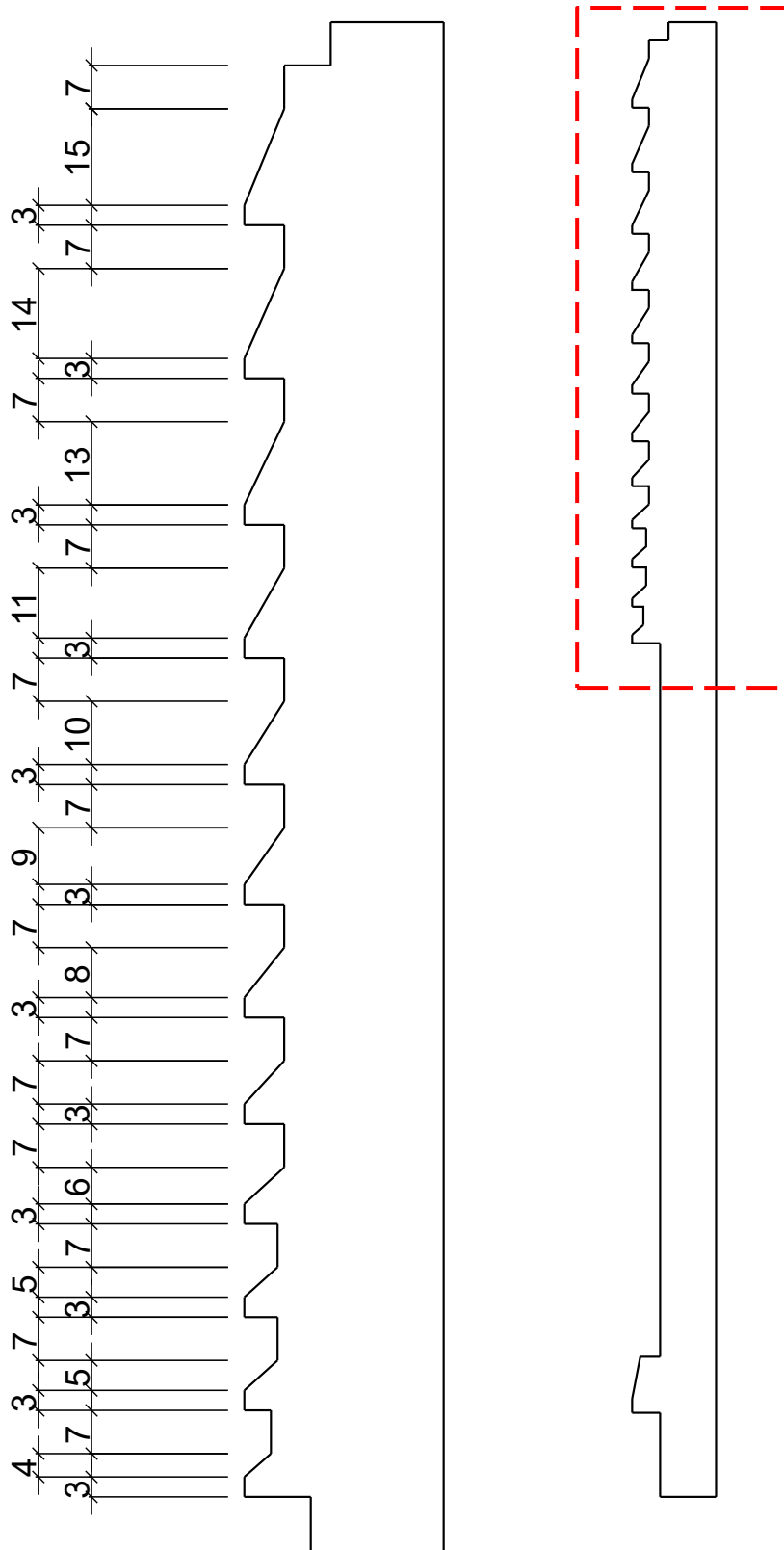
### Índice de Anexos:

Anexo A – Alteração final do braço para o corte na CNC

Anexo B – Desenho Técnico da Cabeça, Cavalete e Pente

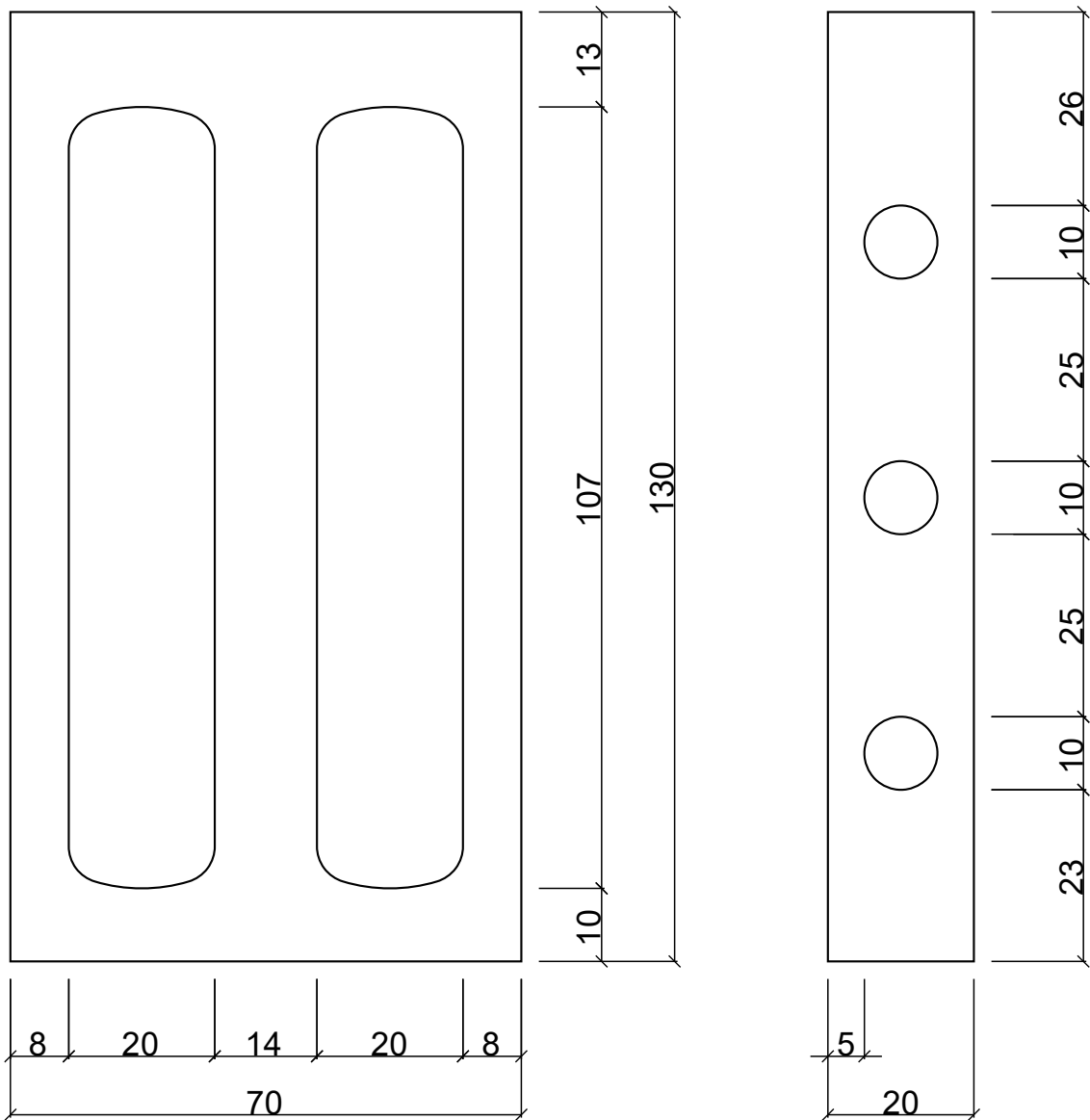
Anexo C – Registo da Modelação 3D e renders de teste

Anexo A – Alteração final do braço para o corte na CNC

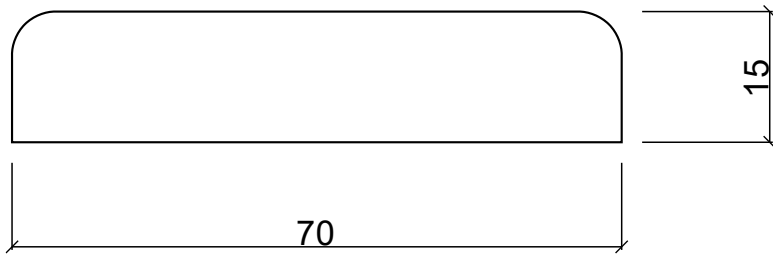


Instituto Politécnico do Porto - Escola Superior de Media Artes e Design		
<b>BRAÇO</b> (alteração)	Pormenor	S/E
	Vista Frontal UM = Milímetros (mm)	

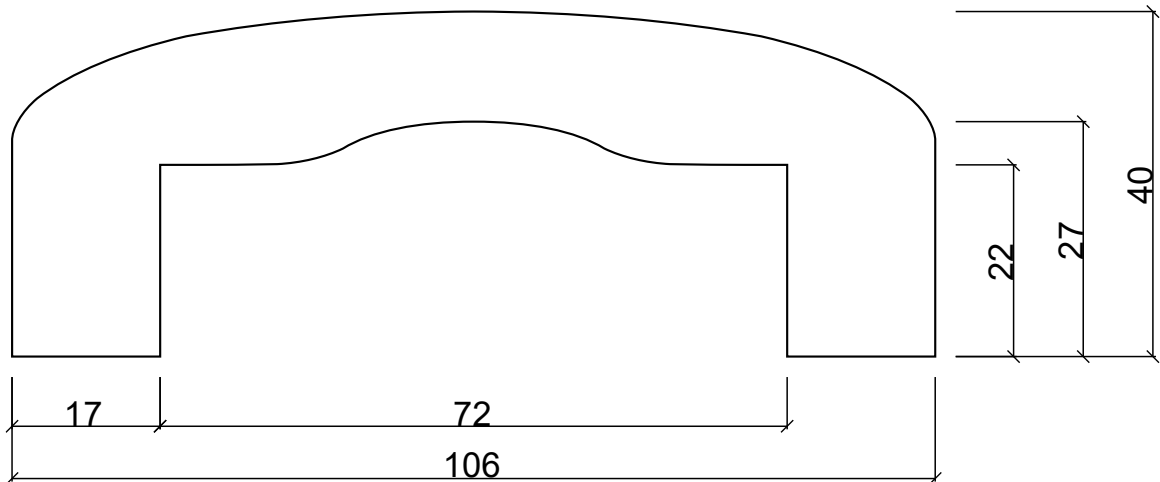
Anexo B – Desenho Técnico da Cabeça, Cavalete e Pente



Instituto Politécnico do Porto - Escola Superior de Media Artes e Design		
<b>CABEÇA</b>	Vista Frontal e Lateral UM = Milímetros (mm)	S/E



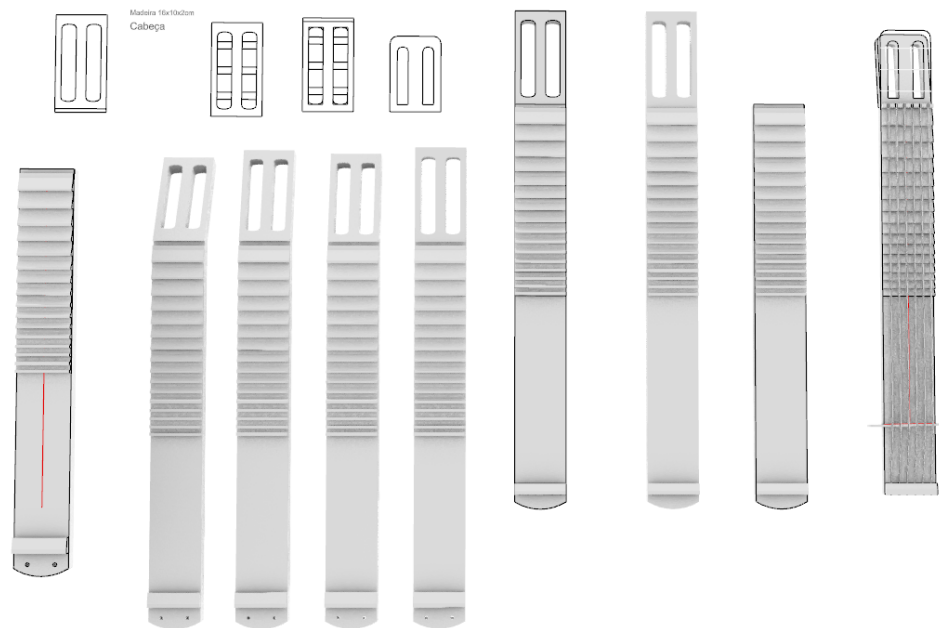
Instituto Politécnico do Porto - Escola Superior de Media Artes e Design		
<b>PENTE</b>	Vista Frontal UM = Milímetros (mm)	S/E



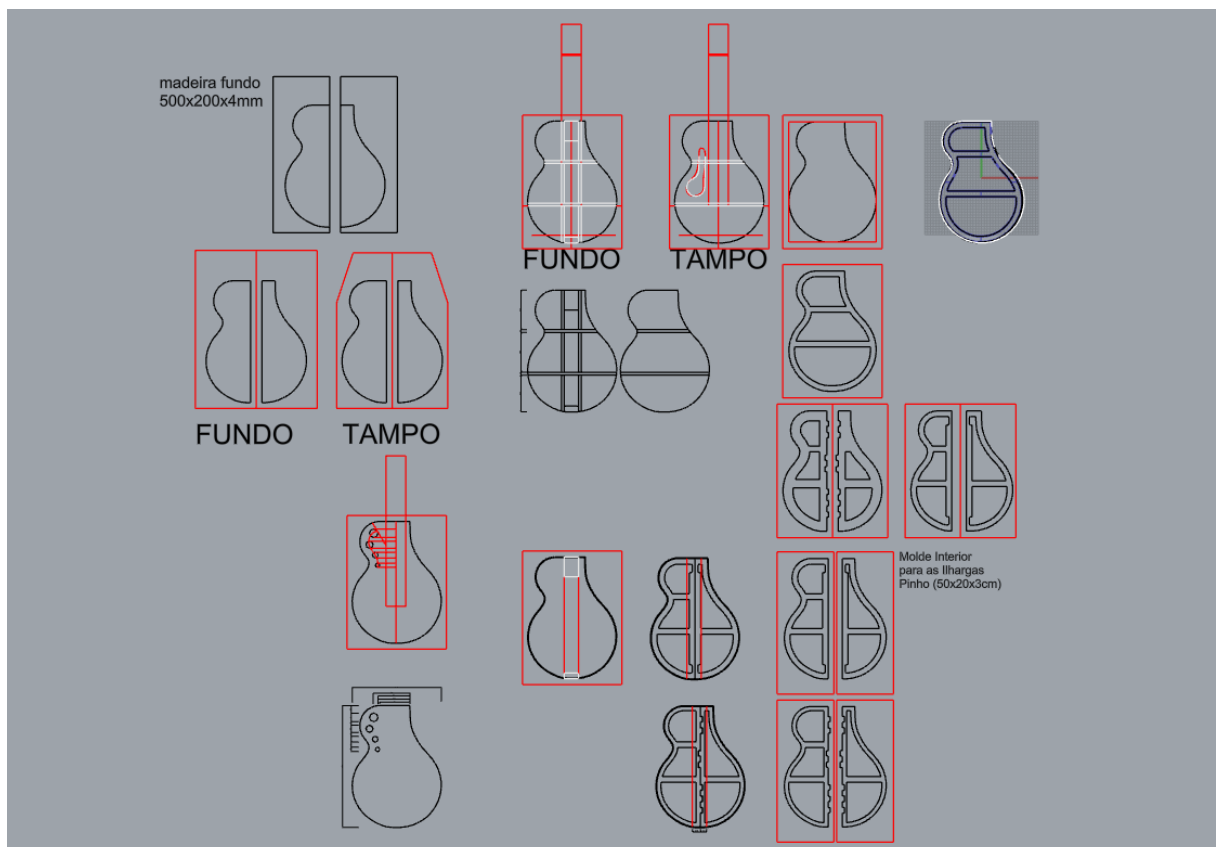
Instituto Politécnico do Porto - Escola Superior de Media Artes e Design		
<b>CAVALETE</b>	Vista Frontal UM = Milímetros (mm)	S/E

## Anexo C – Registo da Modelação 3D e renders de teste

### Modelação do braço, software Rhino 6



### Desenho 3D da caixa de ressonância e molde para as ilhargas, software Rhino 6



Render para testagem dos materiais para o protótipo, software KeyShot 9

