



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ARQUITETURA

CURSO DE DESIGN DE PRODUTO

CLARISSA PATTA STÜRMER

**MOBILIÁRIO ASSOCIADO AO CONFORTO ACÚSTICO DE SALAS DE
AULA**

Porto Alegre

2016

CLARISSA PATTA STÜRMER

**MOBILIÁRIO ASSOCIADO AO CONFORTO ACÚSTICO DE SALAS DE
AULA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Curso de Design de Produto, da Faculdade de
Arquitetura, como requisito para a obtenção do
título de Designer.

Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira

Coorientador: Tiago Becker

Porto Alegre

2016

CLARISSA PATTA STÜRMER

**MOBILIÁRIO ASSOCIADO AO CONFORTO ACÚSTICO DE SALAS DE
AULA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao curso de Design de
Produto, da Faculdade de Arquitetura,
como requisito para a obtenção do título
de Designer.

Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira

Coorientador: Tiago Becker

Gabriela Pizzato

Fernando Bruno

Fabício Kipper

Porto Alegre

2016

RESUMO

O desconforto acústico é um problema presente em diversos ambientes. Em salas de aula, a reverberação excessiva e o ruído atrapalham a concentração dos alunos e podem afetar sua saúde e dos professores. O objetivo deste projeto foi a melhoria das condições acústicas no ambiente de ensino universitário através do desenvolvimento de mobiliário com características de absorção sonora que reduzissem o tempo de reverberação desses recintos. Para a elaboração deste trabalho, foi realizada uma pesquisa sobre os tópicos associados à acústica, envolvendo o estudo dos seus principais conceitos e a análise de materiais e princípios utilizados para absorção do som em áreas como construção civil e arquitetura. Foram analisados os produtos existentes com a finalidade de absorção sonora e móveis desenvolvidos para instituições de ensino. Para verificar se os tempos de reverberação do ambiente de ensino estão adequados aos padrões normativos, foram pesquisados trabalhos acadêmicos e feitas medições em salas de aula da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Para a obtenção das informações sobre as necessidades dos professores e alunos quanto ao mobiliário e à acústica das salas de aula, foram realizadas entrevistas com docentes e discentes da mesma universidade. Conforme a metodologia adotada, a identificação das necessidades dos usuários foi fundamental na determinação das especificações de projeto. Na etapa de projeto conceitual, foram definidos os móveis a ser desenvolvidos, geradas alternativas para cada um deles e selecionada a alternativa final, que foi modelada e detalhada, apresentando três principais produtos: mesa, cadeira e armário. Ao final deste trabalho, foi feita uma estimativa do condicionamento acústico proporcionado em uma sala de aula modelo, obtendo resultados expressivos de redução do tempo de reverberação nas faixas de frequência mais críticas.

Palavras-chave: acústica, mobiliário, salas de aula

ABSTRACT

The acoustic discomfort is a problem present in different environments. In classrooms, excessive reverberation and noise cause difficulty to concentrate and can affect the health of the students and teachers. This project aims to improve the acoustic conditions in the university environment through the development of furniture with sound absorption characteristics that reduce reverberation time of these spaces. In order to begin with this project, a research was done on the topics related to acoustics, involving the study of the main concepts and analysis of materials and principles used for sound absorption in areas such as construction and architecture. Existing products with the purpose of sound absorption and furniture developed for educational institutions were analyzed. To verify if the reverberation time of the learning environment is appropriate according to the normative standards, academic papers were researched and measurements were made in classrooms at the Faculty of Architecture at UFRGS. To obtain information about the needs of teachers and students on furniture and acoustics of classrooms, interviews were conducted with teachers and students of the same university. According to the methodology, the identification of user needs was fundamental in determining the specifications of this project. In the stage of conceptual project, the furniture to be developed was defined, the alternatives for each of them was generated and the final alternative was selected, which was modeled and detailed, presenting three main products: table, chair and closet. At the end of this work, an estimate of the acoustic conditioning provided by the furniture in a model classroom was made, obtaining expressive results of reduction of the reverberation time in the most critical frequency bands.

Keywords: acoustics, furniture, classrooms

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
ANSI	American National Standards Institute
dB	Decibéis (unidade de intensidade física relativa ao som)
Hz	Hertz (unidade de medida para frequência sonora)
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
PET	Polietileno Tereftalato
PVC	Policloreto de Vinil
QFD	Quality Function Deployment

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma para determinação das especificações de projeto	21
Figura 2: Indicações das dimensões de cadeiras definidas pela ABNT	29
Figura 3: Indicações das dimensões de mesas definidas pela ABNT	31
Figura 4: Dimensões das mesas ou superfícies para usuários de cadeiras de rodas	32
Figura 5: Ressorador com cavidade simples.....	39
Figura 6: Desenho explicando funcionamento dos painéis perfurados e exemplos de painéis de madeira perfurados e ranhurados.....	41
Figura 7: Painel acústico modular Ginkgo, da Blå Station.....	44
Figura 8: Módulos desenvolvidos pelo estúdio com lascas de madeira	45
Figura 9: Coleção Sabine, da Gilmakra.....	46
Figura 10: Mobiliário da coleção Limbus da empresa Gilmakra.....	47
Figura 11: Coleção Pillow, de Robert Bronwasser	48
Figura 12: Produtos criados para a BuzziSpace	49
Figura 13: Cúpula localizada acima das mesas na Pizza Express e seu modo de funcionamento.....	50
Figura 14: Cadeiras universitárias do Grupo Cequipel.....	51
Figura 15: Conjuntos individuais produzidos pelo Grupo Cequipel	52
Figura 16: Mesas para professores produzidas pelo Grupo Cequipel.....	52
Figura 17: Mesa Quadrifoglio produzida pela empresa Metadil e suas diferentes configurações	53
Figura 18: Diferentes opções de cadeiras e mesas produzidas pela Metadil...	53
Figura 19: Opções de mesas para o professor, produzidas pela Metadil.....	54
Figura 20: Outros móveis da Metadil.....	54
Figura 21: Conjunto Trapézio, produzido pela Desk	55
Figura 22: Cadeiras com prancheta e mesa adequada a cadeirantes produzidas pela Desk	55
Figura 23: Opções de mesas e cadeiras para professor, produzidas pela Desk	56
Figura 24: Instrumento utilizado para medição.....	57
Figura 25: Sala de aula 1	58

Figura 26: Local de realização da segunda medição	60
Figura 27: Móveis presentes na primeira sala analisada	62
Figura 28: Móveis presentes na sala de aula 2	63
Figura 29: Mapeamento das funções dos móveis de sala de aula	78
Figura 30: Opções de ajustes para as mesas	80
Figura 31: Alternativas de ajuste de altura para cadeiras	82
Figura 32: Alternativas de tampos modulares	82
Figura 33: Opções de reconfiguração de uma das formas	83
Figura 34: Mapa mental para seleção do conceito dos produtos	85
Figura 35: Painel do tema visual	86
Figura 36: Alternativas de cadeiras	87
Figura 37: Alternativas selecionadas de cadeiras	88
Figura 38: Família de móveis 1	89
Figura 39: Família de móveis 2	90
Figura 40: Família de móveis 3	90
Figura 41: Linha de produtos	94
Figura 42: Cadeira	95
Figura 43: Peças do ajuste de altura da cadeira	96
Figura 44: Ajuste de altura do assento	97
Figura 45: Ajuste de altura da cadeira em três posições	97
Figura 46: Montagem do ressonador na lateral da cadeira	98
Figura 47: Perfil de alumínio (P1)	99
Figura 48: Perfil P2 e forma de encaixe entre os perfis de alumínio	99
Figura 49: Porca quadrada para os perfis metálicos	100
Figura 50: Encaixe do quadro em ABS nos perfis P1 das laterais da cadeira	100
Figura 51: Parte superior e inferior do espaço para armazenamento de objetos	101
Figura 52: Possibilidade de outras cores para as cadeiras	102
Figura 53: Mesa	103
Figura 54: Dimensões compatíveis entre mesa e cadeira	104
Figura 55: Conectores de aço da mesa	104
Figura 56: Fechamento das terminações da estrutura	105
Figura 57: Montagem do ressonador abaixo do tampo da mesa	105
Figura 58: Pino para encaixe na parte central do perfil metálico	106

Figura 59: Ajuste de inclinação da mesa.....	107
Figura 60: Acessório de apoio para as mesas com ajuste de inclinação	107
Figura 61: Peças do mecanismo de ajuste da mesa	108
Figura 62: Mesa para o professor	109
Figura 63: Armário.....	110
Figura 64: Dobradiça de metal	111
Figura 65: Detalhe da dobradiça e dos furos da parte interna	111
Figura 66: Armário aberto	112
Figura 67: Planta baixa da sala de aula do estudo de caso	113
Figura 68: Sala de aula com os móveis deste trabalho.....	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tempos ótimos de reverberação em função do volume do local e do seu uso.....	27
Gráfico 2: Variação do coeficiente de absorção do ressonador de Helmholtz de acordo com a frequência com e sem amortecimento.....	40
Gráfico 3: Avaliação da absorção sonora dos módulos Ginkgo	45
Gráfico 4: Comparação entre a absorção sonora de unidades de armazenamento	47
Gráfico 5: Curva de decaimento do nível de pressão sonora e linha de regressão para cálculo do tempo de reverberação	57
Gráfico 6: Tempo de reverberação da sala 1 desocupada.....	59
Gráfico 7: Tempo de reverberação da sala 1 ocupada por 29 pessoas	59
Gráfico 8: Tempo de reverberação da sala 2 desocupada.....	61
Gráfico 9: Tempo de reverberação da sala 2 ocupada por 13 alunos.....	61
Gráfico 10: Coeficiente de absorção sonora dos ressonadores dos móveis..	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões das cadeiras (mm).....	30
Tabela 2: Dimensões das mesas (mm).....	32
Tabela 3: Coeficientes de absorção sonora de paredes de materiais cerâmicos em função da frequência.....	34
Tabela 4: Coeficiente de absorção sonora de alguns materiais porosos e fibrosos.....	37
Tabela 5: Matriz QFD.....	73
Tabela 6: Seleção de alternativas.....	91
Tabela 7: Coeficiente de absorção sonora dos itens da sala de aula.....	114
Tabela 8: Cálculo do tempo de reverberação da sala sem tratamento acústico em 250Hz.....	114
Tabela 9: Cálculo do tempo de reverberação da sala sem tratamento acústico em 500Hz.....	115
Tabela 10: Valores determinado para os parâmetros dos ressonadores dos móveis.....	117
Tabela 11: Cálculo do tempo de reverberação da sala com tratamento acústico em 250Hz.....	119
Tabela 12: Cálculo do tempo de reverberação da sala com tratamento acústico em 500Hz.....	119
Tabela 13: Comparação do tempo de reverberação com e sem tratamento acústico.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fases do Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais ...	19
Quadro 2: Transformação das necessidades em requisitos de usuários	69
Quadro 3: Requisitos de projeto.....	71
Quadro 4: Priorização dos requisitos de projeto.....	74
Quadro 5: Especificações de projeto.....	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2.	JUSTIFICATIVA	17
2	PLANEJAMENTO DO PROJETO	19
2.1.	METODOLOGIA	19
2.1.1.	Etapa 1: Planejamento de Projeto	19
2.1.2.	Etapa 2: Projeto Informacional	20
2.1.3.	Etapa 3: Projeto Conceitual	21
2.1.4.	Etapa 4: Projeto Preliminar	21
2.2.	OBJETIVO GERAL	22
2.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1.	CONSIDERAÇÕES SOBRE SOM	23
3.1.1.	A interação do som com o ambiente	25
3.1.2.	A influência do som nas salas de aula	27
3.2.	CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSÕES DE MOBILIÁRIO PARA SALAS DE AULA	28
3.3.	CONSIDERAÇÕES SOBRE MATERIAIS E SUAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS	33
3.4.	CONSIDERAÇÕES SOBRE PRINCÍPIOS DE ABSORÇÃO DO SOM	38
3.4.1.	Ressonadores	39
3.4.2.	Painéis ou membranas vibratórias	41
3.4.3.	Aplicação dos princípios de absorção do som	42
4	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	43
4.1.	ANÁLISE DE PRODUTOS EXISTENTES	43
4.1.1.	Análise de soluções acústicas através de móveis e painéis	43
4.1.2.	Análise de mobiliário para ambientes de ensino superior	50
4.2.	MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO DE SALAS DE AULA	56
4.3.	IDENTIFICAÇÃO DOS USUÁRIOS	63
4.3.1.	Entrevistas com usuários	64
4.3.2.	Observações da interação entre usuários e mobiliário	65

5	REQUISITOS DE PROJETO	68
5.1.	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PROJETO	68
5.2.	TRANSFORMAÇÃO DAS NECESSIDADES EM REQUISITOS DE USUÁRIOS	69
5.3.	CONVERSÃO DOS REQUISITOS DE USUÁRIOS EM REQUISITOS DE PROJETO	71
5.4.	PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS DE PROJETO	72
5.5.	CONVERSÃO DOS REQUISITOS DE PROJETO EM ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO	75
6	PROJETO CONCEITUAL	77
6.1.	MAPEAMENTO DE FUNÇÕES	77
6.2.	DEFINIÇÃO DOS PRODUTOS	78
6.3.	GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS	79
6.3.1.	Alternativas de Função	79
6.3.2.	Alternativas de Forma	84
6.4.	SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS	91
6.5.	DESENVOLVIMENTO DA ALTERNATIVA SELECIONADA	92
7	PROJETO PRELIMINAR	94
7.1.	CADEIRA	95
7.2.	MESA	103
7.3.	ARMÁRIO	110
8	ESTIMATIVA DE MELHORIA DA ACÚSTICA	113
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
	REFERÊNCIAS	123
	APÊNDICE A – Roteiro de perguntas para as entrevistas	129
	APÊNDICE B – Desenho técnico dos móveis	131

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será apresentada uma análise introdutória do tema deste trabalho, de modo a conferir melhor compreensão dos tópicos que o cercam. Será apontada a relevância deste projeto através da justificativa.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Diversos estabelecimentos, como estúdios, teatros, cinemas e auditórios, são projetados de maneira que a qualidade do som seja satisfatória para seus usuários. No entanto, no caso de ambientes em que a comunicação e o conforto acústico são fundamentais - como restaurantes, escritórios e salas de aula - o tratamento acústico, muitas vezes, não é realizado.

O som percebido pelo ouvido humano é resultado da combinação do som direto – que parte da fonte sonora e chega ao receptor sem influência das superfícies – e as subsequentes reflexões que a onda sonora sofre em um ambiente (SOUZA *et al.*, 2012). A reverberação é a consequência dessas reflexões em um ambiente fechado e é necessária quando os ouvintes estão afastados da fonte sonora, pois permite o reforço e melhor distribuição do som. Uma reverberação excessiva, entretanto, compromete a compreensão das informações e interfere no desempenho das pessoas (COSTA, 2003). A reverberação, portanto, tem importante impacto na inteligibilidade da fala e no conforto acústico, afetando a saúde, aprendizado e qualidade de vida.

Estudos realizados pelo físico Wallace Sabine, publicados no início do século XX, identificaram uma correlação entre o volume de uma sala e o tempo de reverberação (SOUZA *et al.*, 2012). Quanto maior o volume da sala, maior tende a ser o seu tempo de reverberação, e cada tipo de recinto exige um tempo de reverberação adequado. Alguns ambientes não podem ser modificados em sua estrutura para melhorar o conforto acústico, mas adaptações nesses ambientes podem alterar os tempos de reverberação e torná-los adequados. Essas adaptações geralmente não são feitas devido à

falta de conscientização sobre o problema e a maneira de corrigi-lo. O som, por ser algo que não é visível, é frequentemente desconsiderado na realização de um projeto, mas afeta os indivíduos de forma fisiológica, psicológica, cognitiva e comportamental, mesmo que não se tenha consciência disso (TREASURE, 2012).

Na arquitetura de ambientes de ensino, existem parâmetros de projeto que devem ser considerados para conforto dos alunos, entre eles o conforto acústico. No Brasil, soluções acústicas são pouco aplicadas em salas de aula, o que pode prejudicar a compreensão dos conteúdos transmitidos pelo professor. Estudos concluíram que as condições acústicas inadequadas são o principal fator de desconforto no ambiente de ensino e verificaram níveis de ruído e tempos de reverberação acima dos recomendados (CUTIVA; BURDORF, 2015).

Quando a onda sonora atinge uma superfície, pode ser refletida, transmitida ou absorvida (CARVALHO R. P., 2006). A reflexão sonora excessiva de ambientes pode ser reduzida através de materiais com maior coeficiente de absorção sonora e de outros princípios de absorção do som. Todos os componentes de um ambiente influenciam no seu tempo de reverberação. A forma como estão dispostos, suas dimensões e os materiais que os compõem interagem com os sons emitidos e, por essa razão, o mobiliário pode ser um grande aliado na redução de problemas acústicos.

A associação entre o mobiliário e a acústica pode ser claramente constatada em um ambiente vazio, pois a ausência dos móveis torna as reflexões das ondas sonoras mais perceptíveis. Essa relação, contudo, ainda é pouco explorada, principalmente na área de mobiliário para o ambiente educacional. Projetar para o ambiente de ensino é uma tarefa complexa que necessita de uma discussão multidisciplinar para ser realizada. Existem muitas questões a ser consideradas que influenciam no processo de ensino e a intervenção acústica é apenas uma delas.

Baseado na forma como a deficiência acústica pode afetar os indivíduos no ambiente universitário, este trabalho mostra a importância de serem

desenvolvidos projetos que busquem maior conforto para docentes e discentes e auxiliem na obtenção de uma qualidade de ensino mais satisfatória.

1.2. JUSTIFICATIVA

A eficiência da comunicação entre professores e alunos depende, entre outros fatores, das condições acústicas das salas de aula, as quais são frequentemente desprezadas no seu projeto. De acordo com dissertações de mestrado (FERREIRA, 2006; MOURA, 2011; SILVA, 2013) e artigos (KLATTE; LACHMANN; MEIS, 2010), o tempo de reverberação e os níveis de ruído não estão de acordo com o que é esperado de um ambiente onde a comunicação e o conforto são necessários para o desenvolvimento intelectual. Embora seja uma característica invisível que envolve a sociedade, a qualidade acústica é fundamental para o bem-estar dos indivíduos. O ambiente educacional deve ser pensado como um espaço agradável de trabalho e de aprendizado para os professores e alunos, possibilitando uma experiência que melhore a qualidade de vida de ambos.

A impossibilidade de alterar construtivamente os ambientes de ensino leva à necessidade de correção das condições acústicas através de outros meios. Uma vez que todos os componentes de um ambiente influenciam no seu tempo de reverberação, o uso de móveis pode contribuir para um aumento do conforto acústico dos mesmos. Os fabricantes nacionais de móveis para instituições de ensino ainda não apresentam essa preocupação com a acústica, portanto este trabalho pode contribuir para uma inovação significativa tanto para a área de mobiliário, quanto para a educação. As soluções obtidas podem vir a ser aplicadas em vários níveis de ensino, podendo melhorar o aprendizado e a qualidade de vida de inúmeros alunos e professores.

Levando em consideração a falta de conscientização sobre os efeitos de uma acústica precária no ambiente educacional e a pouca exploração da influência do mobiliário na acústica, pretende-se desenvolver móveis que possibilitem melhorar a acústica desses ambientes. Propõe-se que os móveis

ofereçam, além do conforto físico aos quais estão fortemente relacionados, o conforto auditivo aos seus usuários, reduzindo a reverberação acima do recomendado nas salas de aula. Busca-se por meio deste trabalho, compreender melhor os conceitos da acústica e explorar essa relação com os móveis de modo a agregar uma nova função ao design, considerando o conforto acústico como um elemento da ergonomia do usuário.

2 PLANEJAMENTO DO PROJETO

Ao iniciar um projeto, é necessário que haja um planejamento do que se pretende realizar ao longo do mesmo e da maneira como isso será feito. As metodologias existentes oferecem um caminho a ser seguido que propõe facilitar o alcance dos objetivos, os quais também devem ser definidos na etapa inicial.

2.1. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho é proposta por Back *et al.* (2008) no livro “Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem”. O Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais (PRODIP) proposto pelos autores apresenta três macrofases, subdivididas em oito fases (Quadro 1). Neste projeto, serão abordadas as quatro primeiras fases. Pretende-se utilizar metodologias auxiliares, como a de Baxter (2000), e adaptá-las conforme a necessidade ao longo do desenvolvimento do projeto.

Quadro 1: Fases do Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais

Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais (PRODIP)							
Planejamento	Elaboração do projeto de produto				Implementação do lote inicial		
Planejamento do projeto	Projeto informacional	Projeto conceitual	Projeto preliminar	Projeto detalhado	Preparação da produção	Lançamento	Validação

Fonte: Adaptado de Back *et. al* (2008)

2.1.1. Etapa 1: Planejamento de Projeto

A primeira fase proposta nesta metodologia é a elaboração do escopo do projeto, definindo o que será desenvolvido, através dos objetivos e da justificativa. São definidas as atividades das etapas seguintes de acordo com um plano de projeto (BACK *et al.*, 2008).

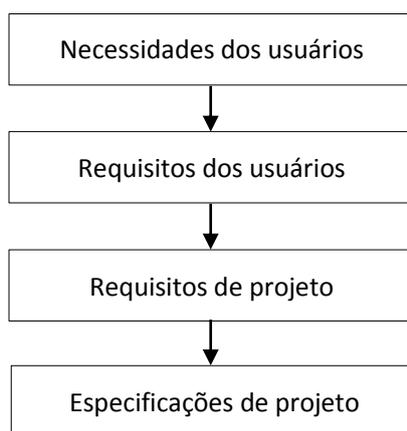
2.1.2. Etapa 2: Projeto Informacional

A fase de projeto informacional envolve a coleta e análise de informações sobre o tema proposto. A fundamentação teórica servirá de auxílio ao longo do projeto. Nesta seção, serão definidos os principais conceitos da acústica, a sua influência no ambiente escolhido, as propriedades dos materiais em relação ao som e outras informações pertinentes.

Na pesquisa, será feita uma análise dos produtos existentes no mercado com características acústicas similares ao produto que deverá ser desenvolvido ao final deste projeto. Serão analisados os resultados obtidos quanto à absorção sonora, os materiais utilizados nos produtos e as formas exploradas. Será feita uma análise também dos produtos concorrentes existentes para o ambiente de ensino.

Após a coleta de informações inicial, será necessária a coleta e identificação das necessidades dos usuários dos produtos que serão desenvolvidos – alunos, professores e funcionários de limpeza – através de entrevistas, observações e registros fotográficos. Essas necessidades devem ser transformadas, resumidas e classificadas em requisitos do usuário. Os requisitos do usuário são expressos, geralmente, na forma qualitativa e são transformados ou desdobrados atributos com grandezas definidas do produto, que são denominados requisitos de projeto. O conjunto de atributos definidos resulta nas especificações do projeto de produto. A elaboração dessas especificações é o resultado final da etapa de projeto informacional e é o ponto de partida para a concepção do produto (BACK *et al.*, 2008). A Figura 1 apresenta um fluxograma com cada etapa para a determinação das especificações de projeto.

Figura 1: Fluxograma para determinação das especificações de projeto



Fonte: Adaptado de Back *et al.* (2008)

2.1.3. Etapa 3: Projeto Conceitual

O projeto conceitual será desenvolvido com base nas etapas descritas anteriormente e se constitui na criação do conceito do produto e na geração de alternativas, através de técnicas como painéis visuais, mapas mentais e realização de *sketches*. Esta etapa envolve a seleção da melhor alternativa para ser desenvolvida.

2.1.4. Etapa 4: Projeto Preliminar

O projeto preliminar destina-se ao estabelecimento do leiaute final do produto, através de itens como: a identificação das especificações de projeto que relacionam os requisitos de forma (dimensões), material, segurança, ergonomia e manufatura; a definição dos componentes que devem ser comprados ou desenvolvidos por fornecedores e a revisão das patentes e considerações sobre aspectos legais e de segurança (BACK *et al.*, 2008).

Estabelecido o leiaute final, é iniciado o desenvolvimento do plano de fabricação e de teste do protótipo e elaborada a estrutura preliminar do protótipo, como parâmetro para o cálculo inicial de custo. Ao final da fase de

projeto preliminar, é determinada a viabilidade técnica e econômica do produto. Considerando o caráter acadêmico deste projeto, apenas alguns itens do projeto preliminar serão levados em conta neste trabalho.

2.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de móveis que contribuam para o conforto acústico no ambiente de ensino universitário.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que seja atingido o objetivo geral deste projeto, será preciso concluir os seguintes objetivos específicos:

1. Compreender os efeitos relacionados ao som e sua interação com o ambiente;
2. Identificar materiais e formas de acordo com suas propriedades acústicas que possam ser utilizados na concepção de móveis;
3. Considerar questões ergonômicas com o intuito de garantir conforto físico do usuário;
4. Analisar soluções acústicas existentes com a mesma finalidade proposta para verificar possíveis formas e materiais utilizados;
5. Analisar produtos existentes para o ambiente de ensino para verificar o que é oferecido atualmente no mercado e as oportunidades de inovação;
6. Verificar as necessidades do usuário no ambiente de salas de aula a fim de propor melhorias no projeto;
7. Definir especificações de projeto a partir da pesquisa realizada;
8. Desenvolver e selecionar alternativas de acordo com os requisitos;
9. Detalhar a alternativa selecionada;
10. Verificar o impacto do mobiliário desenvolvido na acústica de uma sala de aula modelo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A proposta desta fundamentação teórica é buscar a compreensão dos fenômenos do som e sua interação com diferentes ambientes, e os materiais e formas que podem ser explorados no desenvolvimento deste projeto de modo a reduzir os efeitos negativos da acústica.

3.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE SOM

O som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano. O ouvido humano é capaz de perceber frequências compreendidas entre 20 Hz e 20.000 Hz, sendo as baixas frequências classificadas como sons graves e as altas frequências, como sons agudos. O som não se propaga no vácuo, pois para se propagar, o som requer um meio em que existam partículas, seja ele sólido, líquido ou gasoso (CARVALHO R. P., 2006). A velocidade de propagação do som varia de acordo com o meio onde o som se propaga e é diretamente proporcional à densidade do meio. As formas e os materiais de um ambiente influenciam no comportamento do som, provocando diferentes tipos de interação (SOUZA *et al.*, 2012).

Quando uma onda sonora incide sobre uma superfície, tem como resultado três diferentes situações: uma parte dela é transmitida através do material, outra parte é absorvida e o restante é refletido (CARVALHO R. P., 2006). A reflexão do som ocorre quando uma onda sonora se propaga e encontra um obstáculo, incide sobre a barreira e retorna para o meio no qual estava se propagando. Quando ela incide sob uma superfície irregular, o resultado é a dispersão da onda na reflexão, o que caracteriza a difusão (HENRIQUE, 2007). A reflexão sonora tem como consequência outros dois fenômenos: o eco e a reverberação.

O eco ocorre quando o som, refletido por uma ou mais superfícies, retorna à fonte em um intervalo maior que 1/15 do segundo ou a partir de 22

metros de distância do anteparo (CARVALHO R. P., 2006). Em outras palavras, o eco é caracterizado pela repetição distinta do som no ambiente, depois da extinção do som original (COSTA, 2003), fazendo com que o ouvinte escute dois sons.

Já reverberação é um fenômeno relacionado às reflexões múltiplas das ondas sonoras em um recinto e consiste no prolongamento do som no ambiente após a extinção da fonte sonora. Esse fenômeno tem grande importância na determinação da qualidade acústica de um ambiente, pois a reverberação excessiva torna o som confuso e de difícil compreensão, enquanto uma reverberação escassa torna o ambiente “surdo”, uma vez que o nível sonoro decresce rapidamente ao se afastar da fonte (COSTA, 2003).

A reflexão permite o reforço do som direto e a distribuição sonora, aumentando a intensidade do som no ambiente. Em auditórios, por exemplo, a reflexão é explorada arquitetonicamente de modo a intensificar o som direto para os lugares mais afastados da fonte. A intensidade sonora não é reduzida apenas com a distância, mas também em razão da absorção sonora dos materiais. Quando uma onda sonora incide sob uma superfície, uma parte da energia sonora é refletida e outra é absorvida pelo material, portanto quanto maior o número de reflexões sofridas, menor a intensidade do som. Do mesmo modo que os materiais, as pessoas também atuam como elementos de absorção sonora (SOUZA *et al.*, 2012).

A absorção sonora dos materiais é nitidamente percebida quando se compara um ambiente vazio – onde ocorrem reflexões excessivas – com um ambiente mobiliado, onde as reflexões passam a ser absorvidas pelos móveis presentes no ambiente (SOUZA *et al.*, 2012). A eficácia da absorção de som de um material é expressa pelo seu coeficiente de absorção, que assume valores entre zero (todo som incidente retorna ao ambiente) e um (nenhuma energia sonora retorna ao ambiente). O coeficiente de redução sonora (*noise reduction coefficient* ou NRC) é a média aritmética dos coeficientes de absorção nas frequências de 250, 500, 1000, 2000 Hz - as faixas centrais da sensibilidade do ouvido humano. “O NRC é um número único que sintetiza a capacidade de

absorção sonora do material, sendo útil numa primeira análise comparativa de diferentes materiais.” (BISTAFA, 2006).

O coeficiente de um material não depende somente da natureza do material, mas também de outros fatores. Materiais mais porosos, menos lisos, de menor peso e mais espessos, geralmente, têm maior coeficiente de absorção. O valor desse coeficiente não é constante, variando com a frequência do som incidente (ERMANN, 2015). Materiais absorvedores sonoros podem ser usados para controle da reverberação para que a fala não seja distorcida (EGAN, 2007).

3.1.1. A interação do som com o ambiente

Wallace Sabine, físico norte-americano, definiu um parâmetro que caracteriza a qualidade acústica de um ambiente em função da reverberação, que recebeu o nome de tempo convencional de reverberação (COSTA, 2003). Segundo Silva (1971), o tempo de reverberação de um recinto é a medida relacionada com o intervalo de tempo em que os sons emitidos no seu interior permanecem audíveis no ambiente, devido às múltiplas reflexões que ocorrem. Usualmente, o tempo de reverberação é definido como o tempo que leva para que a intensidade do som seja diminuída à sua milionésima parte ou decair 60 decibéis a partir do momento em que a fonte sonora é extinta (DE MARCO, 1982).

Se o som estiver se propagando ao ar livre, não ocorrerá reverberação. Se estiver se propagando em um recinto fechado, as reflexões múltiplas do mesmo e a absorção sonora pelos materiais que compõem as superfícies do ambiente modificarão sensivelmente o som final percebido (SILVA, 1971). A receptividade de um som depende das características do ambiente onde ele se propaga. Para salas de aula, por exemplo, os tempos de reverberação para os quais a audibilidade da voz pode ser boa têm valores mais baixos, enquanto para a música, esses valores são relativamente mais altos (SILVA, 1971).

O tempo de reverberação pode ser medido, utilizando, por exemplo, um medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) ou pode ser estimado a partir de equações, como a de Sabine, apresentada abaixo.

$$t_R = \frac{0,16 V}{A} \quad (1)$$

Na Equação 1, t_R é o tempo de reverberação em segundos, V é o volume do recinto em m^3 , e A é a absorção total da sala em m^2 . A absorção da sala (Equação 2) é calculada através da soma do coeficiente de absorção de cada material presente (α_i) multiplicado pela área da superfície do material (S_i) (HENRIQUE, 2007). De acordo com isso, o aumento da área superficial dos elementos presentes em um ambiente fechado e o uso de materiais com alto coeficiente de absorção sonora aumentam a absorção total da sala.

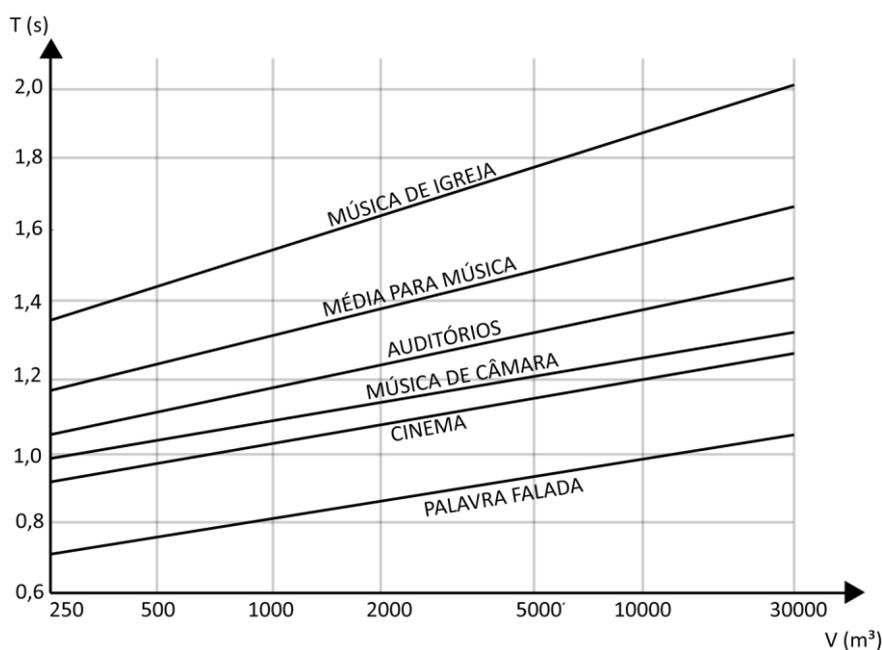
$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i \quad (2)$$

Há também a Equação 3, de Eyring-Norris, mostrada abaixo, onde t_r é o tempo de reverberação em segundos, V é o volume do recinto em m^3 , A_{ar} é a absorção do ar, e $(1 - \bar{\alpha})$ é a fração de energia refletida que atuará nas outras superfícies (HENRIQUE, 2007).

$$t_r = \frac{0,16 V}{A_{ar} - S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (3)$$

Existe um tempo de reverberação adequado para cada local que varia em função do volume do mesmo e, à medida que aumenta o volume de um local, também se incrementa o tempo de reverberação dele (SILVA, 1971). O Gráfico 1 mostra os tempos ótimos de reverberação de salas para alguns fins específicos na frequência de 512 Hz.

Gráfico 1: Tempos ótimos de reverberação em função do volume do local e do seu uso



Fonte: Adaptado de De Marco (1982)

3.1.2. A influência do som nas salas de aula

O aprendizado envolve intensa comunicação verbal entre alunos e professores, mas a eficiência dessa comunicação depende das condições acústicas das salas de aula. Reverberação e ruído de fundo são as grandezas mais relevantes para controle do conforto acústico desse ambiente. É comum que salas de aula possuam móveis com superfícies que favorecem a reflexão das ondas sonoras incidentes, devido ao baixo coeficiente de absorção sonora dos seus materiais, o que influencia no tempo de reverberação do ambiente. Salas com longo tempo de reverberação podem interferir no desenvolvimento intelectual dos alunos, impedindo que possam compreender com clareza o que está sendo ensinado (MEDRADO, 2004).

De acordo com a norma americana ANSI/ASA S12.60 (2009), uma sala de aula deve apresentar tempo de reverberação inferior a 0,6 segundo para ambientes fechados de até 283 m³. Sugere-se que esse valor esteja entre 0,4 e 0,6 segundo. O tempo de reverberação considerado nessa norma é referente à média aritmética dos tempos de reverberação das frequências de 500, 1000 e 2000 Hz.

Já a norma espanhola *DB-HR Protección frente al ruido* (2007) apresenta valores máximos admissíveis de tempo de reverberação para salas de aula menores que 350 m³. Segundo a norma, para salas sem ocupação nem mobiliário, o valor máximo é de 0,7 segundo, enquanto para salas sem ocupação, mas com mobiliário, é de 0,5 segundo.

Mesmo em condições de perfeita inteligibilidade da voz em salas de aula, a reverberação e o ruído de fundo prejudicam a compreensão auditiva e a memória (KLATTE; LACHMANN; MEIS, 2010). A acústica precária também afeta os professores. Segundo estudo realizado em salas de aula (TIESLER; OBERDÖRSTER, 2006), foi verificado que há relação entre o estresse e as condições acústicas das salas. Quando a acústica da sala não é adequada, ocorre o aumento da potência de voz dos professores e consequente aumento da sua frequência cardíaca, resultando em estresse.

Além disso, no caso de atividades em grupo em sala de aula, quando diversas pessoas conversam em grupos separados, o ruído de fundo aumenta, tornando a conversação difícil. Sendo assim, cada pessoa desejará falar mais alto, a fim de ser compreendida, aumentando ainda mais o ruído de fundo e diminuindo a compreensão da fala. Esse fenômeno é conhecido como “efeito Lombard” (BISTAFÀ, 2006).

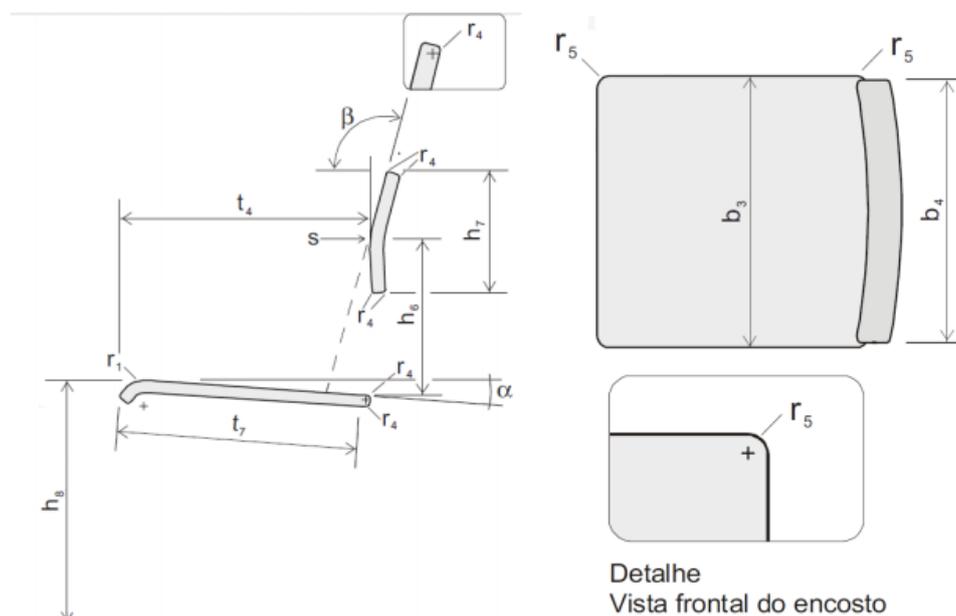
3.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSÕES DE MOBILIÁRIO PARA SALAS DE AULA

Além de uma preocupação com o conforto acústico relacionado ao mobiliário, deve ser considerado também o conforto físico do usuário no desenvolvimento deste projeto. O conforto é um fator de difícil mensuração por ser algo subjetivo e individual, dependendo da percepção de cada usuário. O conforto dos móveis depende do tipo de uso e dos requisitos operacionais da tarefa (IIDA, 1990). O mobiliário é parte do ambiente de ensino e tem influência direta no conforto físico do aluno. Os estudantes universitários ficam sentados, em média, de quatro a cinco horas por dia (SOUSA *et al.*, 2007) e são expostos

a diferentes atividades de ensino em salas distintas, sendo que cada qual deve ser apropriada a sua finalidade educacional.

A norma técnica brasileira NBR 14006 (ABNT, 2008) estabelece requisitos mínimos para fabricação de cadeiras e mesas, denominado conjunto aluno individual, para instituições educacionais de todos os níveis de ensino, de acordo com aspectos ergonômicos, de acabamento, identificação, estabilidade e resistência. Segundo a norma, para estabelecer os requisitos mínimos dimensionais para a cadeira escolar, são considerados itens como largura do assento, largura mínima do encosto, altura do assento em relação ao chão, extensão vertical mínima do encosto e profundidade útil do assento. As dimensões, cujos valores se encontram na Tabela 1, estão indicadas na Figura 2. Os valores são estabelecidos de acordo com oito grupos de diferentes faixas de estatura.

Figura 2: Indicações das dimensões de cadeiras definidas pela ABNT



Fonte: ABNT (2008)

Tabela 1: Dimensões das cadeiras (mm)

Identificação do tamanho	0	1	2	3	4	5	6	7	
Identificação da cor	Branco	Laranja	Lilás	Amarelo	Vermelha	Verde	Azul	Marron	
Faixas de estatura	800	930	1080	1190	1330	1460	1590	1740	
	a	a	a	a	a	a	a	a	
	950	1160	1210	1420	1590	1765	1880	2070	
b ₃	Largura do assento	330	330	330	330	390	390	400	
b ₄	Largura mínima do encosto	300	300	300	300	350	350	360	
h ₈	Altura do assento (tolerância de 10 mm)	210	260	310	350	380	430	510	
h ₁	Extensão vertical mínima do encosto	150	150	150	150	150	150	150	
r ₁	Raio da aba frontal do assento	30 a 90							
r ₂	Raio da curvatura da parte interna do encosto	400 a 900							
t ₄	Profundidade útil do assento Tolerância 10 mm (tamanho 0 a 2) Tolerância ± 20 mm (tamanho 3 a 7)	225	250	270	300	340	380	420	460
t ₇	Profundidade mínima da superfície do assento	> t ₄ real							
h ₆	Altura do ponto S (tolerância - 10 a +20 mm)	140	150	160	180	190	200	210	220
r ₄	Raio mínimo de arestas e quinas*	1	1	1	1	1	1	1	
r ₅	Raio mínimo de curvatura dos cantos**	20	20	20	20	20	20	20	
	Ângulo de inclinação do encosto (em graus)	-	95° a 110°						
A	Inclinação do assento (em graus)	-2° a -5°							

* O raio mínimo de arestas e quinas são tanto para o assento como para o encosto;

** O raio mínimo de curvatura dos cantos é para o assento, encosto e mesa.

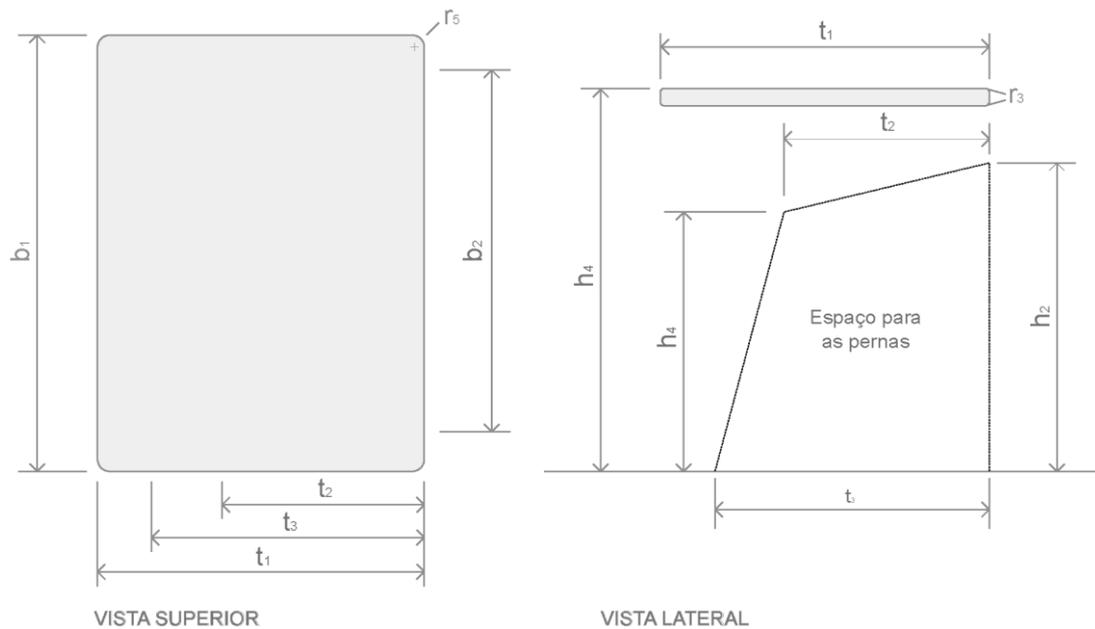
Fonte: ABNT (2008)

De acordo com pesquisa realizada por Tirloni (2013), o assento deve ter os seguintes requisitos ergonômicos: altura que permita que os pés estejam apoiados no chão, sem pressão do assento contra os músculos posteriores das coxas e nádegas; largura suficiente para que os usuários não percebam as bordas do assento; profundidade suficiente para que não pressione a parte posterior das coxas; bordas arredondadas; pouca inclinação; com ou sem acolchoamento e não deve ter excesso de curvaturas e moldagens.

Já o encosto precisa ter uma altura adequada para apoiar a coluna lombar e dorsal, deixando espaço para acomodação das nádegas; deve evitar a retificação da lombar a fim de promover uma postura natural e não deve apresentar excessos de curvaturas para não dificultar o movimento e a aeração do corpo (TIRLONI, 2013).

Quanto à mesa, a norma define que deve apresentar espaço livre destinado à acomodação e à movimentação das pernas do usuário. É considerado o uso de mesas na horizontal, no entanto, caso a superfície seja inclinada, a inclinação não deve ser maior que 10 graus (ABNT, 2008). As dimensões, indicadas na Figura 3, estão na Tabela 2.

Figura 3: Indicações das dimensões de mesas definidas pela ABNT



Fonte: ABNT (2008)

Tabela 2: Dimensões das mesas (mm)

Identificação do tamanho	0	1	2	3	4	5	6	7
Identificação da cor	Branco	Laranja	Lilás	Amarelo	Vermelha	Verde	Azul	Marron
Faixas de estatura	800	930	1080	1190	1330	1460	1590	1740
	a	a	a	a	a	a	a	a
	950	1160	1210	1420	1590	1765	1880	2070
b ₁	Largura mínima do tampo ^d	-	600 ^a	600 ^a	600 ^a	600 ^a	600	600
b ₂	Largura mínima do espaço para as pernas	-	500 ^b	500 ^b	500 ^b	500 ^b	500	500
h ₁	Altura do tampo (tolerância +/- 10 mm)	400	460	530	590	640	710	820
h ₂	Altura mínima para movimentação das coxas	325	380	440	495	545	610	725
h ₄	Altura mínima para movimentação dos joelhos	275	325	375	420	465	520	620
t ₁	Profundidade mínima do tampo ^d	-	500 ^c	500 ^c	500 ^c	500 ^b	500 ^b	500
t ₂	Profundidade mínima do espaço para as pernas	300	300	300	300	400	400	400
t ₃	Profundidade mínima para movimentação das pernas	400	400	400	400	500	500	500
r ₃	Raio mínimo da borda de contato com o usuário	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
r ₄	Raio mínimo de arestas e quinas	1	1	1	1	1	1	1
r ₅	Raio mínimo de curvatura dos cantos	20	20	20	20	20	20	20

^a Pode-se reduzir para até 550mm quando as condições educativas o exigirem.

^b Pode-se reduzir para até 450mm quando as condições educativas o exigirem.

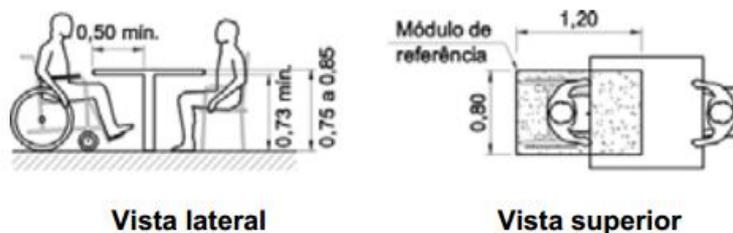
^c Pode-se reduzir para até 400mm quando as condições educativas o exigirem.

^d No caso de tampo com formas geométricas não retangulares, sua superfície deve permitir a inserção de um retângulo com as dimensões b₂ x t₃.

Fonte: ABNT (2008)

Considerando o contexto inclusivo das universidades, também foi consultada a norma NBR 9050 (ABNT, 2004) que afirma que, quando houver mesas individuais para alunos em salas de aula, pelo menos 1% do total de mesas, com no mínimo uma para duas salas de aula, deve ser acessível ao usuário de cadeira de rodas. A altura das mesas ou superfícies deve estar entre 0,75 m e 0,85 m do piso e possuir altura livre inferior de, no mínimo, 0,73 m do piso. Um módulo de referência, conforme Figura 4, deve ser garantido, possibilitando avançar sob as mesas ou superfícies até, no máximo, 0,5 m.

Figura 4: Dimensões das mesas ou superfícies para usuários de cadeiras de rodas



Fonte: ABNT (2004)

Os requisitos apresentados nesta seção para mobiliários de salas de aula servirão de base para o desenvolvimento deste trabalho, para que o projeto se enquadre nos padrões ergonômicos desejáveis. Baseando-se nas estaturas apresentadas no livro Dimensionamento humano para espaços interiores (PANERO; ZELNIK, 2008), foi considerado para este projeto o uso do percentil 5 feminino (1499 mm) e percentil 95 masculino (1849 mm) para adultos de idades entre 18 e 79 anos como alturas mínima e máxima aos quais os móveis devem estar adequados. Serão utilizadas, portanto, as dimensões definidas para mesas e cadeiras para os tamanhos 5 e 6 da norma NBR 14006 (ABNT, 2008).

3.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE MATERIAIS E SUAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS

Os materiais construtivos e de revestimento de um ambiente, bem como os materiais que compõem o seu mobiliário, têm influência na acústica do mesmo (SOUZA *et al.*, 2012). Neste projeto, é necessário, portanto, que sejam analisados os materiais já utilizados para esse fim, além de outros materiais e suas propriedades acústicas para que se tenha conhecimento das suas características e aplicações.

Ao encontrar uma superfície, o som pode ser refletido, absorvido ou transmitido. É considerado que um material tem boa absorção acústica quando ele retém uma quantidade maior de ondas sonoras, transformando-as em energia térmica. Quando o material reflete grande parte da energia sonora incidente, caracteriza-se como um bom isolante acústico, pois não permite a passagem de som de um ambiente para o outro (CARVALHO R. P., 2006).

Serão analisadas as principais classes de materiais de modo a obter uma noção geral quanto aos materiais disponíveis e entender os motivos para seu uso ou não. Através de algumas empresas, é possível ter acesso aos valores de coeficientes de absorção acústica de alguns materiais, que são obtidos por meio de ensaios laboratoriais, mas deve ser considerado que esses dados são para materiais específicos e que o comportamento acústico de um

produto ou ambiente feito a partir dessas informações será apenas uma estimativa.

Os materiais metálicos, devido à sua capacidade de reflexão, não são utilizados como materiais absorventes. Por essa razão, não há estudos muito aprofundados sobre os coeficientes de absorção dos metais e suas ligas. Em casos de isolamento sonoro, no entanto, chapas metálicas perfuradas podem ser aplicadas juntamente a outros materiais de elevada absorção sonora, como a lã de rocha ou lã de vidro (RUAS, 2013).

Os materiais cerâmicos, tais como tijolos, azulejos e concreto, têm coeficientes de absorção variáveis de acordo com as propriedades de cada um. De um modo geral, no entanto, é possível afirmar que eles possuem valores baixos para absorção do som, pois materiais duros, característica dessa categoria de materiais, são considerados bons isolantes acústicos (ANIMA ACÚSTICA), ou seja, refletem a maior parte da energia sonora incidente. A Tabela 3 apresenta alguns coeficientes de absorção sonora para materiais cerâmicos.

Tabela 3: Coeficientes de absorção sonora de paredes de materiais cerâmicos em função da frequência

Material	Frequências					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Parede de tijolos	0,024	0,025	0,031	0,042	0,049	0,070
Parede de tijolos rebocada	0,012	0,013	0,017	0,023	0,023	0,025
Concreto	0,010	0,012	0,016	0,019	0,023	0,035
Concreto rebocado	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Azulejos	0,010	0,011	0,012	0,015	0,018	
Mármore	0,010	0,010	0,010	0,012	0,015	
Vidros	0,030	0,028	0,027	0,026	0,025	

Fonte: Costa (2003)

Os materiais poliméricos são macromoléculas constituídas por um grande número de moléculas pequenas que se repetem na sua estrutura. Os polímeros que ocorrem naturalmente, derivados de plantas e animais, incluem a madeira, a borracha, o algodão, a lã, o couro e a seda. A pesquisa científica tornou possível o desenvolvimento de numerosos polímeros, os quais são sintetizados a partir de moléculas orgânicas pequenas. “Muitos dos plásticos, borrachas e materiais fibrosos que nos são úteis nos dias de hoje consistem em polímeros sintéticos. Os materiais sintéticos podem ser produzidos de maneira barata, e as suas propriedades podem ser administradas num nível em que muitas delas são superiores às suas contrapartes naturais.” (CALLISTER, 2002)

Na constituição de móveis, um dos materiais mais utilizados é a madeira, que apresenta baixos níveis de absorção sonora. No entanto, quando combinada com outros materiais, como lã de rocha, obtém bons resultados na absorção de algumas baixas e altas frequências (RUAS, 2013).

Os materiais compósitos são uma combinação de dois ou mais componentes com diferentes propriedades físicas e químicas que originam um material com melhores propriedades (CALLISTER, 2002). Assim como os materiais poliméricos, os materiais compósitos têm diferentes coeficientes de absorção que variam de acordo com sua constituição, densidade e porosidade.

Devido à importância e larga aplicação dos materiais poliméricos e compósitos na área da acústica, será falado mais a respeito de alguns exemplos deles a seguir. Os materiais absorventes podem ser classificados como fibrosos (fibra de madeira, lã de vidro, lã de rocha), celulares com células fechadas (espuma rígida de poliuretano e poliestireno expandido) e celulares com células abertas (espuma de amianto, cortiça, espuma flexível de poliuretano) (DANTAS; SALLES, 2013). Materiais porosos e fibrosos são mais eficazes em altas frequências e a sua estrutura se baseia na existência de caminhos abertos (PORTELA, s.d.).

Quando uma onda sonora entra em contato com um material poroso ou fibroso, ela é facilmente absorvida, devido à porosidade desse material. Ocorre uma fricção entre a onda e a superfície das fibras e essa fricção converte parte

da energia sonora em calor, ou seja, o material faz com que a energia sonora perca a intensidade, resultando em aumento da absorção sonora. Quando as fibras estão soltas e afastadas, pouca energia é perdida em calor e quando estão concentradas, não haverá penetração do ar no material e o movimento do ar não gerará fricção suficiente para ser eficaz (PORTELA, s.d.). Além da porosidade, a eficácia da absorção dos materiais também depende da espessura, orientação da fibra e densidade (ERMANN, 2015).

Espumas de polímeros têm características que as tornam adequadas para controle acústico. Todas as espumas de poliuretano, polipropileno e poliestireno são usadas para esse fim (ASHBY; JOHNSON, 2011) e cada tipo tem diferentes propriedades de absorção sonora. Essas espumas têm alto coeficiente de absorção sonora de frequência intermediária e baixa, além de custos de investimento relativamente baixos e um processo de moldagem simples e conveniente (LIU; CHEN, 2014).

Feltro é um termo que pode ser usado para descrever uma grande variedade de têxteis. O feltro pode ser feito de fibras naturais, como lã, ou de fibras sintéticas, como acrílico. O feltro é um tecido não tecido (TNT), composto de fibras soltas que são unidas para formar um material contínuo. É produzido a partir de fibras desorientadas que são aglomeradas e compactadas, não passando pelos processos têxteis mais comuns que são fiação e tecelagem. O coeficiente de absorção de mantas de feltro cresce com a espessura, sobretudo para baixas frequências (COSTA, 2003).

A lã de vidro, feita a partir de sílica e sódio, se destaca como um dos produtos de melhor desempenho no tratamento acústico de ambientes devido ao seu ótimo coeficiente de absorção acústica. Os minerais são fundidos a 1800°C e centrifugados formando fios finos, que serão aglomerados com resina sintética (TRISOFT, 2015). Na construção civil, esse material tem contribuído para a obtenção do conforto térmico e acústico de edificações comerciais e residenciais. Comercializada em rolos e em painéis, possui uma variedade de densidades e espessuras, adequadas a cada necessidade. A lã de vidro é leve; fácil de manusear e cortar; não favorece a proliferação de fungos ou bactérias;

não deteriora nem apodrece; tem alta resistência térmica; e por ser incombustível, evita a propagação das chamas e o risco de incêndio.

A lã de rocha é feita por um processo semelhante ao da lã de vidro, mas utiliza rocha basáltica vulcânica e outros minerais retirados da natureza que passam por fusão a 1500°C e são transformados em fibras por centrifugação, posteriormente sendo aglomerados com resinas e aditivos (TRISOFT, 2015).

Devido à matéria-prima principal dessas lãs, elas são muito mais pesadas que a de lã de PET, também comercializada em forma de mantas ou painéis. A lã de PET tem como seu maior diferencial a sustentabilidade, pois é produzida a partir de garrafas PET recicladas, sem adição de resinas, sem utilização de água durante o processo e sem emissão de carbono na atmosfera. Além disso, não prolifera fungos nem bactérias, tem excelente custo-benefício, é hipoalergênica e não combustível (NEOTÉRMICA). A Tabela 4 apresenta os coeficientes de absorção sonora da lã de PET e de alguns materiais porosos e fibrosos, mencionados anteriormente.

Tabela 4: Coeficiente de absorção sonora de alguns materiais porosos e fibrosos

Material	Frequências						Fonte
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
Lã de vidro (100mm de espessura)	0,29	0,55	0,64	0,75	0,80	0,85	(JADIR; LIMA, 2009)
Lã de rocha (100mm de espessura)	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,79	(JADIR; LIMA, 2009)
Lã de PET (50mm de espessura)	0,23	0,48	0,86	0,92	0,92	0,96	(TRISOFT)
Feltro de fibra natural (5mm de espessura)	0,09	0,12	0,18	0,30	0,55	0,59	ABNT NBR 12179
Poliuretano flexível (25mm de espessura)	0,11	0,26	0,48	0,61	0,78	0,85	(KEFFORD, 1993)
Espuma de poliamida (densidade 6,4kg/m ³)	0,30	0,49	0,89	0,97	0,84	0,88	(KEFFORD, 1993)

Geralmente, os materiais são sobrepostos em aplicações reais. Nos casos em que os materiais são aplicados de maneira diferente da qual foram testados, estimativas devem ser feitas baseadas nas propriedades de absorção dos elementos individuais, devendo ser considerado o resultado combinado dos materiais aplicados (LONG, 2014).

Além disso, o comportamento acústico de materiais macios, porosos ou fibrosos pode ser modificado dependendo das suas condições de aplicação, como espessura, dimensões dos poros e pintura superficial do mesmo. A pintura da superfície de um material absorvente com verniz, por exemplo, pode reduzir sua capacidade de absorção em até 30%, devido ao fechamento dos seus poros. Existem, no entanto, tintas solúveis em água à base de látex, que, por serem permeáveis, não têm tanta influência na capacidade de absorção desses materiais (COSTA, 2003).

De acordo com as informações pesquisadas, constata-se que os materiais porosos e fibrosos mencionados neste tópico são os mais promissores para este projeto. Por possuírem características estruturais que possibilitam que tenham coeficientes de absorção mais altos comparados a outros materiais, julga-se que são os mais adequados a este trabalho, podendo ser considerados, posteriormente, outros materiais não citados, caso seja necessário.

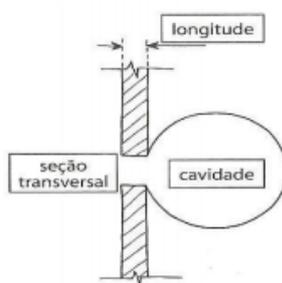
3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE PRINCÍPIOS DE ABSORÇÃO DO SOM

Ressoadores e painéis são dois sistemas comumente utilizados para alterar o comportamento das ondas sonoras. Cada um desses elementos tem sua faixa específica de frequência sonora absorvida e sua aplicação contribui para a uniformidade da reverberação de uma sala (SOUZA *et al.*, 2012).

3.4.1. Ressonadores

Os ressonadores de Helmholtz são sistemas formados por cavidades (Figura 5) que contêm ar confinado e estão conectadas ao ambiente através de uma pequena abertura, chamada de “pescoço”. A sua forma é semelhante a uma garrafa vazia. A energia sonora se propaga pelo ar dessa abertura, o ar contido na cavidade vibra, e a vibração do ar promove a fricção com a parede da cavidade, produzindo a absorção do som (GINN, 1978).

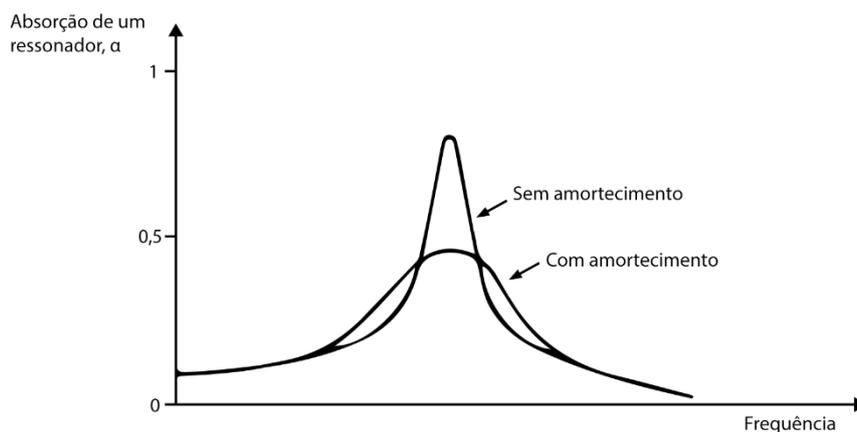
Figura 5: Ressonador com cavidade simples



Fonte: SOUZA *et al.* (2012)

A absorção do ressonador cai em frequências acima ou abaixo da frequência de ressonância. A energia transferida para dentro da cavidade é novamente irradiada após o som incidente ter cessado, portanto o ressonador pode prolongar o tempo de reverberação de um ambiente. Se o ressonador for amortecido através do revestimento da cavidade com um material absorvente sonoro poroso, sua absorção máxima na frequência de ressonância será reduzida, mas o ressonador será eficaz ao longo de uma maior faixa de frequência (Gráfico 2). Os ressonadores de Helmholtz são mais eficazes em médias frequências, mas podem ser projetados para absorção em qualquer ponto da escala de frequência (GINN, 1978).

Gráfico 2: Variação do coeficiente de absorção do ressonador de Helmholtz de acordo com a frequência com e sem amortecimento

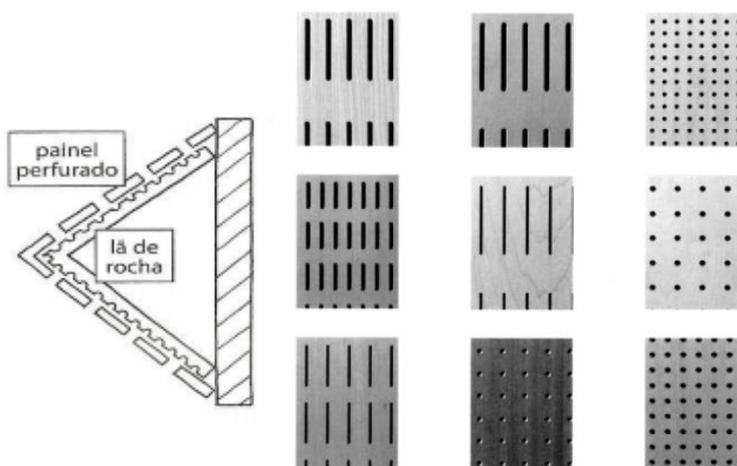


Fonte: Adaptado de Ginn (1978)

Os ressoadores podem ser constituídos por apenas uma cavidade ou por painéis perfurados (Figura 6). Os painéis perfurados são colocados de maneira a delimitar uma camada de ar entre eles e a parede. As ranhuras e os furos formam os pescoços dos ressonadores, e a camada de ar por trás de cada orifício forma a cavidade do dispositivo de ressonância. Normalmente, não há necessidade de separar as cavidades de ressonância por meio de divisórias. Assim como para um único ressonador, a frequência de ressonância do ressonador múltiplo é determinada pelas dimensões do pescoço e da cavidade, mas esse não é tão seletivo na sua absorção. Um material de amortecimento, como a lã mineral ou a fibra de vidro, pode ser introduzido no espaço de ar, aumentando a eficácia da absorção acima e abaixo da frequência de ressonância (GINN, 1978).

Os furos dos painéis e o espaçamento entre os elementos de revestimento, como a lã de rocha, por exemplo, agem – cada um – como uma cavidade. O tamanho do furo dos painéis, o espaçamento entre os elementos, a camada de ar na cavidade e o material aplicado atrás deles influenciam na faixa de frequência sonora absorvida. Geralmente, os painéis têm boa absorção para as médias frequências e a cavidade individual para os sons de baixa frequência (SOUZA *et al.*, 2012).

Figura 6: Desenho explicando funcionamento dos painéis perfurados e exemplos de painéis de madeira perfurados e ranhurados



Fonte: ISBERT (1998) *apud* Souza *et al.* (2012)

3.4.2. Painéis ou membranas vibratórias

Os painéis ou membranas vibratórias – áreas não perfuradas de painéis finos feitos, em geral, de madeira ou PVC – são sistemas que absorvem as ondas sonoras através da vibração da sua estrutura e da perda de calor por fricção nas suas fibras quando o material entra em flexão (PORTELA, s.d.). São superfícies montadas sobre outra superfície sólida, mas com um espaço de ar entre elas. Na prática, qualquer material aplicado sobre uma superfície, mantendo um espaçamento de ar, pode ser considerado um painel vibratório (SOUZA *et al.*, 2012).

Quando uma placa ou um painel é colocado em frente a uma parede rígida, o conjunto se comporta da mesma maneira que um sistema massa-mola - a placa sendo a massa e o ar retido, a mola. Quando uma onda sonora colide com o sistema, esse tenderá a ser posto em vibração. A transferência máxima de energia ocorre quando a frequência da energia sonora incidente é a mesma que a frequência de ressonância do sistema (GINN, 1978).

Uma vez que o painel possui inércia e amortecimento, uma parte da energia do som é convertida em energia mecânica e dissipada na forma de calor, ocorrendo a absorção de som. No entanto, como o painel em si vibra, ele

atuará como um radiador de som, por isso é raro encontrar um painel com um coeficiente de absorção superior a 0,5 (GINN, 1978).

Os painéis vibratórios são úteis para médias e baixas frequências. A absorção de energia sonora cai em frequências acima da frequência de ressonância, mas, assim como para os ressonadores, quando há o amortecimento - através da introdução de material de absorção no volume de ar entre a parede e o painel - é possível ampliar a gama de frequências para as quais está ativo (GINN, 1978). Para atender às diversas frequências, também é comum utilizar painéis formando saliências e reentrâncias (SILVA, 1971). Painéis rígidos e pesados terão uma quantidade de energia absorvida mínima, enquanto painéis leves e flexíveis terão uma absorção muito maior, principalmente nas baixas frequências (DE MARCO, 1982).

3.4.3. Aplicação dos princípios de absorção do som

Em função das propriedades de absorção dos princípios analisados, pretende-se usá-los na superfície dos móveis para a redução do tempo de reverberação de salas de aula e conseqüente melhoria do conforto acústico. Considerando que os princípios descritos são comumente usados para fins arquitetônicos, será analisada a sua aplicação para a concepção de mobiliário na segunda etapa deste trabalho.

4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para o desenvolvimento deste projeto, é necessário analisar os produtos existentes, destacando-se móveis e painéis com finalidade proposta similar – ou seja, relacionados à acústica do ambiente – para verificar formas e materiais utilizados. O mobiliário existente para o ambiente de ensino também deve ser pesquisado, para que se conheça o que está presente no mercado e o que pode ser inovado.

A aquisição de dados preliminares através de medições do tempo de reverberação de salas de aula, observações da interação dos usuários com os móveis e entrevistas com os usuários para delimitar as características do produto final de foi realizada nesta etapa também.

4.1. ANÁLISE DE PRODUTOS EXISTENTES

Os produtos existentes dividem-se em produtos associados à acústica, como mobiliário com características absorventes e painéis acústicos, e móveis relacionados ao ambiente universitário. As soluções acústicas encontradas através de móveis e painéis são provenientes de empresas de outros países, enquanto para os móveis voltados ao ambiente de ensino foram analisadas empresas brasileiras, consideradas pelo Prêmio Top Educação de 2011 as três melhores empresas de mobiliário escolar (REVISTA EDUCAÇÃO, 2011).

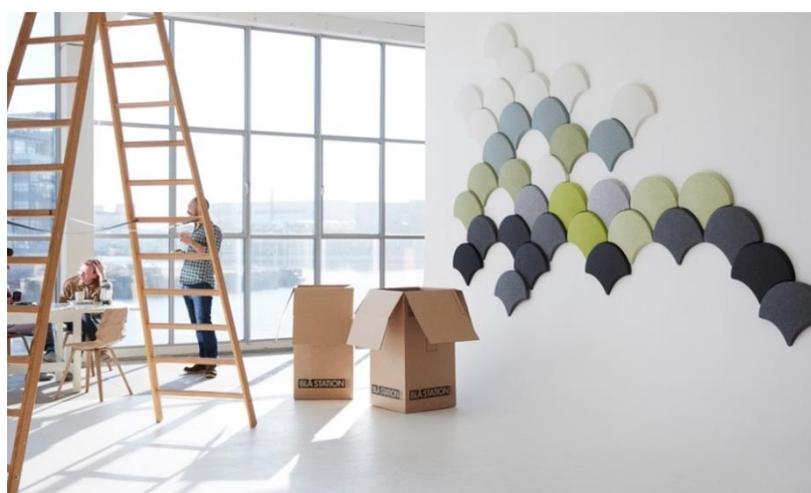
4.1.1. Análise de soluções acústicas através de móveis e painéis

A maioria das empresas que desenvolvem soluções acústicas para espaços internos faz isso através de painéis acústicos, com a finalidade de absorção ou reflexão de ondas sonoras, dependendo de cada ambiente. Para complementar a função desempenhada pelos painéis, algumas começaram a desenvolver também móveis com características acústicas. É importante

analisar as soluções obtidas por essas empresas para compreender o uso de formas e materiais.

A Blå Station é uma empresa localizada em Åhus, Suécia. Um de seus produtos é o painel acústico modular Ginkgo (Figura 7) que propõe a absorção de som, através de uma composição que tem inspiração na natureza. Os módulos são feitos de feltro 100% poliéster (BLÅ STATION, 2016).

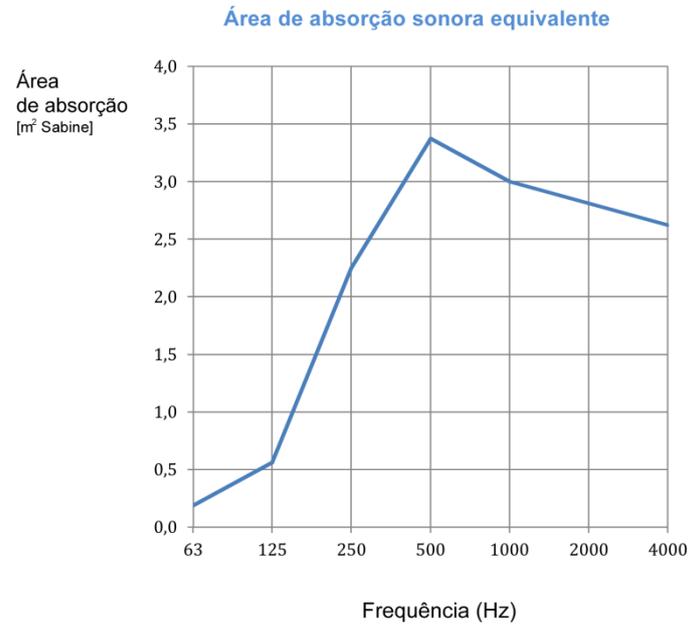
Figura 7: Painel acústico modular Ginkgo, da Blå Station



Fonte: Blå Station (2016)

Testes realizados com trinta módulos, posicionados próximos uns aos outros em uma parede, pela empresa Acoustic Facts resultaram no Gráfico 3. O gráfico relaciona as frequências em Hz e a área de absorção em m^2 que, como visto na Equação 2, é o coeficiente de absorção do material multiplicado pela área da superfície do mesmo.

Gráfico 3: Avaliação da absorção sonora dos módulos Ginkgo



Fonte: Adaptado de Acoustic Facts (2014)

O estúdio sueco Form Us With Love desenvolveu módulos para criação de painéis de absorção acústica (Figura 8) através da mistura de lascas de madeira, água e cimento. A mistura forma uma pasta que é colocada em um molde para secar – nesse caso, na forma de um hexágono – e então a cor é adicionada (CASA VOGUE, 2011).

Figura 8: Módulos desenvolvidos pelo estúdio com lascas de madeira



Fonte: Jonas Lindström (2012)

A Gilmakra é também uma marca sueca e trabalha com mobiliário para escritório. A empresa criou uma coleção de unidades de armazenamento e divisórias para locais de trabalhos que funcionam como absorvedoras de som (Figura 9). A estrutura da coleção, que recebeu o nome de Sabine, é feita em MDF. As propriedades de absorção são obtidas através da interação do revestimento de feltro de poliéster com espuma no exterior do mobiliário e as ranhuras internas do corpo do produto (GLIMAKRA OF SWEDEN B).

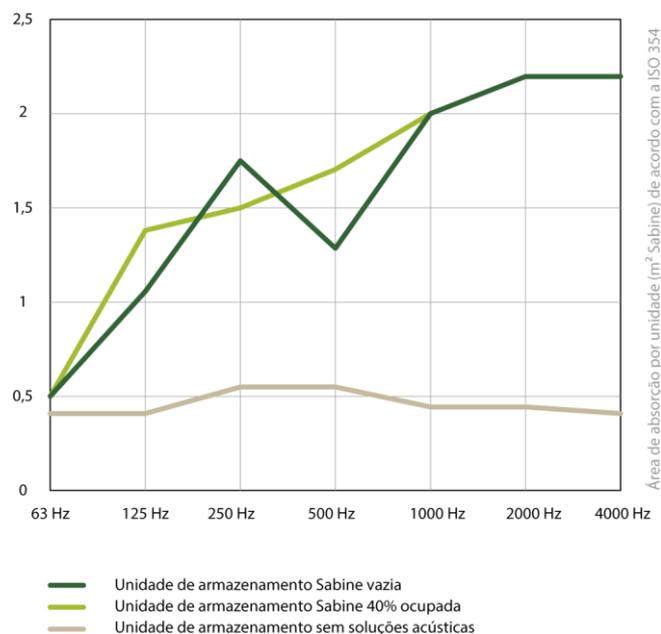
Figura 9: Coleção Sabine, da Gilmakra



Fonte: Glimakra of Sweden B (2016)

Segundo a empresa, os produtos têm uma boa absorção do som em uma ampla faixa de frequência de 125 Hz a 4000 Hz. A absorção sonora é eficaz mesmo em frequências muito baixas, como 63 Hz. O Gráfico 4 mostra a comparação entre as curvas para uma unidade de armazenamento vazia, uma unidade de armazenamento 40% cheia e uma unidade de armazenamento normal, sem soluções acústicas.

Gráfico 4: Comparação entre a absorção sonora de unidades de armazenamento



Fonte: Glimakra of Sweden B (2016)

A empresa também criou a coleção Limbus (Figura 10) que, além de divisórias e mesas, conta com diferentes opções de assentos. Os assentos possuem laterais e encostos altos com estrutura de MDF, estrutura que reduz a transmissão de som (GLIMAKRA OF SWEDEN A).

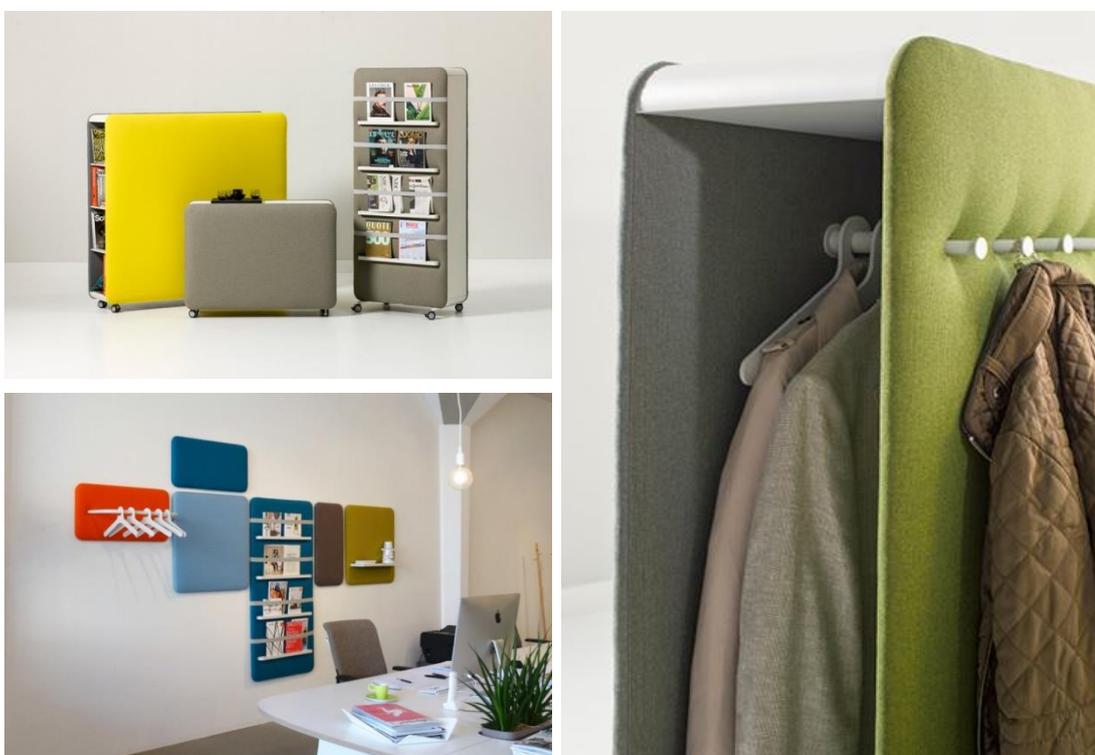
Figura 10: Mobiliário da coleção Limbus da empresa Gilmakra



Fonte: Glimakra of Sweden A (2016)

O designer holandês Robert Bronwasser desenvolveu a coleção de mobiliário para escritório Pillow (Figura 11) para a marca de design de interiores Cascando com o objetivo de melhorar a acústica do ambiente de trabalho através da absorção sonora e torná-lo mais pessoal. Os produtos são painéis acústicos estofados com espuma e diversas opções de tecidos. Os painéis podem ser equipados com acessórios como barra para cabides, faixas para segurar revistas ou papéis, prateleiras e ganchos, transformando-os em um elemento central do ambiente.

Figura 11: Coleção Pillow, de Robert Bronwasser

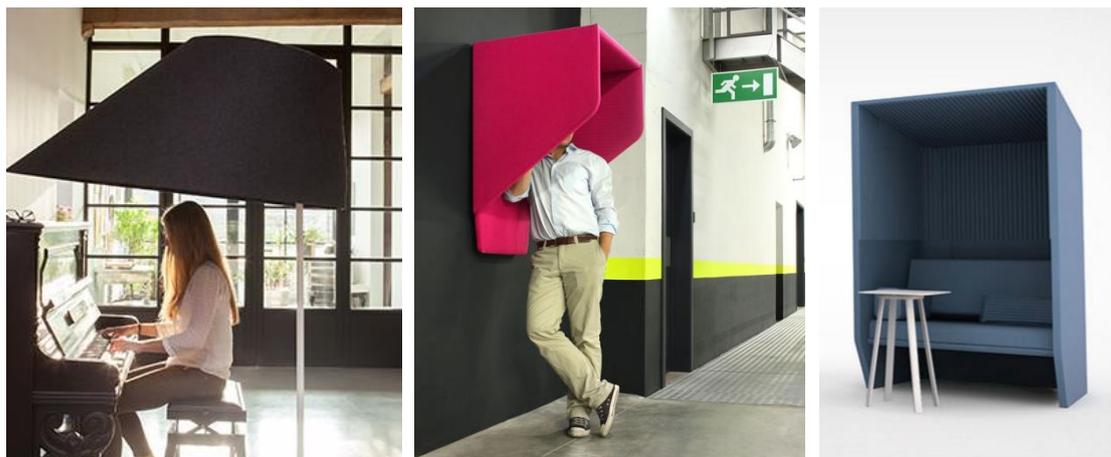


Fonte: Cascando (2016)

A BuzziSpace é uma marca belga que combina estética e diminuição do ruído através da absorção sonora e trabalha com diferentes designers na criação de soluções acústicas. Um de seus produtos é o BuzziShade, uma luminária revestida com feltro que proporciona um ambiente mais íntimo, além de reduzir o ruído externo, oferecida como pendente ou luminária de piso

(BUZZISPACE). A empresa também oferece diferentes opções de cabines para que os usuários possam atender o celular em ambientes ruidosos, além de produtos para escritórios como assentos fechados nas laterais e na parte superior, como mostrado na Figura 12.

Figura 12: Produtos criados para a BuzziSpace



Fonte: BuzziSpace (2016)

Os restaurantes também têm recorrido à acústica para tornar o local mais agradável. Um exemplo é a Pizza Express, localizada em Londres, que foi projetada pelo estúdio de design Ab Rogers de modo a proporcionar uma experiência diferente para seus clientes. As mesas receberam cúpulas acima delas que absorvem o som internamente e refletem o ruído externo, reduzindo o tempo de reverberação e oferecendo um ambiente mais íntimo (Figura 13). Os assentos criam curvas que passam pelo espaço do restaurante, formando uma série de cabines. As cúpulas contam com caixas de som, possibilitando que os clientes escolham as músicas através de seus iPods (TRENHOLM, 2010).

Figura 13: Cúpula localizada acima das mesas na Pizza Express e seu modo de funcionamento



Fonte: Ab Rogers Design Portfolio (2016)

É possível perceber que os produtos desenvolvidos por empresas que apresentam a absorção sonora como característica dos seus móveis têm, geralmente, aparência macia, pois a espuma é empregada como o material absorvente dos mesmos. O feltro de poliéster também é muito usado para revestimento desses produtos. Também nota-se que muitos móveis relacionados à questão acústica possuem formas retas e paredes que envolvem os usuários, isolando-os do ambiente externo de certa maneira. O uso dessas paredes também se deve ao fato de que o aumento da área superficial dos elementos de absorção sonora em um ambiente contribui para a diminuição do tempo de reverberação, de acordo com o que foi visto nas equações da seção 3.1.1. Essa característica pode ser aplicada aos produtos que serão desenvolvidos neste projeto. Os painéis, com formas mais diferenciadas, também podem servir de inspiração para o desenvolvimento dos móveis.

4.1.2. Análise de mobiliário para ambientes de ensino superior

A análise de produtos concorrentes tem como objetivos, de acordo com Baxter (2000), descrever como os produtos existentes concorrem com o novo produto a ser desenvolvido; avaliar as oportunidades de inovação e fixar as

metas para o novo produto concorrer com os demais. Para este projeto, as empresas concorrentes são aquelas que produzem mobiliário para ambientes de ensino superior.

O Grupo Cequipel é o maior fabricante de mobiliário escolar da América Latina, apresentando também alta qualidade na fabricação de móveis corporativos. A empresa afirma primar pela inovação em design moderno, qualificação de mão de obra e criteriosa escolha de materiais (GRUPO CEQUIPEL). A empresa possui diferentes variações de cadeiras universitárias com prancheta que, em sua maioria, apresentam as seguintes características: estrutura feita de tubos de aço; assento – em formato de concha – e encosto feito de polipropileno; prancheta fixa ou dobrável e porta-livros sob o assento em forma de gradil ou bandeja. Alguns exemplos são mostrados na Figura 14.

Figura 14: Cadeiras universitárias do Grupo Cequipel



Fonte: Grupo Cequipel (2016)

A empresa ainda possui algumas opções de mesas e cadeiras separadas (Figura 15). Somente algumas cadeiras desse fabricante possuem estofamento no encosto e assento. A estrutura das mesas é feita de aço e o tampo é, geralmente, feito em MDP revestido na face superior, mas algumas opções de mesas apresentam tampo em polipropileno. De modo que os móveis possam ser adequados a cada usuário, a Cequipel também tem a opção de mesas e cadeiras com regulagem para sete alturas diferentes, além de mesas

para cadeirantes nos padrões estabelecidos pelo FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação).

Figura 15: Conjuntos individuais produzidos pelo Grupo Cequipel



Fonte: Grupo Cequipel (2016)

Para os professores, a Cequipel oferece três tipos de mesas (Figura 16). As mesas apresentam tampo e uma chapa em MDP com acabamento em laminado nas faces superior e inferior, bordas com fita de PVC e estrutura em aço. Uma das opções possui gaveta.

Figura 16: Mesas para professores produzidas pelo Grupo Cequipel



Fonte: Grupo Cequipel (2016)

A Metadil desenvolve e fabrica mobiliário para atender as necessidades e perfis de cada faixa etária de estudantes. A empresa acredita que a fabricação de móveis para o segmento educacional contribui para o bom ensino e aprendizado (METADIL). Dentre os móveis oferecidos para ensino superior, destacam-se as mesas de estrutura metálica e tampo com geometria distinta que recebem o nome de Quadrifoglio (Figura 17). Podem ser utilizadas para atividades em grupo ou individual, pois seu formato permite diferentes configurações. O tampo das mesas produzidas pela Metadil possui acabamento melamínico, apresentando alta resistência a riscos e impacto.

Figura 17: Mesa Quadrifoglio produzida pela empresa Metadil e suas diferentes configurações



Fonte: Metadil (2016)

A empresa também possui outras opções de mesas de formato retangular, individuais ou coletivas, e diferentes cadeiras com estrutura em aço, com ou sem prancheta e porta-livros em grade abaixo do assento (Figura 18). O encosto e o assento são confeccionados com espuma injetável ou feitos de polipropileno. A Metadil também oferece mesas adequadas a usuários de cadeiras de rodas, com tampo de altura regulável.

Figura 18: Diferentes opções de cadeiras e mesas produzidas pela Metadil



Fonte: Metadil (2016)

Para os professores, a Metadil disponibiliza três opções de mesas (Figura 19). Dois dos modelos possuem gaveteiros e um deles apresenta compartimento para computador. Todas as mesas possuem um painel frontal de cores variadas. Os materiais utilizados não são informados.

Figura 19: Opções de mesas para o professor, produzidas pela Metadil



Fonte: Metadil (2016)

Além de mesas e cadeiras, a Metadil possui outros produtos para o ambiente de ensino, como armários, banquetas e móveis para suporte e movimentação dos recursos audiovisuais, mostrados na Figura 20.

Figura 20: Outros móveis da Metadil



Fonte: Metadil (2016)

A Desk produz soluções na área da educação há mais de trinta anos, sendo a primeira a fabricar móveis escolares utilizando resina plástica de alto impacto (DESK MÓVEIS). Entre os móveis oferecidos, está o conjunto Trapézio (Figura 21), constituído de cadeiras e mesas em resina de alto impacto com tampo de formato que permite diversas configurações, assim como a mesa Quadrifoglio, produzida pela Metadil. As mesas possuem suporte para livros abaixo do tampo. Uma peça central permite a união das mesas na forma mostrada abaixo.

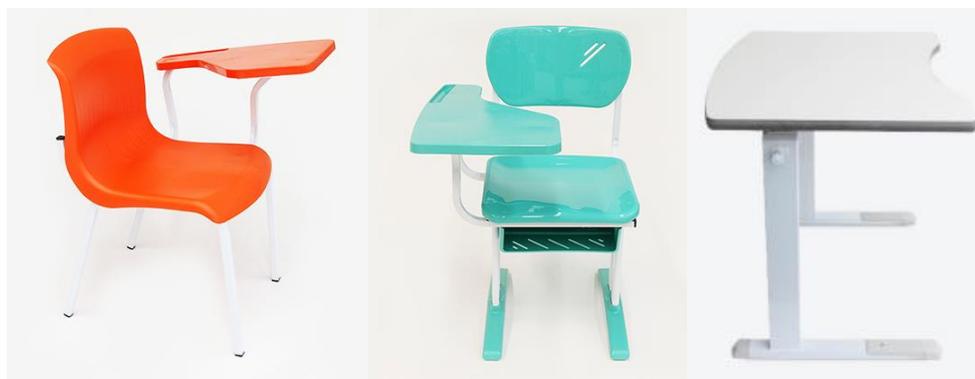
Figura 21: Conjunto Trapézio, produzido pela Desk



Fonte: Desk Móveis (2016)

A empresa também possui cadeiras com assento e encosto em resina plástica de alto impacto e prancheta em ABS (Figura 22). Algumas cadeiras também contam com porta-livros embaixo do assento, fechado no fundo e nas laterais. Assim como as outras empresas analisadas, possui mesa adequada ao usuário de cadeira de rodas.

Figura 22: Cadeiras com prancheta e mesa adequada a cadeirantes produzidas pela Desk



Fonte: Desk Móveis (2016)

Para o professor, a empresa oferece mesas com tampo em ABS ou fórmica e cadeiras com assento e encosto em resina de alto impacto (Figura 23). Todas as mesas possuem painel frontal e algumas possuem gaveteiros. As cadeiras têm os rodízios como opcionais.

Figura 23: Opções de mesas e cadeiras para professor, produzidas pela Desk



Fonte: Desk Móveis (2016)

Os produtos para mobiliário universitário disponíveis no mercado não são muito variados e apresentam muitas semelhanças nas diferentes empresas analisadas. Nenhuma das empresas pesquisadas possui produtos que apresentam como característica a absorção sonora. A análise de similares mostrou que não há uma preocupação com a acústica por parte de empresas que produzem móveis para o ambiente de ensino, reforçando a ideia de que o produto seria inovador nessa área.

4.2. MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO DE SALAS DE AULA

Como visto na fundamentação teórica, um dos parâmetros mais importantes para analisar a qualidade acústica de um ambiente fechado é o tempo de reverberação. O tempo de reverberação é definido como o tempo que leva para o som decair 60 dB após a extinção da fonte sonora, sendo também denominado T60, e corresponde ao tempo de permanência de um som após a interrupção da emissão sonora dentro de um recinto.

Para verificar se o tempo de reverberação está acima do recomendado nas normas americana e espanhola mencionadas na seção 3.1.2 no ambiente de ensino que servirá como estudo de caso para a segunda etapa deste trabalho, foram feitas medições do tempo de reverberação de salas de aula da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As medições foram realizadas através de um decibelímetro Brüel e Kjaer modelo 2250, apresentado na Figura 24.

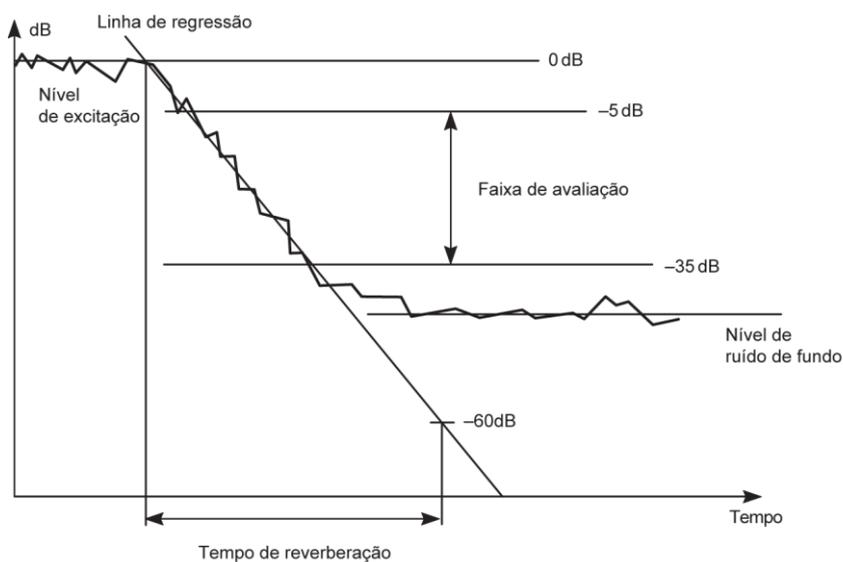
Figura 24: Instrumento utilizado para medição



Fonte: Autora (2016)

A partir das medições, foram obtidos os dados para decaimento do som em 10, 20 e 30 decibéis. É difícil medir o decaimento de 60 dB devido à interferência do ruído de fundo, por isso são utilizados os parâmetros T20 ou T30, correspondentes ao tempo que o nível de pressão sonora demora para decair 20 dB e 30 dB respectivamente, e esses valores são extrapolados para estimar um decaimento de 60 dB (SANTOS, 2014), como mostrado no Gráfico 5.

Gráfico 5: Curva de decaimento do nível de pressão sonora e linha de regressão para cálculo do tempo de reverberação



Fonte: Adaptado de Brüel & Kjaer (2016)

Para a primeira sala analisada (Figura 25), destinada a aulas teóricas, foram verificados os valores quando desocupada e ocupada com a presença de 29 pessoas. A sala possui volume de, aproximadamente, 212 m³, devendo apresentar, segundo as normas verificadas, tempo de reverberação abaixo de pelo menos 0,6 segundo.

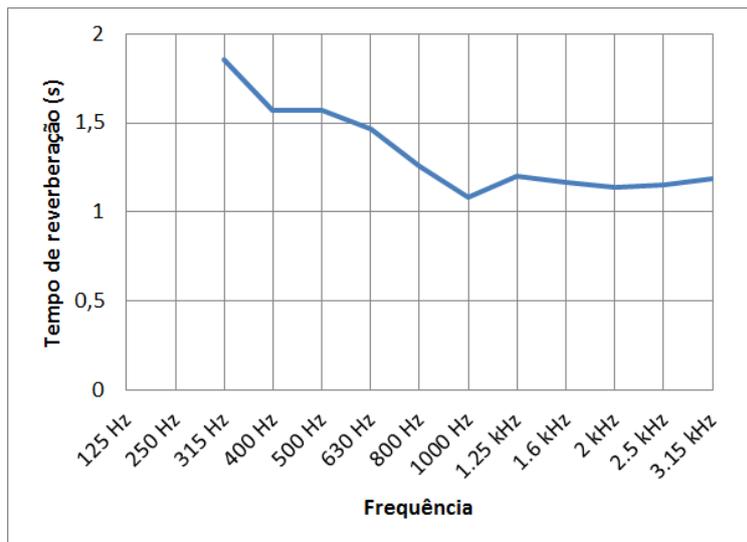
Figura 25: Sala de aula 1



Fonte: Autora (2016)

O dispositivo utilizado na medição permite definir o tempo de reverberação para cada frequência. Os gráficos obtidos apresentam os valores para o tempo de reverberação a partir dos valores T20 obtidos na medição. O dispositivo não registrou o tempo de reverberação para frequências abaixo de 315 Hz na primeira sala. Através da análise do Gráfico 6, percebe-se que a reverberação na sala desocupada é elevada, principalmente em frequências mais baixas (entre 315 e 500 Hz), em que os valores estão acima de 1,5 segundo. O tempo de reverberação médio registrado para essa medição, de acordo com as frequências 500, 1000 e 2000 Hz, é de 1,14 segundo.

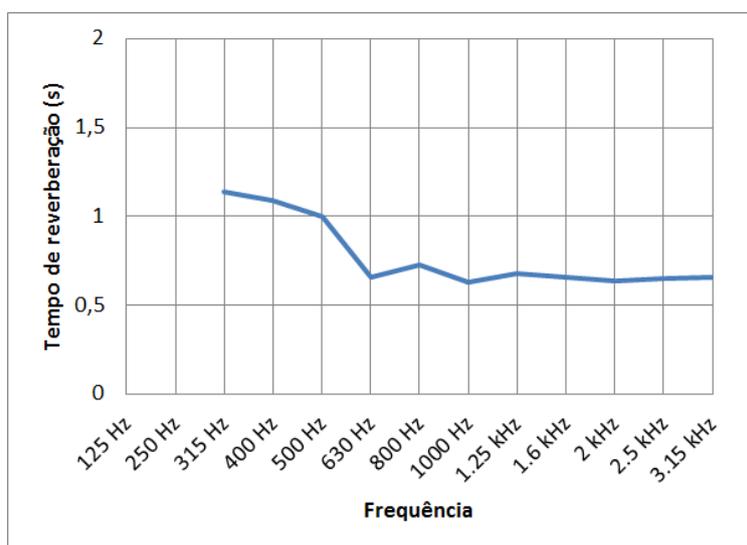
Gráfico 6: Tempo de reverberação da sala 1 desocupada



Fonte: Autora (2016)

O tempo de reverberação para a sala ocupada em comparação com a medição feita para a sala desocupada diminuiu consideravelmente para todas as frequências avaliadas, mas ainda está acima do recomendado para o ambiente de ensino, podendo afetar o aprendizado dos alunos e a saúde desses e dos seus professores. O tempo de reverberação médio obtido nessa medição foi de 0,64.

Gráfico 7: Tempo de reverberação da sala 1 ocupada por 29 pessoas



Fonte: Autora (2016)

Considerando que a Faculdade de Arquitetura da UFRGS possui diferentes salas para cada tipo de disciplina, foi realizada a medição do tempo de reverberação de mais uma sala, levando em conta sua área e configuração dos móveis distinta em relação à sala anteriormente analisada. A segunda sala, destinada a aulas práticas, é apresentada na Figura 26 e possui volume de 231 m³ aproximadamente.

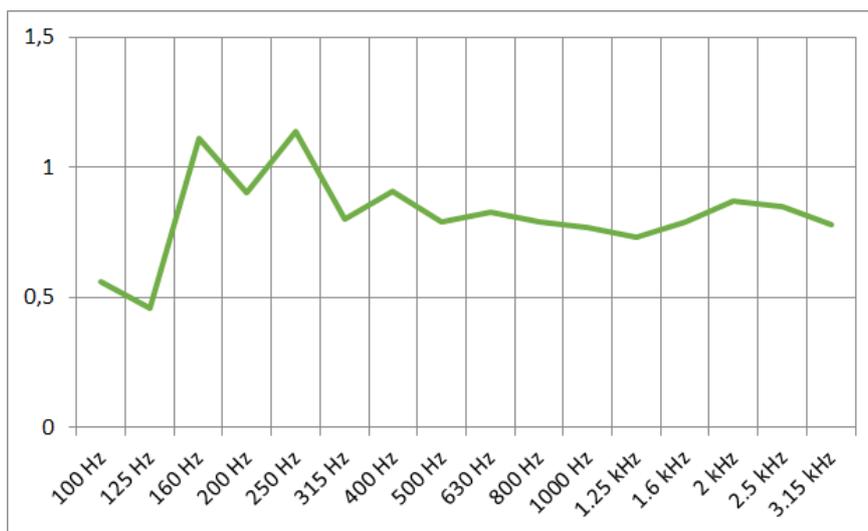
Figura 26: Local de realização da segunda medição



Fonte: Autora (2016)

Nessas medições, foi possível verificar o tempo de reverberação inclusive nas frequências mais baixas (Gráfico 8). A primeira medição foi feita com a sala desocupada e é apresentada no gráfico abaixo. Novamente, o tempo de reverberação está acima do desejável para o ambiente de ensino. Os valores mais altos foram registrados nas frequências mais baixas. O tempo de reverberação médio obtido na medição com a sala desocupada foi de 0,79 segundo.

Gráfico 8: Tempo de reverberação da sala 2 desocupada



Fonte: Autora (2016)

A segunda medição (Gráfico 9) nessa sala foi feita considerando a ocupação por treze alunos. Mesmo com a presença dos alunos, assim como foi verificado na medição da sala anterior, o tempo de reverberação continua acima do que seria adequado a salas de aula. O valor médio registrado para o tempo de reverberação da segunda sala ocupada foi de 0,67 segundo.

Gráfico 9: Tempo de reverberação da sala 2 ocupada por 13 alunos



Fonte: Autora (2016)

A presença dos alunos e do professor na sala tem grande influência no tempo de reverberação registrado, pois seus corpos e roupas absorvem o som produzido no recinto. Pode ser considerado também que as medições foram realizadas em dias frios, no qual as pessoas portavam casacos, resultando em maior absorção do som. No entanto, mesmo com uma absorção sonora significativa dos estudantes, percebe-se que é necessário tratamento acústico para que seja atingido o tempo de reverberação desejável para o ambiente analisado e para que seja mantido um bom condicionamento mesmo quando o número de alunos em sala de aula for menor.

Assim como as pessoas presentes na sala de aula, os móveis também interferem no tempo de reverberação. A primeira sala analisada possui cadeiras com estrutura de aço e assento e encosto de polipropileno e mesas com estruturas tubulares de aço e tampo revestido em fórmica para os alunos (Figura 27).

Figura 27: Móveis presentes na primeira sala analisada



Fonte: Autora (2016)

Para o professor, os móveis são diferentes: a cadeira é estofada e a mesa não tem a mesma aparência. Na segunda sala, estão presentes as mesmas cadeiras para os alunos, mas também existem cadeiras estofadas giratórias. Duas grandes mesas com estrutura de aço servem de apoio para os computadores disponíveis. Essa sala ainda possui uma mesa com tampo de

vidro e prateleiras com estrutura de metal (Figura 28), localizadas na parte posterior, onde são colocados os trabalhos executados pelos alunos.

Figura 28: Móveis presentes na sala de aula 2



Fonte: Autora (2016)

A superfície lisa e rígida da maior parte dos móveis que compõem as duas salas contribui para a reflexão das ondas sonora. Materiais como o vidro, que compõe a mesa e também as janelas da sala, e o metal, que compõe grande parte dos móveis, possuem baixo coeficiente de absorção e, portanto, não têm uma influência favorável no tempo de reverberação.

4.3. IDENTIFICAÇÃO DOS USUÁRIOS

Para determinar as especificações deste projeto, além de contar com os conhecimentos necessários quanto ao uso de materiais e formas apropriados para garantir o conforto acústico, foi necessário aproximar-se dos usuários e compreender suas necessidades, bem como suas razões de descontentamento ou não com a acústica do local.

O ambiente da universidade possui três importantes usuários que devem ser levados em conta: alunos, professores e funcionários de limpeza. Para obter informações quanto às suas necessidades, foram feitas entrevistas com esses usuários da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). De modo a complementar o que foi relatado, foram feitas observações, na mesma universidade, quanto à interação dos alunos com o ambiente e o mobiliário.

Os professores, por passarem muito tempo em pé para expor os conceitos aos estudantes em sala de aula, interagem pouco com o mobiliário que lhes é destinado, utilizando os móveis apenas quando estão auxiliando os alunos individualmente ou aguardando a realização de tarefas. Já os alunos tiveram mais relatos do seu contato com os móveis presentes nas salas de aula da universidade. Os comentários de ambos, bem como as observações feitas, estão expostos no quadro de transformação das necessidades dos usuários em requisitos na seção 5.2. Os requisitos dos usuários obtidos foram traduzidos em requisitos de projeto, resultando nas especificações do projeto através do método QFD (*Quality Function Deployment*).

4.3.1. Entrevistas com usuários

As entrevistas com os usuários – alunos e professores universitários e funcionários de limpeza – foram feitas pessoalmente de maneira semiestruturada. As entrevistas semiestruturadas, de acordo com a definição de Lida (2005), seguem uma sequência de perguntas previamente elaboradas, apresentadas no Apêndice A, mas que podem ser alteradas durante a entrevista, considerando as respostas obtidas. Dessa forma, o entrevistador é capaz de direcionar a entrevista, dando maior enfoque nos aspectos em que o entrevistado pode dar maiores informações.

As perguntas feitas estavam relacionadas ao conforto em geral em salas de aula, à influência da acústica nos estudantes e professores e à maneira como é realizada a limpeza dos móveis presentes nesses ambientes e suas dificuldades. Alguns alunos, considerando suas experiências de intercâmbio,

foram questionados também sobre a percepção do ambiente das universidades em que estudaram em outros países.

As perguntas quanto à deficiência acústica do ambiente universitário auxiliaram a constatar que os usuários percebem o problema apenas para ruído externo. Os estudantes, geralmente, não consideram que as condições da sala internamente também não são adequadas, como verificado através das medições. Os alunos relatam, no entanto, que têm o hábito de realizar as tarefas de aula em casa ou em outros ambientes da faculdade devido à dificuldade de concentração nas salas de aula. Foram registrados também alguns comentários sobre a necessidade de sentar na frente nas salas de aula para escutar melhor o professor e, para os professores, a necessidade de aumento da potência de voz, principalmente quando lecionando em salas maiores. A dor de garganta foi mencionada por alguns professores como fator resultante disso, mostrando como a saúde dos docentes é afetada pela ausência de tratamento acústico no ambiente de ensino.

4.3.2. Observações da interação entre usuários e mobiliário

A partir das entrevistas com os alunos, professores e funcionários de limpeza, foram elencados problemas relacionados ao mobiliário existente. Para complementar, foram realizadas também visitas a salas de aula da Faculdade de Arquitetura da UFRGS que permitiram a observação do uso desses ambientes, possibilitando perceber alguns aspectos do comportamento dos estudantes e sua interação com o mobiliário além do que foi citado nas entrevistas.

Muitos problemas de ergonomia são relacionados com comportamentos observáveis das pessoas. A técnica de observação envolve olhar o que as pessoas fazem e registrar para que seja descrito, analisado e interpretado. As observações se diferenciam das entrevistas, que podem introduzir distorções entre a realidade e o que as pessoas falam (IIDA, 1990).

As salas onde ocorrem aulas dos cursos de Design e Arquitetura e Urbanismo diferem muito de uma para outra, de acordo com a atividade exercida em cada uma. Existem salas onde são disponibilizados computadores, enquanto outras possuem apenas mesas e cadeiras. Algumas salas oferecem prateleiras e armários para que possam ser expostos ou guardados materiais e trabalhos. As salas não são pensadas para o desenvolvimento de trabalhos em pequenos grupos e não há espaço suficiente para os alunos se reunirem e desempenharem suas tarefas.

A distribuição usual de salas de aula – cadeiras e mesas enfileiradas – onde as aulas expositivas são mais frequentes, oferece pouca flexibilidade ao estudante quando é necessário modificar a disposição devido à realização de atividades em grupos. A interação do usuário com o meio é pouco explorada, sendo oferecido apenas o essencial. Kowaltowski (1980) afirma que há a necessidade de “humanizar” o espaço de ensino. As salas de aula, em geral, não propiciam experiências que estimulem os alunos e quando o ambiente não favorece o aprendizado, os alunos se sentem desmotivados. Instituições de ensino estão modificando os formatos tradicionais e transformando a sala de aula para que fique condizente com as necessidades das novas gerações, caso da Universidade de Harvard que, em 2015, realizou o evento *Learning Spaces Week* (Semana dos Espaços de Aprendizado), dedicado à discussão do impacto dos espaços físicos na aprendizagem (HARVARD UNIVERSITY).

Os móveis, em algumas das salas, não seguem um mesmo padrão. Algumas cadeiras apresentam rodízios, enquanto outras permitem pouca mobilidade dentro do recinto. Os pés das cadeiras atrapalham a passagem nas salas, o que pode dificultar o acesso dos professores aos seus alunos. Sendo uma sala onde ocorrem disciplinas de projetos, muitas vezes é necessária a discussão em grupos quanto ao desenvolvimento dos mesmos e a falta de mobiliário adequado dificulta essa interação entre os alunos.

Nas salas onde há uso de computadores, as mesas são compartilhadas pelos alunos, restringindo o espaço individual disponível. Em diversas salas, são realizadas atividades coletivas e não há qualquer forma de separação para

que ocorram com um mínimo de privacidade e sem que a comunicação de um grupo importune o outro.

Notou-se que os alunos, normalmente, utilizam as mesas como apoio para mochilas ou bolsas. A área para desempenho das tarefas, que já é bem limitada, principalmente quando compartilhada com outros colegas, é reduzida ainda mais por essa razão.

5 REQUISITOS DE PROJETO

De acordo com a metodologia adotada para este projeto, é previsto que sejam definidos os requisitos de usuários a partir das necessidades dos mesmos, verificadas nas entrevistas e observações realizadas. Os requisitos de usuário devem ser traduzidos em requisitos de projeto, para que seja possível classificá-los posteriormente através da matriz de Desdobramento da Função Qualidade (QFD). Os requisitos de projeto serão a base para o desenvolvimento da etapa seguinte.

5.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PROJETO

Conforme exposto no planejamento do projeto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de móveis que contribuam para o conforto acústico no ambiente de ensino universitário. A etapa de fundamentação teórica permitiu a entendimento de conceitos de acústica fundamentais para a elaboração deste projeto. As informações preliminares obtidas nas entrevistas, observações e análises realizadas anteriormente possibilitaram a percepção das necessidades de mudanças físicas no ambiente de ensino, devido à deficiência da acústica nos mesmos, bem como de outras questões relacionadas ao conforto físico.

Vários estudos comprovaram a importância do tratamento acústico de salas de aula para possibilitar melhor aproveitamento acadêmico dos estudantes e aumentar a qualidade do ambiente de trabalho dos professores (CUTIVA; BURDORF, 2015; KLATTE; LACHMANN; MEIS, 2010). A qualidade acústica de um ambiente fechado tem importante relação com o tempo de reverberação deste, como mostrado na seção 3.1.1. Em ambientes onde o tempo de reverberação é maior do que o recomendado, é muito mais difícil a compreensão do que está sendo falado. Nesse caso, a inteligibilidade da fala, assim como o conforto auditivo, diminui com o aumento dessa variável, prejudicando a aprendizagem.

Como verificado através de avaliações de desempenho acústico de salas de aula de outros trabalhos acadêmicos (FERREIRA, 2006; MOURA,

2011; SILVA, 2013) e também das medições realizadas para este trabalho, grande parte dos ambientes de ensino não são adequados acusticamente à sua função. É importante que a universidade ofereça um ambiente que seja confortável para ambos, envolvendo parâmetros, como a acústica, que são fundamentais no desempenho e na saúde das pessoas envolvidas neste espaço.

A partir da pesquisa realizada e dos argumentos supracitados, é estabelecido como problema de projeto o desenvolvimento de móveis que possuam características de absorção sonora para redução do tempo de reverberação acima do recomendado em salas de aula de ensino universitário, contribuindo para o conforto acústico dos alunos e professores.

5.2. TRANSFORMAÇÃO DAS NECESSIDADES EM REQUISITOS DE USUÁRIOS

Para facilitar o desenvolvimento deste projeto, as necessidades dos usuários, adquiridas através das entrevistas e das observações, foram traduzidas em requisitos e agrupadas em atributos no Quadro 2, com base na tabela proposta por Back et. al (2008). Alguns relatos apresentaram relação com mais de um requisito dos usuários.

Quadro 2: Transformação das necessidades em requisitos de usuários

Relatos ou observações	Requisitos dos usuários	Atributos
As cadeiras com prancheta não têm espaço suficiente para colocar o material e desenhar.	Espaço para desempenhar as atividades	Geometria
As mesas para três ou duas pessoas não têm espaço individual suficiente.		
Bolsas e mochilas são colocadas no chão ou em cima das mesas.	Local para colocar bolsas e mochilas	

(continua)

(continuação)

Relatos ou observações	Requisitos dos usuários	Atributos
As cadeiras não cabem embaixo da mesa, pois a cadeira é muito larga e a mesa é estreita. Isso dificulta a aproximação do aluno em relação às mesas e a realização da limpeza das salas de aula.	Relação dimensional apropriada entre a mesa e a cadeira	Geometria
As cadeiras ocupam muito espaço e atrapalham a movimentação e a limpeza dentro das salas.	Dimensões gerais adequadas ao espaço físico disponível	
As cadeiras são duras e os alunos sentem desconforto quando passam muito tempo sentados.	Conforto físico	Ergonomia
A altura das mesas e das cadeiras é inadequada. Alunos mais baixos não conseguem apoiar os pés no chão.	Altura adequada	
Os alunos precisam sentar próximo aos professores para escutá-los com clareza ou os professores precisam aumentar a potência de sua voz para serem ouvidos por todos.	Conforto acústico	
Os alunos não permanecem na sala para realizar trabalhos em grupo, pois é difícil a concentração e não há privacidade para os grupos.	Privacidade para realização de tarefas em grupo	
O formato das mesas não possibilita uma boa configuração para trabalhos em grupos.	Configurável para tarefas em grupo	

(continua)

(continuação)

Não é fácil de mover as cadeiras e as mesas para realizar trabalhos em grupo ou limpar as salas, pois são grandes e pesadas.	Fácil deslocamento dos móveis	Mobilidade
Os professores interagem pouco com o mobiliário presente, mas precisam deslocá-lo quando assessoram os alunos.		
A aparência dos móveis é monótona e não deixa os alunos estimulados.	Aspecto visual agradável e estimulante	Estética

Fonte: Autora (2016)

5.3. CONVERSÃO DOS REQUISITOS DE USUÁRIOS EM REQUISITOS DE PROJETO

As necessidades, previamente traduzidas em requisitos de usuário, devem ser transformadas em requisitos de projeto. Para obtê-los, deve-se pensar nos requisitos técnicos do produto que contribuem para satisfazer as necessidades do usuário, ou seja, de que forma atendem aquilo que o consumidor necessita (BAXTER, 2000). A partir da análise dos requisitos de usuário, foram determinados os requisitos de projeto, expostos no Quadro 3 de acordo com os atributos aos quais estão relacionados.

Quadro 3: Requisitos de projeto

Atributos	Requisitos de projeto
Geometria	Permitir o acondicionamento de objetos pessoais
	Ter dimensões compatíveis entre os móveis
	Ter superfícies de apoio adequadas à realização de tarefas

(continua)

(continuação)

Ergonomia	Ter dimensões de acordo com as características ergonômicas do público-alvo
	Possuir geometria flexível para ajustes ergonômicos
	Utilizar materiais com maior absorção sonora
	Possuir configuração geométrica que favoreça as características acústicas desejáveis
Funcionalidade	Ter formas que possibilitem diferentes configurações nas salas de aula
Mobilidade	Permitir a fácil mobilidade
Estética	Possuir formas e cores atrativas

Fonte: Autora (2016)

5.4. PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS DE PROJETO

Uma vez que os requisitos de projeto foram definidos, é necessário identificar a prioridade que deve ser dada, no desenvolvimento do projeto, à busca de soluções que atendam a um requisito em detrimento de outros. Para definir essas prioridades, será utilizada a matriz de Desdobramento da Função Qualidade (QFD), criada por Yoji Akao e indicada por Back et. al (2008), que se baseia na ideia de que os produtos devem ser projetados para contemplar as expectativas, desejos e preferências dos usuários.

Para elaborá-la, foi atribuído um peso para cada um dos requisitos de usuário. Foram definidos valores entre 1 e 3, sendo 1 equivalente a pouco importante e 3 correspondente a muito importante. Embora o usuário não considere o conforto acústico como principal item, por esta ser a característica de maior relevância neste projeto, foi determinado valor 3 apenas para esse item. Os outros requisitos receberam valores 1 e 2, de acordo com sua importância para o projeto, considerando os relatos concedidos nas entrevistas,

as observações feitas e a pesquisa realizada. Os valores definidos para os outros requisitos de usuário podem ser vistos na matriz QFD, apresentada na Tabela 5, bem como os valores conferidos ao relacionamento entre cada requisito de usuário e de projeto. Esses valores foram estabelecidos de modo que um relacionamento forte tem valor 9, médio tem valor 3, fraco tem valor 1 e nulo, valor 0.

Tabela 5: Matriz QFD

		Peso atribuído	Requisitos de Projeto										
			Ter dimensões de acordo com as características ergonômicas do público-alvo	Ter superfícies de apoio adequadas à realização de tarefas	Possuir geometria flexível para ajustes ergonômicos	Permitir o acondicionamento de objetos pessoais	Ter dimensões compatíveis entre os móveis	Utilizar materiais com maior absorção sonora	Possuir configuração geométrica que favoreça as características acústicas desejáveis	Ter formas que possibilitem diferentes configurações nas salas de aula	Permitir a fácil mobilidade	Possuir formas e cores atrativas	
Requisitos dos usuários	Geometria	Espaço para desempenhar as atividades	2	9	9	0	9	0	0	1	3	1	0
		Local para colocar bolsas e mochilas	1	0	3	0	9	0	0	0	0	1	0
		Relação dimensional apropriada entre a mesa e a cadeira	2	9	3	9	0	9	0	1	1	1	0
		Dimensões gerais adequadas ao espaço físico disponível	2	9	9	0	3	3	0	9	3	9	0
	Ergonomia	Conforto físico	2	9	9	9	1	9	9	1	3	9	0
		Altura adequada	2	9	3	9	0	9	0	0	0	0	0
		Conforto acústico	3	0	0	0	0	0	9	9	3	0	0
	Funcionalidade	Privacidade para realização de tarefas em grupo	2	0	0	0	0	0	9	9	3	0	0
		Configurável para tarefas em grupo	1	0	3	0	0	9	0	3	9	9	0
	Mobilidade	Fácil deslocamento dos móveis	1	9	0	0	0	0	0	3	9	9	0
	Estética	Aspecto visual agradável e estimulante	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	9
	Pontuação total dos requisitos de projeto			81	66	36	35	52	91	100	61	57	9

Fonte: Autora (2016)

Os valores de relacionamento entre requisitos de usuário e requisitos de projeto foram multiplicados pelo peso atribuído a cada requisito de usuário. Os valores obtidos foram somados, resultando numa pontuação para cada requisito de projeto que permite determinar a priorização dos mesmos. Os requisitos de projeto foram organizados no Quadro 4, classificados de acordo com suas pontuações.

Quadro 4: Priorização dos requisitos de projeto

Classificação	Requisitos de projeto	Pontuação
1º	Possuir configuração geométrica que favoreça as características acústicas desejáveis	100
2º	Utilizar materiais com maior absorção sonora	91
3º	Ter dimensões de acordo com as características físicas do público-alvo	81
4º	Ter superfícies de apoio adequadas à realização de tarefas	66
5º	Ter formas que possibilitem diferentes configurações nas salas de aula	61
6º	Permitir o fácil deslocamento dos móveis nas salas de aula	57
7º	Ter dimensões compatíveis entre os móveis	52
8º	Possuir geometria flexível para ajustes ergonômicos	36
9º	Permitir o acondicionamento de objetos pessoais	35
10º	Possuir formas e cores atrativas	9

Fonte: Autora (2016)

Após ordenar os requisitos de projeto, deve ser feita a conversão dos mesmos em especificações de projeto. Nesta etapa, os requisitos de projeto devem ser redigidos de forma mais detalhada para melhor compreensão. Não devem ser declaradas especificações em termos muito genéricos nem adotada uma solução específica muito cedo. Para cada requisito devem ser previstas grandezas mensuráveis e meios ou métodos para verificar se a solução desenvolvida atenderá a esse requisito (BACK *et al.*, 2008).

Nesta etapa deste trabalho, no entanto, não é possível definir as especificações de projeto, uma vez que os produtos que farão parte do mobiliário proposto neste projeto serão definidos na próxima etapa. Os requisitos de projeto obtidos servirão para guiar o desenvolvimento da segunda fase deste trabalho e para a posterior determinação de suas características técnicas.

5.5. CONVERSÃO DOS REQUISITOS DE PROJETO EM ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO

Os requisitos priorizados na seção anterior foram redigidos de forma mais detalhada no Quadro 5, como especificações de projeto, juntamente com meios para verificar se a solução final atenderá a essas especificações. As especificações referentes às dimensões dos produtos foram baseadas no livro Dimensionamento humano para espaços interiores (PANERO; ZELNIK, 2008) e nas normas mencionadas na seção 3.2 deste trabalho. Além das especificações redigidas a partir dos requisitos de projeto, serão consideradas também características técnicas, expostas nessas normas, que os móveis de ambientes de ensino devem apresentar.

Quadro 5: Especificações de projeto

Especificação de projeto	Modo de verificação
Aplicar princípios de absorção sonora	Avaliação a partir de modelos matemáticos
Utilizar lãs minerais ou espuma	Análise dos coeficientes de absorção sonora
Adequar os produtos para estaturas entre 1460mm e 1880mm	Análise das dimensões de acordo com a NBR 14006 (ABNT, 2008)
Possuir superfície de apoio com largura mínima de 600mm e profundidade mínima de 500mm	Medição do produto
Possibilitar reconfiguração das salas de aula	Modelo virtual ou físico
Permitir a fácil mobilidade	Análise dos atributos (peso, dispositivos e geometria)
Ter dimensões compatíveis entre os móveis	Modelo virtual ou físico
Permitir ajustes ergonômicos	Análise das dimensões de acordo com a NBR 14006 (ABNT, 2008)
Acondicionar objetos pessoais	Modelo virtual ou físico

Fonte: Autora (2016)

6 PROJETO CONCEITUAL

Esta seção consiste no mapeamento das funções dos produtos de uma salas de aula, a definição dos produtos deste projeto e a geração de alternativas de função e de forma, a partir do uso de um mapa mental e painel visual. Ao final dessa seção, foram obtidas três famílias de móveis e selecionada a alternativa final.

6.1. MAPEAMENTO DE FUNÇÕES

A partir das informações coletadas e dos requisitos obtidos, foram definidas as principais funções que os móveis para salas de aula devem atender: sentar, reconfigurar, armazenar, apoiar, absorver, ajustar, transportar, desenhar e escrever. Através de um mapa (Figura 29), cada função foi exposta de modo conceitual – através de imagens que remetem a elas de alguma maneira – e concreto – através de imagens de produtos existentes que as satisfazem. Este mapa auxiliou no desenvolvimento de alternativas para os móveis do ambiente escolhido, proporcionando maior criatividade para as ideias que serão elaboradas.

Figura 29: Mapeamento das funções dos móveis de sala de aula



Fonte: Autora (2016)

6.2. DEFINIÇÃO DOS PRODUTOS

Após a realização do mapeamento de funções, foram definidos os produtos que serão desenvolvidos. Percebeu-se que as funções apresentam relações, podendo um produto atender mais de um requisito. Sendo assim, foi optado pelo desenvolvimento de três principais produtos: conjunto individual para alunos, estação de trabalho para o professor e local para armazenamento de materiais e trabalhos dos alunos.

O conjunto individual para os alunos deve ser composto por mesa e cadeira. As mesas podem permitir regulagem para inclinação do tampo e ajuste

de altura, para se adaptar às diferentes atividades e alunos. As cadeiras podem permitir o ajuste da altura do assento, adaptando-se a cada usuário, e devem proporcionar fácil mobilidade dentro da sala de aula. Além disso, as mesas e cadeiras podem possibilitar o apoio de acessórios, como mochilas e pastas.

A estação de trabalho dos professores deve ter a mesma cadeira desenvolvida para os alunos. É possível que seja desenvolvido mais de um tipo de mesa, com uma pequena variação entre mesa do aluno e do professor.

Para o local de armazenamento de trabalhos, serão projetados armários, que devem possuir portas para manter os trabalhos realizados pelos alunos preservados, além de auxiliar na absorção das ondas sonoras presentes na sala de aula, através de uma maior área superficial. O armário também pode possibilitar o ajuste de altura entre as prateleiras, considerando as diferentes dimensões dos objetos que serão armazenados.

6.3. GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

Nessa etapa, foram geradas alternativas de função, relacionadas ao mapeamento feito na seção 6.1, e alternativas de forma para os produtos.

6.3.1. Alternativas de Função

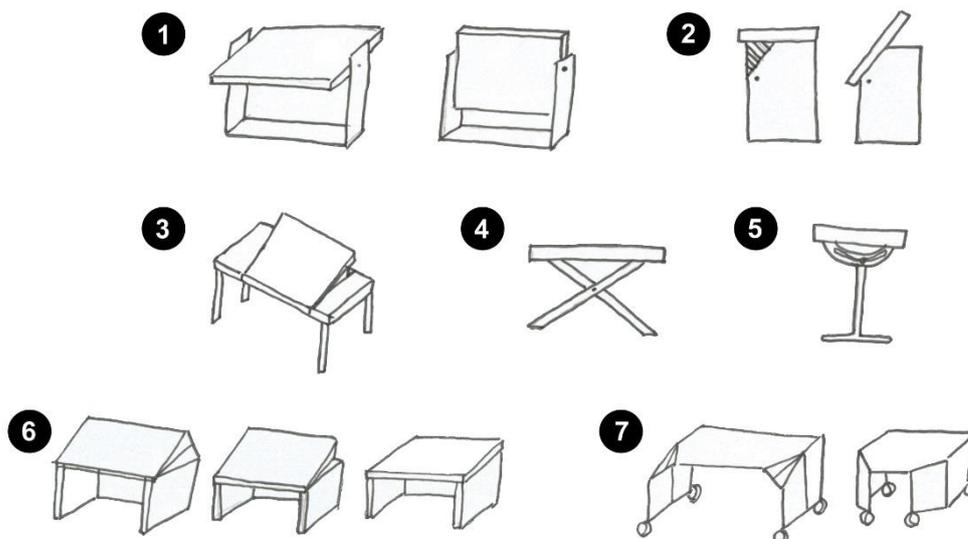
O processo de geração de alternativas foi iniciado com a análise isolada das funções e suas possibilidades para os móveis.

a) Ajustar, Desenhar ou Escrever

Para a função de ajuste, combinada com as funções desenhar ou escrever, foram pensadas diferentes opções de ajustes das mesas, principalmente de inclinação do tampo para adequá-lo às tarefas de desenho,

escrita ou leitura (Figura 30). Para a criação das opções, foi utilizada a ideia de analogia que, de acordo com Baxter (2000), é uma ferramenta de criação em que as propriedades de um objeto são aplicadas em outro, explorando como um problema semelhante é solucionado em um contexto diferente.

Figura 30: Opções de ajustes para as mesas



Fonte: Autora (2016)

Na primeira opção, o ajuste lateral através de pinos com rosca possibilitariam a inclinação para qualquer ângulo desejável para o aluno, inclusive a opção de 90 graus com o chão. Essa opção permitiria também o uso das mesas como divisória para que os alunos pudessem obter maior privacidade na realização de trabalhos em grupo, além do uso da mesa como um painel para expor suas ideias. O ajuste de altura também seria possível nessa opção, através de um caminho nas laterais.

Na segunda opção, um corte na lateral da mesa e a remoção de um pino permitiriam a inclinação em um ângulo adequado.

Na terceira opção, a inclinação do tampo ocorre apenas na parte central, através do mesmo sistema utilizado em espreguiçadeiras, por exemplo, no qual uma haste permite ajuste em diferentes ângulos.

Na quarta opção, foi feita uma analogia com suportes utilizados para instrumentos, como o teclado. O pino central com rosca permite a alteração do ângulo dos pés e, conseqüentemente, da altura da mesa.

Na quinta opção, a analogia com equipamentos de academia foi pensada de modo que um semicírculo permite a alteração do ângulo do tampo, sendo travado através do uso de um pino lateral.

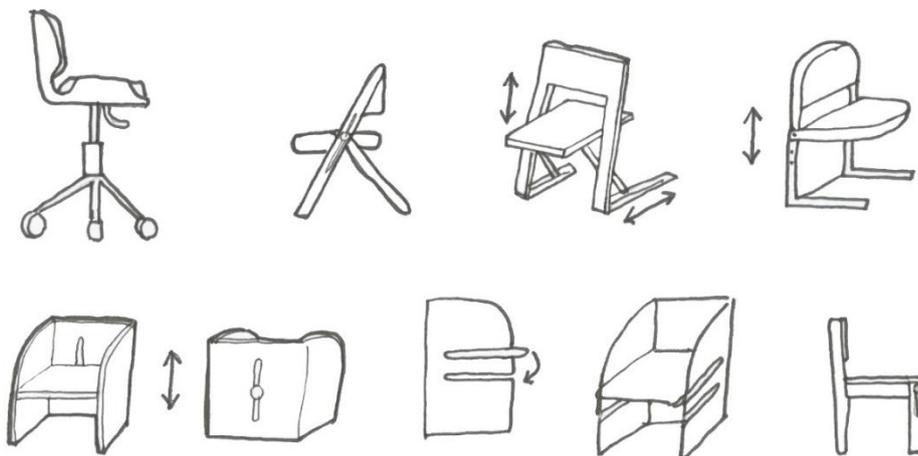
A sexta opção surgiu através da relação dos móveis com o origami. A arte japonesa baseada em dobras de papel inspirou a lateral da mesa que, quando aberta, permite inclinação adequada para as atividades, sendo fechada através de uma dobradura.

A sétima opção também foi inspirada no origami, porém com outro formato de mesa. A dobra lateral permitiria também a inclinação através do fechamento da mesa.

b) Ajustar e Sentar

Para as cadeiras, foram analisadas diversas possibilidades de ajuste de altura do assento (Figura 31), visando torná-las adequadas para as diferentes estaturas dos usuários. Foram pensadas maneiras de alterar a posição do assento, através de ajustes nas laterais, na parte posterior ou até mesmo a opção de um assento removível que possibilitasse o encaixe em diferentes níveis.

Figura 31: Alternativas de ajuste de altura para cadeiras



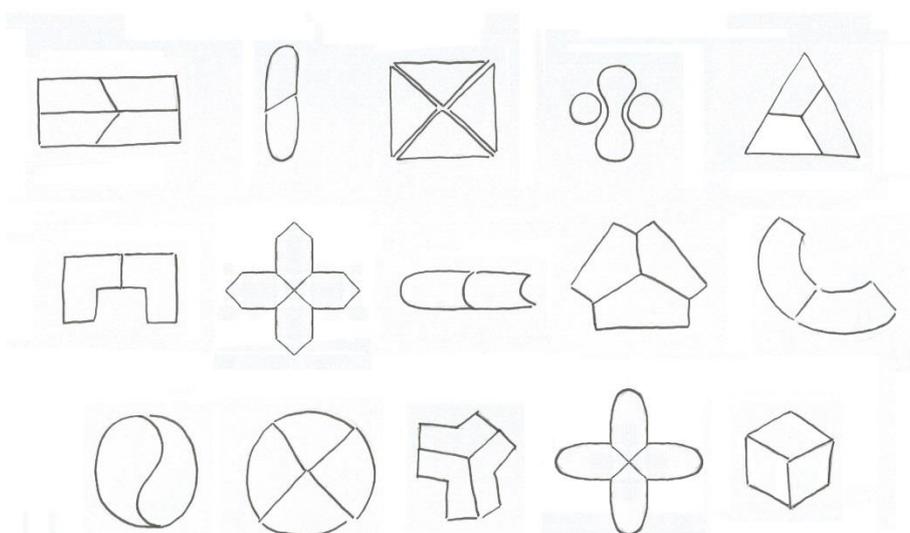
Fonte: Autora (2016)

Devido à falta de praticidade da maior parte dos ajustes analisados, foi optado pelo ajuste de altura através de um cilindro central, que será melhor projetado, caso a solução final conte com esse ajuste.

c) Reconfigurar

Pensando na função de reconfiguração, foram desenvolvidas várias opções de tampos (Figura 32), analisando diferentes possibilidades de encaixe.

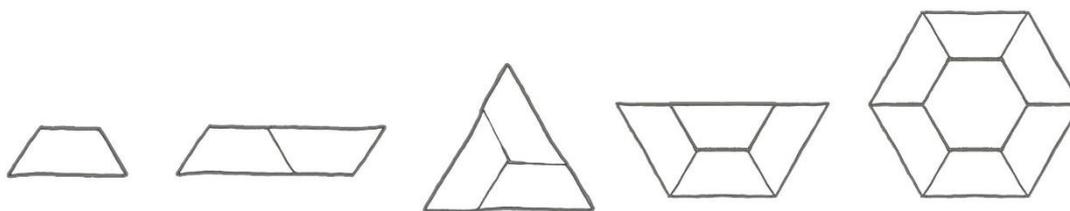
Figura 32: Alternativas de tampos modulares



Fonte: Autora (2016)

Percebeu-se que algumas opções só permitem encaixe em uma posição e que outras não seriam confortáveis para o uso do aluno. Foram descartadas também formas que não apresentem espaço para a área superficial mínima e formas não simétricas. Uma das opções destacadas foi a apresentada na Figura 33, que permite diversos encaixes e pode vir a ser trabalhada nas alternativas finais.

Figura 33: Opções de reconfiguração de uma das formas



Fonte: Autora (2016)

d) Absorver

Analisando as opções para a função de absorção das ondas sonoras, foram consideradas duas: o uso de espuma e feltro – geralmente utilizados para produtos relacionados à acústica – e de ressonadores – nesse caso, consistindo em painéis perfurados acompanhados de um material absorvedor. Levando em conta a menor durabilidade de móveis estofados dentro de salas de aula, foi decidido utilizar a alternativa de painéis perfurados.

Como visto na seção 3.4.1, o sistema de ressonadores apresenta absorção maior em médias frequências, mas a introdução de uma material fibroso aumenta a eficácia da absorção acima e abaixo da frequência de ressonância. Os painéis são pouco espessos, contam com perfurações milimétricas e podem ser de materiais como cortiça ou até mesmo de metal. O material fibroso pode ser lã de vidro, de rocha ou de PET.

O ressonador pode ser aplicado na parte posterior do encosto das cadeiras, nas laterais dos móveis e abaixo do assento das cadeiras ou do tampo das mesas. A aplicação abaixo do tampo absorveria as ondas sonoras que refletem do chão, pois exceto em lugares onde é usado carpete, o chão tende a ser reflexivo.

e) Transportar

Para a função de transporte, foi decidido que o móvel pode ser leve ou possuir rodízios que proporcionem melhor mobilidade dentro da sala de aula.

f) Armazenar ou Apoiar

Para as funções de armazenar ou apoiar, além dos armários, foram pensadas em alternativas para as cadeiras – possibilitando colocar os objetos pessoais abaixo do assento ou no encosto – e para as mesas, abaixo do tampo ou nas laterais. Essas opções serão mais exploradas nas alternativas de forma.

6.3.2. Alternativas de Forma

Pensadas as alternativas de função, foi iniciada a fase de alternativas de forma. Nessa etapa, foi feito definido um conceito a ser explorado nos móveis e criado um painel visual para auxiliar na criação de alternativas formais. Primeiramente, foram desenvolvidas alternativas de cadeiras, escolhidas algumas e, em seguida, desenvolvidas alternativas de mesas e armários com características similares, obtendo três famílias de móveis.

6.3.2.1. Mapa mental

Para a criação de alternativas de forma dos produtos, foi feito um mapa mental para definir o que se pretende expressar através dos móveis que serão desenvolvidos (Figura 34). Partindo da palavra “acústica” para os diferentes termos que estão relacionados a ela, essa ferramenta levou ao conceito de harmonia.

Harmonia é a combinação de sons simultâneos agradáveis aos ouvidos para a música e está relacionada a ideias de proporção, simetria e ordem para o design. Ao mesmo tempo em que se refere ao que é visível, é também referente a sentidos não visuais.

Figura 34: Mapa mental para seleção do conceito dos produtos



Fonte: Autora (2016)

6.3.2.2. Painel do tema visual

Dessa forma, a sala de aula deve ser vista como uma composição dos seus diferentes elementos móveis e pessoas, tornando o ambiente agradável de maneira visual e auditiva. A aparência dos produtos deve ser harmônica, apresentando proporção, simetria, concordância entre os elementos e as cores.

Através desse conceito, foram selecionadas imagens como referência formal para os produtos, relacionadas à natureza, objetos ou formas criadas pelo som (Figura 35). Pensando nas ondas sonoras, foram mostradas figuras mais sinuosas, atentando para a possibilidade de trabalhar com elementos mais curvos nos produtos finais.

Figura 35: Painel do tema visual

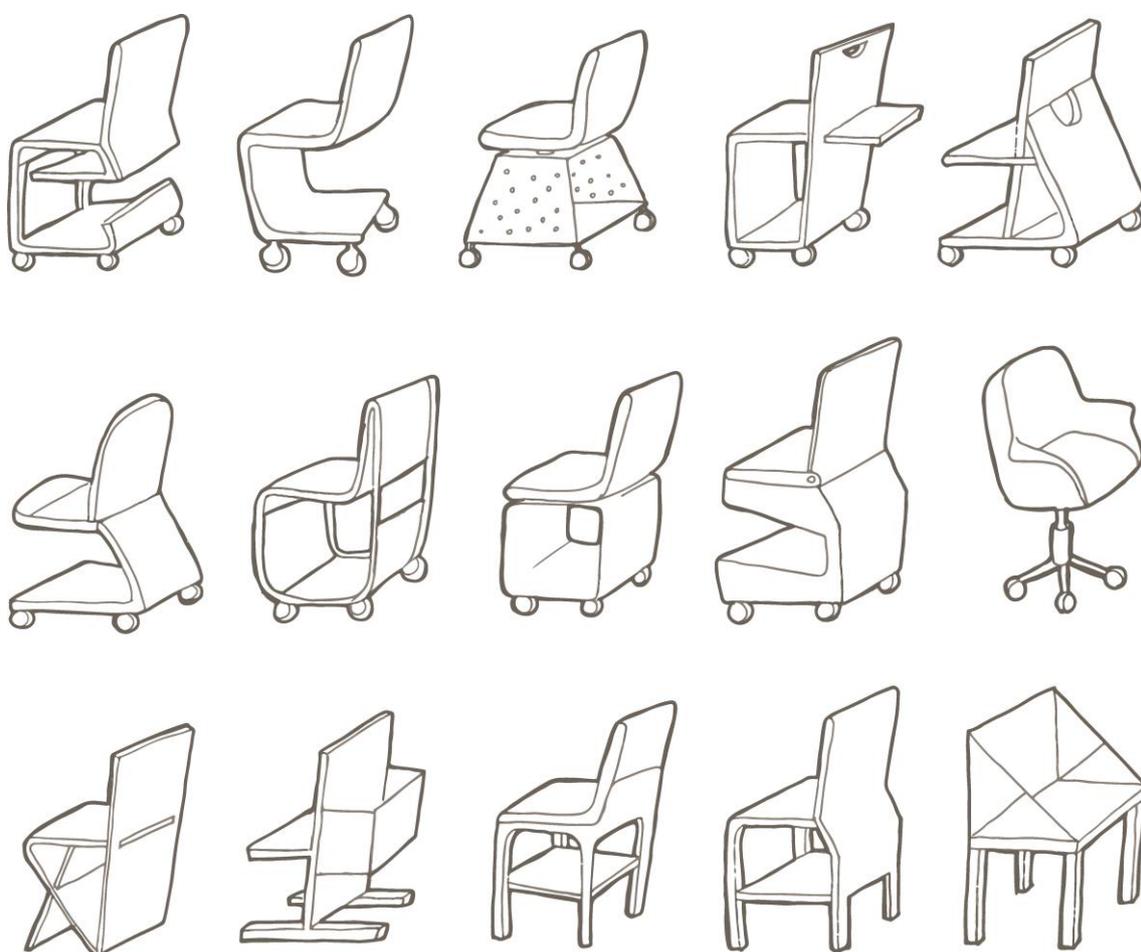


Fonte: Autora (2016)

6.3.2.3. Alternativas de Cadeiras

Considerando a ideia de uma linha de produtos, foi decidido trabalhar primeiramente um deles, para que os outros seguissem a mesma aparência. Foram feitas diversas opções de cadeiras, apresentadas na Figura 36, através da combinação das funções de ajuste, armazenamento e transporte, e pensando no conceito de harmonia proposto.

Figura 36: Alternativas de cadeiras

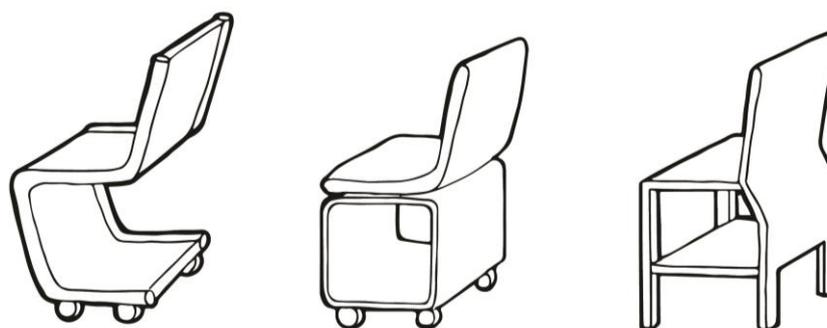


Fonte: Autora (2016)

A partir das alternativas de cadeiras, foram selecionadas três opções (Figura 37) para desenvolver também mesas e armários relacionados a elas. A seleção foi feita levando em consideração diferentes características formais e

funcionais. Uma das alternativas apresenta rodízios, mas não possui ajustes; outra possui ajuste de altura e rodízios e a última não possui rodízios nem ajustes.

Figura 37: Alternativas selecionadas de cadeiras



Fonte: Autora (2016)

A primeira opção apresenta uma forma sinuosa com a ideia de uma peça única e contínua. Os rodízios que facilitam o deslocamento dentro da sala de aula e sua base permite o armazenamento dos materiais e acessórios.

A segunda opção tem como característica principal a sua forma cúbica. Possui um eixo abaixo do assento que possibilita o ajuste de altura do mesmo. Apresenta também rodízios para melhor mobilidade dentro de sala de aula.

A terceira opção tem formas mais retas e possui quatro pés. A ausência de ajustes ou de rodízios a torna uma opção de menor custo, se comparada às outras. Assim como as duas anteriores, possibilita o armazenamento dos pertences abaixo do assento.

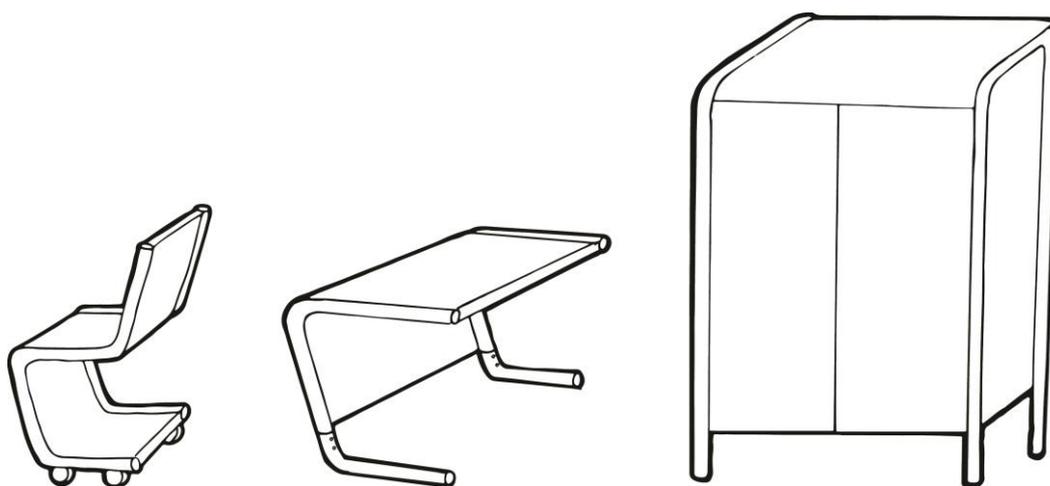
6.3.2.4. Desenvolvimento das Famílias

Selecionadas as três alternativas de cadeiras, foram geradas várias alternativas de armários e mesas de acordo com as cadeiras escolhidas, de

modo que formassem uma família de móveis, com características semelhantes. Foram desenvolvidas três famílias.

A família de móveis 1 (Figura 38) se caracteriza pelas formas contínuas contornadas por cilindros metálicos. Embora não possua rodízios, a mesa é leve, devido à ausência de faces laterais. O princípio de absorção através dos painéis perfurados poderia ser aplicado abaixo do tampo, absorvendo assim as ondas sonoras refletidas pelo chão. A mesa possui ajuste de altura para se adaptar a cada usuário. Já o armário, também apresentando cilindros que o contornam, possui aproveitamento total de suas faces, pensando na absorção sonora através do aumento da área superficial.

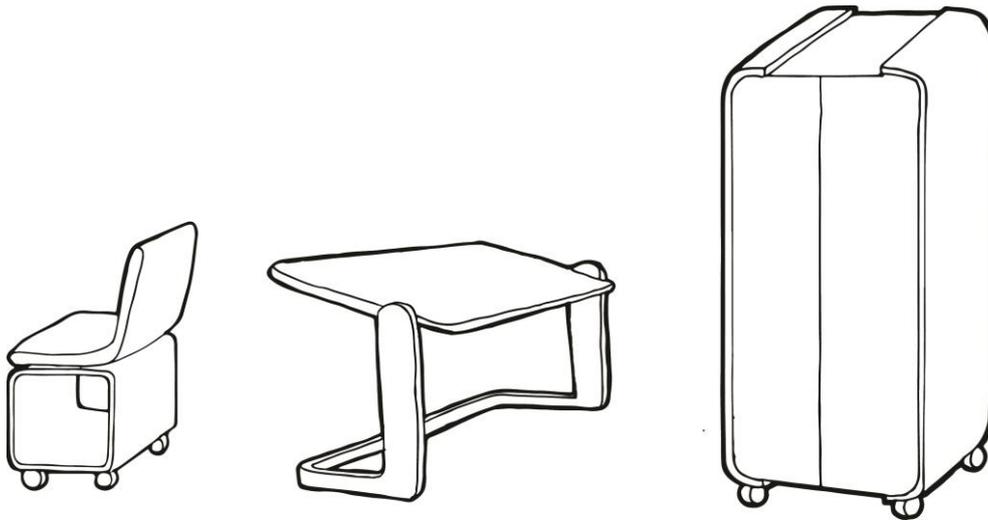
Figura 38: Família de móveis 1



Fonte: Autora (2016)

A família 2 (Figura 39) explora o formato cúbico arredondado da base da cadeira. A mesa possui ajuste de inclinação através de um eixo, que também permite sua função como painel ou divisória para trabalhos em grupo, quando utilizada na vertical. O armário segue o mesmo formato explorado na linha e, assim como a cadeira, possui rodízios que facilitam seu deslocamento.

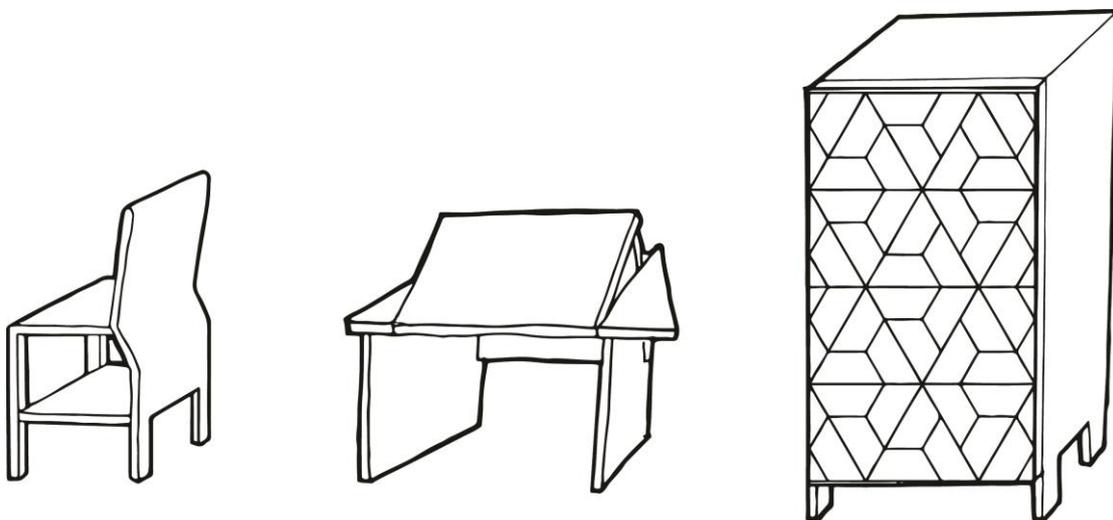
Figura 39: Família de móveis 2



Fonte: Autora (2016)

Na família 3 (Figura 40), foram trabalhadas formas mais retas e explorado um dos formatos pensados nas alternativas de reconfiguração através de encaixes. Esse formato pode ser aplicado também como padrão na porta do armário, bem como na parte posterior do encosto da cadeira e nas laterais da mesa. A mesa possui ajuste de inclinação através de uma haste, que permite o posicionamento em diferentes ângulos. Todos os móveis dessa linha foram pensados de modo a aumentar a área superficial devido à aplicação acústica do mobiliário.

Figura 40: Família de móveis 3



Fonte: Autora (2016)

6.4. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS

Para a seleção da alternativa final, foi feita a Tabela 6 com diversos critérios baseados nos requisitos obtidos na primeira etapa, através de entrevistas e observações. A manutenção e a limpeza também foram levadas em conta por serem fatores fundamentais em salas de aula. Foram dados pesos de 1 a 3 para cada critério e 1, 3 e 5 para cada relação das alternativas com os critérios.

Tabela 6: Seleção de alternativas

Critérios	Peso	Alternativas		
		Família 1	Família 2	Família 3
Ergonomia	2	1	5	3
Possibilidade de reconfiguração	1	1	5	3
Fácil mobilidade	1	3	5	1
Acondicionamento de objetos	1	3	5	3
Acústica	3	1	3	3
Manutenção	2	3	1	3
Limpeza	2	5	3	1
Total		28	42	30

Fonte: Autora (2016)

No critério de ergonomia, foi considerado o conforto e a presença de ajustes ergonômicos. A possibilidade de reconfiguração está relacionada ao uso de formas e funções que permitam organizar as salas de maneiras diferentes. A fácil mobilidade está associada ao uso de rodízios nos móveis ou ao provável peso dos mesmos. O acondicionamento dos objetos foi avaliado

pela possível área disponível para armazenar os materiais. O critério de acústica foi baseado na área superficial dos móveis de cada família. A manutenção está relacionada à conservação dos móveis de acordo com o uso de dispositivos ou não. E, por último, para o critério de limpeza, foi levada em conta a praticidade para movimentar os móveis para limpar as salas e a limpeza dos próprios móveis. A partir desses critérios, foi então selecionada a segunda família de móveis com 42 pontos na soma total.

6.5. DESENVOLVIMENTO DA ALTERNATIVA SELECIONADA

Tendo sido escolhida a segunda família de móveis, foi iniciada uma análise de como seriam projetados cada um dos produtos. Considerando o uso de formas arredondadas nos cantos dos móveis, foram pesquisadas maneiras de conferir o formato desejado. Foi decidido pelo uso de peças modulares que, além de garantirem essa forma, facilitariam os encaixes entre os itens que compõem os móveis e permitiriam também a desmontagem dos mesmos em casos de manutenção ou troca de peças. As peças escolhidas serão explicadas mais claramente na próxima seção, que apresenta a solução final.

Para a cadeira, analisando a pequena variação de altura do assento necessária para abranger uma ampla faixa de estatura, como é apresentado na norma técnica NBR 14006 (ABNT, 2008), foi decidido projetar um ajuste de altura. Pensando em um eixo cilíndrico central e considerando a necessidade de ser menor que o pistão à gás geralmente utilizado para sobrar espaço para a área de armazenamento abaixo da cadeira, foi projetado um novo sistema de ajuste para este trabalho.

No desenvolvimento da mesa, foi decidido utilizar perfis metálicos que tornassem resistente a estrutura sugerida no desenho. O ajuste de inclinação da mesa proposto na apresentação da família selecionada passou por várias análises, levando em conta o aumento do número de peças da estrutura para garantir maior estabilidade, o posicionamento do eixo de rotação – decidido por ser colocado na ponta dos braços da mesa de modo a garantir que o tampo

permanecesse na altura original ao inclinar –, entre outros aspectos. A mesa escolhida, embora não apresente as formas exploradas nas alternativas de reconfiguração do item 6.3.1, pode ser posicionada na vertical através do ajuste de inclinação, servindo como um painel na realização de trabalhos em grupo e disponibilizando uma nova configuração para as salas de aula. Além de oferecer a opção com ajuste, a mesa foi simplificada, apresentando uma versão sem ajustes.

O armário foi dimensionado de acordo com a norma NBR 13961 (ABNT, 2010) sobre armários para escritório, que define valores mínimos e máximos de altura e profundidade para armários baixo, médio, alto e extra-alto. Quanto à largura, não há restrição dimensional. Foi escolhida a opção de armário alto, com quatro prateleiras, cinco vãos e duas portas.

Para o desenvolvimento das características acústicas do mobiliário, foram pesquisados meios de incluir o princípio do ressonador aos móveis. Baseando-se nas informações obtidas na seção 3.4.1 e na patente publicada por Scharer e Krenger (2009), foi pensada a aplicação de painéis perfurados acompanhados de lã de PET. A lã de PET apresenta características de sustentabilidade e absorção, apresentadas na seção 3.3, que a fazem se destacar entre as opções de materiais absorventes. O funcionamento e a montagem do ressonador são melhor explicados próximas seções.

7 PROJETO PRELIMINAR

Nesta seção, são apresentadas as características da linha de produtos desenvolvida (Figura 41), uma explicação sobre as peças utilizadas em seu detalhamento e as funções de cada produto. Para a apresentação da solução final, foi utilizado o software de modelagem Rhinoceros e o software de renderização Keyshot.

Figura 41: Linha de produtos



Fonte: Autora (2016)

7.1. CADEIRA

A cadeira (Figura 42) possui assento em polipropileno injetado, com dimensões seguindo as recomendações ergonômicas da norma técnica brasileira NBR 14006 (ABNT, 2008). O desenho técnico com as dimensões da cadeira está no Apêndice B.

Figura 42: Cadeira

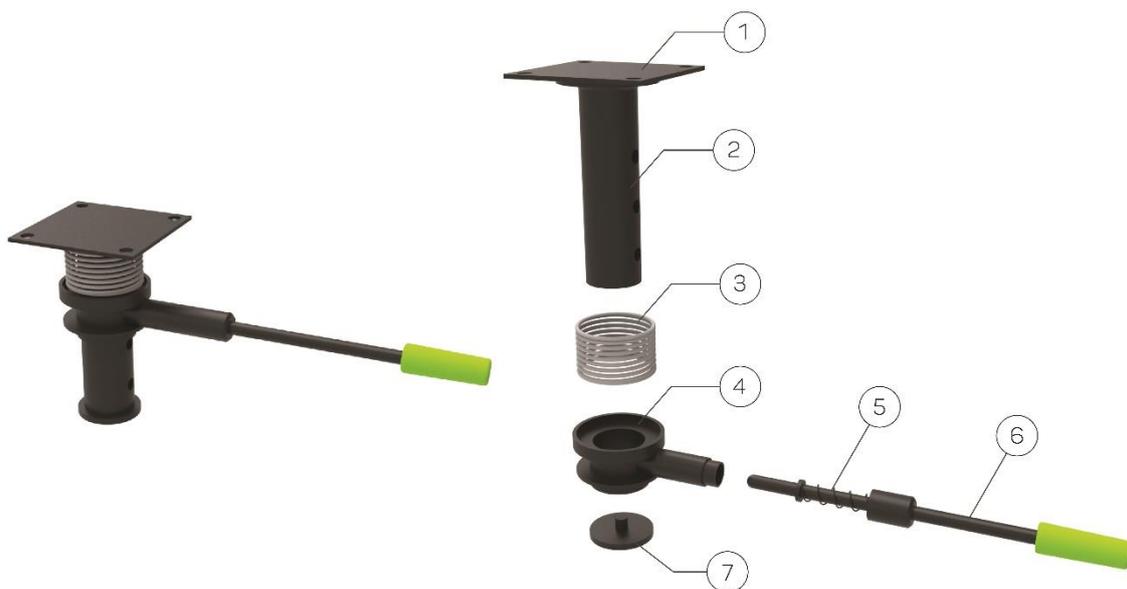


Fonte: Autora (2016)

Levando em conta as diferentes estaturas dos alunos, a cadeira possui ajuste de altura para o assento, através de um sistema de mola, como é apresentado na Figura 43. Como pode ser visto na figura, o ajuste possui uma chapa para uni-la ao assento (peça 1) ligada a um eixo central (peça 2) com

três furos, que possibilita as três alturas do assento. A mola (peça 3) é comprimida quando o ajuste está nos dois furos de cima, como é possível ver no ajuste montado. A mola permite que o assento se desloque, no momento em que é retirado o pino de ajuste (peça 6), sem a necessidade de movimentá-lo manualmente. A peça 4 é fixada na parte superior do espaço de armazenamento, assim como mostra a Figura 44.

Figura 43: Peças do ajuste de altura da cadeira



Fonte: Autora (2016)

A peça 5, uma mola localizada no interior da peça 4, faz com que o pino de ajuste volte à sua posição original, quando a pessoa o solta, encaixando na altura em que deseja colocar o assento. A peça 7 é encaixada na base da peça 2, limitando o movimento dessa peça.

Figura 44: Ajuste de altura do assento



Fonte: Autora (2016)

O ajuste possibilita três posições de altura para o assento em relação ao chão: 450mm, 480mm e 510mm, mostrados, respectivamente, na Figura 45.

Figura 45: Ajuste de altura da cadeira em três posições

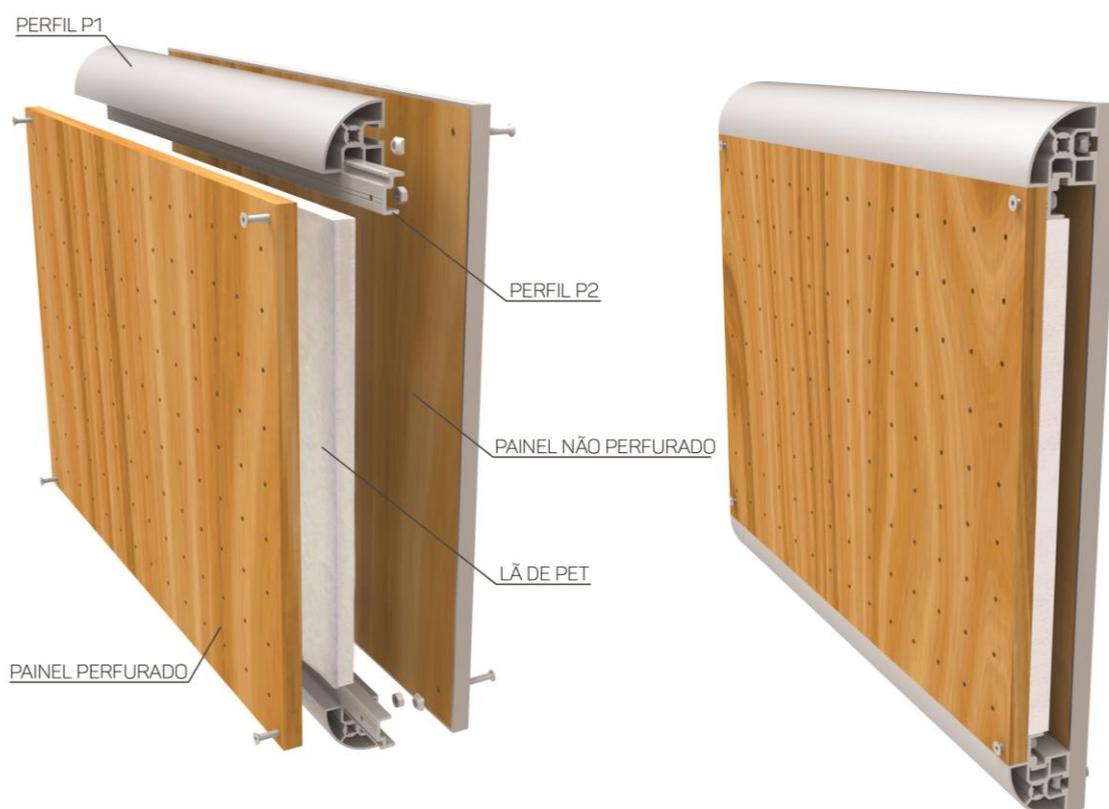


Fonte: Autora (2016)

Abaixo do assento, a cadeira possui espaço para armazenar materiais e acessórios. A lateral desse espaço funciona como ressonador, princípio de absorção sonora explicado na seção 3.4.1. O ressonador da cadeira é composto por um painel perfurado de MDF, uma camada de lã de PET e um painel de MDF não perfurado. O painel não perfurado conta com um quadro de aço que o envolve para dar maior sustentação à cadeira. No Apêndice B, é apresentada uma vista interna do espaço de armazenamento da cadeira.

A Figura 46 mostra a união das peças presentes na lateral da cadeira para melhor compreensão da montagem dessa parte. As características do ressonador projetado estão apresentadas na seção 8, onde é calculado o efeito dos móveis na acústica de uma sala de aula modelo.

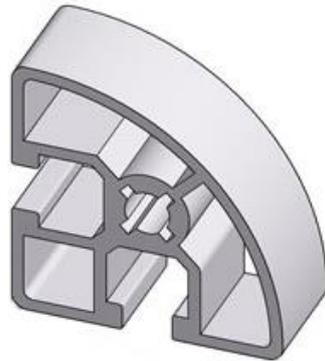
Figura 46: Montagem do ressonador na lateral da cadeira



Fonte: Autora (2016)

A forma arredondada apresentada pela lateral é resultado do uso de perfis de alumínio de raio 30 mm nos cantos de formato igual ao da Figura 47. Esse perfil será chamado de perfil P1 para facilitar a indicação das peças.

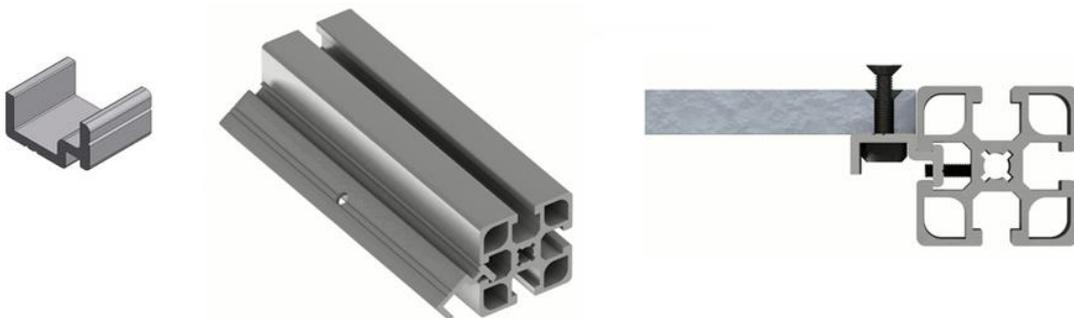
Figura 47: Perfil de alumínio (P1)



Fonte: MiniTec A (2016)

O painel perfurado de MDF é unido ao perfil P1 através do perfil de encaixe P2, apresentado na Figura 48.

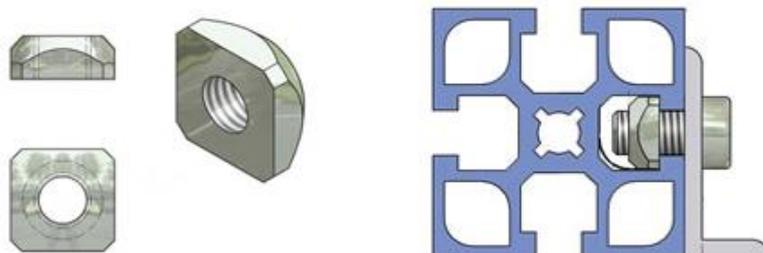
Figura 48: Perfil P2 e forma de encaixe entre os perfis de alumínio



Fonte: MiniTec B (2016)

Entre a camada de lã de PET e o painel não perfurado, há um espaço de ar para o funcionamento do princípio aplicado. A união entre o painel não perfurado dos ressonadores e os perfis P2 é feita a partir de uma porca quadrada inserida nesse perfil. A Figura 49 mostra o encaixe entre essas peças.

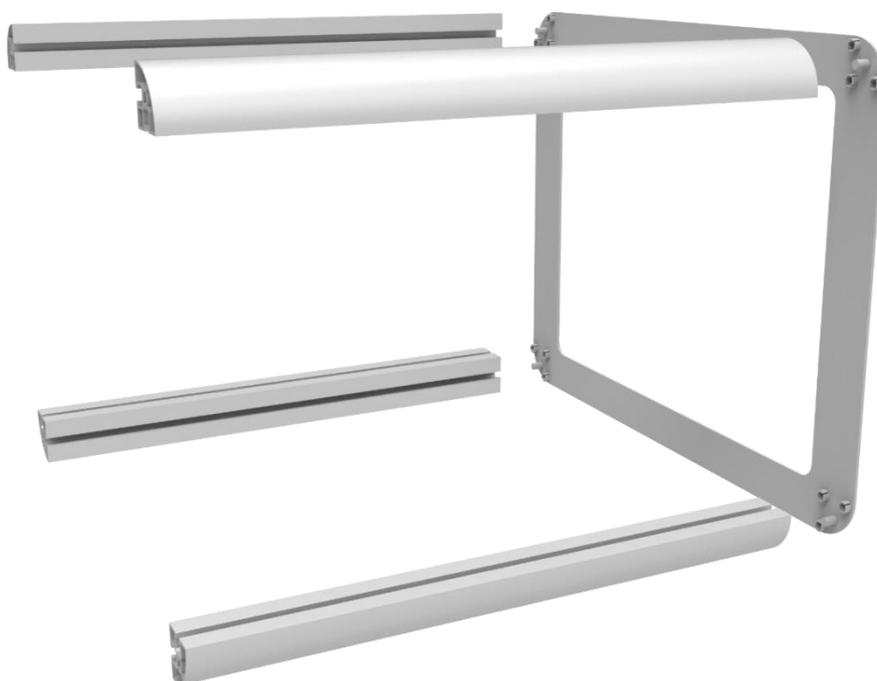
Figura 49: Porca quadrada para os perfis metálicos



Fonte: MiniTec C (2016)

Para dar acabamento à cadeira e também fechar as laterais do ressonador, é utilizado um quadro em polímero ABS com encaixe nos perfis P1 (Figura 50). Essa peça está presente tanto na frente do espaço de armazenamento de objetos quanto na parte de trás do mesmo.

Figura 50: Encaixe do quadro em ABS nos perfis P1 das laterais da cadeira



Fonte: Autora (2016)

A parte superior e inferior do espaço para armazenamento de objetos apresenta estrutura em chapas de MDF e quadros de aço (Figura 51). Os

quadros são conectados às chapas de MDF através de parafusos. Os quatro rodízios de poliuretano da base permitem o fácil deslocamento das cadeiras nas salas de aula. Os rodízios apresentam pino com rosca e são fixados nos triângulos do quadro inferior, através de uma porca.

Figura 51: Parte superior e inferior do espaço para armazenamento de objetos



Fonte: Autora (2016)

Os materiais metálicos que compõem a cadeira recebem pintura eletrostática cinza para obter aparência mais uniforme. Os painéis de MDF apresentam revestimento em laminado melamínico, podendo receber cores variadas para a parte interna (Figura 52).

Figura 52: Possibilidade de outras cores para as cadeiras



Fonte: Autora (2016)

7.2. MESA

A mesa apresenta tampo em MDF com acabamento melamínico e estrutura feita de perfis de alumínio (Figura 53). Esse tipo de acabamento garante que sua superfície não retenha sujeira, dificultando a proliferação de fungos e bactérias e facilitando a limpeza (FORMICA, 2016). O desenho técnico com as vistas gerais da mesa está no Apêndice B.

Figura 53: Mesa



Fonte: Autora (2016)

As dimensões da mesa estão de acordo com a norma NBR 14006 (ABNT, 2008) e, como definido nas especificações, suas dimensões são compatíveis com as da cadeira, como é apresentado na Figura 54.

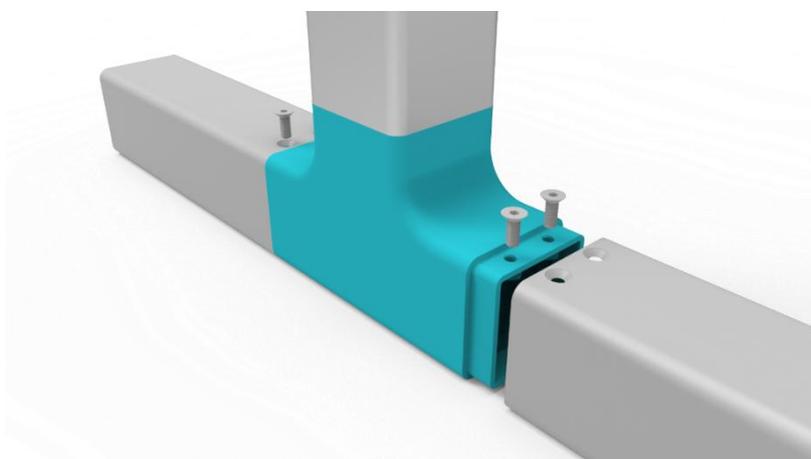
Figura 54: Dimensões compatíveis entre mesa e cadeira



Fonte: Autora (2016)

A estrutura da mesa é encaixada em conectores produzidos em aço. Os conectores são unidos aos perfis de alumínio através de parafusos (Figura 55).

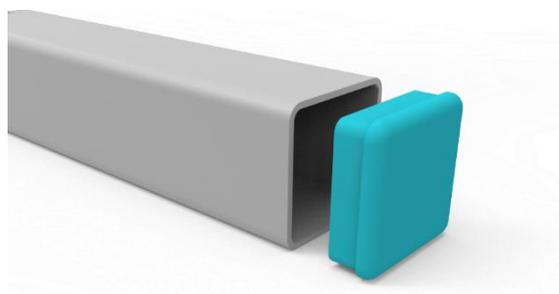
Figura 55: Conectores de aço da mesa



Fonte: Autora (2016)

As terminações da estrutura apresentam fechamento por peças em polímero ABS (Figura 56).

Figura 56: Fechamento das terminações da estrutura



Fonte: Autora (2016)

Assim como a cadeira, a mesa também apresenta o sistema de ressonador. O ressonador presente na mesa (Figura 57) apresenta união das peças semelhante ao modo como é feito na cadeira. Abaixo do tampo, possui dois perfis de alumínio P1, painel perfurado em MDF – conectado aos perfis P1 através dos perfis P2 – e uma camada lã de PET colada no painel perfurado. O painel não perfurado, no caso da mesa, é o próprio tampo, conectado aos perfis P1 através de parafusos.

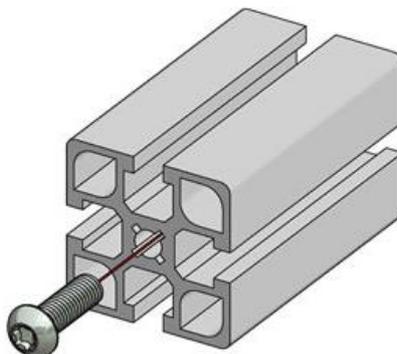
Figura 57: Montagem do ressonador abaixo do tampo da mesa



Fonte: Autora (2016)

Para a união entre a estrutura da mesa e o ressonador da Figura 56, são utilizados quatro parafusos, semelhantes ao que é mostrado na Figura 58. Essas peças encaixam no centro das terminações do perfis P1, unindo os “braços” da estrutura da mesa ao ressonador.

Figura 58: Pino para encaixe na parte central do perfil metálico



Fonte: MiniTec D (2016)

Também há a opção de mesa com ajuste de inclinação (Figura 59), através de um mecanismo localizado nas laterais do tampo. Esse mecanismo permite que a mesa seja inclinada para atividades de leitura ou desenho, além de permitir também a sua posição em 90 graus com o chão, podendo ser utilizada como painel na realização de trabalhos em grupo.

Figura 59: Ajuste de inclinação da mesa



Fonte: Autora (2016)

Considerando a sua superfície lisa e a possibilidade de deslizar os materiais do aluno quando inclinada, essa opção de mesa pode contar com um acessório (Figura 60) que permite o apoio de materiais como lápis e borracha, por exemplo.

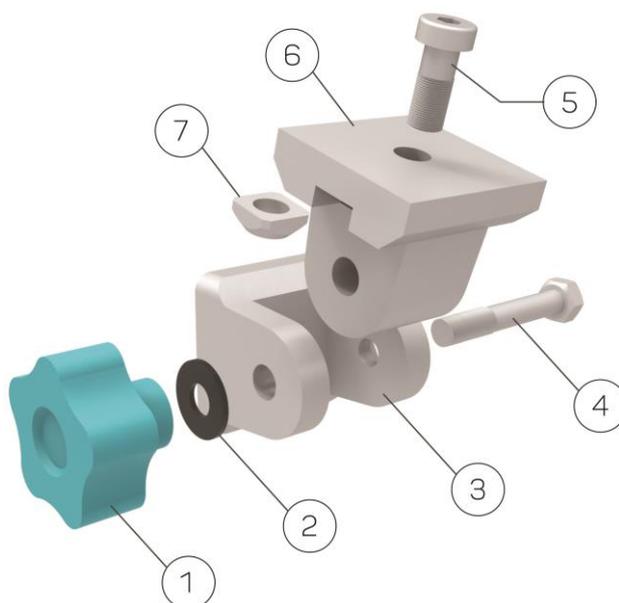
Figura 60: Acessório de apoio para as mesas com ajuste de inclinação



Fonte: Autora (2016)

O mecanismo de ajuste da mesa funciona a partir das peças mostradas na Figura 61. A peça 1 é rosqueada na peça 4, que passa por dentro das peças 3 e 6, encaixando as duas. Ao girar a peça 1 em um sentido, a peça 4 fica mais solta, permitindo o movimento de inclinação da peça 6, que é unida à mesa através de um parafuso (peça 5) e de uma porca (peça 7). Girando a peça 1 para o sentido contrário, a peça 4 pressiona as peças 3 e 6 e o atrito restringe o movimento da peça 6, travando a mesa na posição desejada. A peça 2 serve apenas como uma proteção entre a peça 1 e peça 3.

Figura 61: Peças do mecanismo de ajuste da mesa



Fonte: Autora (2016)

Como mencionado na seção 3.2, segundo a norma NBR 9050 (ABNT, 2004), quando houver mesas individuais para alunos em salas de aula, pelo menos 1% do total de mesas – com, no mínimo, uma para duas salas de aula – deve ser acessível ao usuário de cadeira de rodas. Dessa forma, além das mesas apresentadas, existe a opção de uma mesa para usuários de cadeira de rodas com o mesmo sistema ressonador e dimensões de acordo com a norma.

Há ainda a mesa para os professores, que possui maior largura (1200mm) e profundidade de 650mm (Figura 62), disponibilizando espaço para apoio de materiais, trabalhos e computador.

Figura 62: Mesa para o professor

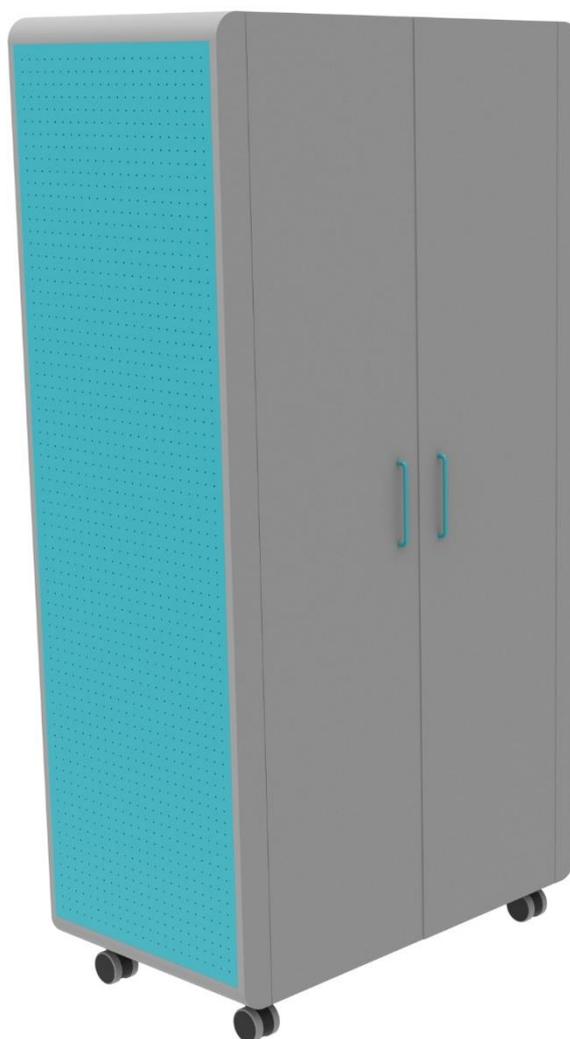


Fonte: Autora (2016)

7.3. ARMÁRIO

O armário (Figura 63), assim como a mesa e a cadeira, também possui um sistema ressonador, composto por quatro perfis de alumínio arredondados nas laterais, painel perfurado em MDF, uma camada lã de PET colada no painel perfurado e painel não perfurado de MDF na parte interna. O desenho técnico com as dimensões gerais do armário está no Apêndice B.

Figura 63: Armário



Fonte: Autora (2016)

O armário possui três dobradiças de metal (Figura 64) de cada lado, que permitem a sua abertura para dar acesso às prateleiras internas. Os puxadores podem ser escolhidos conforme a preferência dos compradores.

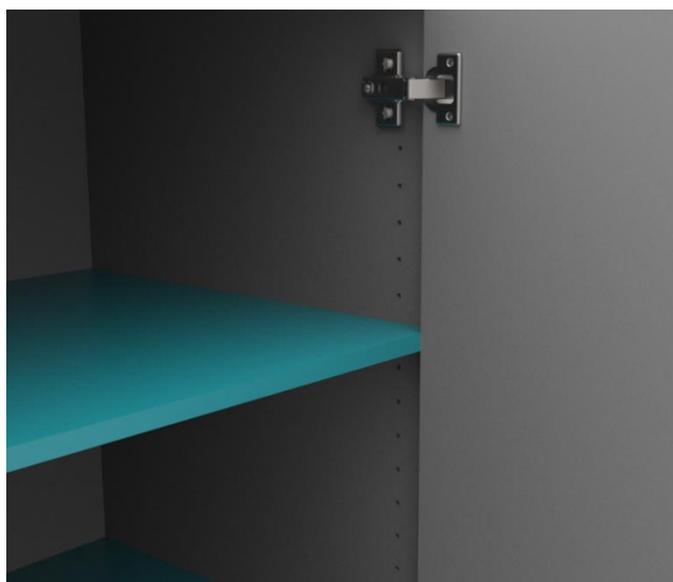
Figura 64: Dobradiça de metal



Fonte: Leroy Merlin (2016)

Na parte interna, o armário possui prateleiras de MDF, com acabamento melamínico. As prateleiras são sustentadas por pinos e é possível alterar a altura das mesmas utilizando os furos presentes nas laterais (Figura 65).

Figura 65: Detalhe da dobradiça e dos furos da parte interna



Fonte: Autora (2016)

O armário possui quatro prateleiras, disponibilizando cinco espaços para armazenamento de materiais e trabalhos (Figura 66). Os quatro rodízios da sua base permitem fácil deslocamento e possuem trava para garantir que o armário permaneça na posição desejada.

Figura 66: Armário aberto

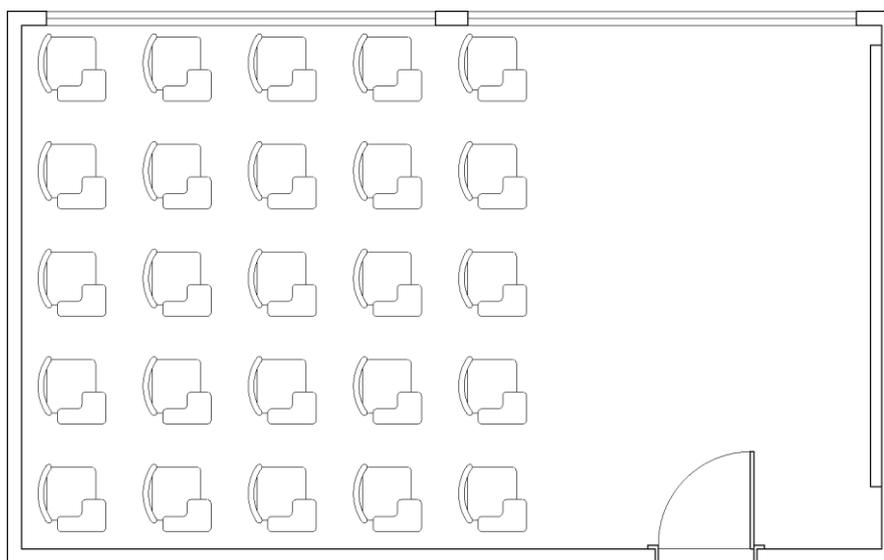


Fonte: Autora (2016)

8 ESTIMATIVA DE MELHORIA DA ACÚSTICA

A estimativa do condicionamento acústico proporcionado pelos móveis desenvolvidos foi baseada no estudo de caso exposto por Carvalho (2006). O autor utiliza uma sala de aula de 120m³, com dimensões de 5m x 8m x 3m (altura), apresentada na Figura 67. A sala possui paredes de 13 cm com reboco liso e pintura, teto de concreto com reboco liso e pintura e piso em cerâmica, composta por uma porta comum, duas janelas de alumínio e vidro, um quadro negro, 25 alunos sentados em carteiras de madeira e um professor.

Figura 67: Planta baixa da sala de aula do estudo de caso



Fonte: Adaptado de Carvalho (2006)

Para a estimativa deste trabalho, foi utilizada uma sala de aula semelhante, porém com alguns dos materiais substituídos por outros com as informações sobre absorção sonora por bandas de frequência disponíveis na literatura. Os materiais escolhidos são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Coeficiente de absorção sonora dos itens da sala de aula

Itens	Coeficiente de absorção sonora					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Piso Parquet madeira	0,04	0,04	0,06	0,12	0,1	0,15
Teto com reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Paredes com reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Porta de madeira pintada	0,2	0,15	0,1	0,1	0,09	0,11
Janela simples fechada	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Quadro negro	0,28	0,2	0,1	0,1	0,08	0,08
Pessoas sentadas	0,17	0,361	0,47	0,52	0,53	0,46
Carteiras de fórmica	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Pessoa em pé	0,185	0,325	0,44	0,42	0,46	0,37

Fonte: Adaptado de Carvalho (2006) e Ferreira (2006)

A partir dos itens da Tabela 7 e da Equação 1, presente na seção 3.1.1, foi feito o cálculo do tempo de reverberação da sala de aula da Figura 66, portanto uma sala sem tratamento acústico. A Tabela 8 apresenta os valores obtidos na frequência de 250Hz.

Tabela 8: Cálculo do tempo de reverberação da sala sem tratamento acústico em 250Hz

Sala de aula sem tratamento acústico			
Volume (m ³):	120	250Hz	
Identificação	Si (m ³)	ai	Si x ai
piso parquet madeira	40	0,04	1,6000
teto com reboco liso	40	0,02	0,8000
paredes com reboco liso	60,06	0,02	1,2012
porta de madeira pintada	1,89	0,15	0,2835
janela simples fechada	10,05	0,04	0,4020
quadro negro	6	0,20	1,2000
pessoas sentadas	25	0,36	9,0250
carteiras de fórmica	25	0,01	0,2500
professor em pé	1	0,33	0,3250
absorção total	15,0867		
tempo de reverberação	1,28		

Fonte: Autora (2016)

Também foi feito o cálculo do tempo de reverberação para a frequência de 500Hz na sala sem tratamento acústico, como mostra a Tabela 9.

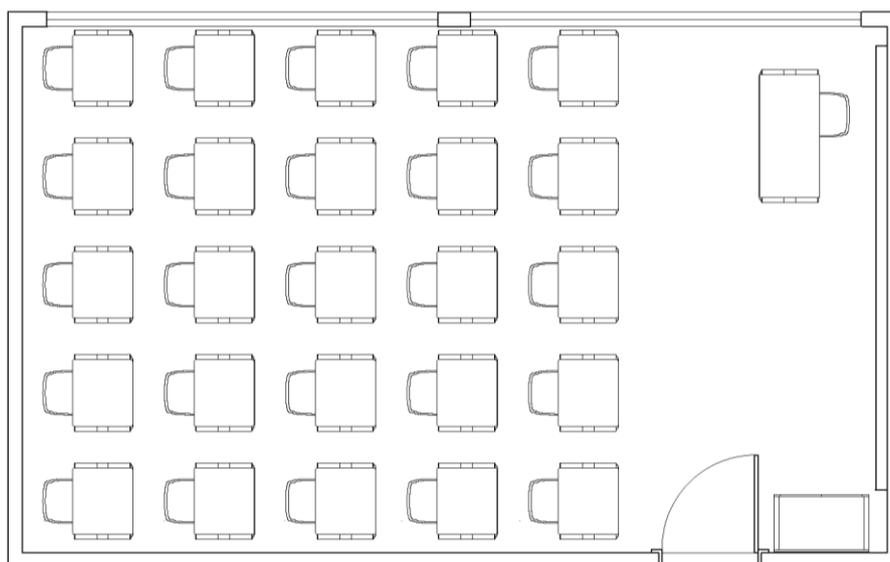
Tabela 9: Cálculo do tempo de reverberação da sala sem tratamento acústico em 500Hz

Sala de aula sem tratamento acústico			
Volume (m ³): 120	500Hz		
Identificação	Si (m³)	α_i	Si x α_i
piso parquet madeira	40	0,06	2,4000
teto com reboco liso	40	0,02	0,8000
paredes com reboco liso	60,06	0,02	1,2012
porta de madeira pintada	1,89	0,1	0,1890
janela simples fechada	10,05	0,03	0,3015
quadro negro	6	0,1	0,6000
pessoas sentadas	25	0,47	11,7500
carteiras de fórmica	25	0,02	0,5000
professor em pé	1	0,44	0,4400
absorção total	18,1817		
tempo de reverberação	1,06		

Fonte: Autora (2016)

Para fazer uma comparação entre os dados obtidos para a sala sem tratamento acústico e a sala com os móveis projetados neste trabalho – ou seja, com tratamento acústico –, foi considerado, na composição da sala de aula, o uso de 25 mesas e cadeiras para os alunos, uma mesa e cadeira para o professor e um armário, como apresentado na Figura 68.

Figura 68: Sala de aula com os móveis deste trabalho



Fonte: Autora (2016)

Para obter os coeficientes de absorção do sistema ressonador dos móveis, foi utilizada a calculadora disponibilizada pela Acoustic Modelling (2011), que se baseia nas equações apresentadas nas publicações de Cox e D'Antonio (2009), Allard e Atalla (2009) e Allard e Champoux (1992). A calculadora permite inserir valores para os seguintes parâmetros: a espessura do painel perfurado (em mm); o diâmetro das perfurações (em mm); a distância entre os furos a partir dos seus centros (em mm); a distância entre o painel perfurado e o material absorvente (em mm); a espessura do material absorvente (em mm); a resistividade ao fluxo de ar do material absorvente (em Pa.s/m²); e a distância entre o material absorvente e um suporte rígido (em mm), como uma parede, por exemplo. Levando em conta o fato de que serão projetados móveis, o suporte rígido será considerado um material com as mesmas características do painel perfurado, mas sem os furos.

As dimensões foram inseridas de modo a reduzir a reverberação em frequências próximas a 250 Hz, considerando que os maiores valores de tempo de reverberação nas medições da seção 4.2 foram encontrados nas frequências mais baixas. Para a resistividade ao fluxo de ar do material absorvente, foi utilizado 428 Pa.s/m², de acordo com o valor apresentado por

Bartolini, Borelli e Schenone (2011) para fibras de poliéster, uma vez que será utilizada a lã de PET, mencionada nos materiais da seção 3.3. Os valores determinados para cada parâmetro estão na Tabela 10.

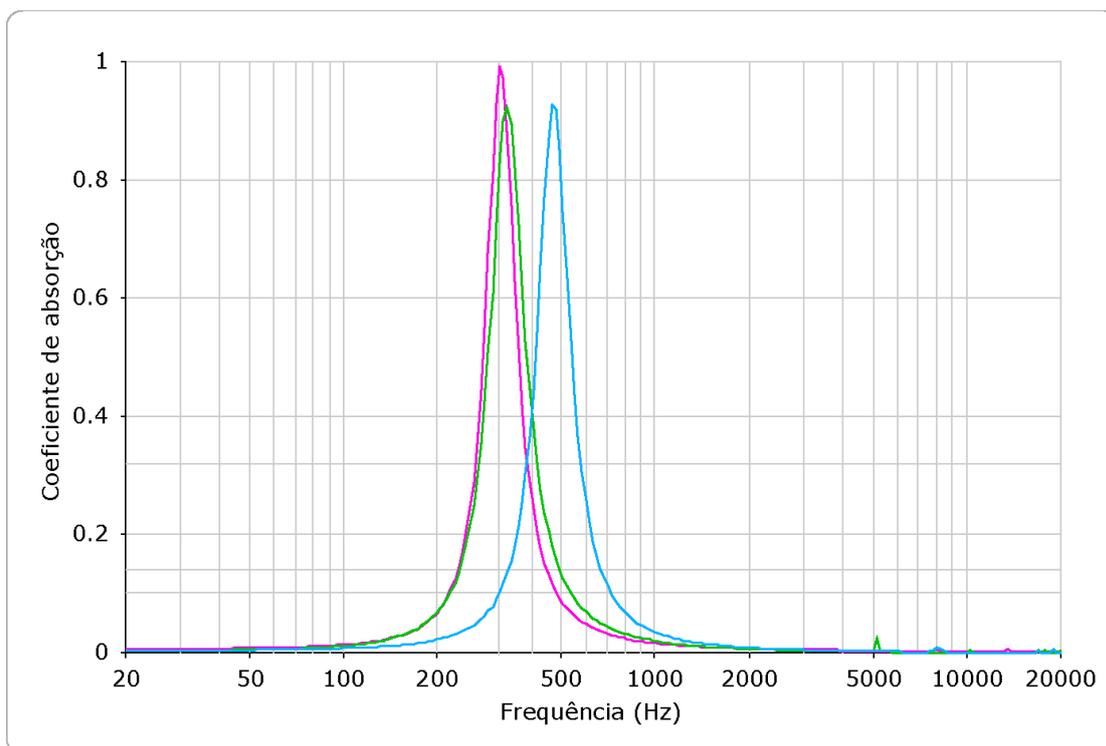
Tabela 10: Valores determinado para os parâmetros dos ressonadores dos móveis

Parâmetros	Armário	Mesa	Cadeira
Espessura do painel perfurado (mm)	12	9	9
Diâmetro das perfurações (mm)	3	3	2.5
Distância entre os furos (mm)	20	20	25
Distância entre o painel perfurado e o material absorvente (mm)	0	0	0
Espessura do material absorvente (mm)	10	10	10
Resistividade ao fluxo de ar do material absorvente (Pa.s/m ²)	428	428	428
Distância entre o material absorvente e o suporte rígido (mm)	23	11	11

Fonte: Autora (2016)

O Gráfico 10, gerado a partir dos valores apresentados na Tabela 10, mostra o coeficiente de absorção pela frequência para os ressonadores dos três móveis projetados. É possível perceber que o armário e a cadeira apresentam maior absorção próximo a frequência de 250Hz, enquanto a mesa tem maior absorção próximo a 500Hz.

Gráfico 10: Coeficiente de absorção sonora dos ressonadores dos móveis

**Parâmetros**

Temperatura: 20 °C

Pressão: 101325 Pa

Modelo: Allard & Champoux (1992)

— Cadeira

— Armário

— Mesa

Fonte: Adaptado de Acoustic Modelling (2016)

A partir do Gráfico 10, foram inseridos na Tabela 11 os coeficientes de absorção da mesa, cadeira e armário na frequência de 250 Hz e calculado o tempo de reverberação para a sala de aula.

Tabela 11: Cálculo do tempo de reverberação da sala com tratamento acústico em 250Hz

Sala de aula com tratamento acústico			
Volume (m ³):	120	250Hz	
Identificação	Si (m³)	αi	Si x αi
piso parquet madeira	40	0,04	1,6000
teto com reboco liso	40	0,02	0,8000
paredes com reboco liso	60,06	0,02	1,2012
porta de madeira pintada	1,89	0,15	0,2835
janela simples fechada	10,05	0,04	0,4020
quadro negro	6	0,20	1,2000
pessoas sentadas	25	0,36	9,0250
professor em pé	1	0,33	0,3250
mesa	26	0,10	2,6000
cadeira	26	0,95	24,7000
armário	1	0,80	0,8000
absorção total	42,9367		
tempo de reverberação	0,45		

Fonte: Autora (2016)

Também foi feito o cálculo do tempo de reverberação para a sala de aula com os móveis desenvolvidos para a frequência de 500 Hz (Tabela 12).

Tabela 12: Cálculo do tempo de reverberação da sala com tratamento acústico em 500Hz

Sala de aula com tratamento acústico			
Volume (m ³):	120	500Hz	
Identificação	Si (m³)	αi	Si x αi
piso parquet madeira	40	0,06	2,4000
teto com reboco liso	40	0,02	0,8000
paredes com reboco liso	60,06	0,02	1,2012
porta de madeira pintada	1,89	0,1	0,1890
janela simples fechada	10,05	0,03	0,3015
quadro negro	6	0,1	0,6000
pessoas sentadas	25	0,47	11,7500
professor em pé	1	0,44	0,4400
mesa	26	0,80	20,8000
cadeira	26	0,10	2,6000
armário	1	0,10	0,1000
absorção total	41,1817		
tempo de reverberação	0,47		

Fonte: Autora (2016)

A Tabela 13 mostra a comparação dos dados obtidos nas tabelas anteriores para a sala sem tratamento acústico – com os móveis de uma sala de aula modelo – e com tratamento acústico – utilizando os móveis deste trabalho.

Tabela 13: Comparação entre o tempo de reverberação com e sem tratamento acústico e o valor recomendado

Tempo de reverberação (s)	250 Hz	500 Hz	Recomendado
Sem tratamento acústico	1,28	1,06	< 0,6
Com tratamento acústico	0,45	0,47	< 0,6

Fonte: Autora (2016)

Comparando os valores do tempo de reverberação antes e depois, observa-se que houve uma redução significativa do tempo de reverberação nas frequências mais baixas com o uso dos móveis desenvolvidos, fazendo com que os valores estejam de acordo com o recomendado pelas normas apresentadas na seção 3.1.2. O uso do sistema de ressonador prova-se eficaz para o objetivo apresentado neste trabalho, reduzindo em mais de 50% o tempo de reverberação da sala de aula modelo nas frequências mais críticas com a inserção dos móveis projetados.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste projeto foi a inclusão da acústica nos aspectos ergonômicos de uma sala de aula através do mobiliário escolar. Frequentemente ignorada no projeto desses ambientes, a acústica, embora invisível, é um fator de extrema importância. Através de medições realizadas neste trabalho e de pesquisas bibliográficas, foi verificado que há uma deficiência acústica nas salas de aula não percebida algumas vezes, mas que pode afetar a compreensão e a saúde dos professores e alunos.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessária a assimilação de novos conceitos sobre uma área complexa. Foi preciso compreender a interação do som com o ambiente e os materiais e o funcionamento de princípios de absorção sonora. Os requisitos obtidos a partir dos dados coletados em análises, medições, entrevistas com os usuários e observações forneceram as diretrizes necessárias para a elaboração do projeto conceitual. Foram identificados os principais móveis de uma sala de aula e as funções que deveriam apresentar e criadas diversas alternativas de função e forma, sendo selecionada a que mais se adequava com os critérios estabelecidos.

Os móveis projetados, apesar de apresentarem um grande número de peças, devido à presença dos ressonadores, possuem peças que, em sua maioria, são produtos disponíveis no mercado e unidos através de parafusos. Isso facilita a desmontagem para troca ou manutenção, se necessária, diminuindo o descarte de móveis, quando apresentam algum problema. Além da fácil desmontagem, o uso da lã de PET como material absorvente também contribui para a redução do descarte de lixo, uma vez que o material é produzido a partir de garrafas recicladas. O projeto ainda necessitaria ser submetido a verificações de estabilidade e resistência para garantir o funcionamento dos produtos desenvolvidos. Podem ser necessárias também aplicações superficiais nos móveis para garantir o atendimento de normas de prevenção a incêndio. No entanto, a lã de PET, por ser não combustível, já contribui para a não propagação de chamas.

A estimativa da influência dos produtos desenvolvidos na acústica de uma sala de aula apresentou resultados significativos. Foram reduzidos os tempos de reverberação nas frequências mais baixas – consideradas as mais críticas nas medições realizadas – e atingido o maior objetivo deste trabalho: o desenvolvimento de mobiliário que contribuísse para o conforto acústico. A validação do projeto, através dos cálculos, e a redução expressiva de mais de 50% nos tempos de reverberação mostra que é possível a redução de problemas acústicos por um meio diferente dos comumente aplicados. O desenvolvimento de móveis relacionados à acústica permite maior conforto auditivo em ambientes que não podem ser modificados estruturalmente e oferece outra opção além dos painéis acústicos. Uma vez que a deficiência acústica não é exclusiva do ambiente universitário, as soluções obtidas podem ser aplicadas a outros níveis de ensino. Além disso, também podem ser pensadas para outros tipos de ambientes, como escritórios – contribuindo para a diminuição da dificuldade de concentração, devido à carência de tratamento acústico, e para o aumento da produtividade – e restaurantes – diminuindo a necessidade de esforço para se comunicar e ser compreendido nesses locais.

A função do designer envolve, muitas vezes, a análise de problemas e aprofundamento em temas que não são do seu domínio e esse envolvimento com aspectos fora do seu cotidiano não deve ser considerado uma barreira, pois proporciona o crescimento do profissional. O designer deve estar consciente sobre a importância de levantar todas as informações sobre tópicos relacionados ao tema do que está sendo projetado de modo a garantir que o projeto seja voltado para o usuário.

Espera-se que o conhecimento adquirido sobre acústica neste projeto, a solução concebida para a minimização dos problemas relacionados a ela e os resultados obtidos contribuam para o desenvolvimento de novos projetos de design nesta área e impulsionem novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

- Ab Rogers Design Portfolio.** Disponível em:
<http://www.abrogers.com/pdf/ARD_Portfolio_2015.pdf>. Acesso em: maio de 2016.
- ABNT. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro. 2004.
- ABNT. **NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados.** Rio de Janeiro. 1992.
- ABNT. **NBR 13961: Móveis para escritório - Armários.** Rio de Janeiro. 2010.
- ABNT. **NBR 14006: Móveis escolares – Cadeiras e mesas para conjunto aluno individual.** Rio de Janeiro. 2008.
- ACOUSTIC FACTS. **Ginkgo Sound Absorption Report.** [S.l.]. 2014.
Disponível em:
<<http://www.acousticfacts.com/sites/default/files/GINKGO%2030%20pcs%20Abarea%20Report.pdf>> Acesso em: abril de 2016.
- ACOUSTIC MODELLING. **Helmholtz Absorber Calculator.** 2011. Disponível em: <<http://www.acousticmodelling.com/helmholtz.php>> Acesso em: outubro de 2016.
- ALLARD, J. F.; ATALLA, N. **Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials.** 2 ed. John Wiley & Sons, 2009.
- ALLARD, J.F.; CHAMPOUX, Y. New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 91, p. 3346-3353, 1992.
- ANIMA ACÚSTICA. Comportamento acústico dos materiais. **Melhor Acústica.** Disponível em: <<http://melhoracustica.com.br/comportamento-acustico-dos-materiais/>>.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE – USA ANSI S 12.60: **Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools.** 2009.
- ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e Design: arte e ciência na seleção de materiais no design de produto.** 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem.** Barueri: Manole, 2008.

BARTOLINI, R.; BORELLI, D.; SCHENONE, C. **Flow resistance and sound absorption of polyester fibre material with different coatings**. In: SYMPOSIUM ON THE ACOUSTICS OF PORO-ELASTIC MATERIALS, 3., 2011, Ferrara.

BAXTER, M. R. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2 ed. São Paulo: Blücher, 2000.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blücher, 2006.

BLÅ STATION. Ginkgo. **Blå Station**. Disponível em: <<http://www.blastation.com/products/acoustic-panels/ginkgo2/ginkgo>>. Acesso em: abril de 2016.

BRÜEL & KJAER. **Hand-held Analyzer Types 2250 and 2270 User Manual**. Dinamarca. 2016.

BUZZISPACE. BuzziShade. **BuzziSpace**. Disponível em: <<http://buzzi.space/buzzishade/>>. Acesso em: abril de 2016.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CARVALHO, A. P. O. **Acústica Ambiental e de Edifícios**. Porto: FEUP, 2013.

CARVALHO, B. A. **Acústica aplicada à arquitetura**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1967.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006.

CASA VOGUE. Suecos criam painéis acústicos com palha. **Casa Vogue**, 2011. Disponível em: <<http://revista.casavogue.globo.com/design/suecos-criam-paineis-acusticos-com-palha/>>. Acesso em: maio de 2016.

CASCANDO. Acoustic Elements. **Cascando**. Disponível em: <<http://www.cascando.nl/acoustic-elements>>. Acesso em: abril de 2016.

COSTA, E. C. **Acústica Técnica**. São Paulo: Blücher, 2003.

COX, T. J.; D'ANTONIO, P. **Acoustic diffusers and absorbers: theory, design and application**. 2 ed. Taylor & Francis, 2009.

CUTIVA, L. C. C.; BURDORF, A. Effects of noise and acoustics in schools on vocal health in teachers. **Noise and Health**, Rotterdam, 2015. 17-22.

DANTAS, E. B.; SALLES, R. G. C. **Avaliação tecnológica do desempenho de materiais utilizados nas proteções acústicas com relação às chamadas**.

- Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo. 2013. Disponível em:
<<http://engenharia.anhembi.br/tcc-132/civil-03.pdf>> Acesso em: abril de 2016.
- DB-HR, **Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido**, Real Decreto. 2007.
- DE MARCO, C. S. **Elementos da acústica arquitetônica**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1982.
- DESK MÓVEIS. Sobre a Desk. **Desk Móveis**. Disponível em:
<<http://www.deskmoveis.com.br/empresa.html>>. Acesso em: maio de 2016.
- EGAN, M. D. **Architectural Acoustics**. Fort Lauderdale: J. Ross, 2007.
- ERMANN, M. **Architectural Acoustics Illustrated**. Hoboken: Wiley, 2015.
- FERREIRA, A. M. C. **Avaliação do conforto acústico em salas de aula: estudo de caso na Universidade Federal do Paraná**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006.
- FORMICA. Formica® Standard. **Formica® Brasil**. Disponível em:
<http://www.formica.com.br/pro_standard.htm> Acesso em: novembro de 2016.
- GINN, K. B. **Architectural Acoustics**. 2 ed. Brüel & Kjær: [s.n.], 1978.
- GLIMAKRA OF SWEDEN A. Limbus Sit. **Glimakra of Sweden**. Disponível em:
<<http://www.glimakra.com/LIMBUS-SIT-2.htm>>. Acesso em: abril de 2016.
- GLIMAKRA OF SWEDEN B. Sabine. **Glimakra of Sweden**. Disponível em:
<<http://www.glimakra.com/img/PDF-Prod-Info/SABINE/Sabine-16-sid.pdf>>. Acesso em: abril de 2016.
- GRUPO CEQUIPEL. Sobre a Cequipel. **Grupo Cequipel**. Disponível em:
<<http://www.cequipel.com.br/sobre-a-cequipel/>>. Acesso em: maio de 2016.
- HARVARD UNIVERSITY. Harvard Initiative for Learning and Teaching. **Learning Spaces Week at Harvard**. Disponível em:
<<http://hilt.harvard.edu/learningspaces>>. Acesso em: junho de 2016.
- HENRIQUE, L. **Acústica Musical**. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.
- IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo: Edgar Blücher, 1990.
- ISBERT, A. C. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. Barcelona: UPC, 1998.
- JADIR, T. T.; LIMA, M. G. **Propriedades acústicas de materiais de construção para uso em edificações no entorno de aeroportos**. Anais do

15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XV ENCITA / 2009. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 2009.

KEFFORD, V. L. **Plastics in Thermal and Acoustic Building Insulation - Report 67**. Rapra Technology. Shrewsbury. 1993.

KLATTE, M.; LACHMANN, T.; MEIS, M. Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. **Speech Perception and Understanding**, Alemanha, v. 12, n. 49, p. 270-282, 2010.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Humanization in Architecture: Analysis of Themes through High School Building Problem**. University of California. Berkeley. 1980.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LEROY MERLIN. Dobradiça para Móveis Simples. **Leroy Merlin**. Disponível em: <http://www.leroymerlin.com.br/dobradica-para-moveis-simples-35mm-ferro-niquelado-com-amortecedor-italy-line_89024670?origin=2b0219ce30d83e80600992ea>

LINDSTRÖM, J. **'Hexagon' acoustic tiles by Form Us With Love for Träullit (SE)**. Disponível em: <<http://www.dailytonic.com/hexagon-acoustic-tiles-by-form-us-with-love-for-traullit-se>>. Acesso em: abril de 2016.

LIU, P. S.; CHEN, G. F. **Porous Materials: Processing and Applications**. Burlington: Elsevier Science, 2014.

LOGACÚSTICA. Coeficientes de Absorção Sonora. **LogAcústica - Soluções em Acústica, Ruído e Vibrações**. Disponível em: <<http://logacustica.com/coeficientes-de-absorcao-sonora-sound-absorption-coefficients/>>. Acesso em: abril de 2016.

LONG, M. **Architectural Acoustics**. 2 ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2014.

MEDRADO, L. D. O. **Avaliação da inteligibilidade em salas de aula de graduação na Universidade Federal do Rio de Janeiro**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <http://w2.files.scire.net.br/atricio/ufrrj-pem_up//THESIS/1393/pemufrrjmsc2004ludimiladeoliveiramedrado.pdf> Acesso em: maio de 2016.

METADIL. **Metadil - Móveis por um melhor aprendizado**. Disponível em: <<http://www.metadil.com.br>>. Acesso em: maio de 2016.

MINITEC A. MiniTec T-Slotted Aluminum Extrusions - Profile 45R 90°. **MiniTec**. Disponível em:

<http://www.minitecframing.com/Products/Aluminum_Profiles/Aluminum_Profile_Catalog_Pages/20.1069_Profile_45_R_90.html> Acesso em: outubro de 2016.

MINITEC B. MiniTec T-Slotted Aluminum Extrusions - Support Profile. **MiniTec**. Disponível em:

<http://www.minitecframing.com/Products/Aluminum_Profiles/Aluminum_Profile_Catalog_Pages/20.1121_Support_Profile.html> Acesso em: outubro de 2016

MINITEC C. M6 Square Nut. **MiniTec**. Disponível em: <

http://www.minitecframing.com/Products/Screw_And_Nuts/Catalog_Pages/Nuts/21.1330_M6_Square_Nut.HTML> Acesso em: outubro de 2016.

MINITEC D. M8x25 Self Tapping Button Head. **MiniTec**. Disponível em:

<http://www.minitecframing.com/Products/Screw_And_Nuts/Catalog_Pages/Special_Screws/21.1492_M8x25_Self_Tapping_Button_Head.html>

MOURA, N. C. D. **Avaliação do desempenho acústico do bloco de salas do curso de Medicina no campus da UFOP**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2011.

NEOTÉRMICA. **Lã de Pet Isosoft Tech e Isosoft Flex**. Disponível em:

<<http://www.neotermica.com.br/html/isolante-termico/la-de-pet-sp.html>>. Acesso em: abril de 2016.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

PORTELA, M. **Materiais Acústicos: Conceitos para acústica arquitetônica**. UFSC. Florianópolis. Disponível em:

<<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/390.pdf>> Acesso em: abril de 2016.

REVISTA EDUCAÇÃO. Marcas que ficam. **Revista Educação**, 2011.

Disponível em: <<http://revistaeducacao.uol.com.br/textos/163/artigo234866-1.asp>>. Acesso em: maio de 2016.

RUAS, M. S. G. **Why not Design for the Ears?** Faculdade de Belas Artes. Lisboa. 2013.

SALVO, R. V. et al. **Construção de um tubo de impedância**. 15º POSMEC - Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Uberlândia: [s.n.]. 2005.

SANTOS, M. A. R. **Qualidade Acústica de Escolas de Música do Algarve: Análise e proposta de medidas de melhoria**. Universidade de Évora. Évora. 2014.

- SCHARER, A.; KRENGER, S. **Furniture system for influencing the acoustics of a room**. US 2009/0277715 A1, 12 nov. 2009.
- SILVA, C. M. F. E. **O tempo de reverberação e a inteligibilidade da palavra - Caso de Estudo: salas de aula da FEUP**. Universidade do Porto. Porto. 2013.
- SILVA, P. **Acústica Arquitetônica**. 2 ed. Belo Horizonte: Engenharia e Arquitetura, 1971.
- SOUSA, C. O. et al. Relação entre variáveis antropométricas e as dimensões das carteiras utilizadas por estudantes universitários. **Fisioterapia e Pesquisa**, São Paulo, v. 14, p. 27-34, 2007.
- SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-A-Bá da Acústica Arquitetônica: ouvindo a Arquitetura**. São Carlos: EDUFSCAR, 2012.
- TIESLER, G.; OBERDÖRSTER, M. **Noise - a stress factor? Acoustic Ergonomics of Schools**. Euronoise. Bremen: [s.n.]. 2006.
- TIRLONI, A. S. **Avaliação ergonômica de carteiras universitárias: validação de um instrumento utilizando a Teoria da Resposta ao Item (TRI)**. UFSC. Florianópolis. 2013.
- TREASURE, J. Julian Treasure: Porque os arquitetos precisam usar seus ouvidos. **TED: Ideas worth spreading**, 2012. Disponível em: <https://www.ted.com/talks/julian_treasure_why_architects_need_to_use_their_ears?language=pt-br> Acesso em: abril de 2016.
- TRENHOLM, R. Pizza Express puts iPods in tables to choose your tunes with your toppings. **CNET**, 2010. Disponível em: <<http://www.cnet.com/uk/news/pizza-express-puts-ipods-in-tables-to-choose-your-tunes-with-your-toppings/>>. Acesso em: maio de 2016.
- TRISOFT. Lã de PET substitui com eficiência lã de rocha e de vidro em isolamento térmico e conforto acústico. **Trisoft**, 2015. Disponível em: <<http://www.trisoft.com.br/blog/la-de-pet-substitui-la-de-rocha-vidro-isolamento-termico-acustico/>>. Acesso em: abril de 2016.
- TRISOFT. Lã de PET ISOSOFT. **Trisoft - Conforto Sustentável**. Disponível em: <http://www.trisoft.com.br/_uploads/676be7bef3066d7228cc5e6debe9bb8f.pdf> . Acesso em: maio de 2016.

APÊNDICE A – Roteiro de perguntas para as entrevistas

Entrevistas com alunos:

- a) Qual é o seu tempo de permanência diário na faculdade?
- b) Em quais salas você tem aula? Como é a configuração dessas salas?
- c) O que você acha que mais contribui para o conforto em sala de aula?
- d) Como você considera as suas salas de aula? (silenciosa, normal ou barulhenta)
- e) Você tem a necessidade de desenvolver atividades em casa em razão do desconforto acústico das salas de aula?
- f) Você consegue compreender claramente quando o professor fala?
- g) Você apresenta algum desses sintomas ao sair de uma sala de aula? (dor de cabeça, tontura, estresse, irritabilidade)
- h) O que você acha dos móveis das salas de aula? Você os considera confortáveis?
- i) O que você acha das dimensões dos móveis das salas de aula?
- j) O que você acha da aparência desses móveis?

Entrevistas com professores:

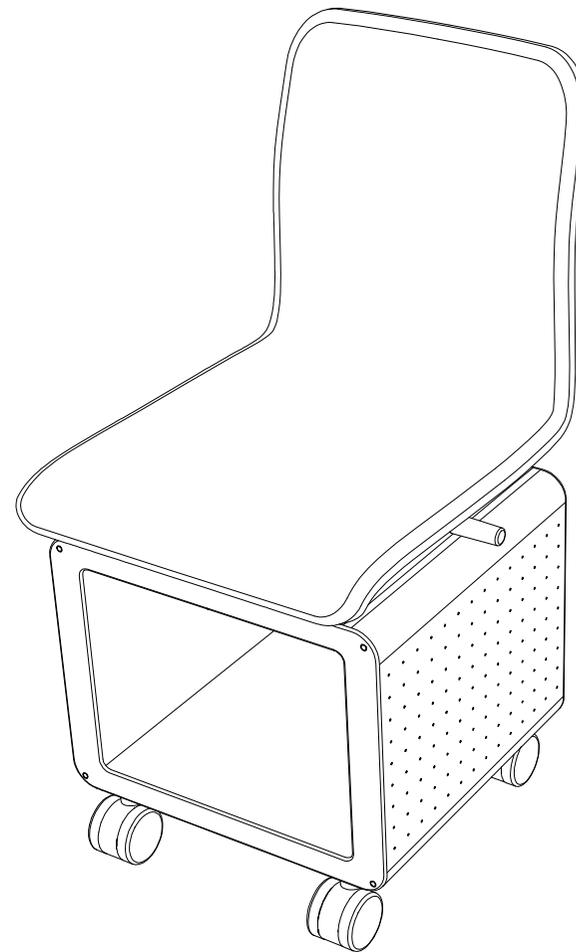
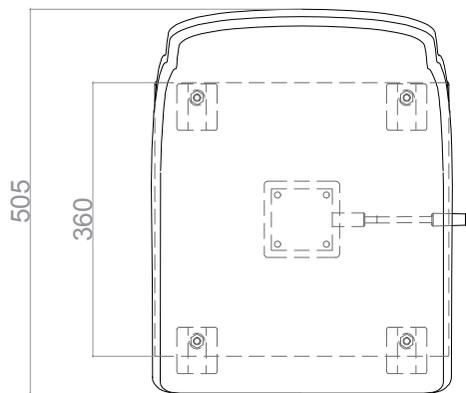
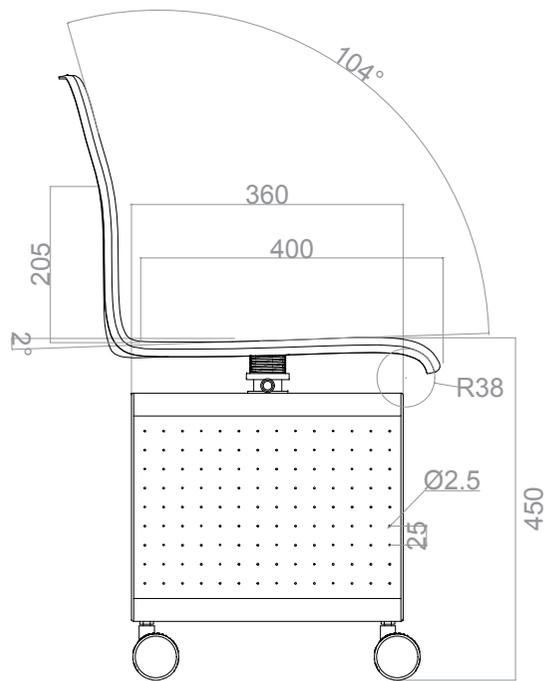
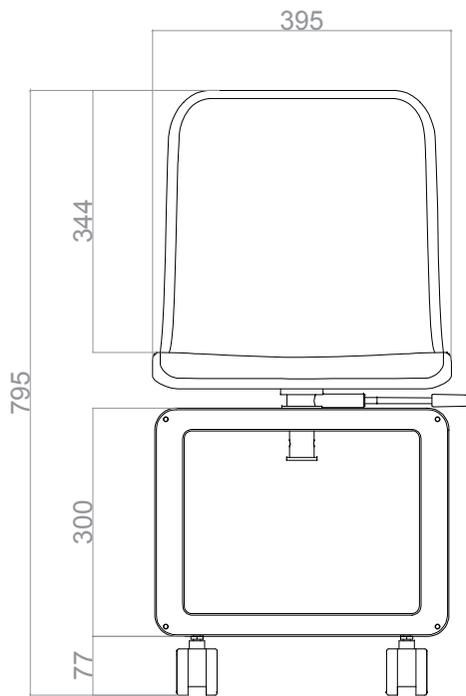
- a) Qual é o seu tempo de permanência diário na faculdade?
- b) Em quais salas você dá aula?
- c) O que você acha que mais contribui para o conforto em sala de aula?
- d) Você considera as condições físicas das salas de aula adequadas?
- e) Como você considera as salas em que dá aula? (silenciosa, normal ou barulhenta)
- f) É necessário aumentar o tom de voz para ser entendido pelos alunos?
- g) Quando um aluno faz uma pergunta, é possível entender claramente o que está sendo dito?
- h) Você apresenta algum desses sintomas ao sair de uma aula? (dor de cabeça, tontura, estresse, irritabilidade)

- i) Você já teve problemas vocais em função do uso da voz como professor?
- j) Você considera os móveis das salas de aula confortáveis?
- k) Você acha que as dimensões dos móveis das salas de aula são adequadas?
- l) O que você acha da aparência desses móveis?

Entrevistas com funcionários de limpeza:

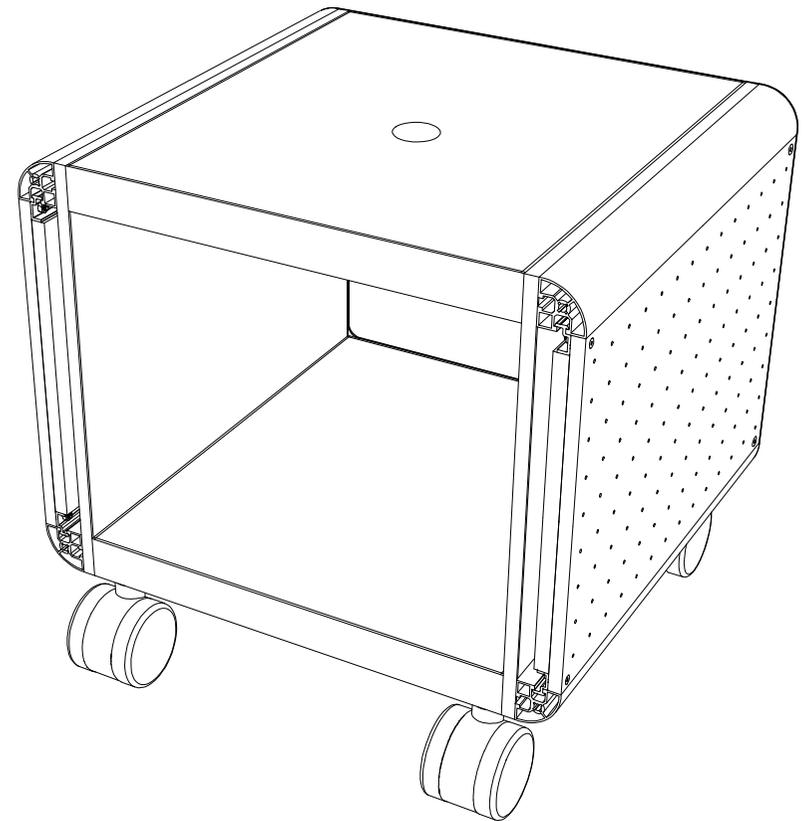
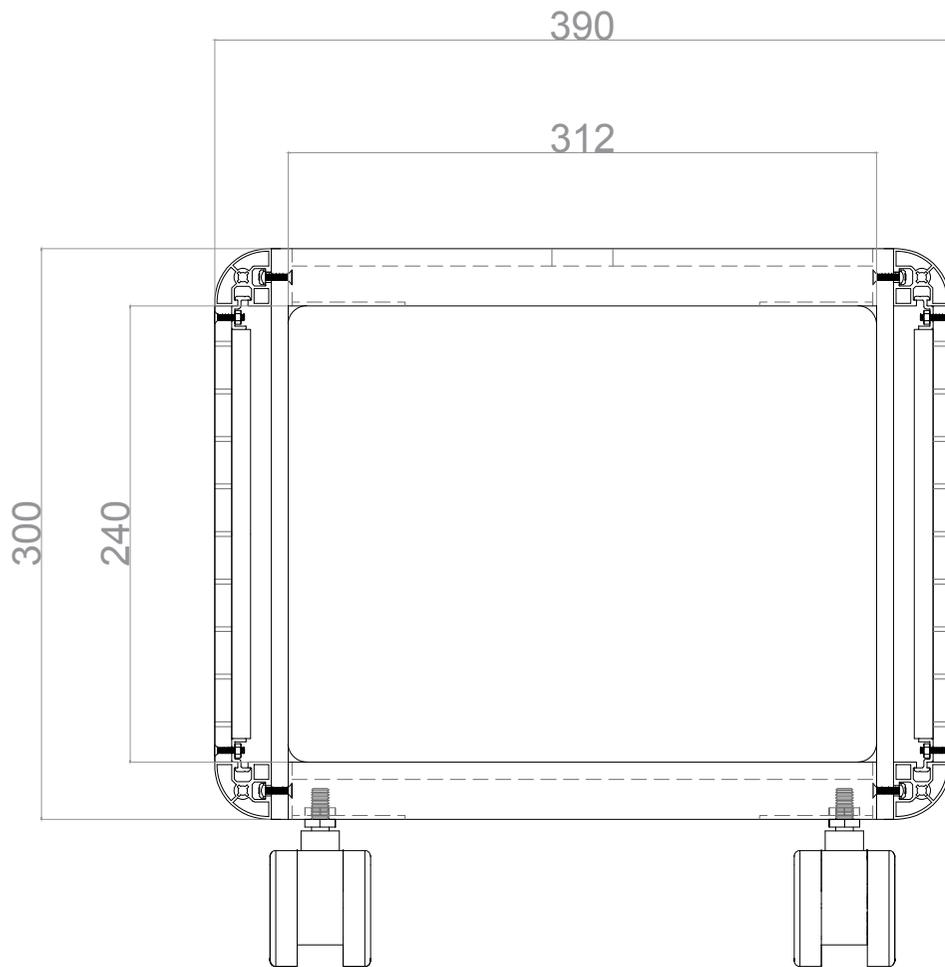
- a) Como é feita a limpeza das salas de aula?
- b) Como são organizados os móveis na hora de limpar?
- c) Quais as dificuldades encontradas na limpeza das salas de aula?
- d) Quais salas encontram maior dificuldade de limpar? Por quê?
- e) Quais produtos utilizam na limpeza dos móveis?

APÊNDICE B – Desenho técnico dos móveis

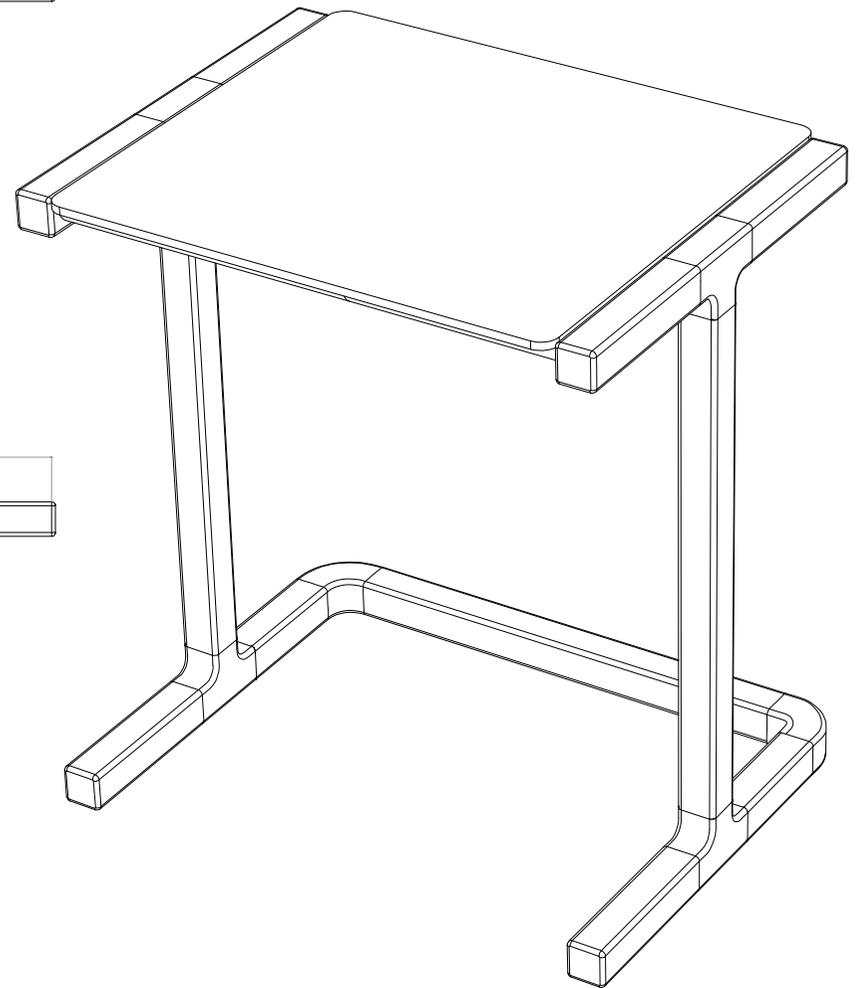
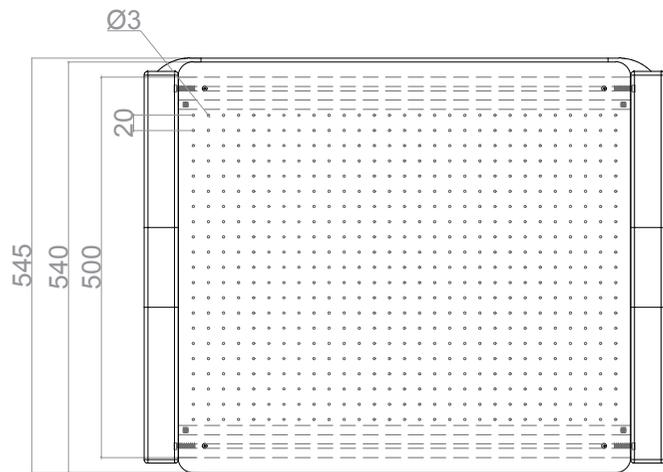
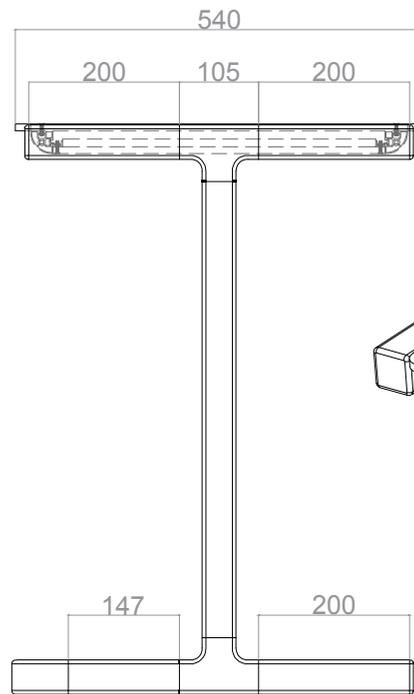
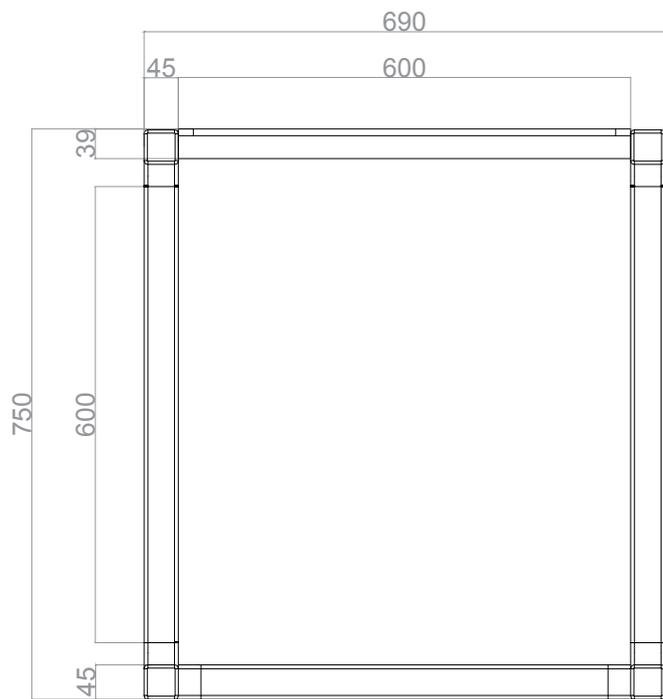


PRODUTO	CADEIRA	ESCALA 1/10
ASSUNTO	VISTAS GERAIS	UNIDADE mm
DESENHO TÉCNICO	CLARISSA STÜRMER	A4

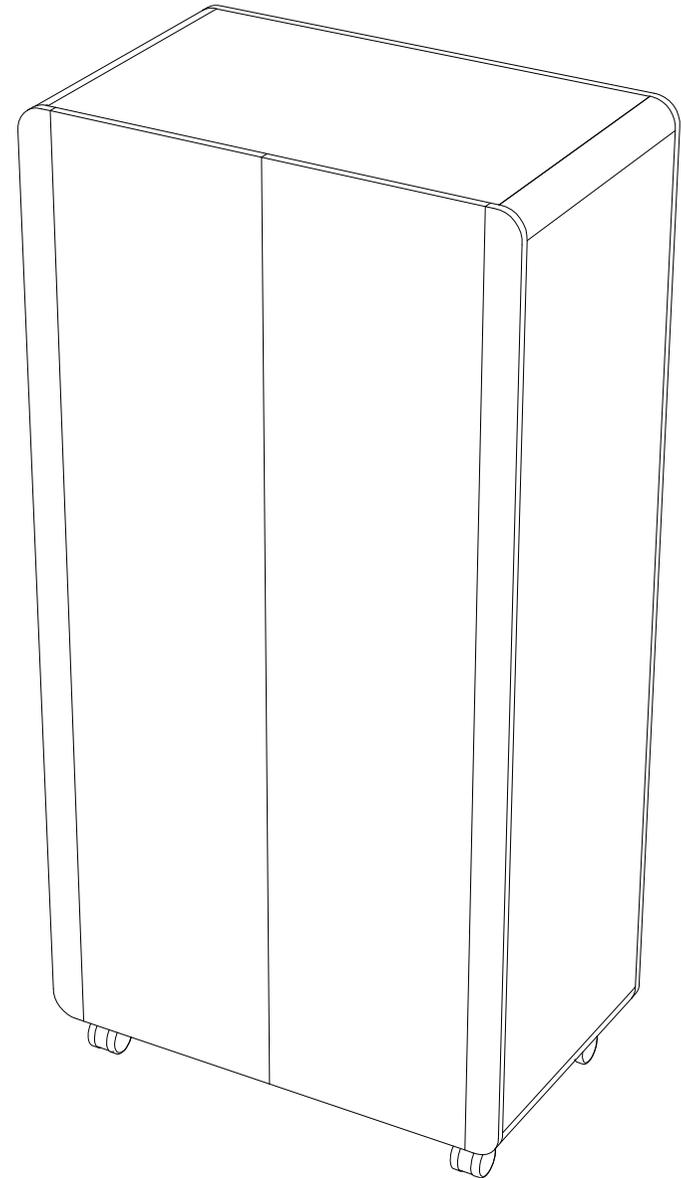
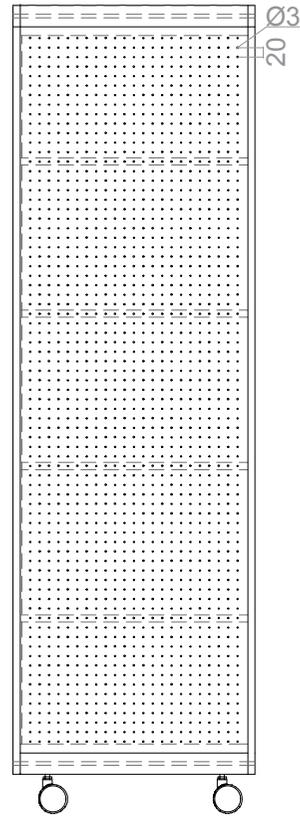
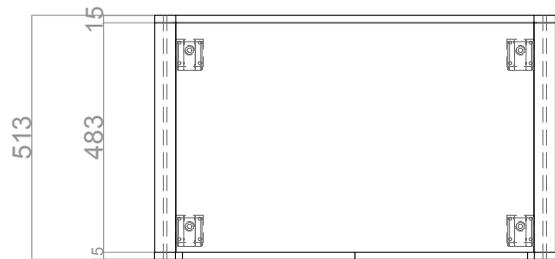
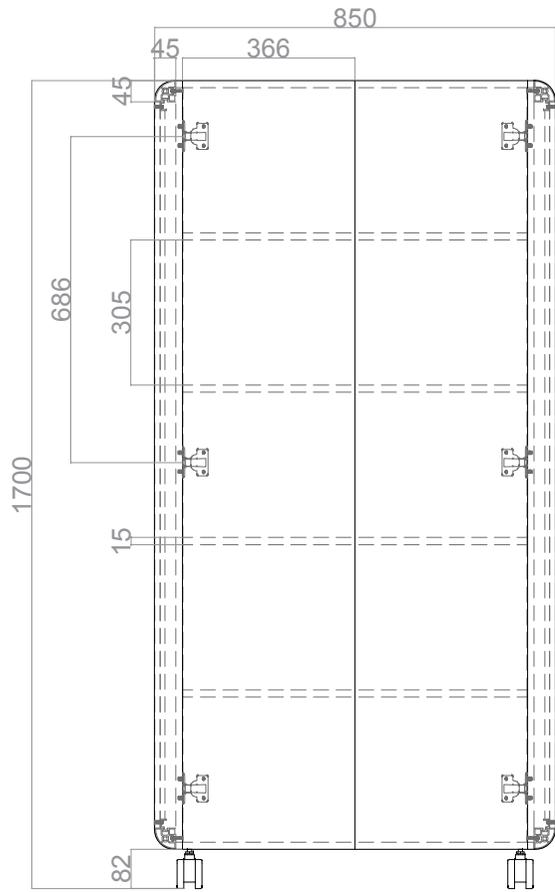
VISTA INTERNA DO ESPAÇO DE ARMAZENAMENTO DA CADEIRA



PRODUTO	CADEIRA	ESCALA 1/4
ASSUNTO	ESPAÇO DE ARMAZENAMENTO	UNIDADE mm
DESENHO TÉCNICO	CLARISSA STÜRMER	A4



PRODUTO	MESA	ESCALA 1/10
ASSUNTO	VISTAS GERAIS	UNIDADE mm
DESENHO TÉCNICO	CLARISSA STÜRMER	A4



PRODUTO	ARMÁRIO	ESCALA 1/12
ASSUNTO	VISTAS GERAIS	UNIDADE mm
DESENHO TÉCNICO	CLARISSA STÜRMER	A4