

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Ruan dos Santos de Aquino

**Proposta de um modelo representativo para estimativa de desempenho acústico de
edificações habitacionais baseado na Norma ABNT NBR 15575:2013**

Florianópolis

2019

Ruan dos Santos de Aquino

Proposta de um modelo representativo para estimativa de desempenho acústico de edificações habitacionais baseado na Norma ABNT NBR 15575:2013

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Produção Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil.
Orientador: Prof. Dr. Lizandra Garcia Lupi Vergara

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Universitária da UFSC.

Aquino, Ruan

Proposta de um modelo representativo para estimativa de desempenho acústico de edificações habitacionais baseado na Norma ABNT NBR 15575:2013 / Ruan Aquino ; orientador, Lizandra Garcia Lupi Vergara, 2019.

131 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

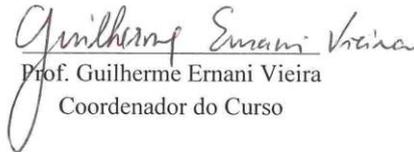
1. Engenharia de Produção Civil. 2. Desempenho Acústico. 3. NBR 15575. 4. Ergonomia Cognitiva. I. Garcia Lupi Vergara, Lizandra . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Civil. III. Título.

Ruan dos Santos de Aquino

**Proposta de um modelo representativo como ferramenta de simulação de
desempenho acústico de edificações habitacionais baseado na Norma ABNT NBR
15575:2013**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Produção Civil

Local, 20 de novembro de 2019.


Prof. Guilherme Ernani Vieira
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:


Profa. Lizandra Garcia Lupi Vergara
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Diego de Castro Fettermann
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina


Doutorando Lucas dos Santos Matos
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos amores da minha vida, minhas afilhadas
Cecilia e Maria Alice.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente à minha família, base e inspiração da minha vida, que me fazem querer ser sempre um ser humano melhor. Aos meus pais, pela educação, pelos ensinamentos diários e por todo amor.

Agradeço aos meus irmãos, de sangue e da vida, meus bens mais preciosos, que deram suporte emocional e sempre estiveram ao meu lado com uma palavra amiga, um abraço ou apenas com suas presenças. Nunca teria conseguido sem vocês, meus amigos.

Agradeço às minhas afilhadas Cecília e Maria Alice e aos meus sobrinhos Lucas e Camilly, pela pureza, por todo carinho e por todo amor, sendo um grande desafogo na minha vida nos tempos de crise.

Agradeço à minha orientadora, Lizandra Garcia Lupi Vergara, por abraçar a ideia, pelos ensinamentos e pela parceria durante esse período de execução do trabalho.

Agradeço ao amigo Lucas Matos pela ajuda na estruturação do trabalho e por iluminar o caminho quando as coisas não iam tão bem.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo propor um modelo representativo para estimativa de desempenho acústico para edificações habitacionais, cumprindo os requisitos e parâmetros da NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais, que entrou em vigor no ano de 2013, está em processo de desenvolvimento no ramo da construção e é requisito a ser cumprido para obtenção de nível A no Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H. Primeiramente são apresentadas as bases que suportam esse estudo, os conceitos da acústica, da elaboração de mapas mentais, da ergonomia cognitiva e os desdobramentos da norma de desempenho acústico. O trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo representativo de simulação baseado na norma internacional ISO 12354 que fornece meios de estimar o desempenho acústico de edificações a partir do desempenho dos elementos componentes. A estruturação de um modelo representativo de simulação, segue as diretrizes básicas da elaboração de mapas mentais e da área de ergonomia cognitiva, que explicam como os processos de memorização e aprendizagem funcionam melhor no cérebro humano, com agrupamento lógico de informações e desenvolvimento de estruturas de informação, dessa forma, o modelo se mostra como uma forma de aprimorar o processo de desenvolvimento de projetos de edificações, apresentando uma estrutura lógica dos parâmetros que impactam no desempenho acústico, além de permitir calcular o desempenho das vedações externas, vedações internas e sistemas de pisos. O processo de simulação tem um custo baixo no período de projeto, permitindo a efetuação de alterações e testes de desempenho, e evitando que soluções necessitem ser tomadas em obra ou que ocorra o retrabalho para adequações de projeto, o que gera custos adicionais e atrasos de cronograma não previstos. O modelo de simulação foi aplicado a um projeto de unidade habitacional, avaliando os requisitos referentes aos ruídos aéreos externos, ruídos aéreos internos entre ambientes e ruídos de impacto, retornando valores de desempenho global dos quatro requisitos normativos e classificando os sistemas nas três classes de desempenho apresentadas na NBR 15575. Ainda foram propostas soluções de projeto para adequação aos requisitos da norma. Como resultado, pôde-se concluir que o modelo facilita o processo de adequação de projeto, atuando na resolução de problemas pontuais de forma rápida e interativa, permitindo o cumprimento dos requisitos normativos. Além disso, espera-se que seu uso contínuo traga benefícios maiores ao processo de aprendizado relativo à norma.

Palavras-chave: Desempenho acústico. NBR 15575:2013. Ergonomia cognitiva. Mapas mentais.

ABSTRACT

The present work aims to propose a representative model to estimate acoustic performance for residential buildings, meeting the requirements and parameters of NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais, which came into force in 2013, is currently under development in the construction area and is requirement to be met to obtain level A in the Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H. First are presented the bases that support this study, the concepts of acoustics, the elaboration of mental maps, cognitive ergonomics and the unfolding of the acoustic performance norm. The work consists in the development of a representative simulation model based on the international standard ISO 12354 that provides means to estimate the acoustic performance of buildings from the performance of the component elements. The structuring of a representative simulation model follows the basic guidelines of mind mapping and the area of cognitive ergonomics, which explain how memorization and learning processes work best in the human brain, with logical grouping of information and development of learning structures. In this way, the model is shown as a way to improve the process of building project development, presenting a logical structure of the parameters that impact the acoustic performance, as well as allowing to calculate the performance of the external seals, internal seals and building systems. floors The simulation process has a low cost over the design period, allowing for changes and performance testing, and avoiding solutions that need to be taken on site or rework for design adjustments, which results in additional costs and delays in performance schedule not foreseen. The simulation model was applied to a housing project, assessing the requirements for external airborne sound, airborne sound between rooms and impact sound between rooms, returning global performance values from the four regulatory requirements and classifying the systems into the three performance classes of NBR 15575. Design solutions have been proposed to meet the requirements of the standard. As a result, it could be concluded that the model facilitates the process of project adequacy, acting in the resolution of point problems quickly and interactively, allowing the fulfillment of the normative requirements. In addition, its continued use is expected to bring greater benefits to the standard learning process.

Keywords: Acoustic performance. NBR 15575:2013. Cognitive ergonomics. Mind mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de classificação semântica dos animais, usando a memória de longa duração.....	25
Figura 2 - Vias de Transmissão de Ruídos de Impacto	32
Figura 3 - Vias de transmissão de ruídos aéreos em recintos vizinhos laterais.....	34
Figura 4 – Vias de transmissão de ruídos aéreos em recintos vizinhos sobrepostos.....	34
Figura 5 - Parâmetros acústicos de verificação	45
Figura 6 - Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período.....	46
Figura 7 - Classes de ruído de acordo com nível de pressão sonora equivalente.....	47
Figura 8 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório	47
Figura 9 - Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$ para ensaios de campo.....	48
Figura 10 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes.....	49
Figura 11 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ para ensaio de campo	50
Figura 12 - Parâmetros acústicos de avaliação	51
Figura 13 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$	52
Figura 14 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$	52
Figura 15 - Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$	54
Figura 16 – Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'_{nT,w}$	54
Figura 17 - Dormitório exposto à ruídos externos.....	56
Figura 18 - Ambiente sujeito à ruídos aéreos	60
Figura 19 - Ambiente exposto à ruídos aéreos de piso.....	68
Figura 20 - Ambiente exposto à ruídos de impacto.....	74
Figura 21 - Gráfico de obtenção do índice global de redução sonora a ruído de impacto	77
Figura 22 - Gráfico de obtenção do índice de correção por transmissão lateral	77
Figura 23 - Unidade habitacional de aplicação da simulação	79
Figura 24 - Ruídos Externos Suíte 1.....	82
Figura 25 – Ruídos Externos Suíte 2.....	83

Figura 26 – Ruídos Externos Suíte 3	84
Figura 27 - Configuração da SVVI 1	87
Figura 28 - Configuração da SVVI 2	87
Figura 29 - Configuração da SVVI 3 e SVVI 4	88
Figura 30 - Configuração da SVVI 5	88
Figura 31 - Configuração da SVVI 6	89
Figura 32 - SP 1, SP 2 e SP 11	91
Figura 33 - SP 3 e SP 4.....	91
Figura 34 - SP 5 e SP 6.....	92
Figura 35 - SP 7 e SP 8.....	92
Figura 36 - SP 9 e SP 10.....	93
Figura 37 - SP 12.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fórmulas finais para o desempenho acústico do sistema de vedação externa ao ruído aéreo externo.....	59
Quadro 2 - Fórmula final para o desempenho acústico do sistema de piso ao ruído de impacto	78
Quadro 3 - Características dos Sistemas de Vedação e Vias de Transmissão de Ruídos.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas de Vedação Vertical Externa do apartamento	80
Tabela 2 - Desempenho acústico das paredes da fachada	81
Tabela 3 - Classificação dos Sistemas de Vedação Externa.....	84
Tabela 4 - Sistemas de Vedação Vertical Interna do apartamento	85
Tabela 5 - Resumo dos desempenhos obtidos pelos SVVI	89
Tabela 6 - Sistemas de Piso do Apartamento	90
Tabela 7 - Resumo dos Desempenhos dos SP	94
Tabela 8 – Requisitos abaixo do valor mínimo de desempenho da NBR 15575	94
Tabela 9 - Simulações realizadas com SVVI 1	96
Tabela 10 - Simulações realizadas com SVVI 5	96

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA DO TEMA	19
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Objetivo Geral.....	20
1.2.2	Objetivos Específicos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	ERGONOMIA COGNITIVA.....	22
2.2	MAPAS MENTAIS.....	26
2.3	ACÚSTICA	27
2.3.1	Onda Sonora	27
2.3.2	Frequência e Período.....	28
2.3.3	Amplitude e Comprimento de Onda.....	28
2.3.4	Velocidade de onda	28
2.3.5	Escala de Decibel.....	29
2.3.6	Ruídos	29
2.3.7	Propagação de Ruídos	30
2.4	NORMA DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES - NBR 15.575.....	35
2.4.1	Parte 1 – Requisitos gerais	35
2.4.2	Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais.....	39
2.4.3	Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos	40
2.4.4	Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE	40
2.4.5	Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas	41
2.4.6	Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidrossanitários.....	42
2.4.7	Parâmetros e métodos de caracterização utilizados	42

3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	44
3.1	MAPEAMENTO DO PROCEDIMENTO DE USO DA NORMA 15.575	44
3.1.1	Desempenho Acústico dos Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE - Fachadas) ...	45
3.1.2	Desempenho Acústico de Ruído Aéreo dos Sistemas de Vedações Verticais Internas	48
3.1.3	Desempenho Acústico de Ruído Aéreo dos Sistemas de Pisos.....	51
3.1.4	Desempenho Acústico de Ruído de Impacto dos Sistemas de Pisos.....	53
4	RESULTADOS	55
4.1	DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	55
4.1.1	Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas Verticais de Vedação Externa (SVVE ou Fachada) à Ruídos Aéreos Externos.....	56
4.1.2	Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas Verticais de Vedação Interna (SVVI) à Ruídos Aéreos Internos.....	59
4.1.3	Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas de Piso à Ruídos Aéreos Internos	67
4.1.4	Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas de Piso à Impactos de Piso	74
4.2	APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO EM PROJETO	78
4.2.1	Desempenho Acústico do Sistema de Vedação Vertical Externa à Ruídos Externos	80
4.2.2	Desempenho Acústico do Sistema de Vedação Vertical Interna à Ruídos Aéreos	84
4.2.3	Desempenho Acústico do Sistema de Piso à Ruídos Aéreos e Ruídos de Impacto	90
4.3	PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DO PROJETO	94
5	CONCLUSÃO.....	97
	REFERÊNCIAS	98
	APÊNDICE A – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação externa ao ruído aéreo externo.....	100

APÊNDICE B – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo.....	101
APÊNDICE C – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo.....	121
APÊNDICE D – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído de impacto.....	129

1 INTRODUÇÃO

É uma tendência que os projetos dos edifícios sejam concebidos cada vez mais com enfoque no conforto do usuário, dando maior importância a itens antes não tão explorados, como o desempenho térmico, lumínico e acústico, a exemplo de países como França, Canadá e Japão. No Brasil, na maior parte dos casos, o desenvolvimento dos projetos não considera as questões de desempenho, principalmente em projetos habitacionais, nos quais são definidas inicialmente as questões de arquitetura e de seleção das tecnologias, para, posteriormente e nem sempre, considerar o atendimento às exigências de desempenho (MELHADO, 2001; AQUINO, 2005; ONO, 2007). Esse cenário no Brasil está em mudança e tem se fortalecido após entrar em vigor em 2013 a norma de desempenho das edificações habitacionais, que traz requisitos a serem cumpridos baseados no que os clientes desejam obter quando adquirem uma unidade habitacional.

A existência desta norma se deu naturalmente pelo amadurecimento do usuário, que hoje está mais exigente quanto aos produtos que adquire. Dessa forma esta é a primeira norma brasileira que traduz o desejo destes usuários quanto aos requisitos de desempenho.

A NBR 15.575:2013 “Edificações habitacionais – Desempenho” foi elaborada no Comitê Brasileiro de Construção Civil pela Comissão de Desempenho de Edificações, tendo como referência normativa uma vasta lista de Normas Brasileiras Regulamentadoras - NBR, tal como referências internacionais: *Internacional Organization for Standardization* - ISO, *American Society for Testing and Materials* - ASTM, *Normalización Española* - UNE, *Eurocode*, entre outras.

O intuito da norma é atender aos requisitos mínimos dos usuários, estabelecendo critérios a serem cumpridos e métodos de avaliação destes critérios. São elencados fatores de segurança, de habitabilidade e de sustentabilidade para o desenvolvimento, para execução de projetos e também para a operação e manutenção dos sistemas.

São incluídos nas tratativas desta norma os diversos agentes envolvidos direta e indiretamente na concepção e utilização dos projetos, sendo eles: os projetistas, as construtoras e incorporadoras, os fornecedores de insumos, materiais, componentes e/ou sistemas e por fim o usuário final, ao qual também cabem ações para a operação e para a manutenção dos sistemas, trabalhando de modo a acabar ou amenizar os problemas recorrentes de projeto, como o incômodo com a forte incidência do sol em janelas, a falta de iluminação em ambientes que

requerem luz para desempenho de atividades específicas ou então a incidência de ruídos acima do permitido.

Os ruídos, por sua vez, são um dos maiores problemas identificados pelos usuários de edificações habitacionais, tornando o conforto acústico um elemento fundamental para a realização de atividades do dia-a-dia, descanso e diminuição do estresse, levando em consideração que nos ambientes urbanos, principalmente, há grande incidência de ruídos.

Lacerda *et al.* (2005 apud TONDO, 2014) apontam para o fato que 74% da população se sente incomodada com barulhos provenientes do ambiente externo, como trânsito, vizinhança, sirenes e barulhos de construção civil. Segundo Seligman (1997) e Costa (1989/90), algumas das consequências dos ruídos na saúde das pessoas são alteração do sono, irritabilidade, problemas gástricos, disfunções hormonais, vertigem, etc.

Neste sentido, levando em consideração a importância do estudo do fenômeno descrito, este estudo se propõe a avaliar o atendimento aos requisitos de desempenho acústico da norma realizando um desmembramento da norma e criando uma estruturação mais intuitiva do nível de dependência das características que influenciam no resultado final possibilitando a realização de simulações e de adequações de projetos.

Para tanto, utilizará os conhecimentos provenientes da área de Ergonomia Cognitiva, responsável pela compreensão dos processos mentais, como a percepção, memória, raciocínio e resposta motora, interações entre as pessoas e outros elementos componentes dos sistemas.

Inclui nessa área o estudo da carga mental, tomada de decisões, interação homem-computador e estresse, que segundo Iida (2005), estuda principalmente os sistemas onde os aspectos sensoriais (percepção e processamento de informações) e de tomadas de decisão são predominantes a fim de potencializar o desenvolvimento da informática e da automação industrial, sendo possível avaliar a forma como ocorre a captação de informações, seu armazenamento e o uso no trabalho (processo decisório) para otimização dos processos de trabalho.

Para o processo de trabalho no setor da construção civil, as construtoras devem garantir que os projetos atendam aos requisitos mínimos descritos na NBR 15.575 para alcançar a certificação de nível A do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H, sendo este programa um instrumento do Governo Federal de organização do setor da construção civil que classifica as empresas em níveis de qualidade. Essa certificação é necessária para que as empresas tenham acesso a créditos bancários da Caixa Econômica

Federal e do Banco do Brasil e se insiram no Programa “Minha Casa, Minha Vida” (grande movimentador do setor).

1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

A NBR 15.575 é considerada novidade no meio da construção civil, pois apesar de entrar em vigor em 2013 ela não abrange projetos que tenham sido aprovados antes da sua publicação. Dessa forma, na iminência de sua publicação, houve uma natural aceleração, por parte das empresas, na aprovação de projetos, postergando a aplicação da norma de desempenho para os futuros empreendimentos dessas empresas.

Hoje, pouco mais de 6 anos após entrar em vigor a última edição da norma, as empresas estão precisando se adequar a todos os requisitos trazidos por ela, sendo que está se tornando cada vez mais comum a solicitação dos usuários por laudos de medições dos critérios de avaliação, transformando muitas vezes em problemas judiciais, para as empresas envolvidas, o não cumprimento destes requisitos mínimos normativos.

Essa nova concepção de projeto traz consigo diversas mudanças em toda a cadeia produtiva da construção, partindo inicialmente da ponta do processo, os fornecedores precisam buscar soluções e tecnologias de materiais diferenciadas e que atendam a requisitos de eficiência; para os projetistas (escritórios de arquitetura, de modo geral) cabe conhecer essas novas tecnologias e suas peculiaridades para que os projetos sejam desenvolvidos de fato prontos para execução, com nível de detalhamento alto das soluções tomadas e com memoriais descritivos completos.

Para as construtoras cabe a execução dos projetos, mas também a sintonia com todos os elos dessa cadeia, buscando soluções juntamente com os fornecedores e projetistas, levando em consideração a viabilidade técnica e também os custos envolvidos no processo; por fim está o usuário, que tem como responsabilidades saber operar os sistemas e efetuar manutenções para que estes sistemas atuem da melhor forma possível durante toda a vida útil de projeto.

O processo de simulação na fase de concepção de projetos é uma ferramenta muito valiosa para uma empresa, podem ser testados os sistemas quanto aos requisitos a serem cumpridos e mudanças pontuais podem ser feitas de forma rápida e com custo baixo, desenvolvendo um projeto com um nível de detalhamento maior e mais parecido com o resultado final que se pretende, atendendo aos requisitos de normas, como a de desempenho, e evitando que soluções sejam tomadas durante e depois da execução de serviços, o que gera

custos adicionais de retrabalho com uso de mão-de-obra e material, estresse nas equipes de execução e atrasos nos cronogramas e planejamentos, dado a sucessão de atividades e suas estruturas de dependências.

Um outro ponto a se observar é sobre um termo muito difundido na área da construção civil: construção ou imóvel de alto padrão. Comumente, esse termo é utilizado para caracterizar uma construção ou uma empresa que segue um determinado padrão de execução e que entrega um produto diferenciado nesse mercado, são levados em conta características como a qualidade dos acabamentos finais, personalização de projetos, funcionamento dos sistemas, estética e design. Com a entrada em vigor da norma de desempenho e a elevação do nível de requisitos a serem cumpridos, tem-se mais uma série de fatores a serem observados para que uma empresa ou imóvel realmente se encaixe como de alto padrão e isso se dará de uma forma natural, tendo em vista que a norma é a tradução do que espera o usuário quando adquire esse produto e a mesma traz consigo requisitos de nível superior de atendimento. Assim, espera-se que com a difusão da norma os usuários procurem cada vez mais os seus direitos quanto ao cumprimento da norma e um maior conforto e habitabilidade.

Dessa forma, é de interesse geral a compreensão do que envolve a norma de desempenho de edificações habitacionais, o atendimento aos requisitos por parte das empresas de projeto e execução, o andamento e evolução da sua implantação. Além de uma visão geral desse processo poder identificar as barreiras hoje existentes e abrir espaços para melhorias, com o desenvolvimento de novas tecnologias, pode-se citar também, como possibilidades para melhorias, as oportunidades de mercado para fornecedores e identificação de necessidades de integração da cadeia produtiva.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo representativo para estimativa de desempenho acústico de edificações habitacionais com base na norma de desempenho de edificações habitacionais ABNT NBR 15.575:2013.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Desenvolver um mapeamento da norma ABNT NBR 15575:2013;
- b) Compreender os processos mentais envolvidos na atividade de desenvolvimento dos requisitos normativos apresentados pela NBR 15575, baseado nos conceitos da Ergonomia cognitiva;
- c) Estruturar um modelo representativo para estimativa e simplificação da compreensão dos cálculos para os quatro requisitos de desempenho acústico;
- d) Aplicar o modelo para avaliação do desempenho acústico em uma unidade habitacional;
- e) Propor formas de aperfeiçoamento e adequação do caso para os critérios que apresentarem desempenho inferior aos requisitos mínimos previstos na norma.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ERGONOMIA COGNITIVA

A ergonomia é um campo de estudo que surgiu inicialmente a partir da necessidade de se avaliar as interações de trabalho entre os homens e as máquinas. Hoje em dia, observa-se que houve um desenvolvimento considerável dos campos de atuação da ergonomia, aplicando-se basicamente a todo tipo de atividade humana.

Segundo Iida (2005), a expansão horizontal do campo de estudo da ergonomia se processa principalmente no setor de serviços (saúde, educação, transporte, lazer e outros) e até no estudo de trabalhos domésticos. Esse desenvolvimento está ligado à necessidade do homem de ser produtivo, em qualquer âmbito, e também de buscar a qualidade de vida e saúde em detrimento da execução de atividades antes prejudiciais ao bem-estar e ao conforto dos indivíduos.

A ergonomia hoje se define como o estudo da interação entre homem, máquina e o ambiente que envolve esse sistema, ocorrendo trocas de informações e energias, resultando na realização do trabalho (IIDA, 2005).

Conforme citado por Iida (2005, p.2), a definição mais antiga de ergonomia é a da *Ergonomics Society*, da Inglaterra, onde

Ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e seu trabalho, equipamento, ambiente e particularmente, a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas que surgem desse relacionamento.

A ergonomia se divide em diferentes domínios relacionados às diversas características dos sistemas, como demonstra Iida (2005):

- Ergonomia Física: relacionada às características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica, relacionados com a atividade física, incluindo as posturas no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos;
- Ergonomia Organizacional: relacionada às características de otimização de sistemas, abrangendo as estruturas organizacionais, políticas e processos. Essa área inclui comunicações, projetos de trabalho, programação de trabalho em grupo, trabalho em grupo e cooperativo, cultura organizacional e gestão da qualidade;
- Ergonomia Cognitiva: relacionada aos processos mentais, como a percepção, memória, raciocínio e resposta motora, interações entre as pessoas e outros elementos

componentes dos sistemas. Inclui nessa área o estudo da carga mental, tomada de decisões, interação homem-computador e estresse.

Conhecendo um pouco mais como se divide o estudo da ergonomia, observa-se que há a constante preocupação com o desempenho dos sistemas, buscando eficácia e eficiência, atuando no melhorando de todo o processo, seja nas interações físicas, de cunho organizacional e estrutural ou nas interações sensoriais e cognitivas.

Segundo Iida (2005), no que diz respeito à percepção e processamento de informações, a ergonomia moderna estuda principalmente os sistemas em que os aspectos sensoriais (percepção e processamento de informações) e de tomadas de decisão são predominantes. Esse processo foi potencializado com o desenvolvimento da informática e da automação industrial, e se tornou comum avaliar a forma como ocorre a captação de informações, seu armazenamento e o uso no trabalho (processo decisório).

De acordo com Iida (2005), a memória humana está relacionada com o processo de transformação das sinapses ocorridas no cérebro, e as informações são captadas, filtradas e armazenadas em três níveis de processamento:

- O registro sensorial (sensação e percepção);
- A memória de curta duração (MCD);
- A memória de longa duração (MLD).

O registro sensorial é a forma como se percebe as coisas acontecerem, intimamente relacionado com os sistemas sensoriais de visão, olfato, audição, paladar e o tato. Essa é a primeira interação que se tem com uma informação, onde ocorre a percepção.

Como um computador, o cérebro possui um limite de armazenamento e nem tudo que é percebido vai se tornar uma informação “consultável” nesse banco de dados, o processo de filtração dessas informações ocorre influenciado pelos interesses do indivíduo e também pelas suas emoções.

A memória de curta duração retém as informações por períodos curtos, de 5 a 30 segundos, e está relacionada ao processo de ligar e desligar extremamente rápido dos neurônios (IIDA, 2005). A memória de curta duração também tem seu limite de armazenamento, efetuando trocas rápidas dessas informações armazenadas de curto prazo, significando na perda de muitas informações quando não há interesse relativo ou não representa algo importante para o cérebro.

A memória de longa duração ou de longo prazo, segundo Iida (2005), é aquela que retém informações por um tempo maior e está associada a modificações na estrutura da célula nervosa (diferentemente do que ocorre na MCD). A capacidade de armazenamento da MLD é muito maior do que a MCD, pode-se observar isso quando ocorre a busca de um número de telefone armazenado há anos atrás ou quando se faz a ligação do nome de alguma pessoa, que não vê há muito tempo, com seu aspecto físico

De acordo com Iida (2005, p.262), o comum processo de esquecimento é explicado da seguinte forma

Esquecimento é a incapacidade de recuperar informações memorizadas. Isso decorre do “arquivamento” da informação na “pasta” errada. Quando isso ocorre, não conseguimos localizar a informação correta na memória.

Observa-se então, que o processo de esquecimento ocorre de uma falha de armazenamento das informações, uma vez que no dia-a-dia há uma carga mental elevada de sensações, percepções e informações a serem processadas, e nem sempre há um interesse demonstrado por essas informações, ou até mesmo ocorre involuntariamente uma não correlação de informações, ou seja, o que junto poderia fazer sentido separadamente pode não representar relevância para que justifique o arquivamento.

O aperfeiçoamento da memória é um processo que acontece muitas vezes de forma inconsciente, por exemplo, quando busca-se memorizar um telefone não se pensa em nove números em sequência, a maioria das pessoas junta esses números em conjuntos de dois ou três números, facilitando o processo de memorização. Esse processo se chama de agrupamento e é citado por Iida (2005) como uma ferramenta de aperfeiçoamento da memória de curta duração, juntamente com outras ferramentas:

- Fazer agrupamento: o agrupamento aumenta a capacidade da MCD, porque cada grupo ocupa apenas uma posição da memória.
- Usar letras no lugar de números: o uso de letras no lugar de números facilita a memorização porque elas têm mais chance de se relacionar entre si, formando conjuntos com algum significado.
- Fazer diferenciação: características próprias distintas e bem diferenciadas entre si, são mais facilmente memorizadas, porque correm menor risco de haver uma confusão quando há muita semelhança.

- Verbalizar: Informações apresentadas verbalmente são mais facilmente retidas pela MCD do que apresentadas apenas visualmente.

Quanto ao aperfeiçoamento da memória de longa duração, pode-se aplicar técnicas simples:

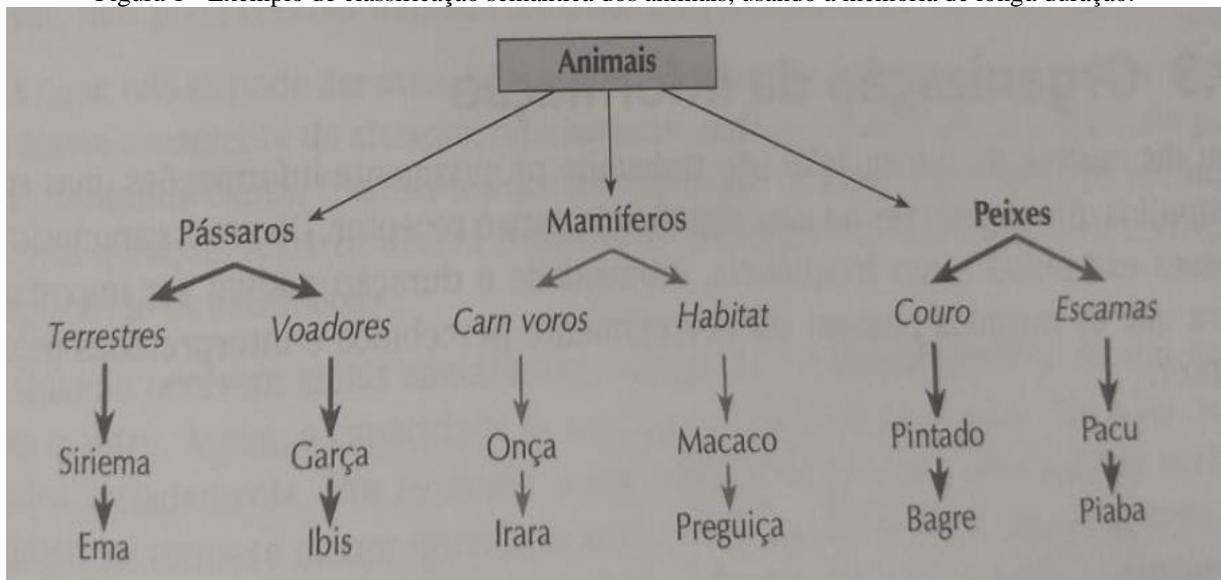
- Construir redes neurais: a MLD é de natureza semântica-associativa, ou seja, conectam-se pelos seus significados. A memória se organiza em uma série de nós de uma rede, que associam palavras com conceitos;

- Usar informações-chaves: as informações podem ser classificadas por grupos semânticos, colocando-as em categorias ou classes já existentes na memória de longa duração;

- Construir imagens visuais: associar os itens com imagens visuais, que são disponíveis em grande número e variedade na memória de longa duração, criando associações novas.

A Figura 1 é um exemplo de uso das ferramentas de aperfeiçoamento da memória para a memória de longa duração.

Figura 1 - Exemplo de classificação semântica dos animais, usando a memória de longa duração.



Fonte: Iida (2005).

Pode-se observar que o cérebro humano tem um modo de operação específico e lógico, e podem ser usados truques para que se potencialize o seu uso e se obtenha resultados mais alinhados às necessidades.

Os conceitos trazidos nesta seção, referente a ergonomia cognitiva, unem-se aos conceitos presentes na seção de mapas mentais e indicando que se explore as capacidades mentais utilizando-se das características e do funcionamento do cérebro da forma mais adequada. No processo de educação e de aprendizado, as ferramentas de memorização são excelentes aliadas, agregando qualidade ao processo, diminuindo o tempo de aprendizado, garantindo que haja maior conversão das percepções e sensações em informações e maior “arquivamento” de informações relevantes na memória de longa duração.

2.2 MAPAS MENTAIS

Segundo Buzan (2009), os mapas mentais são ferramentas de aprendizado que auxiliam a estruturar o pensamento da forma como o processo mental se dá naturalmente, realizando essa transcrição para facilitar a compreensão, efetuar a organização de ideias e agilizar processos de tomadas de decisão.

De acordo com Buzan (2009), o cérebro possui o Pensamento Radiante (*Radiant Thinking*), possuindo cinco funções principais:

- Recepção: recebimento de informações por meio dos sentidos;
- Armazenamento: o cérebro retém e guarda a informação e consegue acessá-la quando é solicitado (nem sempre é perceptível);
- Análise: reconhecimento de padrões e organização de um modo que faça sentido: efetuando investigação dos dados e questionando seu significado;
- Controle: uso de diferentes métodos para controlar o modo como são gerenciadas as informações, dependendo do estado de saúde, comportamento e do ambiente de vivência;
- Expressão: utilização de pensamentos, fala, desenhos, movimentos e outras formas de manifestação criativa, para expressar as informações que recebe.

Um mapa mental é construído levando em consideração essas funções citadas, ajudando no processo de armazenamento de informações e facilitando o acesso a essas informações quando requisitado, como ocorre com uma ferramenta de buscas em um banco de dados.

Assim como o cérebro, os mapas mentais partem de uma ideia principal. Segundo Buzan (2009), o mapa mental começa com um conceito central e se expande de dentro pra fora englobando os detalhes, dessa forma uma série de vantagens são apresentadas, dentre elas:

- A ideia principal é definida com mais nitidez;
- A importância relativa de cada ideia é especificada claramente;
- As ligações com os conceitos-chave são identificadas com facilidade, estimulando a associação de ideias e sentidos;
- A revisão das informações é eficiente e rápida.

A hierarquização de ideias contribui para o fortalecimento e memorização de informações e a utilização de palavras-chave e agrupamentos de informações facilitam e instigam o cérebro a buscar no seu banco de dados o que é necessário em determinados momentos.

Dessa forma, entende-se que toda ferramenta que auxilie no processo de memorização e acesso das informações armazenadas no grande banco de dados que é o cérebro humano, diminui os esforços despendidos na realização de tarefas e conseqüentemente aumentam a produtividade de quem realiza essas atividades.

2.3 ACÚSTICA

Segundo Bistafa (2006), a Acústica é o estudo do som, incluindo sua geração, transmissão e efeitos. Esse segmento de estudo abrange diversas áreas, desde a biociência até a engenharia.

O estudo científico dos efeitos sonoros pertence ao ramo da física acústica na parte material, ou seja, na formação e propagação dos sons, ruídos, impactos e vibrações, enquanto a psicoacústica trata da percepção e identificação dos sons pelos sentidos.

Por sua vez, o estudo das ondas explica como ocorre a propagação do som dos emissores até os receptores, através dos meios materiais fundamentais para a sua existência. A seguir estão apresentadas as características e propriedades mais importantes do estudo da ondulatória para o entendimento básico desse fenômeno.

2.3.1 Onda Sonora

O som é caracterizado por uma flutuação de pressão em um meio compressível. Para tal, a geração de ruído é causada pela variação de pressão ou de velocidade das moléculas em

um meio (GERGES, 2000). Segundo Halliday *et al.* (2008), as ondas sonoras são ondas mecânicas, governadas pelas leis de Newton e existem apenas em um meio material, como a água, o ar ou as rochas, não se propagando dessa forma no vácuo. Deste modo, para sua propagação, a onda necessita de meios, como os materiais utilizados nas edificações e o próprio ambiente do habitáculo, conforme estuda-se nesse trabalho.

2.3.2 Frequência e Período

A frequência de uma onda, segundo Halliday *et al.* (2009), é o número de oscilações por unidade de tempo, sendo medida em Hertz ou seus múltiplos, como, por exemplo, o quilohertz. O período de uma onda, por sua vez, é medido em segundos, e caracteriza-se por ser o tempo que um elemento leva para realizar uma oscilação completa. Dessa forma percebe-se que frequência e período são o inverso um do outro.

A frequência é a característica que permite a distinção de sons agudos e graves, estando relacionada com a quantidade de vibrações ou ciclos que uma onda sonora realiza por segundo.

2.3.3 Amplitude e Comprimento de Onda

O comprimento de onda, para Halliday *et al.* (2009), define-se pela distância (paralela à direção de propagação da onda) entre repetições da forma de onda. Já a amplitude é a medida do deslocamento máximo dos elementos a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por eles. A amplitude da onda é a característica que permite distinguir um som fraco de um som forte, estando relacionada com a pressão que a onda sonora causa no meio de propagação.

2.3.4 Velocidade de onda

Segundo Halliday *et al.* (2009), a velocidade de onda é definida como um comprimento de onda por período; a onda se desloca de uma distância igual a um comprimento de onda em um período de oscilação.

2.3.5 Escala de Decibel

Segundo Halliday et. al. (2009), a amplitude de deslocamento no interior do ouvido humano varia cerca de 10^{-5} m, para o som mais alto tolerável, a cerca de 10^{-11} m, para o som mais fraco detectável, resultando em uma razão de 10^6 . A intensidade de uma onda ainda é proporcional ao quadrado da amplitude, logo a razão entre as intensidades dos limites inferior e superior do sistema auditivo humano é de 10^{12} . Isso significa que os seres humanos podem ouvir em uma enorme faixa de intensidade.

Para que seja possível lidar com uma variada faixa de valores, buscou-se os logaritmos, relacionando assim a intensidade de uma onda sonora com uma escala de nível sonoro β , definida por:

$$\beta = (10\text{dB})\log\frac{I}{I_0} \quad (1)$$

A medida de β aumenta em 10 dB, toda vez que a intensidade sonora de uma ordem de grandeza (fator de 10). Assim $\beta = 40$ corresponde a uma intensidade 10^4 maior que a intensidade de referência.

De acordo com Gerges (2000), 1 dB é a menor variação que o ouvido humano pode perceber, além disso um acréscimo de 6 dB no nível de pressão sonora equivale a dobrar a pressão sonora.

2.3.6 Ruídos

De acordo com Fellenberg (1980 apud TONDO, 2014), as ondas sonoras das mais variadas fontes estão presentes continuamente no ambiente urbano. O som caracterizado por estas ondas, sempre que indesejado, é considerado como ruído. Esta classificação, entretanto, é subjetiva, o que dificulta uma interpretação precisa da poluição sonora. Dessa forma pode-se pensar no ruído como todo som que traz algum tipo de perturbação para quem percebe, seja ela física ou psicológica.

Segundo Gerges (2000), os ruídos ambientais têm efeito sobre a vida dos seres humanos e afetam também a sua saúde de diversas formas. Problemas como perda auditiva,

interferência na comunicação, transtorno do sono, estresse, fadiga mental, queda de rendimento em atividades, são presentes em ambientes com elevados níveis de ruído.

Conforme citado por Takahashi (2016), a Organização Mundial da Saúde recomenda que em áreas residenciais o nível de ruído não ultrapasse o nível sonoro equivalente (L_{eq}) de 55 dB(A). Além disso, estipula que o nível sonoro equivalente de até 50 dB(A) pode perturbar, mas o organismo ainda consegue se adaptar, diferentemente do nível de 55 dB(A) onde já pode haver ocorrência de estresse leve e desconforto.

Contudo, segundo Bistafa (2006), não se busca a completa eliminação do ruído, pois além de ser caro, pode ser perturbador, pois necessita-se de algum ruído para evitar a sensação de total privação, que torna a audição sensível, podendo gerar problemas.

A NBR 15.575, segundo a ABNT (2013a), trabalha de modo a incentivar o uso de técnicas e sistemas de isolamento acústico, de modo a impedir ou diminuir que os ruídos externos (ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional) e internos (entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes) sejam um incômodo para os usuários. A criação de barreiras isolantes nas vedações, estruturas, pisos, coberturas e sistemas hidrossanitários, que atuam na proteção dos ambientes e na diminuição da propagação das ondas sonoras pelos sistemas estruturais e de vedação das edificações tem sido oportuna para dirimir os problemas com ruídos e aumentar o desempenho acústico nas edificações.

Nesse contexto, a norma estipula, por meio de tabelas, parâmetros de comparação de níveis de desempenho acústico requeridos com níveis obtidos em medições, utilizando a escala de decibéis como referência.

2.3.7 Propagação de Ruídos

A energia sonora pode ser transmitida tanto pelo ar, quanto pelos meios sólidos, como as paredes e estruturas presentes nas edificações. Dentro dos requisitos da norma de desempenho há itens correspondentes à propagação de ruídos pelas vias aéreas, de forma direta e por meios sólidos, e também a propagação de ruídos de impacto nos sistemas de pisos de unidades habitacionais autônomas.

Segundo Gerges (2000), os ruídos de impacto são causados por contato ou atrito mecânico de um corpo sobre outro. Pode-se imaginar a imagem clássica de uma pessoa

caminhando com sapatos de salto alto num andar superior, enquanto no andar inferior esse ruído é perceptível e até mesmo amplificado, gerando incômodo aos usuários.

As ondas de impacto podem percorrer distâncias elevadas sem sofrer atenuação. De acordo com Gerges (2000), isso ocorre devido aos altos valores de densidade e velocidade do som nos materiais sólidos. As edificações habitacionais são, em grande parte, construídas com estruturas de concreto armado, ou seja, com vigas, pilares e lajes de concreto com aço, ou até mesmo com estruturas de aço, permitindo que esse efeito de transmissão ocorra, uma vez que a energia procura trajetórias mais fáceis de propagação.

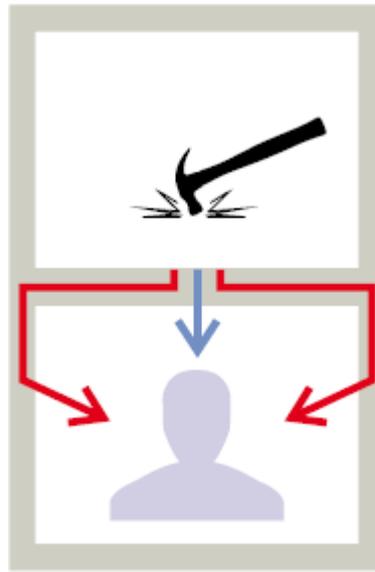
A diminuição dos efeitos causados pelos ruídos de impacto se dá quando logicamente há alguma interrupção na propagação das ondas de impacto. A introdução de camadas de materiais com características distintas às estruturas é uma possível solução. Segundo Gerges (2000), o isolamento acústico de impacto pode ser feito por piso flutuante, que consiste basicamente na introdução de material resiliente entre a laje estrutural e o contrapiso, funcionando como um sistema massa-mola.

Para entender melhor como se dá o processo de transmissão de ruídos de impacto nas estruturas, pode-se observar a Figura 2, que demonstra um sistema composto por um recinto emissor de ruído, sobreposto a um recinto receptor de ruído, representando unidades habitacionais autônomas, separados por um sistema de piso e vedados verticalmente por paredes de vedação interna.

As transmissões de ruídos de impacto que ocorrem nesse sistema são 5 e se dividem da seguinte forma:

- Transmissão Direta (1): ruídos que atravessam diretamente a estrutura de vedação entre os recintos;
- Transmissão Indireta (4): ruídos que são transmitidos pelas estruturas de contorno dos recintos e atingem o recinto receptor, partindo do sistema de piso de separação entre os recintos e descendo pelos flancos laterais dos recintos receptores;

Figura 2 - Vias de Transmissão de Ruídos de Impacto



Fonte: Proacústica (2013).

O outro tipo de propagação observada é a propagação aérea do som. No ar livre, deve-se observar os fatores que influenciam nesse fenômeno. Segundo Gerges (2000), a distância percorrida, barreiras, absorção atmosférica, variação de temperatura e efeito do vento, são fatores que influenciam diretamente nessa ocorrência, devendo ser observados juntamente com as fontes sonoras.

Nos ambientes fechados também há fatores que devem ser considerados e que têm influência nos efeitos sonoros. Pode-se pensar em fenômenos já conhecidos no dia-a-dia das pessoas, como o eco e a reverberação (que mesmo não sendo conhecida pelo nome propriamente dito, está presente inconscientemente), para perceber que certos fatores transformam a maneira como o som é percebido. De acordo com Bistafa (2006), o campo acústico no interior de recintos é uma combinação do som que provém diretamente da fonte, com o som que é refletido pelas superfícies que delimitam o recinto. Gerges (2000) ainda cita que a forma geométrica do ambiente, absorção acústica, reflexões e difrações das paredes e elementos internos, efeitos de abertura no ambiente e posição das fontes, influenciam no efeito sonoro.

Segundo Meisser (1973), quando uma onda sonora incide sobre uma superfície são produzidos reflexão sobre a superfície com parte da energia transportada pela onda, e transmissão pela superfície com a outra parte da energia. Do ponto de vista da percepção de ruídos sobre um recinto receptor, preocupa-se com a transmissão de ruídos diretos que

atravessam as estruturas de separação de recintos, bem como toda energia que chega ao recinto transmitida pelas estruturas e contornos do local em estudo.

Dentro dos efeitos de transmissão sonora estão presentes as chamadas Transmissões Secundárias, que representam boa parte do nível de ruído percebido em recintos receptores. De acordo com Meisser (1973), uma pequena quantidade de energia absorvida por uma parede no momento da incidência da onda, faz com que a estrutura vibre, convertendo assim em uma fonte de ruído, radiando com a mesma frequência do som incidente, mas com um nível mais baixo.

Com o embasamento demonstrado até aqui, pode-se adotar um sistema como o trazido na Figura 3, composto por um recinto gerador de ruídos e um recinto receptor, estes recintos possuem sistemas de pisos que fazem a vedação superior e inferior e sistemas de vedação externas ou internas que fazem a vedação vertical, além de uma parede divisória comum entre os recintos. As ondas são emitidas dos sistemas geradores de ruídos tridimensionalmente, atingindo todas as partes de composição dos recintos citadas anteriormente, e se propagam pelas estruturas atingindo o recinto receptor desses ruídos.

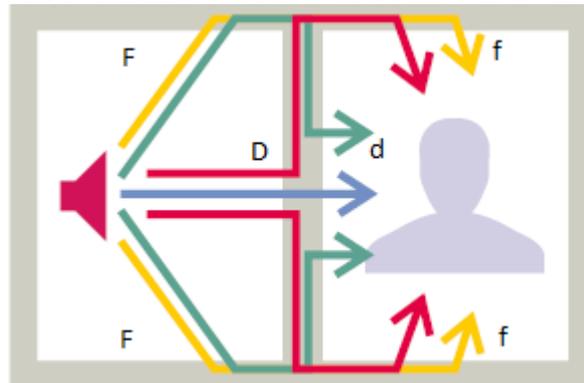
Segundo Proacústica (2013), são 13 as vias de transmissão para os ruídos aéreos e se dividem da seguinte forma:

- Transmissão Direta (1): ruídos que atravessam diretamente a estrutura de vedação entre os recintos;
- Transmissão Indireta (12): ruídos que são transmitidos pelas estruturas de contorno dos recintos e atingem o recinto receptor;

As transmissões indiretas ainda podem ser divididas de acordo com o caminho que tomam até a chegada no recinto receptor, utilizando-se dos flancos (paredes e estruturas de pisos) e da parede de vedação (direta):

- Transmissão Flanco-Flanco (4): ruídos que saem do ambiente emissor pelos Flancos Emissores (F) e chegam no ambiente receptor pelos Flancos Receptores (f);
- Transmissão Flanco-Direta (4): ruídos que saem do ambiente emissor pelos Flancos Emissores (F) e chegam no ambiente receptor pela Divisória Direta (d);
- Transmissão Direta-Flanco (4): ruídos que saem do ambiente emissor pela Divisória Direta (D) e chegam no ambiente receptor pelos Flancos Receptores (f);

Figura 3 - Vias de transmissão de ruídos aéreos em recintos vizinhos laterais

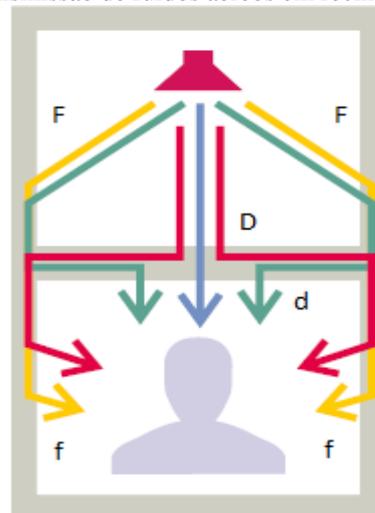


Fonte: Adaptado de Proacústica (2013).

A Figura 3 traz a representação da transmissão direta e das seis transmissões indiretas que ocorrem nos flancos laterais e na divisória central, dessa forma deve-se ter a mesma lógica para os outros dois flancos (superiores e inferiores) de composição dos recintos, obtendo assim as treze vias de transmissão de ruídos aéreos pelas estruturas.

O mesmo ocorre quando há dois recintos sobrepostos e separados por um sistema de piso e vedados lateralmente por paredes de vedação interna, conforma a Figura 4. Nessa configuração também são 13 as vias de transmissão de ruídos aéreos, o que muda em relação ao sistema anterior são os flancos e a divisória, no primeiro sistema dois flancos são paredes de vedação interna, dois flancos são sistemas de piso e a divisória é uma parede de divisão interna, enquanto no segundo sistema os quatro flancos são paredes de vedação interna e a divisão é feita pelo sistema de piso.

Figura 4 – Vias de transmissão de ruídos aéreos em recintos vizinhos sobrepostos



Fonte: Adaptado de Proacústica (2013).

2.4 NORMA DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES - NBR 15.575

A norma de desempenho é um documento composto por 6 partes, trazendo os métodos de aplicação dos critérios de avaliação dos requisitos de desempenho e os parâmetros de comparação e classificação para os valores obtidos em medições realizadas. Cada parte da norma é específica para um sistema componente da edificação, exceto a primeira parte que trata dos requisitos gerais da norma.

2.4.1 Parte 1 – Requisitos gerais

A parte 1 ou NBR 15.575-1, segundo ABNT (2013a), “estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos”.

De acordo com ABNT (2013a), esta parte da norma traz critérios que podem exercer influência um sobre o outro, como desempenho acústico (requer uma vedação fechada) e desempenho de ventilação (requer uma vedação aberta), logo, os critérios devem ser todos atendidos de forma individual e isoladamente.

A norma de desempenho se refere a critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, tendo esse estudo foco no que diz respeito ao desempenho acústico das edificações, tomado como o problema mais comum e presente nos projetos de edificações e mais facilmente identificado pelos usuários.

São listados todos os referenciais normativos (brasileiros e internacionais) que dão suporte à norma de desempenho, além dos termos e definições adotadas no texto, que serão importantes para o entendimento. Com relação ao desempenho acústico pode-se selecionar as seguintes normas utilizadas como referências diretas de apoio:

- ABNT NBR 10151, Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento;
- ABNT NBR 10152, Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento;
- ISO 10052 *Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method*;
- ISO 16032 *Acoustics – Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings – Engineering method*.

Quanto aos termos e definições aplica-se o uso dos seguintes, segundo a ABNT (2013a):

Componente: unidade integrante de determinado sistema de edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas (por exemplo, bloco de alvenaria, telha, folha de porta);

Condições de exposição: conjunto de ações atuantes sobre a edificação habitacional, incluindo cargas gravitacionais, ações externas e ações resultantes da ocupação;

Construtor: pessoa física ou jurídica, legalmente habilitada, contratada para executar o empreendimento de acordo com o projeto e em condições mutuamente estabelecidas;

Crítérios de desempenho: especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis a fim de que possam ser objetivamente determinados;

Desempenho: comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas;

Elemento: parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (por exemplo, parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura);

Empresa especializada: organização ou profissional liberal que exerce função na qual são exigidas qualificações e competência técnica específica;

Especificações de desempenho: conjunto de requisitos e critérios de desempenho estabelecidos para a edificação ou seus sistemas. As especificações de desempenho são uma expressão das funções requeridas da edificação ou de seus sistemas e que correspondam a um uso claramente definido;

Fornecedor: organização ou pessoa que fornece um produto (por exemplo, produtor, distribuidor, varejista ou comerciante de um produto ou prestador de um serviço ou informação);

Garantia legal: direito do consumidor de reclamar reparos, recomposição, devolução ou substituição do produto adquirido, conforme legislação vigente

Garantia contratual: condições dadas pelo fornecedor por meio de certificado ou contrato de garantia de reparos, recomposição, devolução ou substituição do produto adquirido;

Incorporador: pessoa física ou jurídica, comerciante ou não, que, embora não efetuando a construção, compromisse ou efetive a venda de frações ideais de terreno, objetivando a vinculação de tais frações a unidades autônomas, em edificações a serem construídas ou em construção sob regime condominial, ou que meramente aceita propostas para

efetivação de tais transações, coordenando e levando a termo incorporação e responsabilizando-se, conforme o caso, pela entrega em certo prazo e preço e determinadas condições das obras concluídas;

Norma de desempenho: conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em requisitos do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes;

Requisitos de desempenho: condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos do usuário;

Requisitos do usuário: conjunto de necessidades do usuário da edificação habitacional e seus sistemas, tecnicamente estabelecidas nesta parte da ABNT NBR 15575;

Sistema: maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a atender a uma macrofunção que o define (por exemplo, fundação, estrutura, pisos, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura);

Usuário: proprietário, titular de direitos ou pessoa que ocupa a edificação habitacional;

Vida útil (VU): período de tempo em que o edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos desta Norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção (a vida útil não pode ser confundida com prazo de garantia legal ou contratual);

Vida útil de projeto (VUP): período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção (a VUP não pode ser confundida com o tempo de vida útil, durabilidade e prazo de garantia legal ou contratual).

Ainda são apresentados os requisitos do usuário, que são a tradução das necessidades do usuário. Segundo ABNT (2013a) “Sendo atendidos os requisitos e critérios estabelecidos nesta Norma, considera-se para todos os efeitos que estejam atendidos os requisitos do usuário”. Estes requisitos são divididos em três grupos:

1 - Segurança:

- Segurança estrutural;
- Segurança contra fogo;
- Segurança no uso e na operação;

2 - Habitabilidade:

- Estanqueidade;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;
- Desempenho lumínico;
- Saúde, higiene e qualidade do ar;
- Funcionalidade e acessibilidade;
- Conforto tátil e antropodinâmico.

3 - Sustentabilidade:

- Durabilidade;
- Manutenibilidade;
- Impacto ambiental.

O foco desse estudo é o Requisito de Desempenho Acústico, compreendido no grupo de itens relativos à Habitabilidade.

Os níveis de desempenho dos sistemas avaliados são em toda a norma divididos em três: o nível (M) é atribuído quando se cumprem os requisitos mínimos de desempenho, além dos níveis complementares (I) intermediário e (S) superior, que trazem faixas superiores de cumprimento.

A norma define, segundo ABNT (2013a), o que cabe a cada um dos intervenientes do processo. Os fornecedores de insumo, material, componente e/ou sistema são responsáveis por caracterizar o desempenho de acordo com a Norma, ou até em normas estrangeiras, quando não houver normas específicas brasileiras. Aos projetistas fica a responsabilidade de definir a vida útil de projeto (VUP) de cada sistema componente, especificar materiais, produtos e processos que desempenhem ao menos o mínimo constante na norma.

Aos incorporadores cabe identificar os riscos previsíveis na época de projeto e providenciar estudos técnicos para os projetistas; aos construtores e/ ou incorporadores cabe elaborar manual de uso, operação e manutenção, constando o que deve ser feito para manter os sistemas funcionando em perfeito estado; por fim, o usuário fica responsável pela realização de manutenção de acordo com o que consta na ABNT NBR 5674 (Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção), além de ficar proibido de realizar mudanças que prejudiquem o desempenho original.

Dos capítulos 7 ao 17 desta primeira parte da norma são trazidos os diversos sistemas componentes das edificações com seus requisitos e critérios a serem atendidos. A sequência de capítulos se repete para todas as partes da Norma, sendo assim o capítulo correspondente ao item Desempenho Acústico é o de número 12, onde pode-se realizar consulta e verificar os requisitos em cada parte da Norma sempre no mesmo capítulo de referência.

Como requisitos gerais de Desempenho Acústico previstos na norma, as edificações habitacionais devem oferecer isolamento acústica das vedações externas, isolamento acústica entre ambientes e contra ruídos de impactos. Em relação as vedações externas, deverá obter-se o mínimo de desempenho com relação a fontes normalizadas de ruídos externos aéreos, quanto aos ambientes internos deverá obter-se condições de isolamento entre áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas, e os ruídos de impacto são fontes padronizadas.

Os métodos de avaliação são análises de projeto, construção, montagem e atendimentos aos ensaios previstos nas partes seguintes desta mesma Norma.

Por fim, o anexo E.5 da parte 1 já traz o primeiro procedimento de Desempenho Acústico, sobre ruídos gerados por equipamentos prediais, englobando equipamentos de uso coletivo ou acionados por terceiros, que não o próprio usuário da unidade habitacional a ser avaliada.

2.4.2 Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais

A parte de requisitos estruturais, quanto ao desempenho acústico faz referência à parte 1 de requisitos gerais, não agregando informações adicionais no que diz respeito a esses sistemas.

2.4.3 Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos

Os requisitos referentes aos sistemas de pisos contêm níveis máximos de ruídos admitidos na habitação. Um dos critérios de avaliação é o Ruído de Impacto em Sistema de Pisos, que avalia o som resultante de ruídos de impacto entre unidades habitacionais, como a queda de objetos no chão, caminhamento, entre outros. O outro critério de avaliação é referente aos Ruídos Aéreos provenientes de conversas, aparelhos de TV e demais sons.

São utilizados os métodos descritos nas ISO 140-7 e ISO 717-2 para caracterização do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado em sistemas de piso e ISO 140-4 para o isolamento de ruídos aéreos (para os métodos de engenharia), e para o método simplificado de campo é utilizada a ISO 10052.

As tabelas 6 e 7 da norma, trazem os critérios de avaliação para as diferenças padronizadas de nível ponderado, de acordo com as características do sistema de piso (presença de dormitórios, corredores, escadarias, separação de habitações autônomas, etc.).

O anexo E da norma, apresenta os níveis de desempenho e valores correspondentes para os sistemas de piso, onde os valores obtidos em medições são comparados, caracterizando o nível de cumprimento do sistema.

As medições são feitas conforme o sistema é entregue pela empresa construtora, mantendo as características do piso e as portas e janelas fechadas, definindo assim o nível de pressão sonora padrão ponderado e comparando com os valores descritos nas tabelas de desempenho constantes na norma.

2.4.4 Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE

Esta parte da norma trata dos requisitos, critérios e métodos de avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais e externa. São considerados para avaliação as divisórias entre meios externos e internos, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns.

Os métodos de medição utilizados estão descritos nas normas de referência, para métodos de engenharia realizados em campo: ISO 140-5 para isolamento sonoro global da vedação externa (fachada), ISO 140-4 para isolamento global da vedação interna entre unidades

autônomas e entre unidade e áreas comuns. Também é apresentado o método simplificado de campo descrito pela ISO 10052.

A Tabela 17 da norma, apresenta os valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderado $D_{2m,nT,w}$ da vedação externa de dormitórios, classificando também a edificação de acordo com as fontes de ruídos externos presentes.

A Tabela 18 da norma, traz os valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$ entre ambientes, classificando as paredes de acordo com suas características e os tipos de ambientes que estão dividindo.

O Anexo F.6 traz os níveis de ruído permitidos na habitação. A Tabela F.8 apresenta valores, obtidos através de estudos, para a inteligibilidade da fala em um recinto adjacente em função do isolamento e níveis de ruído.

A Tabela F.9 apresenta as classificações de desempenho de acordo com as classes de ruído de ensaios de campo, para vedações externas, enquanto a Tabela F.10 trata da mesma classificação para divisórias de ambientes.

Por fim são apresentadas as tabelas F.11 e F.12 com os valores de referência para os índices de redução sonora ponderado R_w para as fachadas e componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes, respectivamente.

2.4.5 Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas

Quanto ao atendimento dos requisitos acústicos dos sistemas de cobertura, tem-se a incidência de ruídos aéreos do conjunto de fachadas e coberturas de edificações e também a incidência de ruídos de impacto causados pelo uso da cobertura, quando se está sob alguma área acessível e de uso coletivo, como ocorre com salões de festas, piscinas e academias situadas na cobertura de edificações.

São utilizados os métodos descritos nas ISO 140-5 e ISO 140-7 para isolamento de ruído aéreo e ruído de impacto em piso, respectivamente, para o método de engenharia realizado em campo. O método simplificado de campo para os dois requisitos está descrito na norma ISO 10052.

A Tabela 7 da norma traz os valores mínimos de desempenho das vedações externas de acordo com a classificação dos níveis de ruído externos, que dependem do local onde a edificação está localizada e das regras adotadas pelas prefeituras municipais, normalmente constantes nos planos diretores das cidades.

A Tabela 8 da norma apresenta o nível de pressão sonora de impacto padronizada ponderado para coberturas acessíveis de uso coletivo.

Por fim, e como complemento desta parte da norma, os anexos I.5 e I.6 da norma trazem as faixas de desempenho para classificação, com as medições de diferenças padronizadas de níveis de ponderação das vedações externas e níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado para ensaios de campo.

2.4.6 Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidrossanitários

Esta parte da norma de desempenho apresenta valores de níveis de desempenho desejados na utilização de equipamentos prediais instalados nas dependências das edificações, em caráter educativo, sendo que o cumprimento destes requisitos não é obrigatório.

São apresentados os métodos de engenharia em campo e o método simplificado de campo, para medição dos níveis de pressão sonora de equipamentos prediais hidrossanitários e as tabelas de referências dos níveis de atendimento para os valores contínuos obtidos em medição e para os valores máximos identificados.

Não se aplicam equipamento individuais acionados pelos próprios usuários, como caixa d'água, trituradores de alimentos, etc., sendo só considerados equipamentos de uso coletivo ou acionado por terceiros.

2.4.7 Parâmetros e métodos de caracterização utilizados

São adotados parâmetros de medições e unidades de medida para os requisitos presentes na norma. Para o requisito de Desempenho de Ruído de Impacto o parâmetro de referência é o $L_{nT,w}$: nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado. Esse valor é um limite de pressão sonora que não deve ser atingido, dessa forma procura-se obter valores baixos nessas medições, quanto menor o valor maior o nível de desempenho do sistema nesse requisito.

Para o requisito de Desempenho de Ruído Aéreo, são utilizados os parâmetros de referência: $D_{nT,w}$: diferença padronizada de nível ponderada (para as vedações verticais internas) e o $D_{2m,nT,w}$: diferença padronizada de nível ponderada a dois metros de distância (para as vedações verticais externas). Esses valores não são limites como o parâmetro citado

anteriormente, são medidas de diferença entre o local de estudo e as fontes de ruído, dessa forma busca-se uma maior diferença das fontes de ruído.

Os elementos componentes dos sistemas, como as paredes de vedação interna, paredes de vedação externa, sistemas de pisos e esquadrias, possuem também um desempenho individual que pode ser obtido em laboratório. O R_w é o índice de redução de ruído ponderado, esse valor representa o quanto essas instalações bloqueiam a passagem de ruídos, e apresentam normalmente valores superiores aos obtidos em medições de campo, devido às condições de contorno do laboratório serem mais controladas do que em campo.

O método de caracterização de ruído de impacto consiste no ruído percebido no ambiente receptor quando é ativada uma fonte normalizada de impactos (*Tapping Machine*) no piso em observação.

Para a caracterização de ruídos aéreos em sistemas de pisos e vedações são utilizados aparelhos emissores de som, com as vedações e pisos atuando de modo isolante e reduzindo o ruído percebido. A partir disso, pode-se caracterizar o nível ou a capacidade de redução da propagação e percepção de ruídos dos sistemas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar os procedimentos metodológicos de pesquisa adotados para o desenvolvimento deste trabalho.

Primeiramente foi necessário efetuar o mapeamento do procedimento de uso da norma de desempenho em relação aos requisitos de projeto relacionados ao desempenho acústico, conhecendo os requisitos abordados por ela e os níveis de desempenho a serem alcançados para seu cumprimento, de acordo com cada requisito.

Após o levantamento inicial, foi estudado e incorporado ao desenvolvimento um dos conceitos fundamentais dos modelos mentais - a organização para a facilitação do aprendizado, baseado nos conceitos da Ergonomia cognitiva, com enfoque nos requisitos da norma de desempenho.

A proposta de um modelo estruturado de simulação para o desempenho acústico e cumprimento dos requisitos da norma de desempenho, partiu do conhecimento de uma norma internacional de estimação de desempenho acústico de edificações, aliado aos conceitos de modelos mentais e de ergonomia cognitiva, criando dessa forma uma estruturação lógica para as características relevantes para o cálculo do desempenho acústico dos sistemas de pisos, vedações internas e externas.

O modelo de simulação foi aplicado a um projeto real, retornando o desempenho de uma unidade habitacional aos quatro requisitos de acústica presentes na norma de desempenho.

Por fim são propostas formas de otimização do projeto, no que diz respeito à adequação aos níveis de desempenho e cumprimento da norma.

3.1 MAPEAMENTO DO PROCEDIMENTO DE USO DA NORMA 15.575

A norma de desempenho das edificações, no que se refere ao desempenho acústico, faz referência a quatro requisitos obrigatórios que devem ser atendidos pela edificação para que esteja em cumprimento da norma, são eles:

- Desempenho acústico dos sistemas de vedações verticais externas (SVVE - fachadas);
- Desempenho acústico de ruído aéreo dos sistemas de vedações verticais internas;
- Desempenho acústico de ruído aéreo dos sistemas de pisos;
- Desempenho acústico de ruído de impacto dos sistemas de pisos.

São apresentados, no decorrer do texto da NBR 15575, valores de referência para duas situações distintas, valores de medições realizadas em campo e valores de medições realizadas em laboratório.

Este trabalho irá considerar as tabelas de referência dos valores de medições realizadas em campo, pois em laboratório os valores de desempenho tendem a serem maiores, devido ao ambiente controlado e maior nos procedimentos de instalação de sistemas e componentes de sistemas.

3.1.1 Desempenho Acústico dos Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE - Fachadas)

O primeiro requisito de avaliação é referente aos sistemas de vedações verticais externas, também chamados de fachadas das construções. Segundo a ABNT (2013d), deve-se propiciar condições mínimas de desempenho acústico da edificação, com relação a fontes normalizadas de ruídos externos aéreos.

Esse requisito é abordado pela parte número 4 da norma, a NBR 15575-4.

O parâmetro a ser verificado no que diz respeito às vedações externas consta na Tabela 16 da norma (Figura 5). É ele o $D_{2m,nT,w}$, diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada.

Figura 5 - Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de redução sonora ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados

NOTA Como as normas ISO referenciadas não possuem versão em português, foram mantidos os símbolos nelas consignados com os seguintes significados:
 R_w – índice de redução sonora ponderado (*weighted sound reduction index*).
 $D_{nT,w}$ – diferença padronizada de nível ponderada (*weighted standardized level difference*).
 $D_{2m,nT,w}$ – diferença padronizada de nível ponderada a 2 m (*weighted standardized level difference at 2 m*).

Fonte: NBR 15575-4:2013

As fachadas são as paredes ou sistemas de vedação que separam os interiores das edificações dos ambientes externos de contorno das construções. Dessa forma, pode-se pensar que a incidência de ruídos externos nesse sistema se dá pelo entorno da construção, ou seja, no estudo e dimensionamento das vedações verticais externas, deve-se considerar a área de implantação do empreendimento, se ele está inserido em uma região predominantemente comercial, residencial, urbana, rural, se está próximo de rodovias, indústrias, terminais de transporte, espaços destinados a concentração de um volume elevado de pessoas. Ademais, todo tipo possível de fonte de ruído deve ser considerado para que se caracterize a construção de acordo com as classes de ruídos existentes.

Algumas cidades disponibilizam em seus planos diretores um zoneamento detalhado com a classificação dos ruídos de acordo com cada região da cidade. Quando isso não acontece, pode ser feita a classificação do entorno de acordo com a Tabela (Figura 6), presente na norma NBR 10151:2019 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. A partir desta Tabela e efetuando o estudo do entorno da edificação pode-se classificar a área de implantação e definir os limites de níveis de pressão sonora permitidos nos períodos diurno e noturno.

Figura 6 - Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período

Tipos de áreas habitadas	RL _{Aeq} Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151:2019

Com os limites de pressão sonora para o entorno definidos, a classe de ruído pode ser definida de acordo com a Tabela (Figura 7), presente no Manual Proacústica (2013).

Figura 7 - Classes de ruído de acordo com nível de pressão sonora equivalente

Classe de ruído	Nível de pressão sonora equivalente L_{Aeq} - dBA
I	Até 60 dBA
II	60 a 65 dBA
III	65 a 70 dBA

Fonte: Manual Proacústica (2013).

Para níveis de pressão sonora equivalente acima de 70 dBA, deve-se realizar estudos específicos.

Após a definição da classe de ruído, entre as classes I, II e III, recorre-se a Tabela 17 da NBR 15575-4 (Figura 8) e pode ser definida a diferença padronizada de nível ponderada de ruído ($D_{2m,nT,w}$), que representa o valor mínimo a ser alcançado pelas fachadas para que se atenda ao desempenho acústico mínimo (M). A Tabela F.9 (Figura 9) do anexo F da norma, ainda traz os valores para os níveis superior (S) e intermediário (I).

Figura 8 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ dB
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30

NOTA 1 Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.
NOTA 2 Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias, há necessidade de estudos específicos.

Fonte: NBR 15575-4:2013.

Observa-se que o desempenho das fachadas deve ser avaliado apenas para estruturas dos dormitórios das habitações e os outros cômodos ainda não possuem requisitos específicos para serem avaliados. Além disso, recomenda-se que em regiões com fontes de ruídos fora do comum, como são os aeroportos, estádios, rodovias, entre outros, seja feito um estudo específico para determinação dos níveis mínimos aceitáveis.

Figura 9 - Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$ para ensaios de campo

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ dB	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: NBR 15575-4:2013

3.1.2 Desempenho Acústico de Ruído Aéreo dos Sistemas de Vedações Verticais Internas

O segundo requisito levantado trata das vedações verticais internas e de como os sistemas se comportam frente aos ruídos aéreos incidentes. Segundo ABNT (2013d), deve-se propiciar condições de isolamento acústica entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas.

Esse requisito é abordado pela parte número 4 da norma, a NBR 15575-4.

O parâmetro acústico a ser verificado neste requisito consta na mesma Tabela apresentada para o requisito anterior, verificando apenas que para as vedações internas são aplicadas, ao invés do parâmetro $D_{2m,nT,w}$, o parâmetro $D_{nT,w}$, a diferença padronizada de nível ponderada.

Os sistemas de vedações verticais internos têm por função delimitarem as áreas internas das edificações, definindo os cômodos e separando as unidades habitacionais distintas, além de promover o bem-estar dos usuários, propiciando privacidade, segurança e impedindo que ruídos sejam um incômodo.

Depois de definidos os índices $D_{nT,w}$ das vedações verticais internas recorre-se a Tabela 18 (Figura 10) da norma, na qual constam os valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$ entre ambientes.

Figura 10 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes

Elemento	$D_{nT,w}$ dB
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	≥ 40

Fonte: NBR 15575-4:2013.

No anexo F.6.1.2 (Figura 11) ainda constam os valores complementares da norma, referentes aos níveis intermediário (I) e superior (S).

Figura 11 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ para ensaio de campo

Elemento	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Fonte: NBR 15575-4:2013.

Pode-se observar, de acordo com as tabelas apresentadas, as diferentes configurações que devem ser observadas na avaliação do desempenho de vedações verticais internas e os diferentes níveis para essas configurações. Em relação a um projeto de apartamento são avaliadas:

- As divisórias entre esse apartamento e seus vizinhos, com diferença de valores de acordo com a presença ou não de dormitórios nesses recintos divididos;
- As divisórias entre dormitórios do apartamento e áreas comuns de trânsito eventual (corredores, escadarias);
- As divisórias entre salas e cozinhas do apartamento e áreas comuns de trânsito eventual (corredores, escadarias);
- As divisórias entre esse apartamento e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e esportivas, banheiros, vestiários, cozinhas e lavanderias coletivas;

- As divisórias entre esse apartamento e apartamentos vizinhos separados pelo *hall*.

3.1.3 Desempenho Acústico de Ruído Aéreo dos Sistemas de Pisos

O terceiro requisito avaliado é relativo aos ruídos aéreos incidentes nos sistemas de pisos (lajes). Segundo ABNT (2013c) deve-se propiciar condições de isolamento acústica entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas.

Esse requisito é abordado pela parte número 3 da norma, a NBR 15575-3.

Os sistemas de pisos, ou lajes, são os elementos que realizam a vedação horizontal das edificações, fazendo parte, naturalmente, da estrutura, e separando unidades habitacionais autônomas.

O parâmetro acústico a ser avaliado nesse requisito consta na Tabela 5 (Figura 12) da norma, observa-se que é o mesmo parâmetro de avaliação utilizados para as vedações verticais internas, o $D_{nT,w}$.

Figura 12 - Parâmetros acústicos de avaliação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistema de piso
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais, em edifícios (pisos, paredes etc.)

Fonte: NBR 15575-3:2013.

Depois de definidos os índices $D_{nT,w}$ dos sistemas de pisos, recorre-se a Tabela 7 (Figura 13) da norma, que apresenta os valores mínimos a serem alcançados pelos sistemas avaliados.

Figura 13 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$

Elemento	$D_{nT,w}$ dB
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45

Fonte: NBR 15575-3:2013.

No anexo E, Tabela E.2 (Figura 14) ainda constam os valores complementares da norma, referentes aos níveis intermediário (I) e superior (S).

Figura 14 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$

Elemento	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: NBR 15575-3:2013.

São tomados diferentes níveis de desempenho a serem atingidos, de acordo com os tipos de recintos separados pelos sistemas de pisos. Dessa forma na avaliação de um projeto de apartamento deve-se observar:

- Lajes que dividam esse apartamento e apartamentos vizinhos e que pelo menos um desses ambientes seja dormitório;
- Lajes que dividam esse apartamento e áreas comuns de trânsito eventual (corredores, escadarias);
- Lajes que dividam esse apartamento e apartamentos vizinhos e nenhum dos ambientes seja dormitório;
- Lajes que dividam esse apartamento e áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, banheiros e vestiários, cozinhas e lavanderias coletivas;

3.1.4 Desempenho Acústico de Ruído de Impacto dos Sistemas de Pisos

O quarto e último requisito avaliado trata dos ruídos provenientes de impacto nos sistemas de pisos. Segundo ABNT (2013c), deve-se propiciar condições mínimas de desempenho acústico no interior da edificação, com relação a fontes padronizadas de ruídos de impacto.

Esse requisito é abordado pela parte número 3 da norma, a NBR 15575-3.

O parâmetro acústico a ser avaliado nesse requisito consta na Tabela 5 (Figura 12) da norma, nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, o $L'_{nT,w}$.

Diferentemente dos outros três requisitos que utilizam um parâmetro de diferença padronizada, este requisito apresenta um limite que não pode ser atingido pelos ruídos de impactos causados nos sistemas de piso.

Quando o $L'_{nT,w}$ é definido recorre-se à Tabela 6 (Figura 15), que apresenta valores mínimos de pressão sonora de impacto padrão ponderado a serem atendidos.

Figura 15 - Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Fonte: NBR 15575-3:2013.

No anexo E, Tabela E.1 (Figura 16), ainda constam os valores complementares da norma, referentes aos níveis intermediário (I) e superior (S).

Figura 16 – Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: NBR 15575-3:2013.

São tomados diferentes níveis de desempenho a serem atingidos, de acordo com os tipos de recintos separados pelos sistemas de pisos. Dessa forma na avaliação de um projeto de apartamento deve-se observar:

- Lajes que dividam esse apartamento e apartamentos vizinhos;
- Lajes sobre esse apartamento de áreas de uso coletivo, com atividades de lazer e esportivas, banheiros e vestiários, cozinhas e lavanderias coletivas;

4 RESULTADOS

4.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A norma de desempenho aponta métodos de medição dos requisitos nela abordados, tanto em laboratório quanto em campo, ou seja, trata de procedimentos posteriores à execução de projetos.

O período de desenvolvimento de projetos é a fase em que são definidas as soluções a serem adotadas, estruturas, sistemas e componentes que resultarão no produto final que é a edificação, que por sua vez apresentará um determinado desempenho acústico a ser testado dentro dos procedimentos da norma.

É fundamental que se tenha uma ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisão nos projetos, relativo às configurações possíveis que uma edificação pode tomar e nos resultados que serão obtidos com essas configurações, permitindo dessa forma que sejam atingidos os requisitos propostos pelas empresas.

Com a popularização da NBR 15575 e a solicitação do seu atendimento como requisito básico para a obtenção de certificados de qualidade, como a certificação nível A do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat, as empresas se viram numa situação de mudança, tendo que capacitar seus colaboradores no âmbito da norma e buscar ferramentas de apoio aos processos de projeto, garantindo que após a execução essas obras estejam dentro de um nível esperado de desempenho.

A norma internacional ISO 12354, apresenta uma forma de estimar o desempenho acústico de edifícios a partir do desempenho dos elementos componentes dos sistemas construtivos, permitindo a interação do projetista com as diversas variáveis que têm influência no desempenho global desses sistemas, podendo assim realizar as definições de projeto necessárias para atendimento de metas.

A ISO 12354 é composta por partes, assim a NBR 15575, sendo que cada parte dessa norma corresponde a um tipo de desempenho acústico global dos sistemas das edificações, da mesma forma como a norma traz os seus requisitos. Dessa forma, pode-se realizar testes e simulações com base na ISO 12354 e trazer os seus resultados para comparação com os quadros de adequação aos diferentes níveis de atendimento da NBR 15575, permitindo assim que soluções sejam tomadas baseadas de fato em números mais próximos do real desempenho das edificações, acabando com as interferências posteriores às execuções de projetos.

A norma ISO 12354 descreve os processos de obtenção dos desempenhos acústicos globais dos sistemas construtivos, apresentando as fórmulas sequencialmente para que se chegue aos resultados finais, não havendo uma organização que permita o usuário visualizar com clareza a cadeia de interação das características.

O desenvolvimento de um modelo representativo para esse processo de simulação da norma, utiliza-se dos conceitos da ergonomia cognitiva e dos mapas mentais, realizando a facilitação do processo de aprendizagem do projetista no uso da norma, tornando esse profissional cada vez mais capacitado na utilização da ferramenta, utilizando as variáveis do sistema de forma mais adequada para o atingimento das metas de qualidade propostas pelas empresas.

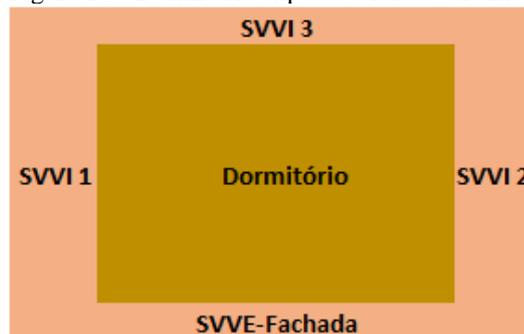
Como apresentado no decorrer do trabalho, o desenvolvimento deste modelo representativo segue os “truques” mentais presentes nos processos de memorização e aprendizagem, facilitando a armazenagem das informações na memória de longa duração por utilizar-se do mesmo processo lógico presente no cérebro humano, com a realização de agrupamento lógico de informações e construção de redes neurais de natureza semântica-associativa.

Dessa forma propõe-se os modelos representativos, para os quatro requisitos globais de desempenho acústico da norma de desempenho, que serão apresentados em seguida, juntamente com as fórmulas e os procedimentos presentes na ISO 12354.

4.1.1 Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas Verticais de Vedação Externa (SVVE ou Fachada) à Ruídos Aéreos Externos

Para o desenvolvimento deste modelo, considera-se os dormitórios com face voltada para a parte externa da edificação, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Dormitório exposto à ruídos externos



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Considera-se um dormitório vedado lateralmente por três sistemas de vedação vertical interna (SVVI) e por uma fachada ou sistema de vedação vertical externa (SVVE). Os ruídos externos à edificação provenientes de diversas fontes de ruído incidem sobre essa vedação externa, que normalmente apresenta algum tipo de esquadria (janela ou porta/janela), penetram nessas estruturas e atingem o dormitório.

Dessa forma, o desempenho desse sistema estará ligado com as características das estruturas que realizam a vedação, as paredes de vedação e as esquadrias, além de características geométricas dos dormitórios por onde os ruídos irão reverberar.

A ISO 12354-3 traz a sequência de cálculos que deve ser seguida para a definição do valor estimado de desempenho, representado pelo índice $D_{2m,nT,w}$.

O cálculo do $D_{2m,nT,w}$ é definido da seguinte forma:

$$D_{2m,nT,w} = R_{w \text{ Global}} + 10 * \text{Log} \left(\frac{V}{6,25 * S * T_0} \right) \quad (2)$$

Onde:

$R_{w \text{ Global}}$ = Índice de redução sonora da fachada (dB);

V = Volume do ambiente (m^3);

T_0 = Tempo de reverberação de referência, adotado como 0,5 s;

S = Superfície da fachada vista do interior (m^2).

O volume do ambiente é calculado como a multiplicação do pé direito pelas medidas de largura e comprimento (para ambientes retangulares). O tempo de reverberação foi adotado como 0,5 s, valor indicado de uso na norma quando não se utiliza métodos de cálculo deste parâmetro. A superfície da fachada vista do interior é a área onde incidem os ruídos externos e penetram o ambiente.

O índice $R_{w \text{ Global}}$ é a intensidade de ruído que o sistema da fachada impede que passe, dependendo das características dos elementos componentes da fachada, como sua área e o seu desempenho individual. O $R_{w \text{ Global}}$ é calculado da seguinte forma:

$$R_{w \text{ Global}} = 10 \text{ Log} \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{(-R_{wi}/10)}} \quad (3)$$

Onde:

S_i = Área do elemento i (m^2);

R_{wi} = Desempenho acústico do elemento i (dB).

A área do elemento é referente a área de ocupação na fachada e o índice R_{wi} é o desempenho de cada elemento. Quando se trata de uma esquadria, os valores de R_{wi} são indicados e são de responsabilidade dos fornecedores, quando se trata de uma vedação (parede, ou outro sistema) os valores são obtidos da seguinte forma:

Para massas superficiais superiores a 150 kg/m^2 :

$$R_{wi} = 37,5 \text{ Log} (m'') - 42 \quad (4)$$

Para massas superficiais entre 50 e 150 kg/m^2 :

$$R_{wi} = 12,6 \text{ Log} (m'') + 12,6 \quad (5)$$

Onde:

$$m'' = \sum_i e_i * \mu_i \quad (6)$$

Onde:

e_i = Espessura da camada i que compõe a vedação (m);

μ_i = Massa específica da camada i que compõe a vedação (kg/m^3).

O somatório m'' refere-se às camadas componentes das vedações, que geralmente apresentam elementos estruturais ou de vedação, com revestimentos internos e externos, como reboco ou gesso.

Devido à falta de qualidade das esquadrias (tanto na instalação quanto na produção) é recomendado que se utilize uma margem de segurança de 3 dB .

Dessa forma pode-se chegar em duas fórmulas finais para o sistema, observando a diferença de uso de cada uma, de acordo com a massa específica do sistema. As fórmulas apresentam-se no Quadro 1.

Após o valor do desempenho acústico neste requisito ser encontrado, recorre-se a Figura 9 para identificar, de acordo com a classe de ruído adequada, qual nível de desempenho está sendo alcançado com a configuração atual das estruturas componentes do sistema de vedação externa e se ao menos o nível mínimo (M) está sendo atendido.

O modelo estruturado representativo para esse sistema foi desenvolvido seguindo a lógica proposta pelas fórmulas apresentadas, representando de forma clara e mais facilitada os fatores impactantes no resultado final do sistema, ou seja, no desempenho acústico global para este requisito.

O modelo representativo do desempenho acústico do sistema de vedação externa ao ruído externo está apresentado no apêndice A.

Quadro 1 – Fórmulas finais para o desempenho acústico do sistema de vedação externa ao ruído aéreo externo

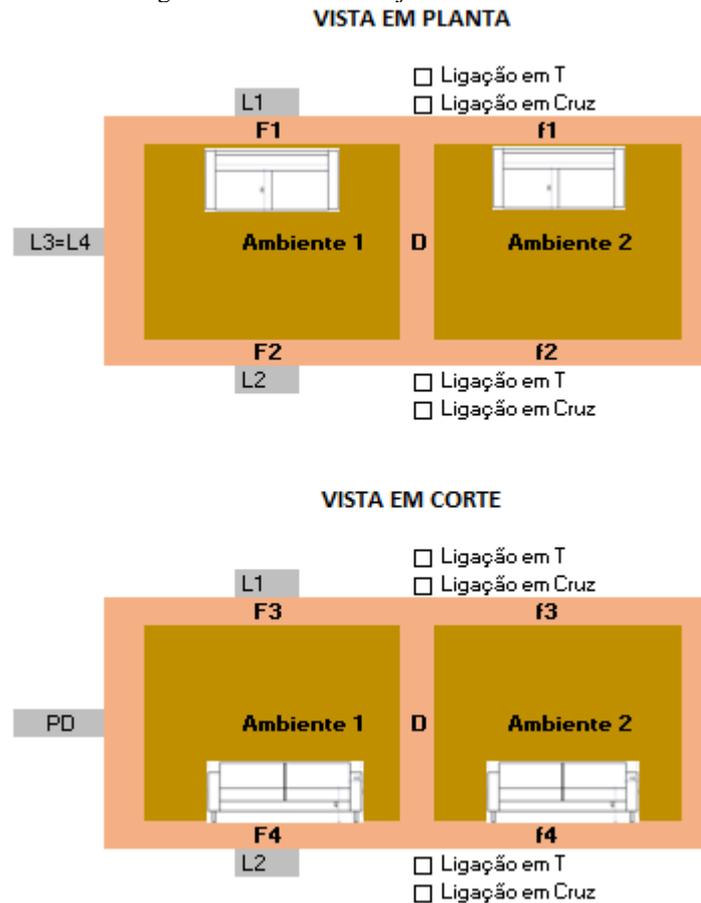
Para massas superficiais acima de 150 kg/m ²
$D_{2m, nT, w} = 10 \text{Log} \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{((-37,5 \text{Log} (\sum_i e_i * \mu_i) - 42) / 10)}} + 10 * \text{Log} \left(\frac{V}{6,25 * S * T_o} \right) - 3$
Para massas superficiais entre 50 e 150 kg/m ²
$D_{2m, nT, w} = 10 \text{Log} \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{((-12,6 \text{Log} (\sum_i e_i * \mu_i) - 12,6) / 10)}} + 10 * \text{Log} \left(\frac{V}{6,25 * S * T_o} \right) - 3$

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.2 Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas Verticais de Vedação Interna (SVVI) à Ruídos Aéreos Internos

Para o desenvolvimento deste modelo, considera-se os ambientes de unidades autônomas ou de unidade autônoma e áreas comuns, conforme apresentado na figura 18.

Figura 18 - Ambiente sujeito à ruídos aéreos



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Considera-se um ambiente receptor e um ambiente gerador de ruído, vedados lateralmente por vedações verticais e superiormente e inferiormente por sistemas de pisos, além de possuir uma divisória comum entre eles. Os ruídos produzidos no ambiente gerador atingem o ambiente receptor diretamente pela divisória e pela condução nas estruturas que realizam as vedações dos ambientes.

Dessa forma, o desempenho acústico do sistema aos ruídos aéreos é relacionado com as características dos flancos que realizam a vedação desse sistema e a vedação principal, além da forma em que esses flancos estão conectados estruturalmente entre si (ligados em formato “T” ou em formato “Cruz”).

A estimativa do desempenho acústico do sistema de vedação vertical interna aos ruídos aéreos $D_{nT,w}$ se dá da seguinte forma:

$$D_{nT,w} = R' + 10 \text{ Log} \left(\frac{0,32 \cdot V}{A} \right) \quad (7)$$

Onde:

R' = vias de transmissão de ruídos (dB);

V = volume do ambiente receptor (m^3);

A = área do elemento separador (m^2).

A área do elemento separador refere-se à vedação vertical interna que divide os dois ambientes, o volume de referência é do ambiente em que os ruídos incidem e o cálculo das vias de transmissão se dão da seguinte forma:

$$R' = -10 \text{ Log} (10^{-0,1*RDd} + \sum_i 10^{-0,1*RFfi} + \sum_i 10^{-0,1*RDfi} + \sum_i 10^{-0,1*RFdi}) \quad (8)$$

Onde:

RDd = via de transmissão direta;

$RFfi$ = vias de transmissão Flanco-flanco i ;

$RDfi$ = vias de transmissão Direto-flanco i ;

$RFdi$ = vias de transmissão Flanco-direto i .

A via de transmissão direta é refere-se aos ruídos que atravessam diretamente a estrutura de vedação entre os ambientes, Flanco-flanco são as 4 vias de transmissão que percorrem os flancos dos ambientes geradores e depois receptores para atingir o ambiente receptor, Direto-flanco são as 4 vias de transmissão que percorrem a vedação entre os ambientes e os flancos do ambiente receptor para atingir o ambiente receptor e Flanco-direto são as 4 vias que percorrem os flancos do ambiente gerador e a vedação entre os ambientes antes de atingir o ambiente receptor.

As vias de transmissão são calculadas da seguinte forma:

$$RDd = Rd + (\Delta RD + 0,5 \Delta Rd) \quad (9)$$

Onde:

Rd = desempenho da vedação vertical interna (dB);

ΔRD = melhoramento da face da vedação do ambiente gerador (dB);

ΔRd = melhoramento da face da vedação do ambiente receptor (dB).

O desempenho da vedação vertical interna é dado por:

$$Rd = 37,5 * \text{Log} (m) - 42 \quad (10)$$

Onde:

$$m = \sum_i ei * \mu_i \quad (11)$$

Onde:

e_i = espessura da camada i que compõe a vedação vertical interna (m);

μ_i = massa específica da camada i que compõe a vedação vertical interna (kg/m^3).

O somatório m'' refere-se às camadas componentes das vedações, que geralmente apresentam elementos estruturais ou de vedação, com revestimentos internos e externos, como reboco ou gesso.

Os componentes ΔRD e ΔRd são melhoramentos não obrigatórios obtidos através da implantação de algum material sobre os revestimentos e devem ser fornecidos pelos fornecedores.

Para as transmissões Flanco-flanco utiliza-se:

$$RFfi = \sum_{i=1}^4 0,5(RFi + Rfi) + \Delta RFfi + Kkfi + 10\text{Log}(A/Lfi) \quad (12)$$

Onde:

RFi = desempenho do flanco i do ambiente gerador (dB);

Rfi = desempenho do flanco i do ambiente receptor (dB);

$\Delta RFfi$ = melhoramento do flanco i do ambiente gerador (dB);

$Kkfi$ = índice de ligação dos flancos geradores e receptores i (dB);

A = área do elemento separador (m^2);

Lfi = comprimento da aresta entre o flanco gerador i e a vedação (m).

O desempenho do flanco i do ambiente gerador é dado por:

$$RFi = 37,5 * \text{Log} (m'') - 42 \quad (13)$$

Onde:

$$m'' = \sum_i e_j * \mu_j \quad (14)$$

Onde:

e_j = espessura da camada j que compõe o flanco i do ambiente gerador (m);

μ_j = massa específica da camada j que compõe o flanco i do ambiente gerador (kg/m³).

O desempenho do flanco i do ambiente receptor é dado por:

$$Rfi = 37,5 * \text{Log} (m') - 42 \quad (15)$$

Onde:

$$m' = \sum_i e_j * \mu_j \quad (16)$$

Onde:

e_j = espessura da camada j que compõe o flanco i do ambiente receptor (m);

μ_j = massa específica da camada j que compõe o flanco i do ambiente receptor (kg/m³).

Os componentes ΔRfi são melhoramentos não obrigatórios obtidos através da implantação de algum material sobre os revestimentos e devem ser fornecidos pelos fornecedores.

O índice $Kkfi$ depende da forma como são ligadas as estruturas dos flancos entre si, apresentando fórmulas diferentes para as ligações em formato “T” e em formato “Cruz”.

Para ligações em “Cruz” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$Kkfi = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \quad (17)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m'} \right) \quad (18)$$

Para ligações em “T” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$Kkfi = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \quad (19)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m'} \right) \quad (20)$$

Os valores de $Kkfi$ ainda devem ser maiores que um $Kkfi_{\text{mín}}$, dado por:

$$Kkfinin = 10\text{Log} \left(Lfi * \left(\frac{1}{AFi} + \frac{1}{Afi} \right) \right) \quad (21)$$

Onde:

AFi = área do flanco gerador i (m^2);

Afi = área do flanco receptor i (m^2).

Para as transmissões Flanco-direto utiliza-se:

$$RFdi = \sum_{i=1}^4 0,5(RFi + Rd) + \Delta RFdi + KFdi + 10\text{Log}(A/Lfi) \quad (22)$$

Onde:

RFi = desempenho do flanco i do ambiente gerador (dB);

Rd = desempenho da vedação vertical interna (dB);

$\Delta RFdi$ = melhoramento do flanco i do ambiente gerador (dB);

$Kkdi$ = índice de ligação dos flancos geradores i com a vedação vertical interna (dB);

A = área do elemento separador (m^2);

Lfi = comprimento da aresta entre o flanco gerador i e a vedação (m).

O desempenho do flanco i do ambiente gerador é dado pela fórmula 13 e o desempenho da vedação interna é dado pela fórmula 10.

Os componentes $\Delta R F_{di}$ são melhoramentos não obrigatórios obtidos através da implantação de algum material sobre os revestimentos e devem ser fornecidos pelos fornecedores.

O índice Kk_{fi} depende da forma como são ligadas as estruturas dos flancos e vedações entre si, apresentando fórmulas diferentes para as ligações em formato “T” e em formato “Cruz”.

Para ligações em “Cruz” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$Kk_{di} = 8,7 + 5,7M^2 \quad (23)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m} \right) \quad (24)$$

Para ligações em “T” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$Kk_{di} = 5,7 + 5,7M^2 \quad (25)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m} \right) \quad (26)$$

Os valores de Kk_{fi} ainda devem ser maiores que um $Kk_{fi_{\min}}$, dado por:

$$Kk_{fi_{\min}} = 10 \text{Log} \left(Lfi * \left(\frac{1}{AF_i} + \frac{1}{A} \right) \right) \quad (27)$$

Onde:

AF_i = área do flanco gerador i (m^2);

A = área do elemento separador (m^2).

Para as transmissões Direto-flanco utiliza-se:

$$RDfi = \sum_{i=1}^4 0,5(RD + Rfi) + \Delta RDf + KDfi + 10\text{Log}(A/Lfi) \quad (28)$$

Onde:

RD = Rd = desempenho da vedação vertical interna (dB);

Rfi = desempenho do flanco i do ambiente receptor (dB);

ΔRDf = melhoramento da vedação vertical interna (dB);

KDfi = índice de ligação da vedação vertical interna com os flancos receptores i (dB);

A = área do elemento separador (m²);

Lfi = comprimento da aresta entre o flanco receptor i e a vedação (m).

O desempenho do flanco i do ambiente receptor é dado pela fórmula 15 e o desempenho da vedação interna é dado pela fórmula 10.

O componente ΔRDf é um melhoramento não obrigatório obtido através da implantação de algum material sobre o revestimento e deve ser fornecido pelos fornecedores.

O índice KDfi depende da forma como são ligadas as estruturas dos flancos e vedação entre si, apresentando fórmulas diferentes para as ligações em formato “T” e em formato “Cruz”.

Para ligações em “Cruz” utiliza-se a seguinte fórmula 23 e para ligações em “T” utiliza-se a fórmula 25.

Os valores de KDfi ainda devem ser maiores que um KDfi_{mín}, dado por:

$$KDfimin = 10\text{Log} \left(Lfi * \left(\frac{1}{AFi} + \frac{1}{A} \right) \right) \quad (29)$$

Onde:

Afi = área do flanco receptor i (m²);

A = área do elemento separador (m²).

Devido às diversas configurações que podem ser obtidas com relação às ligações entre as estruturas componentes dos sistemas de pisos, flancos e vedações, preferiu-se não apresentar um conjunto de fórmulas finais para o desempenho acústico geral à este requisito, cabendo ao usuário realizar o passo-a-passo de utilização da norma e realizar também as definições das ligações em “T” ou “Cruz” presentes nos sistemas.

Após o valor do desempenho acústico neste requisito ser encontrado, recorre-se a Figura 11 para identificar, de acordo com a configuração do sistema, qual nível de desempenho está sendo alcançado e se ao menos o nível mínimo (M) está sendo atendido.

O modelo estruturado representativo para esse sistema foi desenvolvido seguindo a lógica proposta pelas fórmulas apresentadas, representando de forma clara e mais facilitada os fatores impactantes no resultado final do sistema, ou seja, no desempenho acústico global para este requisito.

O modelo representativo do desempenho acústico do sistema de vedação vertical interna ao ruído aéreo está apresentado no apêndice B (de B.1 a B.20).

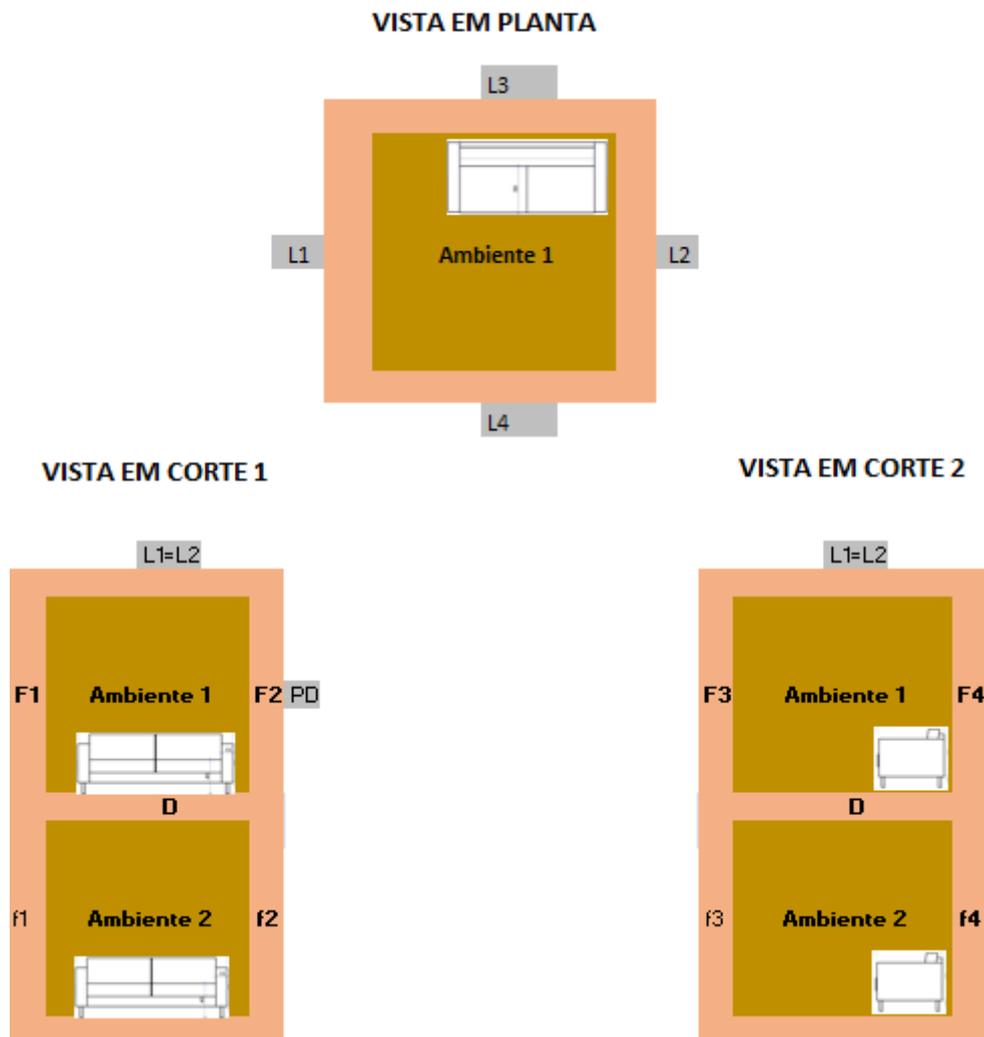
4.1.3 Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas de Piso à Ruídos Aéreos Internos

Para o desenvolvimento deste modelo, considera-se os ambientes que sejam sobrepostos por outros ambientes pertencentes a unidades habitacionais autônomas ou ambientes de uso coletivo, e separados por sistemas de pisos, a Figura 19 traz a representação em planta e em cortes desses ambientes receptores e geradores, que também são vedados lateralmente por vedações verticais internas e/ou externas.

Considera-se um ambiente receptor e um ambiente gerador de ruído, vedados lateralmente por vedações verticais e superiormente e inferiormente por sistemas de pisos. Os ruídos produzidos no ambiente gerador atingem o ambiente receptor diretamente pelo piso divisório e pela condução nas estruturas que realizam as vedações dos ambientes.

Dessa forma, o desempenho acústico do sistema aos ruídos aéreos pelo piso é relacionado com as características dos flancos que realizam a vedação desse sistema e a vedação principal, além da forma em que esses flancos e o sistema de piso estão conectados estruturalmente entre si (ligados em formato “T” ou em formato “Cruz”).

Figura 19 - Ambiente exposto à ruídos aéreos de piso



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

A estimativa do desempenho acústico do sistema de piso aos ruídos aéreos $D_{nT,w}$ se dá da seguinte forma:

$$D_{nT,w} = R' + 10 \text{ Log} \left(\frac{0,32 * V}{A} \right) \quad (30)$$

Onde:

R' = vias de transmissão de ruídos (dB);

V = volume do ambiente receptor (m^3);

A = área do elemento separador (m^2).

A área do elemento separador refere-se ao sistema de piso que divide os dois ambientes, o volume de referência é do ambiente em que os ruídos incidem e o cálculo das vias de transmissão se dão da seguinte forma:

$$R' = -10 \text{ Log} (10^{-0,1*RDd} + \sum_i 10^{-0,1*RFfi} + \sum_i 10^{-0,1*RDfi} + \sum_i 10^{-0,1*RFdi}) \quad (31)$$

Onde:

RDd = via de transmissão direta;

RFfi = vias de transmissão Flanco-flanco i;

RDfi = vias de transmissão Direto-flanco i;

RFdi = vias de transmissão Flanco-direto i.

A via de transmissão direta refere-se aos ruídos que atravessam diretamente o sistema de piso entre os ambientes, Flanco-flanco são as 4 vias de transmissão que percorrem os flancos dos ambientes geradores e depois receptores para atingir o ambiente receptor, Direto-flanco são as 4 vias de transmissão que percorrem o sistema de piso e os flancos do ambiente receptor para atingir o ambiente receptor e Flanco-direto são as 4 vias que percorrem os flancos do ambiente gerador e o sistema de piso entre os ambientes antes de atingir o ambiente receptor.

As vias de transmissão são calculadas da seguinte forma:

$$RDd = Rd + \Delta R \quad (32)$$

Onde:

Rd = desempenho do sistema de piso (dB);

ΔR = melhoramento do sistema de piso (dB).

O desempenho do sistema de piso é dado por:

$$Rd = 37,5 * \text{Log} (m) - 42 \quad (33)$$

Onde:

$$m = \sum_i ei * \mu_i \quad (34)$$

Onde:

e_i = espessura da camada i que compõe o sistema de piso (m);

μ_i = massa específica da camada i que compõe o sistema de piso (kg/m^3).

O somatório m'' refere-se às camadas componentes dos sistemas de pisos, que geralmente apresentam elementos estruturais, com revestimentos internos e externos, como reboco ou gesso, além de contrapisos, capas de concreto.

O componente ΔR é um melhoramento não obrigatório obtido geralmente através da implantação de algum material entre a laje e o contrapiso e devem ser fornecidos pelos fornecedores.

Para as transmissões Flanco-flanco utiliza-se:

$$RFfi = \sum_{i=1}^4 0,5(RFi + Rfi) + \Delta RFfi + KFfi + 10\text{Log}(A/Lfi) \quad (35)$$

Onde:

RFi = desempenho do flanco i do ambiente gerador (dB);

Rfi = desempenho do flanco i do ambiente receptor (dB);

$\Delta RFfi$ = melhoramento do flanco i do ambiente gerador (dB);

$Kkfi$ = índice de ligação dos flancos geradores e receptores i (dB);

A = área do elemento separador (m^2);

Lfi = comprimento da aresta entre o flanco gerador i e a vedação (m).

O desempenho do flanco i do ambiente gerador é dado por:

$$RFi = 37,5 * \text{Log} (m'') - 42 \quad (36)$$

Onde:

$$m'' = \sum_i e_j * \mu_j \quad (37)$$

Onde:

e_j = espessura da camada j que compõe o flanco i do ambiente gerador (m);

μ_j = massa específica da camada j que compõe o flanco i do ambiente gerador (kg/m^3).

O desempenho do flanco i do ambiente receptor é dado por:

$$R_{fi} = 37,5 * \text{Log} (m') - 42 \quad (38)$$

Onde:

$$m' = \sum_i e_j * \mu_j \quad (39)$$

Onde:

e_j = espessura da camada j que compõe o flanco i do ambiente receptor (m);

μ_j = massa específica da camada j que compõe o flanco i do ambiente receptor (kg/m^3).

Os componentes ΔR_{fi} são melhoramentos não obrigatórios obtidos através da implantação de algum material sobre os revestimentos e devem ser fornecidos pelos fornecedores.

O índice K_{kfi} depende da forma como são ligadas as estruturas dos flancos entre si, apresentando fórmulas diferentes para as ligações em formato “T” e em formato “Cruz”.

Para ligações em “Cruz” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$K_{kfi} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \quad (40)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m'} \right) \quad (41)$$

Para ligações em “T” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$K_{kfi} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \quad (42)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m'} \right) \quad (43)$$

Para as transmissões Flanco-direto utiliza-se:

$$RFdi = \sum_{i=1}^4 0,5(RFi + Rd) + \Delta RFdi + KFdi + 10\text{Log}(A/Lfi) \quad (44)$$

Onde:

RFi = desempenho do flanco i do ambiente gerador (dB);

Rd = desempenho do sistema de piso (dB);

$\Delta RFdi$ = melhoramento do flanco i do ambiente gerador (dB);

KFdi = índice de ligação dos flancos geradores i com o sistema de piso (dB);

A = área do elemento separador (m²);

Lfi = comprimento da aresta entre o flanco gerador i e a vedação (m).

O desempenho do flanco i do ambiente gerador é dado pela fórmula 34 e o desempenho do sistema de piso é dado pela fórmula 31.

Os componentes $\Delta RFdi$ são melhoramentos não obrigatórios obtidos através da implantação de algum material sobre os revestimentos dos flancos i e devem ser fornecidos pelos fornecedores.

O índice KFdi depende da forma como são ligadas as estruturas dos flancos geradores e sistema de piso entre si, apresentando fórmulas diferentes para as ligações em formato “T” e em formato “Cruz”.

Para ligações em “Cruz” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$KFdi = 8,7 + 5,7M^2 \quad (45)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m} \right) \quad (46)$$

Para ligações em “T” utiliza-se a seguinte fórmula:

$$KFdi = 5,7 + 5,7M^2 \quad (47)$$

Onde:

$$M = \text{Log} \left(\frac{m''}{m} \right) \quad (48)$$

Para as transmissões Direto-flanco utiliza-se:

$$RDfi = \sum_{i=1}^4 0,5(RD + Rfi) + \Delta RDf + KDfi + 10\text{Log}(A/Lfi) \quad (49)$$

Onde:

RD = Rd = desempenho do sistema de piso (dB);

Rfi = desempenho do flanco i do ambiente receptor (dB);

ΔRDf = melhoramento do sistema de piso (dB);

KDfi = índice de ligação do sistema de piso com os flancos receptores i (dB);

A = área do elemento separador (m²);

Lfi = comprimento da aresta entre o flanco receptor i e o sistema de piso(m).

O desempenho do flanco i do ambiente receptor é dado pela fórmula 36 e o desempenho do sistema de piso é dado pela fórmula 31.

O componente ΔRDf é um melhoramento não obrigatório obtido através da implantação de algum material, normalmente entre a estrutura e o contrapiso e deve ser fornecido pelos fornecedores.

Os índices KDfi dependem da forma como são ligadas as estruturas dos flancos e o sistema de piso entre si, apresentando fórmulas diferentes para as ligações em formato “T” e em formato “Cruz”.

Para ligações em “Cruz” utiliza-se a seguinte fórmula 43 e para ligações em “T” utiliza-se a fórmula 45.

Devido às diversas configurações que podem ser obtidas com relação às ligações entre as estruturas componentes dos sistemas de pisos e flancos, preferiu-se não apresentar um conjunto de fórmulas finais para o desempenho acústico geral à este requisito, cabendo ao

usuário realizar o passo-a-passo de utilização da norma e realizar também as definições das ligações em “T” ou “Cruz” presentes nos sistemas.

Após o valor do desempenho acústico neste requisito ser encontrado, recorre-se a Figura 14 para identificar, de acordo com a configuração do sistema, qual nível de desempenho está sendo alcançado e se ao menos o nível mínimo (M) está sendo atendido.

O modelo estruturado representativo para esse sistema foi desenvolvido seguindo a lógica proposta pelas fórmulas apresentadas, representando de forma clara e mais facilitada os fatores impactantes no resultado final do sistema, ou seja, no desempenho acústico global para este requisito.

O modelo representativo do desempenho acústico do sistema de vedação vertical interna ao ruído aéreo está apresentado no apêndice C (de C.1 a C.8).

4.1.4 Avaliação do Desempenho Acústico de Sistemas de Piso à Impactos de Piso

Para o desenvolvimento deste modelo, considera-se os ambientes que sejam sobrepostos por outros ambientes pertencentes a unidades habitacionais autônomas ou ambientes de uso coletivo, e separados por sistemas de pisos, a Figura 20 traz a representação em planta desse ambiente receptor, que também é vedado lateralmente por vedações verticais internas e/ou externas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Os ruídos de impacto, conforme mostrado na seção 4.1.4, se dão pelo contato de com os sistemas de pisos e são transmitidos por esses sistemas diretamente para os ambientes inferiores e também pelos flancos laterais.

Dessa forma, o desempenho acústico global à esse requisito relaciona-se com as características dos elementos componentes do sistema de piso, dos flancos laterais e com o volume do ambiente receptor.

A ISO 12354-2 traz a sequência de cálculos que deve ser feita para a definição do valor estimado de desempenho, representado pelo índice $L'_{nT,w}$.

O cálculo de $L'_{nT,w}$ é definido da seguinte forma:

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \text{Log} \left(\frac{V}{30} \right) \quad (50)$$

Onde:

V = Volume do ambiente receptor (m^3).

O volume do ambiente é calculado como a multiplicação do pé direito pelas medidas de largura e comprimento (para ambientes retangulares).

O índice $L'_{n,w}$ é o limite de pressão sonora transmitido pelas estruturas do sistema, recebendo um ajuste devido ao ambiente receptor ele se torna o $L'_{nT,w}$, o nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado.

O $L'_{n,w}$ é calculado da seguinte forma:

$$L'_{n,w} = L_{nweq} - \Delta Lw + K \quad (51)$$

Onde:

L_{nweq} = nível de ruído de impacto equivalente referido ao piso “em osso”, destituído da camada de contrapiso flutuante (dB);

ΔLw = índice de avaliação relativo à redução dos ruídos de impacto devido à presença de contrapiso flutuante ou revestimento elástico (dB);

K = correção a ser realizada para a presença de transmissão lateral de ruído (dB).

A fórmula 51 traz as correções a serem feitas devido aos componentes adicionais dos sistemas de piso e são obtidos através do cruzamento de dados em tabelas e gráficos.

L_{nweq} é obtido da seguinte forma:

$$L'nweq = 164 - 35 \text{ Log } \frac{m'}{m'_o} \quad (52)$$

Onde:

m' = massa superficial das camadas de pisos abaixo do contrapiso flutuante (kg/m^2);

m'_o = massa superficial de referência (1 kg/m^2).

A massa superficial das camadas de pisos abaixo do contrapiso flutuante, dizem respeito ao somatório das massas superficiais das camadas componentes, como estrutura (laje) e revestimentos (capa concreto, revestimento de piso, revestimento de teto). Logo, podemos obter m' da seguinte forma:

$$m' = \sum_i e_i * \mu_i \quad (53)$$

Onde:

e_i = espessura da camada i abaixo do contrapiso flutuante;

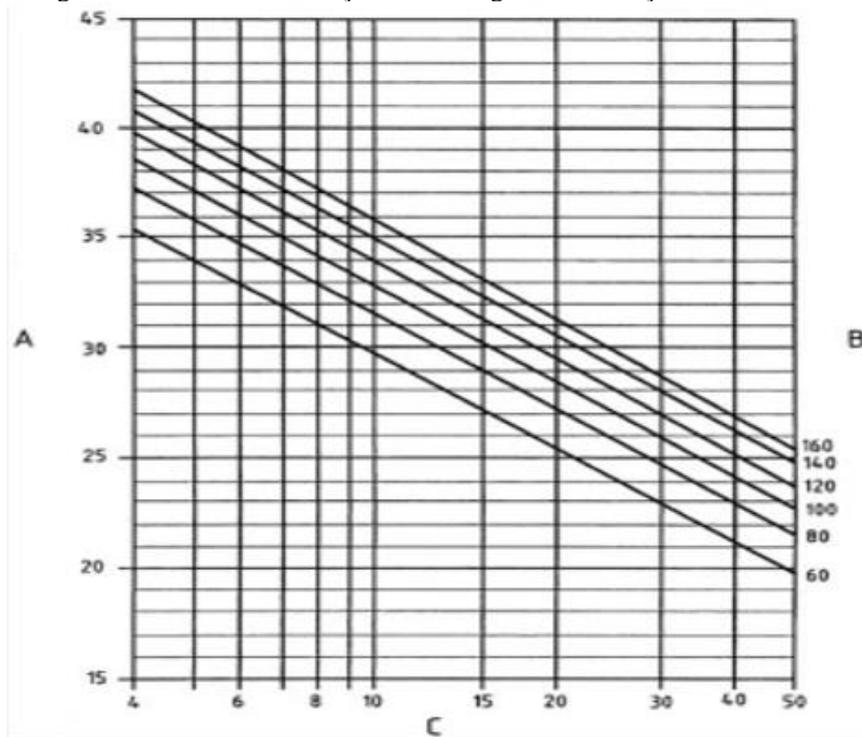
μ_i = massa específica da camada i abaixo do contrapiso flutuante.

Segundo ISO (2017b) a fórmula 50 é utilizável para pisos de tipo homogêneo, sendo eles:

- Pisos em concreto sólido construído em obra;
- Pisos em concreto celular sólido, auto clavado;
- Pisos feitos com tijolos furados;
- Pisos feitos com “vigas e alvéolos”;
- Pisos feitos com “lajes em concreto”;
- Pisos feitos com vigas em concreto.

O índice ΔLw (A) é obtido através do gráfico do anexo C da ISO 12354 (Figura 21), onde são cruzados C - a rigidez dinâmica da manta (obtida com fornecedor) e B - a densidade superficial do contrapiso flutuante (calculada).

Figura 21 - Gráfico de obtenção do índice global de redução sonora a ruído de impacto



Fonte: ISO (2017b).

O índice K é obtido através da Tabela 1 da seção 4.3.1 da ISO 12354-2, adaptada e apresentada na Figura 22:

Figura 22 - Gráfico de obtenção do índice de correção por transmissão lateral

Densidade superficial do elemento separador (laje) em kg/m ²	Densidade superficial medida dos elementos de flancos								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Fonte: Adaptada de ISO (2017b).

Dessa forma pode-se chegar na fórmula final para o sistema, apresentada no quadro 2.

Quadro 2 - Fórmula final para o desempenho acústico do sistema de piso ao ruído de impacto

Desempenho acústico do sistema de piso ao ruído de impacto
$L'_{nT,w} = 164 - 35 \text{ Log } \frac{\sum_i e_i * \mu_i}{m'_o} - \Delta L_w + K - 10 \text{ Log } \left(\frac{V}{30} \right)$

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após o valor do desempenho acústico neste requisito ser encontrado, recorre-se a Figura 16 para identificar, qual nível de desempenho está sendo alcançado com a configuração atual das estruturas componentes do sistema de piso e vedações verticais e se ao menos o nível mínimo (M) está sendo atendido.

O modelo estruturado representativo para esse sistema foi desenvolvido seguindo a lógica proposta pelas fórmulas apresentadas, representando de forma clara e mais facilitada os fatores impactantes no resultado final do sistema, ou seja, no desempenho acústico global para este requisito.

O modelo representativo do desempenho acústico do sistema de vedação externa ao ruído externo está apresentado no apêndice D (de D.1 a D.).

4.2 APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO EM PROJETO

Os modelos estruturados desenvolvidos para os requisitos de desempenho descritos neste trabalho, têm como objetivo auxiliar no processo produtivo de projetos, permitindo que os projetistas estejam cada vez mais familiarizados com as necessidades trazidas pela NBR 15575 e projetem pensando no cumprimento da norma, alinhados com as estratégias das suas empresas. Além disso, as simulações podem ser feitas para adequações de projetos já executados ou em fase de execução, bastando coletar os dados pertinentes (conforme os modelos estruturados) e garantir que tudo seja executado conforme as indicações de projetos.

A metodologia trazida pela ISO 12354 ainda dá o suporte necessário para as empresas garantirem o desempenho acústico dos diversos sistemas oferecidos aos clientes e podem servir como laudos comprovativos do cumprimento da norma de desempenho, cabendo a empresa realizar testes *in loco* nos casos em que os dados das simulações apresentarem resultados próximos aos limites entre as categorias de caracterização das estruturas, de forma a comprovar a validade do método para a sua edificação e garantir a entrega de produtos dentro dos parâmetros normativos.

home office e circulações. Além disso, faz divisa lateralmente com outros dois apartamentos e tanto acima quanto abaixo, faz divisa com apartamentos que possuem a mesma modulação que ele apresenta.

Quando se faz uma análise global de uma edificação, testa-se os sistemas variando os ambientes geradores e receptores, ou seja, nos dois sentidos das vias de transmissão, neste estudo o apartamento avaliado atuará como ambiente receptor, avaliando os desempenhos quanto aos ruídos percebidos nesse apartamento.

4.2.1 Desempenho Acústico do Sistema de Vedação Vertical Externa à Ruídos Externos

De acordo com Palhoça (1993), que classifica as regiões da cidade em zonas e áreas, o empreendimento está inserido na Zona Urbana (ZU) da cidade e se enquadra como Área Mista (AM), por concentrar além de residências, atividades como comércio, serviços, lazer. Os ruídos externos são, na maior parte, provenientes dos estabelecimentos comerciais, sendo que o entorno não possui rodovias com trânsito intenso de veículos, terminais de transporte ou espaços de concentração de grandes quantidades de pessoas. De acordo com a Figura 6, a edificação se encontra em uma área mista com predominância de atividades comerciais, e/ou administrativas e deve atender os valores limites de nível de pressão sonora de 60 dB no período diurno e 55 dB no período noturno. Com os limites definidos definiu-se a classe de ruído, de acordo com a Figura 7, resultando em uma classe de ruído II (entre 60 dB e 65 dB) e conseqüentemente, com a Figura 8 obtêm-se o índice $D_{2m,nT,w}$ mínimo de 25 dB a ser alcançado pelos sistemas de fachada e na Figura 9 os índices intermediários e superiores.

Os sistemas a serem testados neste requisito são as paredes externas dos três dormitórios do apartamento conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Sistemas de Vedação Vertical Externa do apartamento

Ambiente	Esquadria	Vedação
Suíte 1	JAL04	VVE 1
Suíte 2	JAL04	VVE 2
Suíte 3	JAL04	VVE 3

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

As três esquadrias componentes dos sistemas são idênticas, esquadrias em alumínio RAL 7024, com vidro liso incolor e persiana de enrolar integrada, possuindo 2 folhas de correr

com persiana fixa. As dimensões são 1,50 m de largura, 1,50 m de altura de abertura. O desempenho acústico adotado para cálculo e informado pelo fornecedor é $R_w = 26$ dB.

As paredes das fachadas possuem estrutura em alvenaria cerâmica com tijolos vazados de 19x19x14 cm com massa aproximada de 3kg. O revestimento externo é em reboco com argamassa de cimento e areia virada na obra com densidade seca de 2100 kg/m^3 com 3,5 cm de espessura e o revestimento interno em reboco com argamassa industrializada estabilizada com densidade seca de 1900 kg/m^3 com 2,5cm de espessura, totalizando 20 cm de espessura.

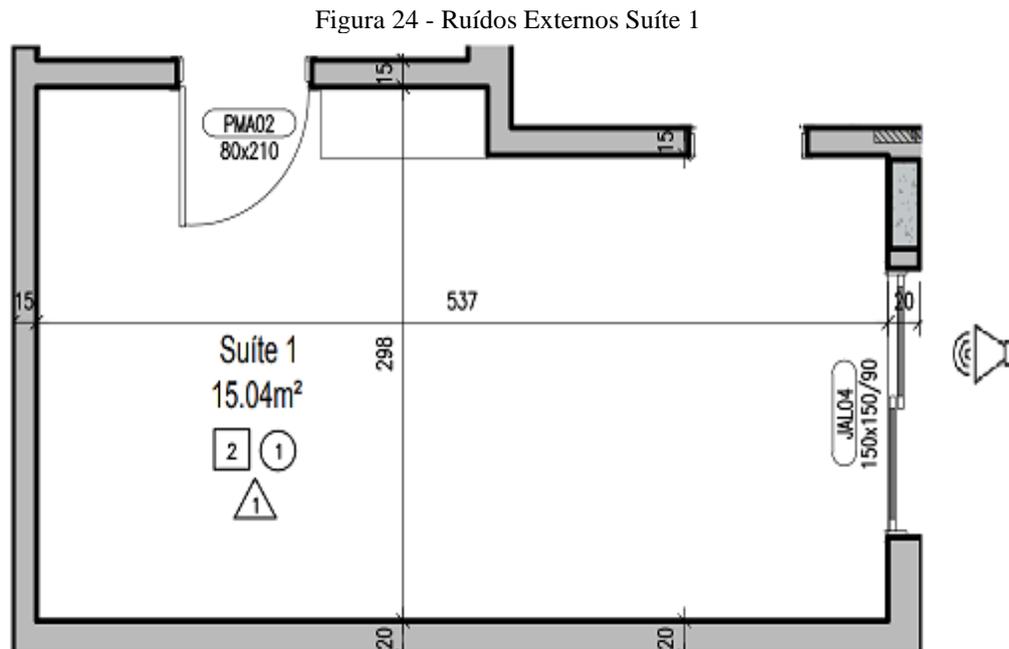
Com as devidas características identificadas pode-se definir o desempenho acústico das paredes da fachada conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Desempenho acústico das paredes da fachada

Componentes	Espessura (m)	Massa Específica (kg/m^3)	Massa Superficial (kg/m^2)
Alvenaria	0,14	594	83,16
Reboco Interno	0,025	1900	47,5
Reboco Externo	0,035	2100	73,5
R_w SVVE (dB)	44,62		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Com os valores de desempenho das esquadrias e das fachadas componentes dos dormitórios, basta incorporar as informações geométricas de cada ambiente para definir o $D_{2m,nT,w}$ de cada um deles.



Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

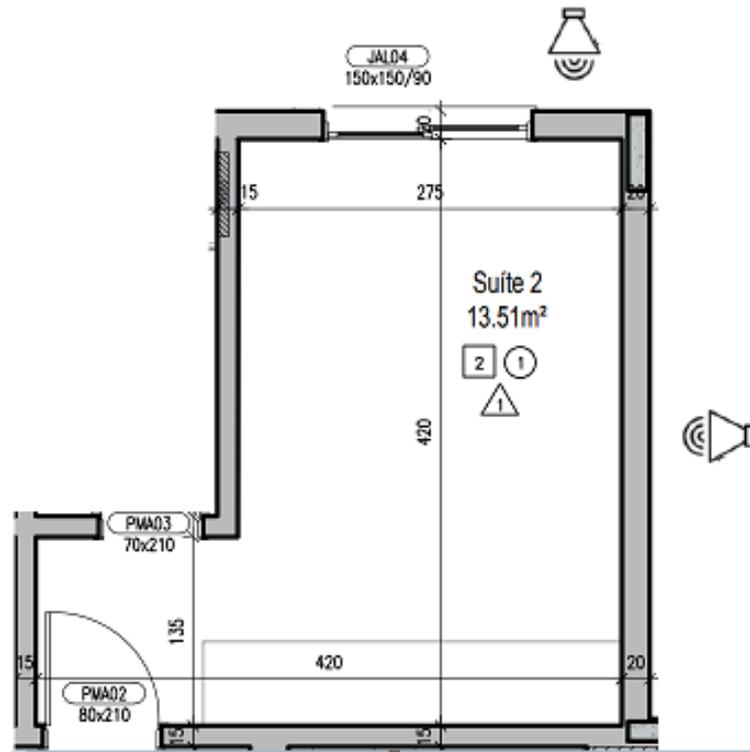
A suíte 1 apresenta-se em planta baixa na Figura 24, possuindo 15,04 m² com um pé direito de 2,60 m, volume de 39,10 m³, área do elemento separador de 6,71 m², área da esquadria de 2,25 m² e área de parede de 4,46 m².

Para a Suíte 1 obteve-se o valor de $D_{2m,nT,w} = 33,2$ dB e com a margem de segurança indicada de 3 dB, obteve-se $D_{2m,nT,w} = 30,2$ dB.

A suíte 2 apresenta-se em planta baixa na Figura 25, possuindo 13,51 m² com um pé direito de 2,60 m, volume de 35,13 m³, área do elemento separador de 18,07 m², área da esquadria de 2,25 m² e área de parede de 15,82 m².

Para a Suíte 2 obteve-se o valor de $D_{2m,nT,w} = 32,6$ dB e com a margem de segurança indicada de 3 dB, obteve-se $D_{2m,nT,w} = 29,6$ dB.

Figura 25 – Ruídos Externos Suíte 2

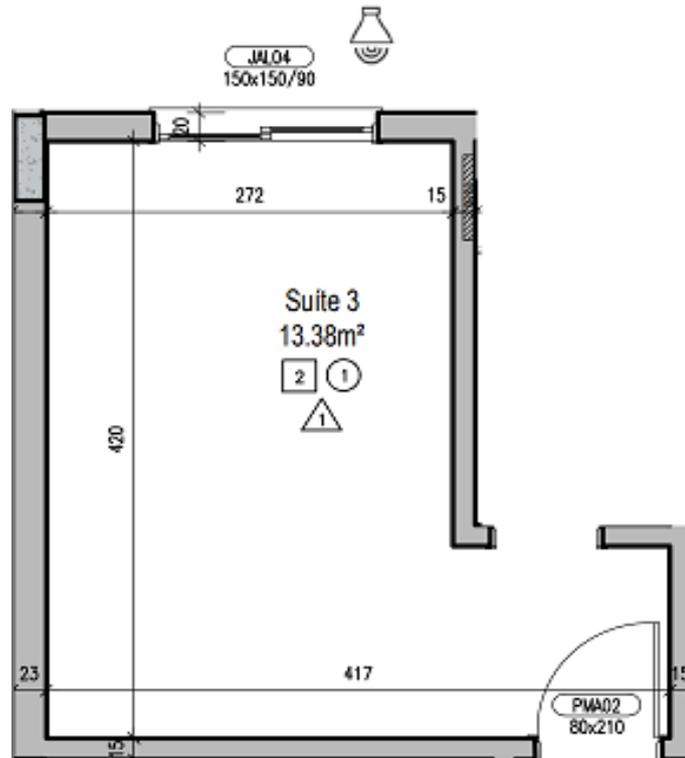


Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

A suíte 3 apresenta-se em planta baixa na Figura 26, possuindo 13,38 m² com um pé direito de 2,60 m, volume de 34,79 m³, área do elemento separador de 7,07 m², área da esquadria de 2,25 m² e área de parede de 4,82 m².

Para a Suíte 3 obteve-se o valor de $D_{2m,nT,w} = 32,8$ dB e com a margem de segurança indicada de 3 dB, obteve-se $D_{2m,nT,w} = 29,8$ dB.

Figura 26 – Ruídos Externos Suíte 3



Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

Dessa forma obteve-se os desempenhos acústicos dos sistemas de vedações externas, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos Sistemas de Vedação Externa

Sistema	Resultado D2m,nT,w	Mínimo D2m,nT,w	Desempenho
SVVE 1	30,2	$\geq 25,0$	Intermediário
SVVE 2	29,6	$\geq 25,0$	Mínimo
SVVE 3	29,8	$\geq 25,0$	Mínimo

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

4.2.2 Desempenho Acústico do Sistema de Vedação Vertical Interna à Ruídos Aéreos

Em relação ao desempenho dos SVVI à ruídos internos, observa-se todas as paredes que sejam divisórias internas com alguma outra unidade habitacional ou com áreas comuns de trânsito eventual (escadarias, corredores) e de permanência de pessoas (áreas de lazer, *home theater*, salas de ginástica, salões de festas, etc), sempre observando a presença ou não de dormitórios (que elevam os critérios mínimos permitidos).

A Tabela 4 traz todos os sistemas de vedação vertical interna presentes no apartamento estudado, com a natureza dos ambientes e os níveis de desempenho mínimos para essas configurações.

Tabela 4 - Sistemas de Vedação Vertical Interna do apartamento

Sistema	Vedação de separação entre ambientes		Desempenho Mínimo (dB)
	Ambiente 1	Ambiente 2	
SVVI 1	Suíte 1 Vizinho 301	Suíte 3	≥ 45
SVVI 2	Suíte 1 Vizinho 301	<i>Home Office</i>	≥ 45
SVVI 3	Banho 1 Vizinho 301	<i>Home Office</i>	≥ 40
SVVI 4	Banho 1 Vizinho 301	Circulação	≥ 40
SVVI 5	Suíte 1 Vizinho 302	Circulação	≥ 45
SVVI 6	Suíte 1 Vizinho 302	Sala de Estar	≥ 45

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

A quadro 3 traz as configurações das vedações componentes dos SSVI e das vias de transmissão laterais, superiores e inferiores desses sistemas. As lajes superiores e inferiores do apartamento são idênticas.

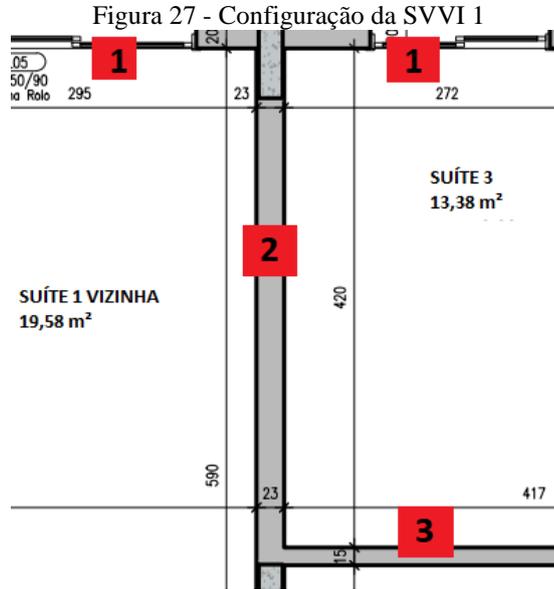
Quadro 3 - Características dos Sistemas de Vedação e Vias de Transmissão de Ruídos

Legenda: 1	Vedação Externa Padrão		
Componentes	Espessura (m)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Superficial (kg/m ²)
Alvenaria	0,14	594	83,16
Reboco Interno	0,025	1900	47,5
Reboco Externo	0,035	2100	73,50
Rw SVVE (dB)	44,62		
Legenda: 2	Vedação Interna de Geminação 1		
Componentes	Espessura (m)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Superficial (kg/m ²)
Alvenaria	0,19	594	112,86
Reboco Interno	0,02	1900	38,00
Reboco Externo	0,02	1900	38,00
Rw SVVI (dB)	43,36		

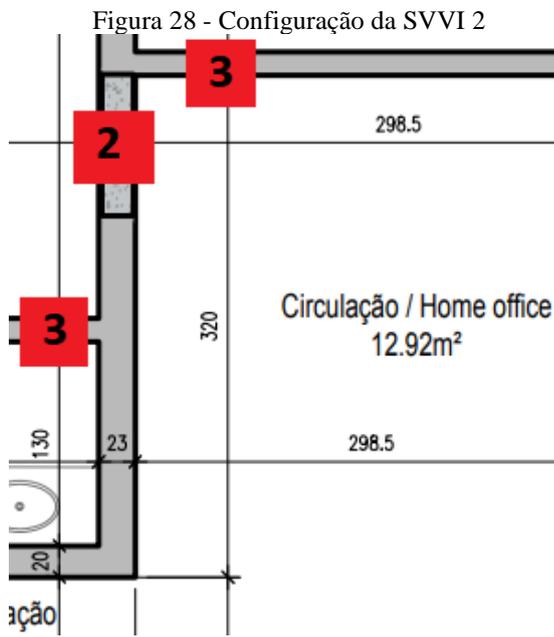
Legenda: 3	Vedação Interna Padrão		
Componentes	Espessura (m)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Superficial (kg/m ²)
Alvenaria	0,115	594	68,31
Reboco Interno	0,02	1900	38,00
Reboco Externo	0,02	1900	38,00
Rw SVVI (dB)	38,97		
Legenda: 5	Vedação Interna Padrão 2		
Componentes	Espessura (m)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Superficial (kg/m ²)
Alvenaria	0,14	594	83,16
Reboco Interno	0,03	1900	57,00
Reboco Externo	0,03	1900	57,00
Rw SVVI (dB)	44,06		
Legenda: 6	Vedação Interna Padrão 3		
Componentes	Espessura (m)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Superficial (kg/m ²)
Alvenaria	0,14	594	83,16
Alvenaria	0,14	594	86,16
Reboco Interno	0,02	1900	38,00
Reboco Externo	0,02	1900	38,00
Rw SVVI (dB)	47,41		
Legenda: 4	Laje do Piso Superior e Inferior ao Apartamento		
Componentes	Espessura (m)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Superficial (kg/m ²)
Contrapiso	0,05	2100	105
Manta Acústica	0,005	Manta acústica Acital FlexSilenzio PE, rigidez dinâmica de 52 MN/m ³ e redução sonora para contrapiso de 0,05 m de 23 dB.	
Laje Maciça Protendida	0,16	2400	384
Rw SP 1 (dB)	Melhoramento (ΔR) = 23 Rw Laje = 58,85 Rw Sistema = 81,85		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

As figuras 27, 28, 29, 30 e 31 trazem os sistemas avaliados e a identificação dos elementos de vedação componentes, presentes no quadro 3.

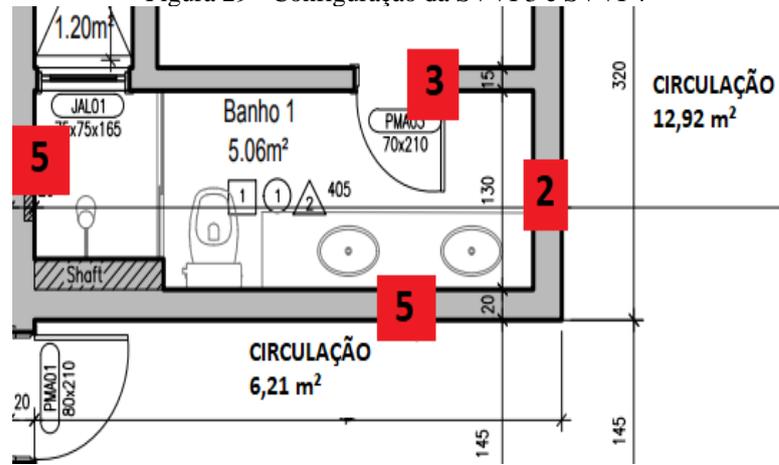


Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).



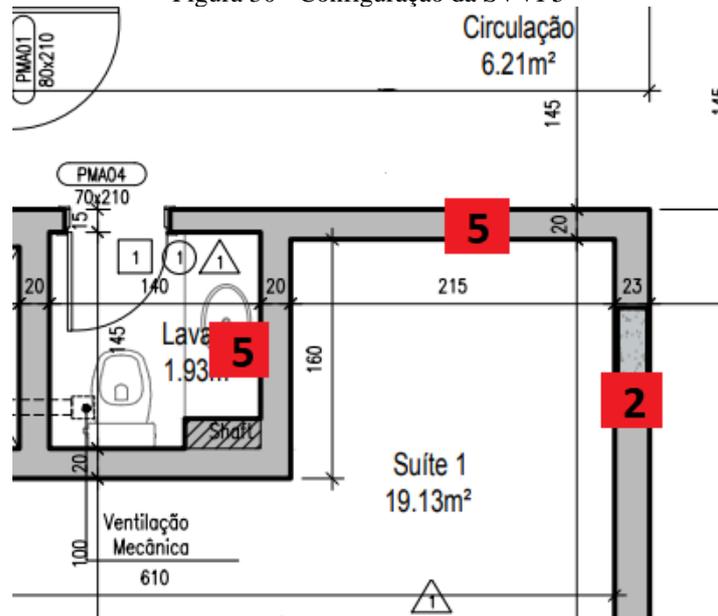
Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

Figura 29 - Configuração da SVVI 3 e SVVI 4

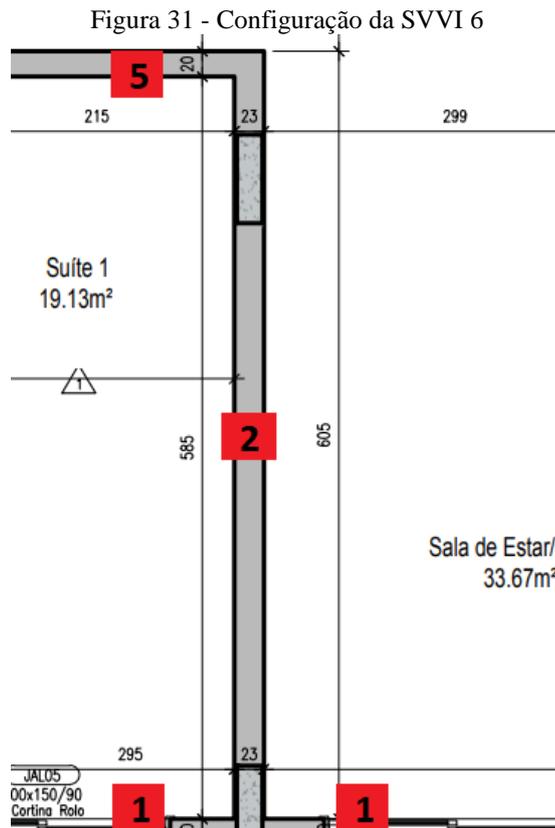


Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

Figura 30 - Configuração da SVVI 5



Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).



Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

Os resultados obtidos pelos sistemas avaliados constam na Tabela 5, juntamente com os valores comparativos presentes na NBR 15575 e os níveis alcançados.

Tabela 5 - Resumo dos desempenhos obtidos pelos SVVI

Sistema	Resultado DnT,w (dB)	Valores Mínimos DnT,w (dB)	Desempenho
SVVI 1	42,66	≥ 45	Abaixo do Mínimo
SVVI 2	46,18	≥ 45	Mínimo
SVVI 3	46,91	≥ 40	Intermediário
SVVI 4	40,02	≥ 40	Mínimo
SVVI 5	42,42	≥ 45	Abaixo do Mínimo
SVVI 6	45,42	≥ 45	Mínimo

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

As avaliações que envolvem espaços abertos, como as circulações e o *home office* foram feitas de forma mais conservadora, não considerando que os espaços abertos são

comunicáveis e oferecem um volume maior de recepção dos ruídos, aumentando assim o desempenho. Além disso também não foram consideradas as estruturas em concreto, que também oferecem valores superiores de desempenho.

4.2.3 Desempenho Acústico do Sistema de Piso à Ruídos Aéreos e Ruídos de Impacto

Em relação ao desempenho dos SP à ruídos aéreos e ruídos de impacto, observa-se todas as lajes que sejam divisórias de unidades habitacionais autônomas, unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual e áreas comuns de uso coletivo, sempre observando a presença ou não de dormitórios no conjunto.

Como os apartamentos são idênticos na edificação inteira, os resultados obtidos para os sistemas de piso podem ser estendidos para os apartamentos localizados na mesma posição em andares distintos.

A Tabela 6 traz todos os sistemas de piso presentes no apartamento estudado, com a natureza dos ambientes e os níveis de desempenho mínimos para essas configurações nos dois requisitos.

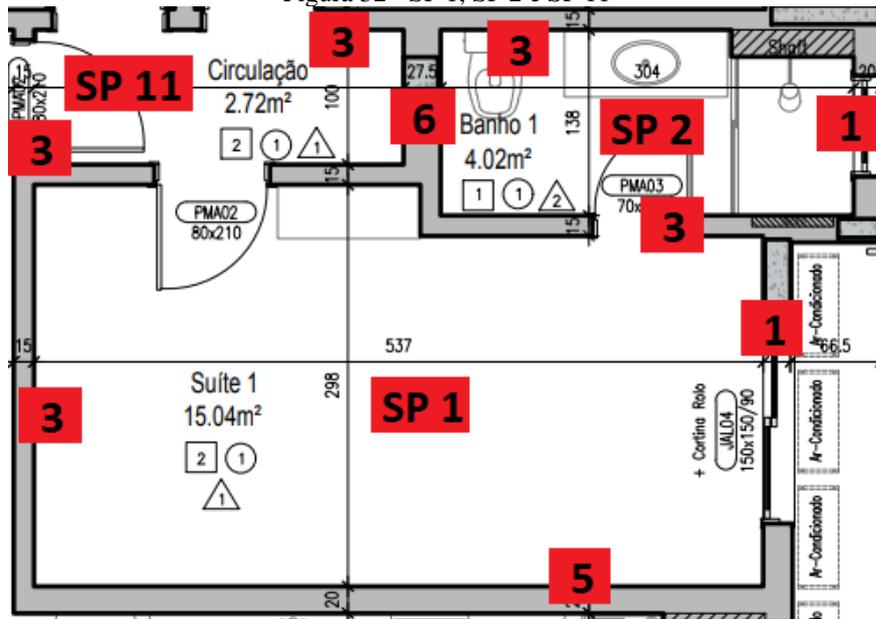
Tabela 6 - Sistemas de Piso do Apartamento

Sistema	Tipo de Ambiente	Desempenho Mínimo Ruído Aéreo (dB)	Desempenho Mínimo Ruído Impacto (dB)
SP 1	Suíte 1	≥ 45	≤ 80
SP 2	Banho 1	≥ 40	≤ 80
SP 3	Suíte 2	≥ 45	≤ 80
SP 4	Banho 2	≥ 40	≤ 80
SP 5	Suíte 3	≥ 45	≤ 80
SP 6	Banho 3	≥ 40	≤ 80
SP 7/8	Cozinha + Sala	≥ 40	≤ 80
SP 9/10	<i>Home Office</i> + Circ.	≥ 40	≤ 80
SP 11	Circulação Central	≥ 40	≤ 80
SP 12	Lavabo	≥ 40	≤ 80

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

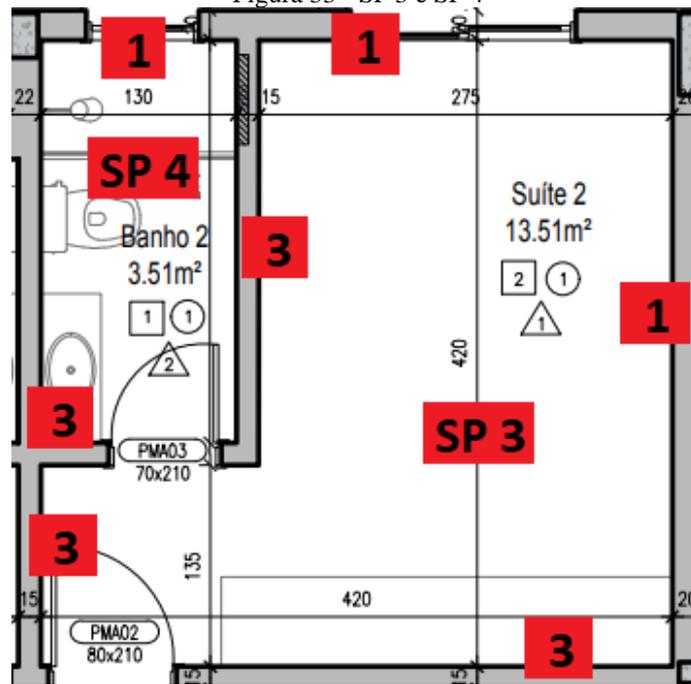
As Figuras 32, 33, 34, 35, 36 e 37, trazem a definição dos sistemas a serem avaliados.

Figura 32 - SP 1, SP 2 e SP 11



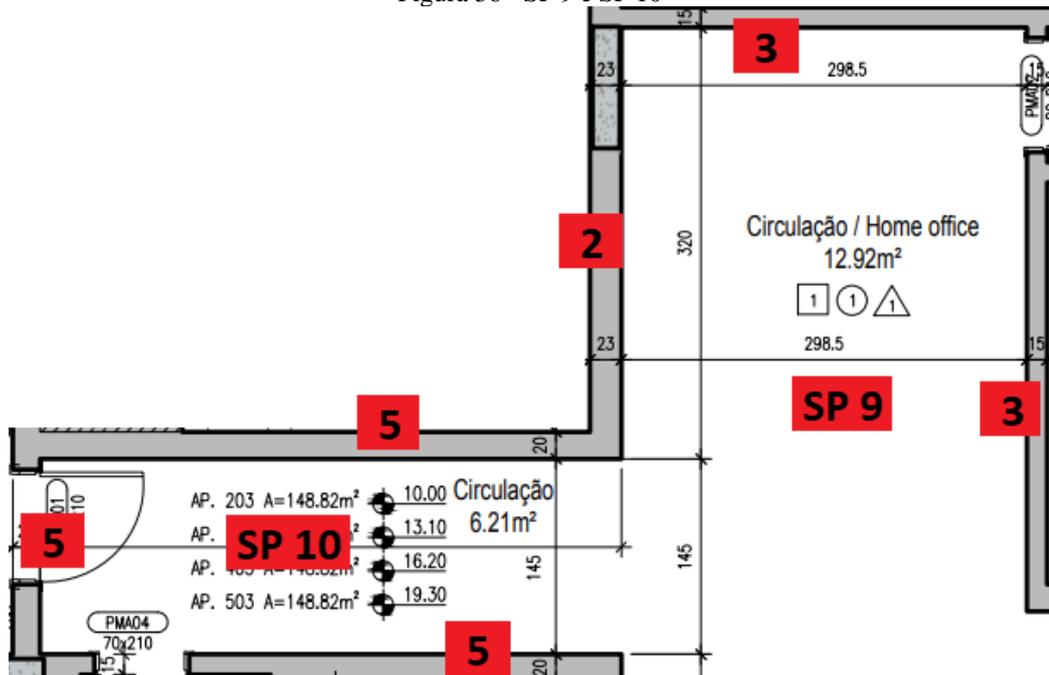
Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

Figura 33 - SP 3 e SP 4



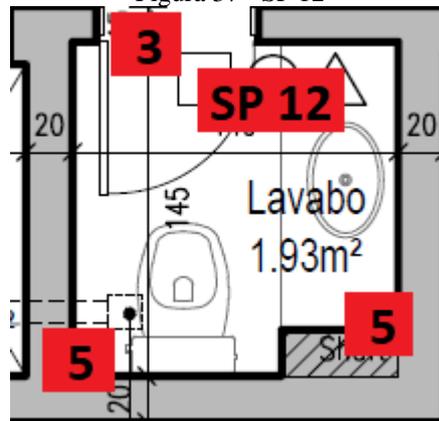
Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

Figura 36 - SP 9 e SP 10



Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

Figura 37 - SP 12



Fonte: Fornecido pela empresa e adaptado pelo Autor (2019).

A Tabela 7 contém o resumo dos desempenhos obtidos pelos sistemas de pisos aos ruídos aéreos e de impacto.

Tabela 7 - Resumo dos Desempenhos dos SP

Sistema	Resultados (dB)		Valores Mínimos (dB)		Desempenho	
	DnT,w	L'nT,w	DnT,w	L'nT,w	Aéreo	Impacto
SP 1	47,05	52,40	≥ 45	≤ 80	Mínimo	Superior
SP 2	44,04	58,13	≥ 40	≤ 80	Mínimo	Intermediário
SP 3	46,69	52,86	≥ 45	≤ 80	Mínimo	Superior
SP 4	42,73	58,72	≥ 40	≤ 80	Mínimo	Intermediário
SP 5	46,23	52,91	≥ 45	≤ 80	Mínimo	Superior
SP 6	42,46	58,98	≥ 40	≤ 80	Mínimo	Intermediário
SP 7/8	50,49	46,44	≥ 40	≤ 80	Superior	Superior
SP 9/10	48,34	51,35	≥ 40	≤ 80	Intermediário	Superior
SP 11	42,96	59,82	≥ 40	≤ 80	Mínimo	Intermediário
SP 12	42,92	61,31	≥ 40	≤ 80	Mínimo	Intermediário

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Dessa forma, obteve-se o desempenho de todos os sistemas pertencentes ao apartamento avaliado, classificando-os de acordo com o cumprimento da norma de desempenho. Na Tabela 8, apresentam-se os sistemas que não alcançaram os requisitos mínimos da NBR 15575.

Tabela 8 – Requisitos abaixo do valor mínimo de desempenho da NBR 15575

Sistema	Resultados (dB)			Valores Mínimos (dB)		
	DnT,w	D2m,nT,w	L'nT,w	DnT,w	D2m,nT,w	L'nT,w
SVVI 1	42,66			≥ 45		
SVVI 5	42,42			≥ 45		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

4.3 PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DO PROJETO

Buscando a adequação do projeto aos requisitos mínimos da norma de desempenho, pode-se utilizar a ferramenta de simulação e o modelo representativo de modo a entender como as diversas variáveis impactam no desempenho final do sistema. Mudanças pontuais nas características básicas dos sistemas, apresentam mudanças diretas no valor global do desempenho, nos quatro requisitos abordados nesse estudo.

Dessa forma, de modo a adequar o projeto do apartamento estudado nas seções anteriores, serão propostas mudanças de projeto, juntamente com seus desempenhos simulados.

Conforme a Tabela 8, o projeto não se adequou apenas em dois sistemas estudados, sendo eles do mesmo requisito abordado: desempenho dos sistemas de vedação verticais internas à ruídos aéreos. De acordo com o modelo representativo, o desempenho desses sistemas ao requisito depende das características tanto da vedação direta entre os ambientes, quanto dos flancos laterais (paredes que vedam om ambientes lateralmente e se comunicam com a vedação principal) e os sistemas de piso superiores e inferiores, além das características geométricas desses ambientes. Naturalmente, as características geométricas de um projeto não se alteram, uma vez que esse projeto já está em fase de vendas e a empresa deve garantir o cumprimento das medidas apresentadas em projeto. Os sistemas de pisos apresentaram desempenhos excelentes quanto aos requisitos de ruídos aéreos e de impacto pelo piso, dessa forma, demonstram ser de qualidade.

Dessa forma, o mais esperado e mais fácil também de se alterar, são as configurações das próprias vedações verticais internas dos sistemas. Segundo o modelo representativo, as características que impactam nesse resultado final são as massas específicas dos materiais componentes das diversas camadas dos sistemas de vedação e as espessuras dessas camadas. Além disso pode-se pensar também em melhoramentos para os sistemas. Internamente pode-se adicionar uma camada de material com bom desempenho acústico, como são as mantas acústicas de paredes, lãs de rocha, materiais poliméricos, etc. Atualmente, é comum encontrar sistemas com camadas duplas de vedações e aplicação de materiais entre camadas, apresentando valores superiores de desempenho e perdendo muito pouco em medidas dos ambientes.

Esse tipo de decisão de projeto a se tomar deve contemplar também os custos envolvidos, como custos e consumos de materiais e tempo gasto na execução de cada solução.

O sistema SVVI 1 apresentou o valor de 42,66 dB diante dos 45 dB mínimos trazidos pela norma. Primeiramente buscar-se-á variar as configurações da vedação principal, que tem maior impacto no desempenho global, alterando as espessuras das camadas componentes desse sistema. Em projeto, esse sistema é composto por tijolo cerâmico 19x19x19 cm com massa específica de 594 kg/m³ e reboco de 2 cm em cada lado da vedação com massa específica de 1900 kg/m³. A Tabela 9 traz os sistemas testados para adequação do projeto à norma.

Dessa forma, observa-se que poderia apenas ser trocado o sistema atual, por um sistema com tijolos cerâmicos de 14x19x19 cm, com 4cm de reboco em cada lado, ganhando 1

cm em relação ao original. Essa seria uma solução fácil de implantar, não necessitando de técnicas avançadas para cumprimento da norma.

Tabela 9 - Simulações realizadas com SVVI 1

Sistema Simulado: SVVI 1		
Configuração Vedação Principal	Espessura Vedação (cm)	Desempenho (dB)
Tijolo 19x19x19 cm + reboco de 2 cm em cada lado	23	42,66
Camada dupla tijolo 9x19x19 cm + 1 cm de ar + reboco de 2 cm em cada lado	23	42,18
Tijolo 14x14x14 cm + reboco de 4,5 cm em cada lado	23	46,92
Tijolo 14x14x14 cm + reboco de 4,0 cm em cada lado	22	45,83

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O mesmo acontece com o sistema SVVI 5 e se apresenta na Tabela 10. Percebe-se a “força” que o reboco exerce no resultado final, devido à sua massa específica ser muito mais elevada que a da vedação cerâmica.

Tabela 10 - Simulações realizadas com SVVI 5

Sistema Simulado: SVVI 5		
Configuração Vedação Principal	Espessura Vedação (cm)	Desempenho (dB)
Tijolo 14x19x19 cm + reboco de 3 cm em cada lado	20	42,42
Tijolo 14x19x19 cm + reboco de 3,5 cm em cada lado	21	43,66
Tijolo 11,5x19x19 cm + reboco de 4 cm em cada lado	19,5	43,91
Tijolo 9x19x19 cm + reboco de 5 cm em cada lado	19	45,22

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho efetuou todo um estudo acerca dos requisitos de desempenho acústico da norma de desempenho das edificações, utilizando-se da norma internacional ISO 12354 para desenvolver um modelo de estimativa que apresentasse a relação de dependência entre o desempenho global e às características dos sistemas de vedação e de piso das edificações.

Cumpriu-se os objetivos propostos no início do trabalho, efetuando-se primeiramente o mapeamento da norma de desempenho NBR 15575, conhecendo todo o processo de utilização da norma e os requisitos propostos para adequação de projetos.

Foi desenvolvido o modelo representativo proposto, baseado nos ensinamentos obtidos no campo da ergonomia cognitiva e da elaboração de mapas mentais, propiciando aos projetistas identificarem a estrutura de dependências para se obter os desempenhos acústicos nos quatro requisitos trazidos pela norma.

O modelo de simulação foi aplicado para uma unidade autônoma, efetuando a simulação do desempenho acústico dos sistemas componentes dessa unidade e classificando esses sistemas de acordo com a norma de desempenho, observando o atendimento aos níveis mínimos de desempenho e identificando sistemas que estejam abaixo dos padrões desejados.

Por fim, foram separados os requisitos que não atingiram os níveis mínimos de desempenho e foram realizadas simulações de algumas configurações para os sistemas, observando como o desempenho se modifica com a alteração de algumas características e propondo configurações que façam os requisitos mínimos serem alcançados.

Espera-se que em trabalhos futuros, realize-se um estudo comparativo entre dados obtidos por simulações e dados reais obtidos em medições *in loco*. Além disso, pode-se realizar a automatização da ferramenta de simulação juntamente com criação de banco de dados de materiais utilizados e suas características, tornando o processo de cálculo mais rápido.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, J. **Diagnóstico das dificuldades do uso de projeto para produção de vedações verticais**. São Paulo, 2005. 184p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15575-1, 2013**. Desempenho de edificações habitacionais – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15575-2, 2013**. Desempenho de edificações habitacionais – Parte 2: Requisitos para os sistemas de estruturais. Rio de Janeiro, 2013b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15575-3, 2013**. Desempenho de edificações habitacionais – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos. Rio de Janeiro, 2013c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15575-4, 2013**. Desempenho de edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15575-5, 2013**. Desempenho de edificações habitacionais – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013e.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15575-6, 2013**. Desempenho de edificações habitacionais – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013f.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo. Editora Edgard Blucher. 2006.
- BUZAN, Tony. **Mapas mentais**. Tradução de Paulo Polzonoff Jr. Rio de Janeiro: Sextante, 2009.
- COSTA, V.H.C. **O ruído e suas interferências na saúde e no trabalho**. São Paulo: Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisas de Saúde e dos Ambientes de Trabalho, DIESAT, 1989-90.
- FELLENBERG, Gunter. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. 1. ed. revisada. Revisão técnica: Cláudio Gilberto Froehlich. São Paulo: EPU Springer, 1980.
- GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2 ed. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 2000.
- HALLIDAY, David; WALKER, Jearl; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 2. v. 4. ed. São Paulo: LTC, 2009.
- IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 614 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 12354-1:2017**. Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms. Geneva, 2017a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 12354-2:2017**. Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 2: Impact sound insulation between rooms. Geneva, 2017b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 12354-3:2017**. Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound. Geneva, 2017c.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. 2001. 235p. Tese (LivreDocência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

ONO, R. **Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, jan./mar. 2007.

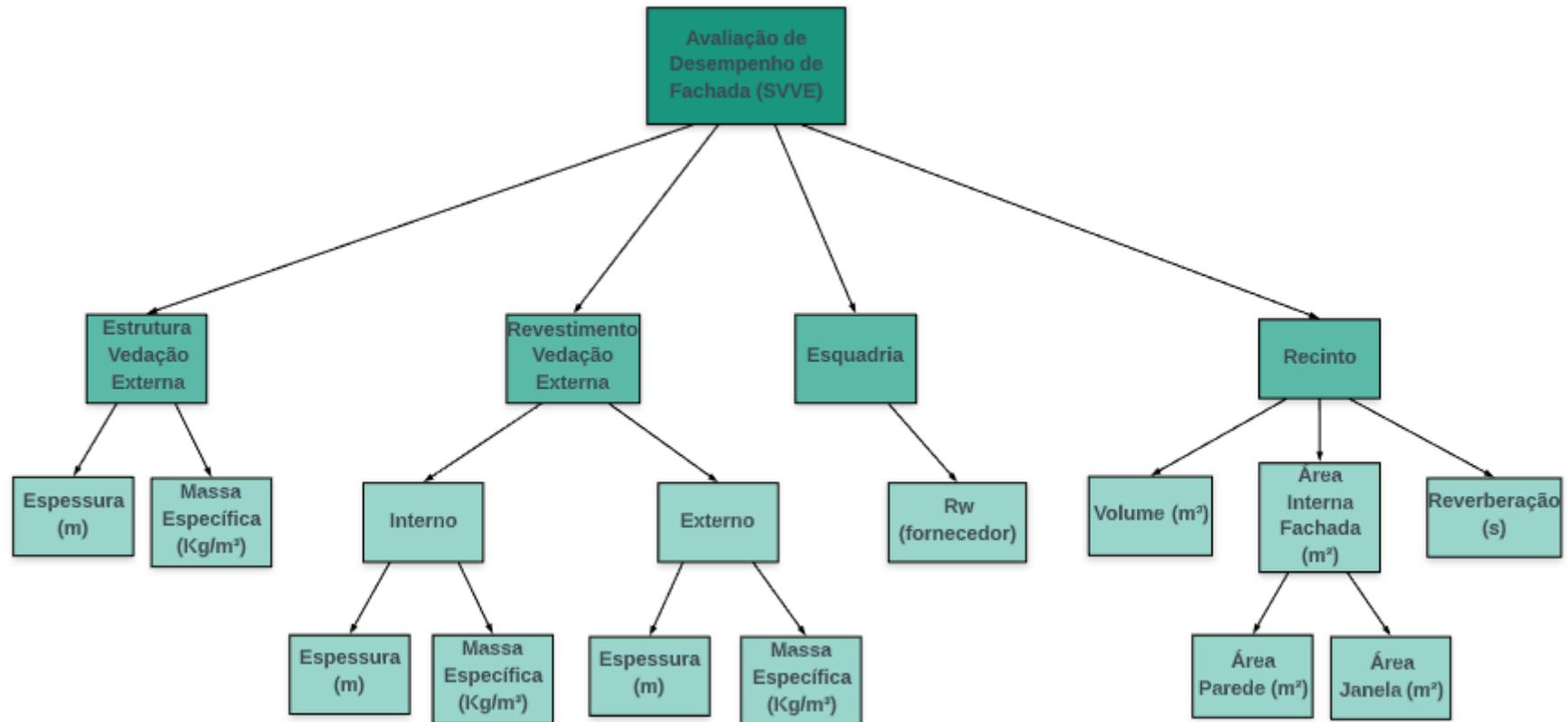
PALHOÇA, LEI Nº 16 (1993). Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-palhoca-sc>. Acesso em: 20 de out. 2019.

PROACÚSTICA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**. Guia prático sobre cada uma das partes relacionada à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais - Desempenho. 2013. ProAcústica Associação Brasileira para a Qualidade Acústica, 2013.

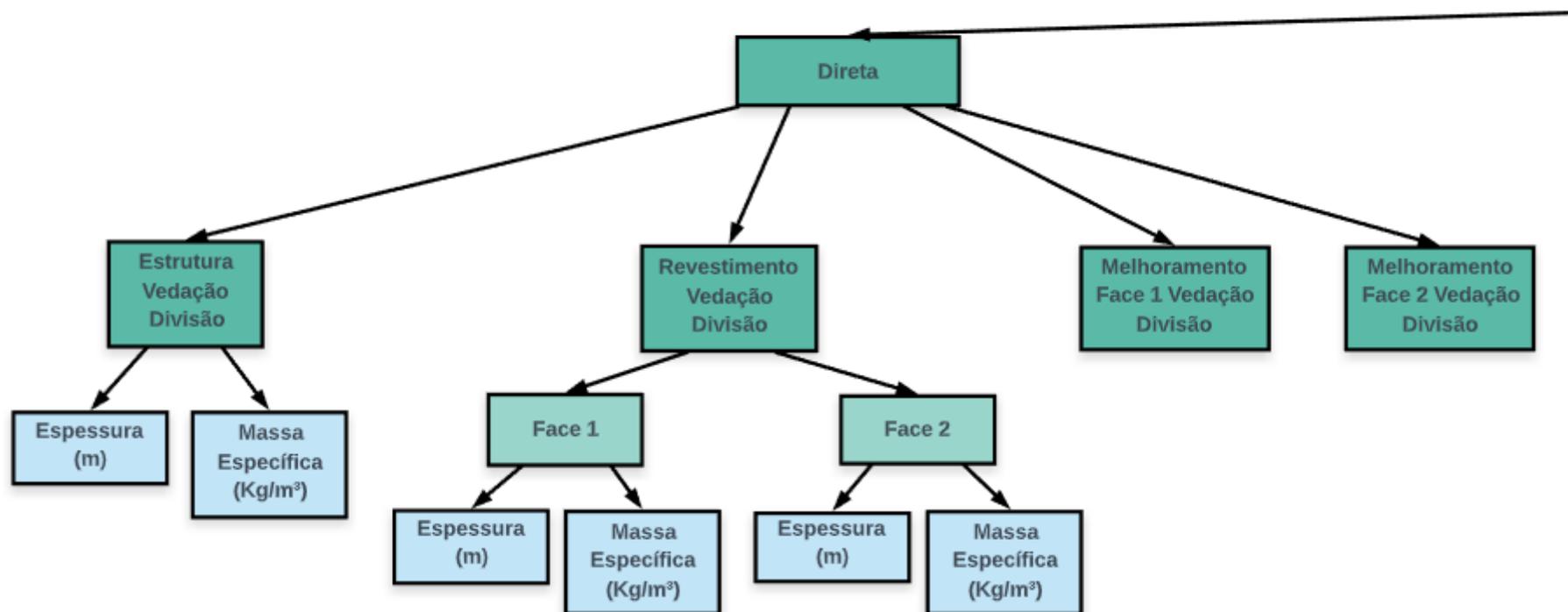
SELIGMAN J. **Sintomas e sinais na PAIR**. In: Nudelmann AA, Costa EA, Seligman J, Ibanez RN. PAIR: perda auditiva induzida pelo ruído. Porto Alegre: Bagagem Comunicação; 1997. p.143-53. Servilha EAM. A

TAKAHASHI, Vanessa Fátima de Medeiros. **Desempenho acústico de edificações: ferramenta computacional para avaliação**. 2016. Proposta de Tese de Doutorado (Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Campinas, 2016.

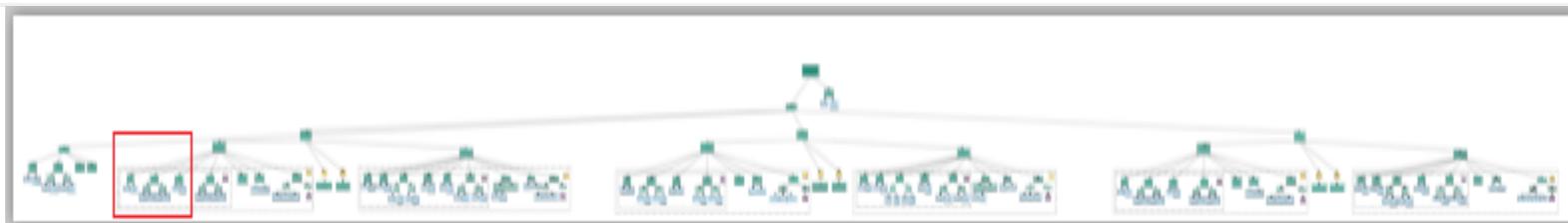
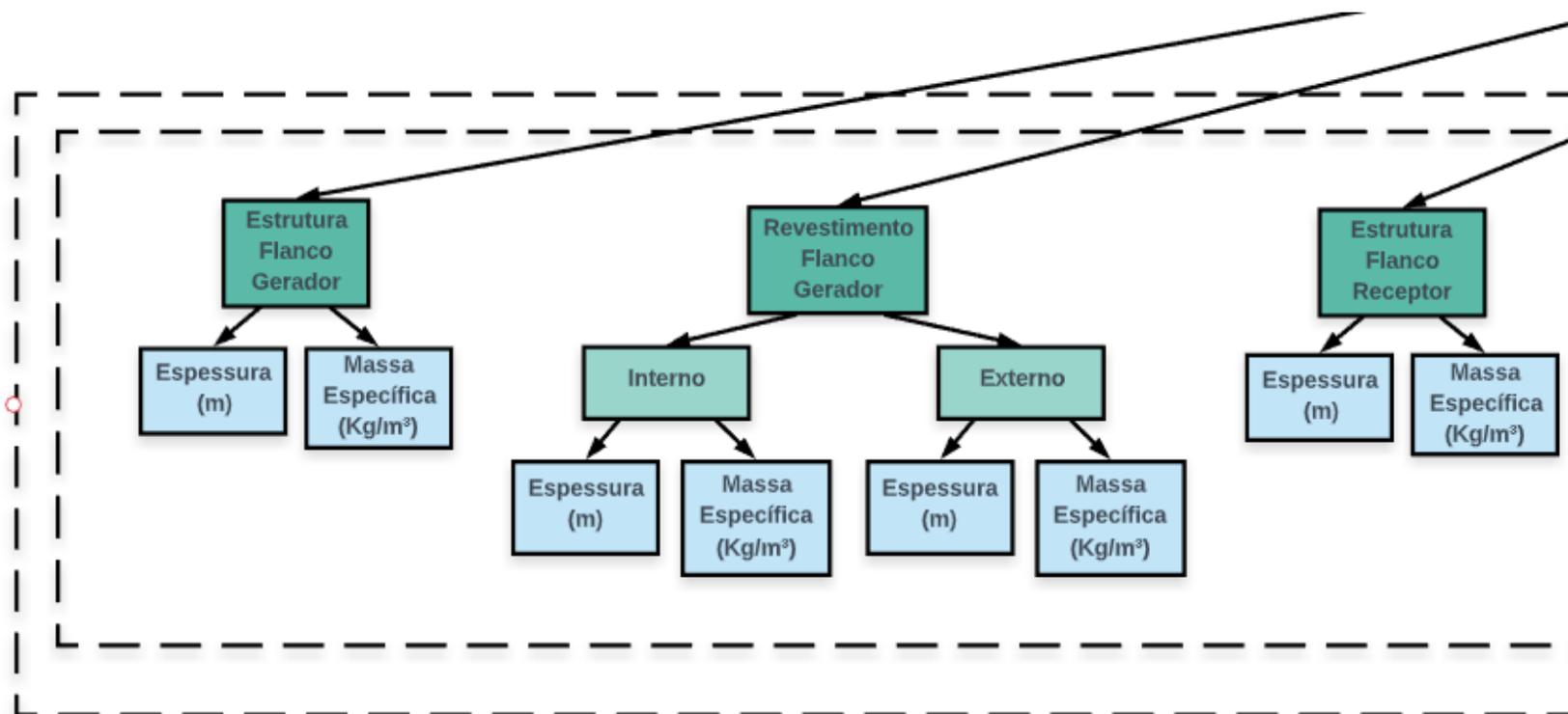
TONDO, Gledson Rodrigo. **Avaliação dos Processos e Equipamentos Necessários para a Adequação de Nível de Desempenho Térmico e Acústico de Projetos de Habitações Populares Segundo a NBR 15.575:2013**. 2014. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

APÊNDICE A – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação externa ao ruído aéreo externo

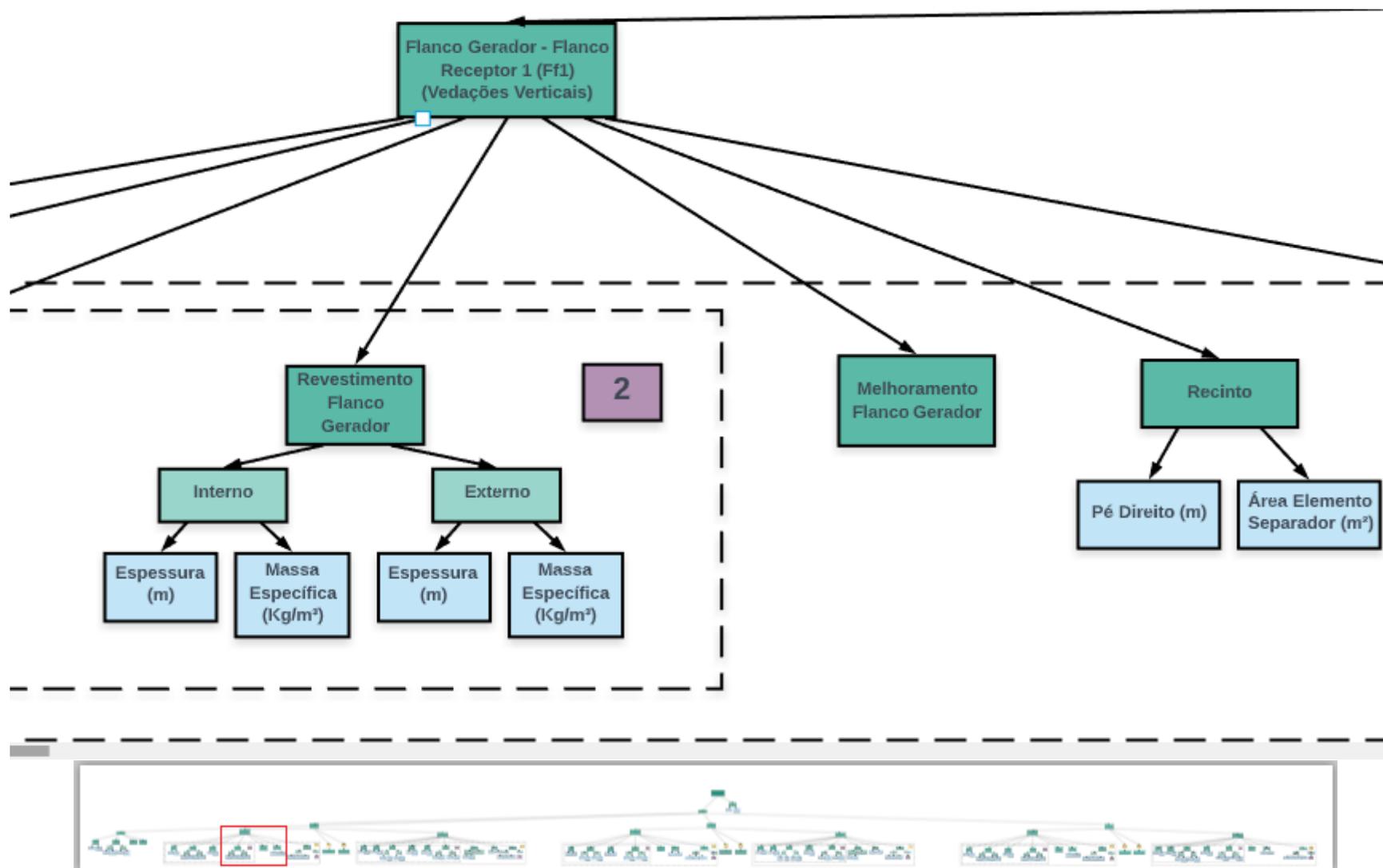
APÊNDICE B.1 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

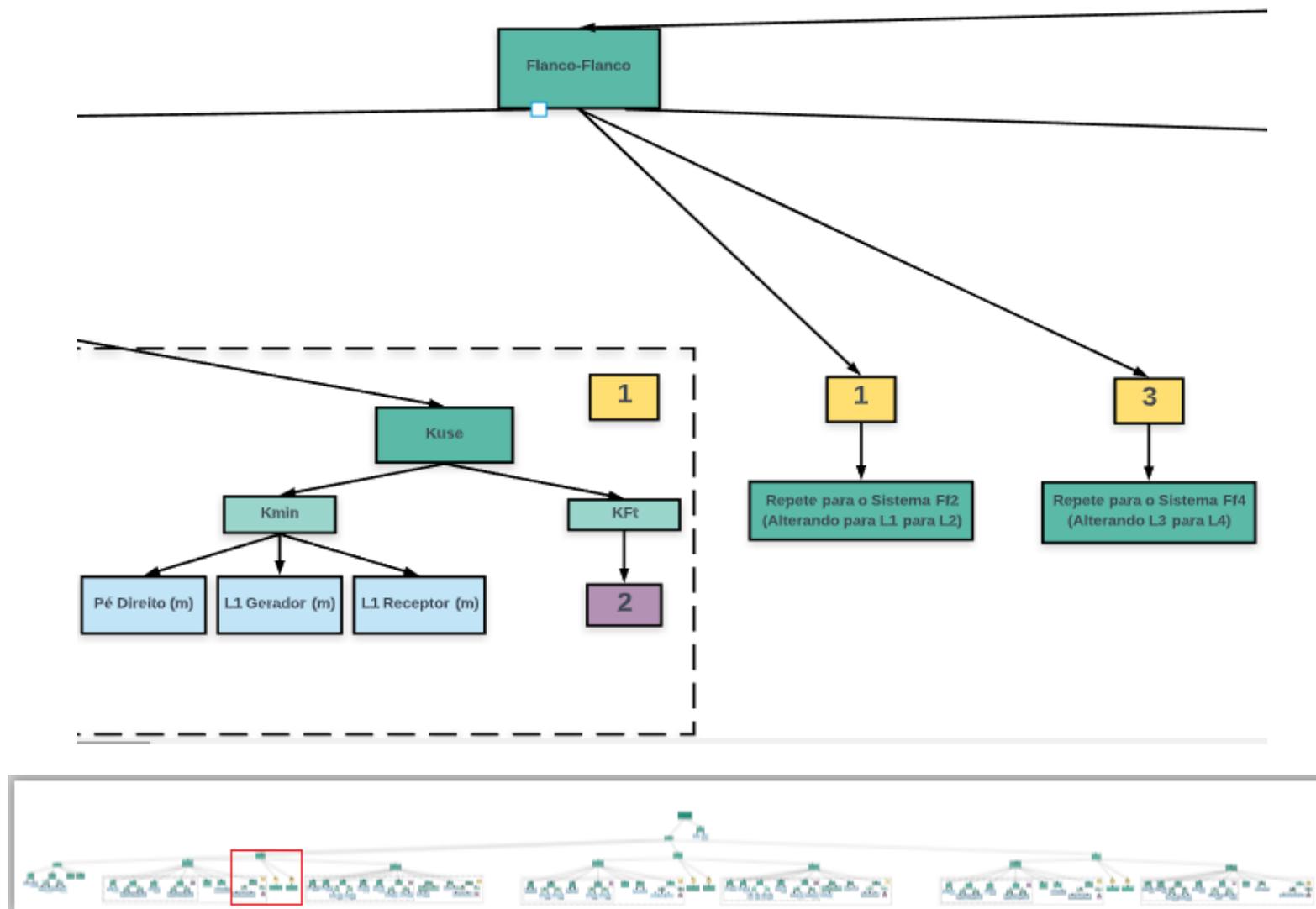


APÊNDICE B.2 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

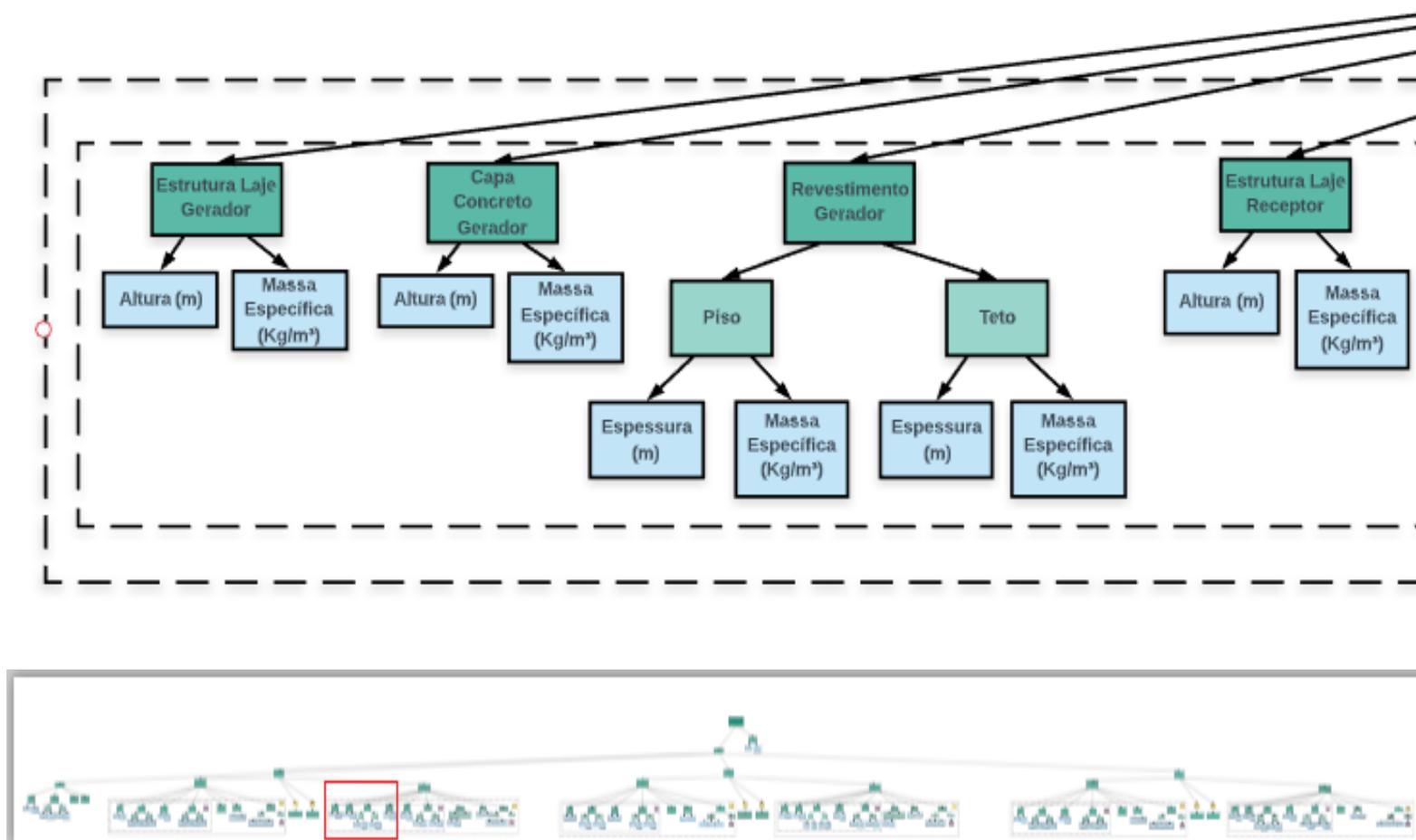


APÊNDICE B.3 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

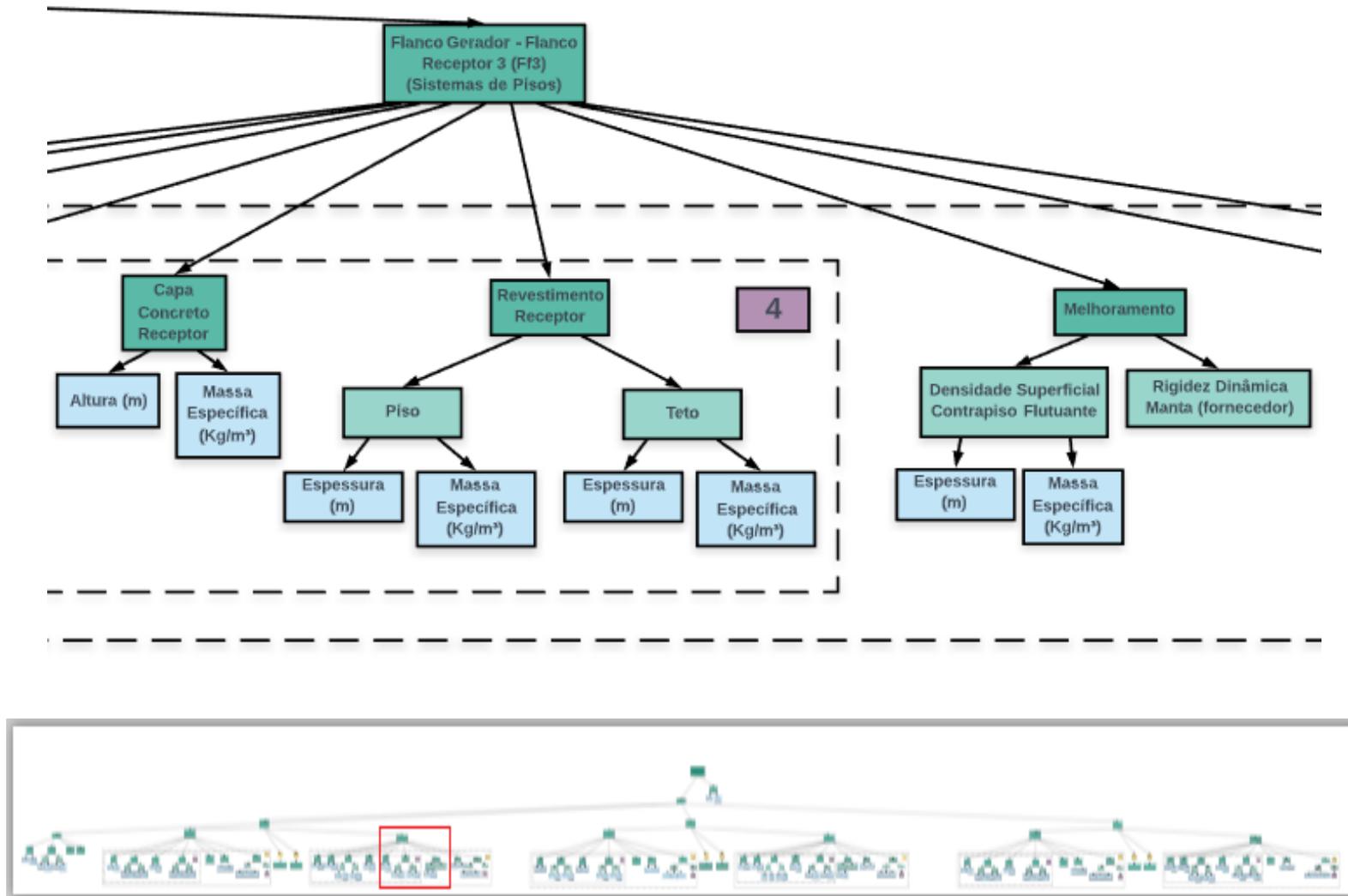


APÊNDICE B.4 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

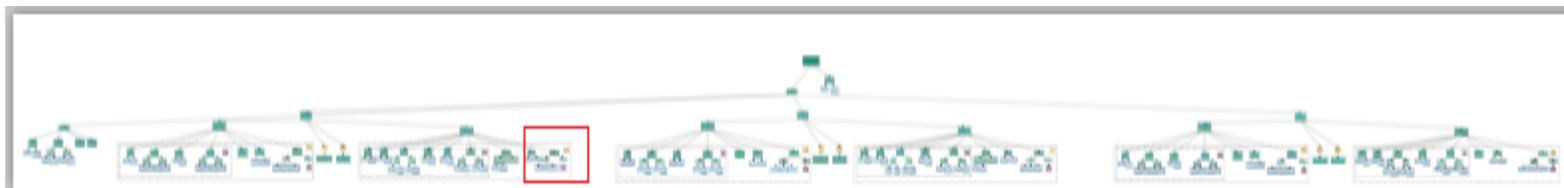
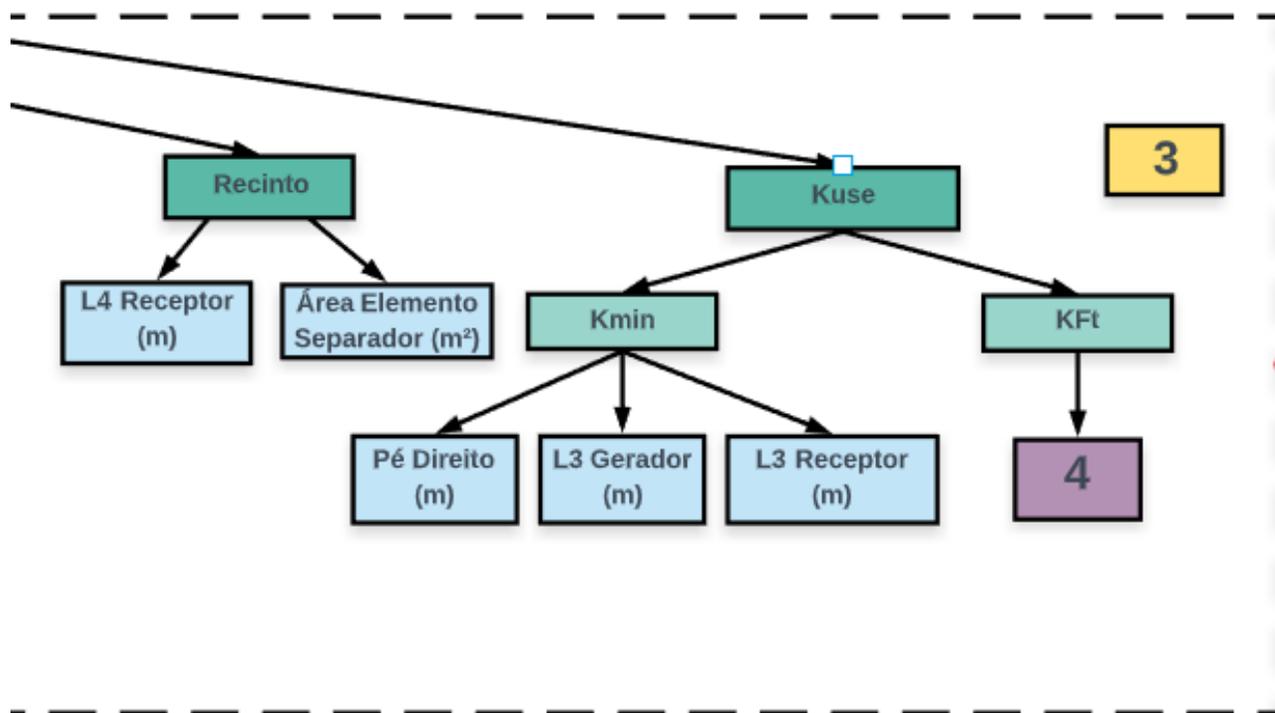
APÊNDICE B.5 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo



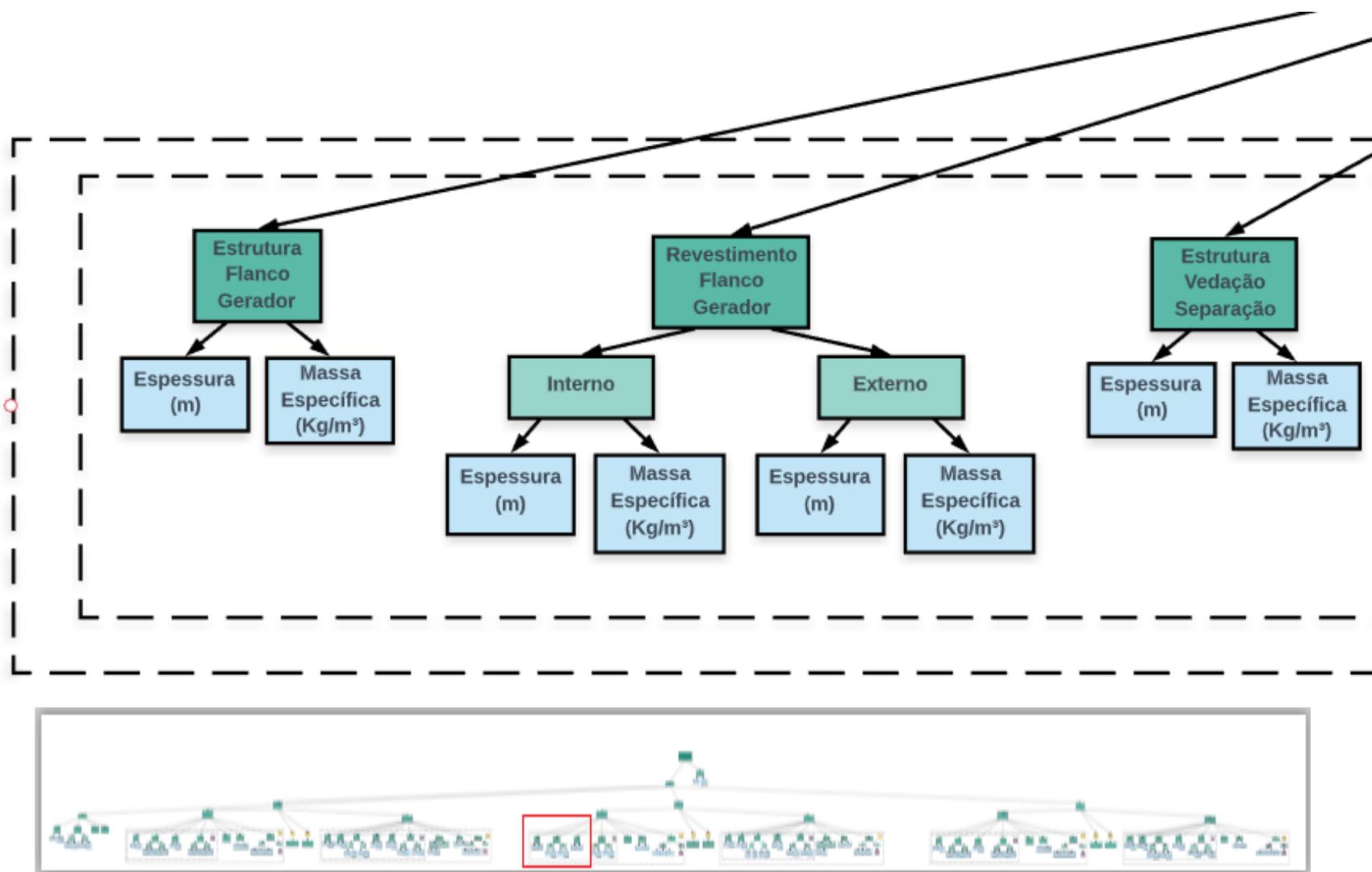
APÊNDICE B.6 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo



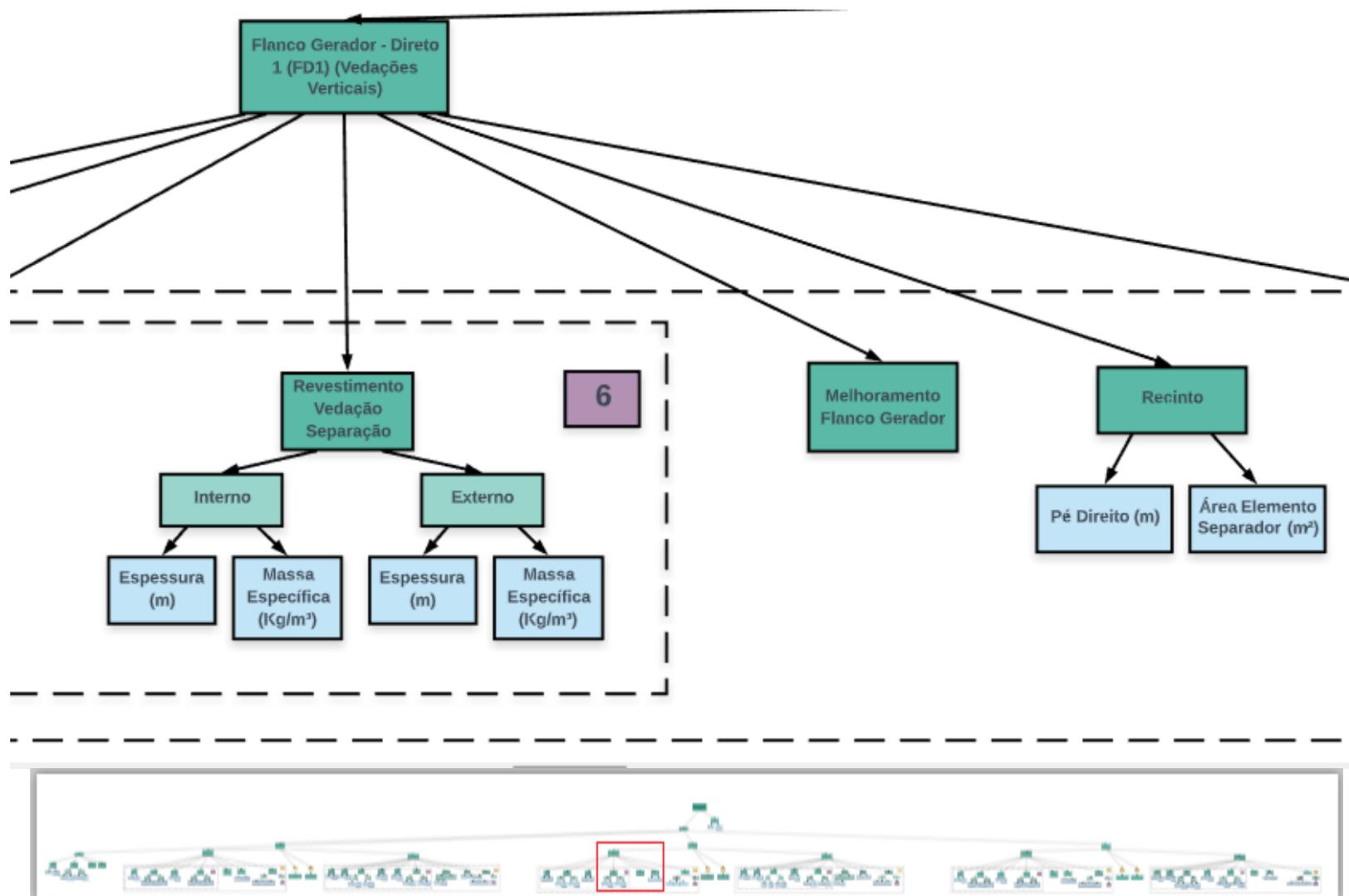
APÊNDICE B.7 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

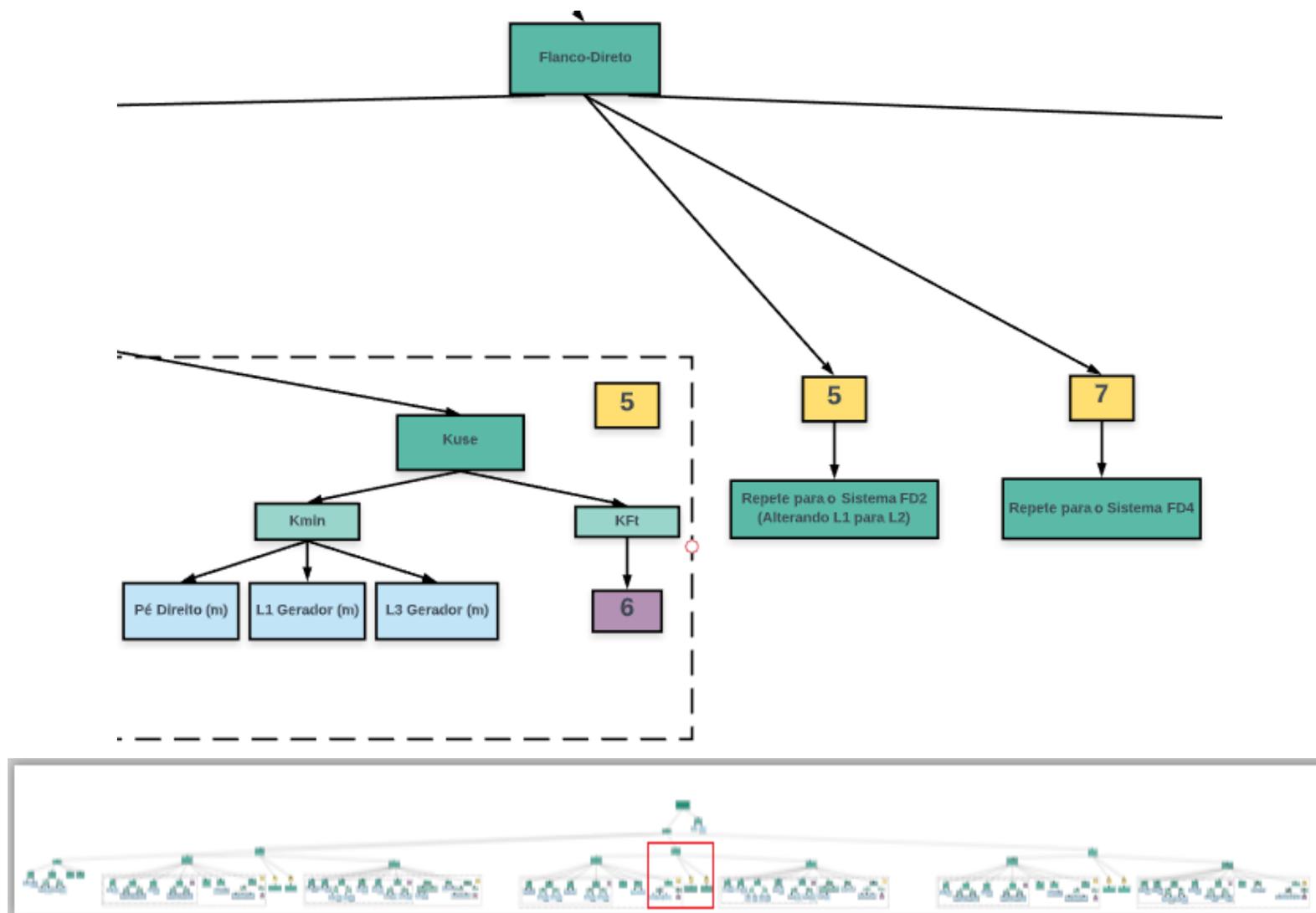


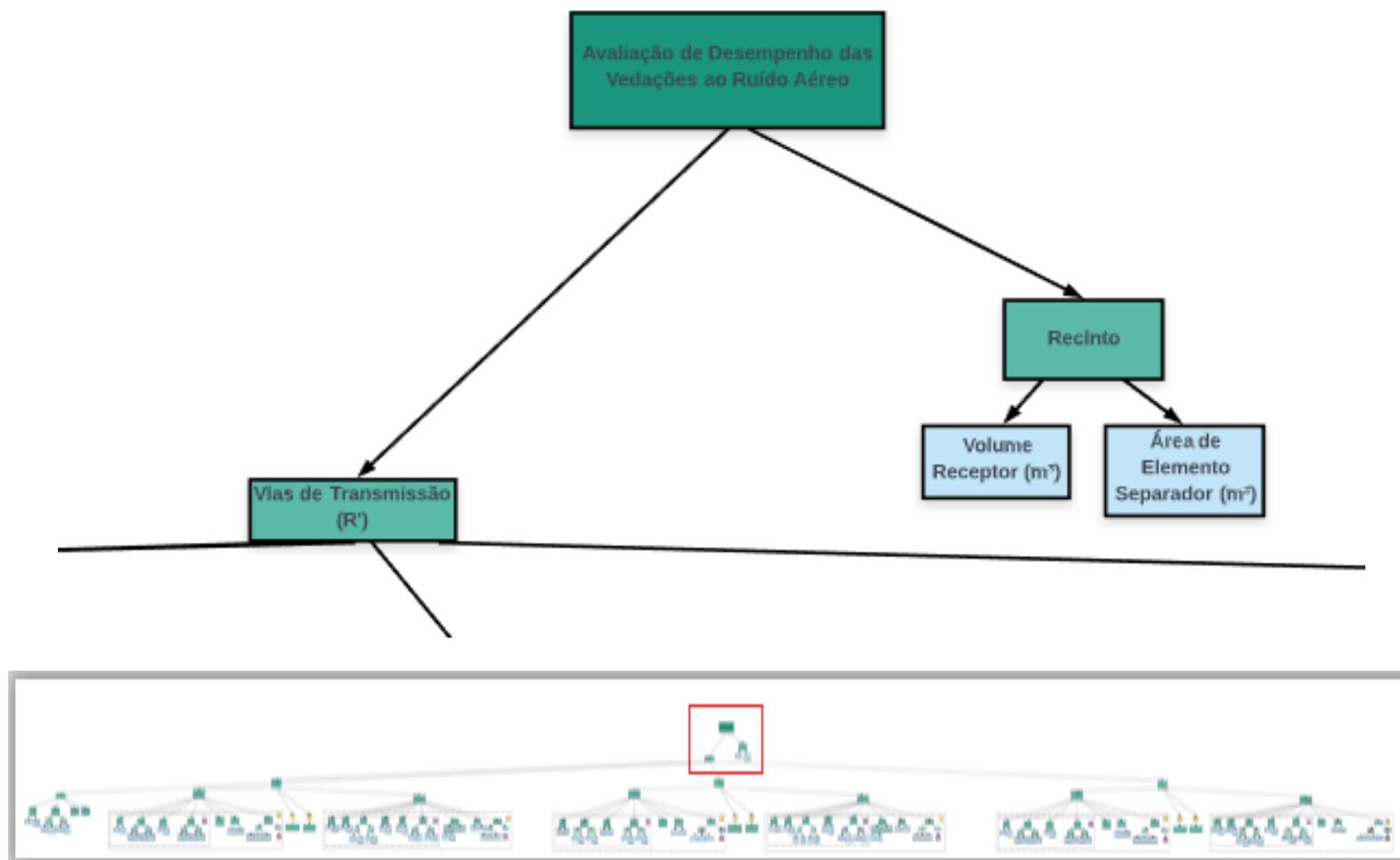
APÊNDICE B.8 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo



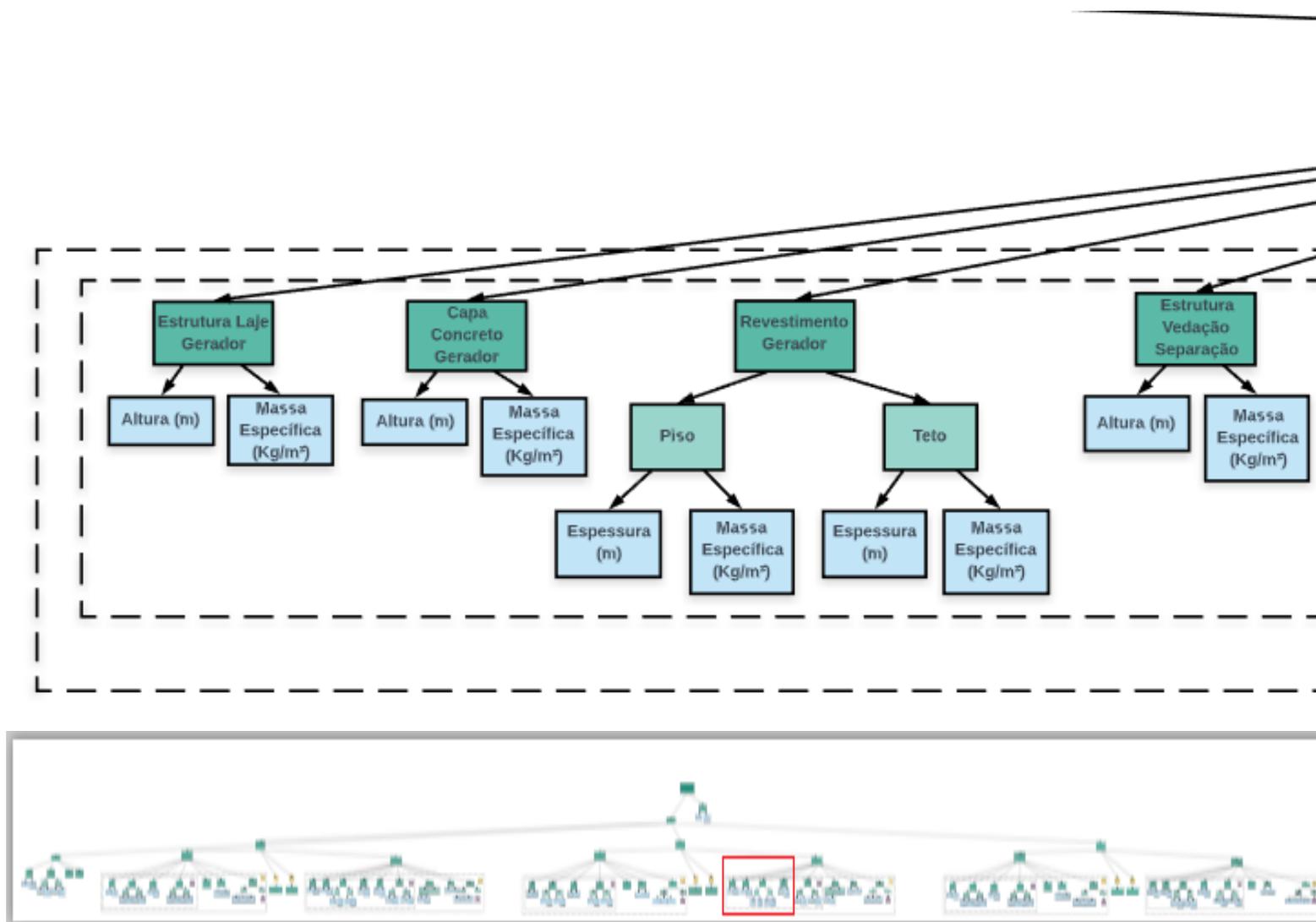
APÊNDICE B.9 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo



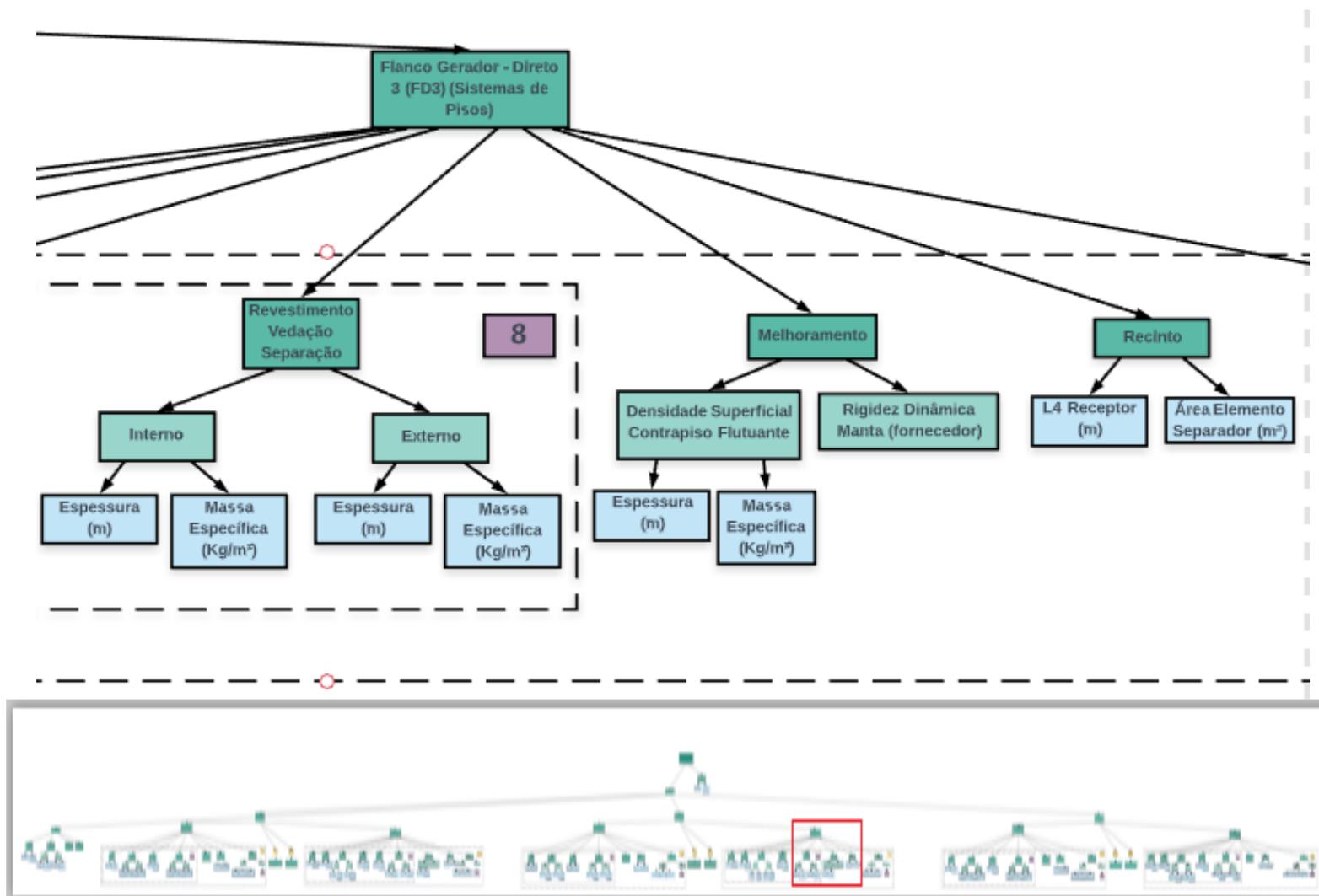
APÊNDICE B.10 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

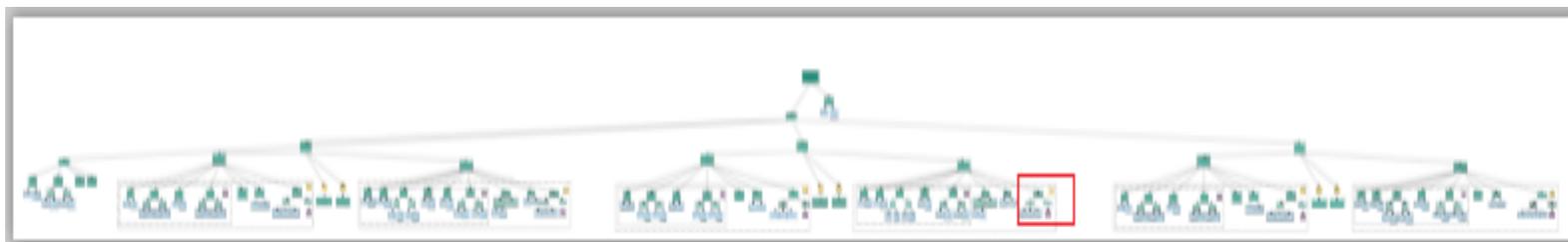
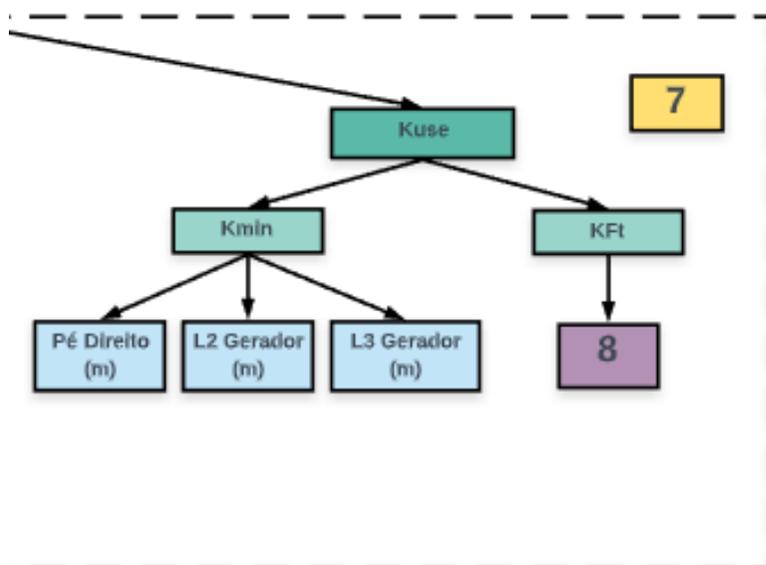
APÊNDICE B.11 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

APÊNDICE B.12 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

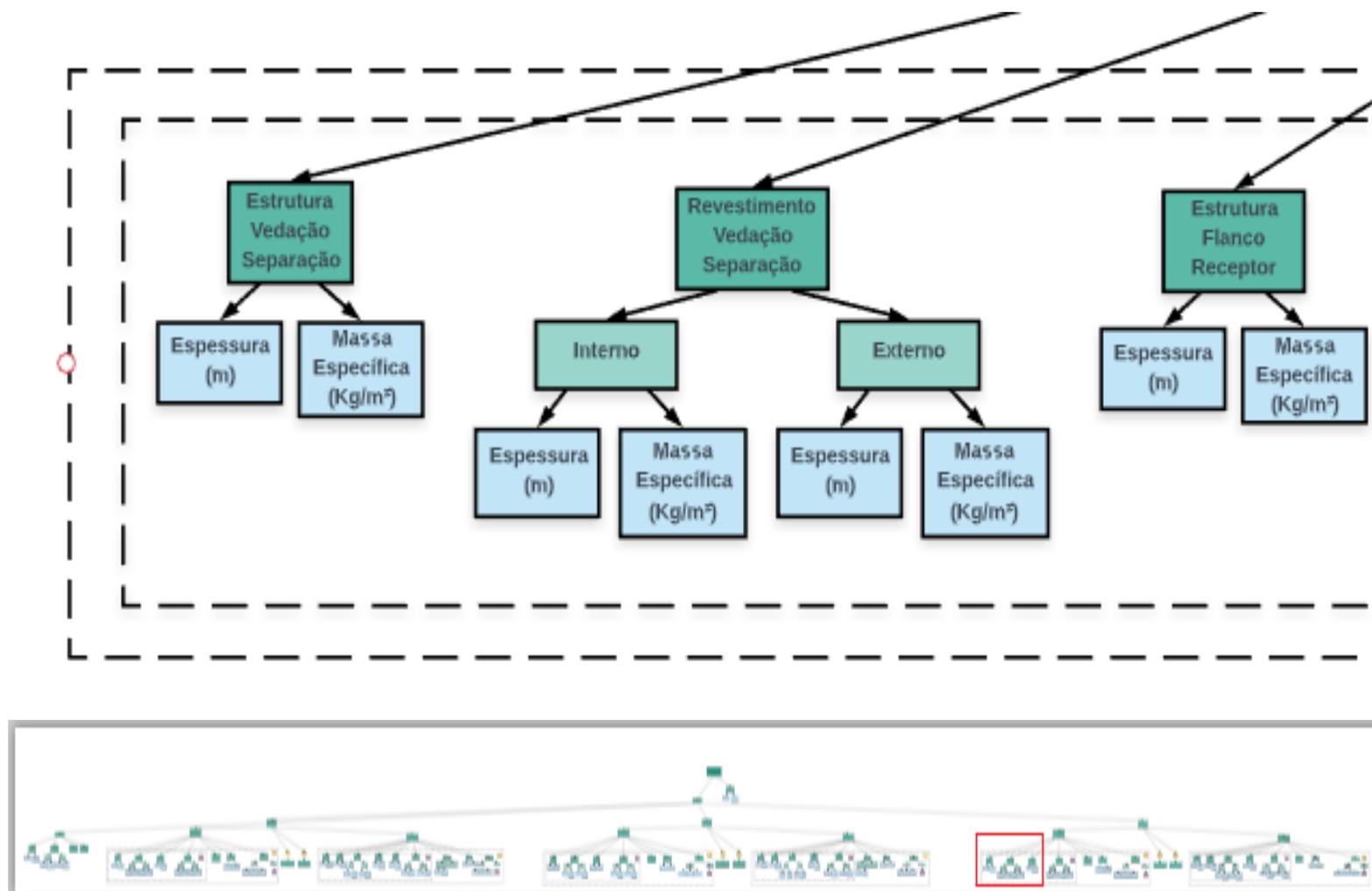


APÊNDICE B.13 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

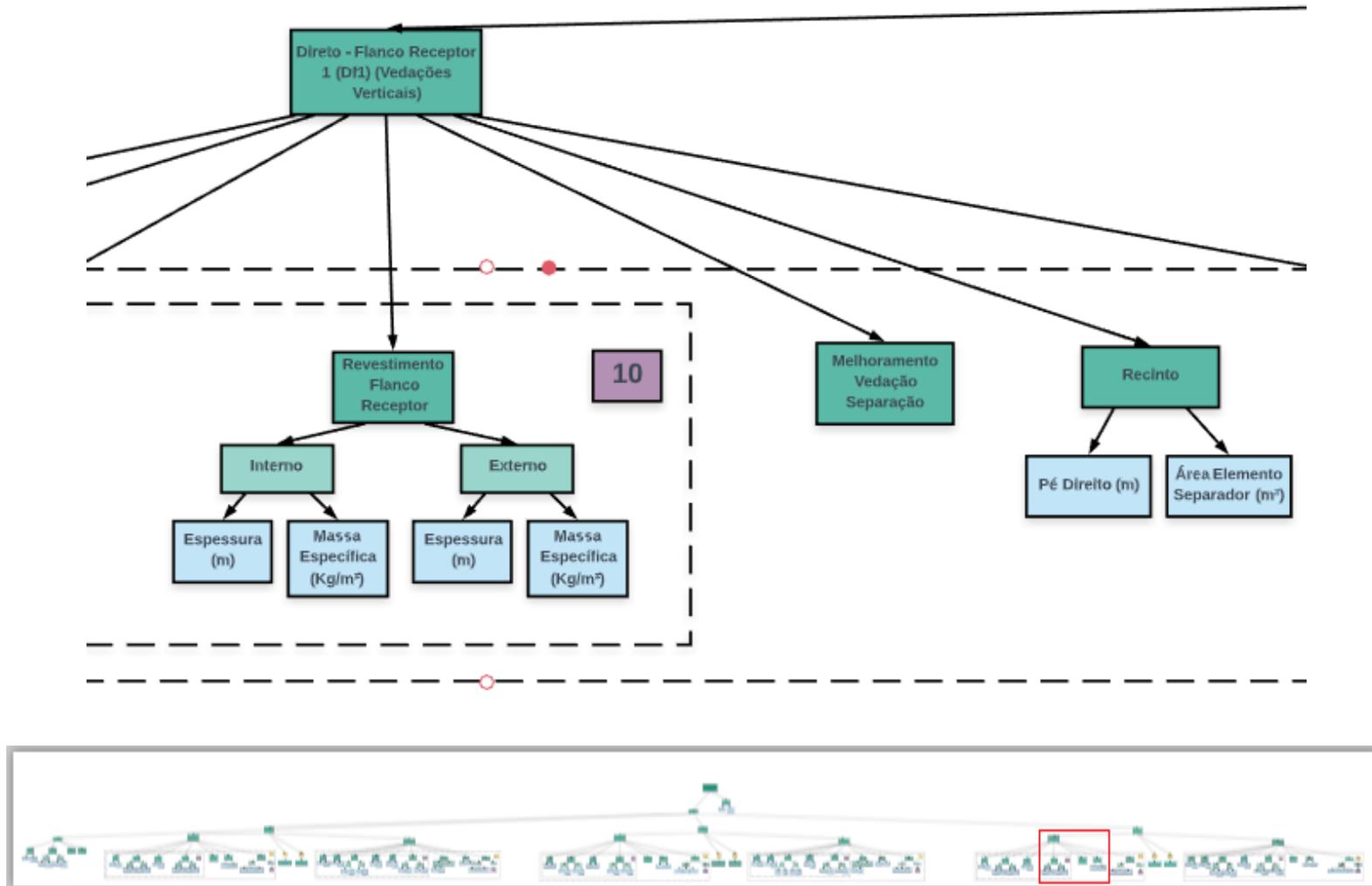


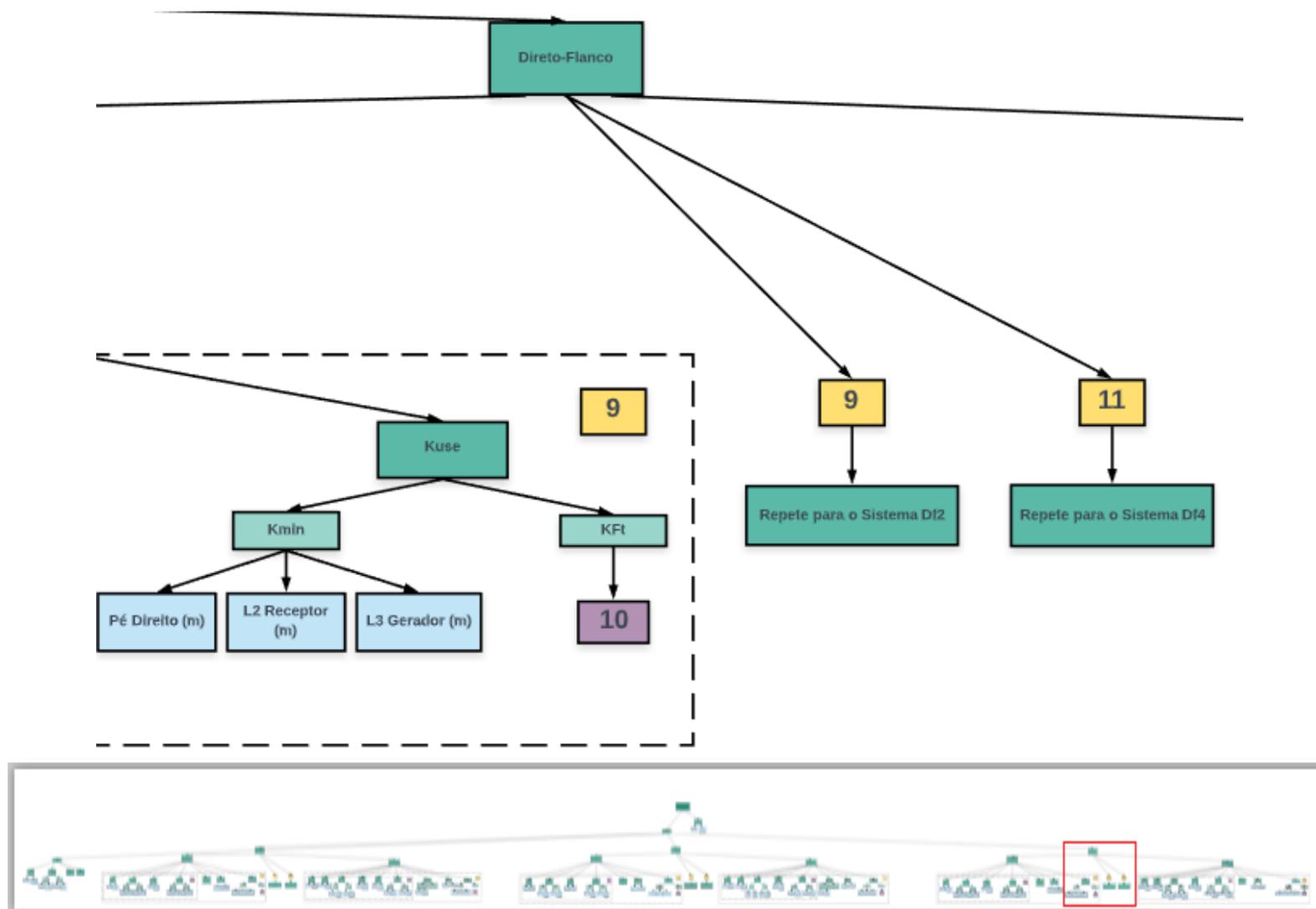
APÊNDICE B.14 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

APÊNDICE B.15 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

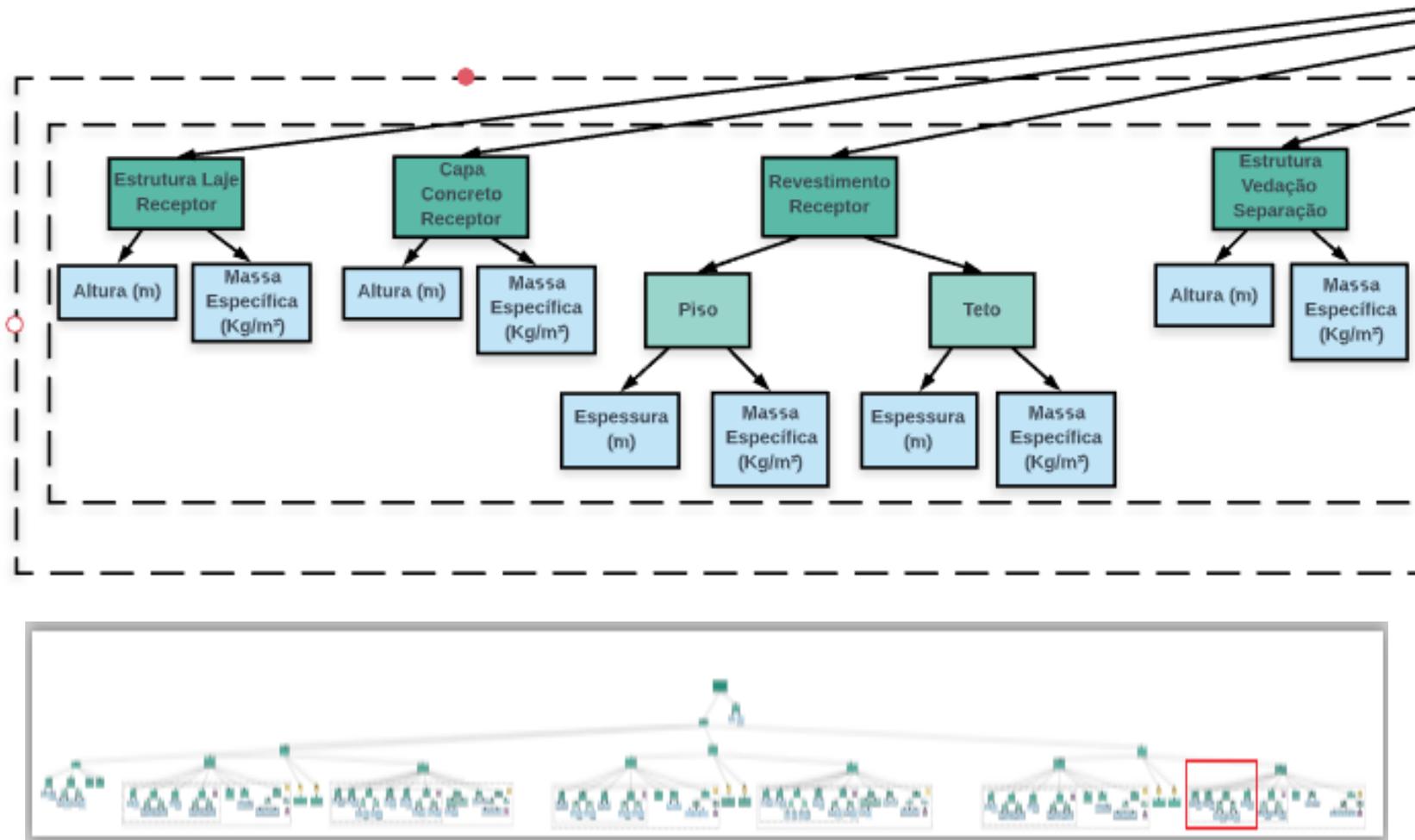


APÊNDICE B.16 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

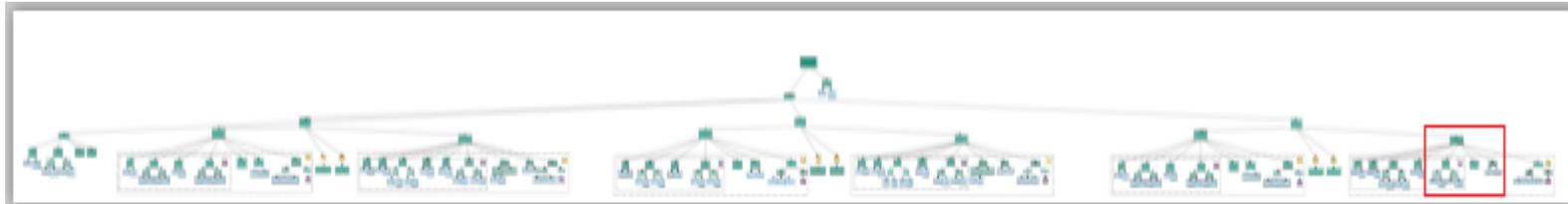
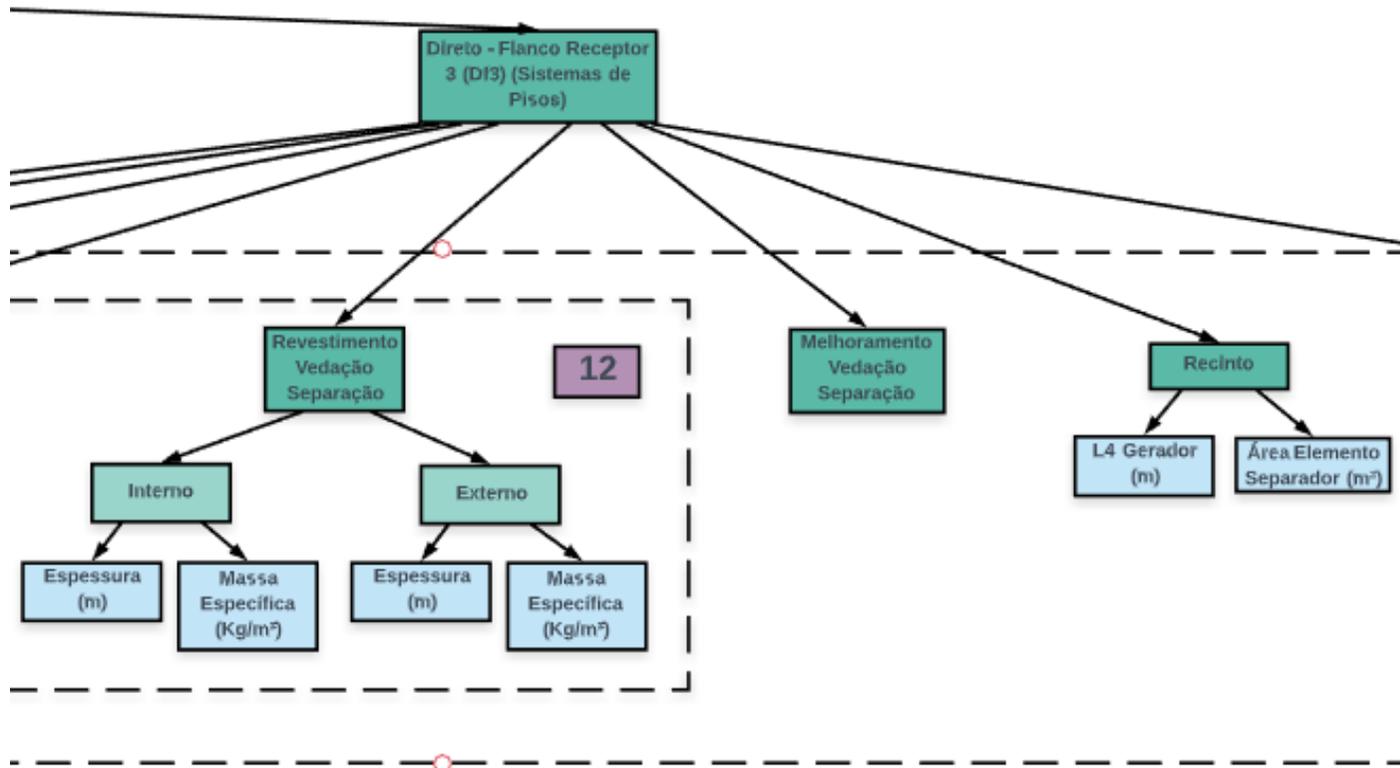


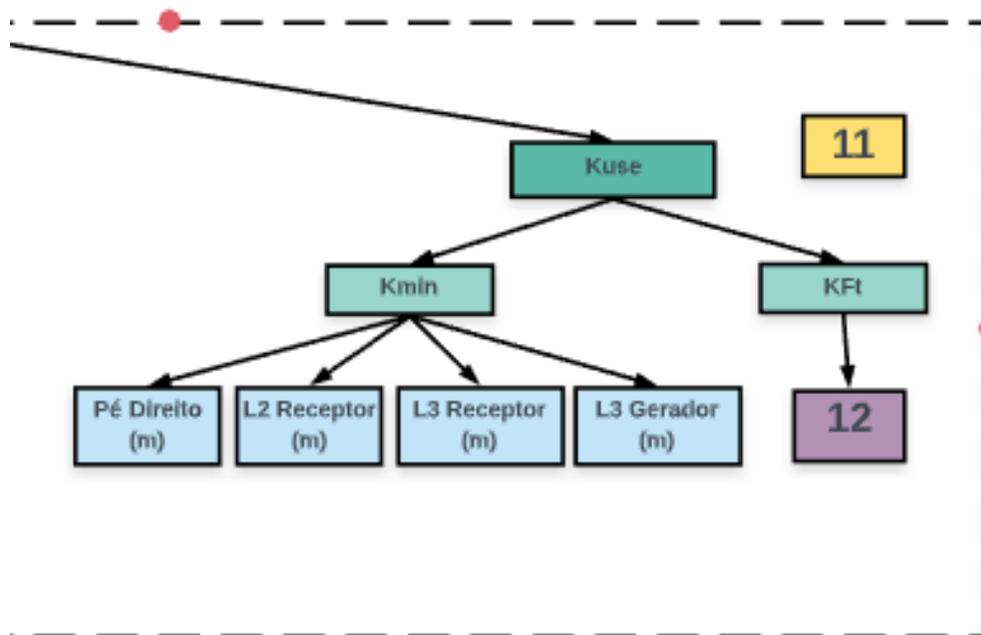
APÊNDICE B.17 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

APÊNDICE B.18 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

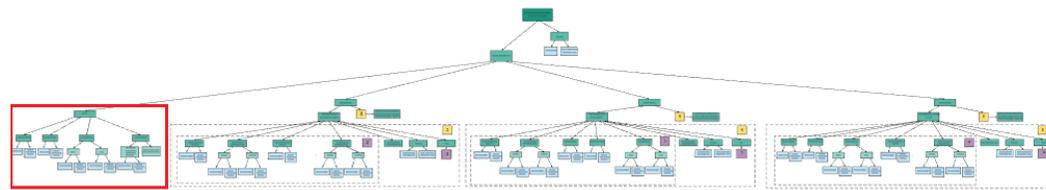
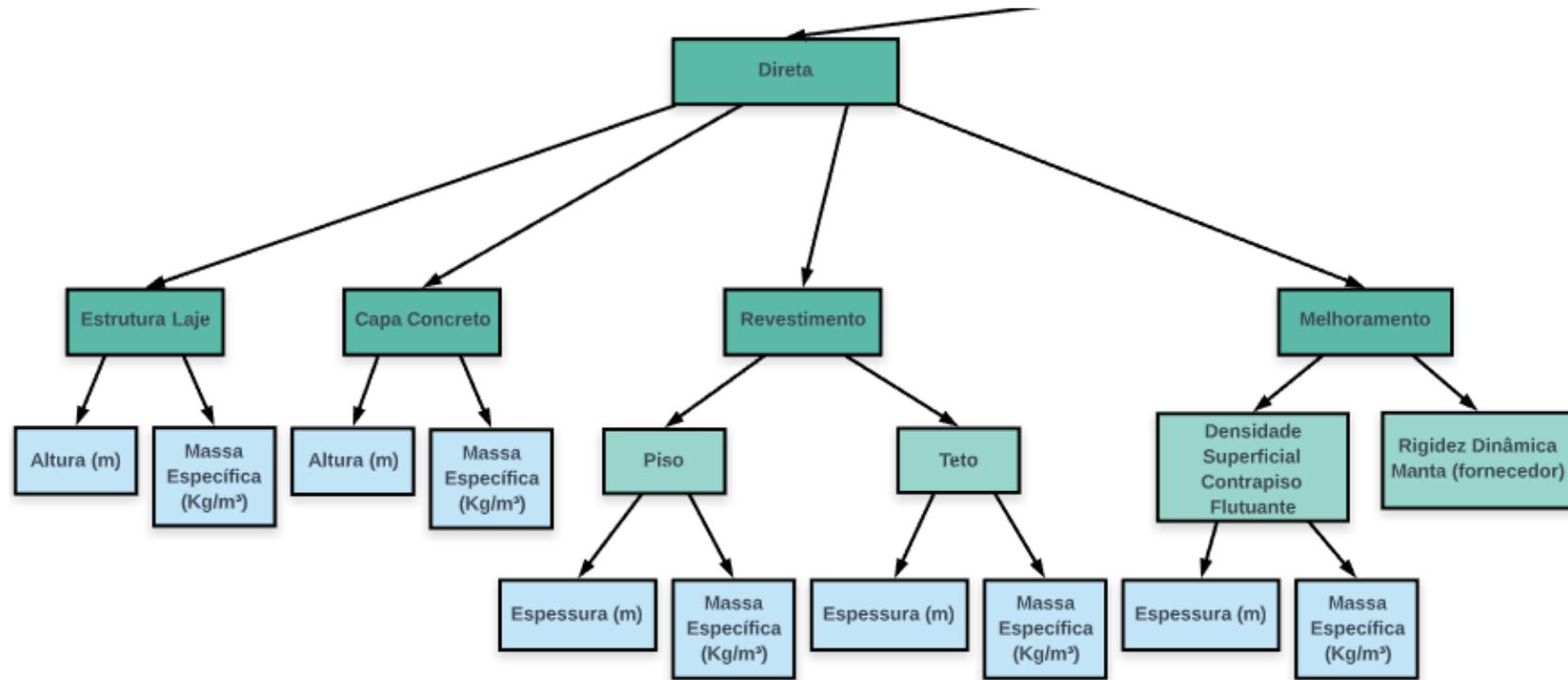


APÊNDICE B.19 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

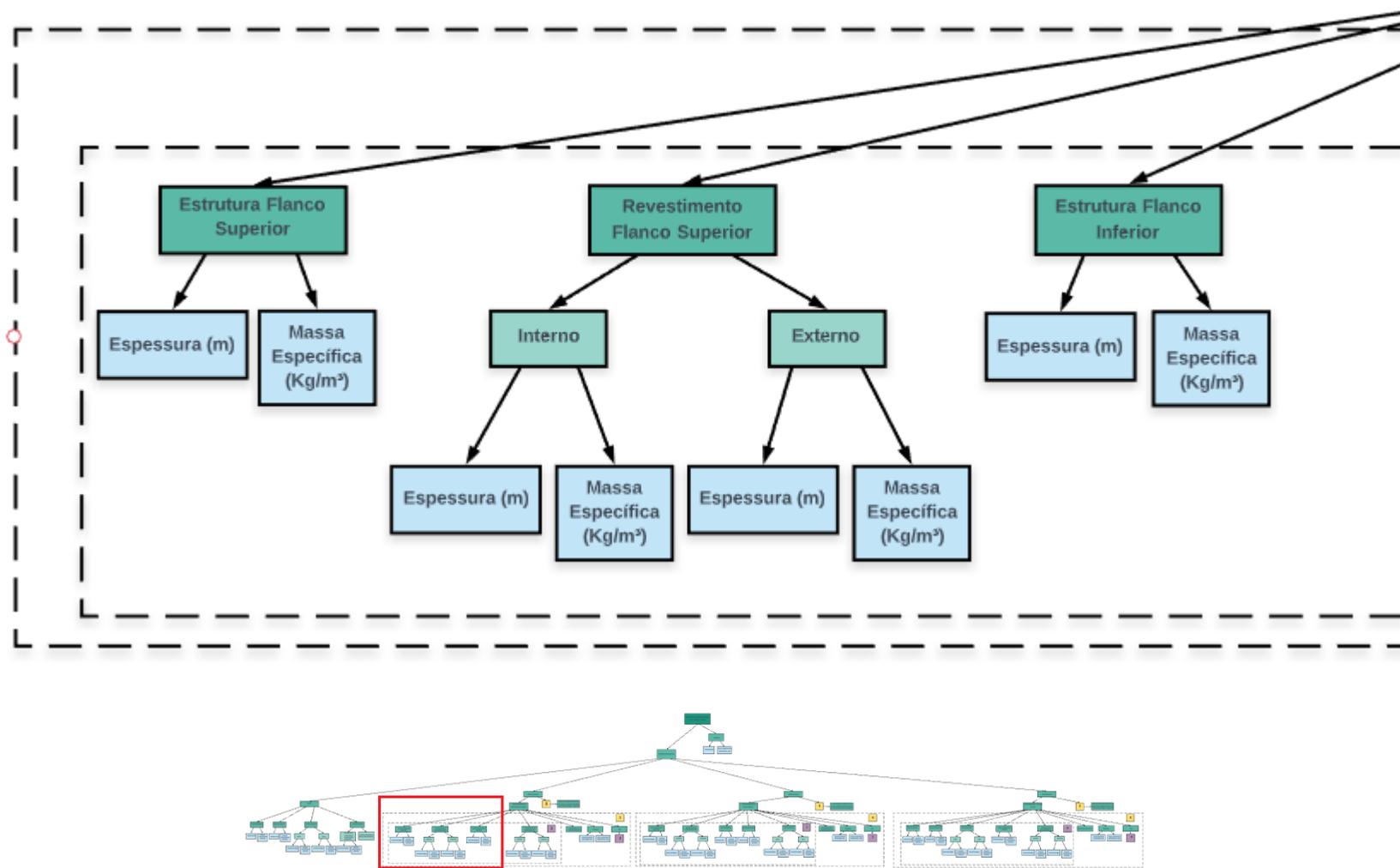


APÊNDICE B.20 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de vedação interna ao ruído aéreo

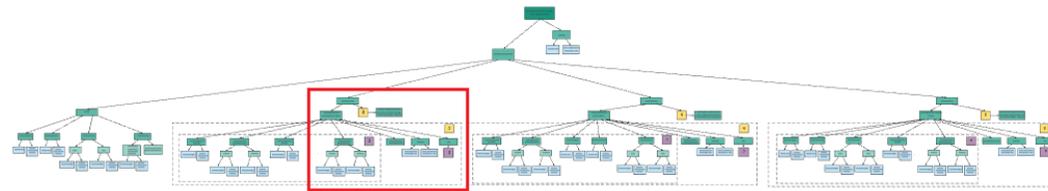
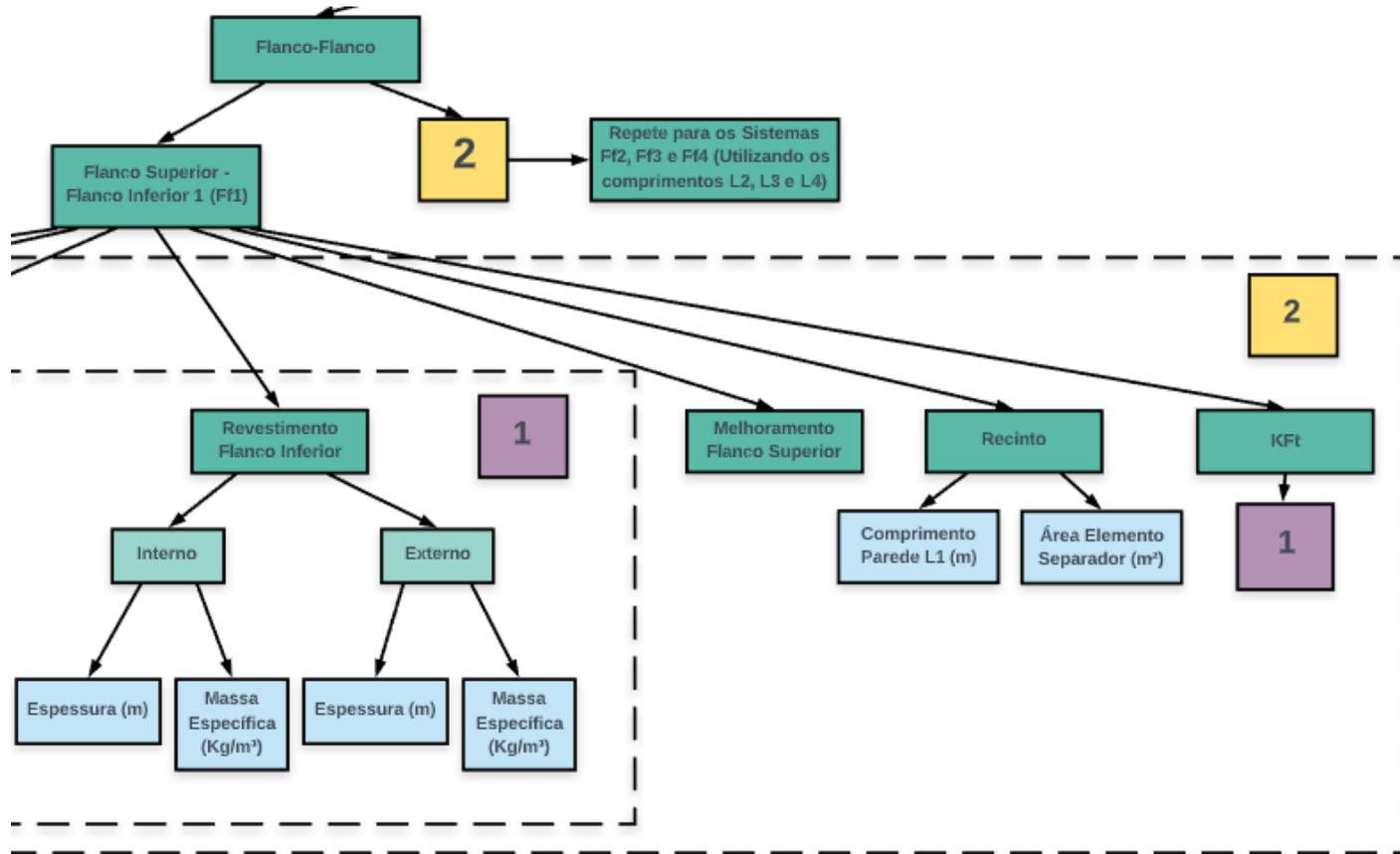
APÊNDICE C.1 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo



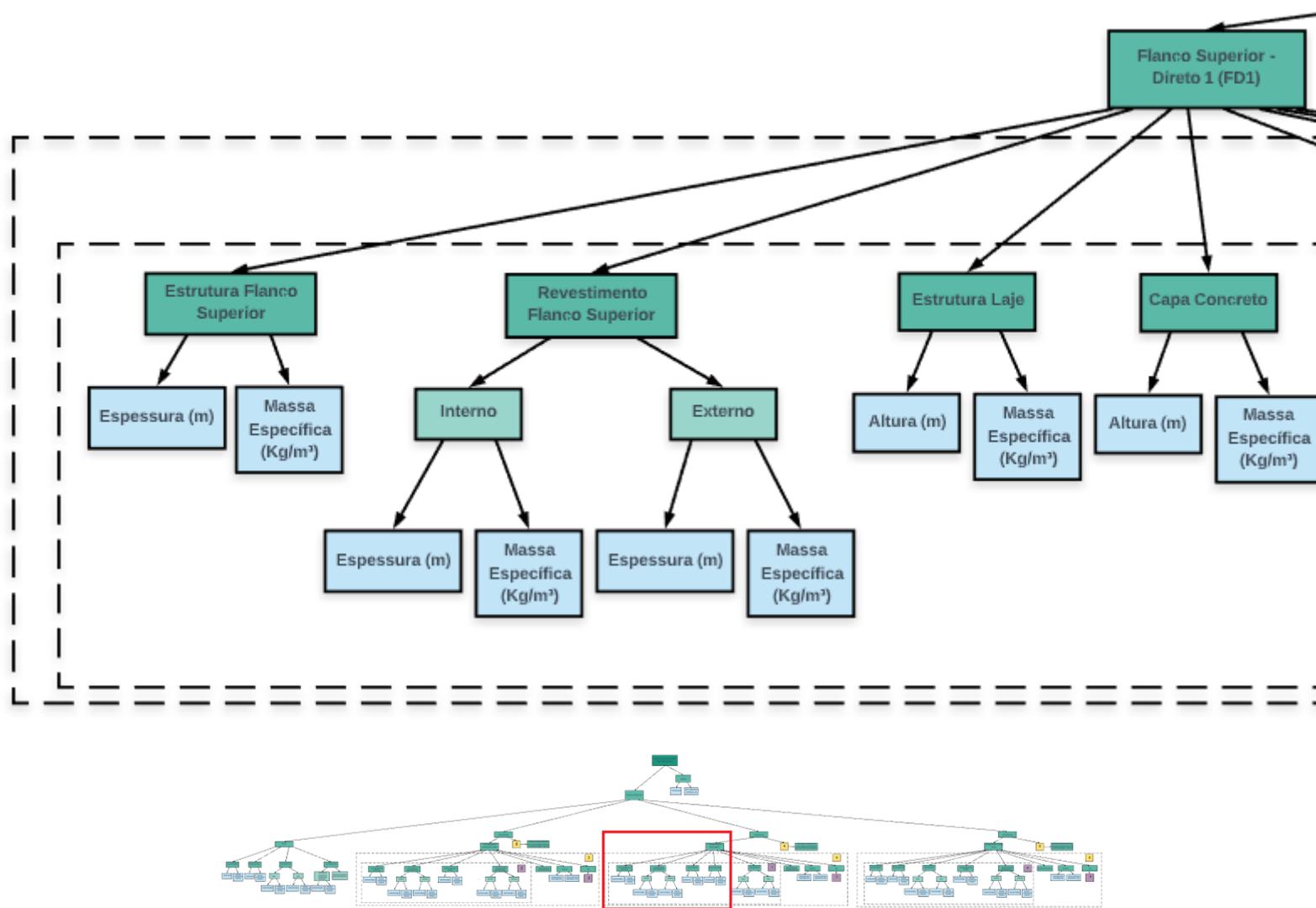
APÊNDICE C.2 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo

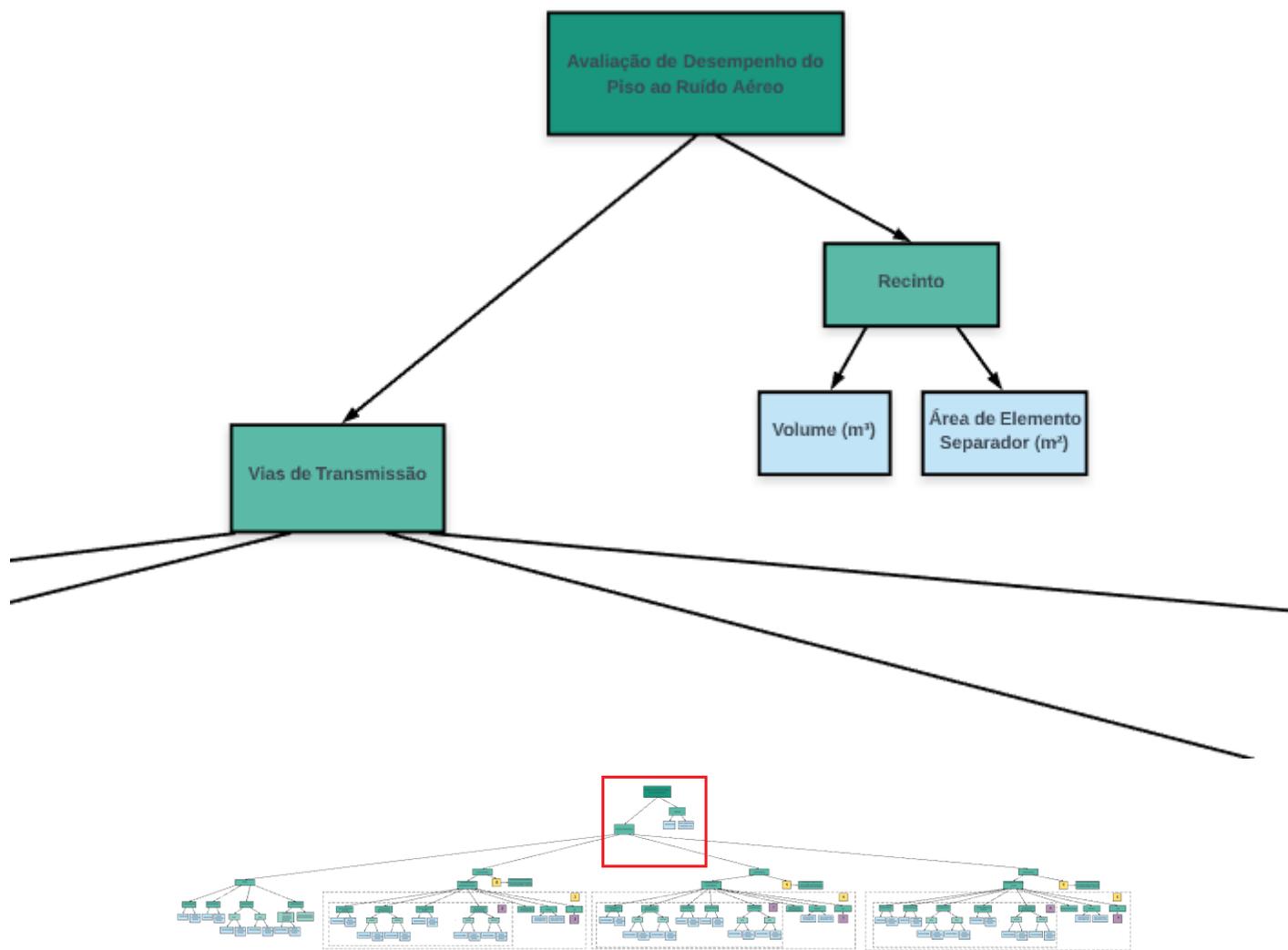


APÊNDICE C.3 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo

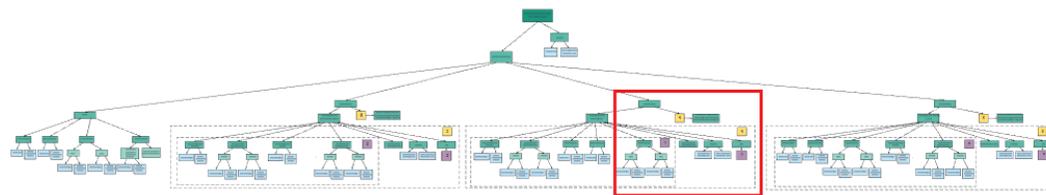
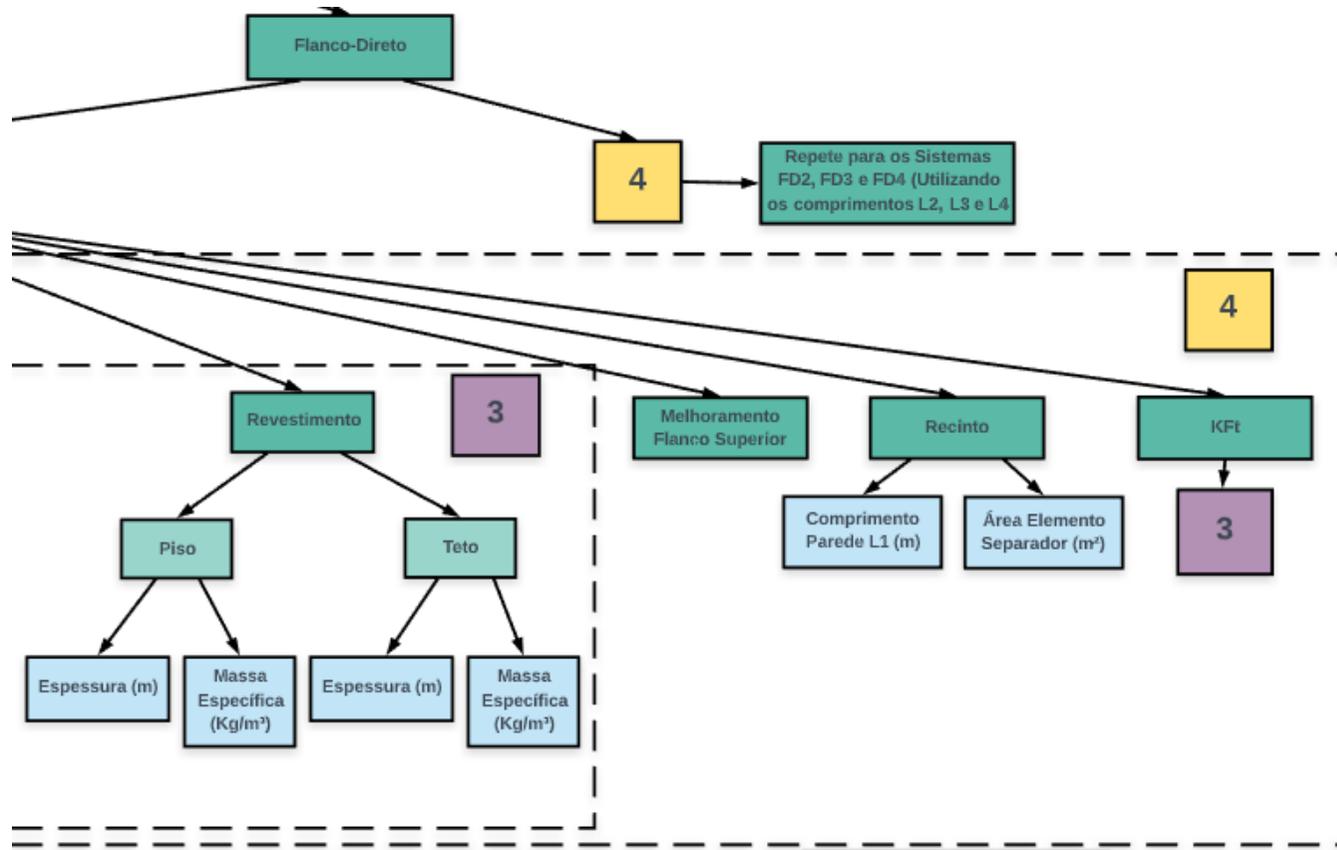


APÊNDICE C.4 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo

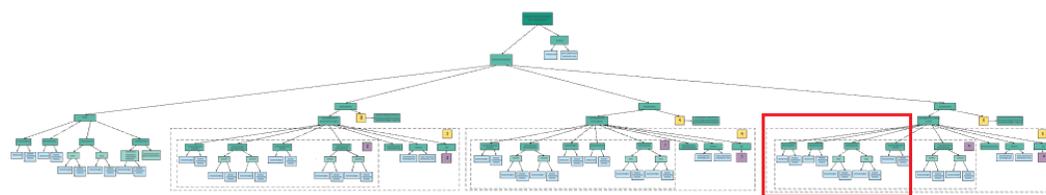
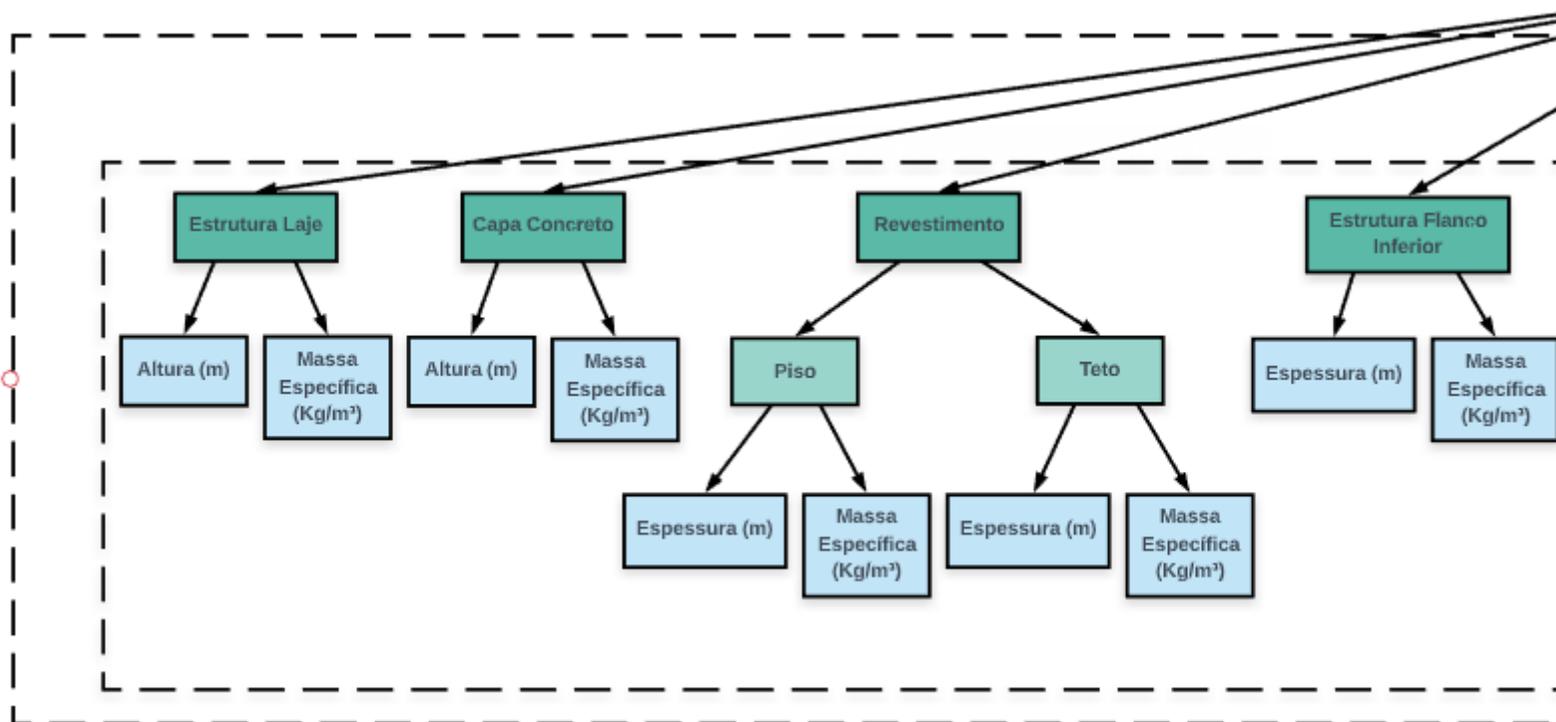


APÊNDICE C.5 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo

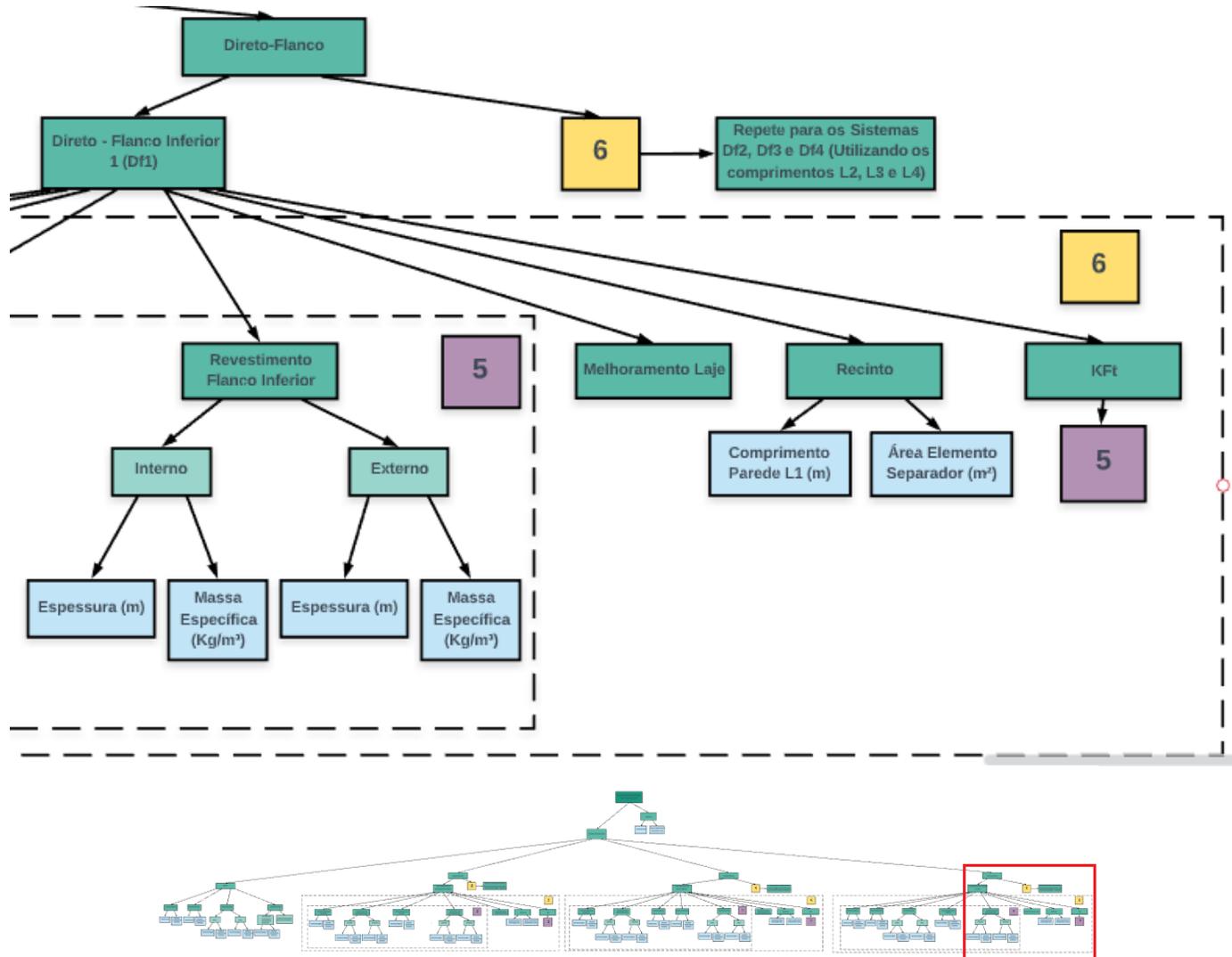
APÊNDICE C.6 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo



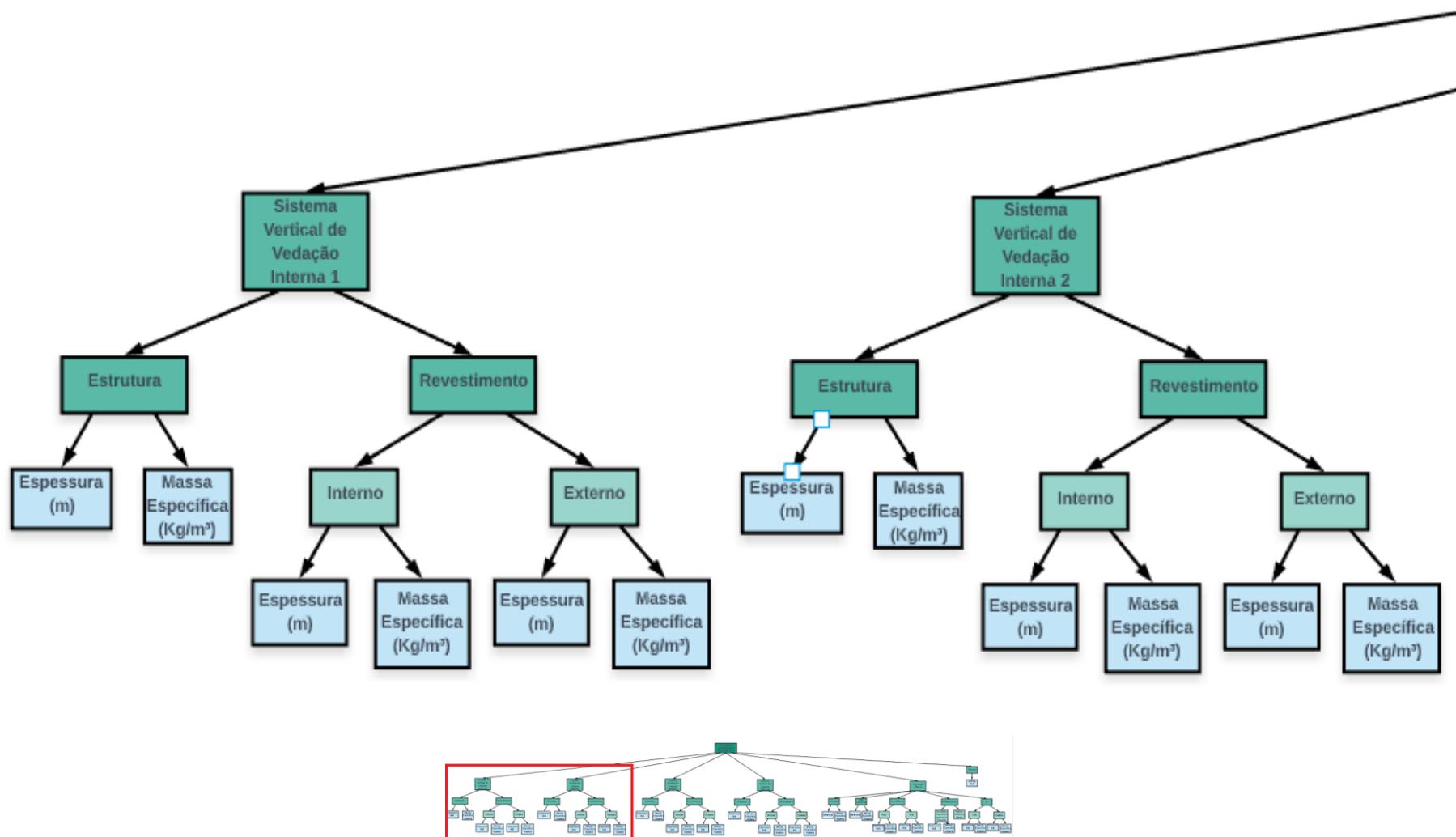
APÊNDICE C.7 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo



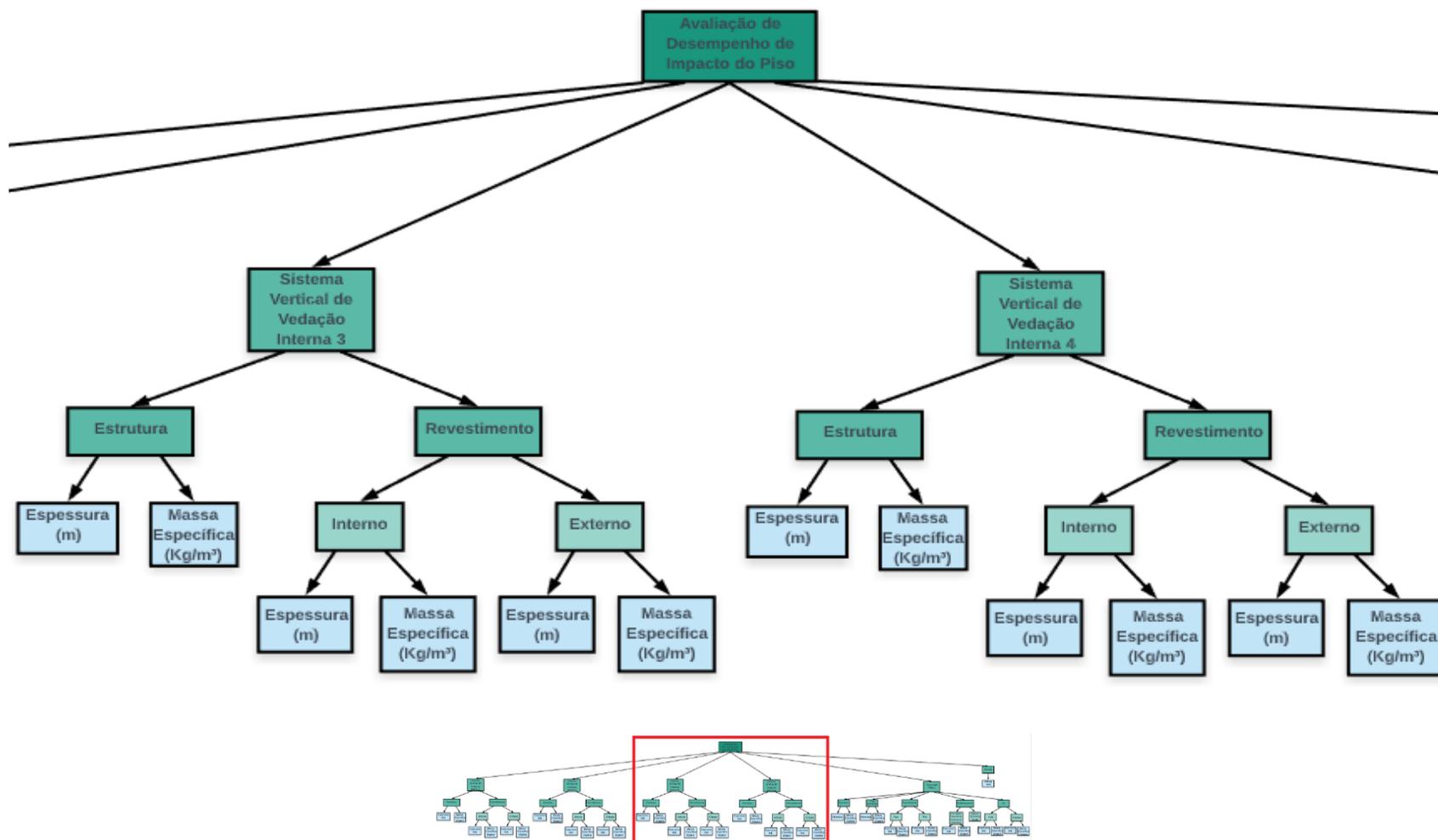
APÊNDICE C.8 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído aéreo



APÊNDICE D.1 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído de impacto



APÊNDICE D.2 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído de impacto



APÊNDICE D.3 – Modelo estruturado de desempenho de sistema de piso ao ruído de impacto

