

CUSTO PARA O ATENDIMENTO DO DESEMPENHO ACÚSTICO EM SISTEMAS DE VEDAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS CONFORME NBR 15575

COST FOR ACOUSTIC PERFORMANCE ASSISTANCE IN HORIZONTAL AND VERTICAL SEALING SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH NBR 15575

Recebido: 13/1/2019
Aprovado: 29/7/2019

Ana Leticia Spode Silva¹
Abrahão Bernardo Rohden²

RESUMO

Com a entrada em vigor da NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho das edificações passou a ter maior destaque no âmbito da construção civil. Entre as exigências trazidas pela norma de desempenho, está o desempenho acústico. Este artigo tem como objetivo avaliar o custo para o atendimento de cada um dos três níveis de desempenho abordados pela norma (mínimo, intermediário e superior) para o sistema de vedações verticais e o sistema de pisos. Foram determinadas soluções para o atendimento dos níveis e, em seguida os custos foram estimados, estimados os custos. Entre as soluções para os sistemas de vedações verticais internas, foram analisados dois tipos de materiais: alvenaria e placas de *drywall*, também avaliados entre si. Os resultados obtidos mostraram um menor custo na solução adotada para o nível superior de desempenho, seguido do nível mínimo e, por fim, o intermediário. Como considerações finais, o menor custo do nível superior dado em acordo com o tipo de laje adotada na camada devido ao tipo de laje adotado na camada estrutural do sistema de pisos ser mais eficiente na redução sonora, porém possuir menor custo. Analisando apenas o sistema de vedações verticais, o aumento de custo seguiu o aumento de eficiência acústica, e a adoção de placas de *drywall* se mostrou mais econômica que a alvenaria.

Palavras-chave: Norma de desempenho. Desempenho acústico. Vedações verticais. Sistemas de pisos.

ABSTRACT

With the entry into force of NBR 15575 (ABNT, 2013), the performance of buildings has become more prominent in the civil construction sector. Among the demands

¹ Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). E-mail: analeticiaspode@gmail.com

² Doutor em Construção Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NORIE/UFRGS). Docente da Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB) e da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). E-mail: arohden@furb.br

brought by the performance standard is the acoustic performance. The objective of this article is to evaluate the cost of attending to each of the three levels of performance covered by the standard (minimum, intermediate and superior) for the vertical fence system and the floor system. Solutions were determined to meet the levels, and then costs were estimated, estimated costs. Among the solutions for the systems of internal vertical seals, two types of materials were analyzed: masonry and drywall boards, also evaluated among themselves. The results obtained showed a lower cost in the solution adopted for the higher level of performance, followed by the minimum level and finally the intermediate. As final considerations, the lower cost of the upper level given in agreement with the type of slab adopted in the layer due to the type of slab adopted in the structural layer of the floor system is more efficient in the sound reduction, but has a lower cost. Analyzing only the vertical fence system, the cost increase followed the increase in acoustic efficiency, and the adoption of drywall boards proved to be more economical than masonry.

Keywords: Performance standard. Acoustic performance. Vertical fences. Floor systems.

INTRODUÇÃO

O desempenho de edificações é estudado e abordado internacionalmente desde a segunda metade do século passado (BORGES, 2008). O conceito de desempenho consiste no comportamento dos sistemas construtivos quando são submetidos a condições reais de uso e exposição. Conforme Gibson (1982 *apud* BORGES, 2008, p.28): "A preocupação é com os requisitos que a construção deve atender e não com a prescrição de como ela deve ser construída". Um grande marco nesta abordagem foi a elaboração da ISO 6241 (ISO, 1984), trazendo uma listagem de padrões a ser considerados pelos usuários das edificações (BORGES, 2008).

Conforme Cordovil (2013), o desempenho foi estudado no Brasil desde a década de setenta, porém a abordagem da qualidade no país não evoluiu rapidamente como a nível internacional. Borges (2008) destacou o grande crescimento da construção civil no país e a importância da exigência de um desempenho mínimo nas construções. Em 2008, então, foi publicada a primeira versão da Norma de Desempenho, porém entrou em vigor apenas depois de cinco anos (2013), após ser revisada e republicada (CORDOVIL, 2013).

Ao avaliar o desempenho dos sistemas construtivos, a NBR 15575 (ABNT, 2013) representa uma grande evolução no setor da construção civil do Brasil (CBIC, 2013). As exigências abordadas na Norma de Desempenho são quanto aos sistemas estruturais, de pisos, de vedações verticais internas e externas, de coberturas e o

hidrossanitário. São três os níveis de desempenho estabelecidos pela Norma: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

O desempenho acústico é uma das exigências que a Norma de Desempenho traz. Conforme Rezende *et al.* (2014), com o crescimento dos espaços urbanos e o alto índice de veículos nas ruas, bem como as demais fontes ruídos, sendo necessária a expansão do isolamento sonoro. Os níveis acústicos considerados em norma são quanto aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional e ao isolamento acústico entre áreas comuns e privativas.

Este trabalho tem como foco avaliar o custo de uma edificação quando ela atenda cada os três níveis de desempenho acústico para vedações verticais externas, vedações verticais internas e sistema de pisos, conforme especificações da NBR 15575 (ABNT, 2013). Serão usadas soluções para os três níveis de desempenho de cada sistema construtivo, sendo que para as vedações verticais internas haverá a determinação para dois tipos de materiais, sendo eles: alvenaria de vedação e *drywall*. Após determinadas as soluções, será feito o comparativo de custos e uma avaliação dos resultados.

Este trabalho aborda apenas o desempenho acústico da edificação, não sendo levado em conta qualquer outro desempenho abordado em norma. As informações contidas neste trabalho foram delimitadas apenas a referências bibliográficas de natureza exploratória e informações de fornecedores.

1. DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES

O desempenho acústico das edificações é um fator de grandes reclamações dos usuários, principalmente em habitações coletivas (condomínios verticais ou horizontais), onde não se há controle sobre os ruídos provocados por vizinhos (SINDUSCON, 2015). Conforme Rezende *et al.* (2014), nos últimos anos, devido ao crescimento do setor da construção civil, existe a necessidade de tornar ágil os processos construtivos sem causar impactos nos custos das obras. Como solução adotada surgem alguns fatores de qualidade foram deixados em segundo plano, sendo o caso da qualidade acústica.

Com a publicação da NBR 15575 (ABNT, 2013) houve um grande avanço para a construção civil, a partir de sua obrigatoriedade, níveis considerados mínimos de desempenho deveriam ser respeitados pelos construtores, que passaram a precisar alinhar requisitos da norma a outros fatores mais valorizados pelo mercado.

Além dos níveis mínimos, a Norma de Desempenho traz também níveis intermediários e superiores de desempenho. Apesar de não haver obrigatoriedade para o atendimento destes últimos níveis citados, eles são parâmetros para que as edificações possam ser classificadas conforme seu nível de desempenho, e com o atendimento destes maiores níveis de desempenho, a categoria das edificações pode ser elevada. O atendimento ou superação dos níveis intermediário e superior

passou a poder ser utilizado pelas construtoras como um grande instrumento de *marketing*, considerando que o melhor desempenho pode gerar um custo extra (REZENDE *et al.*, 2014).

Conforme Michalski (2011), a redução da transmissão de energia sonora entre dois ambientes é uma solução para a obtenção da melhora no desempenho acústico, podendo ser feita através do isolamento sonoro nas vedações verticais e horizontais. O Desempenho é estabelecido com a definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação, o que torna a compreensão de seu cumprimento mais acessível (ABNT, 2013), facilitando o atendimento dos requisitos propostos.

1.1 CRITÉRIOS DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO SISTEMA DE PISOS

Conforme o conceito abordado na NBR 15575-3 (ABNT, 2013, p.4), um sistema de pisos se trata de um "sistema horizontal ou inclinado composto por um conjunto parcial ou total de camadas [...] destinado a cumprir a função de estrutura, vedação e tráfego, conforme os critérios definidos nesta Norma". O sistema de pisos tem como uma de suas funções, proporcionar o isolamento acústico, tanto entre unidades distintas, quanto entre diferentes recintos de uma mesma unidade (MICHALSKI, 2011). O desempenho acústico deste sistema é tratado na parte 3 da Norma de Desempenho, a qual apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas.

Figura 1 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos



Fonte: Adaptado por autores de ABNT (2013)

Conforme a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), a avaliação do desempenho acústico do sistema de pisos considera o isolamento de ruído de impacto e isolamento de ruído aéreo. O ruído de impacto é transmitido através de corpos sólidos, e pode ser causado, por exemplo, pelo caminhar ou queda de objetos, já o ruído aéreo é transmitido através do ar, como conversas, músicas, entre outros (CARVALHO, 2006). Os parâmetros analisados para a avaliação do desempenho acústico são, para o ruído de impacto e o ruído aéreo, respectivamente: nível de pressão sonora

de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) e diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$).

Os níveis de pressão sonora de impacto diferem nas unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintas e para áreas de uso coletivo sobre unidades habitacionais autônomas. Na tabela 1 estão descritos todos os níveis de desempenho para ambos os elementos, com seus respectivos níveis de pressão sonora de impacto.

Para a análise da diferença padronizada de nível ponderada, são considerados três elementos, pois quando um dos recintos da unidade habitacional seja dormitório, ele possui valor diferenciado. Na tabela 2 estão descritos todos os níveis de desempenho para todos os elementos, com suas respectivas diferenças padronizada de nível ponderada.

Tabela 1 - 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: ABNT (2013)

Tabela 2 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$.

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja 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	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, 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: ABNT (2013)

1.2 CRITÉRIOS DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS

Sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) é definido como, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p.4), “partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas”. Mishalski (2011) destaca que estas vedações exercem, como uma de suas funções, o isolamento sonoro, tanto entre os meios externos e internos, como entre unidades distintas e entre recintos de uma mesma unidade. O desempenho acústico de vedações verticais é tratado na parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013), sendo apresentados os critérios e requisitos para o isolamento acústico entre unidades autônomas e entre o meio externo e interno da edificação.

Os parâmetros observados na norma para a verificação do desempenho acústico das vedações verticais são três: diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$); diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$) e índice de redução sonora ponderado (R_w). O índice de redução sonora ponderado é o único ensaiado em laboratório, sendo o parâmetro considerado a nível de projeto.

As vedações externas (fachadas) possuem um índice de redução sonora ponderado conforme a intensidade de fonte de ruído sofrida pela habitação. São três classes de ruído: classe I; classe II e classe III, quanto maior o numeral romano, maior a fonte de ruído. Na tabela 3 estão apresentados todos os índices de redução sonora ponderado requisitados pela norma, conforme classe e nível de desempenho.

Tabela 3 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas

Classe de Ruído	Localização da habitação	R_w [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

Fonte: ABNT (2013)

As vedações internas (vedações entre ambientes) são divididas em seis elementos, classificados conforme os ambientes os quais elas dividem. Na tabela 4 estão descritos os níveis de desempenho para cada elemento, com seus respectivos índices de redução ponderada.

Tabela 4 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elementos	R_w [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: ABNT (2013)

1.2.1 INFLUÊNCIA DAS ESQUADRIAS NO DESEMPENHO ACÚSTICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS

Sendo um dos principais componentes que forma uma construção, as esquadrias possuem um papel fundamental no desempenho das edificações, influenciando diretamente do desempenho dos SVVIE. No caso do desempenho acústico, elas podem intensificar o acesso de ruídos, principalmente com a ocorrência de uma fabricação ou instalação inadequada, causando grande desconforto (LIMA, 2017).

Para a verificação do desempenho acústico das vedações verticais, também é necessário seguir critérios e requisitos conforme a NBR 10821 (ABNT, 2017), norma que aborda sobre esquadrias para edificações. Esta norma classifica o nível de desempenho das esquadrias individualmente, como pode-se ver na tabela 5, não levando em conta o resto do sistema, porém, o sistema ele deve ser avaliado como um todo. Para a avaliação conjunta do desempenho acústico dos SVVIE.

Tabela 5 – Níveis de desempenho das esquadrias

Ensaio	Desempenho			
	D	C	B	A
Índice de redução sonora ponderado R_w (dB)	$R_w < 18$	$18 \leq R_w < 24$	$24 \leq R_w < 30$	$R_w \geq 30$

Fonte: ABNT (2017)

1.3 REFERENCIAL DE ATUALIZAÇÃO

Mesmo antes da publicação da NBR 15575 (ABNT, 2013), já era falado sobre o conforto acústico das edificações. Polli e Viveiros (2007) fizeram uma análise da relação entre o custo dos imóveis e o conforto acústico deles. Na ocasião, foi comparado o isolamento acústico conforme o padrão das edificações, que considerou padrão de acabamento e de investimento, sendo as mesmas divididas em: alto padrão (AP), médio padrão (MP), baixo padrão (BP) e padrão popular (PP). A tendência do mercado é que o padrão das edificações seja influenciado pelo seu desempenho, quanto maior o padrão, maior o benefício proporcionado, porém na análise feita por Polli e Viveiros (2007), não havia grandes diferenças quanto ao isolamento acústico das edificações, sendo o R_w médio de 38,6 decibéis, que foi comparado com 50 dB propostos por normas internacionais, demonstrando que o desempenho era insuficiente para atender um conforto acústico mínimo mesmo em edificações de alto padrão. Se comparado com os valores da norma de desempenho, ainda não publicada, não atendendo o nível mínimo de desempenho.

Nienkoetter *et al.* (2014) fizeram uma análise no impacto que o tratamento acústico de lajes causa no custo de edificações residenciais. Foram analisados oito projetos padrão considerados conforme a NBR 12721 (ABNT, 2006), e para cada projeto, oito materiais diferentes como isolante acústico no sistema de pisos, todos atendem à NBR 15575 (ABNT, 2013). A conclusão foi que soluções acústicas têm baixo impacto no valor final do empreendimento, mas é possível perceber que o custo tem influência conforme o padrão do empreendimento, o impacto é maior em empreendimentos de padrão mais baixo.

Coelho (2017) abordou o impacto no custo de uma edificação para que ela atingisse os três níveis de desempenho propostos na NBR 15575 (ABNT, 2013). Para a conclusão do artigo, foram elaborados projetos de vedações verticais que atendessem os níveis mínimo, intermediário e superior, e a partir deles as composições orçamentárias. A comparação foi produzida considerando paredes externas de blocos cerâmicos e duas opções de paredes internas (blocos cerâmicos e *drywall*). Na conclusão, Coelho (2017) observou uma pequena vantagem no uso de blocos cerâmicos em toda a edificação, e, a respeito do desempenho acústico, foi observado que a diferença é mais significativa, chegando a um aumento de aproximadamente 10% para o atendimento do nível intermediário em comparação

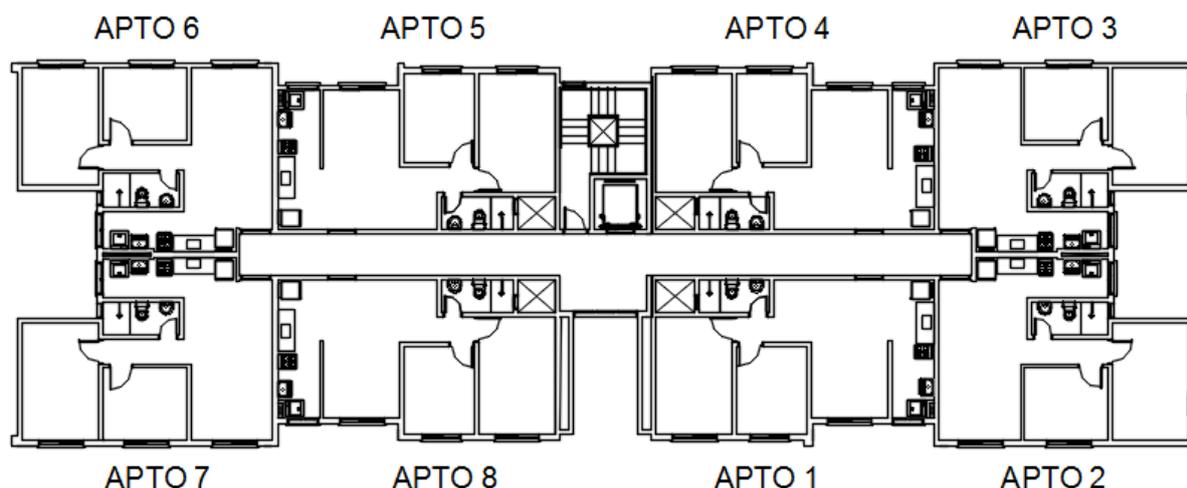
com o nível mínimo de desempenho, e de mais de 20% para atender ao nível superior.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento do artigo foi utilizada a análise de um empreendimento localizado na cidade de Gravataí/RS, o qual contempla oito apartamentos por pavimento, todos com dois dormitórios, um banheiro social, uma sala de estar/jantar e uma cozinha, sendo metade destes apartamentos com área de 56,06 m² e o restante de 55,72 m².

Figura 2 – Planta baixa do pavimento tipo

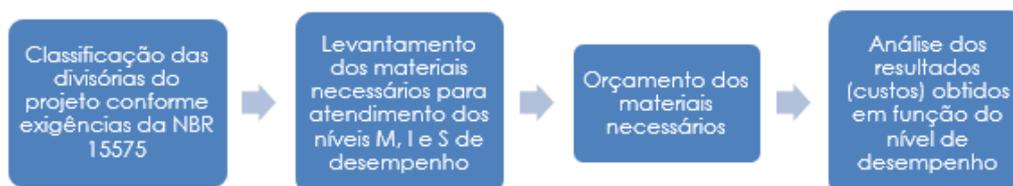


Fonte: os autores (2019)

2.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho está resumida na Figura 3. Posteriormente, cada uma das etapas será explicada mais detalhadamente.

Figura 3 – Etapas do trabalho



Fonte: os autores (2019)

2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS DIVISÓRIAS DO PROJETO

As vedações horizontais (sistemas de pisos) e vedações verticais foram classificadas seguindo especificações trazidas na NBR 15575 (ABNT, 2013) e já revisadas neste trabalho. As especificações e materiais escolhidos podem ser melhor entendidos nos próximos itens. Porém, antes, para melhor visualização, as vedações verticais internas e externas foram destacadas conforme cores apresentadas na figura 4 e podem ser acompanhadas em seguida nas figuras 5, 6, 7 e 8.

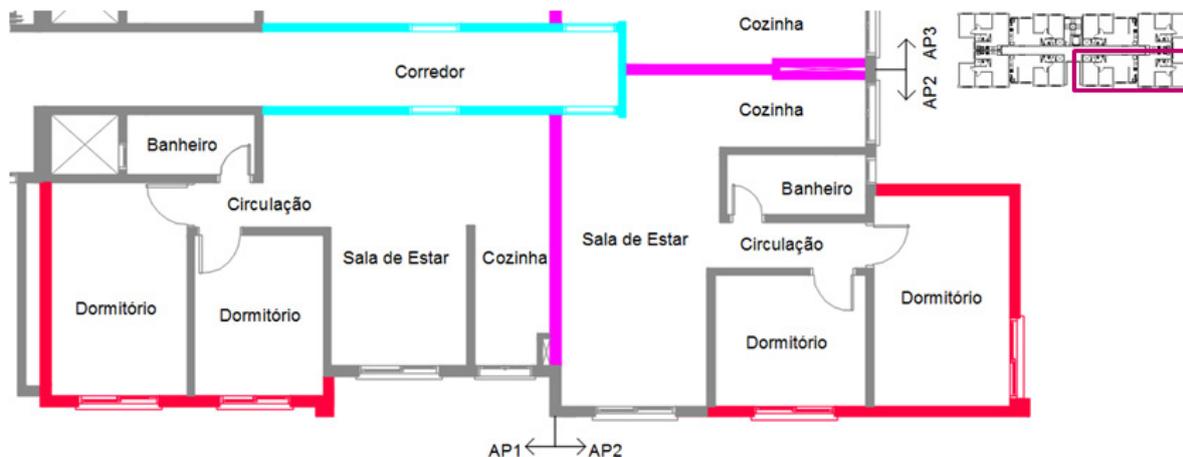
Figura 4 – Classificação das vedações verticais

- 1 Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório.
- 2 Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório.
- 3 Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos.
- 4 Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos.
- 5 Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas.
- 6 Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.
- 7 Paredes Externas nas situações onde o ambiente interno seja dormitório.
- Paredes sem exigências na NBR 15575

Fonte: adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013)

Na figura 5 temos os apartamentos 1 e 2 com as vedações verticais categorizadas conforme as exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) e destacadas conforme figura 4.

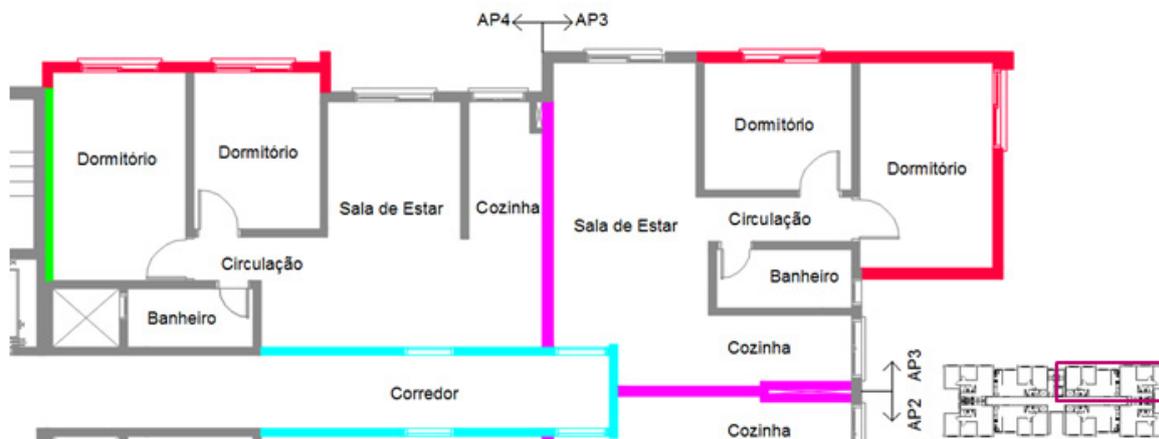
Figura 5 – Classificação das vedações verticais dos apartamentos 1 e 2



Fonte: os autores (2019)

Na figura 6 temos, classificados nas mesmas condições da figura anterior, os apartamentos 4 e 3.

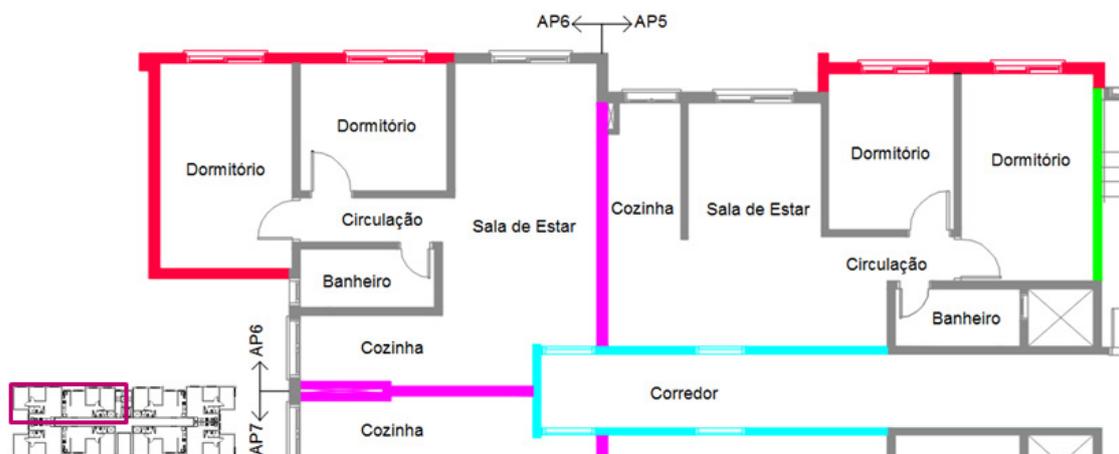
Figura 6 – Classificação das vedações verticais dos apartamentos 4 e 3



Fonte: os autores (2019)

Na figura 7, os apartamentos 6 e 5.

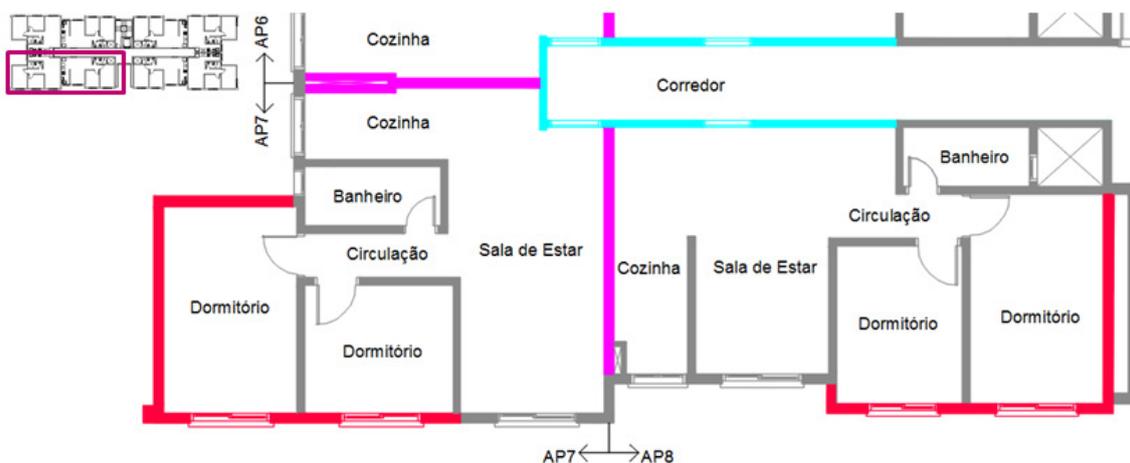
Figura 7 – Classificação das vedações verticais dos apartamentos 6 e 5



Fonte: os autores (2019)

Por fim, temos os apartamentos 7 e 8 na figura 8

Figura 8 – Classificação das vedações verticais dos apartamentos 7 e 8



Fonte: os autores (2019)

2.2.1.1 Classificação dos sistemas de pisos

No projeto estudado, o edifício possui todos os pavimentos com igual configuração, sendo todos apenas com unidades habitacionais, então todas as unidades autônomas são posicionadas sobre outra unidade autônoma. Para agilização do projeto e execução, foi definido que todo o sistema de piso do pavimento terá igual configuração, atendendo sempre a situação mais crítica dele, com exceção das áreas molhadas, que serão revestidas em todos os casos com porcelanato.

A definição da escolha da configuração mais adequada pode ser feita a partir do estudo realizado por Nunes *et al.* (2014) e definida na Tabela 6, juntamente com os níveis de desempenho atingidos e seus níveis de pressão sonora de impacto e diferenças padronizadas de nível ponderada.

Tabela 6 – Configuração dos sistemas de piso conforme nível de desempenho atingido

Nível de Desempenho	Configuração do sistema de Pisos	L' _{nt,w} [dB]	D _{nt,w} [dB]	Custo (R\$)/m ²
M	Concreto maciço 10 cm + Contrapiso de argamassa comum 5cm + laminado de madeira 7mm com manta de polietileno expandido 2mm	56	48	404,02
I	Concreto maciço 10 cm + Contrapiso de argamassa comum 5cm + laminado de madeira 7mm, com manta de fibras de polipropileno 5mm	54	53	436,79
S	Laje nervurada com cubetas de EPS + Contrapiso de argamassa com brita leve 5cm (1:1:4) e argamassa comum 2cm + laminado de madeira 7mm	50	55	329,87

Fonte: adaptados por autores (2019) de Nunes *et al.* (2014).

2.2.1.2 Classificação das vedações verticais externas

Para a definição das vedações verticais externas, foi concluído que classe de ruído onde a habitação está localizada é a classe II. Conforme NBR 15575 (2013), para classificação das vedações externas, deve-se avaliar os dormitórios das unidades habitacionais, e, conforme CBIC (2017), o que determina o desempenho do SVVE é o alinhamento da capacidade de isolamento da parede e da capacidade de isolamento e condições de instalação da esquadria.

A fim de padronizar a edificação, foi determinada a relação entre a superfície da parede e esquadria mais desfavorável entre todos os dormitórios do pavimento. A partir desta relação mais desfavorável, sendo que a configuração da parede foi adotada a mesma para os três níveis de desempenho, foi calculado o índice de redução sonora ponderado das esquadrias (R_e). Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Índice de redução sonora ponderado das esquadrias

Nível de Desempenho	R _w (dB)	R _p (dB)	S _p (m ²)	S _e (m ²)	S _i (m ²)	R _e (dB)
M	30	45	6,19	1,44	7,63	23
I	35	45	6,19	1,44	7,63	28
S	40	45	6,19	1,44	7,63	34

Fonte: autores (2019)

A configuração das paredes externas para todos os níveis de desempenho é com blocos cerâmicos de vedação 14 x19x29 e 3 cm de reboco nas faces externa e interna, sendo a espessura total da parede de 20 cm e R_p de 45 dB, conforme manual de desempenho de sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos Pauluzzi (2017).

Tendo os valores mínimos de R_e para atendimento dos níveis M, I e S, as esquadrias foram escolhidas a partir de informações da empresa Kasper Esquadrias, a qual forneceu também os valores do produto. Os valores apresentados na tabela 8 são referentes ao custo das janelas instaladas.

Tabela 8 – Especificações das esquadrias adotadas para os níveis de desempenho M, I e S

Especificações das Esquadrias de PVC	R_w (dB)	Nível de Desempenho	Custo (R\$)/un
Janela PVC de correr 2 folhas com escovas de vedação e vidro duplo laminado de 20 mm	23	M	R\$ 2559,98
Janela PVC Maxim ar com escovas de vedação, borrachas com EPDM e vidro duplo laminado de 24mm	28	I	R\$ 3149,98
Janela PVC Oscilo-batente com borrachas em EPDM, maçanetas multipontos e vidro duplo laminado de 28mm	37	S	R\$ 3629,98

Fonte: adaptados por autores (2019) de CBIC (2017) e SINAPI (2018)

2.2.1.3 Classificação das vedações verticais internas

As vedações verticais internas foram classificadas conforme as situações em que estão posicionadas, seguindo os critérios da Tabela 4. Conforme abordado pela Associação Brasileira do *Drywall* (2015), existem duas maneiras de reduzir a transmissão de sons entre ambientes. As opções seriam utilizando-se materiais de alta densidade ou um sistema massa-mola-massa. Logo, duas opções de divisórias internas foram analisadas neste trabalho, alvenaria e *drywall*, as quais serão apresentadas a seguir.

2.2.1.3.1 Divisórias de Alvenaria

Stradiotto (2016) constatou que a presença de reboco de espessura causa aumento significativo no índice de redução sonora ponderado em paredes de alvenaria, devido ao aumento da densidade superficial do sistema. Para a determinação da configuração das divisórias internas de alvenaria, foi utilizado como referência o manual de desempenho de sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos Pauluzzi (2017), o qual traz opções na configuração das vedações verticais com diferentes blocos cerâmicos e espessuras no revestimento de argamassa. As configurações das paredes de alvenaria adotadas para o atendimento dos níveis de

desempenho adequados e seus respectivos índices de redução sonora ponderado estão apresentados a seguir na tabela 9.

Tabela 9 – Configuração dos sistemas de paredes de alvenaria adotados

Elemento (nível de desempenho)	Configuração da vedação vertical	R _w (dB)	Custo (R\$)/ m ²
4(M)	Bloco de vedação 9x19x29 + 1,5cm de reboco em ambas as faces	39	R\$ 152,70
4(I)	Bloco estrutural 14x19x29 + 2,5cm de reboco (c/ chapisco) em uma face e 1cm de reboco na outra	41	R\$ 180,73
1(M), 3(M), 4 (S) e 7	Bloco estrutural 14x19x29 + 3cm de reboco em ambas as faces	45	R\$ 178,36
1(I) e 3(I)	Bloco estrutural 14x19x29 + 0,5cm de chapisco e 3cm de reboco em ambas as faces	50	R\$ 205,74
1(S) e 3(S)	Bloco estrutural 19x19x29 preenchido com areia + 2,5cm de reboco externo e 1,5cm de reboco interno	55	R\$ 193,55

Fonte: adaptados por autores (2019) de Pauluzzi (2017) e SINAPI (2018)

2.2.1.3.2 Divisórias de drywall

A Associação Brasileira do Drywall (2015) destaca a eficácia do sistema massa-mola-massa, e traz a lã mineral como alternativa para redução do índice de redução sonora ponderado e o aumento do vão entre as placas, aumentando a quantidade de ar, que também funciona como mola no sistema. As configurações para as divisórias internas de *drywall* foram determinadas utilizando o manual de desempenho acústico da Associação Brasileira do Drywall (2015) como referência. As configurações das paredes de *drywall* adotadas para o atendimento dos níveis de desempenho adequados e seus respectivos índices de redução sonora ponderado estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Configuração dos sistemas de paredes de *drywall* adotados

Elemento (nível de desempenho)	Configuração da vedação vertical	R _w (dB)	Custo (R\$)/ m ²
4(M)	Parede de 7,3 cm, com duas chapas de 1,25 cm de espessura separada por 4,8 cm	36	R\$ 91,86
4(I)	Parede de 7,3 cm, com duas chapas de 1,25 cm de espessura separada por 4,8 cm preenchida com lã mineral	44	R\$ 113,33
1(M), 3(M) e 4 (S)	Parede de 9,5 cm, com duas chapas simples de 1,25 cm de espessura separada por 7 cm preenchida com lã mineral	45	R\$ 116,43

1(I) e 3(I)	Parede de 12 cm, com duas chapas de dupla estrutura de 1,25 cm de espessura separada por 7 cm preenchida com lã mineral	51	R\$ 170,07
1(S) e 3(S)	Parede de 19,3 cm, com duas chapas de dupla estrutura de 1,25 cm de espessura separada por 14,3 cm preenchida com lã mineral	61	R\$ 198,24

Fonte: adaptados por autores (2019) de Associação Brasileira do Drywall (2015) e SINAPI (2018)

2.2.2 LEVANTAMENTO DOS MATERIAIS NECESSÁRIOS

Após determinadas todas as configurações de sistemas de pisos e de vedações verticais necessárias para o atendimento dos três níveis de desempenho (M, I e S), foi feito um levantamento da quantidade dos materiais necessários, conforme medição do projeto. Os valores são para todo o edifício, ou seja, são o somatório de seis pavimentos tipo.

O primeiro levantamento foi feito para os sistemas de pisos e os valores podem ser consultados na tabela 11. Conforme citado no item 4.1.1, o sistema de piso terá igual configuração em toda área do apartamento, para todos os apartamentos, com exceção das áreas molhadas, onde sempre serão revestidos porcelanato.

Após o levantamento do sistema de pisos, as vedações verticais (internas e externas) com exigências na NBR 15575 (ABNT, 2013) foram medidas, levando em conta cada situação já apresentada na figura 4. Os valores podem ser consultados na tabela 12.

Tabela 11 – Área de piso

Classificação	Área (m ²)
Área de piso (exceto áreas molhadas)	366,08
Áreas de piso molhado	81,04

Fonte: autores (2019)

Tabela 12 – Área útil total das paredes das envoltórias

Classificação	Comprimento (m)	Área total (m ²)	Desconto esquadrias (m ²)	Área útil (m ²)
1	33,2	89,64	0	89,64
2	0	0	0	0
3	7,9	21,33	0	21,33
4	32	86,4	15,12	71,28
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	86,5	233,55	23,04	210,51

Fonte: autores (2019)

Por fim, foi feita a contagem da quantidade de esquadrias que contemplam os sistemas de vedações verticais com exigências na NBR 15575 (ABNT, 2013). Os valores podem ser consultados na tabela 13.

Tabela 13 – Quantidade de esquadrias

Esquadrias	Quantidade (un)
Janelas 120x120 cm	96
Portas de madeira 90x210 cm	48

Fonte: autores (2019)

2.2.3 ORÇAMENTO DOS MATERIAIS NECESSÁRIOS

Tendo todas as medidas definidas e divisórias classificadas, o terceiro passo foi determinar os valores totais para cada elemento analisado anteriormente, sendo que os valores unitários para cada unidade de medida foram apresentados no item 4.1 e os quantitativos no item 4.2. As composições de custos foram feitas a partir de dados obtidos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da Caixa Econômica Federal e da Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO) da Editora PINI.

Neste orçamento não foram considerados os Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), e os encargos social sobre os custos de mão-de-obra acrescidos sobre o custo horário de cada funcionário foi de 113,15%, valor obtido através do relatório de Insumos e Composições de abril de 2018 (não desonerado) do SINAPI.

Na tabela 14 são apresentados os valores totais encontrados para cada elemento e o custo total para os níveis de desempenho mínimo, intermediário e superior. Retomando, foram calculados valores para duas opções de sistemas de vedações verticais internos, alvenaria e *drywall*, sendo calculado o custo total final para ambos.

Tabela 14 – Resultados dos custos para os três níveis de desempenho

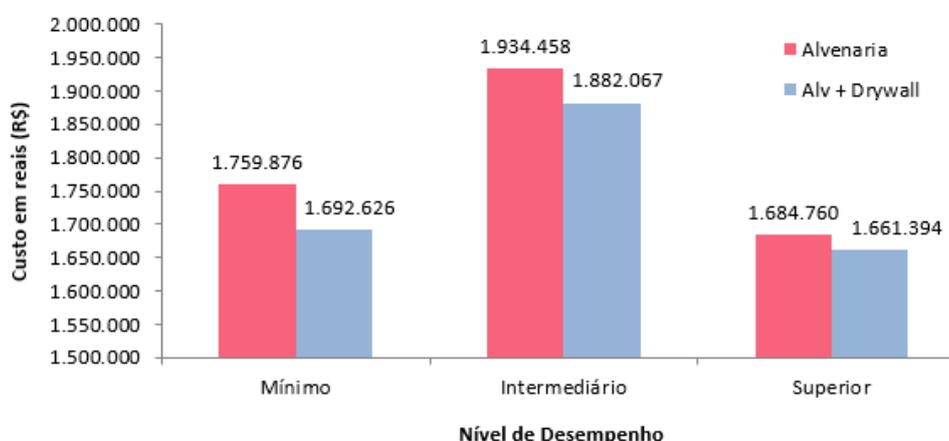
Nível de Desempenho	S. Vedações Verticais	S. Pisos	Esquadrias	Custo total	
Mínimo	Alvenaria	R\$ 409.331,56	R\$ 1.084.911,97	R\$ 265.632,37	R\$ 1.759.875,90
	Drywall + Alvenaria	R\$ 342.081,31			R\$ 1.692.625,65
Intermediário	Alvenaria	R\$ 439.369,18	R\$ 1.172.816,64	R\$ 322.272,37	R\$ 1.934.458,19
	Drywall + Alvenaria	R\$ 386.978,34			R\$ 1.882.067,35
Superior	Alvenaria	R\$ 430.425,64	R\$ 885.982,47	R\$ 368.352,21	R\$ 1.684.760,32
	Drywall + Alvenaria	R\$ 407.059,28			R\$ 1.661.393,95

Fonte: autores (2019)

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

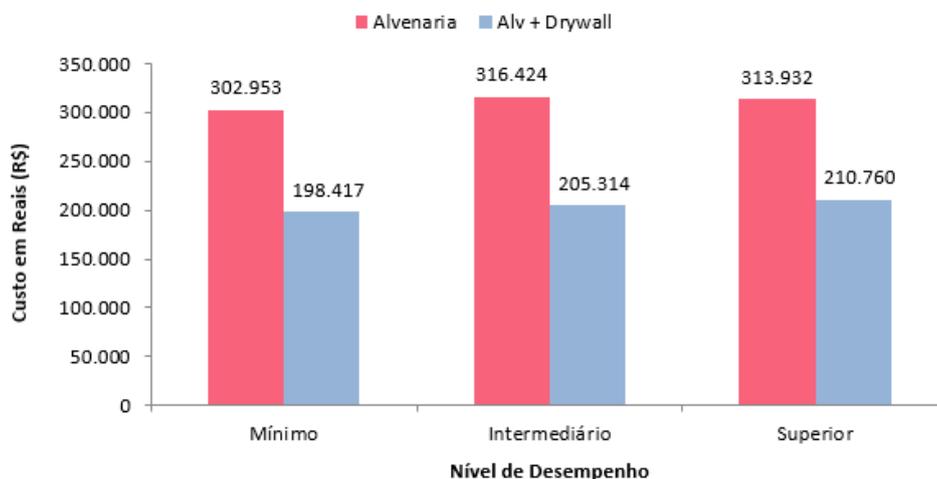
Atendendo as composições de custos concluídas, é possível uma comparação de custos. A figura 9 traz uma comparação gráfica, onde foram considerados os custos de todos elementos analisados (vedações verticais, sistemas de pisos e esquadrias), conforme resultados obtidos na tabela 14. Na figura, é possível perceber a diferença, no mesmo nível de desempenho, entre o uso de alvenaria em toda edificação e o uso de *drywall* nas vedações internas, como também a diferença entre os níveis de desempenho.

Figura 9 – Gráfico de comparação dos custos totais para os três níveis de desempenho



A utilização de placas de *drywall* como elemento de vedação interna teve, nos custos, uma pequena vantagem sobre o uso apenas de alvenaria. O uso de *drywall* apresentou uma economia de aproximadamente 3,82% no nível de desempenho mínimo, e de 2,71% e 1,39% nos níveis intermediário e superior, respectivamente. Analisando o gráfico da figura 10, é possível perceber que a diferença no custo da mão de obra para o sistema de *drywall* é quase 35% mais baixo que quando utilizado apenas alvenaria (34,51%, 35,11% e 32,86% para os níveis M, I e S, respectivamente), ou seja, a pequena diferença no custo total é devido ao mais alto custo do material utilizado no sistema de placas de *drywall*, e a mais rápida execução torna o custo de mão de obra mais baixo.

Figura 10- Gráfico de comparação dos custos de mão de obra dos SVVIE para os três níveis de desempenho



A diferença de custos entre os níveis M, I e S merece uma análise mais detalhada, principalmente pelo nível superior ter apresentado menor custo em relação aos menores níveis de desempenho (figura 9). Primeiramente, analisando o uso de placas de *drywall*, o orçamento para o nível superior demonstrou uma economia de 1,85% sobre o nível mínimo e de 11,72% sobre o nível intermediário, já o nível mínimo demonstrou economia de 10,07% sobre o nível intermediário. Ao analisar o uso de alvenaria em todo o pavimento, o nível superior teve custo 4,27% mais baixo que o nível mínimo e 12,91% que o nível intermediário, já o mínimo representou custo 9,02% abaixo do intermediário.

A vantagem no custo apresentada pelo nível superior de desempenho foi dada devido às configurações adotadas nos sistemas de pisos, percebe-se ao analisar os gráficos das figuras 11 e 12. A solução adotada para o sistema de pisos do nível superior de desempenho acústico é mais barata, mesmo trazendo mais benefícios de redução sonora. Conforme Tenório *et al.* (2009), as lajes nervuradas requerem menos consumo de concreto e aço, assim como menor índice de formas, reduzindo o custo de material e mão de obra, porém, segundo Rizzatti (2017), elas ainda são pouco utilizadas, em comparação com outros tipos de laje, devido a sua execução requerer mais atenção.

Quando comparado apenas o SVVIE (Figura 11), o nível superior tem o custo mais elevado e o mínimo o mais baixo, seguindo a tendência esperada. Diferente do sistema de pisos, onde a camada de maior impacto no custo não seguiu o mesmo método em todos os níveis de desempenho, os métodos construtivos utilizados no SVVIE foram os mesmos para os três níveis de desempenho, as diferenças nos níveis se deram por alguns detalhes de espessura e acabamentos. O acréscimo do preço para a solução que atende ao nível superior, quando considerado vedações internas de *drywall*, é de 9,33% e 27,59% em relação aos níveis intermediário e mínimo, respectivamente. Já o acréscimo para o nível intermediário em relação ao

nível mínimo é de 16,71%. Considerando apenas alvenaria, os acréscimos do o nível superior sobre o intermediário e mínimo são, respectivamente, 4,88% e 18,34%, e do intermediário sobre o mínimo é de 12,84%.

Figura 11 - Gráfico de comparação dos custos dos SVVIE para os três níveis de desempenho

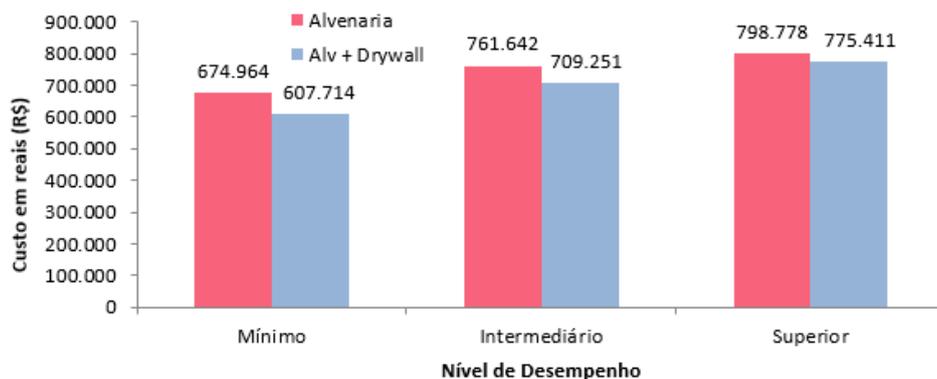
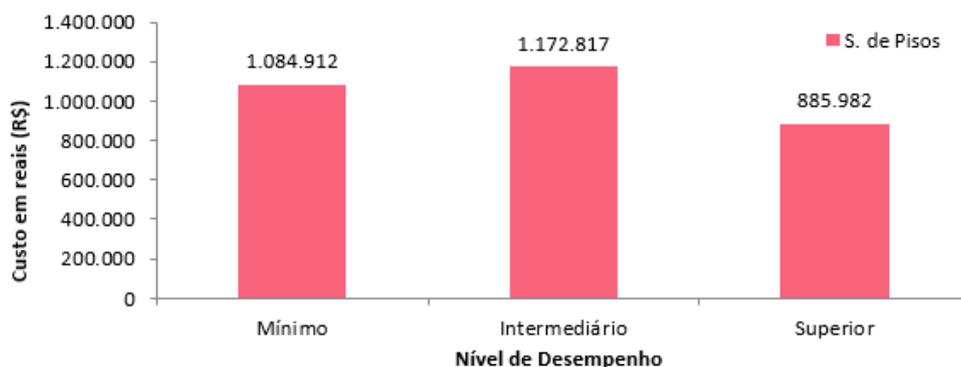


Figura 12 - Gráfico de comparação dos custos dos sistemas de pisos para os três níveis de desempenho



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo visou a análise do custo de uma edificação para que atenda cada um dos três níveis de desempenho acústico (M, I e S) para vedações verticais externas, vedações verticais internas e sistema de pisos, seguindo as especificações da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Ao analisar os resultados obtidos, percebe-se que a estimativa de custos para nível superior de desempenho teve um resultado abaixo da dos níveis de menor eficiência acústica, apresentando uma economia de aproximadamente 12% sobre o nível intermediário e entre 1% e 4% sobre o nível mínimo, lembrando que foram feitas análises para dois tipos de materiais nas divisórias internas. O mais baixo custo do nível superior se deu devido a escolha da configuração do sistema de pisos, pois o tipo de camada estrutural adotada foi diferente dos níveis mínimo e

intermediário. Seria necessário fazer uma comparação onde o tipo de laje adotado seja o mesmo nos três projetos cabendo futuramente uma melhor análise.

Quando analisado apenas o SVVIE, foi percebido que o custo aumentou a medida do desempenho acústico se tornava mais eficiente, isto foi percebido com o uso de *drywall* nas vedações internas e com os usos de alvenaria em toda as vedações verticais. Está análise foi feita separadamente para os dois tipos de materiais utilizados nas paredes internas. O uso de placas de *drywall* levou vantagem em todos os níveis analisados, apresentando uma economia entre 1% e 4% sobre o uso de alvenaria em toda a edificação, representando uma variação pequena entre os três níveis de desempenho. Porém, analisando o custo de mão de obra, a diferença chega a aproximadamente 35%, ou seja, o custo do material para o sistema de *drywall* é mais elevado, porém a execução é mais rápida.

Como sugestão para o aprimoramento deste estudo, deve-se analisar o impacto no custo do sistema de pisos para o atingimento dos níveis de desempenho mínimo, intermediário e superior sem diferença no tipo de laje da camada estrutural. As alterações feitas para o atingimento de melhores desempenhos podem ser na altura desta camada ou nos materiais que compreendem as outras camadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10821-4: Esquadrias para edificações - Parte 4: Requisitos adicionais de desempenho.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1: Desempenho de edificações habitacionais – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-3: Desempenho de edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de pisos.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-4: Desempenho de edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. **Desempenho acústico em sistemas drywall.** 2. ed. São Paulo, 2015.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** 2008. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CÂMERA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC), **Desempenho de edificações habitacionais**. Guia de orientação para atendimento a norma NBR 15575. Distrito Federal, 2013.

CÂMERA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC), **Esquadrias para Edificações**: desempenho e aplicações. Guia de orientação para atendimento a norma NBR 15575. Distrito Federal, 2017.

CARVALHO, Régis Paganio. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Thesaurus Editora, 2006, 167 p.

COELHO, Rafael Vigário. **Análise de custo para a implantação dos níveis de desempenho acústico da NBR 15575 em sistemas de vedações verticais**. 2017. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2017.

CORDOVIL, Luiz Augusto Berger Lopes. **Estudos da ABNT NBR 15575 – “Edificações habitacionais – Desempenho” e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. 2013. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, Gabriela Crestani de. **Influência no desempenho acústico de uma esquadria de alumínio a partir de modificação em sua caixa de persiana**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MICHALSKI, Ranny Loureiro Xavier Nascimento. **Metodologias para a medição de isolamento sonoro em campo e para a expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificação**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

NIENKOETTER, Gustavo Martins *et al.* Impacto do tratamento acústico de lajes no custo das edificações residenciais do CUB. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014, Maceió. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. p. 1206-1215

OLIVEIRA, Maria Fernanda de; ZINI, Aline; PAGNUSSAT, Daniel Tregnago. Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto. **Revista da Sociedade Brasileira de Acústica**, [s.l.], v. 1, n. 46, p.13-19, dez. 2014.

PAULUZZI PRODUTOS CERÂMICOS LTDA. **Desempenho:** sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos Pauluzzi. Sapucaia do Sul, 2017.

POLLI, Taiana; VIVEIROS, Elvira B. Quando o preço não faz diferença: a relação entre custo do imóvel e conforto acústico. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. p. 1529-1538.

REZENDE, Jardel Masciocchi Silva; FILHO, Júlio César Gomes de Moraes; NASCIMENTO, Néio Lúcio Freitas. **O desempenho acústico segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15 575:** Isolamento sonoro contra o ruído aéreo de vedações verticais internas medido em campo. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

RIZZATTI, Lorenzo Sartori. **Lajes nervuradas: projeto, execução e análise de patologias.** 2017. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINDUSCON), **Avaliação do desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos.** Guia de orientação para atendimento a Norma de Desempenho. Distrito Federal, 2015.

STRADIOTTO, Júlia. **A influência da argamassa no desempenho acústico de paredes de vedação com blocos cerâmicos.** 2016. 20 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

TCPO, **Tabela de composição de preços para orçamentos** – 13ª ed. – São Paulo: Pini, 2008.

TENÓRIO, Daniel Almeida *et al.* Aspectos Técnicos e Econômicos de Lajes Nervuradas Unidirecionais e Bidirecionais. In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., 2009, Curitiba. **Anais....** Maceió: ISBN, 2009. p. 1 - 16.