



2024

XIII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO
DE ACÚSTICA

Santiago de Chile, 2–4 diciembre 2024

Análise do comportamento sonoro produzido por academias em edifícios residências multifamiliares

Luz, J.L¹; Beck, F.B²

^{1,2} Scala Acústica, Blumenau, SC, Brasil, {jean, fabio}@scaladb.com.br

Resumo

Atividades como corrida em esteiras, uso de equipamentos articulados e movimentação de pesos em academias residenciais, podem ser fontes de incômodo sonoro significativo. A avaliação desse tipo de ruído não segue padrões consistentes quando são comparados pelas normas técnicas ABNT NBR 10152:2017 e ABNT NBR 10151:2019. Além disso, a ABNT NBR 15575:2021 não contempla adequadamente a avaliação do ruído de impacto gerado em academias residenciais. Este artigo descreve um estudo conduzido por meio de ensaios acústicos padronizados, cujo propósito é oferecer soluções para o isolamento acústico desses ambientes. Além disso, comparar fontes de emissão de impacto, uma delas foi a *tapping machine*, cuja fonte é a estabelecida para a realização de ensaios acústicos padronizados. Para determinar a outra, buscou-se padronizar a geração de ruído de alto impacto, causado pela queda de peso. Para tal, foi utilizado um *kettlebell* como a fonte do impacto. A partir disso, uma academia localizada acima de um dormitório em um empreendimento residencial, foi o ambiente escolhido para a realização dos ensaios. Foram fornecidos materiais de diferentes fabricantes e modelos, a fim de comparar os seus desempenhos e por final entender a sua aplicabilidade sendo expostas a diferentes emissões de ruído de impacto.

Palavras-chave: academia, acústica, vibrações, ruído, *tapping machine*.

1. Introdução

Quando o assunto é desenvolvimento urbanístico, é difícil evitar falar da verticalização das cidades, ou seja, a construção de empreendimentos multifamiliares (prédios). Este fenômeno está ligado diretamente para ao aumento populacional nas grandes cidades, usando para exemplo a cidade de São Paulo do Brasil, segundo o CEM, teve um aumento de 80% nos números de apartamentos entre os anos de 2000 à 2020. [1]

A busca por um lar que ofereça conforto e comodidade sem a necessidade de sair de casa é um desejo crescente entre os compradores de imóveis. Além de *layouts* internos bem planejados, a área de lazer tem se tornado um atrativo fundamental, cada vez mais requisitado em novos empreendimentos, como piscinas, salões de festas, salão de jogos, quadras esportivas e academias. [2]

Ao nos aprofundarmos no tema academias, segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), um em cada dois brasileiros não se exercita o suficiente, ou seja, quase metade da população adulta, 47%, não pratica atividade física. Este dado está diretamente ligado com o estilo de vida da população, como locomoção e falta de tempo, no qual, deixa-se as atividades sempre em segundo plano.[3]

Com isso, uma ideia para melhorar estes números é ter um ambiente para atividades físicas de onde se reside, e melhor ainda se for no próprio local. Por esse motivo, construtores e incorporadores vem adotando a utilização de academias em seus prédios, além de agregar valor ao empreendimento. No entanto, este fenômeno de alocar este tipo de ambiente próximo a unidades habitacionais, vem causando conflitos de ruídos gerados pelo impacto nos pisos, o que acarreta desconforto para os moradores, tendo casos até judicializados, no qual segundo o TJDF (Tribunal de Justiça do Distrito Federal de Territórios), pode gerar a obrigação de reparação por danos morais, em razão da perturbação do sossego de moradores. [4]

O som que é transmitido por meio sólido, pode ser denominado por ruído de impacto, no qual é gerado por uma excitação mecânica de curta duração, este é capaz de causar grande desconforto para os receptores pela geração de impacto excitarem todas as frequências, inclusive a crítica, que é aquela em que a velocidade da onda no material sólido se iguala à velocidade do som no ar. Essa coincidência resulta em uma emissão sonora significativa, ou seja, o som é irradiado com maior intensidade. [5,6]

A transmissão do ruído estrutural refere-se à propagação de energia mecânica resultante de vibrações, que se espalha através da estrutura do edifício. A origem desse ruído é a vibração ou o impacto no meio que o gerou. No caso de academias, o ruído originado é do próprio uso deste ambiente. Queda de pesos como halteres, *kettlebells* e barras ocorrem com facilidade, além disso, outros exercícios como corrida em esteiras e pular cordas, emitem um impacto na estrutura que é inevitável. [7]

A energia sonora transmitida por meio estrutural é tão significativa a ponto de ser possível percebê-la no ambiente receptor inferior e até no superior. Uma das maneiras de isolar e na utilização de materiais resilientes para a desconexão estrutural entre a laje e o contrapiso. Estes materiais podem ser mantas, painéis, *pads* elásticos, onde, assim que ocorre um impacto no piso deste ambiente, a energia sonora é transformada em deformação física do material, com isso, não permitindo a transmissão para a estrutura do empreendimento. [8]

Além de ter o conhecimento da transmissão do ruído de impacto e sua origem, precisa-se entender como é avaliada essa situação na prática. De acordo com a ABNT NBR ISO 16283-2:2021 [9], a fonte padronizada para a realização de ensaios acústicos é a *tapping machine* (máquina de impactos). Na qual, tem por objetivo excitar constantemente um sistema de piso por marteletes metálicos em um curto período de forma contínua. Porém, esta fonte não é capaz de emitir ruídos semelhantes a queda de pesos em um determinado espaço de tempo, uma vez que esta é uma energia de impacto pontual e de alta intensidade.

Este estudo tem por objetivo, comparar a emissão de ruídos impacto entre 02 fontes de ruídos. Uma delas é a máquina de impactos e a outra a queda de pesos provindo da soltura de um *kettlebell* a uma determinada altura. Sendo assim, comparemos valores de $L'_{nT,w}$ obtidos através da metodológicas estabelecidas pela ABNT NBR ISO 16283-2:2021 [9], com valores de L_{ASmax} obtidos pela queda de pesos. Poderemos comparar com os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2021 [10] e ABNT NBR 10152:2017 [11].

A padronização proposta envolve a definição fixa do valor da carga, da altura de queda, da geometria do objeto a ser solto e da forma como ele será liberado no chão. A liberação do peso por uma pessoa exigiria uma análise de como o peso seria segurado e solto, o que poderia gerar variações nos resultados. Por isso, optou-se por utilizar a geometria do *kettlebell* para representar o peso e automatizou-se o sistema de liberação, eliminando a interferência humana. O sistema de soltura do peso será detalhado ao longo do artigo.

Além disso, foram realizados estes ensaios em 14 (quatorze) sistemas variando entre *pads* elastoméricos e mantas de contrapiso, sendo assim, podendo analisar a eficiência de cada solução quando exposta a determinada energia sonora.

2. Fundamentos

Conforme Méndez et al. (1994, p. 129-130), o ruído de impacto, que é o som transmitido através de um meio sólido, é caracterizado por ser gerado por uma excitação mecânica de curta duração. Ferraz (2008, p. 11) complementa, explicando que o impacto resulta de uma excitação breve, que pode ser repetitiva, mas geralmente não é periódica. Exemplos típicos de ruído de impacto em edificações incluem sons de passos, pessoas dançando ou pulando, móveis sendo arrastados, portas batendo e objetos caindo. [6, 12]

Para a fonte padronizada de emissão de ruído de impacto em ensaios acústicos, a *tapping machine* é a que mais se adequa. Segundo Ferraz (2008, p. 2), essa máquina, que é utilizada como padrão para ruídos de impacto, reproduz sons com níveis de referência ideais para avaliar ruídos típicos em edificações de múltiplos pavimentos, como o caminhar de pessoas e a queda de objetos no chão. [12]

Um dos primeiros estudos sobre o tema da escolha de uma máquina padronizada ao ruído de impacto, relevante para a comunidade científica, foi o trabalho "A New System for Assessment Impact Insulation" (1976), realizado pelo pesquisador alemão Eddy Gerretsen. Com base em sua experiência comparou a emissão de ruídos da máquina de impactos com outras possíveis fontes, como o caminhar de pessoas. Onde, concluiu que o método estabelecido pelas normas, utilizando a *tapping machine*, era o mais adequado por se assemelhar a ruídos cotidianos. [13]

Porém, os ruídos gerados em uma academia residencial diferem em intensidade sonora daqueles provenientes de unidades habitacionais. Isso se deve ao fato que, em academias, os principais impactos sonoros resultam do uso de equipamentos articulados, da queda de halteres, da corrida em esteiras, entre outros, os quais produzem uma energia sonora significativamente maior do que em situações típicas de apartamentos, como a queda de pequenos objetos ou o caminhar de pessoas.

Impactos como a queda de pesos de equipamentos de musculação não são recomendados a serem avaliados da mesma forma que o isolamento acústico para ruídos de impacto gerados por caminhadas ou quedas de pequenos objetos. Por este motivo, a Nota do item 12.3.1 da ABNT NBR 15575-3:2021 [10] recomenda a realização de estudos mais específicos para analisar os ruídos de impacto gerados em ambientes como academias, crossfit e similares. Uma vez que utiliza a máquina de impactos como fonte sonora para determinar o nível de isolamento em sistemas de piso, simulando um espectro sonoro típico de apartamentos residenciais, o que não corresponde às situações encontradas em uma academia residencial.

Porém, há uma certa incoerência, pois na Tabela E.1, apresenta-se valores de referência de $L'_{nT,w}$ para sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como *home theater*, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas, lavanderias coletivas e corredores) sobre dormitório de unidades habitacionais autônomas, no qual, seria 55 dB a 51 dB (Mínimo), 50 a 46 dB (Intermediário) e ≤ 45 dB (Superior). Como no texto da norma cita atividades de lazer e esportivas e salas de ginásticas, pode-se interpretar que em situações de academias, ela poderia ser utilizada como referência de valores. [10]

O mais recomendado é a utilização das metodologias e parâmetros apresentados na ABNT NBR 10152:2017 [11], quando se for necessário a realização de medições acústicas em academias. Essa norma apresenta valores de referência que determinam o nível adequado de pressão sonora para diferentes tipos de ambientes.

A ABNT NBR 10152:2017 define valores de referência para o L_{ASmax} (RL_{ASmax}) em determinados ambientes, incluindo dormitórios e salas de estar. Para dormitórios, o valor medido de RL_{ASmax} deve ser de no máximo 40 dB, enquanto para salas de estar a restrição é um pouco mais flexível, com o valor de L_{ASmax} não devendo ultrapassar 35 dB. Em ambos os casos, é permitida uma tolerância de 5 dB nos resultados das medições. [11]

Esta norma, também tem como objetivo estabelecer padrões de como realizar a medição no ambiente receptor como número de pontos de medição e distâncias de sonômetro, são alguns itens que ela irá auxiliar. No entanto, na ABNT NBR 10152:2017 [11], não tem por finalidade apresentar fontes padronizadas de ruídos para realização de ensaios, uma vez que, para determinadas amostragens deve ser utilizado o próprio ruído esteja gerando incômodo para o receptor.

Por este motivo, quando um consultor acústico é chamado para avaliar a situação de uma academia que está gerando ruídos perceptíveis em unidades habitacionais, a escolha da fonte sonora fica a critério do profissional, pois não há uma metodologia padronizada para esse tipo de avaliação. Os cenários mais frequentemente simulados incluem corridas em esteiras, uso de equipamentos articulados e quedas de halteres, *kettlebells* e barras. Neste contexto, o peso, tipo, tempo e outros parâmetros de emissão são determinados pelo responsável pelo ensaio.

Além disso, é comum consultores acústicos, construtoras e incorporadoras, por falta de normas e estudos nesta área, acreditarem que soluções acústicas utilizadas principalmente em apartamentos para a atenuação do ruído de impacto, irão funcionar de igual forma em uma academia.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é comparar uma fonte de ruído padronizada com uma fonte de ruído típica encontrada em academias, a fim de compreender os valores de referência estabelecidos pelas normas pertinentes. No mais, a pesquisa permitirá avaliar o desempenho de diferentes soluções e determinar qual delas é mais adequada para cada situação.

3. Desenvolvimento

A realização dos ensaios foi em um empreendimento localizado em Blumenau-SC, no qual possui uma academia de 34,07 m² no pavimento *rooftop* que serviu como ambiente de emissão sonora. Para o ambiente de avaliação, foi escolhido uma suíte de 20,78 m² que se encontra diretamente abaixo da academia, sendo assim, é possível analisar a propagação sonora descendente.

Foram utilizados os seguintes equipamentos para a realização dos ensaios: *Sound Level Meter* modelo *Fusion*, fabricante 01dB, com certificado RBC3-11259-376. Máquina de impactos *CalpestONE (Tapping Machine)*, fabricante 01dB, com certificado de calibração RBC3-12001-627. Além disso, o equipamento escolhido para representar de uma fonte de alto impacto e que fosse comumente encontrado em academias, foi o *kettlebell* (uma esfera de ferro fundido com uma alça).

A metodologia de ensaio foi estabelecida por uma padronização com a fonte de alto impacto, o *kettlebell* e outra para a máquina de impacto (*tapping machine*).

Para o *kettlebell*, foi determinada uma quantidade mínima de 3 (três) solturas do *kettlebell* a uma altura de 50 cm da superfície do sistema, que variou com a quantidade de amostras dos materiais isolantes.

Foi possível garantir a uniformidade das quedas ao longo de todo o experimento, com o desenvolvimento de um sistema que permitia a soltura dos pesos a partir de cantoneiras de perfil “L” em Aço 1020, com dimensões de 50 x 50 x 2 mm, posicionadas nas laterais e na parte superior. Para a sustentação, foram realizados apoios com uma estrutura adicional constituída por um perfil quadrado em Aço 1020 com dimensões de 5 x 50 x 2 mm. As dimensões totais do pórtico foram calculadas para atender às variações de altura exigidas, resultando em uma altura de 1,15 m e uma largura de 0,9 m, o que proporcionava espaço suficiente para centralizar a base entre as estruturas laterais. Para a fixação dos pesos, foi empregada uma cinta com sistema de ajuste e um fecho de *kettlebell*, que podia ser liberado mediante pressão. O mecanismo de ajuste permitia posicionar o peso a uma altura de 50 cm acima da superfície, conforme a Figura 1. Complementarmente, foi optado pelo *kettlebell* de 10 kg, por já ter sido validado em outros ensaios.

Figura 1: Estrutura metálica com o sistema de soltura dos pesos. (Fonte: Os autores, 2022)

Nos pontos receptores, foram definidos 3 pontos para o posicionamento do microfone. As medições foram realizadas conforme instruções estabelecidas pela ABNT NBR 10152:2017 [11].

Após a soltura das 3 (três) quedas do *kettlebell*, a máquina de impactos era posicionada acima das determinadas amostras e assim era realizado o ensaio com uma outra fonte de ruídos. No ambiente receptor, também foram definidos 3 (três) pontos para o posicionamento do microfone, as medições foram realizadas conforme instruções estabelecidas pela ABNT NBR ISO 16283-2:2021 [9].

Além disso, foi realizado 1 (um) ensaio de tempo de reverberação, conforme instruções estabelecidas pela ABNT NBR ISO 3382-2:2017 [14], no ambiente receptor, com o auxílio de balões, pois há o objetivo de obter valores de $L'_{nT,w}$ por final.

No presente estudo, foram analisadas 14 (quatorze) amostras, provenientes de materiais fabricados tanto no Brasil quanto na Europa, no qual a intenção foi avaliar sistemas antivibração com sistemas de contrapiso flutuante, no Quadro 1 se apresenta um descritivo das amostras ensaiadas. Foi utilizado um sistema simulador de contrapiso para as avaliações, consistindo em um provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm e densidade de 2000 kg/m³. Para o revestimento do piso durante os testes com a fonte de emissão kettlebell, foi empregado um piso pré-fabricado constituído por grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano, com espessura de 15 mm e densidade de 1000 kg/m³. Em contraste, durante os testes realizados com a máquina de impactos, o equipamento foi posicionado diretamente sobre o provete de contrapiso, sem a utilização de qualquer revestimento adicional. Essa escolha metodológica foi adotada para evitar que o piso emborrachado interferisse nos resultados, uma vez que a borracha poderia atenuar a ação dos marteletes do equipamento e distorcer as comparações subsequentes. Foi mantido o sistema de laje para todos os ensaios, sendo ele uma laje nervurada com preenchimento em EPS 20 cm (capa de concreto 5 cm, nervura 15 cm, EPS 40 x 40 x 15 cm).

Quadro 1: Quadro descritivo das amostras ensaiadas.

Amostra	Descrição da amostra
AM01	Somente o sistema de laje
AM02	Laje + Piso emborrachado pré-fabricado grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano, com espessura de 15 mm e densidade de 1000 kg/m ³
AM03	Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm + Piso emborrachado pré-fabricado grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano, com espessura de 15 mm e densidade de 1000 kg/m ³

AM04	Placa de polietileno expandido: 60 x 60 x 5 cm (20 kg/m ³) com 4 PAD's compostos por poliuretano microcelular de célula mista: 6,9 x 6,9 x 5 cm (capacidade de carga 2,8 t/m ²), inserido em suas extremidades + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM05	4 PAD's compostos por poliuretano microcelular de célula mista: 6,9 x 6,9 x 5 cm (capacidade de carga 2,8 t/m ²), inserido em suas extremidades + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM06	Placa de polietileno expandido: 60 x 60 x 5 cm (20 kg/m ³) com 4 PAD's compostos por poliuretano microcelular de célula mista: 7,6 x 7,6 x 5 cm (capacidade de carga 4,2 t/m ²), inserido em suas extremidades + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM07	4 PAD's compostos por poliuretano microcelular de célula mista: 7,6 x 7,6 x 5 cm (capacidade de carga 4,2 t/m ²), inserido em suas extremidades + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM08	Placa de polietileno expandido: 60 x 60 x 5 cm (20 kg/m ³) com 4 PAD's compostos por poliuretano microcelular de célula mista: 8,4 x 8,4 x 5 cm (capacidade de carga 5,5 t/m ²), inserido em suas extremidades + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM09	4 PAD's compostos por poliuretano microcelular de célula mista: 8,4 x 8,4 x 5 cm (capacidade de carga 5,5 t/m ²), inserido em suas extremidades + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM10	Feltro em lã de rocha: 25 mm densidade 32 kg/m ² + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM11	Feltro em lã de rocha: 50 mm densidade 32 kg/m ² + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM12	Painel em lã de rocha: 25 mm densidade 64 kg/m ² + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM13	Painel em lã de rocha: 50 mm densidade 64 kg/m ² + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm
AM14	Painel em lã de vidro: 15 mm densidade 60 kg/m ² + Provete de contrapiso argamassado (traço 1:3) com dimensões de 60 x 60 x 5 cm

Das amostras AM03 até a AM09 foi estudado um material antivibração alterando as suas dimensões, densidade e o preenchimento da cavidade, algumas das situações foi realizado com uma placa de polietileno e em outras ficaram sem preenchimento. Da AM10 até a AM14, foram estudadas diferentes soluções de manta para contrapiso flutuante.

Para a obtenção de valores de L_{ASmax} , foi utilizado como análise de dados das medições o *software dBTrait 6*, tornando possível analisar o histórico espectral das medições coletadas para cada queda dos *kettlebell*, pois no momento da medição foram codificados, para que, nos pós processamento dos dados, fosse possível identificar cada ponto de medição. A faixa espectral sonora de medição adotada foi em bandas de 1/1 de oitava entre 31,5 Hz a 8 kHz e apesar da ABNT NBR 10152:2017 [12] recomendar iniciar em 63 Hz, neste estudo optou-se por incluir a frequência central de 31,5 Hz pois foram observados níveis sonoros significativos nas baixas frequências.

Já para a obtenção de valores de $L'_{nT,w}$ foi utilizado para análise de dados das medições o *software dBInside*, tornando possível inserir valores de recepção, ruído de fundo e tempo de reverberação, que por final, resultou em valores de $L'_{nT,w}$.

4. Resultados e discussões

A partir das medições foi possível a obtenção de valores de $L'_{nT,w}$ e L_{ASmax} , para cada amostra no ambiente receptor descrito anteriormente. Com isso, o Gráfico 1 apresenta os resultados globais de L_{ASmax} e os valores os valores por espectro de frequência (1/1), estão dispostos no Gráfico 2.

Gráfico 1: Valores globais de L_{ASmax} (dB) por amostra. (Fonte: Os autores, 2024)

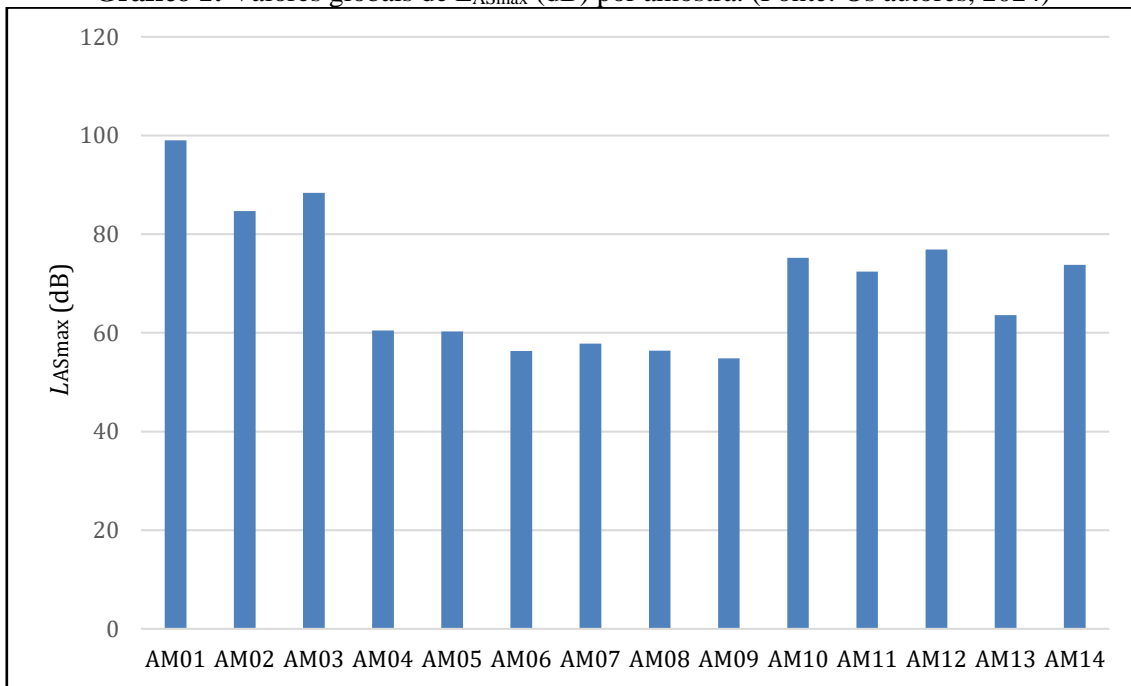
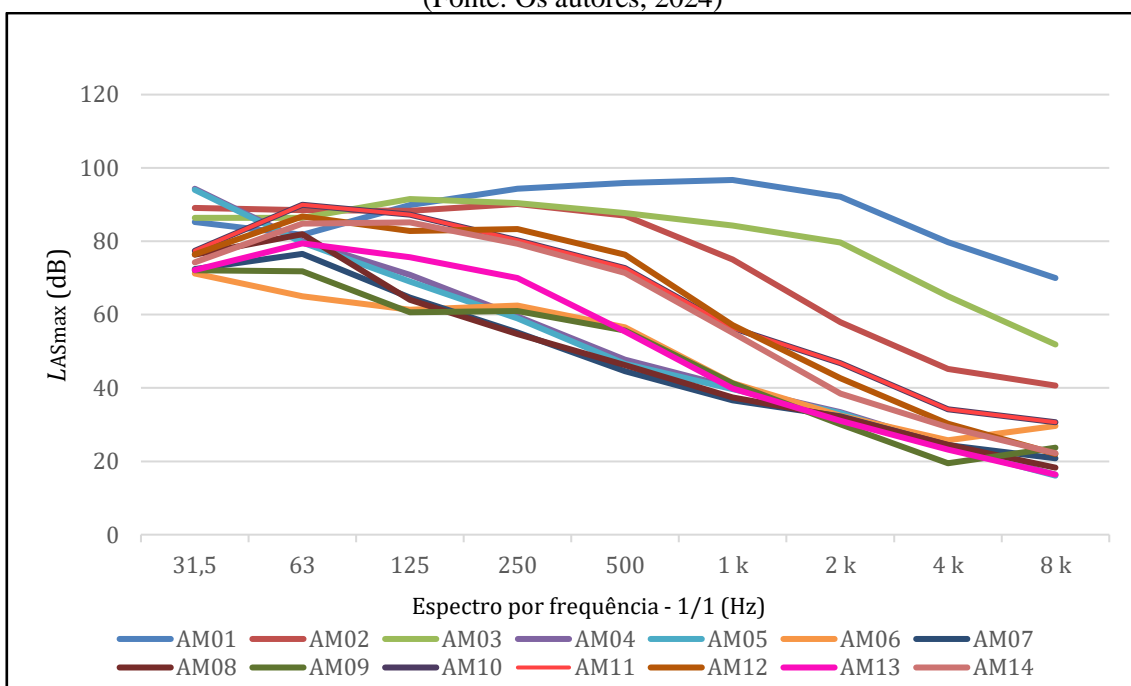


Gráfico 2: Valores de espectro por frequência em banda de oitava (Hz) de L_{ASmax} (dB) por amostra. (Fonte: Os autores, 2024)



Já o Gráfico 3 apresenta os resultados globais de $L'_{nT,w}$ e os valores por espectro de frequência (1/1), estão dispostos no Gráfico 4. Como a AM02 e AM03 eram testes da utilização do revestimento de piso com o material emborrachado, as mesmas não foram apresentadas nos valores de $L'_{nT,w}$, uma vez que para obtenção desses valores não foi utilizado revestimento de piso.

Gráfico 3: Valores globais de $L'_{nT,w}$ (dB) por amostra. (Fonte: Os autores, 2024)

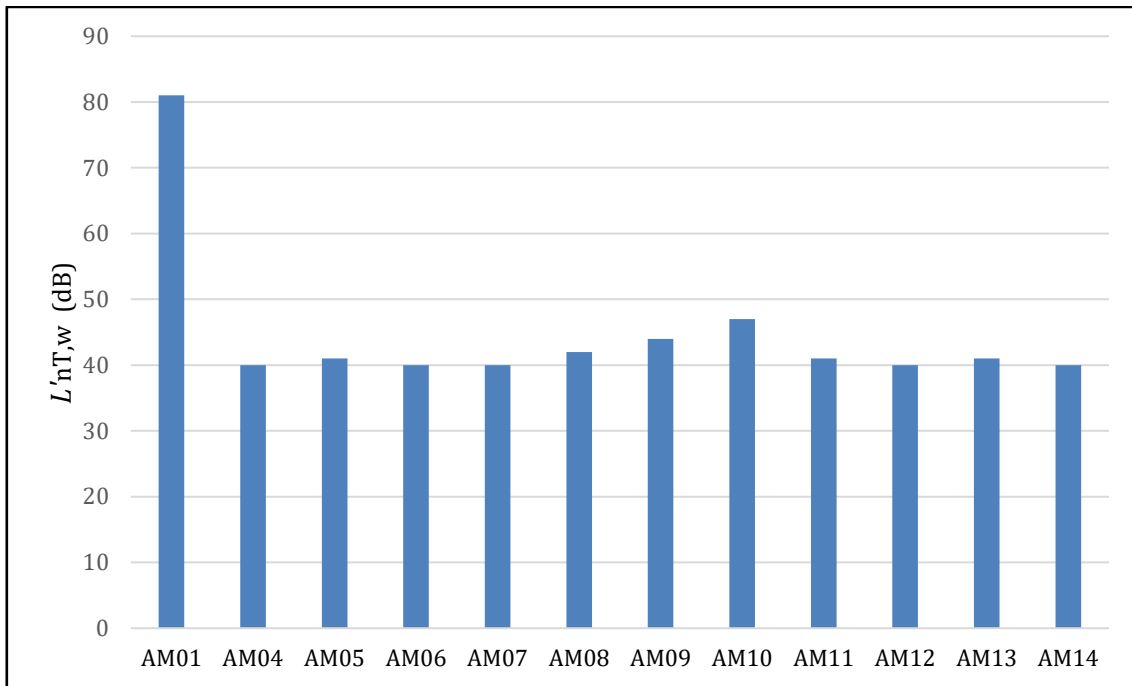
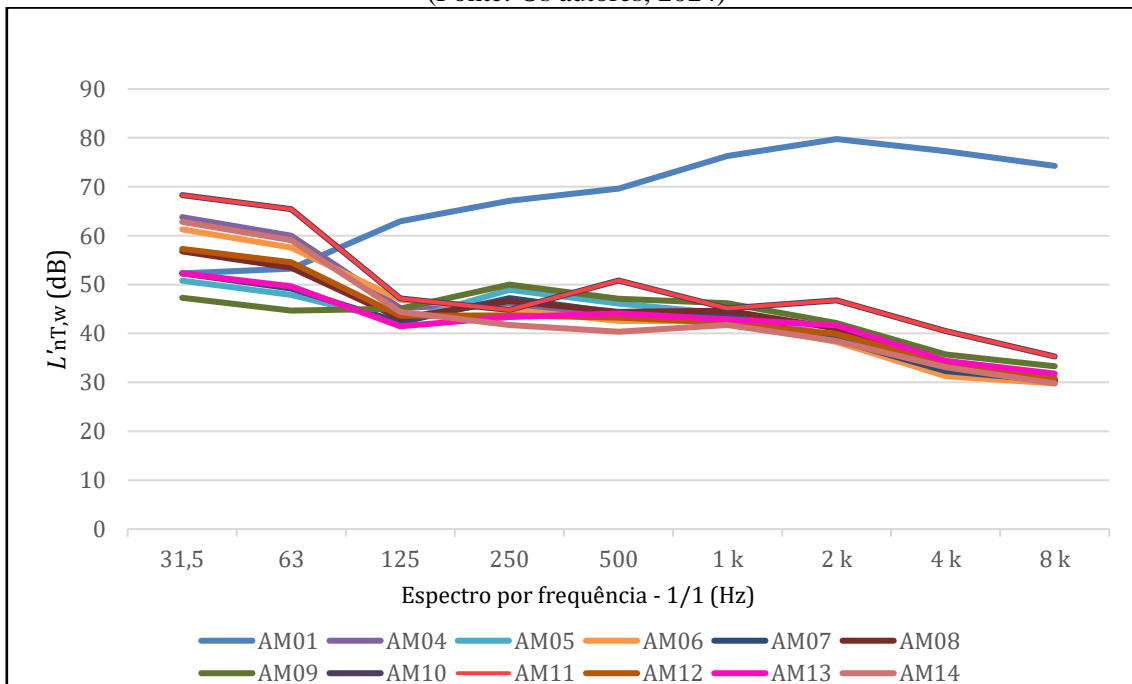


Gráfico 4: Valores de espectro por frequência em banda de oitava (Hz) de $L'_{nT,w}$ (dB) por amostra. (Fonte: Os autores, 2024)



A partir dos resultados obtidos, é possível identificar que as amostras com soluções, passariam com tranquilidade os níveis estabelecidos de $L'_{nT,w}$ pela ABNT NBR 15575:2021 [10], no qual, se compararmos com os requisitos que há uma área de lazer acima de um dormitório, a maioria atenderia ao nível Superior da norma. Porém, se analisarmos os valores obtidos de L_{ASmax} , pode-se observar que na soltura do kettlebell, além de nenhuma das amostras atender os níveis estabelecidos pela ABNT NBR 10152:2017 [11], os resultados obtidos foram bem expressivos, a ponto de na prática poder ser altamente perceptível ao usuário do ambiente receptor.

Além disso, através dos valores discriminados por faixa de frequência, é possível analisar o comportamento da amostra quando submetida a uma determinada emissão de impacto.

4.1 Análise de atenuação sonora das amostras.

Dentre os 14 (quatorze) sistemas ensaiados, a AM01 era a única que não possuía nenhum material proporcionando isolamento acústico. Com isso, foi possível determinar o índice de redução sonora para as demais amostras, por meio da análise comparativa, que consiste na subtração do resultado da AM01 pelo valor encontrado na amostra que estava sendo analisada.

No Gráfico 5 apresenta os resultados globais de L_{ASmax} e os valores os valores por espectro de frequência (1/1), estão dispostos no Gráfico 6.

Gráfico 5: Comparação entre valores globais de redução sonora (dB) por amostra em L_{ASmax} .
(Fonte: Os autores, 2024)

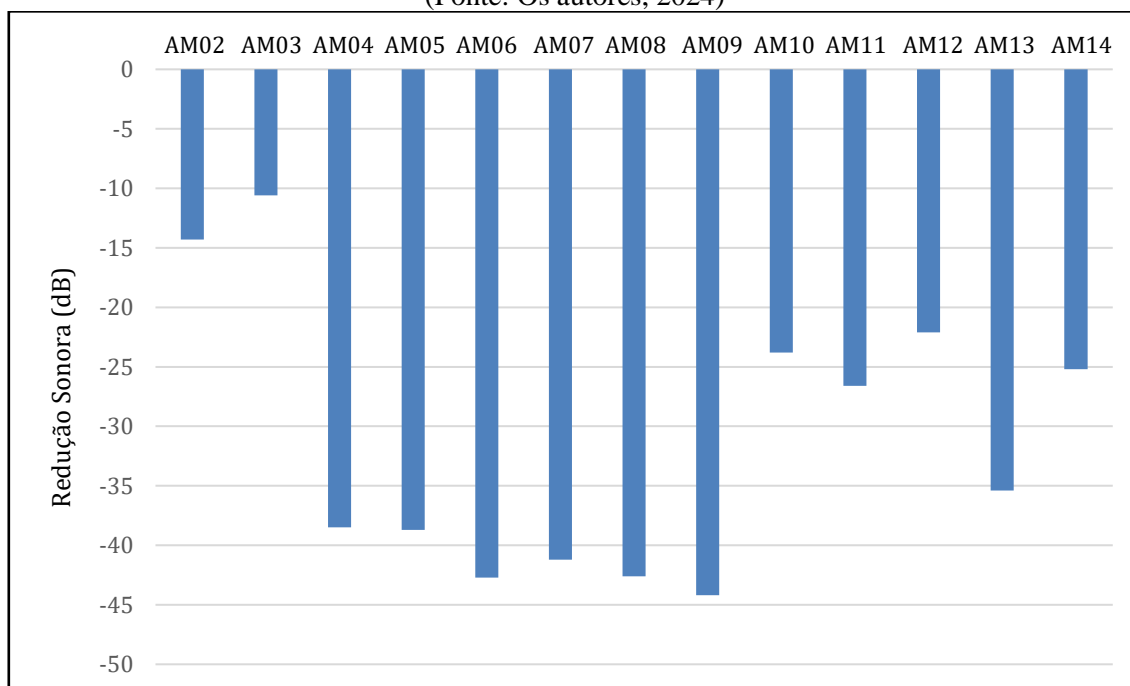
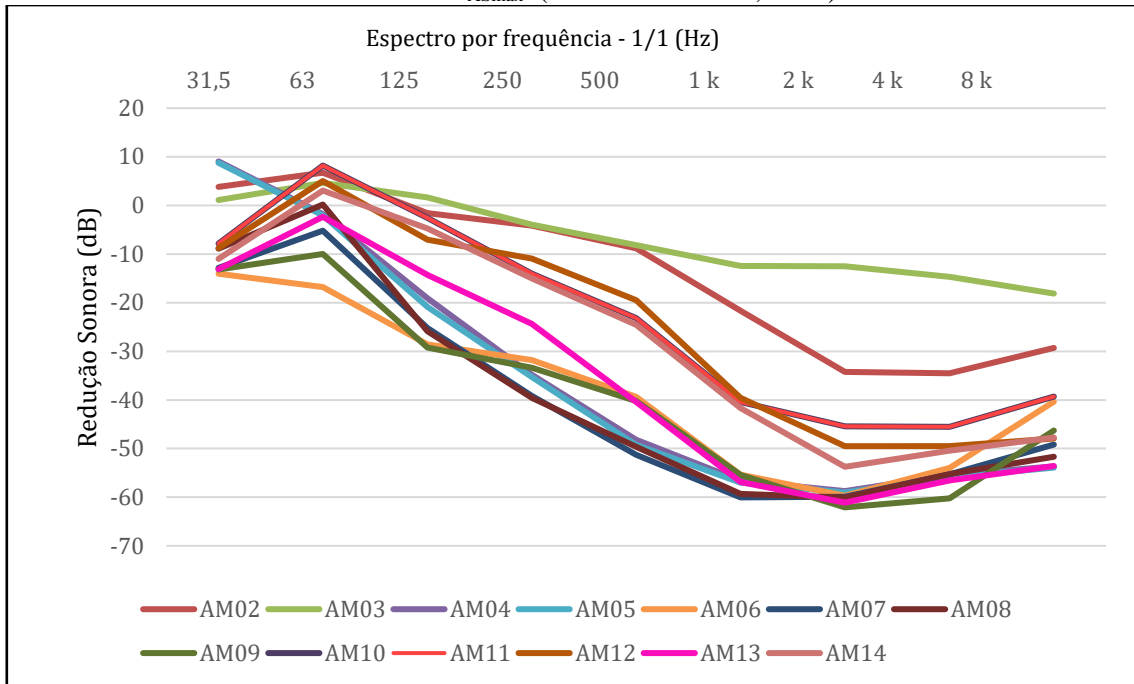


Gráfico 6: Comparação entre valores por frequência em banda de oitava (Hz) de redução sonora (dB) por amostra em L_{ASmax} . (Fonte: Os autores, 2024)



Já no Gráfico 7 apresenta os resultados globais de $L'_{nT,w}$ e os valores por espectro de frequência (1/1), estão dispostos no Gráfico 8.

Gráfico 7: Comparação entre valores globais de redução sonora (dB) por amostra em $L'_{nT,w}$. (Fonte: Os autores, 2024)

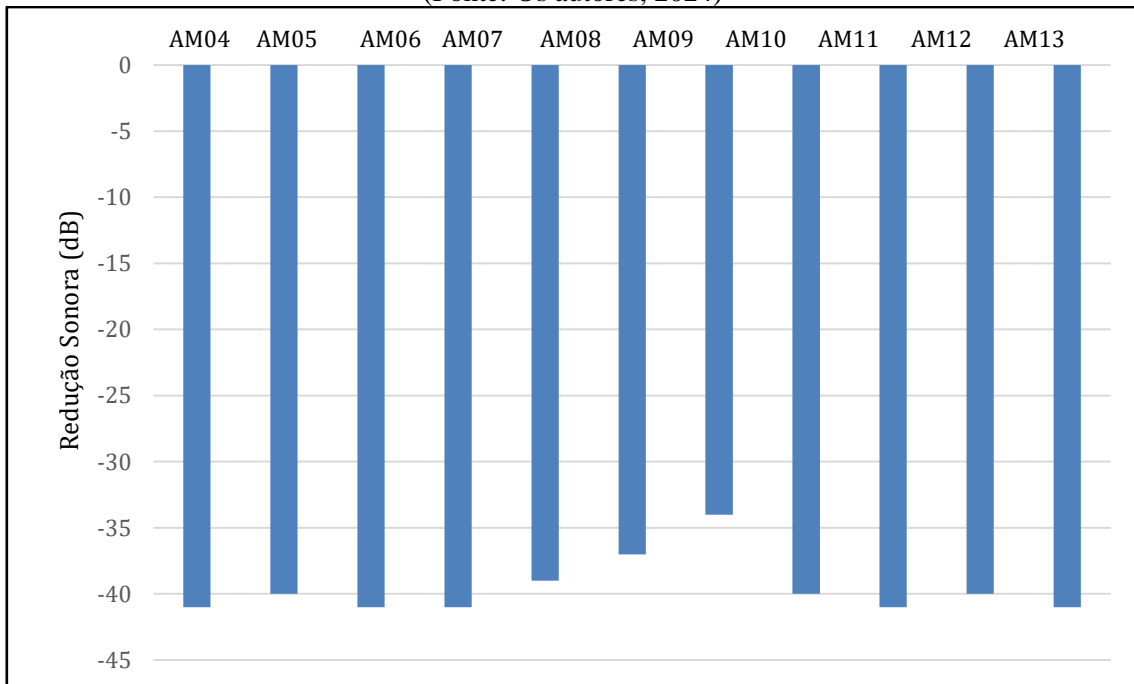
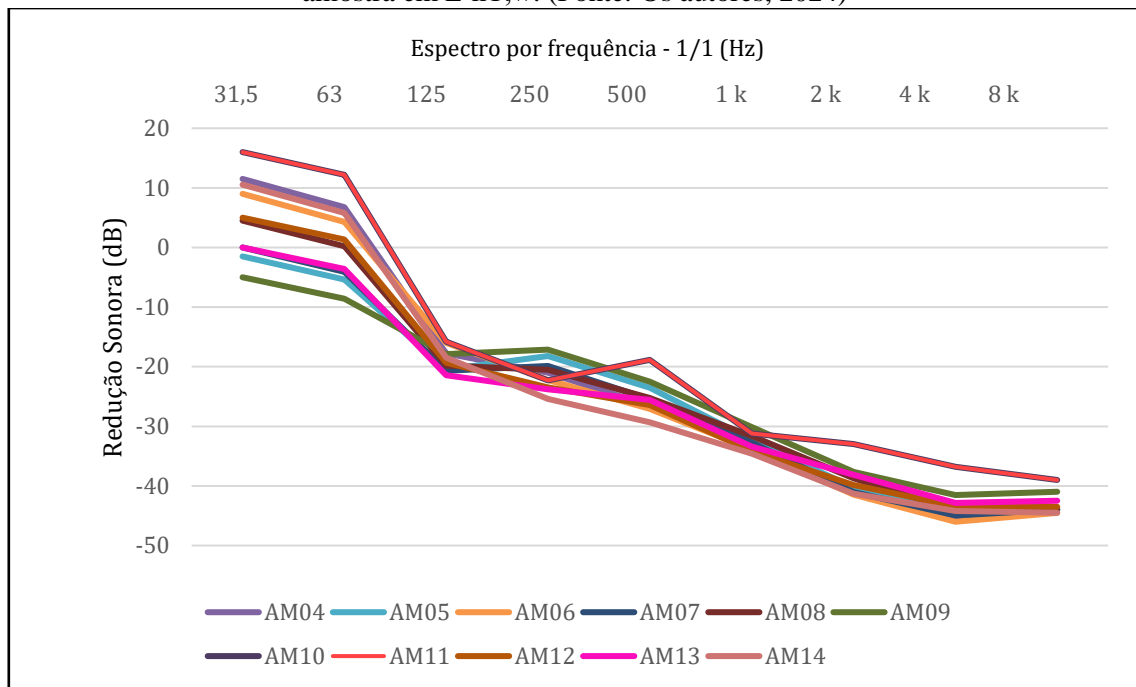


Gráfico 8: Comparação entre valores por frequência em banda de oitava (Hz) de redução sonora (dB) por amostra em $L'nT,w$. (Fonte: Os autores, 2024)



Com base nos resultados obtidos, foram identificados os índices de isolamento das amostras, cujos valores podem servir como referência para a seleção de soluções acústicas em academias de empreendimentos. Ademais, a análise dos resultados por faixa de frequência revelou uma dificuldade de isolamento nas frequências de 31,5 e 63 Hz, nas quais foi observada, em algumas amostras, uma amplificação sonora. Além disso, pode-se observar que para os valores de $L'nT,w$ as amostras tiveram um isolamento semelhante, já para os valores de L_{ASmax} , observou-se que as amostras AM10 até a AM14, tiveram mais dificuldade para o isolamento do ruído.

5. Conclusão

Neste estudo foi possível entender o comportamento sonoro a partir de diferentes fontes de emissão de impacto. Foram consideradas duas fontes de impacto: uma fonte padronizada, a máquina de impactos (*tapping machine*), e uma esfera metálica conhecida como *kettlebell*.

O trabalho foi realizado em uma academia localizada no pavimento *rooftop* em Blumenau-SC, no qual, constitui-se um método onde foram ensaiadas 14 (quatorze) sistemas sendo expostos a uma energia de impacto produzida pela queda de um *kettlebell* de 10 kg que a partir de uma estrutura metálica, foi possível padronizar a sua altura de queda. Além disso, foi realizado uma posição de *tapping machine* nas mesmas amostras.

Foi escolhida uma Suíte diretamente abaixo da academia para ser o ambiente receptor. No qual, a partir deste estudo foi possível obter valores de L_{ASmax} oriundos das quedas de *kettlebell* e valores de $L'_{nT,w}$ produzidos pelos ensaios com a *tapping machine*.

É possível analisar de acordo com os resultados obtidos, o comportamento de cada sistema acústicos quando exposto a diferentes fontes de emissão de impacto. Os resultados trazem pontos de significativos para determinar a eficiência dos materiais de acordo com a situação que serão aplicados.

Observou-se que, com relação aos requisitos normativos estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2021 [10], a maioria dos sistemas testados atingiu o nível superior da norma quando submetidos à *tapping machine*. Entretanto, quando a fonte de impacto foi o *kettlebell*, cujos parâmetros são regidos pela ABNT NBR 10152:2017 [11], nenhuma das amostras alcançou conformidade com os requisitos normativos, apresentando níveis de ruído que, na prática, seriam desconfortáveis para os moradores.

Dessa forma, conclui-se que a *tapping machine*, embora padronizada, pode não ser a fonte de impacto mais adequada para avaliar o desempenho acústico de academias situadas sobre ambientes habitacionais. Seu uso pode levar a análises equivocadas, já que um sistema que atende aos critérios normativos em ensaios padronizados pode, na prática, permitir a transmissão de ruídos incômodos decorrentes de atividades típicas de academias, como a queda de pesos. Assim, sugere-se a continuidade das pesquisas, utilizando diferentes fontes de impacto e considerando a instalação de materiais acústicos em todo o ambiente emissor, de modo a aprofundar a compreensão sobre o desempenho acústico dos materiais e suas combinações.

Referências

1. Jornal da Unesp. Verticalização acelera, e São Paulo já possui mais apartamentos do que casas. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/02/01/verticalizacao-acelera-e-sao-paulo-ja-possui-mais-apartamentos-do-que-casas/>. Acesso em: 22 ago. 2024.
2. Halsten. Áreas de lazer: como estes ambientes valorizam os imóveis? 2024. Disponível em: <https://halsten.com.br/areas-de-lazer-como-estes-ambientes-valorizam-os-imoveis/>. Acesso em: 22 ago. 2024.
3. Casa Mineira. Academia no prédio: conheça os benefícios que vão além da saúde. 2019. Disponível em: <https://www.casamineira.com.br/blog/academia-no-predio-conheca-beneficios-da-saude/>. Acesso em: 22 ago. 2024.
4. TJDF. Barulho excessivo em academia de ginástica de condomínio. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/consultas/jurisprudencia/jurisprudencia-em-temas/dano-moral-no-tjdft/responsabilidade-civil/barulho-excessivo-em-academia-de-ginastica-de-condominio>. Acesso em: 22 ago. 2024.
5. PEDROSO, MIGUEL. Estudo comparativo entre modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto. 2007. p. 146. Dissertação (mestrado) - curso de engenharia civil, universidade federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
6. MÉNDEZ A. M. et al. Acústica arquitetônica. 1. ed. Buenos Aires: UMSA, 1994.
7. GARCIA, D. Análise do isolamento sonoro de sistemas construtivos residenciais estruturadas em aço. 2004. 140 p. Dissertação (Pós-Graduação) - Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2004.
8. GERGES, S. N. Y. Ruído: fundamentos e controle. Florianópolis, 1992. 600 p. INTERNATIONAL STANDART. Acoustic – Rating of Sound Insulation in Buildings and of Buildings Elements, Part 2: Impact sound insulation. ISO 717- 2 2nd ed. 1996. 12p.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 16283-2: Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações - Parte 2: Isolamento a ruído de impacto. Rio de Janeiro (2021)
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575-3: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro (2021).
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10152: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos e edificações. Rio de Janeiro: ABNT (2017).
12. FERRAZ, RAFAELA. Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.
13. CORNACCHIA, Gianni Maria Machado. Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais. 2009. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 3382-2: Medição de parâmetros de acústica de salas Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro (2017).