FIA 2020/22
XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC
Florianópolis, SC, Brasil

Avaliação da transmissão sonora entre piscinas nas coberturas e unidades habitacionais de edifícios multifamiliares

Schmitt, R.[1]; Luz, J.L.[2]; Coelho, F.C.[3]; Maciel, C.A.[4]; Nascimento, N.L.F.[5]

[{1,2}] Scala Acústica, Blumenau, SC, Brasil, {rafael, jean}@scaladb.com.br
[{3,4,5}] Síntese Acústica Arquitetônica, Brasília, DF, Brasil, {fabiana, candida, laboratorio}@sintesearquitetura.com.br

Resumo

A verticalização das cidades é um fenômeno global que responde às demandas por espaço nos centros urbanos. Nos edifícios de habitação multifamiliar, é comum a existência de áreas de lazer que possibilitam o uso de espaços ao ar livre, como quadra de esportes e piscinas. Com terrenos cada vez menores e mais sombreados pela verticalização, as piscinas passaram a ser alocadas nas coberturas, muitas vezes sobre unidades habitacionais. No entanto, os moradores destas residências têm reclamado dos ruídos provenientes das piscinas. As fontes são diversas, como os impactos provocados por pulos, batidas nas laterais e pela própria movimentação da água ou ainda o ruído de bombas e tubulações. Estes últimos podem ser avaliados conforme procedimentos e descritores estabelecidos nas normas ABNT NBR 15575:2021 [1] e ABNT NBR 10152:2017 [2]. E como avaliar os níveis sonoros dos ruídos de impacto provocados pela utilização das piscinas? Como garantir a reprodutibilidade e confiabilidade da medição sendo que não há uma fonte padronizada? Este artigo apresenta os resultados obtidos em ensaios acústicos que utilizou uma esfera padrão como fonte de impacto em piscinas, e compara com os resultados obtidos em ensaio que considerou como fonte a utilização da piscina por uma pessoa. Foram realizados ensaios em 06 piscinas, sendo que destas 04 possuem sistemas de amortecimento de vibração. Os resultados obtidos demonstram potencial caminho para o desenvolvimento de uma metodologia de ensaio que utilize a esfera padrão, por sua resposta ter se aproximado em termos práticos da fonte "pessoa". No entanto, é necessário ampliar a amostragem para o desenvolvimento do método.

Palavras-chave: ruído, impacto, piscina, isolamento, *slam ball*.

PACS: 43.40.At, 43.40.Kd, 43.50.Gf, 43.50.Pn, 43.55.Br, 43.55.Dt

Investigation in-situ for pool acoustic impact noise insulation

Abstract

The verticalization of cities is a global phenomenon that responds to the demands for space in urban centers. In multifamily buildings, it is common to have outdoor recreational areas such as a sports field and swimming pools. As land became smaller and more shaded by verticalization, swimming pools began to be located on rooftops, often above housing units. Yet the residents of these apartments have been complaining about the noise coming from the pools. The sources are many, such as impacts caused by jumping, knocking on the sides, and the movement of the water itself, or the noise of bombs and pipes. The latter can be evaluated according to the procedures and descriptors established in the ABNT NBR 15575:2021 [1] and ABNT NBR 10152:2017 [2] norms. And how to evaluate the sound levels of impact noise caused by the use of swimming pools? How can ensure the reproducibility and reliability of the measurement when there is no standardized source? This article presents the results obtained in acoustic tests that used a standard sphere as the source of impact in swimming pools, and compares them with the results obtained in a test that considered the use of the pool by a person as the source. Tests were performed in 06 pools, of which 04 have vibration damping systems.The results obtained show a potential way forward for developing an assay methodology using the standard sphere, since its response was close in practical terms to the "person" source. However, it is necessary to expand the sampling for the development of the method.

Keywords: noise, impact, pool, insulation, slam ball

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento da população urbana no território brasileiro contribui para o processo de verticalização das edificações residenciais. Observa-se que centros urbanos que já possuem vários setores verticalizados, atualmente desenvolveram políticas de fomento à verticalização de certas regiões justificadas pela promoção do adensamento urbano, principalmente das regiões centrais e de eixos urbanos consolidados. Diversos estudos urbanísticos defendem que o modelo das cidades compactas se aproxima mais do modelo do urbanismo sustentável, uma vez que reduz a necessidade de deslocamento e proporciona o acesso às infraestruturas urbanas a uma quantidade maior de pessoas [3]. As tecnologias de construção desenvolvidas no século XX aliadas ao aproveitamento intensivo do solo urbano estabeleceram uma forte relação entre verticalização e adensamento [4]. A verticalização no Brasil se destina prioritariamente à habitação, o que difere de outras realidades [5]. Esse adensamento das edificações verticais traz como consequência a alteração do microclima destas regiões através do sombreamento excessivo do solo, canalização de ventos dentre outras alterações.
Os edifícios residenciais, principalmente os destinados à população com maior poder aquisitivo, compensam a ausência da área externa da casa com as áreas de lazer comum além das sacadas, terraços e varandas das unidades habitacionais. O desenvolvimento tecnológico permitiu que esses ambientes sejam equipados com spas ou pequenas piscinas, a fim de aumentar a proximidade destes com a função da área externa da casa. Para além disso, as grandes piscinas de uso coletivo foram transferidas para as coberturas de acesso coletivo onde podem ser melhor aproveitadas, já que o térreo está excessivamente sombreado. No entanto, estes novos equipamentos de lazer, ou suas novas posições dentro da edificação, geram fontes de ruídos para as unidades vizinhas, principalmente para as localizadas logo abaixo das piscinas. Algumas dessas fontes de ruído são as bombas e motores de sistema de limpeza e aquecimento, a passagem de água pelas tubulações e a própria utilização da piscina. Na situação dos ruídos de bombas e tubulações, já existe procedimento de ensaios descritos na norma ABNT NBR ISO 16032:2020 [6], a avaliação de conformidade é realizada conforme os valores de referência da ABNT NBR 10152:2017 [2] e ABNT NBR 15575:2021 [1].

No caso da utilização da piscina, existem atividades como pulos, impactos nas laterais e nado, os quais são fontes de reclamações, cada vez mais comum entre os moradores, principalmente os das unidades logo abaixo da piscina coletiva. Este estudo avaliou 06 piscinas coletivas , das quais 03 foram motivo de reclamação dos proprietários junto ao incorporador da edificação. Frente a isso nos deparamos com as questões: como avaliar os níveis sonoros dos ruídos provocados pela utilização das piscinas; como garantir a reprodutibilidade e confiabilidade da medição sendo que não há uma fonte padronizada?

2. FUNDAMENTOS

O som é o resultado da variação da pressão estática causada por um meio em vibração, gerando ondas sonoras, que por sua vez é perceptível ao sistema auditivo humano; já o ruído é um som indesejável, sem harmonia, que se apresenta de maneira desagradável [7].

Sons gerados por pisadas e quedas de objetos sobre as lajes, exemplos de maior destaque dos chamados ruídos de impacto e provocam grande desconforto em edifícios de apartamentos por serem ouvidos claramente em outros ambientes [8]. A norma técnica ABNT NBR 15575-3:2021 [9] define o ruído de impacto em pisos como sendo aquele produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar. Isto é, trata-se de uma excitação por contato, na qual a estrutura se torna um eficiente sistema irradiador de energia sonora em uma ampla faixa de frequência, devido ao movimento vibratório induzido pela excitação localizada.

Em piscinas localizadas acima de unidades habitacionais, o ruído de impacto é produzido pelo uso da mesma e por vibração estrutural ocorre a propagação sonora em direção ao

pavimento diretamente abaixo e muitas vezes, aos subsequentes. A transmissão sonora aérea, para essa análise torna-se desprezível devido ao sistema de laje robusta e pela massa da água da piscina que isola acusticamente tal efeito.

Para iniciar esse estudo de caso, recorreu-se à norma de desempenho ABNT NBR 15575:2021 [1] que cita a metodologia de medição especificada na norma ABNT NBR ISO 16283-2:2021 [10] para avaliar o isolamento a ruídos de impactos (caminhamento, queda de objetos e outros) entre as unidades habitacionais. Porém não há referência a um procedimento de ensaio para ruídos típicos originados e/ou causados pelo uso de piscinas (pulos, nado, movimentação da água). Em complemento, pesquisou-se normas internacionais e não foram encontrados procedimentos de ensaios para esta situação.

Nos métodos de ensaio acústicos consagrados, que visam avaliar o comportamento sonoro de elementos da edificação, observa-se a utilização de fontes padronizadas, o que auxilia a garantia da reprodutibilidade do ensaio. Para a avaliação de ruído de impacto, ABNT NBR ISO 16283-2:2021 [10], estabelece duas fontes emissoras padrões. A primeira é a máquina de impacto padronizada, que possui 5 martelos de metal com diâmetros, curvaturas e movimentos padrões, para garantir a excitação adequada do piso a qual simula o espectro do caminhar de pessoas com calçados de solado rígido. O outro dispositivo de fonte geradora de ruído impacto padronizado em pisos é a bola de borracha que que pode ser fabricada em borracha de silicone de diâmetro de 18 cm com seu interior oco de espessura de 3 cm, esta fonte já simula o espectro do caminhar de pessoas descalças, excitando mais acentuadamente as baixas frequências entre 50 a 630 Hz.

Inicialmente, analisou-se as utilizações dessas duas fontes na avaliação de piscina. A máquina de impacto padronizada só poderia ser utilizada com a piscina vazia, descaracterizando o comportamento do elemento construtivo, devido a retirada da massa de água que é parte essencial do sistema. A bola de borracha não causa impactos nos elementos estruturais da piscina, porque ela flutua na água por causa do ar no seu interior. A fim de se buscar uma padronização por meio de uma fonte sonora de impacto o qual não resultasse em um ensaio destrutivo, porém representativo em termos de energia sonora, e que também fosse reutilizável e de fácil aquisição, sem necessidade de desenvolvido específico, utilizou-se a *Slam Ball*. Trata-se de uma bola de uso *fitness*, que pode ser utilizada em vários ambientes, sendo própria para arremessos em diferentes tipos de superfícies, como em paredes, no solo, em gramados, dentre outros. Normalmente fabricada em PVC resistente, a qual é inerte e não quica quando lançada ao solo em seu interior é recheada com areia de sílica e granalha metálica, sendo completamente vedada evitando alterações em suas características quando em contato com a água. Portanto, utilizou-se essa bola com peso de 20 kg conforme Figura 1, como fonte padrão para iniciar estudos comparativos de ruídos provocados pelo uso livre de piscinas (pulos, batidas nas laterais e nado).

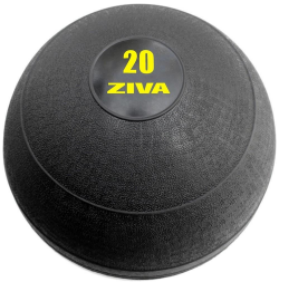


Figura 1: *Slam Ball* da marca ZIVA, peso 20 kg. (retirado da internet [11]).

3. DESENVOLVIMENTO

Os ensaios foram realizados em 6 piscinas localizadas na cobertura de empreendimentos habitacionais, sendo 2 em Brasília-DF, 2 em Balneário Camboriú-SC, 1 em Itapema-SC e 1 em Florianópolis-SC.

Para simular o uso cotidiano da piscina, no estudo foi adotado 3 tipos de ensaios "padronizados" de fontes sonoras, sendo:

1 - Bola: consistiu na pessoa com os antebraços na posição horizontal e cotovelos levemente fletidos, soltou-se a *Slam Ball* 20 kg a uma altura de 1 m entre a base da bola e a lâmina da

água conforme demonstra a Figura 2, em queda livre adentrando-se na água até que a bola batesse no fundo da piscina. A cada queda, esperou-se a estabilização da água entre 15 a 30 s, a fim de avaliar possível contribuição de ruído por movimentação da água.

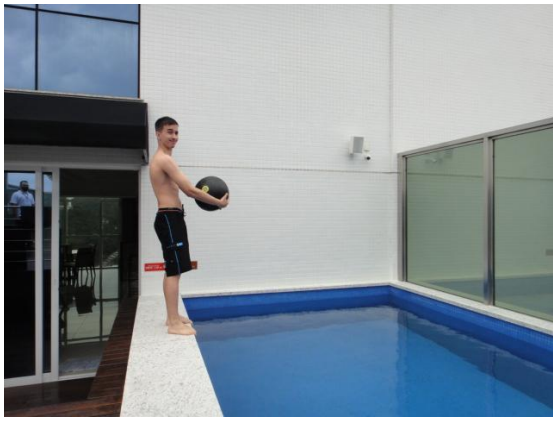


Figura 2: Ensaio de queda livre da bola.

2 - Pulo: consistiu na pessoa parada na borda da piscina, dando um passo à frente e não tomando impulso conforme Figura 3, em queda livre adentrando-se na água até que os pés batessem no fundo da piscina. A cada pulo, esperou-se a estabilização da água entre 15 a 30 s, a fim de avaliar possível contribuição de ruído por movimentação da água.

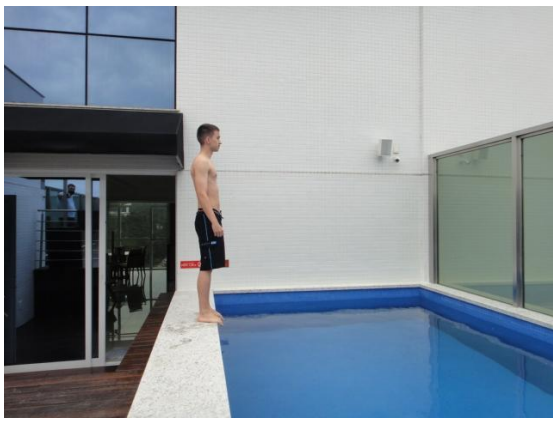


Figura 3: Ensaio de pessoa pulando.

3 - Nado: consistiu no nadador saindo de uma borda e nadando no sentido de maior dimensão conforme pode ser visto na Figura 4, chegando na borda oposta, executou a “virada" batendo o calcanhar na parede e retornando nadando à borda de origem.



Figura 4: Ensaio de pessoa nadando.

Vale dizer que os nadadores deste estudo realizado com amostras coletadas nos estados DF e SC, tinham características semelhantes, com altura em torno de 1,70 metros e peso de 60 a 70 kg.

Com relação aos ciclos de medições, ficou convencionado da seguinte forma:

- Bola: máximo de 9 quedas, repetindo-se até 3 vezes em mesmo ponto e com alternância em até 3 pontos;
- Pulo: máximo de 9 pulos, repetindo-se até 3 vezes em mesmo ponto e com alternância em até 3 pontos;
- Nado: ida e volta, por 3 vezes consecutivas.

Segundo a ABNT NBR 10152:2017 [2], para medições dos níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, é necessária a avaliação dos descritores acústicos L_{Aeq} sendo o nível pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A e L_{ASmax} sendo o nível máximo de pressão sonora ponderado em A e ponderado em S.

Quanto aos valores de referência de acordo com a finalidade de uso de cada ambiente, para “Dormitórios” os valores medidos de L_{Aeq} devem atender o requisito RL_{Aeq} $\leq$ 35 dB e os valores medidos de L_{ASmax} devem atender o requisito RL_{ASmax} $\leq$ 40 dB. Já para “Salar de estar”, os níveis sonoros são menos restritivos, onde para valores medidos de L_{Aeq} devem atender o requisito RL_{Aeq} $\leq$ 40 dB e os valores medidos de L_{ASmax} devem atender o requisito

$RL_{ASmax} \leq 45$ dB. De acordo com a norma, admite-se tolerância de 5 dB, para os descritores citados quando for resultado 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 NBR 10152:2017 [2] 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.

O tempo de coleta dos níveis de pressão sonora foi de 30 até 40 s, suficiente para caracterizar as fontes sonoras nado, pulo e bola, incluso período de estabilização de movimentação da água para as duas últimas fontes citadas.

Para realização dos ensaios foram utilizados medidores integradores de nível sonoro, sendo eles: 01 sonômetro modelo Solo Black fabricante 01dB, 02 sonômetros modelo Fusion fabricante 01dB, todos com calibrações certificadas pela Rede Brasileira de Calibração - RBC, juntamente aos respectivos calibradores sonoros.

Para análise dos dados de níveis sonoros coletados, foi utilizado o *software dBTrait 6* do fabricante 01dB, no qual foi possível analisar o histórico espectral das medições para cada fonte sonora e de acordo com seus respectivos ciclos. No momento das medições nos ambientes receptores, foram realizadas codificações do som específico objeto de estudo e também de ruídos intrusivos, para eliminar possíveis contribuições indesejáveis.

Os sistemas construtivos das piscinas ensaiadas contendo as informações técnicas, são descritos a seguir, desde a superfície de contato com a água até o teto do ambiente receptor:

- Piscina 1: revestimento cerâmico, laje maciça em concreto armado de 20 cm, altura da linha d'água de 1,15 m e profundidade da caixa da piscina de 1,25 m;
- Piscina 2: revestimento cerâmico, laje maciça de concreto armado de 15 cm, cavidade de ar de 60 cm, e laje nervurada de 20 cm (capa de concreto com 5 cm e bloco de EPS com 15 cm), altura da linha d'água de 1,26 m e profundidade da caixa da piscina de 1,35 m;
- Piscina 3: revestimento cerâmico, laje maciça em concreto armado de 17 cm, pilaretes de concreto desconectados com *PAD* resiliente de poliuretano microcelular de célula mista de 25 mm, laje maciça em concreto armado de 20 cm, altura da linha d'água de 1,20 m e profundidade da caixa da piscina de 1,36 m;
- Piscina 4: revestimento cerâmico, contrapiso argamassado de 6 cm, na parte inferior dupla camada de manta ondulada pré-fabricada de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano com 17 mm (densidade 750 kg/m³), nas laterais manta pré-fabricada de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano 10 mm (densidade 750 kg/m³) recoberta com argamassado de 6 cm, laje nervurada com preenchimento em EPS (capa de 5 cm e nervura de 20 cm), altura da linha d'água de 1,10 m e profundidade da caixa da piscina de 1,25 m;
- Piscina 5: revestimento cerâmico, laje maciça em concreto armado de 15 cm, placa de polietileno expandido de 2 cm (densidade 30 kg/m³), EPS de 1 cm (densidade 10 kg/m³), 1 *PAD* composto por borracha natural (1100 kg/m³), camada de borracha laminada de 0,2 cm (2000 kg/m³), laje maciça em concreto armado de 22 cm, altura da linha d'água de 1,20 m e profundidade da caixa da piscina de 1,40 m;
- Piscina 6: revestimento cerâmico, laje maciça em concreto armado de 15 cm, placa de polietileno expandido de 2 cm (densidade 30 kg/m³), EPS de 1 cm (densidade 10 kg/m³), 1 *PAD* composto por borracha natural (1100 kg/m³), camada de borracha laminada de 0,2 cm (2000 kg/m³), laje maciça em

concreto armado de 22 cm, altura da linha d'água de 1,20 m e profundidade da caixa da piscina de 1,40 m;

- Piscina 7: revestimento cerâmico, laje maciça em concreto armado de 10 cm, placa de polietileno expandido de 2 cm (densidade 30 kg/m³), EPS de 1 cm (densidade 10 kg/m³), 1 *PAD* composto por borracha natural (1100 kg/m³), camada de borracha laminada de 0,2 cm (2000 kg/m³), laje maciça em concreto armado de 20 cm, altura da linha d'água de 1,00 m e profundidade da caixa da piscina de 1,10 m.

Observação: as piscinas 5 e 6 estão numeradas sequencialmente para melhor representação dos resultados ao longo deste estudo, porém trata-se da mesma estrutura localizada no mesmo empreendimento, diferenciando apenas o ambiente receptor.

Os ambientes receptores medidos foram dormitórios com volumetria entre 25 e 65 m³ e salas (*living*) com volumetria entre 102 e 334 m³, ambos com divisas adjacentes logo abaixo das piscinas, sendo alguns mobiliados e outros sem mobílias. Foram utilizados 3 pontos de medição em cada ambiente receptor de acordo com as recomendações da norma NBR 10152:2017, e a cada ponto obtido até 9 espectros dependendo da fonte sonora avaliada.

No Quadro 1 são apresentados os sistemas de piscinas ensaiadas de 1 a 7 por tipo de fonte sonora e com as respectivas características dos ambientes receptores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estão representados na Figura 5 os valores de níveis sonoros globais L_{Aeq} e L_{ASmax} referentes aos sistemas ensaiados de piscinas 1 a 7, de acordo com a respectiva fonte sonora "bola".

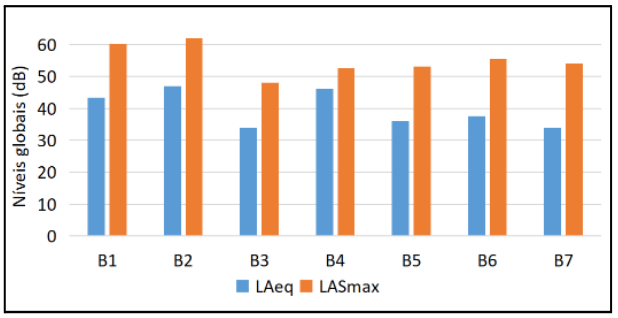


Figura 5: Resultado de L_{Aeq} e L_{ASmax} da fonte bola.

Observa-se, na Figura 5, que em todos os ensaios realizados, os resultados de L_{ASmax} são significativamente maiores que L_{Aeq}, atingindo diferenças de até 20,2 dB. As piscinas 1 e 2 apresentaram os maiores valores de L_{ASmax} entre todas, vale salientar que as mesmas não possuem nenhum sistema de atenuação sonora, já as piscinas de 3 a 7 contém sistemas de amortecimento.

A seguir, na Figura 6, apresentam-se os resultados para a fonte sonora "pulo".

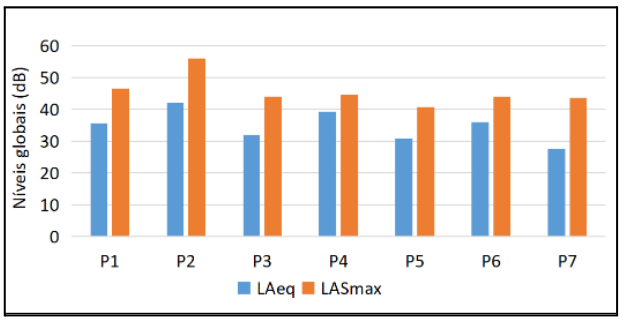


Figura 6: Resultado de L_{Aeq} e L_{ASmax} da fonte pulo.

Observa-se, que em todos os ensaios realizados, os resultados de L_{ASmax} são significativamente maiores que L_{Aeq}, atingindo diferenças de até 16 dB. As piscinas 1 e 2 também apresentam os maiores valores de L_{ASmax} , mas o valor da piscina 1 já se aproxima dos valores das demais piscinas. Vale ressaltar que o ambiente receptor da piscina 1 possui o maior volume e a menor relação área de intersecção e volume. Salienta-se que as mesmas não possuem nenhum sistema de atenuação sonora, já as piscinas de 3 a 7 contém sistemas de amortecimento.

Quadro 1: Piscinas adultos (1 a 7) ensaiadas por tipo de fonte sonora.

Piscina	Ensaio	Fonte sonora	Ambiente receptor		
			Tipo	Volume (m³)	Área de intersecção piscina e ambiente (m²)
1	B1	Bola	Living (não mobiliado)	334,30	11,08
	P1	Pulo			
	N1	Nado			
2	B2	Bola	Dormitório (não mobiliado)	31,24	5,91
	P2	Pulo			
	N2	Nado			
3	B3	Bola	Dormitório (não mobiliado)	25,88	5,77
	P3	Pulo			
	N3	Nado			
4	B4	Bola	Dormitório (mobiliado)	25,80	5,60
	P4	Pulo			
	N4	Nado			
5	B5	Bola	Dormitório (mobiliado)	52,00	5,89
	P5	Pulo			
	N5	Nado			
6	B6	Bola	Living (mobiliado)	102,00	12,76
	P6	Pulo			
	N6	Nado			
7	B7	Bola	Dormitório (mobiliado)	65,00	11,42
	P7	Pulo			
	N7	Nado			

Na Figura 7, apresentam-se os resultados para a fonte sonora "nado".

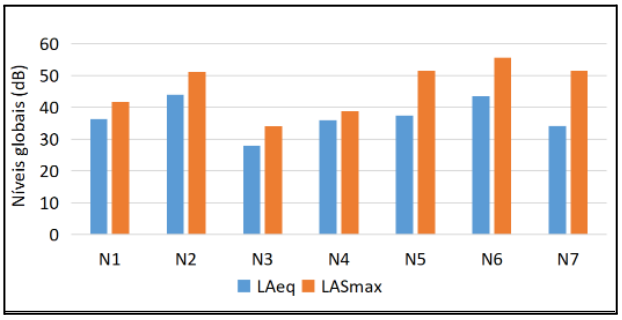


Figura 7: Resultado de L_{Aeq} e L_{ASmax} da fonte nado.

Observa-se, na Figura 7, que em todos os ensaios realizados, os resultados de L_{ASmax} são significativamente maiores que L_{Aeq}, atingindo diferenças de até 17,3 dB. As piscinas 1 e 2 apresentaram os maiores valores de L_{ASmax} entre todas.

Para melhor compreensão, na Figura 8 apresenta-se os resultados obtidos englobando todas as fontes sonoras, sendo: bola, pulo e nado. Optou-se por demonstrar, neste gráfico, apenas os valores de níveis sonoros globais máximos L_{ASmax} referentes aos sistemas ensaiados de piscinas 1 a 7, por se demonstrarem representativos em relação aos valores globais equivalentes, nas discussões dos gráficos anteriores.

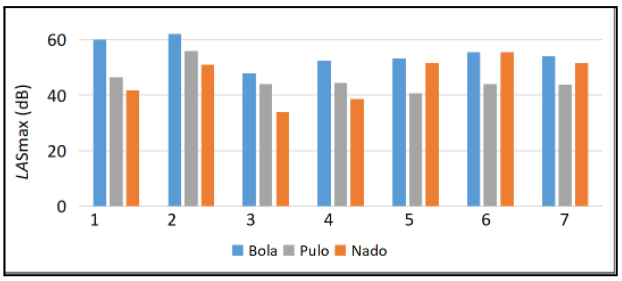


Figura 8: Resultado de L_{ASmax} entre todas as fontes sonoras para as piscinas adultos 1 a 7.

Observa-se, na Figura 8, que existe um comportamento similar para o grupo de piscinas de 1 a 4, demonstrando que a fonte mais significativa é a bola e a menos significativa dentre este grupo, a fonte nado.

No grupo de piscinas de 5 a 7, este comportamento não se repetiu, a fonte nado tornou-se mais significativa que a fonte pulo e além disso, atingiu níveis sonoros máximos mais próximos da fonte bola.

Este comportamento distinto, demonstra que a prática de nadar tem características subjetivas do próprio nadador como altura, peso e o estilo/habilidade de nadar. Existe então, a problemática de se padronizar o ensaio "nado" e obter os valores dos ensaios correlacionados entre si, como mostrados na Figura 9. Nas piscinas de 1 a 4, o nado foi estilo *crawl*, a reprodutibilidade para as piscinas 5 a 7 ficou comprometida, o nadador teve dificuldades ao reproduzir o nado *crawl* e por consequência, os movimentos de pernas e braços foram totalmente diferentes.

Em todos os ensaios realizados, a fonte bola representou os níveis sonoros mais elevados, em relação às demais fontes. Inclusive no comparativo entre as piscinas sem sistema de atenuação sonora (1 e 2) e com sistema de amortecimento (3 a 7), a diferença média ficou em torno de 8,4 dB. Destacou-se a piscina 3 que obteve o melhor resultado dentre todas, apresentando diferença de 12,1 dB em relação a piscina 1 que representa o menor nível sonoro das piscinas sem amortecimento. Na comparação entre as piscinas com sistema de amortecimento (3 a 7), a piscina 3 novamente se destacou apresentando diferença de 4,5 dB em relação a piscina 4 que representa o menor nível sonoro deste grupo de piscinas.

Analisando especificamente a fonte pulo, em 85,7% dos resultados (piscinas 1, 3 a 7), a diferença entre o maior e menor nível sonoro, não excedeu mais que 5,7 dB. Observou-se também que em 71,4% dos resultados (piscinas 3 a 7), a diferença entre o maior e menor nível, não excedeu mais que 3,7 dB.

Sob o aspecto da área de intersecção e volumetria, em relação ao lado receptor, podemos comparar dois casos. No primeiro, observa-se os resultados das piscinas 5 e 6 com as respectivas áreas de interseção de 5,89 m² e 12,76 m² e volumetrias de 52 m³ e 102 m³. Em termos de níveis sonoros, referência sendo a fonte bola, atingiu valores respectivos de 53,2 dB e 55,5 dB, apresentando diferença de 2,3 dB. No segundo caso, observa-se os resultados das piscinas 6 e 7 com as respectivas áreas de interseção de 11,42 m² e 12,76 m² e volumetrias de 65 m³ e 102 m³. Em termos de níveis sonoros, referência sendo a fonte bola, atingiu valores respectivos de 54,1 dB e 55,5 dB, apresentando diferença de 1,4 dB. Na primeira situação, temos a área de intersecção e volumetria, praticamente ambos é o dobro na relação entre si. Já na segunda situação, temos a área de intersecção com valores bem similares e volumetria praticamente o dobro. A diferença entre 2,3 dB e 1,4 dB é pouco significativa para realizar discussões que poderiam envolver transmissões diretas e indiretas, por exemplo.

Conforme já observado, a fonte não possui uniformidade, sendo assim optou-se por detalhar os resultados comparativos apenas entre as fontes bola e pulo. Os resultados foram agrupados em 2 grupos, a fim de facilitar a visualização. Estão representados na Figura 9 os valores, referentes aos quatro primeiros sistemas ensaiados (1 a 4), do nível máximo de pressão sonora L_{Smax} por bandas de oitavas de 31.5 Hz a 8000 Hz.

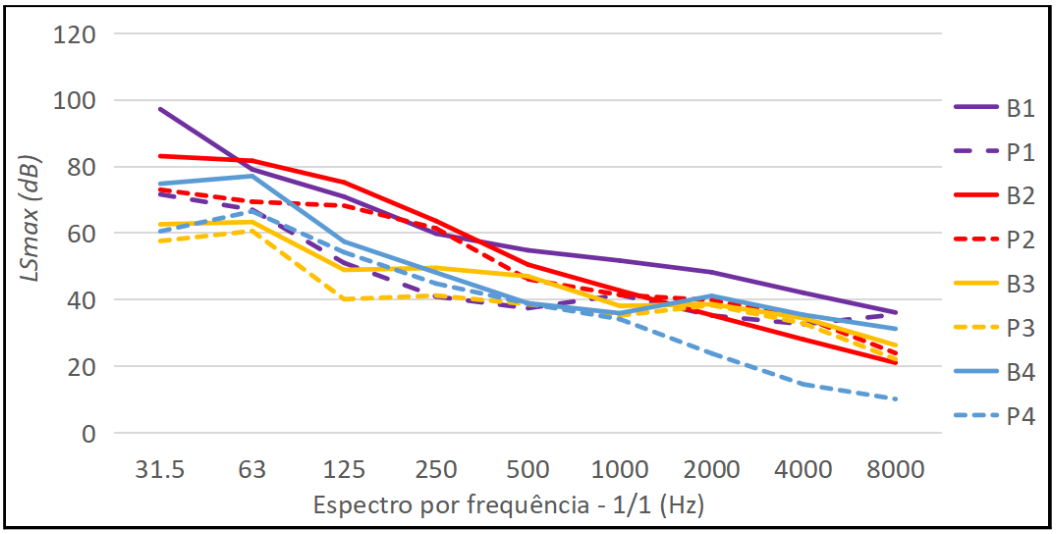


Figura 9: Resultado de L_{Smax} em bandas de oitavas dos ensaios B1 até P4 entre fonte bola e pulo.

Na banda de 31.5 Hz, observa-se que os resultados de L_{Smax} por fonte bola B1 e B2 são ligeiramente maiores que B3 e B4. Ao comparar B1 com B3, respectivamente piscina sem e com sistema de amortecimento, percebeu-se uma diferença expressiva de 34,6 dB, demonstrando um ótimo desempenho do sistema atenuante.

Em 63 Hz, as fontes B3 e B4 apresentaram comportamento típico de ressonância, isto também observa-se nas fontes P3 e P4, ou seja, tanto pela fonte bola quanto pela fonte pulo, ambos seguem a mesma tendência.

Ao comparar as curvas das duas fontes da mesma piscina, observa-se na piscina 1 o traçado mais distinto entre as curvas B1 e P1. Em seguida na piscina 4 a fonte bola e pulo tem um comportamento similar até 1000 Hz, a partir deste ponto as curvas conduzem a resultados bem distintos. Apesar das curvas B2 e P2 se cruzarem em aproximadamente 1000 Hz, ainda é possível observar a mesma tendência de comportamento em ambas. A piscina 3, de acordo com a Figura 10, evidencia uma tendência entre as curvas B3 e P3.

Na Figura 10, estão representados os valores referentes aos três últimos sistemas ensaiados (5 a 7), do nível máximo de pressão sonora L_{Smax} por bandas de oitavas de 31.5 Hz a 8000 Hz.

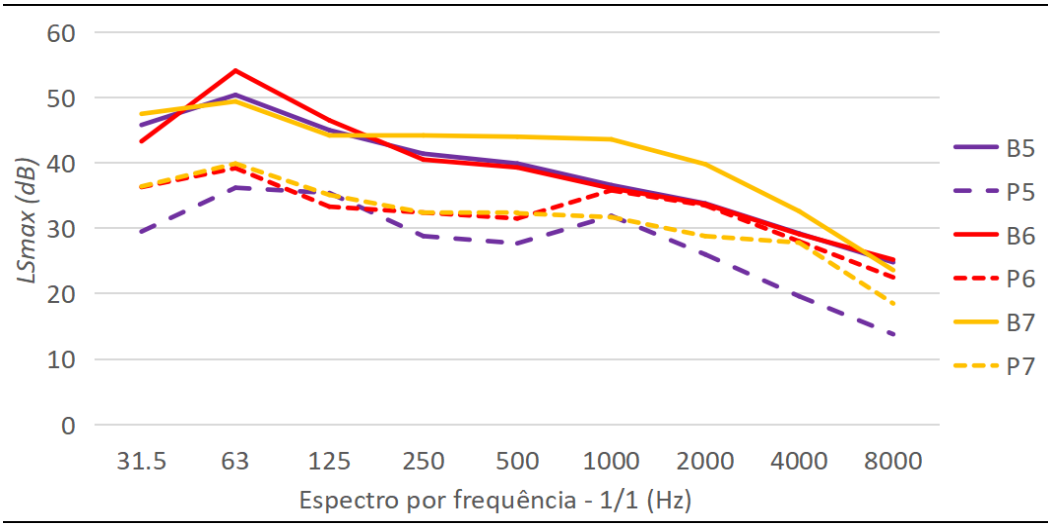


Figura 10: Resultado de L_{Smax} em bandas de oitavas dos ensaios B5 até P7 entre fonte bola e pulo.

Em 63 Hz, as fontes B5, B6 e B7 apresentaram comportamento típico de ressonância, similar ao ocorrido com B3 e B4. Este fenômeno presente nas piscinas 3 a 7, não ocorreu nas demais curvas, vale relembrar que todas possuem sistema de amortecimento.

Analisando as fontes pulo P5 e P6, destacam-se duas frequências críticas, sendo em 63 Hz e 1.000 Hz.

Aqui também observa-se uma tendência entre as curvas B5-B6-B7 e P5-P6-P7. Neste grupo, ao se comparar as duas fontes em cada amostra observamos que em 1000 Hz a curva B6 é descendente e a curva P6 é ascendente. A mesma observação pode ser traçada na comparação entres as curvas B5 e P5. As curvas B7 e P7 possuem um comportamento similar. Estes comportamentos corroboram para a análise de fonte *Slam Ball* 20 kg como direcionamento para padronização dos ensaios de piscinas.

Por fim, quanto aos materiais antivibração utilizados nas piscinas 3 a 9 deste estudo, observou-se ressonância nas bandas centrais de 31.5 Hz, 63 Hz e 125 Hz. Para novos projetos acústicos, especificações mais aprofundadas podem ser consideradas para que os resultados práticos contenham menor interferência destes efeitos indesejados nas baixas frequências, e por consequência, níveis sonoros que representam mais conforto aos usuários dos imóveis sujeitos a esta condição de piscina coletiva sobre unidade habitacional.

4.1 ANÁLISE COMPLEMENTAR - PISCINAS INFANTIS

Em dois empreendimentos que fizeram parte das amostras ensaiadas, haviam piscinas infantis, anexas às piscinas adultos. De caráter complementar, foram realizados ensaios nestas piscinas menores em profundidade, para avaliar o comportamento das mesmas fontes sonoras aplicadas na metodologia das piscinas adultos.

Os sistemas construtivos das piscinas ensaiadas contendo as informações técnicas, são descritos a seguir, desde a superfície de contato com a água até o teto do ambiente receptor:

- Piscina 8: revestimento cerâmico, laje maciça em concreto armado de 17 cm, pilaretes de concreto desconectados com *PAD* resiliente de poliuretano microcelular de célula mista de 25 mm, laje maciça em concreto armado de 20 cm, altura da linha d'água de 0,30 m e profundidade da caixa da piscina de 0,45 m;

- Piscina 9: revestimento cerâmico, contrapiso argamassado de 6 cm, na parte inferior dupla camada de manta ondulada pré-fabricada de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano com 17 mm (densidade 750 kg/m³), nas laterais manta pré-fabricada de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano 10 mm (densidade 750 kg/m³) recoberta com argamassado de 6 cm, laje nervurada com preenchimento em EPS (capa de 5 cm e nervura de 20 cm), altura da linha d'água de 0,35 m e profundidade da caixa da piscina de 0,40 m.

Observação: as piscinas 8 e 9 são anexas respectivamente as piscinas 3 e 4.

No Quadro 2 são apresentados os sistemas de piscinas ensaiadas 8 e 9 por tipo de fonte sonora e com as respectivas características dos ambientes receptores.

Quadro 2: Piscinas infantis (8 e 9) ensaiadas por tipo de fonte sonora.

Piscina	Ensaio	Ambiente receptor			
		Fonte sonora	Tipo	Volume (m³)	Área de interseção (m²)
8	B8	Bola	Dormitório (não mobiliado)	43,53	12,19
	P8	Pulo			
	N8	Nado			
9	B9	Bola	Dormitório (mobiliado)	51,63	3,96
	P9	Pulo			
	N9	Nado			

Na Figura 11, apresenta-se os resultados obtidos de níveis sonoros globais máximos L_{ASmax} referentes aos sistemas ensaiados de

piscinas 8 e 9, englobando todas as fontes sonoras, sendo: bola, pulo e nado.

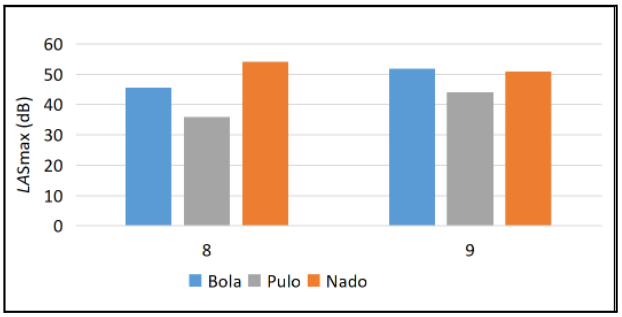


Figura 11: Resultado de L_{ASmax} entre todas as fontes sonoras para as piscinas infantis 8 e 9.

Observa-se, na Figura 11, que a fonte nado ensaiado na piscina 8 atingiu nível máximo global mais significativo que a fonte bola e na piscina 9, praticamente níveis similares.

Este comportamento difere da tendência observada na Figura 9 (piscinas 3 e 4), onde a fonte mais significativa foi a fonte bola e a menos significativa, a fonte nado.

Nas piscinas infantis, não foi possível reproduzir o nado estilo *crawl* que foi aplicado nas piscinas 3 e 4, devido ao aspecto de baixa profundidade. O nadador apenas realizou batidas de perna de forma contínua, com o seu corpo na posição horizontal.

De acordo com a relevância demonstrada pela fonte nado nas piscinas infantis, optou-se por incluir neste estudo, o comportamento dos níveis sonoros por frequência.

Estão representados na Figura 12 os valores, referentes aos sistemas ensaiados 8 e 9 das piscinas infantis, do nível máximo de pressão sonora L_{Smax} por bandas de oitavas de 31.5 Hz a 8000 Hz.

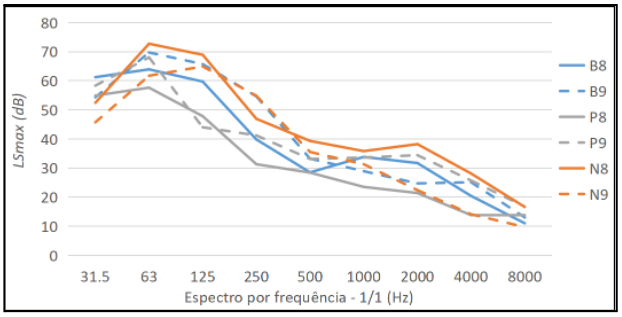


Figura 12: Resultado de L_{Smax} em bandas de oitavas dos ensaios englobando todas as fontes sonoras.

Observa-se em 63 Hz e 125 Hz, que as fontes nado N8 e N9 apresentaram comportamento típico de ressonância, inclusive mais acentuado que a fonte bola B8.

Este fenômeno torna-se um fator importante a ser considerado nos projetos e cálculos de amortecimento de vibração para piscinas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos edifícios de habitação multifamiliar, está crescente a tendência de alocação de piscinas nas coberturas, muitas vezes sobre unidades habitacionais. No entanto, os moradores destas residências têm reclamado dos ruídos provenientes das piscinas.

Este estudo avaliou 06 piscinas coletivas, das quais 03 foram motivo de reclamação dos proprietários junto ao incorporador da edificação. O desafio atual está em desenvolver um método de como avaliar os níveis sonoros dos ruídos de impacto provocados pela utilização das piscinas, bem como como garantir a reprodutibilidade e confiabilidade da medição sendo que não há uma fonte padronizada.

Na temática ruído de impacto em pisos, atualmente existem duas fontes padronizadas por normas internacionais, sendo a máquina de impactos (martelos de metal) e a bola de borracha. Porém, por meio destas fontes não foi possível aproveitá-las para avaliação de ruído proveniente do uso de piscinas, uma delas só poderia ser utilizada com a piscina vazia e a outra, flutuaria na água por causa do ar no seu interior.

A metodologia deste estudo fundamentou-se na análise das fontes sonoras baseadas inicialmente em pessoas, por meio do nado estilo *crawl* e pulo em queda livre. Como o objetivo é buscar uma padronização, faz-se necessário que a nova fonte seja representativa em termos de energia sonora, reutilizável, de fácil aquisição e de preferência sem a necessidade de desenvolvimento específico.

Na busca por alternativas, adotou-se a *Slam Ball* com peso de 20 kg, os resultados obtidos demonstram potencial caminho para o

desenvolvimento de uma metodologia de ensaio que utilize a esfera padrão, aqui representada pela sugestão da *Slam Ball* 20 kg, por sua resposta ter se aproximado em termos práticos da fonte "pessoa" principalmente quando comparado ao pulo em queda livre de uma pessoa. No entanto, é necessário ampliar a amostragem para o desenvolvimento do método, bem como incentivar o desenvolvimento de uma estrutura auxiliar de soltura da bola, para padronização do novo método.

As avaliações realizadas e comparadas segundo a ABNT NBR 10152:2017 [2], de acordo com a potencial nova fonte *Slam Ball* 20 kg, demonstram que o descritor mais adequado para se adotar na nova metodologia, seria o L_{ASmax} nível máximo de pressão sonora ponderado em A e ponderado em S, mas demonstra-se necessário o aprofundamento do estudo para verificar correção em relação ao tempo de reverberação se apresenta como um caminho melhor.

Quanto aos valores de referência do texto normativo vigente, salienta-se que os mesmos não devem ser valores aplicados aos resultados dos ensaios com bola, uma vez que se observa níveis sonoros mais elevados que a fonte “pessoa”. Talvez seja necessário adequação destes valores, para futuro uso de fonte padronizada *Slam Ball* 20 kg, caso esta venha a ser adotada.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais: Conjunto de normas dividido em 6 partes. Rio de Janeiro (2021).

[2] ____. NBR 10152: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos e edificações. Rio de Janeiro: ABNT (2017).

[3] FERREIRA, João; FERRARA, Luciana. A Formulação de uma Nova Matriz Urbana no Brasil, Baseada na Justiça Socioambiental. In: Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes. Volume 3: Habitação Social e Sustentabilidade Urbana. MMA: Brasília, 2015.

[4] SOMEKH, N. A cidade vertical e o urbanismo modernizador. São Paulo: Studio Nobel, FAPESP, 1997.

[5] SOUZA, Maria A. A. A Identidade da Metrópole. São Paulo: EDUSP, 1994

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO NBR 16032: Acústica — Medição de nível de pressão sonora de equipamentos prediais de edificações - Método de engenharia. Rio de Janeiro (2020).

[7] BISTAFA, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle de ruído. 1a ed. São Paulo: Blucher, 2006. ISBN 978-8521203766.

[8] CORNACCHIA, Gianni M. M. Investigação ln-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais. Dissertação de pós-graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009. Disponível em https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92430/268349.pdf

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro (2021).

[10] ____. NBR ISO 13283-2: 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).

[11] https://www.ziva.com/homeline