

TECNOLOGIA, AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

Coletânea de Artigos

Organizadores:

João da Costa Pantoja
Márcio Augusto Roma Buzar
Naiara Guimarães de Oliveira Porto



Universidade de Brasília

	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Reitora: Márcia Abrahão Moura Vice-Reitor: Henrique Huelva Decana de Pesquisa e Inovação: Maria Emília Machado Telles Walter Decanato de Pós Graduação: Lucio Remuzat Rennó Junior	
Diretor da FAU Marcos Thadeu Queiroz Magalhães Vice Diretoria da FAU Cláudia da Conceição Garcia Coordenadora de Pós-Graduação: Luciana Saboia Fonseca Cruz Coordenadora do LaSUS: Marta Adriana Bustos Romero Coordenador do LaBRAC: João da Costa Pantoja	FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - UnB
Coordenação de Produção Editorial, Preparação, Revisão e Diagramação: João Vitor Lopes Lima Farias Capa: Ana Luiza Alves de Oliveira Stefano Galimi	
Conselho Editorial Humberto Salazar Amorin Varum Osvaldo Luiz de Carvalho Souza Yara Regina Oliveira Paulo de Souza Tavares Miranda	
Organização: João da Costa Pantoja Marcio Augusto Roma Buzar Naiara Guimarães de Oliveira Porto	

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Tecnologia, ambiente e sustentabilidade [livro eletrônico] : coletânea de artigos / organização João da Costa Pantoja , Marcio Augusto Roma Buzar , Naiara Guimarães de Oliveira Porto. -- 1. ed. -- Brasília, DF : LaSUS FAU : Editora da Universidade de Brasília-UnB, 2021.
ePDF

ISBN 978-65-992384-4-4

1. Artigos - Coletâneas 2. Meio ambiente 3. Sustentabilidade ambiental 4. Tecnologia I. Pantoja, João da Costa. II. Buzar, Marcio Augusto Roma. III. Porto, Naiara Guimarães de Oliveira.

21-63042
CDD-660.02

Índices para catálogo sistemático:

1. Tecnologia 660.02 Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

1ª Edição

FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / LaSUS – Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo.
Caixa Postal 04431, CEP 70842-970 – Brasília-DF. Telefones: 55 61 3107-7458. Email: lasus@unb.br / www.lasus.unb.br

ORGANIZADORES E AUTORES

João da Costa Pantoja | Organizador e Autor | Brasil

Márcio Augusto Roma Buzar | Organizador e Autor | Brasil

Naiara Guimarães de Oliveira Porto | Organizador e Autor | Brasil

Alexandre M C Dutra | Autor | Brasil

Ana Luiza Alves de Oliveira | Autor | Brasil

Clarice C. D. da Silva | Autor | Brasil

Daniel Richard Sant'Ana | Autor | Brasil

Eduardo Bicudo de Castro Azambuja | Autor | Brasil

Francisco Afonso de Castro Júnior | Autor | Brasil

Hillary Damaceno de Brito | Autor | Brasil

Hugo Rodrigues Pinheiro | Autor | Portugal

Iberê Pinheiro de Oliveira | Autor | Brasil

Igor Rafael Mendes Guimarães Alcantara | Autor | Brasil

Joára Cronemberg Ribeiro Silva | Autor | Brasil

Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa | Autor | Brasil

Louise Boeger Viana dos Santos | Autor | Brasil

Luiza Teixeira Naili | Autor | Brasil

Mafalda Fabiene Ferreira Pantoja | Autor | Brasil

Marcelo Aquino Corte Real da Silva | Autor | Brasil

Márcio Busón | Autor | Brasil

Pedro Pantoja Luz | Autor | Brasil

Philipe Queiroz Rodrigues | Autor | Brasil

Rudi Sato Simões | Autor | Brasil

Thaís Aurora Vilela Sancho | Autor | Brasil

Stefano Galimi | Autor | Brasil

Valmor Cerqueira Pazos | Autor | Brasil

Victor Villar de Queiroz Milani | Autor | Brasil

Vitor Ramos de Quadros | Autor | Brasil

Wender Camico Costa | Autor | Brasil

ÍNDICE

Tema 1 - Estruturas e Arquitetura

I - Manutenção de helipontos elevados - Plataformas de distribuição de cargas em estruturas de concreto/aço instaladas em edifícios já construídos	07
II - A ponte de ferro de Cachoeiro do Itapemirim.....	28
III - Caracterização dos blocos de apartamento da Colina Velha na Universidade de Brasília: História, arquitetura, pré-moldado, sistemas estruturais e patologias	47
IV - Arquitetura de madeira roliça brasiliense: Um estudo de caso, Maloca e academia Unique	83
V - Aplicação do método de bielas e tirantes em vigas de equilíbrio na ferramenta Cast	97

Tema 2 - Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente construído

VI - Edificações de porte monumental de arquitetura modernista: Uma contribuição para a avaliação Acústica	119
VII - Técnicas de auditoria do consumo de água: Relatos de experiência em campo	142
VIII - Elaboração de algoritmo de uso e ocupação do solo para terrenos do Distrito Federal - Brasill	157
IX - Aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas: O caso da procuradoria geral da república	180
X - Análise de uma cobertura paramétrica de bambu composta por paraboloides hiperbólicos	194
XI - Análise da ventilação natural e de qualidade do ar interno: Hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte	206

Tema 3 - Tecnologia de Produção do Ambiente Construído

XII - Trincas em sistemas de vedação decorrentes da resistência do concreto	229
XIII - Avaliação probabilística do nível de segurança e durabilidade de estruturas existentes em concreto armado	241
XIV - A conservação do patrimônio moderno através das práticas de retrofit na infraestrutura urbana de Brasília.....	261
XV - A influência da fabricação digital junto ao design aberto nas novas gerações de produtos	283
XVI - Degradação e processo de recuperação de obra de infraestrutura: Viaduto Galeria dos Estados.....	302

TEMA 2: SUSTENTABILIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Controle e avaliação ambiental integrada e tecnologias eficientes para projeto, construção, operação e reabilitação de edificações e áreas urbanas, revitalização da paisagem. Planejamento estratégico e gestão ambiental urbana e infraestrutura. Condições bioclimáticas e tradições culturais. Qualidade de vida urbana, desempenho ambiental e eficiência: energia, água, materiais e resíduos.

Artigos:

- VI. *Edificações De Porte Monumental De Arquitetura Modernista: Uma Contribuição Para A Avaliação Acústica*
Oliveira, A.; Pantoja, J.; Silva, C.; Buzar, M.
- VII. *Técnicas De Auditoria Do Consumo De Água: Relatos De Experiência Em Campo*
Alcantara, I.; Pazos, V.; Boeger, L.; Sant'Ana, D.
- VIII. *Elaboração De Algoritmo De Uso E Ocupação Do Solo Para Terrenos Do Distrito Federal - Brasil*
Simões, R.; Pantoja, J.
- IX. *Aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas: o caso da procuradoria geral da república*
Galimi, S.; Pantoja, J.
- X. *Análise De Uma Cobertura Paramétrica De Bambu Composta Por Paraboloides Hiperbólicos*
Quadros, V.; Pantoja, J.
- XI. *Análise Da Ventilação Natural E Da Qualidade Do Ar Interno: Hospitais Sarah Brasília E Sarah Lago Norte*
Sancho, T.; Pantoja, J.; Silva, J.

VI

**EDIFICAÇÕES DE PORTE MONUMENTAL DE ARQUITETURA
MODERNISTA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A AVALIAÇÃO ACÚSTICA**

**MONUMENTAL BUILDINGS OF MODERNIST ARCHITECTURE:
A CONTRIBUTION FOR ACOUSTIC EVALUATION**

Ana Luiza Alves de Oliveira

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

analuiza.aoliveira@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1976-2497

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

engclaricedaga@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0514-4818

Clarice C. D. da Silva

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

joaocpantoja@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0763-0107

Márcio Augusto R. Buzar

Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU
Brasília – DF, Brasil.

marcio.buzar@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1164-2784

Resumo: Seja em casa, no lazer ou no trabalho o conforto ambiental é essencial para melhor desfrute da atividade em questão. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo verificar as condições de conforto acústico em edificações de porte monumental de arquitetura modernista, locais com grande tráfego de pessoas, analisando se elas atendem aos requisitos mínimos exigidos pela norma de desempenho e outras normas pertinentes e se as premissas de projeto foram cumpridas. Como estudo de caso, avaliou-se o Restaurante Universitário (RU) e a Biblioteca Central (BCE) da Universidade de Brasília. Para isso, foi feita uma entrevista com o projetista dessas construções, o arquiteto Dr. José Galbinski, na qual foram identificadas as premissas de projeto. Através da aplicação de questionários as percepções dos usuários foram detectadas. E, por fim, medições in loco avaliaram o nível de isolamento sonoro dos ambientes. Com o estudo, concluiu-se que, na biblioteca central, quanto ao isolamento sonoro de impacto, seu desempenho foi superior ao exigido pela ABNT NBR 15.575 e que as premissas de projeto foram atendidas. Já no RU essas premissas não foram alcançadas, já que o nível de ruído medido no local era maior que o recomendado pelas normas brasileiras e os seus usuários consideraram o local barulhento.

Palavras-Chave: Conforto acústico; Monumentos; Arquitetura modernista; José Galbinski; Desempenho.

Abstract: Studies show that for good quality and productivity at work, the environmental comfort is essential. Therefore, the objective of this paper is to verify the acoustic conditions in monumental buildings of modernist architecture, analyzing whether they achieved the requirements demanded by the Brazilian performance code (ABNT NBR 15.575) and other pertinent codes, and if the project assumptions were reached. As case study, the University Restaurant (RU) and the Central Library (BCE) of University of Brasília were evaluated. Therefore, the project premises were identified through an interview with the designer architect, Dr. José Galbinski. Through the application of questionnaires, the perceptions of the users were detected. Finally, on-site measurements were performed. The study concluded that in BCE, regarding impact sound insulation, its performance was superior than the required by ABNT NBR 15.575 and that the design premises in relation to acoustic comfort were achieved. In the university restaurant, these premises were not reached, since the noise level measured in the place was higher than the one recommended by the Brazilian codes and its users considered the place noisy.

Keywords: Acoustic comfort; Monuments; Modernist architecture; José Galbinski; Performance.

1. INTRODUÇÃO

Em edificações de Porte Monumental, que possuem características bastante diferentes das residenciais, há um grande número de pessoas que transitam por elas diariamente, seja como usuário ou como trabalhador. Essas são obras que são construídas para serem utilizadas por longos períodos, como por séculos e até mesmo por milênios. Com o passar do tempo as premissas de projeto referentes a esse tema, pensadas pelo arquiteto projetista, podem ficar defasadas pois o clima e as características do local e de uso estão em constante mudança.

Sendo assim, há a necessidade de estudar o conforto ambiental de tempos em tempos dessas edificações para verificar se é necessário reformas ou atualizações dos projetos originais, a fim de garantir o bem-estar do usuário. No que diz respeito ao ambiente universitário, essa necessidade é ainda mais evidente, uma vez que os alunos, professores e servidores precisam de um ambiente confortável para que os alunos aprendam melhor e para que os professores e servidores trabalhem com maior eficiência.

A palavra acústica vem do grego *akoustikos* e significa a ciência do som. O conforto acústico é componente essencial para que um local apresente conforto ambiental. A sua ausência em edificações residenciais e comerciais é prejudicial aos seus usuários, podendo trazer consequências negativas à saúde, vida social

e profissional. Apesar de indispensável para o bem-estar, muitas vezes esse item é negligenciado pelas construtoras, vindo a ser tratado pelo próprio comprador somente após a entrega do empreendimento. Reparar essa ausência de tratamento acústico após a finalização da obra é muito mais oneroso e trabalhoso, sendo que o apropriado é esse item ser planejado ainda na fase de projeto. Com o advento da NBR 15.575 - Norma Desempenho (ABNT, 2013), que estabelece parâmetros de desempenho para edificações residenciais em vários quesitos, incluindo o quesito acústico, esse comportamento das construtoras tende a mudar. A necessidade de haver um bom isolamento acústico entre unidades residenciais individuais e entre unidades individuais e áreas comuns se tornou mandatória.

Por se tratar de uma percepção humana, o conforto acústico pode ser encarado como um conceito subjetivo, pois o que é considerado ruído para um pode ser som para outros e vice-versa. Entretanto cada vez mais essa subjetividade tem sido trazida para parâmetros de caráter objetivo e mensurável e, com o auxílio de normas, ensaios in loco e simulações computacionais pode-se realizar essas medições. Ciente disso, o presente artigo possui o objetivo principal de verificar as condições de conforto acústico de edificações de porte monumental, com estudo de caso na Biblioteca Central (BCE) e Restaurante Universitário (RU) da Universidade de Brasília (UnB) – locais com grande fluxo de pessoas, analisando se elas atendem aos requisitos mínimos exigidos pela NBR 15.575: Norma de Desempenho (ABNT, 2013), pela NBR 10.151: Acústica – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento (ABNT, 2000) e pela NBR 10.152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico (ABNT, 1987).

Ademais, verificou-se se o conforto acústico atende às premissas de projeto, premissas essas angariadas em uma entrevista com o arquiteto projetista das edificações, Dr. José Galbinski, e coletou-se a perspectiva de conforto do usuário através de questionários. Dessa maneira, um primeiro passo é dado para a criação de normas regulamentadoras de desempenho mínimo quanto ao conforto ambiental para edificações com arquiteturas e técnicas construtivas tão diferentes das residenciais.

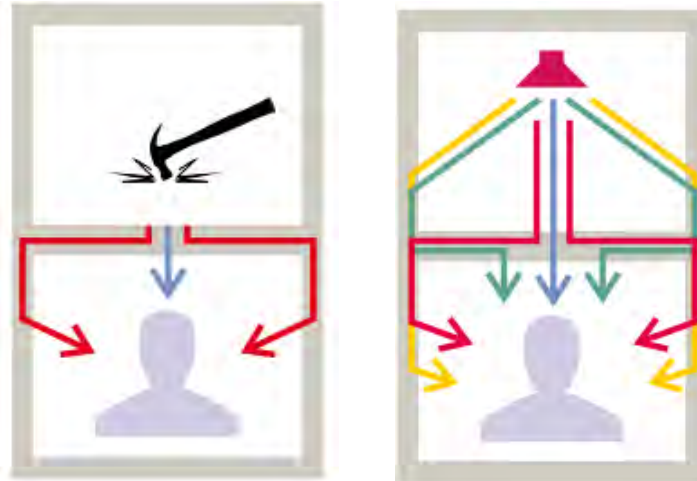
2. CONFORTO ACÚSTICO

Por se tratar de uma percepção humana, o conforto acústico pode ser encarado como um conceito subjetivo, pois o que é satisfatório para um não necessariamente é para os outros. Porém, cada vez mais essa subjetividade tem sido trazida para parâmetros de caráter objetivo e mensurável, assim como é feito pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) e pela NBR 15.152 (ABNT, 1987). Sendo assim, alguns conceitos relevantes serão apresentados a seguir neste item.

2.1. Som e Ruído

No que diz respeito ao conforto acústico, vale destacar a diferença entre som e ruído. De acordo com Greven (2006), “som é a sensação auditiva ocasionada pela vibração de partículas de ar transmitida ao aparelho auditivo humano. É uma transmissão aérea”. A música, por exemplo, é uma sequência de sons agradáveis. Já o ruído, segundo Fregonesi e Lopes (2006), “é um tipo de energia proveniente de processos ou atividades e que se propaga no ambiente em forma de ondas, desde o ponto produtor até o receptor a uma determinada velocidade, diminuindo sua intensidade com a distância e o meio físico”. O ruído, quando ocorre de maneira intensa e ininterrupta causa tensão, reduz a resistência física do homem e inibe a concentração mental. Essencialmente um é agradável aos ouvidos e o outro não.

Dois tipos de ruído podem ser transmitidos: o de impacto e o aéreo. O ruído de impacto se propaga pela estrutura da edificação e alcança a velocidade de 4.000 a 6.000 m/s. São exemplos desse tipo de ruído os passos dos vizinhos, máquinas de elevadores e centrais de ar condicionado. De modo geral, segundo Pierrard e Akkerman (2013), a transmissão do ruído de impacto entre dois andares sobrepostos ocorre através do próprio sistema de piso, que é uma via de transmissão direta, e através dos elementos laterais ou paredes, que são quatro vias de transmissão indiretas. Já o ruído aéreo é todo aquele que se propaga pelo ar e sua velocidade é de aproximadamente 340 m/s. Segundo os mesmos autores ele ocorre também através de uma via de transmissão direta, que é o próprio piso, porém são agora doze vias de transmissão indireta, que são os elementos laterais ou paredes. As músicas dos bares, barulho do trânsito e conversas são exemplos de ruídos aéreos. A Figura 1 mostra esquematicamente esses ruídos.

Figura 1: Forma de transmissão de ruído de impacto e aéreo, respectivamente.

Fonte: Pierrard e Akkerman (2013)

2.2. Nível de Pressão Sonora

Uma das maneiras de caracterizar o som, junto com frequência do som e o timbre. Também conhecido como nível sonoro, é através de equipamentos medidores específicos que é obtido e determina a intensidade sonora real comparando-a a um nível de referência. As normas brasileiras e internacionais o definem como nível de pressão acústica (L_p) e é expresso em dB (decibel).

O ouvido humano não responde igualmente a todas as frequências, ainda que elas estejam no mesmo nível de pressão sonora, sendo que a sua audibilidade depende da frequência do som. O ouvido responde melhor ao ruído de alta frequência (agudo) que ao ruído de baixa frequência (grave). Esse fato foi testado e provado experimentalmente e existem vários estudos sobre o assunto. Contudo um aparelho que mede a intensidade sonora não tem essa limitação. Posto isso, para que o aparelho leia os sons de modo similar ao ouvido humano, é necessária uma adaptação da leitura do equipamento eletrônico. Essa adaptação é feita com o auxílio de curvas de compensação traçadas experimentalmente. Essas curvas são chamadas de curvas de ponderação e foram designadas pelas letras A, B, C e D, que estão representadas na Figura 2 (CABRAL, 2012). Segundo especialistas, a curva A é a mais utilizada por ser a que mais se aproxima do ouvido humano e foi também a utilizada na presente pesquisa.

com ponderação rápida.

- **LAFmin:** mínimo nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação rápida.
- **LAS:** nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação lenta.
- **LASmax:** nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação lenta.
- **LASmin:** nível sonoro apurado na ponderação A, medido com ponderação lenta.
- **L'nTw:** nível de pressão sonora de impacto ponderado. É um número único que caracteriza o isolamento de som de impacto de pisos.

3. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Normas técnicas foram usadas como referências para o desenvolvimento e medições que constam no presente trabalho. São elas:

- ABNT NBR 10.151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade;
- ABNT NBR 10.152: Níveis de ruído para conforto acústico;
- ABNT NBR 15.575: Norma de Desempenho.

Detalhes dessas normas serão expostos a seguir.

3.1. NBR 10.151: Acústica – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento (ABNT, 2000)

Esta norma possui o objetivo de “fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações” (ABNT NBR 10.151, 2000). Ela determina o método a ser utilizado para a medição de ruídos e as correções necessárias sobre os níveis medidos utilizando um equipamento medidor de nível de pressão sonora.

No caso de medições no interior de edificações, elas devem ser efetuadas a 1 m de distância de qualquer superfície como paredes, teto, pisos e móveis. A norma ainda afirma que os níveis de pressão sonora devem ser o resultado da média aritmética dos valores auferidos em, no mínimo, três posições distintas afastadas entre si pelo menos 0,5 m e que as medições devem ser efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente.

3.2. NBR 10.152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico (ABNT, 1987)

Esta norma objetiva “fixar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos” (ABNT NBR 10.152, 1987). Ou seja, apresenta os valores parâmetro para a medição de ruído realizada conforme a NBR 10.151 (ABNT, 2000). A Tabela 1 apresenta os valores parâmetro de pressão sonora recomendados para escolas e restaurantes em dB, ou seja, o nível máximo de ruído admitido, que são os ambientes que interessa ao artigo. Vale ressaltar que, por não haver o item “restaurante universitário”, usou-se como referência a categoria “restaurantes”, que é o que mais se aproxima. Nota-se que o ruído máximo aceito pela norma em bibliotecas é de 45 dB e em restaurantes de 50 dB.

Tabela 1: Nível de ruído recomendado para ambiente.

LOCAIS	L_{ra} (dB)
Escolas	
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50
Circulação	45 - 55
Restaurantes	
Restaurantes	40 - 50

Notas: a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade
b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

Fonte: ABNT NBR 10.152 (1987)

3.3. NBR 15.575: Norma de Desempenho (ABNT, 2013)

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estipula critérios para os ruídos de impacto aplicado sobre lajes sejam atenuados e para que ocorra um bom isolamento ao som aéreo do piso, da fachada e da cobertura ao som aéreo. Leva ainda em consideração a necessidade de um bom isolamento acústico de paredes entre unidades individuais e de paredes divisórias entre áreas comuns e unidades individuais. Nessa edição da norma não foram determinados requisitos para o isolamento acústico entre cômodos de uma mesma unidade habitacional.

A presente norma não trata sobre máximos níveis de admitidos, assunto já tratado na ABNT NBR 10.151 e ABNT NBR 10.152. Contudo, ela trata sobre o nível de pressão sonora contínuo equivalente ($L_{Aeq,nT}$) e o nível de pressão sonora máximo ($L_{ASmáx.,nT}$) admitidos nos dormitórios das unidades habitacionais

com portas e janelas fechadas, para quando os equipamentos prediais estiverem em funcionamento. Os níveis de desempenho superior, intermediário e mínimo são apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Valores máximos de pressão sonora contínuo equivalente e máximo medidos em dormitórios.

Desempenho	$L_{Aeq,nT}$	$L_{ASmáx.,nT}$
Superior	≤ 30	≤ 36
Intermediário	≤ 34	≤ 39
Mínimo	≤ 37	≤ 42

Fonte: ABNT NBR 15.575-1

No que diz respeito ao ruído de impacto (L'_{nTw}), a Parte 3 da Norma de Desempenho – requisitos para os sistemas de piso - apresenta o desempenho mínimo, intermediário e superior desejado para essa avaliação.

Tabela 3: Critério e nível de pressão sonora de impacto ponderado, L'_{nTw} .

ELEMENTO	DESEMPENHO	L'_{nTw} (dB)
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.	Mínimo	66 a 80
	Intermediário	56 a 65
	Superior	≤ 55
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 e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	Mínimo	51 a 55
	Intermediário	46 a 50
	Superior	≤ 45

Fonte: ABNT NBR 15.575-3.

4. ESTUDOS DE CASO: BIBLIOTECA CENTRAL E RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNB

Para atingir os objetivos do trabalho, duas edificações de porte monumentais foram estudadas: a Biblioteca Central (BCE) e o Restaurante Universitário (RU) da Universidade de Brasília (UnB), ambas projetadas pelo Dr. José Galbinski, graduado em 1957 em arquitetura e urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e obteve o título de Ph.D. em 1978 pela Cornell University. Uma breve descrição dessas obras será feita nos tópicos que seguem.

4.1. Biblioteca Central da UnB

Inaugurada em 1973, o projeto da Biblioteca Central da UnB (Figura 3) foi

feito pelo arquiteto José Galbinski que a desenhou ocupando uma área total de 16.000 m² para 750 mil volumes. Era da vontade do projetista que essa edificação possuísse porte monumental devido à importância de uma biblioteca para a universidade. Vale ressaltar que, por monumental, ele não desejava que a edificação fosse grande, mas sim que fosse marcante e possuísse presença, de modo que fosse um prédio simbólico que representasse a cultura da universidade.

Figura 3: Biblioteca Central da Universidade de Brasília.



Fonte: Santos (2013)

4.2. Restaurante Universitário da UnB

O Restaurante Universitário teve seu projeto entregue em 1972 e sua inauguração em 1975. Esse foi o primeiro restaurante universitário construído com essa finalidade no Brasil e tornou-se referência para os demais que vieram a seguir. Atualmente, o restaurante serve seis mil refeições diárias. De acordo com Lima (2013), sua área construída é de 6.300 m² em 4 pavimentos que contemplam: 1 cozinha central, 6 refeitórios, 6 cozinhas-minuto, 1 restaurante executivo, 8 pontos de caixa, 1 guarda-volumes e sanitários.

Figura 4: Restaurante Universitário da UnB na década de 70.



Fonte: arquivo pessoal Prof. Dr. Galbinski.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Visando cumprir os objetivos já descritos para o presente artigo, a metodologia é composta por três itens: entrevista com o projetista, aplicação do questionário e medições in loco. Detalhes sobre os procedimentos e resultados serão expostos a seguir.

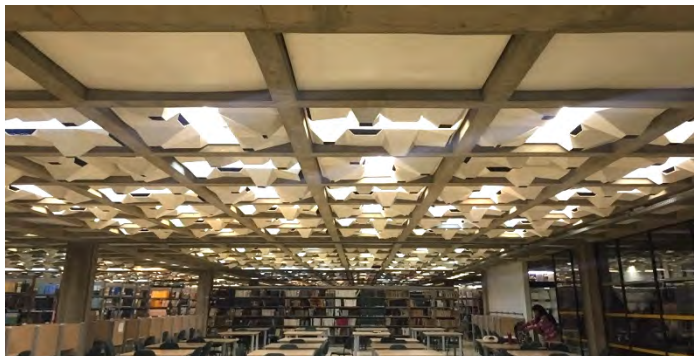
5.1. Entrevista com o Projetista: Obtenção das Premissas de Projeto

De acordo com o dicionário Michaelis, uma entrevista é uma “reunião entre duas ou mais pessoas, em local determinado, com objetivo de esclarecer assuntos pendentes, expor ideias ou obter opiniões dos presentes”. Foi através de uma entrevista em maio de 2016 com o Dr. Galbinski que as premissas de projeto no que tange ao conforto acústico das edificações de estudo de caso foram obtidas. Ressalta-se que, na época da construção, não era procedimento padrão a contratação de um especialista em acústica para garantir o seu conforto, ficando essa função por diversas vezes como responsabilidade do próprio arquiteto.

5.1.1. Biblioteca Central da UnB

Em uma biblioteca o conforto acústico é fundamental, uma vez que seus usuários buscam estudar, o que requer concentração e silêncio. Isto posto, para garanti-lo, como premissa de projeto Galbinski planejou uma série de pirâmides truncadas feitas com um material isolante acústico no forro da biblioteca, de modo que a reverberação de som fosse eliminada ou, no mínimo, diminuída. A Figura 5 mostra esse forro.

Figura 5: Pirâmides truncadas no forro da biblioteca.



Fonte: autora

5.1.2. Restaurante Universitário da UnB

Visando conforto acústico do restaurante universitário, o arquiteto

aproveitou-se da laje nervurada e empregou um material isolante acústico sob as nervuras da laje que absorvia o som, impedindo a reverberação. Entretanto, esse material não foi aplicado em todas as nervuras pois, nas nervuras em que as lâmpadas de iluminação foram instaladas, uma pintura epóxi branca foi aplicada para refletir a luz, ampliando o alcance do seu brilho em busca do conforto lumínico. Para essa pesquisa não foi possível descobrir qual o material de isolamento acústico aplicado tanto no RU quanto na BCE.

5.2. Avaliação da Percepção dos Usuários

Questionários foram aplicados aos usuários das edificações monumentais estudadas para que suas percepções fossem captadas. As perguntas e respostas encontram-se a seguir, com suas respectivas avaliações.

5.2.1. Biblioteca Central

Foram aplicados 51 questionários no total no dia 21/09/2016 (quarta-Feira), sendo 26 deles entre as 15h - 16h da tarde e 25 entre as 19h – 20h. Esses horários foram escolhidos por serem considerados os de pico do local, no período diurno e noturno, respectivamente. A média de idade dos usuários participantes foi de 25,14 anos. A Tabela 4 apresenta as perguntas e os resultados encontrados.

Tabela 4: Percepção do conforto acústico dos usuários da BCE

Pergunta	Resposta	Total (%)	Diurno (%)	Noturno (%)
1 - Existem sons que influenciam na sua concentração?	Sim	61	54	68
	Não	39	46	32
2 - Em caso afirmativo da questão anterior, esta influência é:	Positivo	4	0	22
	Negativa	35	23	31
	Nem positiva, nem negativa	22	48	12
3 - Os sons que você identificou na questão anterior são de:	Trânsito de veículos	2	0	4
	Atividades no exterior do ambiente	29	27	32
	Conversas no ambiente	35	38	32
	Ruído no ambiente	33	31	36
	Outro	6	4	8

Fonte: autora

Ao avaliar a Tabela 4 nota-se que, nos dois turnos, mais da metade dos usuários perceberam a existência de sons que influenciam na concentração. Enquanto no período diurno apenas 23% achou essa interferência negativa, a noite o valor sobe para 48%. Uma possível explicação é que, por ser mais

silencioso e calmo durante esse período, os barulhos considerados ruídos são mais notados.

Analisando o gráfico, percebe-se que conversas e ruídos no interior do ambiente foram os sons mais identificados, somando cerca de 65% dos usuários. Menos de 31% reconheceram sons do exterior do ambiente e trânsito de veículos. Dentro da resposta “outros”, os usuários responderam que ouviam sons dos trabalhos da organização, pássaros, ventos e também o barulho de salto alto. Sendo assim, pode-se concluir que o conforto acústico da biblioteca é bom, pois sons de fora do ambiente foram notados por menos 30% dos estudantes e servidores. Ademais, somente 35% notou ruídos no interior do ambiente sendo possível dizer que as premissas de projeto no que diz respeito ao conforto acústico do arquiteto foram alcançadas.

5.2.2. Restaurante Universitário

A seguir, na Tabela 5, serão expostos as perguntas, respostas e resultados encontrados no questionário aplicado no dia 13/09/2016, também uma quarta-feira, no Restaurante Universitário da UnB para que a avaliação da percepção do usuário seja feita. Foram aplicados 50 questionários no total, sendo 25 deles entre às 12:00 h – 12:30 h da tarde e 25 entre às 18:30h – 19:00h. Esses horários foram escolhidos por serem considerados os de pico do local, no período diurno e noturno, respectivamente. A média de idade dos 50 usuários participantes foi de 24,65 anos.

Tabela 5: Percepção do conforto acústico do usuário do RU

Pergunta	Resposta	Total (%)	Diurno (%)	Noturno (%)
1 - Existem sons que influenciam na altura da conversa?	Sim	94	96	92
	Não	6	4	8
2 - Em caso afirmativo da questão anterior, esta influência é:	Positivo	2	4	24
	Negativa	68	60	32
	Nem positiva, nem negativa	24	76	16
3 - Os sons que você identificou na questão anterior são de:	Trânsito de veículos	6	0	12
	Atividades no exterior do ambiente	14	8	20
	Conversas no ambiente	86	96	76
	Outro	16	8	24
4 - Você ouve e compreende bem a voz de com quem está conversando?	Sim	34	20	48
	Não	4	4	4
	Mais ou menos	60	72	48
	Não estou conversando	2	4	0

Fonte: autora

Nota-se através Tabela 5 que mais de 90% dos usuários notaram sons que influenciam na altura da conversa não importando o período analisado, sendo a maioria dessa influência negativa. Isso quer dizer que os usuários classificam esses sons como ruído. O ruído mais identificado foi conversas dos próprios usuários no ambiente, no qual durante período diurno mais de 95% dos usuários o detectaram. Dentre esses outros ruídos foram citados barulho de pratos, talheres, da cozinha e de manifestantes que havia próximos ao local. Sendo assim, pode-se entender que as premissas de conforto acústico não foram suficientes.

Segundo Ritter (2014), o grau de compreensibilidade pode ser definido como a porcentagem de sons que um ouvinte consegue entender no ambiente. Logo esse é um fator determinante no conforto acústico e, quanto a esse critério, o RU não cumpriu com o esperado.

5.3. Medições in loco

Por fim medições in loco seguindo códigos nacionais foram realizadas para averiguar o conforto acústico das edificações. Tais ensaios e resultados serão mostrados nesse tópico.

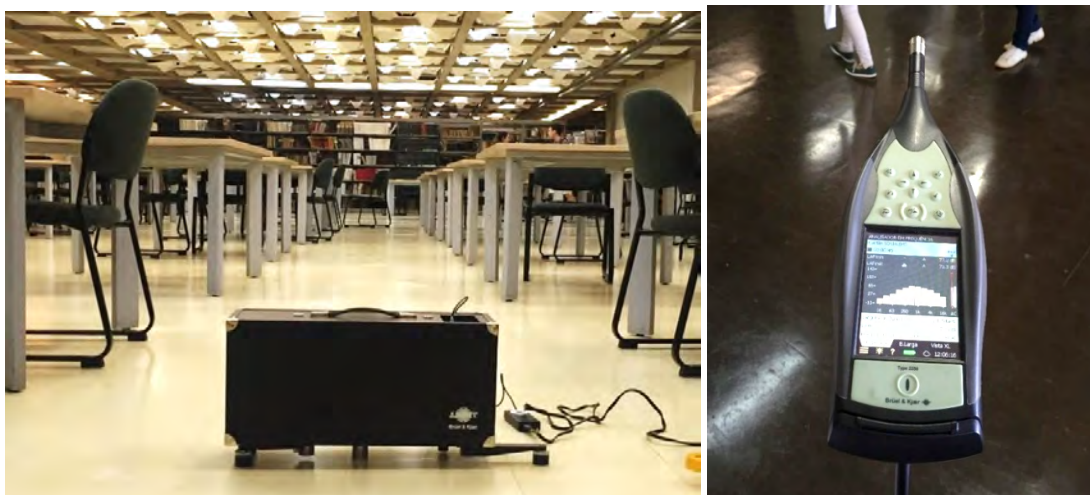
5.3.1. Biblioteca Central da UnB

Na Biblioteca Central da UnB foram realizados testes de acústica no dia 18/06/2016 entre as 18:30h e 20:30h. O ensaio foi realizado após o seu horário de funcionamento devido à necessidade de o local estar totalmente vazio para não haver incomodo aos seus usuários e para que eles não influenciassem no resultado. Para realizar o ensaio que verifica o nível de isolamento sonoro de impacto ($L'nTw$), foi utilizado o equipamento tapping machine da Bruel Kjaer que possui vários martelos que batucam no chão num determinado ritmo conforme está determinado pela ISO 140-7 (1998), Norma internacional que a NBR 15.575-3 (ABNT, 2013) determina que deve ser seguida. Para captar o som de impacto gerado pela tapping machine e medi-lo, utilizou-se Bruel Kjaer 2250. A Figura 6 apresenta tais equipamentos.

A tapping machine foi localizada no centro da laje do pavimento superior, representada pela laje 2 no corte esquemático (Figura 7), conforme mostra em sua planta baixa (Figura 8). O equipamento Bruel Kjaer 2250 foi localizado em

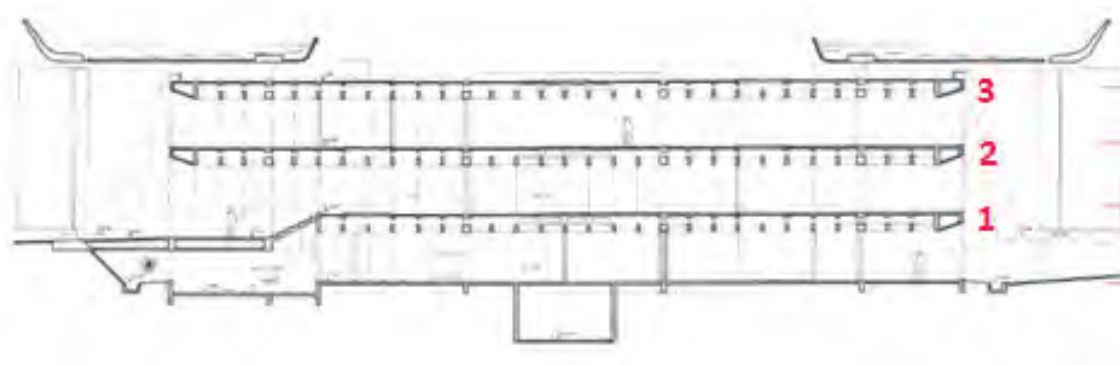
cinco pontos diferentes do pavimento térreo (Laje 1 na Figura 7), conforme mostra a Figura 9, para realizar a medição. Sendo assim, a laje da biblioteca central que foi efetivamente estudada em relação ao nível de isolamento ao ruído de impacto (L'_{ntw}) foi a laje 2.

Figura 6: Equipamentos tapping machine e Bruel Kjaer 2250, respectivamente.



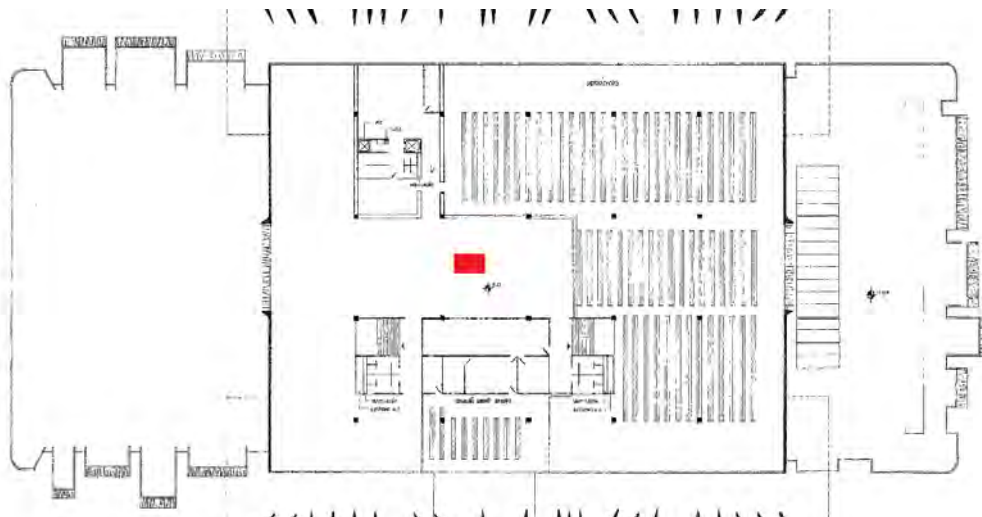
Fonte: autora

Figura 7: Corte da BCE com numeração das lajes.



Fonte: autora.

Figura 8: Localização da *tapping machine*.



Fonte: arquivo pessoal do Prof. Galbinski, modificado pela autora


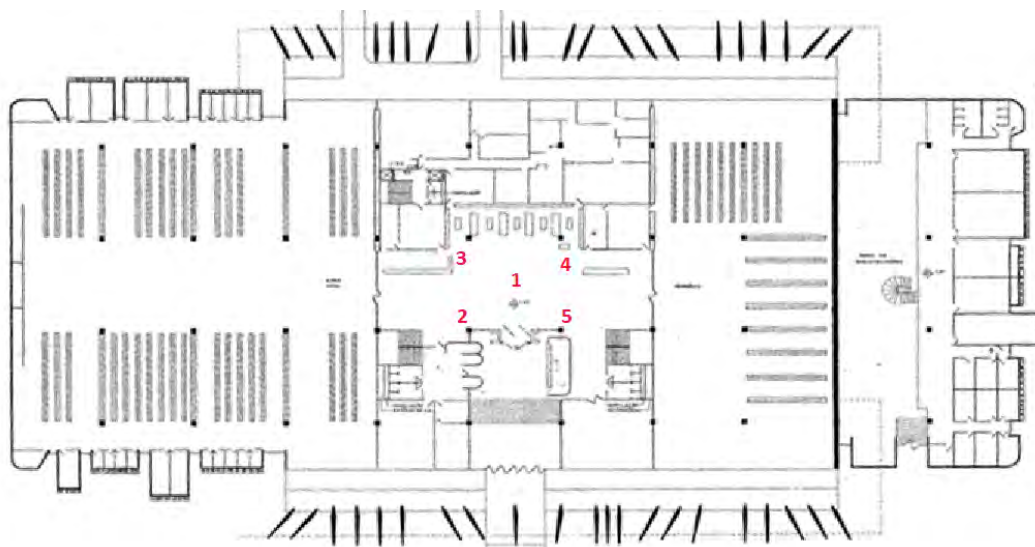
 **Legenda:** Localização do equipamento *tapping machine*

Figura 9: Localização do equipamento *Bruel Kjaer 2250* na laje 1.



Fonte: arquivo pessoal do Prof. Galbinski, modificado pela autora

A Figura 10 mostra um corte esquemático de como é feita essa medição e o posicionamento dos equipamentos.

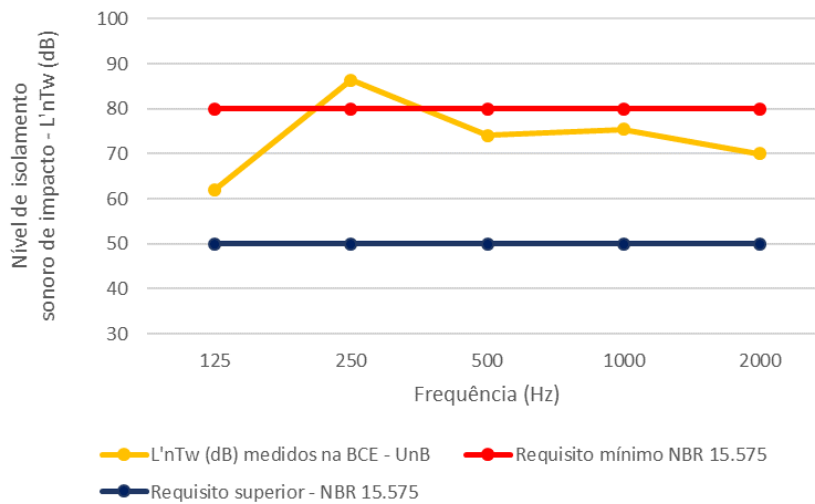
Figura 10: Mostra em corte o posicionamento dos equipamentos para medir o L'nTw.



Fonte: Akkerman (2016)

Vale ressaltar que na biblioteca optou-se por fazer apenas o teste para medir o nível de isolamento ao ruído de impacto pois, por ser um ambiente silencioso, as medições de ruído aéreo teriam resultados ínfimos. Os resultados referentes ao ensaio que verifica o nível de isolamento sonoro de impacto (L'nTw) do piso da biblioteca nas principais frequências (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz e 2.000 Hz) são os apresentados na Figura 11.

Figura 11: Nível de isolamento sonoro de impacto (L'nTw) da BCE – UnB.



Fonte: autora

De acordo com a parte 3 da NBR 15.575, o L'nTw deve ser menor que 80 dB para alcançar o desempenho mínimo no caso do sistema de piso separando unidades habitacionais individuais posicionadas em pavimentos distintos e menor que 50 dB para obter desempenho superior.

Sendo assim, o resultado médio encontrado foi de 73,62 dB, o que é menor que os 80 dB exigido. Apenas a medição que ocorreu na frequência de 250 Hz

ultrapassou o limite, o que fica claro na Figura 11, ou seja, 80% das medições foram de acordo com o mínimo indicado pela NBR 15.575, entretanto nenhuma atingiu o requisito superior de 50 dB. Fazendo um elo com o questionário aplicado, no que tange à parte acústica, cerca de 30% dos usuários perceberam sons negativos e, ainda assim, a maior parte desses sons foram selecionados como conversas e ruídos no ambiente, não havendo constatação de ruídos de impacto. Portanto, quanto a esse quesito, a premissa de projeto de Galbinski foi aprovada tanto pela NBR 15.575 quanto pelos seus usuários. Pode-se sugerir ainda que os requisitos mínimos para ruído de impacto da Norma de Desempenho poderiam ser aproveitados para edificações de porte monumental desse tipo.

5.3.2. Restaurante Universitário da UnB

No restaurante universitário da UnB, foi realizada a avaliação que mede o nível de pressão sonora equivalente (LAeq) do local quando ele está em uso. Foi escolhido esse ensaio pois, por ser um local frequentado por muitas pessoas em um ambiente em que o encontro e a conversa são propícios, determinar o nível de ruído é conveniente. O ensaio foi realizado no dia 16/06/2016 entre 12:00h e 12:40h, horário de pico do RU. Utilizando o equipamento medidor sonoro Bruel Kjaer 2250 (Figura 12) foi medido o nível do som em 21 pontos diferentes de todo o RU, apresentados na Figura 13, Figura 14 e

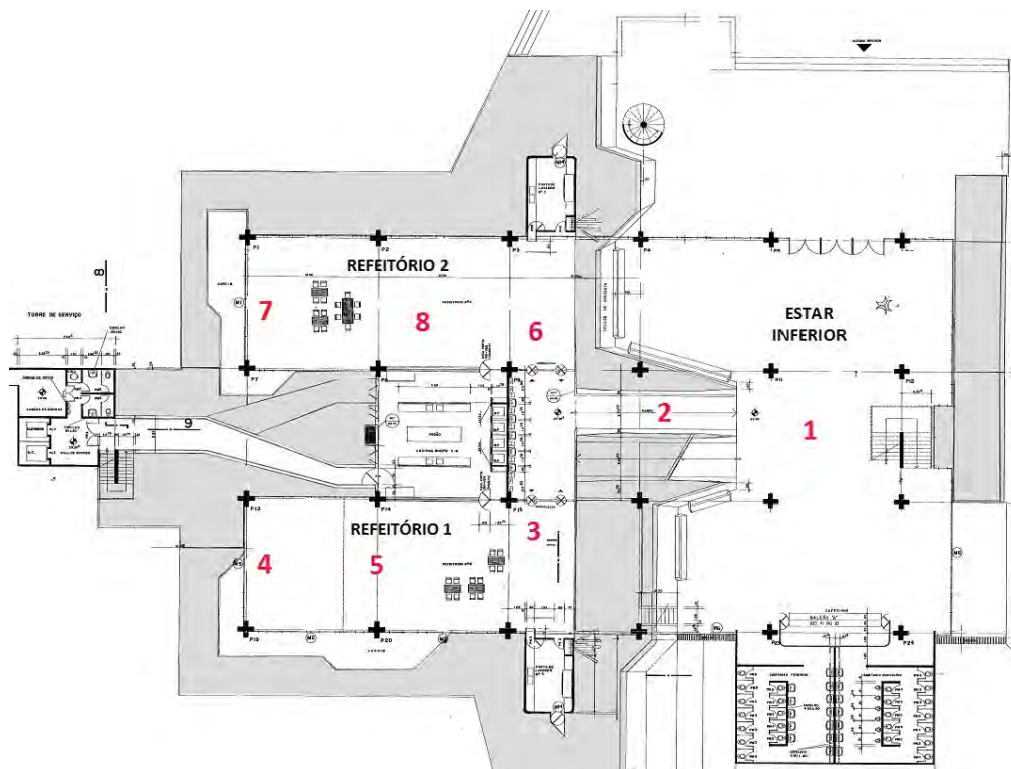
Figura 15. Para esse ensaio, foi seguida as recomendações da ABNT NBT 10.151.

Figura 12: Equipamento Bruel Kjaer 2250 utilizado na medição do RU.



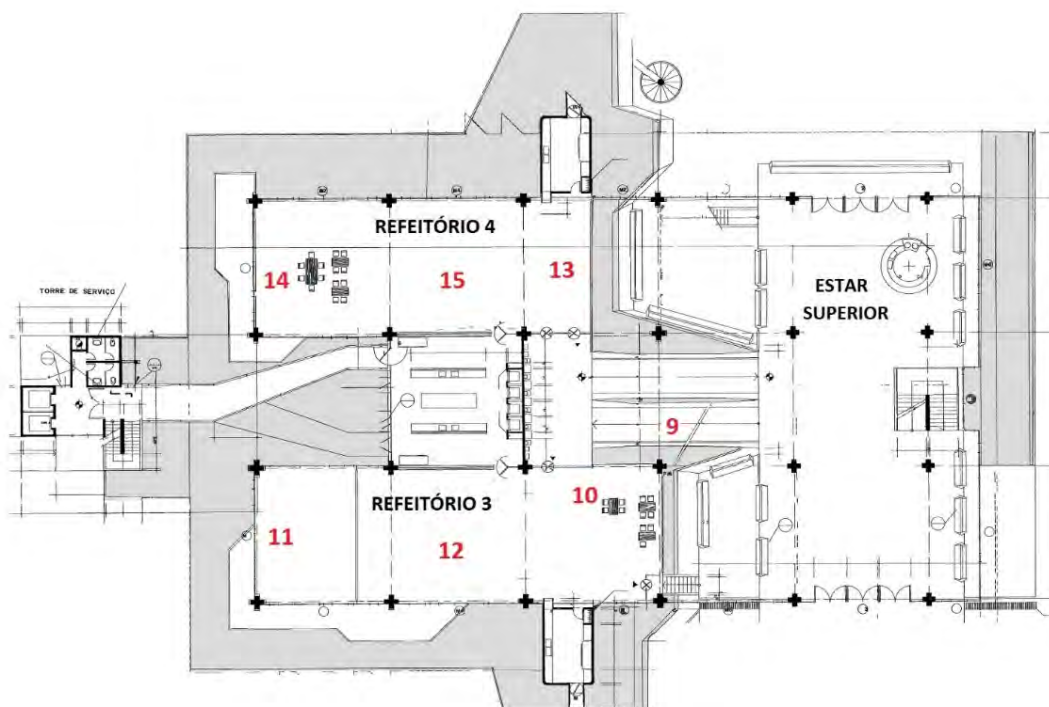
Fonte: autora

Figura 13: Locação dos pontos de medição refeitórios 1 e 2 (Pontos 1 a 8).



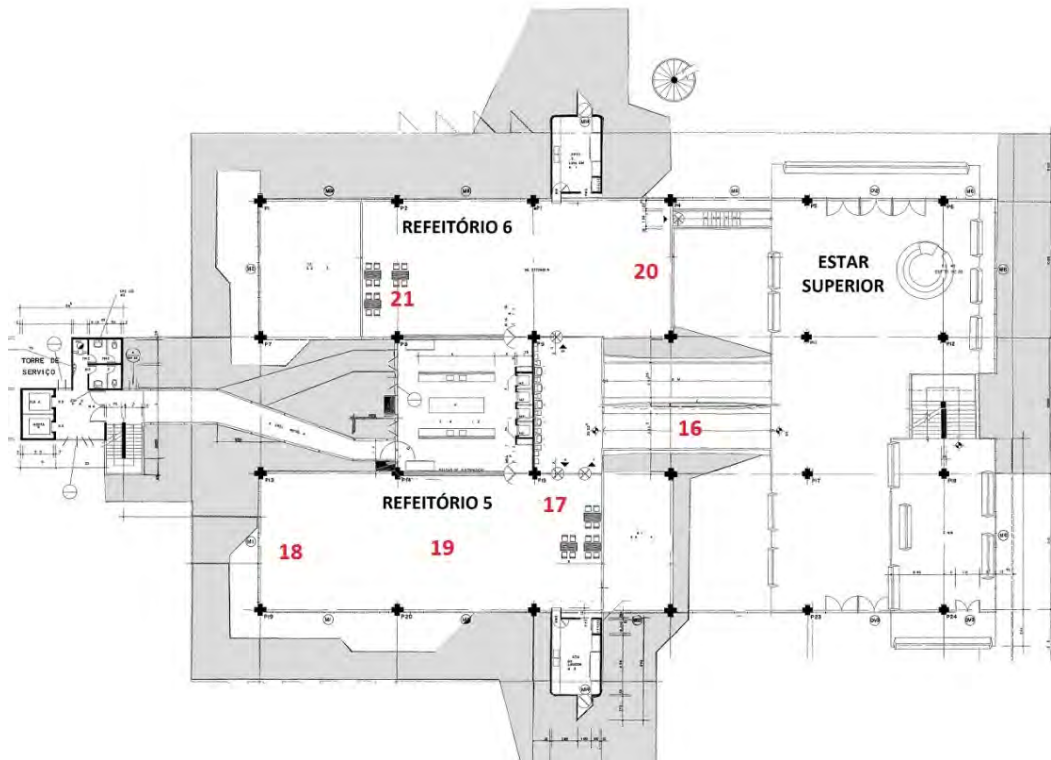
Fonte: arquivo pessoal Prof. Galbinski modificado pela autora

Figura 14: Locação dos pontos de medição refeitórios 3 e 4 (Pontos 9 a 15).



Fonte: arquivo pessoal Prof. Galbinski modificado pela autora

Figura 15: Localização dos pontos de medição refeitórios 4 e 5 (Pontos 16 a 21).



Fonte: arquivo pessoal Prof. Galbinski modificado pela autora

O próprio equipamento gerou para cada um dos 21 pontos um gráfico no qual na abcissa encontram as principais frequências dos sons em Hz e nas ordenadas o nível sonoro, em dB. Os LAFmax, LASmax, LASmin e LAFmin também são captados pelo equipamento durante a avaliação, sendo que o LAeq é o usado como referência. A Figura 16 ilustra o gráfico gerado na medição 1. No gráfico foram inseridos os valores máximos de nível de pressão sonora recomendados pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) de 37 dB e pela NBR 10.152 (ABNT, 1987) de 50 dB. A Tabela 6 apresenta o resultado médio obtido através das 21 leituras realizadas em todo o RU. Percebe-se que a média de LAeq é de 78,1 dB. A Norma de Desempenho analisa o conforto acústico entre unidades habitacionais. Como o RU não possui vias (paredes) separando o ambiente, ele seria considerado uma única unidade habitacional, o que dificulta a avaliação de acordo com Norma de Desempenho.

Figura 16: Gráfico medição LAeq sala de estar no Ponto 1.

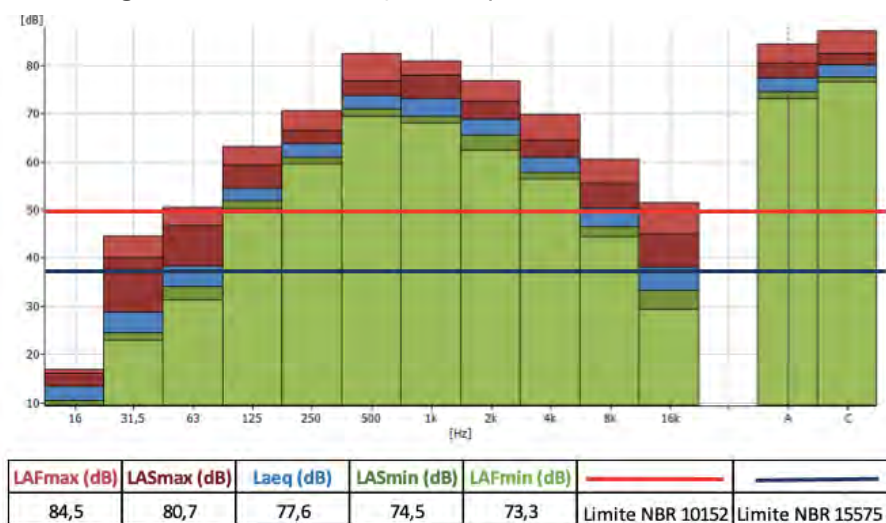


Tabela 6: Níveis de pressão sonora média encontradas no RU

DADO	MÉDIA
LAFmax (dB)	83,6
LASmax (dB)	80,7
Laeq (dB)	78,1
LASmin (dB)	75,7
LAFmin (dB)	73,6

Nota-se que todos os valores medidos se encontram acima do recomendado em ambas as normas.

6. CONCLUSÕES

No que tange à Biblioteca Central da UnB, pode-se chegar a algumas conclusões que serão expostas a seguir.

- A BCE apresentou um bom nível de isolamento sonoro de impacto, menor que os 80 dB, desempenho mínimo exigido pela NBR 15575. Quanto a esse critério, os níveis de desempenho exigidos pela Norma de Desempenho poderiam ser usados como referência nessa edificação de porte monumentais.
- Quanto ao ruído aéreo, suas conclusões foram retiradas a partir dos questionários, no qual apenas 35% dos usuários perceberam sons que influenciavam de maneira negativa.

- As premissas de projeto do arquiteto no tange ao conforto acústico foram alcançadas e seus usuários se sentiram confortáveis.

Já em relação ao RU, obteve-se as seguintes conclusões:

- Os usuários notaram sons que influenciavam na altura da conversa de maneira negativa, sendo o som mais detectado foi o de conversas no ambiente.

- Através das medições, verificou-se que o nível de pressão sonora equivalente médio no local é de 78,1 dB. O recomendado pela NBR 10152 é o de 50 dB. Tal nível de ruído impediu a boa compreensão de conversas;

- O limite de ruído citado pela Norma de Desempenho para que o desempenho seja mínimo é o de 37 dB. Sendo assim, quanto a esse critério, essa norma não pode ser usada como referência, uma vez que é muito baixo.

Tendo esses tópicos em vista, conclui-se que o presente trabalho oferece uma contribuição inicial de modo que no futuro parâmetros de avaliação e os requisitos mínimos em edificações de porte monumental sejam conhecidos e aceitos pelos profissionais da área. Dessa maneira, esse estudo possibilita às futuras construções valiosas informações que podem contribuir para que adequadas condições de conforto acústico, lumínico e térmico sejam incorporadas aos projetos de conforto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02:135.01-004. **Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Norma prevista para substituir a ABNT NBR 10152. Rio de Janeiro. 1999.

_____. ABNT NBR 10151: **Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2000.

_____. ABNT NBR 10152: **Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro. 1987.

_____. ABNT NBR 15575: **Edificações Habitacionais – Desempenho**. 2013.

_____. ABNT NBR 15575-3: **Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso**. Rio de Janeiro. 2013.

CABRAL, C. M.; **Acústica Industrial: aplicação da análise de vibrações e ruído à identificação de fontes de ruído em ambiente industrial**.

Dissertação. Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra. 2012.

FREGONEZZI, Marcos A.; LOPES, José L. **O ruído como fator de interferência na comunicação: um estudo de caso em instituição de ensino.** Serviço Social de Aprendizagem Comercial (SENAC), Faculdade de Ciências Ambientais (FCA) – São Paulo. 2006.

GREVEN, H. A.; FAGUNDES, H. A. V.; EINSFELDT, A. A. **ABC do Conforto Acústico.** 2ª Edição. Rio Grande do Sul. 2006.

GRACEY & ASSOCIATES. **Acoustic Glossary.** United Kingdon. Disponível em <<http://www.acoustic-glossary.co.uk>>. Acesso em Novembro de 2016.

International Organization for Standardization. ISO 140-7: **Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.** Gebenra. 1998.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho.** RUSH Gráfica e Impressora Ltda. 1ª Edição. 2013.

RITTER, V. M.; **Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar, no período de inverno: o caso do câmpus Pelotas Visconde da Graça.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2014.

SANTOS, E. D. A. dos. **Duas bibliotecas de José Galbinski: "conexões brutalistas"?** In: Seminário Docomomo Brasil, X. Curitiba. 2013.

