

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Eficácia acústica de estratégias projetuais ao ar livre: um estudo de caso em *campus* universitário

Souza, T. B.^{1a}; Alberto, K. C.^{1b}; Barbosa, S.A.^{1c}; Borges, A.L.B.L^{1d}; Vieira, J.C.S.^{1e}; Valadares, V.M.²

^{1a}Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil; a. thaisab.souza@hotmail.com; b klaus.alberto@ufjf.edu.br; c. sabrina.barbosa@uerj.br; andre_luiz.barbosa@hotmail.com; e. juliocearsousavieira@gmail.com

² Laboratório de Conforto Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, vmare.bhz@gmail.com

Resumo

Na expansão do ensino superior brasileiro muitas das universidades criadas foram implantadas em perímetros urbanos, próximas ao burburinho citadino, propensas à uma atmosfera acústica mais crítica. Isto porque, à despeito de suas amplas áreas incrustadas nos tecidos urbanos, têm seu sistema viário integrado ao da cidade, exposta ao tráfego veicular generalizado, cujo ruído precariza o conforto, o desempenho e a saúde de suas comunidades acadêmicas. Este artigo revela resultados da investigação de duas estratégias projetuais de assentamentos edilícios no *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora verificando a eficiência dessas em assegurar índices de qualidade ambiental acústica preconizados. Tal investigação integrou duas análises. Uma comparando descritores acústicos entre si, oriundos de uma base diversificada de dados amostrados de níveis de pressão acústica. A outra comparando os descritores acústicos àqueles correlatos preconizados nas duas últimas edições da NBR 10.151, estendendo a análise à repercussão do novo conteúdo normativo. Foi constatado que as estratégias projetuais têm certo grau de eficiência, ainda que não assegurem, sozinhas, índices de qualidade ambiental acústica preconizados nas edições da NBR 10.151.

Palavras-chave: ruído, conforto acústico, estratégias projetuais, *campus* universitário.

PACS: 43.50.Rq.

Instructions and article template for FIA 2020/22 and XXIX Sobrac meeting

Abstract

In the expansion of Brazilian higher education, many of the universities created were located in urban areas, close to the city buzz, prone to a more critical acoustic atmosphere. This is because, despite their large areas embedded in urban tessiture, their road system is integrated with that of the city, exposed to generalized vehicular traffic, whose noise undermines the comfort, performance and health of their academic communities. This article reveals results of the investigation of two design strategies of building settlements on the campus of the Federal University of Juiz de Fora, verifying their efficiency in ensuring the recommended acoustic environmental quality indices. This investigation integrated two analyses. One comparing acoustic descriptors with each other, from a diversified database of sampled data on acoustic pressure levels. The other compares the acoustic descriptors to those recommended in the last two editions of NBR 10.151, extending the analysis to the repercussion of the new normative content. It was found that the design strategies have a certain degree of efficiency, even though they alone do not guarantee the acoustic environmental quality indices recommended in the editions of NBR 10.151.

Keywords: noise, acoustic comfort, design strategies, university campus.



1. INTRODUÇÃO

Atualmente, como em outros países, o Brasil apresenta uma expressiva diversidade de *campi* universitários. Similarmente à primeira expansão do ensino superior nos anos sessenta do século passado, a segunda expansão ocorrida no primeiro decênio do século atual contou com a criação de mais de 60 universidades. Em vários casos suas implantações ocorreram dentro de perímetros urbanos, tornando-as mais propensas a uma atmosfera acústica potencialmente mais crítica [1]. Isto porque, à despeito de suas amplas áreas educacionais inseridas nos tecidos urbanos, têm seu sistema viário integrado ao da cidade, passível de um fluxo de tráfego veicular rodoviário provindo de áreas tanto lindeiras como mais afastadas.

O ruído é integrante de um rol de estressores ambientais e o incômodo a ele associado é regido pela magnitude da exposição das pessoas à ele, ao senso de controle percebido pelas pessoas sobre ele, e a previsibilidade de sua ocorrência para elas [2]. Um estudo da OMS, em 2010, mostrou que o ruído de tráfego veicular rodoviário ficou em segundo lugar entre os mais estressantes em seis países europeus [3]. Esse tipo de ruído é preocupante pois atinge simultaneamente um significativo número de pessoas, tendo chegado a causar mais incômodo do que o barulho provocado por vizinhos e por ruído de tráfego veicular aeronáutico [4].

Diante disso, este trabalho desenvolveu uma investigação sobre duas estratégias projetuais no *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Com área de pouco mais de 100 hectares, o *campus* sede da UFJF é frequentado por uma população de mais de 20.000 usuários dentre alunos, professores e técnicos, inclusive praticantes de atividade física. Com o desenvolvimento da cidade e do bairro, o *campus* vem passando por uma expansão associada ao aumento da circulação de veículos e pedestres desde a sua construção nos anos 70. A motivação desta investigação consistiu em saber se as estratégias projetuais estão sendo, de fato, eficientes para assegurar uma atmosfera acústica adequada. Essa verificação de eficiência envolveu a integração de duas análises. A primeira delas comparou descritores

acústicos entre si, oriundos de uma base diversificada de dados amostrados de níveis de pressão acústica, relacionado às estratégias projetuais. A segunda, comparou os descritores acústicos àqueles correlatos preconizados nas duas últimas edições da NBR 10.151, estendendo a análise à repercussão do novo conteúdo normativo ao estudo de caso.

A relevância desta investigação reside no fato de que a proximidade dos *campi* universitários com centros urbanos os tornam espaços acusticamente degradados, precarizando o conforto, o desempenho e a saúde de suas comunidades acadêmicas. No caso do desempenho, o prejuízo deve ser encarado para além do impacto negativo no âmbito pessoal de cada indivíduo, uma vez que assume proporções institucionais que ofusca seu potencial de realizações. Zelar pela ambiência acústica adequada nos *campi* universitários está dentre muitas ações para contribuir para a saúde, o conforto e desempenho satisfatórios de suas comunidades acadêmicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Al-Mosawe, Alobaydi e Albayati [5], Çolakkadioğlu e colaboradores [6] e Ozer, Zengin e Yilmaz [7] tiveram objetivos semelhantes ao analisarem níveis de pressão acústica em universidades do Iraque, da Turquia e da Nigéria, respectivamente. Em seus métodos, optaram por distribuir os pontos de medição nas vias mais e/ou menos ruidosas, observando a localização das salas de aula e tipo de pavimentação da via, de acordo com as especificidades de cada área. Tanto a primeira como a segunda dessas pesquisas acima relacionadas tiveram magnitudes acústicas características extrapolando as recomendações de 35 dB (para ambiente interno) e 55 dB (para ambiente externo). A primeira das pesquisas especulou sobre o motivo dessas extrapolações, apontando para a má disposição das novas edificações de sala de aula, com afastamento menor que o permitido em relação a via. Já a segunda pesquisa constatou magnitudes acústicas características em conformidade com o preconizado por norma devido a influência conjunta da topografia e vegetação densa no entorno edilício. Dessas três pesquisas, a última delas alcançou caráter propositivo uma vez que

apresentou medidas mitigatórias como, por exemplo, restrições ao número de automóveis que têm acesso ao *campus* e desvio dos veículos que o acessam para um bolsão de estacionamento afastado das edificações. As demais pesquisas tiveram caráter descritivo, limitando-se a descrever a atmosfera acústica nos *campi* em termos de suas magnitudes acústicas características.

No Brasil, Magioli e Torres [8] e Krumenauer e seus colaboradores [9] quiseram avaliar qual a influência do ruído gerado pelo tráfego veicular rodoviário das vias externas no entorno das universidades objeto dos estudos. Semelhante a isso, Moraes [10] e Zannin [11] com seus respectivos colaboradores, também tiveram como objetivo analisar descritores acústicos referentes às vias internas aos seus *campi* universitários. Nessas pesquisas, a distribuição dos pontos se deu de forma uniforme em função do fluxo das vias e tipo de edificação ao redor. Sobre o tempo de medição das magnitudes sonoras, estudos tem demonstrado, assim como o do último autor acima citado, que as diferenças são pouco significativas entre descritores acústicos coletados durante intervalos de 1 min, 3 min, 15 min ou 60 min em pontos aleatoriamente selecionados na sua área de estudo. O resultado do desvio padrão e os valores medianos das medidas mostraram que não foram observadas diferenças significativas entre qualquer tempo em todos os pontos monitorados. Nesses casos brasileiros citados, a tendência é constatar que em todos os pontos de medição os limites utilizados pelos autores foram ultrapassados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da investigação abordada neste artigo foi baseado em pesquisas documentais e de campo, recorrendo a análises físico-topológicas da área de estudo e quantitativas dos níveis de pressão acústica coletados nos conjuntos de pontos de medição, os quais foram tratados através de procedimentos da estatística descritiva numa planilha eletrônica elaborada por um dos autores.

3.1 Area de Estudo

Inserida na cidade de Juiz de Fora, situada na Zona da Mata mineira, Brasil, com população de cerca de meio milhão habitantes [12] o *campus* sede da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com área de 100 hectares, está localizado na região oeste da cidade, a 6 km do centro urbano (Figura 1), e está cercada por construções de portes baixo, médio e alto, com gabaritos de médios a altos, com uso diversificado, estes sendo, principalmente, residências uni e multifamiliares, comércios, hotéis, um shopping e um hospital. Ao longo dos anos, a UFJF tem induzido o desenvolvimento dos bairros ao seu redor frente à expansão territorial urbana desde o primeiro decênio da segunda metade do século passado. A atmosfera acústica do *campus* tem se tornado mais ruidosa por ser um ponto de ligação entre as regiões Norte-Sul da cidade, com passagem aberta para toda a população uma vez que seu sistema viário está integrado ao municipal. Esta instituição de ensino superior é um dos frutíferos esforços da expansão das universidades brasileiras e seu *campus* tem muitas semelhanças formais, funcionais e espaciais com outros *campi* nacionais e internacionais criados no mesmo período.

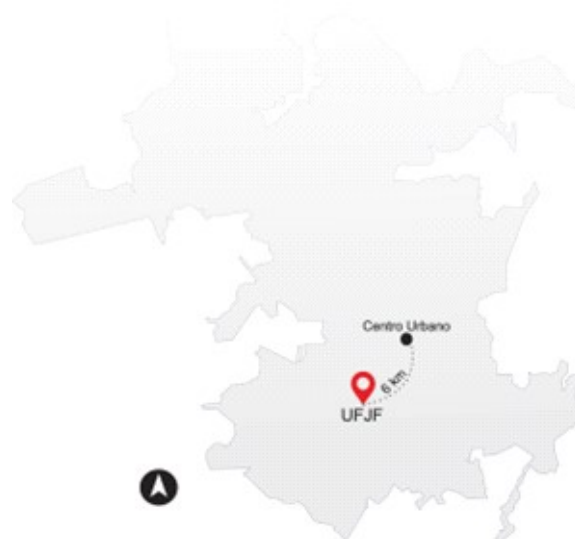


Figura 1 : Local do *campus* UFJF em Juiz de Fora

Morfologicamente, o *campus* da UFJF configura-se como uma universidade-parque na qual os edifícios são implantados de forma espaçada, cercados por áreas verdes [13]. No entanto, esse *campus* se difere ao explorar a



topografia acentuada do local e foi projetado em dez plataformas organizadas em níveis diferentes. Nestas plataformas foram implantados edifícios pavilhonares de gabaritos baixos (de até 2 pavimentos) padronizados distribuídos de forma alternada o que permite a criação de áreas verdes nas laterais e nas frentes das edificações, além de ventilação e iluminação natural nos ambientes [14]. As edificações estão assentadas próximas às vias de automóveis com pavimentação asfáltica e envolta por massa vegetativa em toda a sua extensão (de densidade variada). No *campus* há algumas estratégias projetuais que repercutem na mitigação da poluição sonora nas imediações das edificações, mesmo de intenção latente, tais quais: (1) o afastamento das edificações em relação a via de automóveis; (2) o uso de taludes advindo da topografia já existente, desnivelando as construções do plano sistema viário central; (3) uso de superfícies vegetadas de revestimento de taludes; (4) presença de porções densamente vegetadas ao redor de áreas dos platôs das construções e (5) presença de grande massa vegetativa ao redor dos conjuntos edilícios nas áreas com topografia acentuada (Figura 2).



Fig.2.a - Afastamento



Fig.2.b - Talude.

Figura 2 : Exemplo de estratégias projetuais de afastamento e talude no *campus* da UFJF.

3.2 Medições *in loco*

A fim de avaliar se as estratégias adotadas realmente ajudam na mitigação do ruído, os pontos de medições foram dispostos propositalmente de modo a ser possível considerar a influência dos afastamentos das edificações e o desnivelamento de algumas construções em relação ao plano do sistema viário. A estratégia da grande massa vegetativa nas topografias acentuadas ao redor de edificações, embora elencada, não foi analisada devido à dificuldade em situar os pontos, uma vez que não é fácil o acesso nesses locais.

Sendo assim, foram formados quatro grupos de pontos de medição denominados de Quadrantes 1, 2, 3 e 4 (Q1, Q2, Q3 e Q4, respectivamente, Figura 3). Cada quadrante está localizado em um setor diferente do *campus*, possuindo características semelhantes e certa densidade de pontos de medição (Figura 4, 5, 6 e 7).

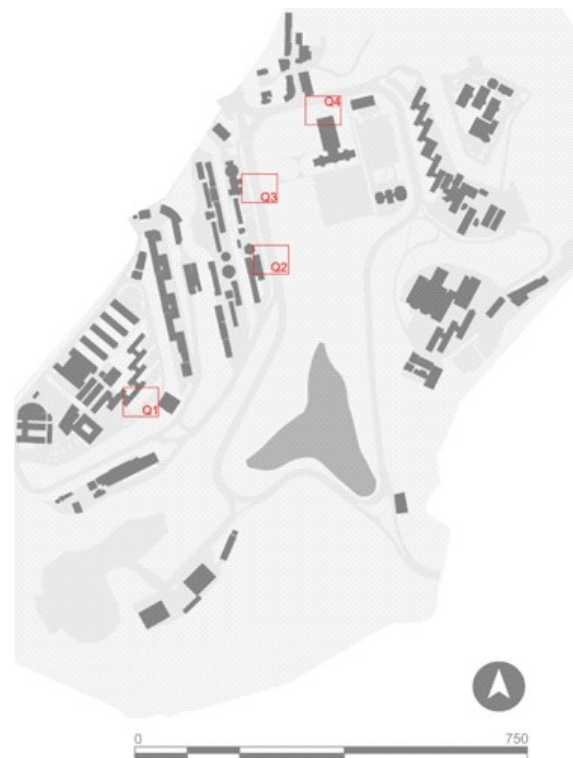


Figura 3 : Local dos quadrantes na UFJF.

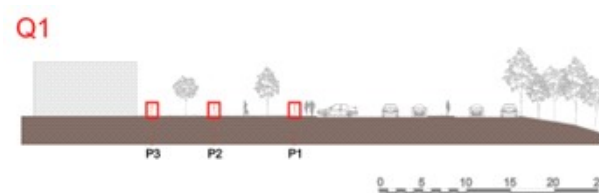


Figura 4 : Perfil Quadrante 1 de medição sonora.

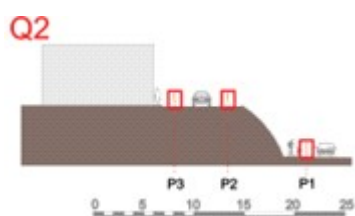


Figura 5 : Perfil Quadrante 2 de medição sonora.

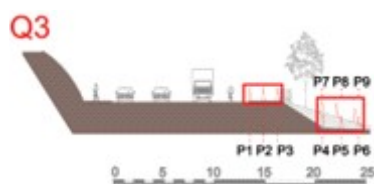


Figura 6 : Perfil Quadrante 3 de medição sonora.

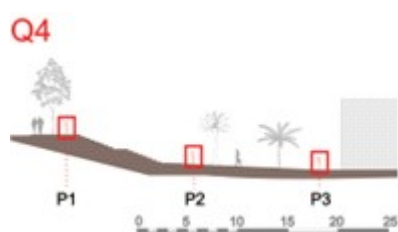


Figura 7 : Perfil Quadrante 4 de medição sonora.

Foi definido um número de pontos por quadrante de forma que todas as medições fossem feitas ao mesmo período de pico de tráfego selecionado, de acordo com a área em questão e a quantidade de colaboradores na equipe. Com o uso de três sonômetros, foi possível medir conjuntos de três pontos de medição simultaneamente. Desta forma foi estabelecido um total de 24 pontos de medição, divididos da seguinte maneira: seis no Q1 e Q4, três no Q2 e nove no Q3.

As medições do nível de pressão sonora foram feitas de acordo com a norma brasileira NBR 10.151 [15a], que recomenda que o aparelho esteja devidamente calibrado e as medições sejam efetuadas quando não houver nenhum tipo de interferência adversa da natureza, como vento e chuva. Contudo, ela não especifica um tempo mínimo para a medição, mas determina que deve ser escolhido de forma a conseguir caracterizar o ruído local. Para as medições, utilizando o método simplificado da NBR 10.151 [15a], os sonômetros foram fixados a uma distância de 1,2 metros do piso e no mínimo 2 metros de quaisquer superfícies refletoras.

O período de medição foi definido condizente com um dos períodos de pico do tráfego de veículos e pedestres. Essa definição levou em conta o fluxo de automóveis diariamente na área, que se compõe de veículos leves (bicicletas, motocicletas e carros) e pesados (ônibus e caminhões). O fluxo foi estabelecido através da contagem de veículos dentro da universidade, com contagem durante 5 minutos. No dia das medições, a temperatura estava amena (média de 24°C) e a velocidade do vento estável, sem interferências audíveis vindas da natureza. Os sonômetros utilizados foram Sonômetros Digitais Portáteis Mod. MSL-1355B, devidamente calibrados e configurado para medições de nível de pressão sonora instantâneos ponderados em “A” e no modo “Fast”. Para o tempo de medição, como este não é especificado pela norma, foi selecionada duração de 3 minutos por ponto, amostrados manualmente a cada 5 segundos, resultando em 36 dados de níveis de pressão sonora (L_{AF}) por ponto de medição.

3.3 Coleta de dados

Para a coleta de dados, foi elaborado um quadro de sua caracterização, com base em Valadares [16], contendo as principais informações das regiões que seriam estudadas. Posteriormente, tais características foram confrontadas com os valores de nível de pressão sonora registrados em cada ponto para, assim, ser possível a análise dos resultados.

Dessa forma, os principais tópicos do quadro de caracterização da coleta de dado consistiram em: (a) dados sobre topografia do local onde se encontram os pontos, ou seja, se estes estariam nivelados ou não em relação a eles mesmos, ou numa relação de auge ou declive implicando em um tipo de sentido de propagação acústica; distâncias dos pontos em relação a diversos eixos; (b) tipo de pavimentação; (c) e sentido de propagação do ruído naquele local (em nível, ascendente ou descendente). Assim, foi possível organizar uma base de dados com as especificidades de cada local, distribuídos pelos quadrantes, visando as estratégias projetuais que seriam estudadas. O Quadro abaixo apresenta um resumo dos tópicos listados a fim de caracterizar cada ponto.

**Quadro 1: Quadro resumo da coleta de dados**

Principais Tópicos	Subtópicos
Topografia	- Nivelado/desnivelado - Aclive / declive
Distâncias	- Da Fonte ao Ponto (F-P) - De um Ponto a outro Ponto, formando um segmento (P-P) - De um Ponto a um Obstáculo mais próximo (P-O) - De um Ponto mais próximo a uma Fachada (P-F)
Revestimento do piso	- Vegetado - Pavimentado
Sentido da propagação do som	- Em nível - Ascendente - Descendente

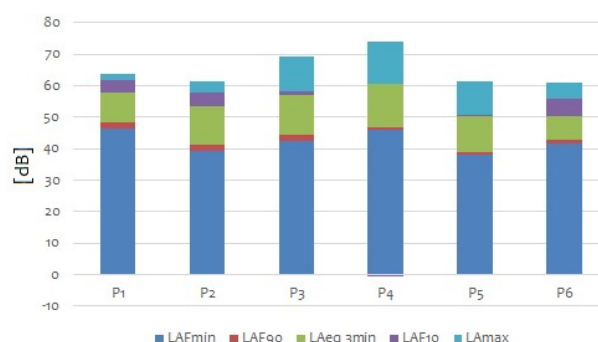
Além dos valores de nível de pressão sonora equivalentes contínuos ($L_{Aeq, 3min.}$), também foram definidos estatisticamente os descritores acústicos níveis mínimo (L_{AFmin} - menor nível de pressão sonora no período de medição) e máximo (L_{AFmax} - maior nível de pressão sonora no período de medição) e dos níveis percentis (L_{AF10} - nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medição) e (L_{AF90} - nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medição).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos os quadrantes notou-se que os afastamentos e/ou o uso de taludes para o desnivelamento das edificações em relação a via, de fato, auxiliam para a diminuição do ruído de tráfego. No quadrante 1 (Q1), onde apresenta pontos de medição (P) distribuídos em uma área plana, o afastamento de 20 metros ajudou para uma mitigação de até 4 dB em superfície de pavimentação asfáltica e até 10 dB em local gramado, sem grande massa vegetativa em termos do descritor $L_{Aeq3min}$. Essa diferença sugere o efeito atenuador do solo absorvedor gramado em comparação ao refletor do pavimentado. Sobre solo pavimentado, foi observado com maior clareza o efeito da reflexão da fachada, com aumento dos valores de $L_{Aeq3min}$, entre os pontos P2 e P3, enquanto entre os pontos P3 e P4 os valores do mesmo descritor se mantiveram estáveis. Quanto aos descritores L_{AFmin} , L_{AFmax} , L_{AF10} e L_{AF90} (Tabela 1 e Figura 8), a maior variação foi no ponto P4 que se encontrava em uma gramada, porém bem próxima ao passeio de concreto e a via asfáltica.

Tabela 1: Descritores sonoros em Q1

Descritores Sonoros	P1 [dB]	P2 [dB]	P3 [dB]	P4 [dB]	P5 [dB]	P6 [dB]
L_{AFmin}	47	39	42	46	38	42
L_{AF90}	48	41	45	47	39	43
$L_{Aeq 3min}$	58	54	57	61	50	50
L_{AF10}	62	58	58	60	51	56
L_{Amax}	64	61	69	74	61	61

**Figura 8 : Descritores sonoros no Q1 graficados.**

O quadrante 2 (Q2) possui uma configuração com afastamento menor em relação ao Q1, de somente 10 metros em relação ao sistema viário principal do *campus*. Porém, há um desnível acima de 5 metros das edificações em comparação a esse mesmo anel viário principal. O ponto P3 deste quadrante, localizado mais próximo às construções desniveladas do sistema viário lindeiro, apresentou uma diminuição significativa de 12 dB em termos do $L_{Aeq3min}$ em relação ao ponto P1, que estava fixado no nível +0 metro, do anel viário principal. Isso demonstra que o talude é uma estratégia bem eficiente para a mitigação de ruídos, mesmo com a propagação se desenvolvendo ao longo de um piso pavimentado. Nesse caso, todos os descritores acústicos tiveram valores atenuados com a distância, não sendo constatado efeito de reflexão da fachada nesse caso. Na Tabela 2 e Figura 9 constam os descritores sonoros no Q2.

Tabela 2 : Descritores sonoros em Q2

Descritores Sonoros	P1 [dB]	P2 [dB]	P3 [dB]
L_{AFmin}	47	39	42
L_{AF90}	48	41	45
$L_{Aeq 3min}$	58	54	57
L_{AF10}	62	58	58
L_{Amax}	64	61	69

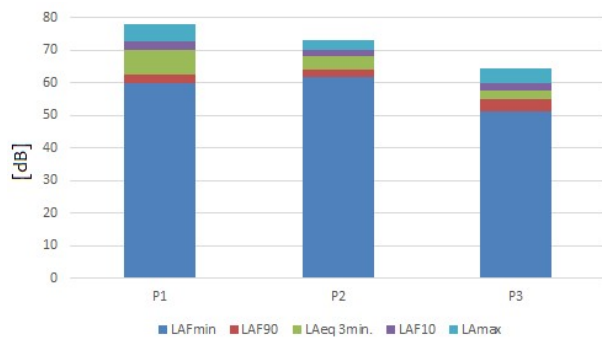


Figura 9 : Descriptores sonoros no Q2 graficados.

O quadrante 3 (Q3) é a área de maior fluxo de veículos e pedestres do *campus*, seccionada por uma via principal que se interliga nas vias secundárias, dando acesso a todos os conjuntos edilícios que sediam os cursos da universidade, além dos acessos principais que conectam as regiões Norte-Sul da cidade. Em horários de pico, há muitos praticantes de atividade física, além dos estudantes e funcionários, que circulam muito por essa mesma via.

Nos pontos do Q3, não houve uma homogeneidade de valores sobre o efeito do afastamento, fazendo com que, não necessariamente o ponto menos próximo à via fosse o de valor mais baixo em termos do descritor acústico $L_{Aeq, 3min}$. Isso pode ter ocorrido pelo fato da calçada, que teve os pontos nela situados (P1, P2 e P3), estar sendo muito utilizada pelos usuários de atividade física naquele período. Corrobora com isso a grande proximidade entre os pontos de medição em cada uma das sequências definidas (sequência 1: P1, P2 e P3; sequência 2: P4, P5 e P6; e sequência 3: P7, P8 e P9). Uma melhor noção do efeito do afastamento e propagação descendente sobre piso vegetado e pavimentado pode ser observada se tomado os valores médios de $L_{Aeq3min}$. Por sequência: 70 dB na sequência 1, lindeira à via; e 60 dB nas demais em declive, ou seja, uma atenuação de 10 dB, porém sem distinção entre as condições de pavimentação. Talvez para ambientes com um alto ruído devido ao fluxo intenso, solos absorvedores, como gramíneas, não proporcionam mais atenuação em relação ao piso pavimentado para pequenas distâncias entre a fonte e o receptor. Na Tabela 3 e Figura 10 constam os descriptores sonoros no Q3.

Tabela 3 : Descriptores sonoros em Q3

Descriptores Sonoros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
LAFmin	61	65	64	54	50	47	55	54	49
LAF90	63	67	68	56	53	50	56	55	50
LAeq 3min	70	73	74	62	59	59	62	59	59
LAF10	72	75	78	65	62	57	66	63	60
LAmak	77	80	84	67	66	61	70	73	71

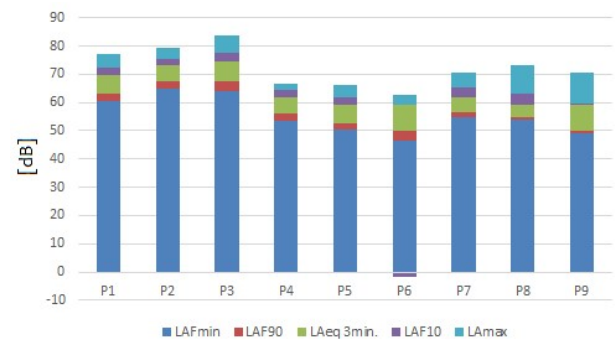


Figura 10 : Descriptores sonoros no Q3 graficados.

Por fim, no quadrante 4 (Q4), há uma disposição de pontos que mesmo numa topografia não muito acentuada (desnível = +5m), devido ao grande afastamento, foi constatada diminuição do descritor $L_{Aeq, 3min}$ entre 3 e 4 dB numa área também próxima ao anel viário principal, mas não exposta ao fluxo veicular mais intenso da conexão norte-sul através do sistema viário do *campus*. Nos pontos sobre solo gramado houve diferença de até -3 dB em relação aos pontos sobre a calçada. A variação dentre os demais descriptores foi maior onde o sonômetro estava fixado sobre superfície refletora. No caso da sequência sobre piso pavimentado, o efeito de reflexão da fachada foi notado no último ponto de medição, menos evidente no $L_{Aeq, 3min}$. Em termos desse descritor pôde-se observar uma atenuação progressiva na sequência de pontos sobre piso vegetado. Na Tabela 4 e Figura 11 constam os descriptores sonoros no Q4.

Tabela 4: Descriptores sonoros em Q4

Descriptores Sonoros	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
LAFmin	53	56	54	54	52	55
LAF90	55	56	55	55	55	56
LAeq 3min	66	63	62	64	59	59
LAF10	69	63	67	67	61	63
LAmak	76	74	69	70	65	67

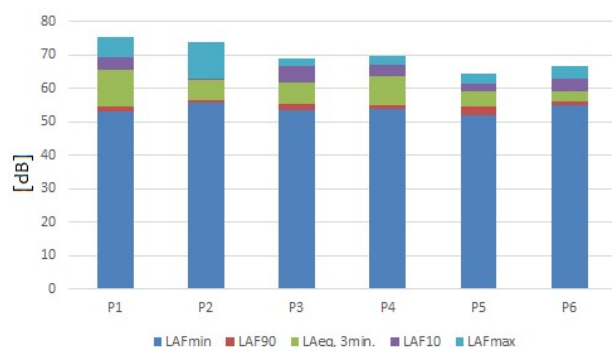


Figura 11 : Descritores sonoros no Q4 graficados.

O conjunto de gráficos nas figuras a seguir apresenta a comparação entre os decaimentos empírico (DE, 'medido' na legenda) e teórico (DT, 'calculado' na legenda, para fonte linear) de $L_{Aeq, 3min}$ nos quatro quadrantes do *campus*.

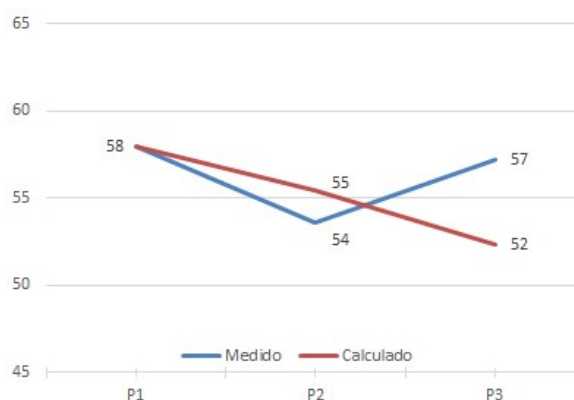


Figura 12 : DE e DT de $L_{Aeq, 3min}$ no Q1 : P1 → P2 → P3, pontos nivelados, em piso pavimentado.

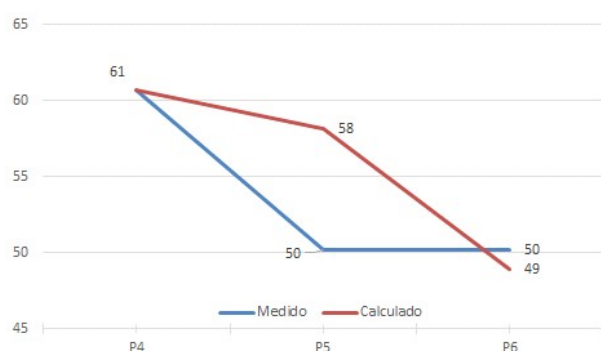


Figura 13 : DE e DT de $L_{Aeq, 3min}$ no Q1 : P4 → P5 → P6, pontos nivelados, em piso vegetado.

No Q3 a notação P₁₂₃, P₄₅₆ e P₇₈₉ indica valor médio logarítmico de $L_{Aeq, 3min}$ para cada conjunto de três pontos (os mais próximos da fonte, os à média distância dela e os três últimos, afastados), pois a proximidade entre a cada conjunto, confundiu o fenômeno do decaimento ao invés de corroborá-lo.

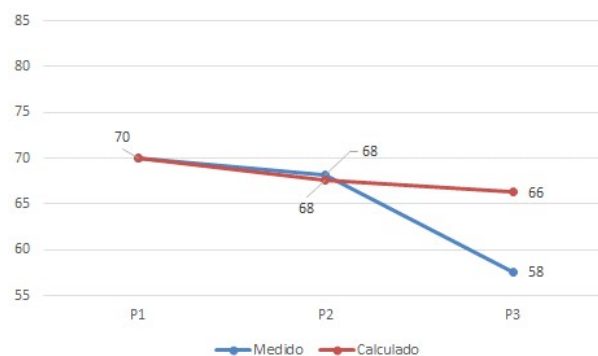


Figura 14 : DE e DT de $L_{Aeq, 3min}$ no Q2 : P1 → P2 → P3, pontos desnivelados, piso pavimentado, aclive.

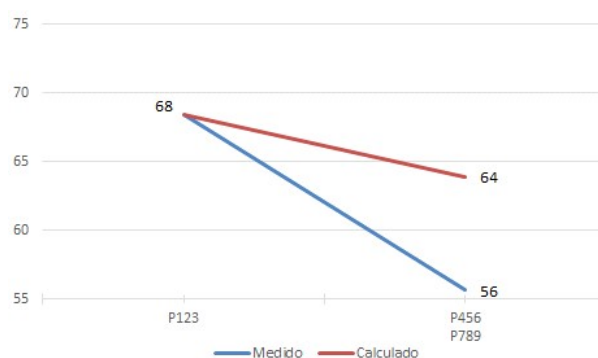


Figura 15 : DE e DT de $L_{Aeq, 3min}$ no Q3 : P₁₂₃ → P₄₅₆ ; P₇₈₉ pontos agrupados desnivelados, piso vegetado só em P₇₈₉, em declive.

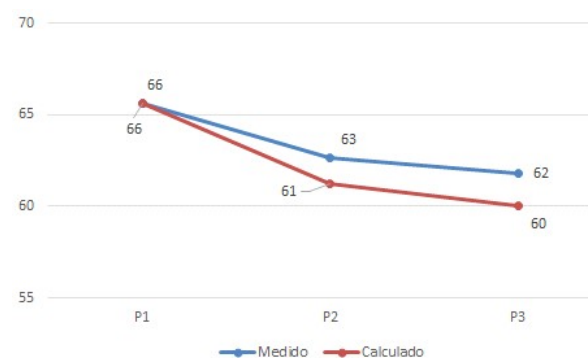


Figura 16 : DE e DT de $L_{Aeq, 3min}$ no Q4 : P1 → P2 → P3, pontos desnivelados, piso vegetado, em declive.

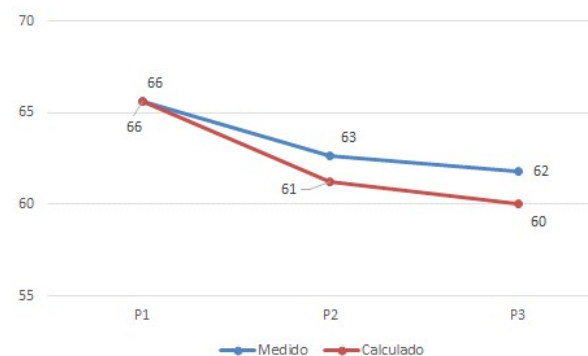


Figura 16 : DE e DT de $L_{Aeq, 3min}$ no Q4 : P4 → P5 → P6, pontos desnivelados, piso pavimentado, declive.

3.1. Aferindo as estratégias projetuais do campus

Cruzando as informações da sequência dos cinco gráficos recém apresentados (figuras de 12 à 16), com perfis esquemáticas de locação dos pontos de medição (figuras de 4 à 7) a estratégia projetual do afastamento é pertinente pois à medida que se afasta da fonte acústica há uma tendência de decaimento de nível de pressão acústica empiricamente constatado e teoricamente formulado para fontes lineares. O decaimento sempre foi constatado entre ponto (em Q1, Q2 e Q4) ou conjunto de pontos (no Q3) mais próximo da fonte e aqueles intermediários. Já entre o segundo ponto (em Q1, Q2 e Q4) ou conjunto de pontos (no Q3) intermediários e aqueles mais afastados nem sempre foi constatado o decaimento, o qual foi descaracterizado com um aumento do nível sonoro na proximidade da fachada (em Q1, P3) ou neutralizado pelo mascaramento do ruído ambiente (Q1, P6; Q4, P6).

Em termos de estratégia projetual de superfície vegetada, o decaimento empírico foi predominantemente mais acentuado que o decaimento teórico (Q1, P4 → P5 → P6 e Q3, P₁₂₃ → P₄₅₆ ; P₇₈₉). Na sequência de pontos em nível, o decaimento em superfície vegetada foi maior que na pavimentada (comparação entre gráfico 5 e gráfico 6, entre P1 → P2 e P4 → P5).

No que tange a estratégia projetual do talude, sua influência no decaimento é mais significativa entre o ponto mais próximo à fonte e o ponto mais afastado (em Q2, P1 → P3) quando é possível notar que ele obstrui a visada direta entre o ponto próximo e o afastado, o que não ocorre entre o ponto próximo e o intermediário (em Q2, P1 → P2) que, neste caso, o fato da distância entre tais pontos ser tomada com base na hipotenusa (h) da configuração geométrica de perfil (devido ao desnível) com base no cateto maior (C) da configuração geométrica de perfil (sem desnível) com $h > C$, é de se esperar que o decaimento em relação à hipotenusa seja maior que aquele em relação ao cateto ($DE_h > DE_C$). Para aferição consistente das demais estratégias elencadas é necessário aumentar a base de dados coletada.

3.2 Avaliação comparativa da atmosfera acústica com base nas edições anterior e vigente da norma NBR 10.151

Complementando as investigações apresentadas neste trabalho, a seguir é feita a verificação da repercussão da recente atualização da NBR 10.151 na avaliação dos níveis de pressão acústica em áreas habitadas. O procedimento de avaliação na edição substituída [15b] (aqui denominado, procedimento normativo anterior, PNA) foi sintetizado por Valadares [17] e consiste na comparação de um descritor acústico no receptor (potencialmente o reclamante), denominado nível de imissão acústica (NIA), já retirada a eventual influência do ruído ambiente para uma aplicação adequada dessa versão [18], com o nível de critério de avaliação, NCA. O NCA é definido a partir dos subcritérios, um referente ao zoneamento e período do dia (NSC_ZP) e outro em relação ao ruído ambiente (NSC_RA), consistindo o referido NCA no maior valor entre ambos. Já o NIA é baseado no L_{AeqT} medido, que pode sofrer correções quando se constata componentes tonais ou impulsivos na fonte de ruído sob investigação. Para $NIA \leq NCA$, a situação é aceitável.

O procedimento de avaliação na edição atual [15^a] (aqui denominado, procedimento normativo vigente, PNV) consistiu na avaliação pelo método simplificado pertinente à situação da investigação aqui em marcha (ruído de tráfego veicular rodoviário caracterizado como contínuo/estacionário), da comparação, num primeiro momento, do $L_{AeqT} (total)$ (no potencial reclamante) com limite preconizado na tabela 3 da norma, R_{LAeqT} , conforme o zoneamento e período do dia. Para $L_{AeqT} (total) \leq R_{LAeqT}$, a situação é aceitável. Caso contrário, a comparação se dá entre o $L_{AeqT} (esp)$ e o referido R_{LAeqT} . O descritor acústico $L_{AeqT} (esp)$ consiste no nível de pressão acústica equivalente específico, ou seja, o ruído exclusivo do evento acústico sob avaliação sem influência do ruído residual. Para $L_{AeqT} (tot ou esp) \leq R_{LAeqT}$, a situação é aceitável. A tabela a seguir apresenta valores de NSC_ZP, NSC_RA, NCA e NIA para avaliação dos resultados pelo PNA, comparados aos valores de $L_{AeqT} (total)$, $L_{AeqT} (esp)$ e R_{LAeqT} para avaliação dos resultados pelo PVA.



Com base nos quadros 2 e 3, a recente edição da NBR 10.151 [15a] apresentou-se mais restritiva que sua edição anterior [15b]. Pelo PNV, em todos os quadrantes a situação de exposição acústica no ambiente externo é inaceitável, enquanto, pelo PNA, em 75% dos quadrantes a situação ficou inaceitável (Q1, Q2 e Q4). Nas situações inaceitáveis por ambos procedimentos, a média dos valores excedidos (baseado nos dados da coluna Δ) pelo PNV (12 dB) foi o dobro em relação ao PNA (6 dB).

Quadro 2: Avaliação pelo NBR 10.151 [15a]

Avaliação pelo PNV, [dB]				
LAeqT (total)	LAeqT (esp)	RLAeqT	D	Situação
57	-	50	7	inaceitável
68	66	50	16	inaceitável
64	61	50	11	inaceitável
63	62	50	12	inaceitável

Quadro 3: Avaliação pelo NBR 10.151 [15b]

Quadrante	Avaliação pelo PNA, [dB]					
	NSC_ZP	NSC_RA	NCA	NIA	Δ	Atende?
Q1	50	45	50	56	6	Não
Q2	50	62	62	66	4	Não
Q3	50	61	61	61	0	Sim
Q4	50	55	55	62	7	Não

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou duas estratégias projetuais de implantação no *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) para verificar suas eficiências quanto ao nível de qualidade ambiental acústica frente ao ruído produzido pelo tráfego veicular rodoviário predominantemente em seu sistema viário. Tal análise integrou a comparação de descritores acústicos entre si e entre os preconizados pelas duas últimas edições da NBR 10.151 (ABNT, 2000/2003; 2019). Para isso, houve a coleta de dados e medições *in loco* de diferentes áreas do *campus*, de acordo com o objetivo do artigo.

Foram constatados alguns aspectos importantes:

- Em todos os quadrantes os afastamentos e/ou o uso de taludes para o desnivelamento das edificações em relação a via, de fato, auxiliam para a diminuição do ruído de tráfego;

- Os pontos que se fixavam acima de superfícies gramadas tiveram uma absorção de até 10 dB em relação às superfícies refletoras;
- Possivelmente, em ambientes com um alto ruído devido ao fluxo intenso, solos absorvedores, como gramíneas, não proporcionam uma atenuação significativa em relação ao piso pavimentado para pequenas distâncias entre a fonte e o receptor;
- Mesmo com a eficiência das estratégias de mitigação, estas ainda não asseguram índices de qualidade ambiental acústica recomendados nas edições de 2000/2003 e 2019 da NBR 10.151;
- A edição mais recente da NBR 10.151 (ABNT, 2019) apresentou-se mais restritiva que sua edição anterior (ABNT, 2000/2003), uma vez que todas as áreas estudadas tiveram um nível de exposição acústica externo inaceitável, enquanto que, na edição anterior, 25% das áreas tiveram posição aceitável.

A proximidade dos *campi* universitários com os centros urbanos torna os espaços acusticamente degradados. Por isso, é imprescindível investigar se neles estão previstos métodos de mitigação quando do aumento do ruído de acordo com o fluxo que esses locais geram. Portanto, a relevância desta pesquisa reside no fato de que as estratégias que o *campus* da UFJF possui, possivelmente, são comuns a muitos outros *campi* com implantações similares, fazendo com que essa análise sirva de base para pesquisas futuras nos demais casos de estudo. Por fim, esta é uma pesquisa precursora ao apresentar uma análise comparativa da avaliação da atmosfera acústica com base na norma NBR 10.151, considerando suas duas últimas edições (ABNT, 2000/2003; 2019), apontando para o fato de que a edição mais recente é mais restritiva que a anterior, do ponto de vista da avaliação sonora em ambientes

externos pelo método simplificado, pertinente nesta investigação tendo em vista o caráter estacionário/contínuo em períodos de pico do tráfego veicular rodoviário. Investigações futuras devem ser desenvolvidas para avaliar a eficácia das outras estratégias projetuais mitigadoras do ruído ambiental aqui elencadas mas que a base de dado gerada mostrou-se ainda limitada para fundamentar a avaliação.

9. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- [1] BASTOS, M. M. As Estratégias de Implantação Física de Universidades Federais no Brasil: Um Estudo Comparativo Entre Dois Períodos de Expansão 1960-1970 e 2000-2010. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.
- [2] BELL, P. A.; FISHER, J. D.; BAUM, A.; GREENE, T. C. Environmental Psychology. Fort Worth. Harcourt Brace Jovanovich: College Publishers, 2001.
- [3] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Burden of disease from environmental noise quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 2011. Disponível em: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf
- [4] Organização Mundial da Saúde. Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 2018. Disponível em: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>
- [5] AL-MOSAWE, H. M.; ALOBAYDI, D.; ALBAYATI, A. Development of Traffic Noise Prediction Model in an Educational Urban Area. Civil Engineering Journal, v. 4, p. 2588–2595, 2018.
- [6] ÇOLAKKADIOĞLU, Deniz; YUCEL, Muzaffer; KAHVECI, Baris; AYDINOL, Ozum. Determination of noise pollution on university campuses: a case study at Çukurova University campus in Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, v. 190, n. 4, 2018.
- [7] OZER, S.; ZENGİN, M.; YILMAZ, H. Determination of the Noise Pollution on University (Education) Campuses : a Case study of Ataturk. Ekoloji, v. 90, p. 49–54, 2014.
- [8] MAGIOLI, F. B.; TORRES, J. C. B. Influência das transformações urbanas no conforto acústico: estudo-piloto da cidade universitária da UFRJ. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, n. 2, p. 400–413, 2018.
- [9] KRUMENAUER, M.; KINZEL, E.; GONZALEZ, M. S. Níveis de pressão sonora equivalente no entorno do campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). Eficiência Energética do Ambiente Construído. Anais...Passo Fundo: 2015
- [10] MORAES, E.; MELO, G.; RAMOS, D.; UAKTI, M. A contaminação acústica na cidade universitária da Universidade Federal do Pará em Belém. XII ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído VIII ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais...Balneário Camboriu: 2017. Anais...Brasília: 2013
- [11] ZANNIN, P. H. T. et al. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. Cities, v. 31, p. 317–327, 2013.
- [12] IBGE. IBGE divulga as estimativas da população dos municípios para 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25278-ibge-divulga-as-estimativas-da-populacao-dos-municipios-para-2019>
- [13] ALBERTO, Klaus Chaves. University Campuses: experimentations on the relations between city and nature in Brazil. In: OLIVEIRA, Fabiano Lemes de; Mell, Ian (Ed.). Planning Cities with Nature: Theories, Strategies and Methods. Springer, 2019. p. 65-77.
- [14] SOUZA, M. O. R. O programa MEC/BID III e o CEDATE na consolidação dos campi universitários no Brasil. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.
- [15a] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10151. Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [15b] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10151. Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000/2003.
- [16] Valadares, V. M. Ruído de Tráfego Veicular em Corredores do Transporte Urbano: Estudo de Caso em Belo Horizonte-MG. [s.l.] Dissertação (Mestrado em



Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

[17] Valadares, V. M. Considerações sobre a avaliação da poluição acústica e proposição de sua classificação. In: XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Anais do Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica e Vibrações: Qualidade de ambiente. Campinas: José Augusto Mannis., v. 1, p. 484-491, 2014.

[18] Valadares, V. M. Premissas para aplicação idônea da NBR 10.151: a questão do ruído ambiente. In: XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Anais do XXII Encontro da SOBRAC, Belo Horizonte, 2008.