

# ANÁLISE COMPARATIVA DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO E RUÍDO EM PERÍMETRO URBANO E AMBIENTE DE MINERAÇÃO

Caio Cesar Vivian Guedes Oliveira <sup>1</sup>

Luis Eduardo de Souza <sup>1</sup>

Luciana Arnt Abichequer <sup>1</sup>

Raul Oliveira Neto <sup>1</sup>

Filipe Schmitz Beretta <sup>2</sup>

## Resumo

A energia vibratória e pressão acústica geradas pelo tráfego de veículos leves e pesados são uma fonte de poluição ambiental pouco estudada no Brasil, mesmo impactando diariamente a população. Da mesma forma, sabe-se que as principais causas de litígio e reclamação no que se refere a ambientes de mineração estão relacionadas a ruídos e vibrações. Neste sentido, este trabalho busca fazer uma análise comparativa dos dados de vibração e ruído obtidos em perímetro urbano com os obtidos em ambiente de mineração no município de Caçapava do Sul. Os monitoramentos de vibrações e ruído foram realizados por meio de microssismógrafos de engenharia, no perímetro urbano e em atividades de mineração em áreas próximas, e os dados adquiridos foram comparados com os limites estabelecidos por legislações nacionais e internacionais vigentes. Foram detectados níveis significativos de ruído devido ao tráfego de veículos pesados em áreas urbanas, que excedeu os limites estabelecidos pela norma nacional NBR 10151, sugerindo a necessidade de ação a ser tomada pela administração da cidade, como a limitação de trânsito e a modificação do tipo pavimento.

**Palavras-chave:** Impactos ambientais; Vibrações; Ruído; Monitoramento sismográfico.

## COMPARATIVE ANALYSIS FOR VIBRATION AND NOISE LEVELS IN URBAN ZONES AND MINING AREAS

### Abstract

The vibratory energy and the acoustic pressure generated by the traffic of light and heavy vehicles are a source of environmental pollution that is poorly studied in Brazil, even though they apply a daily and direct impact on peoples' lives. Additionally, it is known that the main causes of lawsuits and reclamation regarding mining activities are related to vibrations and noises. On this matter, this paper aims to build a comparative analysis of vibration and noise between data sets acquired in urban zones and mining areas in the municipality of Caçapava do Sul. Vibration and noise were monitored by engineering microseismographs within the urban zone and in mining activities in nearby areas, and the acquired data were compared with the limits established by national and international valid legislations. Meaningful noise levels were detected due to the traffic of heavy vehicles in urban areas, which exceeded the limits established by the national regulation NBR 10151, suggesting the necessity of action to be taken by the town administration, such as traffic limitation and pavement type modification.

**Keywords:** Environmental impacts; Vibration; Noise; Seismographic monitoring.

## I INTRODUÇÃO

A energia vibratória e pressão acústica geradas pelo tráfego de veículos leves e pesados são uma fonte de poluição ambiental pouco estudada no Brasil. Os impactos percebidos pela população, em perímetro urbano, estão diretamente ligados ao trânsito intenso de veículos.

O estudo foi realizado no perímetro urbano do município de Caçapava do Sul, onde a economia é basicamente sustentada pelos setores da mineração, agricultura e pecuária. Há uma grande concentração de empresas mineradoras de calcário no município, onde são realizados desmontes

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Caçapava do Sul, RS, Brasil. E-mail: [luissouza@unipampa.edu.br](mailto:luissouza@unipampa.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, RS, Porto Alegre, Brasil.



com explosivos, sendo assim uma fonte de vibração e ruído. Estes impactos estão sujeitos às reclamações da vizinhança no entorno das áreas de mineração podendo abranger reclamações da população dentro do perímetro urbano do município. A população alega sentir as vibrações e ouvir os ruídos provindos das detonações, apesar da grande distância, cerca de 8 km do perímetro urbano até as cavas de mineração. Contudo as vibrações e ruídos não são gerados somente pelos desmontes e as pessoas não estão atentas às diversas outras fontes geradoras, tais como: causas naturais, processos envolvidos na construção civil, deslocamento de material (solo ou rocha) e até mesmo o tráfego de veículos são fontes importantes e devem ser monitoradas e analisadas.

O fluxo de tráfego é o principal gerador de poluição sonora em perímetro urbano, assim como os tipos de veículos e a velocidade dos mesmos, influenciam diretamente na intensidade do ruído e vibração, além de outras fontes independentes. No município de Caçapava do Sul circulam muitos caminhões, já que a RS – 357 que corta a cidade é o principal acesso à Lavras do Sul.

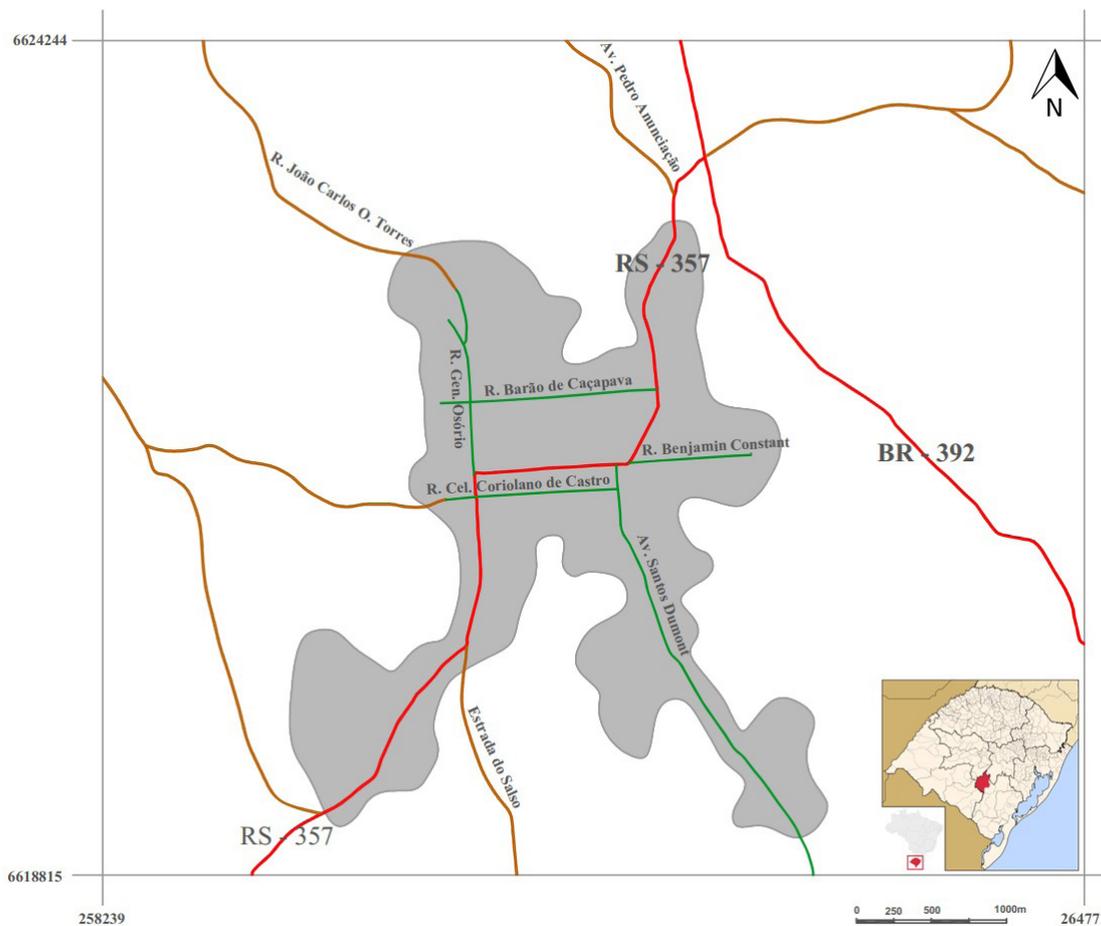
Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo diagnosticar os níveis de ruído e vibração em estruturas no município de Caçapava do Sul, verificando as áreas com

maior risco estrutural na cidade e levando em consideração a geologia, tipos de veículos e vias. Além disso, foi realizada uma análise comparativa com os níveis de vibração e ruído obtidos em ambiente de mineração, de acordo com os parâmetros que regem as normas brasileiras e internacionais sobre limites de vibração e ruído.

### 1.1 Localização e Contexto Geológico

O município de Caçapava do Sul está localizado na chamada Zona da Campanha do estado do Rio Grande do Sul, distante aproximadamente 262 km da capital do estado, Porto Alegre (Figura 1). O município possui aproximadamente 33.600 habitantes, além disso, possui uma frota de 16.821 veículos [1], sendo em grande parte veículos de passeio (carros e motos), mas também possui uma quantidade significativa de veículos pesados (caminhões e ônibus).

A área de estudo está inserida na Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS), localizada no Escudo Sul-Riograndense. A Suíte Granítica Caçapava do Sul, com idade aproximada de 540 Ma, é constituída principalmente por sienogranito, contornando e intrudindo monzogranito a allanita granodiorito, médio a fino, dominante na porção central, com foliação



**Figura 1.** Mapa de localização, em cinza área de estudo no município de Caçapava do Sul.

protomilonítica ao longo das bordas do corpo granítico. A SGCS possui uma forma de corpo elíptico com o eixo maior orientado na direção N-S. Esta compreende dois corpos graníticos intrusivos no Complexo Metamórfico Vacacaí, sendo que este complexo forma um cinturão metamórfico no entorno da SGCS [2].

## 1.2 Vibração e Ruído em Perímetro Urbano

A vibração é um movimento oscilatório de um material que foi afastado da sua posição de equilíbrio e é tida como uma resposta elástica do terreno à passagem de uma onda de tensão, que provoca a alteração da posição de equilíbrio de um determinado material [3].

Segundo a NBR 9653 [4], a vibração pode ser medida através da frequência de vibração e da velocidade de vibração de pico de partícula (PPV), onde a frequência representa o número de oscilações por segundo em que o terreno vibra conforme a energia sísmica passa por um ponto determinado, dada em hertz (1 Hz é igual a uma oscilação por segundo), enquanto o PPV representa o máximo valor instantâneo da velocidade de um partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo.

Segundo Sarsby [5], os fatores que ocorrem para a diminuição das vibrações com a distância são: a expansão geométrica das ondas, a progressiva separação das três componentes, a presença de descontinuidades nos maciços e o atrito interno dinâmico característico das rochas e resultante do grau de heterogeneidade dos maciços.

Assim, os efeitos das vibrações sobre as estruturas não dependem somente da distância e do tipo da estrutura, mas também de outros fatores como a litologia dos terrenos de fundação, sobre os quais as estruturas assentam [6].

Os seres humanos são muito sensíveis às vibrações, com o limiar de percepção tipicamente no intervalo de 0,14 mm/s a 0,3 mm/s de PPV. A exposição a altos níveis de vibração ao ser humano pode ser um perigo grave a saúde, interferindo com a eficiência de funcionamento do organismo através da indução de estresse, perturbando a concentração e aumentando o risco de acidentes. Até mesmo de magnitude muito baixa, as vibrações podem ser perceptíveis para as pessoas e podem interferir com o funcionamento satisfatório de certas atividades como, por exemplo, procedimentos delicados em salas de cirurgia de hospital e pesagem de laboratório em equipamentos sensíveis. As vibrações em perímetro urbano também podem causar ansiedade, bem como irritação e podem perturbar o sono, trabalho ou lazer [7].

A principal parcela do ruído em perímetro urbano é oriunda do tráfego veicular. A definição de ruído é um tanto complexa e deve-se compreender a definição de som, visto que todo ruído é um tipo de som. Enquanto a NBR 12179 [8] define o som como sendo uma onda mecânica ou vibração que se propaga em um meio, capaz de ser audível pelo ser humano, o ruído pode ser compreendido como a mistura

de sons cujas frequências diferem entre si, não sendo distinguíveis ao ouvido humano.

A exposição a altos níveis de ruído para ouvidos não protegidos pode ser um sério perigo para a saúde, causando danos permanentes à audição. Assim como a vibração, o ruído também pode interferir com a eficiência do funcionamento do corpo humano, causando estresse, perturbando a concentração e aumentando o risco de acidentes. Níveis elevados de ruído podem causar interferência com comunicação de voz, perturbação do trabalho ou lazer, aborrecimento e possíveis efeitos sobre a saúde mental e física [9].

## 1.3 Legislação

Segundo a norma britânica [7], para avaliação de danos causados às estruturas devem-se efetuar as medições externamente às fundações, sendo a posição preferencial próxima à parede exterior ou na base da parede exterior. Já para a avaliação do efeito da vibração sobre o ser humano, medidas são geralmente realizadas dentro da estrutura. Em ambas as situações, o ponto de medição não deve ser superior a 0,5 m acima do solo.

No Brasil não há uma normalização específica que trate sobre vibração induzida pelo tráfego de veículos, sendo que a norma NBR 9653 [4] estabelece limites máximos de velocidade de partícula por faixas de frequência para situações de detonação e desmonte de rochas.

Da mesma forma, a norma alemã DIN 4150-3 [10] aborda a relação das vibrações e sua influência sobre estruturas, mas apresenta as tensões dinâmicas como o mais importante parâmetro a ser analisado, além de estabelecer limites distintos para diferentes tipos de estruturas.

A norma NBR 9653 [4] estabelece que o ruído, medido além da área de operação, não deve ultrapassar 134 dB, que representa o limiar da dor da audição humana, mas como salientado anteriormente, esta norma aborda situações de detonação. Enquanto isso, a norma NBR 10151 [11] fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidade. O método de avaliação envolve as medições do nível de ruído em decibéis (dB) considerando o nível de critério de avaliação (NCA), conforme pode ser visto na Tabela I.

**Tabela I.** NCA para ambientes externos, em dB, de acordo com a NBR 10151 [11]

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

## 1.4 Fatores que Influenciam na Intensidade da Vibração

### 1.4.1 Pavimentação

Em perímetro urbano, as irregularidades nas vias aumentam a geração de energia vibratória, pois ampliam o impacto das suspensões dos veículos, principalmente de baixo amortecimento. Os pavimentos prismáticos (paralelepípedos) à base de rochas ígneas (granitos) são os que geram mais energia vibratória, sendo que a pavimentação asfáltica de boa qualidade é uma medida mitigadora eficiente [12].

### 1.4.2 Geologia

Segundo a norma britânica [7], as vibrações transmitidas através de solos moles geralmente têm uma baixa frequência, enquanto em solos mais densos ou rochas a frequência é consideravelmente maior.

De maneira geral, a norma estabelece a influência da propagação da vibração de acordo com a condição física da rocha e/ou solo, sendo:

- para solos moles e areias finas os menores valores;
- valores intermediários para rocha alterada e cascalhos;
- valores altos para rocha sã, solos e areias densas.

### 1.4.3 Frequência e amplitude das ondas

A frequência emitida pelo tráfego de veículos ocorre de 1 a 80 Hz com uma amplitude de 1 a 200 $\mu$ m. Caso a frequência de ressonância da estrutura da edificação seja similar à frequência de propagação da onda vibratória, haverá ampliação do deslocamento da fundação ocasionando um impacto indesejado [12].

## 2 MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO DE RUÍDOS E VIBRAÇÕES

A coleta de dados foi realizada através de monitoramentos sismográficos realizados com microssismógrafos de engenharia portáteis, modelo SSU 3000 EZ Plus do fabricante americano GeoSonics® [13].

De acordo com as configurações recomendadas pelo fabricante dos equipamentos, utilizou-se o modo de coleta de histograma, tendo sido feita a opção por tempos de monitoramento de 5 minutos, discretizados em intervalos de 5 segundos, de maneira a assegurar a representatividade das informações.

Os monitoramentos foram realizados da seguinte maneira:

- 5 dias de monitoramento distribuídos ao longo de um mês, com 3 medidas de 5 minutos em cada ponto monitorado por dia;
- cada monitoramento de 5 minutos coletava cerca de 60 dados de vibração e ruído gerados pelo tráfego de veículos, tendo sido coletados cerca de 900 dados por ponto;
- foram monitorados 4 pontos diferentes (1-Avenida Presidente Kennedy; 2-Rua Benjamin Constant; 3-Rua Barão de Caçapava; 4-Rua General Osório), totalizando cerca de 3600 dados de vibrações e ruídos.

É importante salientar que a configuração utilizada captava a vibração e o ruído mais elevados no intervalo de cada 5 segundos, sendo assim, caso passasse mais de um veículo naquele intervalo, o valor gravado pelo aparelho seria o de maior intensidade.

A instalação do equipamento foi realizada em estruturas utilizando-se gesso para fixar o geofone, o microfone foi instalado próximo ao microssismógrafo, fixado no terreno, por meio de uma baliza de 60 cm. Tanto o geofone quanto o microfone foram direcionados para a fonte de vibração e ruído, ou seja, o tráfego de veículos.

Foi realizada uma análise comparativa dos níveis de vibração e ruídos obtidos em perímetro urbano e ambiente de mineração. Os dados obtidos em mineração foram resultados do projeto de Ferreira [14] que apresenta uma análise dos impactos de vibrações e ruídos em estruturas próximas de áreas de lavra de calcário, tendo utilizado para a coleta de dados a configuração em modo de disparo único para captar sinais a partir de 0,127 mm/s de vibração de partícula, dentro de um intervalo de 5 segundos para o tempo de gravação.

Os quatro pontos de monitoramento foram escolhidos visando situações de maior tráfego de veículos na cidade, principalmente de veículos pesados, abrangendo vias de pavimentação asfáltica e paralelepípedo. Foram realizados monitoramentos entre os horários das 09:00 às 12:00, no período da manhã, e das 14:30 às 17:30, no período da tarde. Os pontos de instalação do equipamento foram no meio da quadra, longe de quebra-molas, esquinas e sinalizadas, visando à captação de ruído e vibração real gerada pelo tráfego.

## 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os registros dos dados ficam salvos no equipamento e são transferidos para um computador com o auxílio do software AnalisisNET. Este software além de ter a função de importação dos dados, permite gerar gráficos de níveis de vibração e ruído mostrando as vibrações em três componentes do geofone e a medição do ruído captada pelo microfone. O software também salva relatórios em formato PDF com a descrição dos dados [15].

Todos os dados obtidos foram inseridos e organizados em planilha do Excel para serem analisados e inseridos nos gráficos das normas abordadas neste estudo que correlacionam níveis de vibração (PPV, em mm/s) e a frequência (Hz).

Para representação gráfica dos dados de vibração e ruído foram utilizados os valores demonstrados pelo software AnalisisNET, que corresponde aos valores de pico em cada monitoramento de 5 minutos, sendo 60 dados representativos do total. Foram descartados 8 dados desses 60, devido aos valores estarem fora do estabelecido pela norma britânica [12] que menciona que a frequência da vibração emitida pelo tráfego de veículos está na faixa de 1 a 80 Hz. Os dados de PPV foram então inseridos em um gráfico (Figura 2) que mostra os limites das normas mencionadas neste estudo [4, 10, 12] analisando comparativamente com os dados de Ferreira [14].

Conforme se pode observar na Figura 2, as vibrações obtidas nos pontos em perímetro urbano são significativamente diferentes das vibrações obtidas em ambiente de mineração. Os resultados obtidos em perímetro urbano apresentam, de maneira geral, frequências mais baixas do que aqueles dados oriundos de desmontes. Da mesma forma apesar de ambos os conjuntos de valores estarem abaixo da norma NBR 9653 [4], as vibrações geradas pelo desmonte de rochas com uso de explosivos são superiores às vibrações geradas pelo tráfego de veículos, assim como a frequência também é relativamente maior.

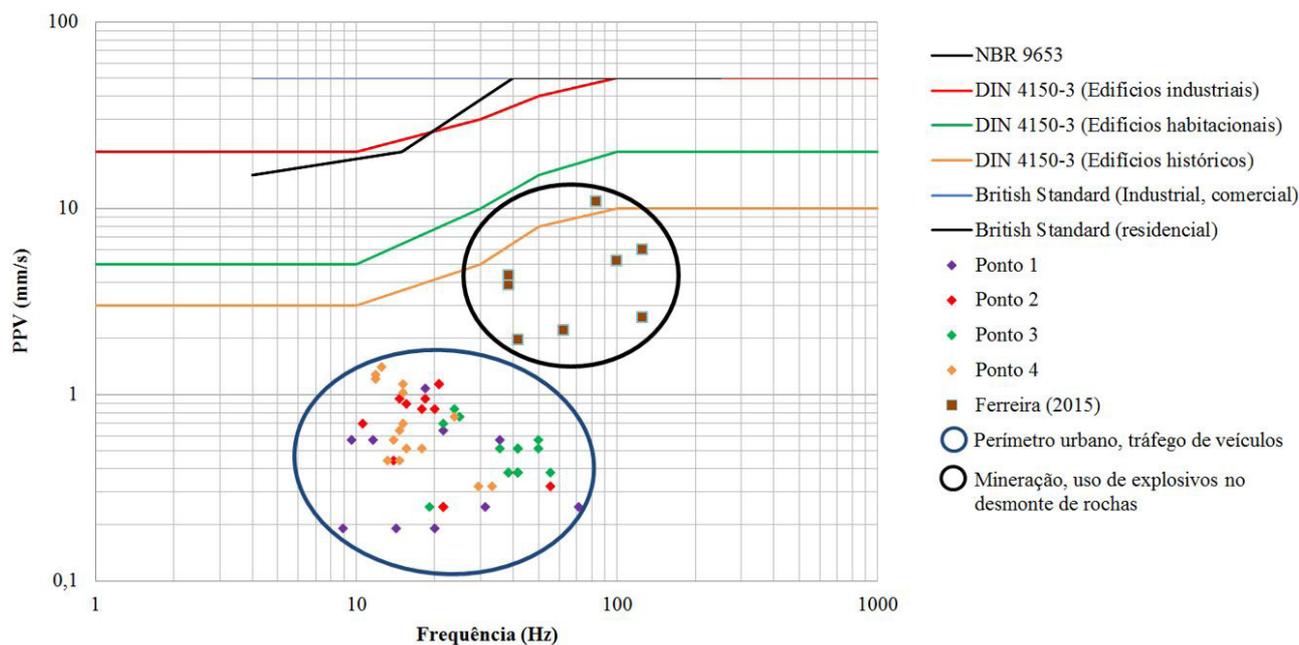
Já em relação ao ruído, na Figura 3 são apresentados os dados monitorados, bem como a representação gráfica dos limites estabelecidos pela NBR 9653 [4] e pela NBR 10151 [11].

A maior parte dos níveis de ruídos em perímetro urbano obtidos com o sismógrafo ficaram em um intervalo de 100 a 120 dB, sendo que um dos dados resultou no valor de 95 dB. Em comparação com os dados obtidos em ambiente de mineração, a maior parte variando de 120 a 134 dB com exceção de um dado que resultou em 85 dB, os dados coletados em perímetro urbano resultaram em valores um pouco inferiores a estes.

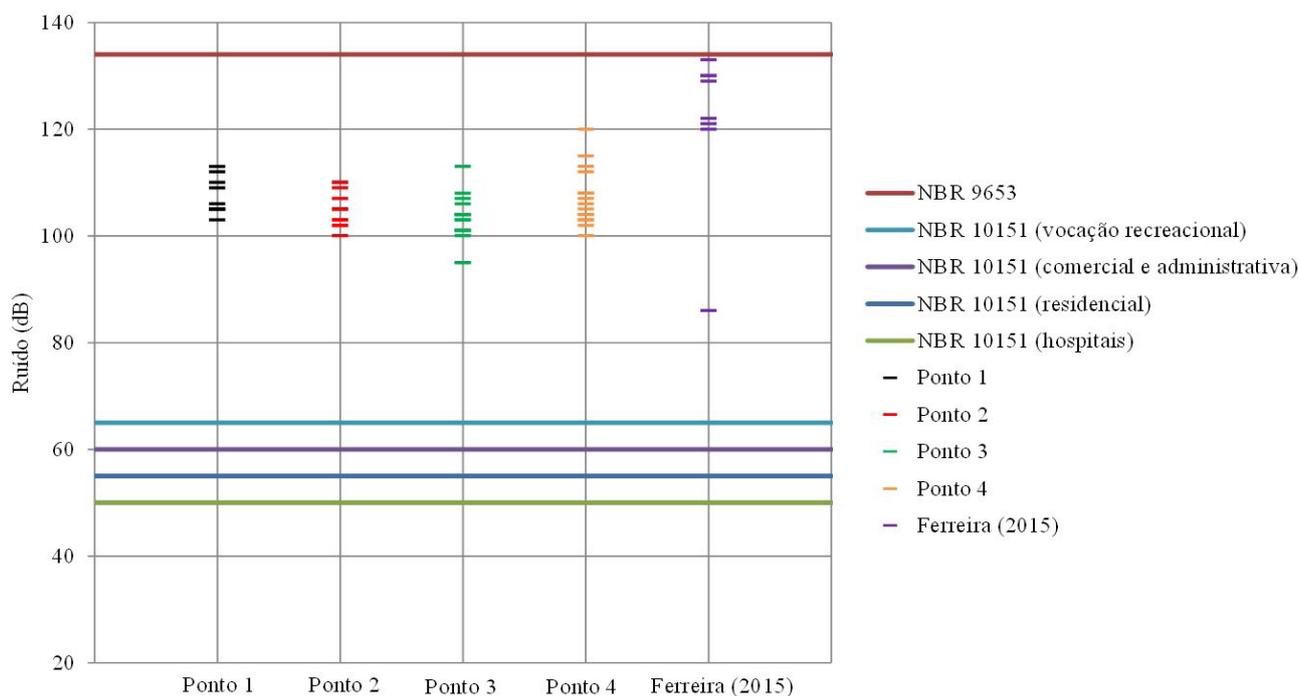
Percebe-se que o ruído gerado pelo tráfego de veículos e pelas detonações em ambiente de mineração são elevados, ambos são valores acima de 80 dB. Neste sentido, consideram-se de maior gravidade os dados obtidos pelo tráfego de veículos, pois são comparados principalmente pela linha de limite estabelecido pela NBR 10151 [11] para avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. Além disso, os valores elevados de ruído são praticamente contínuos ao longo do dia, enquanto os ruídos provocados pelo desmonte acontecem preferencialmente em dois horários por dia.

Dentre os valores obtidos de velocidade de pico de partícula (PPV) nos três eixos ortogonais, nenhum deles ultrapassou os limites estabelecidos pelas normas NBR 9653 [4], o que demonstra a ausência de risco no que se refere a danos em estruturas. Porém, as vibrações também afetam o ser humano que são muito sensíveis, com o limiar de percepção no intervalo de 0,14 mm/s a 0,3 mm/s de PPV. A exposição do ser humano a altos níveis de vibração e ruído pode ser um perigo grave a saúde.

É importante ressaltar que apesar dos valores baixos de PPV, o dano causado às estruturas pode ser de origens diversas, como o tipo de estrutura e sua fundação, o



**Figura 2.** Representação gráfica dos valores de velocidade de pico de partícula em relação à frequência. A linha limite estabelecida pela NBR 9653 [4] e British Standard (residencial) [7] são equivalentes.



**Figura 3.** Representação gráfica dos valores de ruído obtidos nos pontos de monitoramento.

deslocamento diferencial da onda quando atinge a estrutura ou fatores intemperes (Sol, chuva, umidade, influenciados pelo tempo). Além disso, salienta-se que a norma nacional não faz referência ao tipo de estrutura monitorado, como a norma alemã e britânica, que antes da definição dos limites de PPV, dividem e classificam os tipos de estruturas como vimos anteriormente. Ainda assim, adequando os resultados obtidos ao menor limite estabelecido pelas normas percebe-se que os valores estão abaixo dos limites estabelecidos na Alemanha (DIN 4150 [10]) e na Inglaterra (British Standard [12]). Os ruídos analisados não ultrapassam o limite estabelecido da norma NBR 9653 [4], mas ultrapassaram os limites estabelecidos pela norma NBR 10151 [11]. Assim como a vibração, a exposição do ser humano a altos níveis de ruído pode ser um perigo grave a saúde.

#### 4 CONCLUSÕES

Ao se analisar detalhadamente os resultados obtidos, pode-se observar que a maior parte dos dados de vibração, obtidos em perímetro urbano resultaram em valores abaixo do que comparado aos obtidos na mina. Em relação aos níveis de ruídos obtidos com o sismógrafo, os dados coletados em ambiente de mineração resultaram em valores um pouco inferiores aos dados coletados em perímetro urbano, mas ambos são valores altos de ruído. Os valores de vibração e ruído poderiam ser significativamente reduzidos com a mudança do tipo de pavimento, onde a pavimentação asfáltica de boa qualidade e melhorias na manutenção das vias também ajudaria a reduzir esses valores devido ao baixo

amortecimento da suspensão dos veículos, reduzindo assim os impactos dos veículos na pavimentação ou até mesmo da lataria em contato com o pavimento devido a irregularidades nas vias, ocasionando assim em níveis baixos de vibração e ruído. Este aspecto deveria ser considerado principalmente para zonas mais sensíveis, como a vizinhança de prédios históricos, hospitais e escolas.

Os maiores níveis de vibração e ruído são representativos do tráfego de veículos pesados, principalmente caminhões, que tem sua passagem como acesso principal à cidade de Lavras do Sul pela RS 357 que passa pelo meio da cidade abrangendo as ruas monitoradas 1,2 e 4, uma opção para redução tanto do ruído quanto da vibração seria a realocação da RS 357, para que contornasse a cidade ou houvesse uma ligação da BR 290 à RS 357 de maneira que não passasse pelo perímetro urbano, assim reduzindo significativamente os impactos proporcionados pelas vibrações e ruídos. Os níveis elevados de vibração e ruído afetam as estruturas, mas também afetam o ser humano ocasionando problemas de saúde como: estresse, ansiedade, irritação e perturbando a concentração, o sono, o trabalho e o lazer.

As diferenças apresentadas pelos dados de vibração e ruído obtidos em ambiente mineiro e ambiente urbano são justificadas pela fonte de vibração e ruído nos ambientes: o desmonte de rocha com o uso de explosivos (ocorrência ocasional, duas vezes ao dia) no caso da mineração e, em se tratando do perímetro urbano, o tráfego de veículos (ocorrência contínua ao longo do dia).

A prática de monitoramentos de vibração e ruídos em perímetro urbano deveria ser mais existente no país, apesar dos valores estarem abaixo dos limites estabelecidos

pelas normas, em cidades maiores e com tráfego intenso de veículos estes níveis poderiam ser mais elevados. Enquanto que em ambiente de mineração, os cuidados no planejamento e execução do desmonte de rochas poderiam prevenir e reduzir níveis elevados de vibração e ruído, principalmente

se a mineração estiver próximo do perímetro urbano, pois os valores elevados de vibração e ruído afetariam diretamente as estruturas (ocasionando deslocamento da fundação e rachaduras nas paredes e pisos) e as pessoas (afetando a saúde física e mental).

## REFERÊNCIAS

- 1 Departamento Nacional de Trânsito. Frota nacional [acesso em 1 out. 2015]. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>
- 2 Porcher CA, Lopes RC, Fonseca JA. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Brasília: Ministério de Minas e Energia/CPRM; 2000. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A.
- 3 Bernardo PAM. - Impactos ambientais do uso de explosivos na escavação de rochas, com ênfase nas vibrações. [dissertação]. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa; 2004.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9653 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. Rio de Janeiro: ABNT; 2005.
- 5 Sarsby R. Environmental geotechnics. Londres: Thomas Telford Ltd.; 2000.
- 6 Correia RM. Efeitos locais de amplificação sísmica pelos solos. Revista da SPG. 2003;5-44.
- 7 British Standard. BS 5228-2: Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites: part 2: vibration. London: BS; 2009.
- 8 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12179 – Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT; 1992.
- 9 British Standard. BS 5228-1: Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites: part 1: noise. London: BS; 2009.
- 10 Deutsches Institut Fur Normung. DIN 4150-3: Vibration in buildings, effect in structures. Berlin: DIN; 1999.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade- Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT; 2000.
- 12 British Standard. BS 7385-1: Evaluation and measurement for vibration in building: part 1: guide for measurement of vibrations an evaluation of their effects on buildings. London: BS; 1990.
- 13 Technoblast Serviços de Detonação e Sismografia Ltda. GeoSonics 3000 EZ Plus: Safeguard Seismic Unit. São Paulo: Technoblast; 2011.
- 14 Ferreira ALC. Análise dos impactos de vibrações e ruídos em estruturas próximas de áreas de lavra com desmonte de rocha com explosivo [trabalho de conclusão de curso]. Caçapava do Sul: Universidade Federal do Pampa; 2015.
- 15 Geosonics. Net analysis compliance software. Warrendale: Geosonics; 2010.

Recebido em: 7 Ago. 2017

Aceito em: 16 Out. 2017