



Coordenadoria de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Curso Superior de
Tecnologia em Mineração

Autorizo a divulgação deste Trabalho de Conclusão de Curso na
Biblioteca da Unipampa / Campus Caçapava do Sul

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

Caçapava do Sul
2016

CAIO CESAR VIVIAN GUEDES OLIVEIRA

Análise Comparativa dos Níveis de Vibração e Ruído em Perímetro Urbano e Ambiente de Mineração

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mineração da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo em Mineração.

Orientador(a): Luis Eduardo de Souza

Caçapava do Sul
2016

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

Caio Cesar Vivian Guedes Oliveira

Orientador: Luis Eduardo de Souza

RESUMO

O crescimento demográfico nos últimos anos, principalmente em países subdesenvolvidos, resulta em um aumento da circulação de veículos em zonas urbanas. 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 (principalmente pesados) e da operação de equipamentos de construção civil. Neste sentido, este trabalho busca fazer uma comparação dos dados de vibração e ruído obtidos em perímetro urbano com os obtidos em ambiente de mineração, baseando-se nos limites estabelecidos pela legislação nacional e internacional vigente. Os monitoramentos de vibrações e ruído foram realizados por meio de microssismógrafos de engenharia. O trabalho desenvolveu-se no perímetro urbano do município de Caçapava do Sul, onde foram realizados monitoramentos em quatro pontos (ruas) de maior intensidade de tráfego de veículos, abrangendo a RS 357 que passa através do município. Os dados obtidos em perímetro urbano resultaram em valores inferiores quando comparados aos resultados obtidos em ambiente de mineração, devido a diversos fatores, entre eles à fonte de geração das vibrações e ruídos ser diferentes. Os resultados dos monitoramentos realizados não ultrapassaram os limites estabelecidos pela NBR 9653, enquanto que os dados de ruídos ultrapassaram os limites estabelecidos pela NBR 10151. Visando os impactos causados foram dadas sugestões, entre elas que houvesse a prática de monitoramentos de vibração e ruídos em perímetro urbano de forma mais constante no país, para que possa haver um controle do que realmente está impactando ou não às pessoas e construções no perímetro urbano. Permitindo e facilitando a implantação de medidas de planejamento no tráfego dos municípios.

Palavras-chave: Caçapava do Sul, monitoramento sismográfico, tráfego de veículos, normas, mineração.

1. Introdução

Atualmente a especulação imobiliária é uma das causas para o adensamento urbano, provocando o efeito das ilhas de calor, que resulta em microclimas desconfortáveis à população, reduzindo a eficiência energética das edificações devido à necessidade de climatização artificial. O desconforto e possíveis danos estruturais são efeitos ocasionados pela energia vibratória gerada no meio urbano. Essa causa de incômodo normalmente é diminuída pelo distanciamento entre a fonte de vibração (ruas e estradas) e o seu receptor (edificações), sendo este definido pelos planos diretores dos municípios. Entretanto, o adensamento urbano provoca a redução desse recuo, com o objetivo de aumentar a área ocupada dos terrenos ou para a abertura e alargamento de ruas e avenidas. Neste sentido, a principal forma de atenuação dos efeitos da vibração entre a fonte e o receptor é consideravelmente reduzida ou até mesmo descartada (Brito, 2013).

Segundo a norma DIN 4150-3 (Deutsches Institut Fur Normung, 1999), a vibração gerada próximo às estruturas pode ocasionar danos estruturais em algumas situações e apenas a incomodidade em outras. As edificações que possuem estrutura em aço ou concreto suportam níveis de vibração mais altos do que construções antigas, estruturas em alvenaria de

tijolo ou madeira. No Brasil, não há uma normatização específica para o assunto, sendo a norma mais próxima a NBR 9653 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), que não aborda sobre a vibração induzida pelo tráfego de veículos, sendo indicada para situações de detonação e desmonte de rochas.

Segundo Pontes (2013), a vibração e o ruído estão dentre os principais impactos relacionados com o desmonte de rochas realizado com explosivos, pois são os que estão mais sujeitos às reclamações da vizinhança no entorno das áreas de mineração. A execução de um planejamento inadequado para o desmonte de rochas com explosivos pode colocar em risco a saúde dos trabalhadores expostos a esta atividade como também a saúde da população do entorno e suas estruturas, além de causar danos ao meio ambiente.

Em perímetro urbano, deve-se levar em consideração a faixa de frequência induzida pela onda vibratória que se propaga pelo solo da edificação. Os componentes da edificação, como paredes e pisos, possuem frequências naturais maiores que as da estrutura, sendo mais influenciados pela vibração contínua, devido ao baixo amortecimento. Em condições severas, como em solos não coesivos ou arenosos de baixa resistência, é possível que haja o acoplamento das ondas vibratórias com as fundações de uma estrutura (British Standard, 1993).

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 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

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 (DENATRAN, 2015), sendo em grande parte veículos de passeio (carros e motos), mas também possui uma quantidade significativa de veículos

pesados (caminhões e ônibus) (Figura 2). Os veículos pesados tem uma influência muito maior do que os leves, apesar da diferença de quantidade, pois é um município onde o fluxo de transporte de carga é constante e passa por dentro da cidade, através da RS 357.

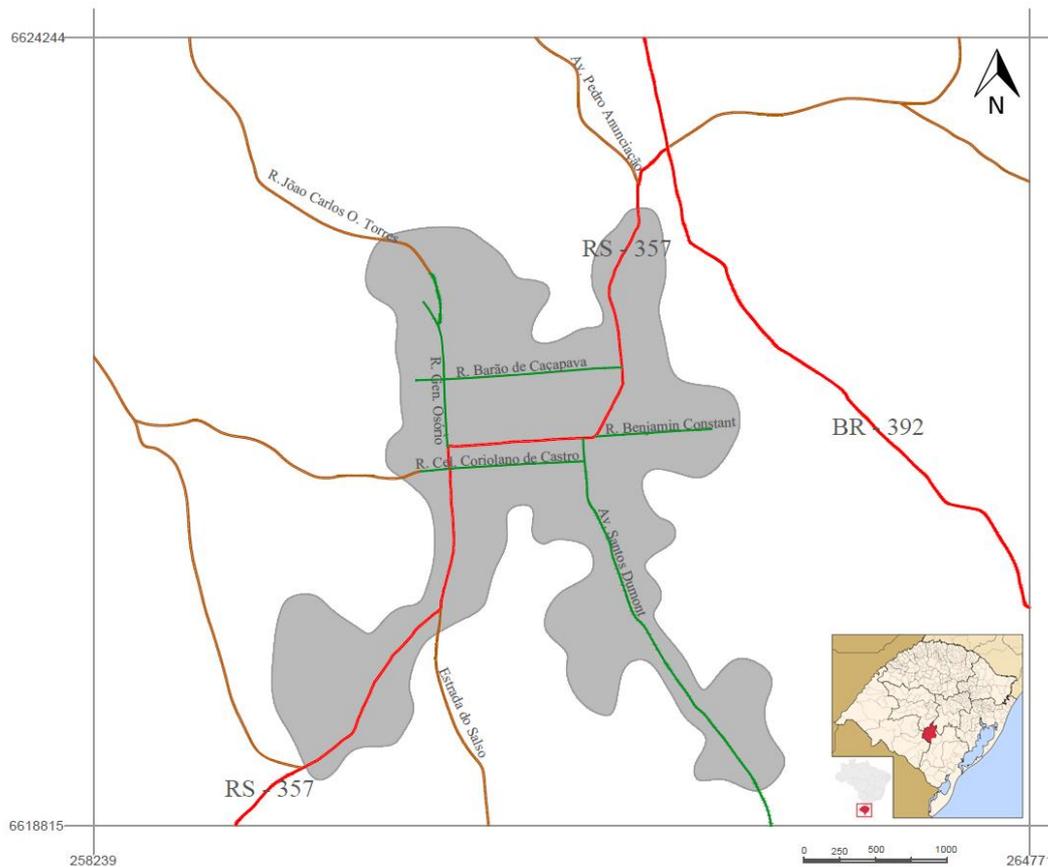


Figura 1 – Mapa de localização, em cinza área de estudo no município de Caçapava do Sul.

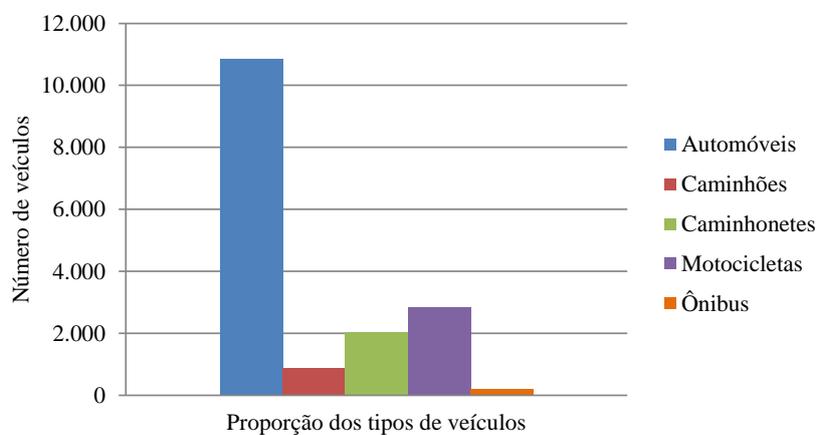


Figura 2 – Distribuição da frota municipal de veículos em Caçapava do Sul – RS, onde se pode observar uma grande quantidade de automóveis e cerca de 900 caminhões (DENATRAN, 2015).

1.2 Contexto Geológico da Área

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 protomilonítica ao longo das bordas do corpo granítico. Como podemos observar na Figura 3, a SGCS possui uma forma de corpo elíptico com o eixo maior orientado na direção N-S, com cerca de 25 km de extensão. Esta compreende dois corpos graníticos intrusivos no Complexo Metamórfico Vacacaí, sendo que este complexo forma um cinturão metamórfico no entorno da SGCS (Porcher *et al.*, 2000).

O solo é classificado como Podzólico (horizonte A seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes, apresenta horizonte B de cor avermelhada até amarelada). São eutróficos e distróficos (solos de fertilidade alta e moderada), textura média cascalhenta e argilosa, com relevo ondulado e forte ondulado (IBGE, 2015).

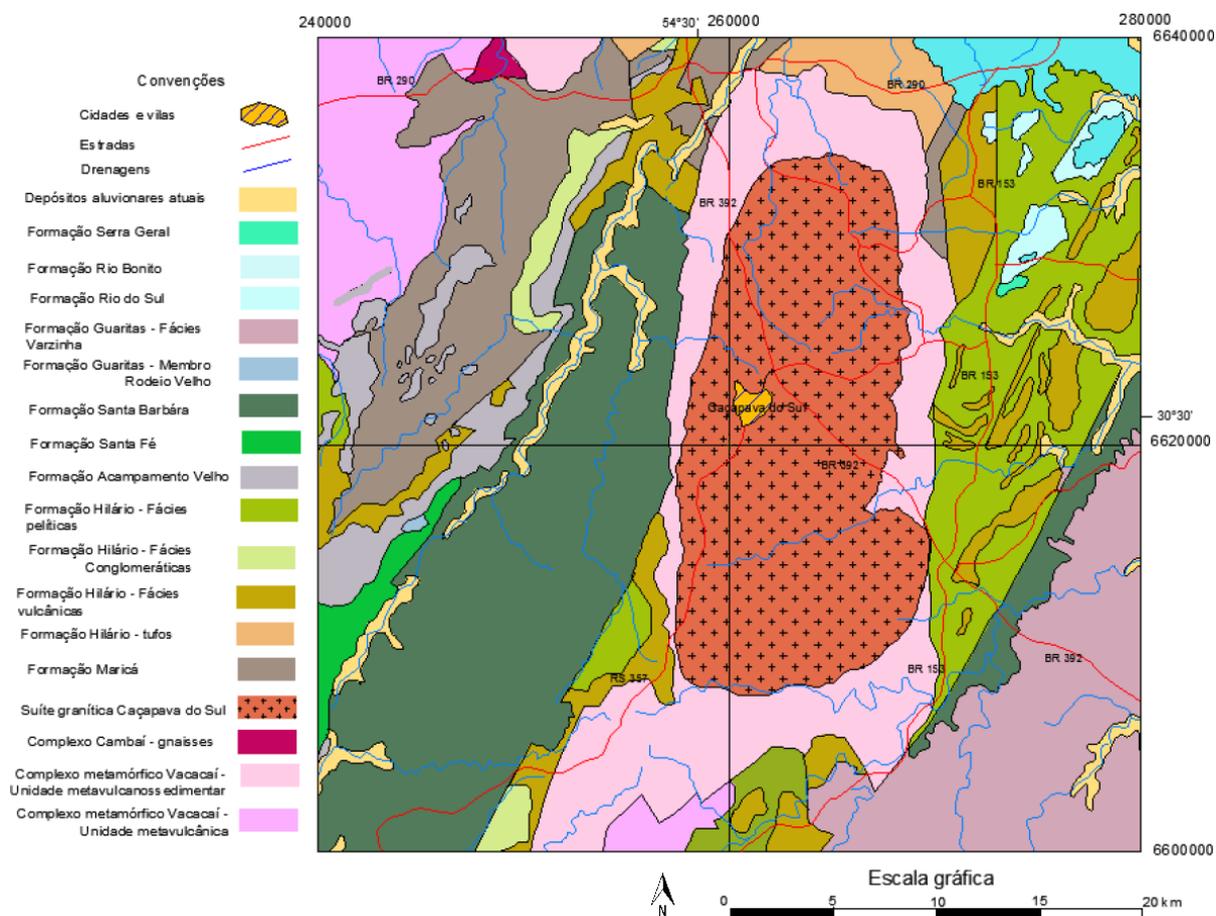


Figura 3 – Mapa geológico regional (adaptado de Dorneles, 2013).

2. Estado da Arte

2.1 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 (Bernardo, 2004).

Segundo a NBR 9653 (ABNT, 2005), 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.

Sarsby (2000) classifica as vibrações dos terrenos em três grupos:

- contínuas – quando um nível de vibração aproximadamente constante é mantido por um longo período de tempo, como no caso de instalações industriais ou correias transportadoras;
- transitórias – se os níveis de vibração resultam de um impacto súbito, seguindo de um tempo de repouso relativamente prolongado, como as provocadas pelo desmonte de rochas;
- intermitentes – no caso de se verificar uma sucessão de eventos vibratórios, cada um dos quais com pequena duração, caso do trânsito de equipamentos ou veículos.

Segundo Sarsby (2000), 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 (Correia, 2003).

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 (British Standard, 2009b).

Conforme já mencionado, 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 (ABNT, 1992) 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 (British Standard, 2009a).

2.2 Legislação

Segundo a norma britânica (British Standard, 2009b), 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 (ABNT, 2005) estabelece limites máximos de velocidade de partícula por faixas de frequência para situações de detonação e desmante de rochas, de acordo com o representado na Figura 4. Também são poucos trabalhos desenvolvidos nessa área do conhecimento, no entanto são citados a seguir alguns trabalhos realizados no perímetro urbano como o trabalho de (De Souza *et al*, 2015), que trata da avaliação de impacto com ruído e vibração em perímetro urbano, Brito (2013) que fala sobre as principais fontes de vibração no meio urbano e uma dissertação de mestrado que trata do ruído gerado pelo tráfego de veículos em perímetro urbano (Calixto, 2002).

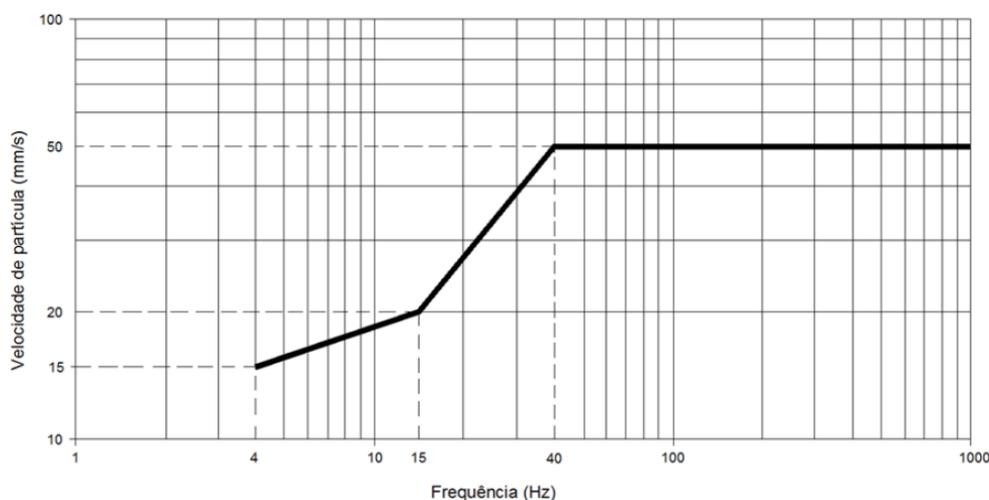


Figura 4 – Limites de velocidade de vibração de pico de partícula por faixas de frequência estabelecidos pela NBR 9653 (ABNT, 2005).

Da mesma forma, a norma alemã DIN 4150-3 (Deutsches Institut Fur Normung, 1999) 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 alemã coloca ainda que, para melhor interpretação dos resultados, deve-se levar em conta:

- intensidade das vibrações;
- características dinâmicas dos materiais das estruturas e edificações;
- características do subsolo sobre o qual as estruturas estão assentadas.

Para uma avaliação precisa em estruturas, deve ser registrado o movimento do pico de partícula em termos de três componentes mutuamente perpendiculares (vertical, transversal e longitudinal) sobre a fundação da estrutura. A Figura 5 apresenta os limites estabelecidos pela norma alemã para a velocidade de pico de partícula em função da frequência, de acordo com o tipo de estrutura (Deutsches Institut Fur Normung, 1999).

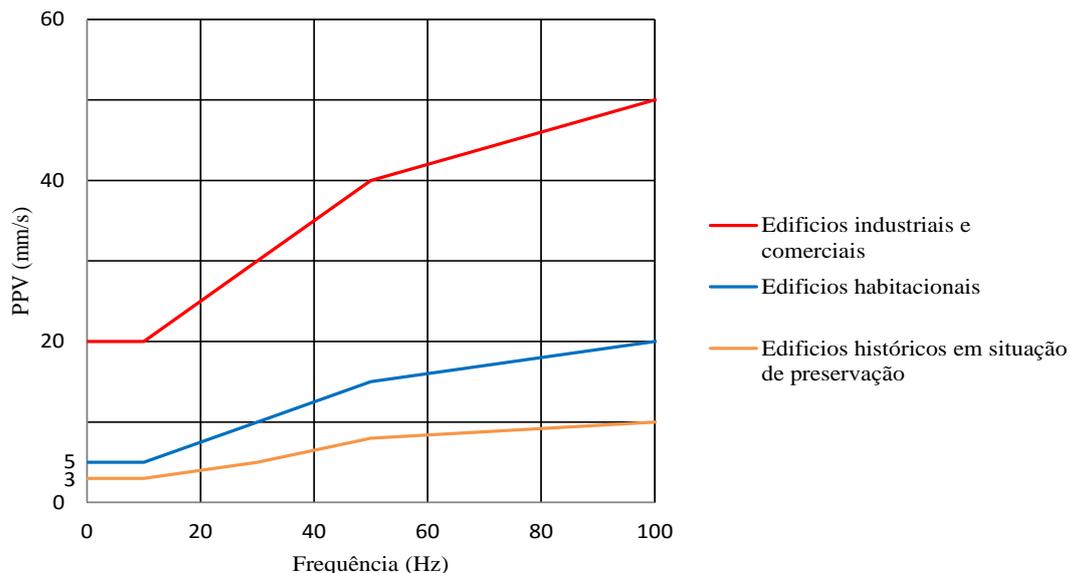


Figura 5 – Curvas de referência para velocidade de vibração, para ser usado ao se avaliar os efeitos das mesmas sobre as estruturas (adaptado de Deutsches Institut Fur Normung, 1999).

A norma NBR 9653 (ABNT, 2005) 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 (ABNT, 2000) 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 1.

Tabela 1 – NCA para ambientes externos, em dB, de acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2000).

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

Tão importante quanto os níveis de ruído é também o tempo a que um indivíduo pode ficar exposto, sendo que a Tabela 2 mostra os tempos máximos recomendados pela NR 15 (Ministério do trabalho, 1978) de acordo com o nível de pressão sonora.

Tabela 2 – Limites de tolerância para ruído de acordo com a NR 15 (Ministério do trabalho, 1978).

Nível de ruído (dB)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

2.3 Fatores que Influenciam na Intensidade da Vibração

2.3.1 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, predominante nas vias de Caçapava do Sul) 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 (British Standard, 1990).

2.3.2 Geologia

Segundo a norma britânica (British Standard, 2009b), as vibrações transmitidas através de solos moles geralmente têm uma baixa frequência, enquanto em solos mais densos ou rochas a frequência é consideravelmente maior. A norma também aborda os seguintes conceitos na análise de influência da geologia sobre a vibração:

- a magnitude da vibração é determinada pelas características da fonte de vibração, as propriedades do solo escavado e do solo entre a fonte de vibração e o receptor;
- a velocidade de propagação da onda no solo é inversamente proporcional à energia vibratória induzida nas edificações;
- nos solos mais rígidos a propagação da energia vibratória ocorre em maiores velocidades, sendo que as tensões geradas nas fundações conseqüentemente são menores;
- solo de camadas múltiplas pode complicar e modificar magnitudes e estimativas.

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.

2.3.3 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 μ 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 (British Standard, 1990).

As ondas sísmicas são caracterizadas por diferentes tipos de movimento cujas representações podem ser observadas na Figura 6. Nas ondas primárias (P), as partículas do meio vibram paralelamente à direção de propagação. Nas ondas secundárias (S), as vibrações das partículas são perpendiculares à direção de propagação. As ondas L o solo é movimentado lateralmente, com oscilação horizontal transversal e sem movimento vertical (Grotzinger & Jordan, 2013).

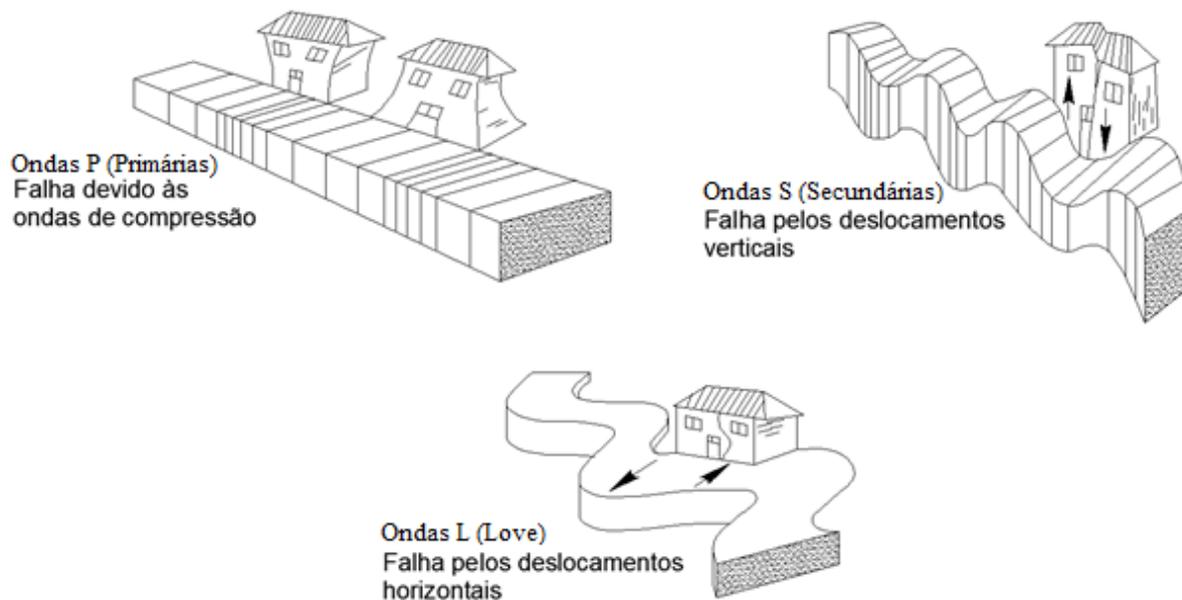


Figura 6 – Efeito sobre as estruturas dos diferentes tipos de vibração no terreno (modificado de Tamrock, 1984).

3. 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® (Technoblast, 2011).

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, com taxa de coleta de 1000 amostras/segundo, 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, 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. Também utilizou-se um decibelímetro para comparação de dados de ruídos medidos em dB (decibéis) (Figura 7).



Figura 7 – Decibelímetro utilizado para obtenção de valores de ruído (dB).

Foram coletados cerca de 60 dados utilizando o decibelímetro, mas estes dados não entraram na análise comparativa deste estudo, pois a captação através do equipamento não foi precisa. Além disso, como o equipamento não possuía sistema de configuração de coleta e armazenagem de dados, os resultados obtidos de ruído só eram demonstrados pelo visor do mesmo, o qual mostra em tempo real a oscilação a todo instante dos ruídos gerados. As marcações dos tempos eram de 5 segundos de intervalos (o mesmo tempo de coleta utilizado pelo sismógrafo) cronometrados em relógio e anotados rapidamente, podendo haver erro humano nesse procedimento. Analisando os dados posteriormente os valores variavam em torno de ± 10 dB em relação ao obtido com o microsismógrafo de engenharia. Foi elaborado dois gráficos de correlação entre os valores de ruídos medidos pelo sismógrafo e pelo decibelímetro para melhor interpretação dos dados (Figura 8).

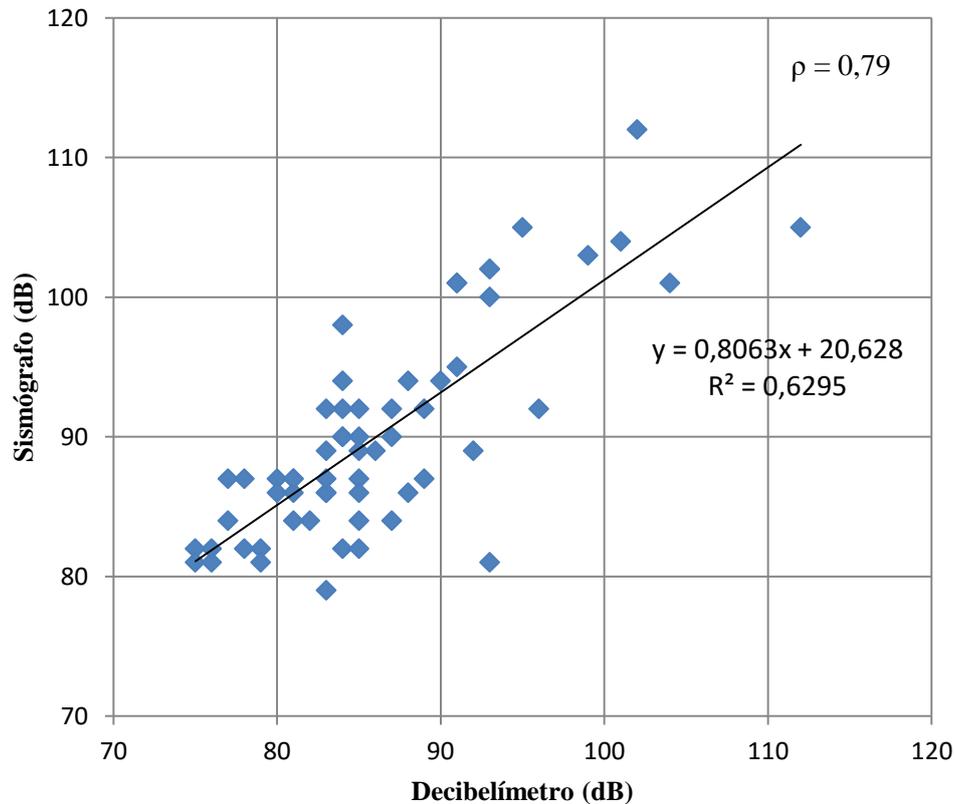


Figura 8 – Gráfico mostrando a reta e a equação de regressão, onde ρ é o coeficiente de correlação e R^2 é o coeficiente de determinação.

Os gráficos mostram que há uma correlação média para forte entre os dados obtidos através do decibelímetro em relação aos obtidos no sismógrafo. Foi calculado o coeficiente de determinação (R^2) que resultou em 0,6295, ou seja, 62,95 % dos dados de ruídos coletados pelo sismógrafo são representativos dos dados coletados pelo decibelímetro, mas não sendo o suficiente para realização de análise comparativa com as normas.

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 (2015) 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.

Na Figura 9 pode-se observar a localização dos quatro pontos de monitoramento que 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 sinaleiras, visando à captação de ruído e vibração real gerada pelo tráfego.

O principal acesso a cidade de Lavras do Sul é através RS 357 que passa pelo meio da cidade abrangendo as ruas monitoradas 1 (Avenida Presidente Kennedy), 2 (Rua Benjamin Constant) e 4 (Rua General Osório).



Figura 9 – Planta de situação com a localização dos pontos monitorados, linha tracejada circunda o patrimônio histórico.

O Forte Dom Pedro II é considerado um patrimônio histórico do município, o qual deve ser preservado, assim como edifícios próximos a ele. Os pontos monitorados não

abrangeram o patrimônio histórico, pois não há ocorrência de tráfego de veículos pesados no local, mas esses edifícios não podem receber altos níveis de vibração devido à sua instabilidade e sensibilidade a impactos se comparados às estruturas que foram construídas nos últimos anos.

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 (Figura 10).

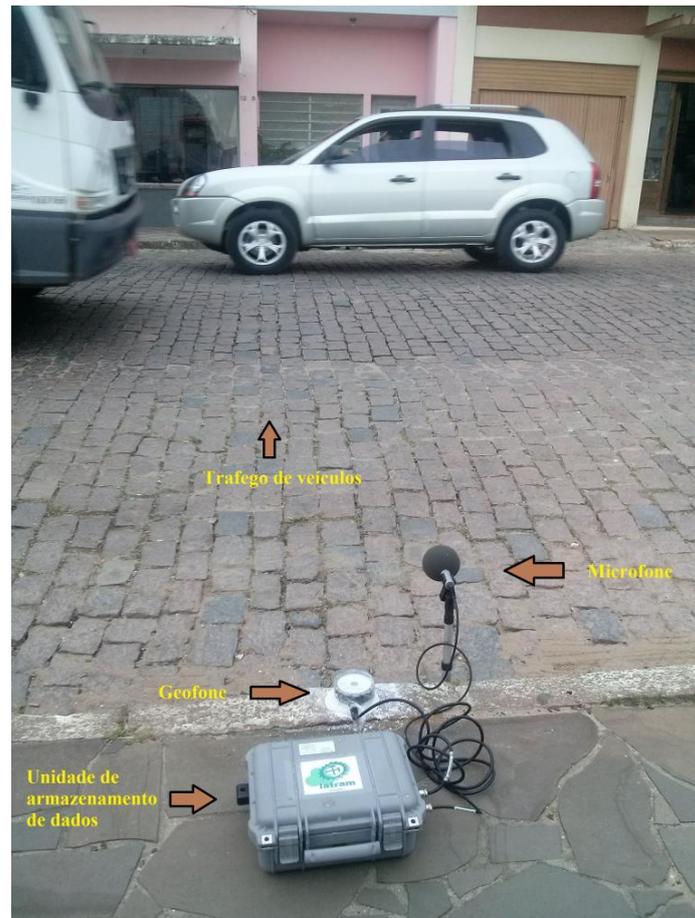


Figura 10 – Sismógrafo em monitoramento, utilização de gesso na fixação do geofone.

4. 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 (Figura 11). O *software* também salva relatórios em formato PDF com a descrição dos dados (GeoSonics, 2010).

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).

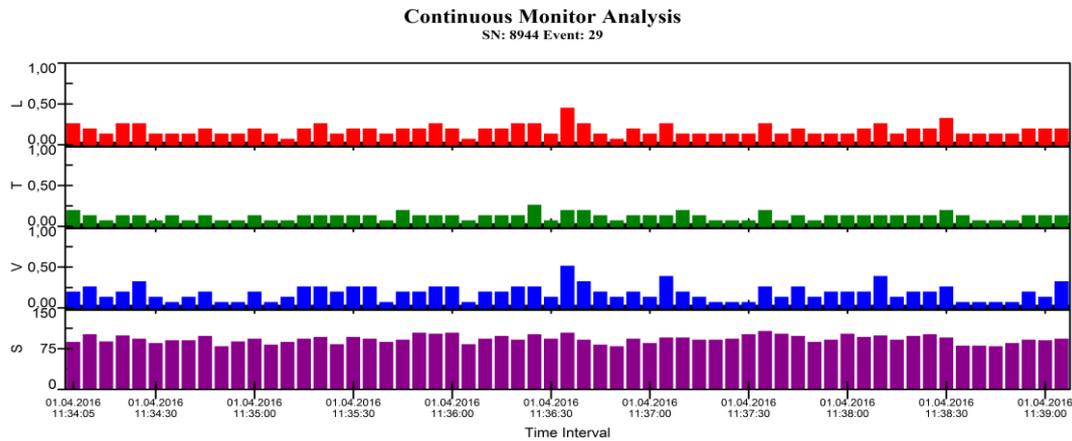


Figura 11 – Histograma gerado pelo software AnalisysNET, demonstrando níveis de vibração e ruído.

Para representação gráfica dos dados de vibração e ruído foram utilizados os valores demonstrados pelo *software* AnalisysNET, 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 (British Standard, 1990) 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 12) que mostra os limites das normas mencionadas neste estudo (NBR 9653, DIN 4150-3 e British Standard) analisando comparativamente com os dados de Ferreira (2015).

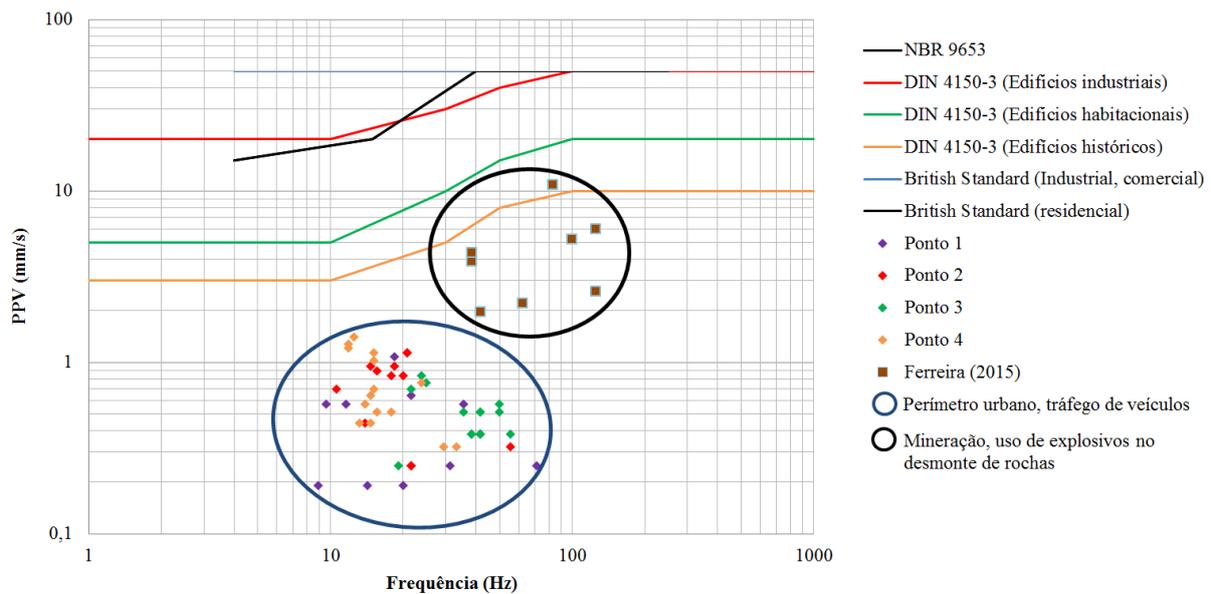


Figura 12 – Representação gráfica dos valores de velocidade de pico de partícula em relação à frequência. A linha limite estabelecida pela NBR 9653 e British Standard (residencial) são equivalentes.

Conforme se pode observar na Figura 12, 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, 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 13 são apresentados os dados monitorados, bem como a representação gráfica dos limites estabelecidos pela NBR 9653 e pela NBR 10151.

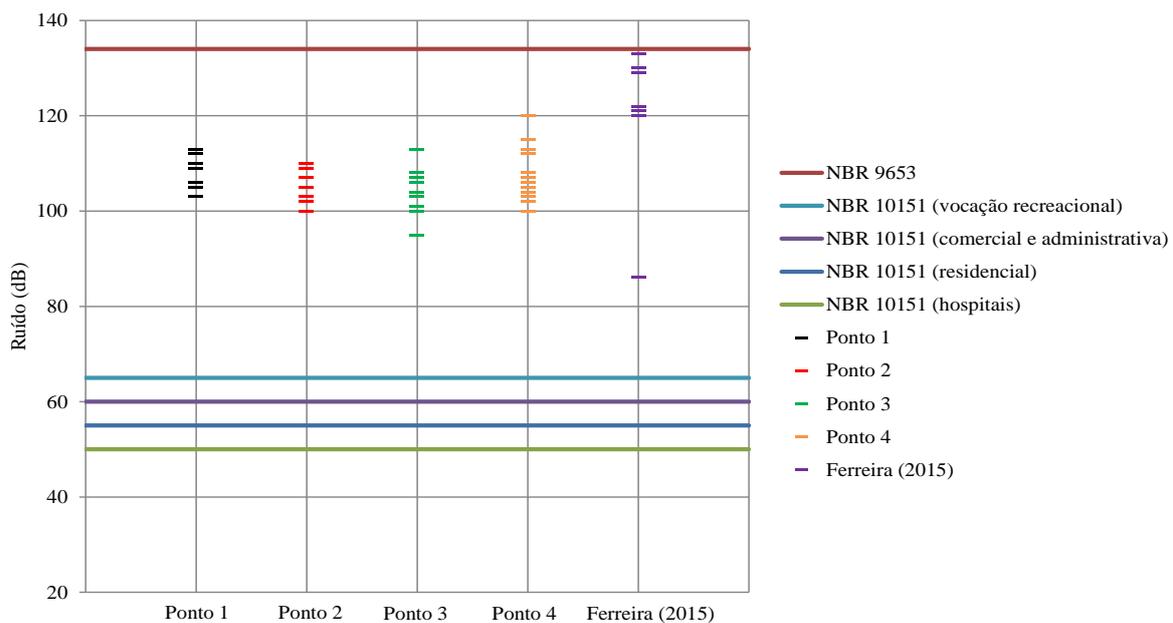


Figura 13 – Representação gráfica dos valores de ruído obtidos nos pontos de monitoramento.

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 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, o que demonstra a ausência de risco no que se refere a danos em estruturas.

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 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) e na Inglaterra (British Standard). Os ruídos analisados não ultrapassam o limite estabelecido da norma NBR 9653, mas ultrapassaram os limites estabelecidos pela norma NBR 10151.

5. Conclusões e recomendações

Ao se analisar detalhadamente os resultados obtidos, pode-se observar que a maior parte dos dados de vibração se manteve em um intervalo entre 0,19 e 1,4. Em comparação ao trabalho de Ferreira (2015), o qual foi desenvolvido em área de mineração, os dados de PPV obtidos em perímetro urbano resultaram em valores abaixo do que comparado aos obtidos na mina. Ainda assim, os valores de vibração poderiam ser significativamente reduzidos com a mudança do tipo de pavimento e melhorias na manutenção das vias, na qual a pavimentação asfáltica absorve mais os impactos dos veículos do que a pavimentação de paralelepípedos, ocasionando assim em níveis baixos de vibração. Este aspecto deveria ser considerado principalmente para zonas mais sensíveis, como a vizinhança de prédios históricos, hospitais e escolas.

Foi utilizado o decibelímetro com o objetivo de realizar uma análise comparativa dos níveis de ruídos, mas os dados de ruído coletados com o decibelímetro não entraram na análise comparativa, pois a captação através do equipamento não foi precisa e devido à correlação dos dados obtidos com sismógrafo não ser muito forte, a utilização do decibelímetro para captura de ruído oriundo de tráfego de veículos não é recomendado, pois seu modelo não possui características de captação e armazenagem de dados, mas podendo ser utilizados para coletas de pico de ruídos para diversas situações, pois o mesmo mostra claramente o ruído mais elevado quando selecionada a função desejada.

Em relação aos níveis de ruídos obtidos com o sismógrafo, a maior parte dos dados 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, mas ambos são valores altos de ruído. No entanto, esses valores poderiam ser reduzidos caso houvesse um correto controle na manutenção dos motores dos veículos, principalmente dos mais antigos que são os veículos predominantes no município de Caçapava do Sul, a pavimentação asfáltica de boa qualidade também ajudaria a reduzir um pouco 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 na via.

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 (vibrações transitórias, ocorrência ocasional, duas

vezes ao dia) no caso da mineração e, em se tratando do perímetro urbano, o tráfego de veículos (vibrações intermitentes, 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).

6. Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao professor Luis Eduardo de Souza, pela orientação, dedicação e disposição durante todo o projeto.

Aos professores Raul Neto, Régis Paranhos, Luciana Abichequer, Ítalo Gomes e Meise Paiva pela contribuição no meu aprendizado durante o curso.

À técnica do laboratório Angela Bertoi por todo auxílio e dedicação no desenvolvimento de tarefas que fizeram parte deste trabalho.

À minha namorada e companheira Darcilene que esteve ao meu lado durante todo o curso apoiando com compreensão e carinho.

7. Referências Bibliográficas

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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151** – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179** – Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

BERNARDO, P. A. M. - **Impactos ambientais do uso de explosivos na escavação de rochas, com ênfase nas vibrações**. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Minas. I.S.T. - U.T.L. Lisboa, 2004.

BRITISH STANDARD. **BS 5228-1**: Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites: part 1: noise. London, 2009a.

BRITISH STANDARD. **BS 5228-2**: Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites: part 2: vibration. London, 2009b.

BRITISH STANDARD. **BS 7385-1**: Evaluation and measurement for vibration in building: part 1: guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings. London, 1990.

BRITISH STANDARD. **BS 7385-2**: Evaluation and measurement for vibration in building: part 2: guide to damage levels from ground borne vibration. London, 1993.

BRITO, Luiz Antônio – **Vibração: fonte de incômodo à população e de danos às edificações no meio urbano** – Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Desenvolvimento Regional, Universidade de Taubaté, SP, 2013.

CALIXTO, A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisando sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2002.

CORREIA, R. M. **Efeitos locais de amplificação sísmica pelos solos**. ISSN 0379-9522. pp 5-44. Revista da SPG. LNEC. Lisboa, 2003.

De SOUZA, L. E.; DORNELES, F. T.; ZAGO, L. E. O.; ABICHEQUER, L. A.; NETO, R. O.; GONÇALVES, I. G.; MARQUES, R. S. **Avaliação de impacto com ruído e vibração em perímetro urbano**. ISSN 22361308. Pp 33-43. Revista Monografias Ambientais, UFSM, Santa Maria, RS, 2015.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4150-3**: Vibration in buildings, effect in structures. Berlin, 1999.

DORNELES, F. T. **Controle e previsão de vibrações e ruídos gerados por desmonte de rochas com explosivos**. Universidade Federal do Pampa. Trabalho de conclusão de curso. Caçapava do Sul, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota nacional**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>>. Acesso em 01/10/2015.

FERREIRA, A.L.C. **Análise dos impactos de vibrações e ruídos em estruturas próximas de áreas de lavra com desmonte de rocha com explosivo**. Universidade Federal do Pampa. Trabalho de conclusão de curso. Caçapava do Sul, 2015.

GEOSONICS. **Net Analysis Compliance Software**. Warrendale, PA, USA, 2010.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Understanding Earth**, sixth edition. Bookman editora, New York, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Diretoria de Geociências – DGC**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos.html>>. Acesso em 01/12/2015.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Segurança e medicina do trabalho - NR 15: Atividades e operações insalubres**. Consolidação das Leis Trabalhistas. Brasil, 1978.

PONTES, J.C **Impactos de vizinhança proporcionados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos: estudo de caso na mineração Dantas Gurgel & CIA LTDA, Caicó-RN**. 2013. 86 f. Tese (Doutorado em recursos naturais) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais Pós-Graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. C.; J. A. FONSECA. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Ministério de Minas e Energia, **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A**. Brasília, Distrito Federal, 2000.

SARSBY, R. **Environmental Geotechnics**. Thomas Telford, Londres. Reino Unido, 2000.

TAMROCK, **Handbook on susface drilling and blasting**. Painofaktorit, Finland, 1984.

TECHNOBLAST. **Serviços de detonação e sismografia ltda**. GeoSonics 3000 EZ ^{plus}: Safeguard Seismic Unit. São Paulo, 2011.