MICHIEL WICHERS

Ferramentas para o prognóstico do ruído ambiental em pedreiras

São Paulo
2017

MICHIEL WICHERS

Ferramentas para o prognóstico do ruído ambiental em pedreiras

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências

São Paulo
2017

MICHIEL WICHERS

Ferramentas para o prognóstico do ruído ambiental em pedreiras

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências

Área de concentração: Engenharia mineral

Orientador: Prof. Dr. Wilson Siguemasa
Iramina

São Paulo
2017

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catlogação-na-publicação

Wichers, Michiel

Ferramentas para o prognóstico do ruído ambiental em pedreiras / M. Wichers -- versão corr. -- São Paulo, 2017.
252 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Controle ambiental em mineração 2.Conforto acústico 3.Softwares (modelagem) 4.Mapa em isolinhas 5.Pedreiras I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Wilson Siguemasa Iramina, orientador na realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Médici de Eston, com quem iniciei minha trajetória acadêmica.

Ao Prof. Dr. Luiz Enrique Sánchez, por seus conselhos no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Sylvio Reynaldo Bistafa, pelos seus esclarecimentos no início dessa pesquisa.

Ao engenheiro Ciro Terêncio Russomano Ricciardi, da Prominer Projetos Ltda. pelo grande apoio para a execução desse trabalho, envolvendo o empréstimo de equipamentos, a disponibilização de equipe de apoio nas atividades de campo e o acesso às informações das pedreiras estudadas.

À equipe de monitoramento ambiental da Prominer Projetos Ltda., em especial ao Renan, Allan, Marcos, Gabriel, Nicolas e Caio, pelo apoio de campo.

Ao engenheiro Fernando Udiara Aoki, da Prominer Projetos Ltda. pelas dicas sobre bancos de dados e comandos SQL.

Ao engenheiro Rafael Zocatelli, da Brüel & Kjær, por ter possibilitado o empréstimo do equipamento de medição de intensidade sonora e da instalação da Estação de Monitoramento de Ruído.

Ao engenheiro Euclides M. Oliveira Neto, da Brüel & Kjær, pelo auxílio na operação da sonda de medição de intensidade sonora.

À engenheira Maria Luiza Belderrain, da CLB Engenharia, por possibilitar o uso dos *softwares* CadnaA e SoundPLAN.

A toda equipe do LACASEMIN (Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP pela amizade e apoio prestado, em especial à Renata, Diego, Daniel, Felipe e Neusa.

À Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL, pela concessão de um ano de licença para o desenvolvimento dessa pesquisa e aos colegas docentes dessa universidade pelo apoio.

Às gerências das pedreiras pesquisadas por permitir a realização das medições e pela disponibilização de informações. Também aos funcionários pelo importante apoio no desenvolvimento dos estudos.

Ao IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) do estado São Paulo por fornecer Modelos Digitais de Elevação atualizados das áreas das pedreiras em estudo.

Aos amigos João Cláudio Estaiano e Rosiane Mateus pelo auxílio na revisão do texto e na obtenção de bases cartográficas.

À minha querida família, Bart, Hannie, Theo, Margriet, Mirjam, Maria Luiza, Daniel e Geeske.

Um agradecimento especial à Camila, meu amor, por estar sempre ao meu lado, além do auxílio nas revisões, sugestões, e pela paciência e incentivo, em todas as horas.

RESUMO

Pedreiras se destacam pela intensa relação com as comunidades situadas em seu entorno, uma vez que a proximidade aos centros consumidores configura importante vantagem competitiva, por possibilitar uma redução nos custos de transporte. Essa proximidade, entretanto, também intensifica os impactos ambientais percebidos pela população. Dentre os impactos ambientais negativos destaca-se o ruído, gerado pela maior parte das atividades desenvolvidas em pedreiras. Um adequado prognóstico dos níveis de pressão sonora, durante a fase de licenciamento ambiental, permite minimizar o número de moradores expostos a esse incômodo. Um programa de monitoramento dos níveis de ruído constitui também uma ferramenta para indicar em quais locais do entorno as comunidades podem estar expostas a níveis de pressão sonora superiores aos padrões normativos. Para realizar um prognóstico dos níveis de ruído parte-se da potência sonora dos equipamentos. Esta informação, entretanto, não está disponível para a maior parte dos equipamentos utilizados em pedreiras. Para o prognóstico dos níveis de ruído existem pacotes de *software* revendidos pelos principais fabricantes de sonômetros que, entretanto, possuem preços elevados, além de não possuírem um banco de dados com potências sonoras para equipamentos de pedreiras. Dessa forma, são raros os estudos ambientais em pedreiras que contam com um adequado prognóstico ambiental de ruído. Neste estudo foram selecionadas três pedreiras de pequeno, médio e grande porte para levantamentos de campo. Os três empreendimentos mineiros apresentam conflitos com as comunidades relacionados com o ruído. Por meio de medições de níveis de pressão e de intensidade sonoras, foram determinados os níveis de potências sonoras de equipamentos empregados na lavra e na britagem para essas três pedreiras. Existem na bibliografia diversos modelos de atenuação do ruído com a distância, incorporando fatores como barreiras, reflexões no solo, presença de vegetação, absorção pelo ar, parâmetros meteorológicos, entre outros. Estes modelos variam em complexidade, em quantidade de informações de entrada necessárias e em precisão. Foram comparados os resultados de três modelos: o modelo que considera apenas a divergência geométrica das ondas sonoras, o modelo da OCMA (*Oil Companies Materials Association*) e o modelo da norma ISO 9613. O modelo da norma ISO 9613, mais complexo, requer mais dados de entrada, mas fornece, por outro lado, resultados consideravelmente mais precisos que os outros dois modelos. Desenvolveu-se um *software*, denominado PROGNOISE, baseado na norma ISO 9613, que representa uma alternativa gratuita aos *softwares* comerciais e que, em conjunto com as potências sonoras das máquinas e equipamentos determinadas neste trabalho, formam uma ferramenta acessível para o prognóstico do ruído ambiental em pedreiras.

Palavras-chave: Pedreiras. Ruído ambiental. Prognóstico de ruído. Monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Quarries stand out by the intense relationship with communities located in its surroundings. The proximity of these mines to consumer centers constitutes an important competitive advantage, allowing a reduction in transportation costs. This proximity, however, also intensifies the environmental impacts perceived by the population. Among the negative environmental impacts, we can highlight noise generated by most activities in quarries. A proper prognosis of sound pressure levels during the environmental licensing phase minimizes the number of residents exposed to this nuisance, providing indication of areas where high levels are expected and required to be incorporated into the boundaries of the enterprise, the locations indicated for deployment of the processing facilities aiming at smaller spread of noise for residential areas, or indicating locations for implementation of noise barriers. An environmental noise monitoring program is also a tool to indicate locations in the surrounding communities that may be exposed to sound pressure levels exceeding the regulatory standards. A forecast of noise levels starts with the sound power of equipment. This information, however, is not available for most of the equipment used in quarries. There are software packages resold by leading sound level meter manufacturers for prognosis of noise levels, which, however, have high prices, in addition to not having a sound power database for quarries. In this way, only few environmental studies for quarries have a proper environmental noise prognosis. In this study, we selected three quarries for field surveys: small, medium and large sized. These three quarries are facing noise conflicts with the community. The sound power levels of the main mining equipment used in quarries were determined through sound pressure levels. There are several noise forecasting models in the bibliography, incorporating factors such as barriers, reflections on the ground, presence of vegetation, air absorption and meteorological conditions, among others. These models vary in complexity, in amount of necessary input information, and precision. The results of three models were compared: a simple model considering only the geometric divergence of sound waves, the OCMA (Oil Companies Materials Association) model and the ISO 9613 standard model. While the ISO 9613 standard model requires more input data and is more complex, it provides on the other hand considerably more accurate results than the other two models. A software, called PROGNOISE, was developed based on the ISO 9613 standard, which represents a free alternative to commercial software and, together with the sound power of the machines and equipment determined in this study, form an accessible tool for the prognosis of environmental noise in quarries.

Keywords: Quarries. Environmental noise. Noise prognosis. Environmental monitoring.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização de algumas pedreiras situadas no entorno da Região Metropolitana de São Paulo	24
Figura 2.1 – Curvas isofônicas	32
Figura 2.2- Curvas ponderadoras A, B, C e D	33
Figura 3.1 – Campos sonoros	40
Figura 3.2 – Pontos recomendados para posicionamento dos microfones sobre uma hemisfera hipotética	44
Figura 3.3 – Locais recomendados para posicionamento dos microfones sobre um paralelepípedo hipotético para determinação da potência sonora de uma fonte pequena, onde $L_1 \leq d$, $L_2 \leq d$, $L_3 \leq 2d$	45
Figura 3.4 – Locais recomendados para posicionamento dos microfones sobre um paralelepípedo hipotético para determinação da potência sonora de uma fonte grande, onde $4d < L_1 \leq 7d$, $d < L_2 \leq 2d$, $2d < L_3 \leq 5d$	45
Figura 3.5 – Sonda medidora de intensidade sonora e console para processamento dos sinais modelo 2270, da Brüel & Kjær	48
Figura 3.6 – Superfície hipotética sobre a qual se mede uniformemente, na direção normal à fonte, a intensidade sonora	49
Figura 3.7 – Influência do espaçador da sonda de intensidade no limite superior de frequência.....	51
Figura 3.8 – Exemplos de movimentação de varredura da sonda de medição de intensidade sonora	53
Figura 4.1 – Atenuação do ruído com a distância para fontes pontuais, lineares e de área	59
Figura 4.2 - Atenuação pela absorção do ar em função da frequência central de banda de oitava, umidade relativa e temperatura	62
Figura 4.3 – Coeficientes de atenuação atmosférica por banda de oitava em função da temperatura e umidade relativa	64
Figura 4.4 – Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação em função da distância e da absorção do ar	64
Figura 4.5 – Efeito de difração das ondas de frequências graves, médias e agudas	65
Figura 4.6 – Trajetos fonte-receptor das ondas sonoras em linha direta e sobre a barreira acústica.....	66

Figura 4.7 – Atenuação sonora por uma barreira infinita para uma fonte sonora pontual e linear em função do Número de Fresnel.....	67
Figura 4.8 – Percursos do som entre a fonte e o receptor sobre uma barreira acústica grossa e em linha reta.....	69
Figura 4.9 - Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação no caso de proteção mínima (ausência de barreiras)	70
Figura 4.10 – Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação no caso de proteção significativa (presença de barreiras).....	70
Figura 4.11 – Regiões para determinação da atenuação pelo solo.....	72
Figura 4.12 – A altura média da trajetória de propagação sobre o solo (h_m)	74
Figura 4.13 – Atenuação dos níveis de ruído por reflexão em solo poroso por banda de oitava pelo método CONCAWE	75
Figura 4.14 – Atenuação sonora de um cinturão verde de 30 m de largura.....	77
Figura 4.15 – Trajetória curva de propagação do ruído entre a fonte e o receptor...	79
Figura 4.16 – Situações de variação da temperatura com o aumento da altitude	80
Figura 4.17 – Influência do vento sobre a propagação das ondas sonoras. Verifica-se o aumento da velocidade com o aumento da altitude e a formação de uma sombra sonora na direção contrária à de propagação do vento	81
Figura 7.1 – Medição de intensidade sonora na face da frente da superfície hipotética paralelepipedal que envolve a perfuratriz	111
Figura 7.2 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do compressor Atlas Copco XAS 420.....	112
Figura 7.3 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do Britador primário móvel Sandvik QJ340.....	113
Figura 7.4 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador secundário cônico móvel Sandvik QH330 para determinação de sua potência sonora	115
Figura 7.5 – Medição de intensidade sonora na lateral do conjunto móvel de peneiras vibratórias QE341 para determinação de sua potência sonora	116
Figura 7.6 – Medição de intensidade sonora do conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450 para determinação de sua potência sonora	117
Figura 7.7 – Medição de pressão sonora a 7 metros de escavadora Komatsu PC 300LC para determinação de sua potência sonora.....	120
Figura 7.8 – Medição de pressão sonora a 7 metros da escavadora Case CX220 para determinação de sua potência sonora	122

Figura 7.9 – Medição de pressão sonora a 4,5 metros da escavadora Caterpillar CAT 320D para determinação de sua potência sonora.....	124
Figura 7.10 – Medição de pressão sonora a 4 metros da pá-carregadora CAT 938H para determinação de sua potência sonora	126
Figura 7.11 – Medição de pressão sonora a 1 metro do motor do caminhão basculante Ford Cargo 6332 transportando minério para determinação de sua potência sonora.....	128
Figura 7.12 – Vista da usina de asfalto CIBER UACF 17p1	130
Figura 7.13 – Medição da intensidade sonora emitida perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9	131
Figura 7.14 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador primário FAÇO S6000. Conforme indicado na foto, a pedreira em estudo possui dois britadores primários, entretanto apenas um estava em operação durante as medições.....	133
Figura 7.15 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador secundário FAÇO S4000	134
Figura 7.16 – Vista do britador cônico terciário FAÇO H6800. Na lateral direita foi implantada uma barreira acústica móvel para minimizar o impacto sobre o conforto acústico da comunidade situada no entorno	135
Figura 7.17 – Vista geral de um dos conjuntos de peneiras vibratórias	137
Figura 7.18 – Medição de pressão sonora a 4 metros da pá-carregadora Komatsu WA320 para determinação de sua potência sonora.....	139
Figura 7.19 – Escavadora LIEBHERR R954C carregando um caminhão na frente de lavra	142
Figura 7.20 – Medição de pressão sonora a 1 metro do motor do caminhão basculante Ford Cargo 2628 carregado para determinação de sua potência sonora	144
Figura 7.21 – Medição da intensidade sonora emitida perfuratriz hidráulica EVERDIGM RHINO RD10.....	148
Figura 7.22 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador primário FAÇO 120/40. Conforme indicado na foto, a lateral direita e parte da lateral esquerda estão protegidas por muros (além da parte traseira, engastada no talude)	150
Figura 7.23 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais da dupla de britadores de mandíbulas FAÇO 120/40	151
Figura 7.24 – Medição de intensidade sonora no britador cônico terciário Nordberg HP300	152

Figura 7.25 – Medição de intensidade sonora no britador cônico terciário Nordberg HP200	153
Figura 7.26 – Medição de intensidade em uma das peneiras vibratórias. É possível visualizar a calha metálica situada na parte inferior da peneira, cuja potência sonora também foi determinada.....	155
Figura 7.27 – Medição de pressão da pá-carregadora CAT 966H para determinação de sua potência sonora	157
Figura 7.28 – Escavadora LIEBHERR R944C carregando um caminhão na frente de lavra	160
Figura 7.29 – Imagem de satélite com os pontos de monitoramento ruído (R1 a R9), da Estação de Monitoramento de Ruído (EMR) e da localização das fontes sonoras (para as fontes móveis é apenas um indicativo da localização aproximada)	168
Figura 7.30 – Gráfico comparativo dos níveis de ruído equivalente medidos ao longo dos últimos dois anos, 2015 e 2016, nos nove pontos de monitoramento situados na comunidade próxima à pedreira	169
Figura 7.31 – Microfone da estação de monitoramento de ruído (centro) e estação meteorológica (à esquerda). Ao fundo é possível visualizar parte das bancadas da área de lavra da pedreira	170
Figura 7.32 – Variação dos níveis de ruído durante os períodos diurno vespertino e noturno medidos pela Estação de Monitoramento de Ruído (EMR) e Níveis de Critério de Avaliação estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.151	171
Figura 7.33 – Visão de modelo digital de elevação do entorno próximo da pedreira em estudo. Curvas de nível da área de lavra provenientes de levantamento topográfico realizado pela pedreira 1. Curvas de nível da região do entorno provenientes do IGC. Imagem de satélite do Google Earth Professional (data do imageamento: 06/02/2015)	173
Figura 7.34 – Prognóstico de ruído para a Pedreira 1 considerando apenas a divergência geométrica	174
Figura 7.35 – Linhas de cumeada separando as áreas 1 (ausência de barreiras significativas), 2 (presença de barreiras para as fontes da instalação de britagem e ausência de barreiras para as demais fontes) e 3 (presença de barreiras significativas)	176
Figura 7.36 – Níveis de ruído pela metodologia da OCMA, considerando linhas de cumeada como divisores aquém dos quais receptores são considerados com muita atenuação em decorrência de barreiras.....	177
Figura 7.37 – À esquerda, em roxo, áreas onde os receptores têm visão direta à perfuratriz operando no alto da lavra em meia-encosta. À direita, em verde, áreas onde os receptores têm visão direta ao britador primário operando no fundo da cava	178

Figura 7.38 – Níveis de ruído pela metodologia da OCMA, considerando a linha de visão de cada fonte individualmente como critério para pontos com muita ou pouca atenuação em decorrência de barreiras.....	179
Figura 7.39 – Prognóstico de ruído pelo modelo ISO 9613 utilizando o <i>software</i> PROGNOISE.....	183
Figura 7.40 – Prognóstico de ruído pelo modelo ISO 9613 utilizando o <i>software</i> CadnaA	184
Figura 7.41 – Prognóstico de ruído utilizando o <i>software</i> PROGNOISE, considerando o tempo médio diário de operação dos equipamentos da pedreira 1	185
Figura 7.42 – Prognóstico de ruído utilizando o <i>software</i> PROGNOISE, considerando o tempo médio diário de operação dos equipamentos da pedreira 1 realocado numa posição alternativa ao da figura anterior	186
Figura 7.43 – Prognóstico de ruído utilizando o <i>software</i> PROGNOISE, considerando o tempo médio diário de operação dos equipamentos da pedreira 1 realocado numa posição alternativa ao das figuras anteriores e com a usina de asfalto desligada ..	187
Figura B1 – Aba “parâmetros” da planilha “noise.xlsx”	239
Figura B2 – Aba “lista_fontes” da planilha “noise.xlsx”	242
Figura B3 – Aba “lista_receptores” da planilha “noise.xlsx”	243
Figura B4 – Importação de dados topográficos diversos pelo QGIS	244
Figura B5 – Gerar um GeoTIFF a partir das curvas de nível e pontos cotados importados.....	245
Figura B6 – Os arquivos “prognoise.exe”, “noise.xlsx” e “topo.tif” devem estar na mesma pasta.....	246
Figura B7 – PROGNOISE em execução	246
Figura B8 – Exemplo de resultados do PROGNOISE	246
Figura B9 – Importação do arquivo “totais.csv” no QGIS	247
Figura B10 – Elaboração de isolinhas de ruído por meio do <i>plugin</i> “contour” no QGIS	248

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Conversão da curva de ponderação de frequências Linear para A por bandas de oitava	34
Tabela 3.1 – Normas internacionais para determinação da potência sonora	41
Tabela 3.2 – Comparativo dos graus de precisão na determinação de potência sonora pelos métodos das Normas ISO 3744, 3745 e 3746.....	47
Tabela 3.3 – Faixas de frequência para uma acurácia de 1 dB na determinação da intensidade (BRÜEL & KJÆR, 2010)	52
Tabela 3.4 – Graus de precisão da determinação da potência sonora (ISO 9614-2: 1996)	54
Tabela 4.1 – Atenuação por divergência combinada com absorção pela atmosfera por bandas de oitava segundo a OCMA.....	65
Tabela 4.2 – Atenuação por presença de barreiras combinada com atenuação por absorção pelo solo, presença de vegetação e de áreas construídas, por bandas de oitava, segundo a OCMA	71
Tabela 4.3 - Atenuação da pressão sonora pelo solo segundo a Norma ISO 9653-2:1996 por bandas de oitava	73
Tabela 4.4 – Equações para o cálculo da atenuação dos níveis de ruído por reflexão em solo poroso por banda de oitava pelo método CONCAWE	75
Tabela 4.5 - Coeficientes de atenuação sonora por vegetação em bandas de oitava para o método nórdico (NORDFORSK)	78
Tabela 4.6 - Níveis de atenuação por bandas de oitava pela vegetação densa para o método ISO 9613-2:1996	79
Tabela 4.7 – Atenuação em decorrência de fenômenos atmosféricos para receptores situados a uma distância r da fonte.....	82
Tabela 4.8 – Classificação da estabilidade atmosférica de Pasquill para a estimativa da atenuação atmosférica pelo método CONCAWE.....	83
Tabela 4.9 – Classificação meteorológica CONCAWE para estimativa da atenuação atmosférica.....	83
Tabela 4.10 – Nível de atenuação dos níveis de ruído em decorrência de fenômenos atmosféricos pelo método CONCAWE (parte 1)	84
Tabela 4.11 – Nível de atenuação dos níveis de ruído em decorrência de fenômenos atmosféricos pelo método CONCAWE (parte 2)	84

Tabela 4.12 – Faixas de variação dos níveis de atenuação atmosférica pelo método CONCAWE quando as condições meteorológicas não são conhecidas de forma precisa.....	85
Tabela 5.1 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente definidos pela NR-15.....	87
Tabela 5.2 - Níveis de critério de avaliação para ambientes externos.....	90
Tabela 6.1 – Significados do índice de controle de ocorrências durante as medições de intensidade sonora	96
Tabela 7.1 – Potência sonora em bandas de oitava e total da perfuratriz Wolf MD5000h.....	110
Tabela 7.2 – Potência sonora em bandas de oitava e total do compressor Atlas Copco XAS 420	112
Tabela 7.3 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador primário móvel Sandvik QJ340	113
Tabela 7.4 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador secundário móvel cônico Sandvik QH330	114
Tabela 7.5 – Potência sonora em bandas de oitava e total do conjunto móvel de peneiras vibratórias QE341	116
Tabela 7.6 – Potência sonora em bandas de oitava e total do conjunto móvel de peneiras vibratórias QA450	117
Tabela 7.7 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelas escavadoras Komatsu PC 300LC	119
Tabela 7.8 – Potência sonora das escavadoras Komatsu PC 300LC.....	119
Tabela 7.9 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora Case CX220.....	121
Tabela 7.10 – Potência sonora da escavadora Case CX220.....	121
Tabela 7.11 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora CAT 320D.....	123
Tabela 7.12 – Potência sonora da escavadora CAT 320D	123
Tabela 7.13 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora CAT 938H	125
Tabela 7.14 – Potência sonora da pá-carregadora CAT 938H	125
Tabela 7.15 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Ford Cargo 6332	127

Tabela 7.16 – Potência sonora dos caminhões basculantes Ford Cargo 6332	127
Tabela 7.17 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela usina de asfalto CIBER UACF 17p1	129
Tabela 7.18 – Potência sonora da usina de asfalto CIBER UACF 17p1.....	129
Tabela 7.19 – Potência sonora em bandas de oitava e total da perfuratriz EVERDIGM RD103-V.....	131
Tabela 7.20 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador primário FAÇO S6000	132
Tabela 7.21 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador secundário FAÇO S4000	133
Tabela 7.22 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador terciário FAÇO H6800.....	134
Tabela 7.23 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória A	136
Tabela 7.24 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória B	136
Tabela 7.25 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória C	136
Tabela 7.26 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória D	137
Tabela 7.27 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória E	137
Tabela 7.28 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora Komatsu WA320	138
Tabela 7.29 – Potência sonora da pá-carregadora Komatsu WA320.....	138
Tabela 7.30 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora CAT 950G	140
Tabela 7.31 – Potência sonora da pá-carregadora CAT 950G	140
Tabela 7.32 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora LIEBHERR R954C	141
Tabela 7.33 – Potência sonora da escavadora LIEBHERR R954C.....	141
Tabela 7.34 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Ford Cargo 2628	143
Tabela 7.35 – Potência sonora dos caminhões basculantes Ford Cargo 2628	143

Tabela 7.36 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Mercedes 2635.....	145
Tabela 7.37 – Potência sonora dos caminhões basculantes Mercedes 2635	145
Tabela 7.38 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes VOLVO 440.....	146
Tabela 7.39 – Potência sonora dos caminhões basculantes VOLVO 440.....	146
Tabela 7.40 – Potência sonora em bandas de oitava e total da perfuratriz EVERDIGM RD10	148
Tabela 7.41 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador primário FAÇO 120/40	149
Tabela 7.42 – Potência sonora em bandas de oitava e total da dupla de britadores secundários de mandíbulas FAÇO 120/40.....	150
Tabela 7.43 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador terciário Nordberg HP300	151
Tabela 7.44 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador terciário Nordberg HP200	152
Tabela 7.45 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória A	154
Tabela 7.46 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória B	154
Tabela 7.47 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória C	154
Tabela 7.48 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória D	155
Tabela 7.49 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora CAT 966H	156
Tabela 7.50 – Potência sonora da pá-carregadora CAT 966H	156
Tabela 7.51 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora LIEBHERR L580	157
Tabela 7.52 – Potência sonora da pá-carregadora LIEBHERR L580	158
Tabela 7.53 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora LIEBHERR R944C	159
Tabela 7.54 – Potência sonora da escavadora LIEBHERR R944C.....	159

Tabela 7.55 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Scania P420	161
Tabela 7.56 – Potência sonora dos caminhões basculantes Scania P420	161
Tabela 7.57 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes VOLVO VM330.....	162
Tabela 7.58 – Potência sonora dos caminhões basculantes VOLVO VM330	162
Tabela 7.59 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Ford Cargo 2623	163
Tabela 7.60 – Potência sonora dos caminhões basculantes Ford Cargo 2623	163
Tabela 7.61 – Quadro resumo das potências sonoras em bandas de oitavas e totais dos equipamentos que operam na pedreira 1	164
Tabela 7.62 – Quadro resumo das potências sonoras em bandas de oitavas e totais dos equipamentos que operam na pedreira 2	165
Tabela 7.63 – Quadro resumo das potências sonoras em bandas de oitavas e totais dos equipamentos que operam na pedreira 3	166
Tabela 7.64 – Tempos médios de operação dos equipamentos na pedreira	171
Tabela A1 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Perfuratriz Wolf MD5000h.....	199
Tabela A2 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Perfuratriz Wolf MD5000h.....	199
Tabela A3 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Compressor Atlas Copco XAS 420.....	200
Tabela A4 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Compressor Atlas Copco XAS 420	200
Tabela A5 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) móvel Sandvik QJ340.....	201
Tabela A6 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) móvel Sandvik QJ340	202
Tabela A7 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador secundário móvel cônico Sandvik QH330	203
Tabela A8 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador secundário móvel cônico Sandvik QH330	204

Tabela A9 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QE341	205
Tabela A10 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QE341	206
Tabela A11 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450	207
Tabela A12 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450	209
Tabela A13 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Perfuratriz Atlas Copco ROC D9	210
Tabela A14 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Perfuratriz Atlas Copco ROC D9	210
Tabela A15 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO S6000	211
Tabela A16 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO S6000	211
Tabela A17 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador secundário cônico FAÇO S4000.....	212
Tabela A18 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador secundário cônico FAÇO S4000	213
Tabela A19 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador terciário cônico FAÇO H6800	214
Tabela A20 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador terciário cônico FAÇO H6800.....	214
Tabela A21 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1º deck: 50 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha).....	215
Tabela A22 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1º deck: 50 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha).....	215
Tabela A23 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira B: 1º deck: 55 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha).....	216

Tabela A24 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira B: 1º deck: 55 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha).....	216
Tabela A25 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira C: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço).....	217
Tabela A26 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira C: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço)	217
Tabela A27 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira D: 1º deck: 30 mm e 2º deck: 22 mm (telas de borracha).....	218
Tabela A28 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira D: 1º deck: 30 mm e 2º deck: 22 mm (telas de borracha).....	218
Tabela A29 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira E: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço).....	219
Tabela A30 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira E: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço)	219
Tabela A31 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Perfuratriz EVERDIGM RHINO R10	220
Tabela A32 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Perfuratriz EVERDIGM RHINO R10.....	220
Tabela A33 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO 120/90.....	221
Tabela A34 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO 120/90	221
Tabela A35 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britadores secundários (de mandíbulas) FAÇO 120/40 (2 em paralelo)	222
Tabela A36 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britadores secundários (de mandíbulas) FAÇO 120/40 (2 em paralelo).....	223
Tabela A37 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador terciário cônico Nordberg HP300	224
Tabela A38 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador terciário cônico Nordberg HP300	224

Tabela A39 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador quaternário cônico Nordberg HP200	225
Tabela A40 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador quaternário cônico Nordberg HP200	226
Tabela A41 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1 deck de 50mm (tela de borracha de 3 m por 1,5 m).....	227
Tabela A42 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1 deck de 50mm (tela de borracha de 3 m por 1,5 m)	228
Tabela A43 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória B: 1º deck: 32 mm e 2º deck: 21 mm (telas de borracha).....	228
Tabela A44 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória B: 1º deck: 32 mm e 2º deck: 21 mm (telas de borracha).....	229
Tabela A45 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória B	230
Tabela A46 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória B	230
Tabela A47 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória C: 1º deck: 15 mm e 2º deck: 12 mm (telas de borracha), 3º deck: 4,5 mm (tela de metal)	231
Tabela A48 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória C: 1º deck: 15 mm e 2º deck: 12 mm (telas de borracha), 3º deck: 4,5 mm (tela de metal)	232
Tabela A49 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória C	233
Tabela A50 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória C	233
Tabela A51 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória D: tipo banana com 3 decks, apenas o 1º em uso com tela de metal de 12 mm.....	234
Tabela A52 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória D: tipo banana com 3 decks, apenas o 1º em uso com tela de metal de 12 mm	235
Tabela A53 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória D	236

Tabela A54 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória D 237

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção

BS – *British Standard*

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho

GIS – *Geographic Information System*

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IDE – Ambiente de Desenvolvimento Integrado

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo

ISO – *International Organization for Standardization*

MSHA – *Mine Safety and Health Administration*

NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*

OCMA – *Oil Companies Material Association*

OIT – Organização Internacional do Trabalho

OMS – Organização Mundial da Saúde

OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*

QGIS – *Quantum Geographic Information System*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 OBJETIVOS	26
1.2 JUSTIFICATIVA	26
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO RUÍDO	29
2.1 RUÍDO.....	29
2.2 PRESSÃO SONORA	29
2.3 POTÊNCIA SONORA	30
2.4 INTENSIDADE SONORA.....	31
2.5 FREQUÊNCIA.....	32
2.6 ADIÇÃO DE FONTES SONORAS	35
2.7 NÍVEL DE RUÍDO EQUIVALENTE (L_{eq})	35
3. FONTES SONORAS	37
3.1 POTÊNCIA SONORA	37
3.2 DIRETIVIDADE	39
3.3 CAMPOS SONOROS	40
3.4 POTÊNCIA SONORA A PARTIR DA PRESSÃO SONORA	41
3.5 POTÊNCIA SONORA A PARTIR DA INTENSIDADE SONORA.....	47
4 PROPAGAÇÃO SONORA AO AR LIVRE	56
4.1 DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA.....	58
4.2 ABSORÇÃO PELO AR	60
4.3 BARREIRAS ACÚSTICAS	65
4.4 ATENUAÇÃO PELO SOLO	71
4.5 ATENUAÇÃO POR VEGETAÇÃO	76
4.6 ATENUAÇÃO POR ÁREAS CONSTRUÍDAS	79
4.7 EFEITO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	79

5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	86
6 MATERIAIS E MÉTODOS	91
6.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	92
6.2 POTÊNCIA SONORA DOS EQUIPAMENTOS.....	94
6.2.1 Determinação da potência a partir de medições de intensidade sonora	94
6.2.2 Determinação da potência a partir de medições de pressão sonora	97
6.3 PROGNÓSTICO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA	98
6.3.1 Prognóstico expedito – apenas divergência geométrica.....	98
6.3.2 Modelo OCMA	99
6.3.3 Algoritmo ISO 9613 – PROGNOISE	102
6.3.4 Mapas de ruído.....	106
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	108
7.1 POTÊNCIAS SONORAS.....	108
7.1.1 Pedreira 1	108
7.1.1.1 Perfuratriz Wolf MD5000h	109
7.1.1.2 Compressor Atlas Copco XAS 420	111
7.1.1.3 Britador primário móvel QJ340.....	112
7.1.1.4 Britador secundário móvel QH330	113
7.1.1.5 Conjunto móvel de peneiras vibratórias QE341	115
7.1.1.6 Conjunto móvel de peneiras vibratórias QA450	116
7.1.1.7 Escavadora Komatsu PC 300LC série 6	118
7.1.1.8 Escavadora Case CX220	120
7.1.1.9 Escavadora Caterpillar CAT 320D	122
7.1.1.10 Pá-carregadora CAT 938H.....	124
7.1.1.11 Caminhões basculantes Ford Cargo 6332	126
7.1.1.12 Usina de asfalto CIBER UACF 17p1	128

7.1.2 Pedreira 2	130
7.1.2.1 Perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9.....	130
7.1.2.2 Britador primário FAÇO S6000 (120/90)	132
7.1.2.3 Britador secundário FAÇO S4000	133
7.1.2.4 Britador terciário FAÇO H6800	134
7.1.2.5 Peneiras vibratórias	135
7.1.2.6 Pá-carregadora Komatsu WA320	137
7.1.2.7 Pá-carregadora Caterpillar 950G	139
7.1.2.8 Escavadora LIEBHERR R954C	140
7.1.2.9 Caminhão basculante Ford Cargo 2628.....	142
7.1.2.10 Caminhão basculante Mercedes 2635	144
7.1.2.11 Caminhão basculante VOLVO 440	145
7.1.3 Pedreira 3	147
7.1.3.1 Perfuratriz hidráulica EVERDIGM RHINO RD10.....	147
7.1.3.2 Britador primário FAÇO 120/90.....	148
7.1.3.3 Britador secundário FAÇO 120/40	150
7.1.3.4 Britador terciário cônico Nordberg HP300.....	151
7.1.3.5 Britador quaternário cônico Nordberg HP200	152
7.1.3.6 Peneiras vibratórias	153
7.1.3.7 Pá-carregadora CATERPILLAR 966H	155
7.1.3.8 Pá-carregadora LIEBHERR L580	157
7.1.3.9 Escavadora LIEBHERR R944C	158
7.1.3.10 Caminhão basculante Scania P420	160
7.1.3.11 Caminhão basculante VOLVO VM330	161
7.1.3.12 Caminhão basculante Ford Cargo 2623.....	162
7.1.4 Resumo das potências sonoras.....	163
7.2 MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	167

7.3 PROGNÓSTICO DA PRESSÃO SONORA.....	172
7.3.1 Prognóstico expedito – apenas divergência geométrica.....	173
7.3.2 Modelo OCMA	175
7.3.3 Algoritmo ISO 9613 – PROGNOISE	180
8 CONCLUSÕES.....	189
REFERÊNCIAS	191
APÊNDICE A – TABELAS DETALHADAS DAS POTÊNCIAS SONORAS DETERMINADAS POR INTESIMETRIA	198
APÊNDICE B – MANUAL DE USO DO PROGNOISE.....	237

1 INTRODUÇÃO

A mineração ocupa papel de destaque na economia brasileira. Segundo dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Mineração, desde o ano de 2005 a Produção Mineral Brasileira vem atingindo sucessivos valores recordes frente à série histórica nacional. A produção de agregados para a construção civil representa uma parcela importante da produção mineral brasileira. Dados do informativo sobre a economia mineral brasileira de 2015 revelaram uma produção anual de agregados recorde de 673 milhões de toneladas (IBRAM, 2015). A ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil) observou um crescimento anual médio de 6,2% na produção de agregados no período compreendido entre os anos de 2000 e 2014. Em decorrência do atual cenário econômico brasileiro, observou-se em 2015 uma queda nessa velocidade de crescimento. Entretanto, ainda segundo a ANEPAC, o Brasil possui uma significativa demanda reprimida de agregados (ANEPAC, 2015). Dessa forma projeta-se uma retomada no crescimento da produção de agregados para a construção civil.

Bacci (2000) destaca que nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, uma parte significativa da produção de brita é obtida em pedreiras localizadas nas regiões metropolitanas. No ano de 2007, a região sudeste se destacou com 57% do consumo nacional de brita, sendo seguida pela região sul, com 17%. Quanto à produção, o estado de São Paulo foi o líder, com 44%, sendo seguido por Minas Gerais (BRASIL, 2009).

Por outro lado, pode-se destacar como restrições à abertura de novas pedreiras o crescimento dos grandes centros urbanos e a reação negativa das comunidades às pedreiras (além de outros fatores como o encarecimento da propriedade e fatores ambientais).

A figura 1.1 apresenta uma imagem de satélite da Região Metropolitana de São Paulo com a localização de algumas pedreiras, indicando a proximidade das mesmas com áreas densamente ocupadas.

Figura 1.1 – Localização de algumas pedreiras situadas no entorno da Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: Elaborado pelo autor com base na imagem de satélite do *software* Google Earth (2017)

Desta forma, os estudos ambientais realizados tanto durante a fase de licenciamento ambiental, quanto durante a fase de operação, são de fundamental importância. Uma adequada caracterização da área onde é planejada a implantação ou a ampliação de uma pedreira, associada a um prognóstico dos impactos ambientais, possibilita incorporar, ainda na fase de projeto, medidas de controle para mitigar esses impactos ou subsidiar a busca por alternativas locais que promovam menor impacto ambiental. Durante a fase de operação, o monitoramento de indicadores ambientais pode indicar se as medidas de controle adotadas estão sendo suficientes para o bem-estar da comunidade do entorno. A aplicação de ferramentas adequadas pode significar a viabilidade do empreendimento, minimizando os custos e as reações negativas da comunidade decorrentes de sua operação.

A mineração, de forma geral, faz uso de equipamentos ruidosos, tais como britadores, peneiras, caminhões e máquinas móveis. Em pedreiras, em decorrência da proximidade aos centros urbanos consumidores, uma vez que o transporte assume um papel importante no preço final da brita, conflitos com a comunidade do entorno são frequentes, como exemplificado nos estudos de Patrício *et al.* (2013), Lima e Albuquerque (2012) e Bacci *et al.* (2011). Dentre as principais queixas das comunidades estão o ruído decorrente de suas atividades.

Um adequado prognóstico dos níveis de ruído ainda durante a fase de

licenciamento pode, por exemplo, indicar o melhor local para implantação das instalações de britagem, ou identificar a necessidade de aquisição de áreas onde estão previstos níveis de ruído que possam ser incompatíveis com ocupação residencial, ou então prever a necessidade de medidas de controle que já podem ser adotadas juntamente com a implantação da mineração para minimizar impactos e conflitos com a comunidade. Também durante a fase de operação, um bom prognóstico possibilita avaliar a efetividade de eventuais medidas corretivas para minimização dos níveis de ruído em determinada vizinhança. Aliado a isso, programas de monitoramento dos níveis de pressão sonora permitem acompanhar a conformidade do ruído do entorno aos limites normativos.

Mapas acústicos têm sido utilizados com maior frequência para análise do ruído urbano, onde predominam, como principais fontes, o tráfego rodoviário e ferroviário e a decolagem e pouso de aviões. Para a elaboração destes mapas, parte-se de dados como número de veículos por hora, tipos de veículos (leves e pesados), velocidade média, tipo de asfalto, entre outros (KANG, 2007).

Na mineração, o mapeamento acústico ainda é pouco frequente. Ferramentas que auxiliam na abordagem do ruído ambiental em pedreiras podem contribuir para a elaboração de prognósticos dos níveis de pressão sonora em novos projetos ou para assessorar pedreiras que estejam enfrentando conflitos com a comunidade.

Para o prognóstico dos níveis de ruído existem pacotes de *software* revendidos pelos principais fabricantes de sonômetros que, entretanto, possuem preços elevados, além de não possuírem um banco de dados com potências sonoras para equipamentos de pedreiras.

Desta forma, identificou-se a necessidade de determinar a potência sonora dos principais equipamentos de pedreiras, como britadores, peneiras, perfuratrizes, caminhões e máquinas.

Existem na bibliografia diversos modelos de prognóstico da atenuação do ruído com a distância, incorporando fatores como barreiras, reflexões no solo, presença de vegetação, absorção pelo ar, parâmetros meteorológicos, entre outros. Estes modelos variam em complexidade, em quantidade de informações de entrada necessárias, e em precisão. A combinação destes modelos pode subsidiar uma ferramenta que possibilite um prognóstico fácil e rápido dos níveis de pressão sonora esperados para receptores situados no entorno de uma pedreira a partir das potências sonoras de seus principais equipamentos.

Por outro lado, um monitoramento regular dos níveis de pressão sonora nas áreas de entorno de uma pedreira é fundamental para identificar locais onde as comunidades possam estar expostas a níveis de ruído superiores aos padrões normativos.

Na última década, alguns fabricantes de sonômetros de ponta, como a Brüel & Kjær e a 01dB ACOEM, vem desenvolvendo sistemas de monitoramento automáticos de ruído. Estes equipamentos são instalados em pontos fixos e enviam por sinal de celular (rede 3G ou 4G) os resultados do monitoramento. É possível configurar níveis que, quando ultrapassados, enviam um sinal de alerta (por e-mail ou por mensagem de texto para celular) para que o empreendedor tome as ações cabíveis. Novos equipamentos possibilitam também a gravação de áudio concomitantemente ao monitoramento dos níveis de pressão sonora, sendo possível, remotamente, identificar quais as fontes que se destacaram ou qual o evento que ocasionou algum súbito aumento nos níveis de ruído. São, entretanto, equipamentos que ainda apresentam custos elevados.

1.1 OBJETIVOS

Essa pesquisa tem como objetivo a elaboração de uma base de dados de potências sonoras dos principais equipamentos que operam em pedreiras e um *software* para o prognóstico dos níveis de ruído que podem atingir as comunidades do entorno desses empreendimentos minerários.

Desta forma pode-se destacar como objetivos específicos:

- Determinar as potências sonoras das principais fontes de ruído em pedreiras, tais como britadores e peneiras, escavadoras, perfuratrizes, entre outros.
- Comparar modelos de prognóstico existentes, identificando as vantagens e desvantagens de cada modelo;
- Desenvolver um *software* para o prognóstico dos níveis de ruído que seja aplicável a estudos ambientais em pedreiras.

1.2 JUSTIFICATIVA

A mineração é uma atividade econômica com especificidades que lhe atribuem um potencial de impacto ambiental relativamente alto quando comparada a outras atividades industriais. Particularmente em pedreiras, por se concentrarem frequentemente em centros urbanos, alguns desses impactos afetam diretamente as

comunidades situadas em seu entorno. Embora a questão ambiental seja um valor disseminado na maior parte das empresas, nota-se que muitas delas ainda não possuem um adequado desempenho ambiental.

Ainda que sejam considerados empreendimentos de relativo pequeno porte, as pedreiras estão frequentemente envolvidas em reclamações junto a órgãos ambientais por problemas relacionados aos impactos nas comunidades do entorno, destacando-se o incômodo por ruído.

Um adequado prognóstico dos níveis de pressão sonora ainda durante a fase de licenciamento ambiental permite minimizar o número de moradores expostos a esse incômodo, fornecendo indicação de áreas onde são esperados níveis elevados e que devam ser incorporadas aos limites do empreendimento, locais indicados para a implantação das instalações de beneficiamento visando menor propagação do ruído para áreas residenciais ou indicando locais para implantação de barreiras acústicas.

Com o avanço das áreas de lavra no decorrer da vida útil de uma pedreira, ocorrem mudanças na localização das fontes de ruído e na topografia da cava. Mapeamentos acústicos considerando as novas configurações da cava e das fontes sonoras possibilitam identificar áreas situadas no entorno que passaram a estar expostas ao ruído, sendo possível adotar medidas de controle para evitar conflitos com a comunidade.

Existem, atualmente, diversos modelos de prognóstico dos níveis de pressão sonora, alguns deles incorporados em *softwares* comerciais cuja faixa de preços varia entre aproximadamente R\$ 20.000,00 para a configuração mais básica a R\$ 100.000,00 para a configuração mais completa. Desta forma, um *software* gratuito aplicável a pedreiras, e que forneça resultados compatíveis em precisão com os *softwares* comerciais, poderá fazer com que o uso desse tipo de ferramenta seja mais difundido, auxiliando na identificação de medidas que possam melhorar o conforto acústico no entorno de pedreiras.

Para o prognóstico dos níveis de pressão sonora parte-se da potência sonora das principais fontes de ruído. Mesmo os *softwares* comerciais atualmente disponíveis no mercado não dispõem de um banco de dados com potências sonoras de equipamentos aplicáveis a pedreiras (como britadores, perfuratrizes, escavadoras, entre outros), fato que evidencia a contribuição desta pesquisa.

A determinação da potência sonora de equipamentos é bastante complexa, especialmente no caso de pedreiras (onde os equipamentos são de grande porte, com

operação intermitente e com forte presença de ruído de fundo). Assim, embora idealmente deva-se determinar a potência sonora para cada pedreira em estudo, essa complexidade inviabilizaria, mesmo com a disponibilidade de um software gratuito, o prognóstico dos níveis de ruído. Dessa forma, identificou-se a necessidade de determinar as potências sonoras dos equipamentos de pedreiras de diferentes portes, que poderão ser empregados em estudos de outras pedreiras de forma geral.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO RUÍDO

2.1 RUÍDO

Ruído pode ser definido como um som carente de qualidades musicais ou como um som indesejado.

Os parâmetros básicos que definem um som são sua frequência e sua pressão sonora.

A densidade do meio de propagação do som influencia a sua velocidade. Na atmosfera terrestre, a 20 °C, a velocidade do som é de 344 m/s. A velocidade do som não varia com a frequência, entretanto aumenta na razão de 0,607 m/s a cada aumento de 1 °C (BISTAFA, 2011).

A velocidade do som no ar pode ser obtida através da expressão (RUSSO, 1999 *apud* CAVALCANTE, 2009):

$$c = 331,2 + 0,61t \quad (2.1)$$

Onde:

c : Velocidade de propagação do som no ar (m/s);

t : Temperatura do ar (°C).

O comprimento de determinada onda sonora pode ser determinado a partir de sua frequência e velocidade de propagação através da relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.2)$$

Onde:

c : Velocidade de propagação do som no ar (m/s);

λ : Comprimento de onda (m);

f : Frequência da onda (Hz).

2.2 PRESSÃO SONORA

A pressão sonora pode ser entendida como uma perturbação na pressão atmosférica ambiente provocada por uma onda sonora. A faixa de variações de pressão sonora audíveis e suportáveis pela orelha humana estão na faixa de 20 µPa a 20 Pa. O medidor de nível sonoro, ou sonômetro, normalmente fornece o valor eficaz (média RMS¹) pressão sonora.

Utiliza-se o termo “nível” quando uma unidade é expressa em dB, uma vez que se refere a uma razão relativa a um valor de referência. No caso de pressão sonora o valor de referência é de 20 µPa, que é a menor variação de pressão sonora que a orelha humana consegue perceber, quando submetido a um tom puro de 1000 Hz.

¹ Média RMS (*Root Mean Square*) é a raiz quadrada do valor médio quadrado.

Ressalta-se que há variações de sensibilidade acústica entre os indivíduos e a orelha reduz sua capacidade auditiva com a idade (presbiacusia), que pode ser agravada com histórico de exposição a níveis elevados de pressão sonora.

O nível de pressão sonora pode ser expresso como:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (2.3)$$

Onde:

L_p : Nível de pressão sonora (em dB);

P : Pressão sonora da fonte (em Pa);

P_0 : Pressão sonora de referência (20 μ Pa).

2.3 POTÊNCIA SONORA

A potência sonora pode ser definida como a quantidade de energia emitida por unidade de tempo por uma fonte sonora. É uma característica intrínseca da fonte. Diferentemente da pressão sonora, independe de fatores ambientais, tais como temperatura, barreiras, distância, para sua caracterização.

Diversas características de uma fonte sonora podem influenciar a sua potência sonora. Pode-se destacar, no caso de motores a combustão interna, a sua velocidade angular (rotação), estado de conservação, características do sistema de escape dos gases (silencioso do escapamento) e carga de trabalho. No caso de um britador de mandíbulas, destaca-se o seu tamanho, velocidade angular, regime de operação (enchimento), características da rocha e estado de conservação do equipamento como fatores que diretamente influenciam a potência sonora.

A potência sonora pode ser expressa como:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (2.4)$$

Onde:

L_w : Nível de potência sonora da fonte (em dB);

W : Potência da fonte (em W);

W_0 : Valor de referência (10^{-12} W).

A potência irradiada por uma fonte sonora (energia por unidade de tempo) resulta em pressão sonora. A potência sonora, entretanto, não pode ser diretamente medida, e sim, determinada a partir da pressão sonora ou da intensidade sonora, conforme detalhado mais à diante.

2.4 INTENSIDADE SONORA

Intensidade sonora representa o fluxo médio de energia sonora que atravessa determinada área. É uma grandeza vetorial, uma vez que o fluxo de energia sonora é importante para sua determinação (normalmente mede-se a intensidade sonora na direção normal à superfície emissora). Embora não possa ser medida diretamente, como a pressão sonora, é possível obtê-la a partir de resultados de dois microfones estrategicamente posicionados.

Pode ser expressa por:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.5)$$

Onde:

L_I : Nível de intensidade sonora da fonte (em dB);

I : Intensidade sonora a uma determinada distância da fonte (em W/m²);

I_0 : Intensidade de referência = 10^{-12} (em W/m²).

Considerando uma fonte sonora pontual omnidirecional a uma distância “r” da fonte, tem-se uma energia “W” atravessando uma superfície cuja área é $4\pi r^2$.

$$I_r = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Onde:

I_r : Intensidade sonora à distância r (W/m²);

W : Potência sonora (W);

r : Distância a partir da fonte sonora (m).

A energia sonora é dada pelo produto da pressão sonora P e da velocidade de partícula v (do meio pelo qual se desloca uma onda sonora). Ou seja, o produto da pressão (razão entre força e área) e da velocidade (razão entre distância e tempo) pode ser reescrito como intensidade (razão entre potência e área):

$$I = P \cdot v = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} * \frac{\text{Distância}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{Energia}}{\text{Área} \cdot \text{Tempo}} = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}}$$

Ainda considerando esta fonte pontual, tem-se que a energia irradiada sofre resistência à sua propagação em decorrência da impedância do meio (no caso, o ar), dada pelo produto da densidade do meio de propagação (ρ) pela velocidade do som (c) nesse meio. Segundo Rossing e Fletcher (2004), para uma fonte pontual omnidirecional, tem-se que:

$$I_r = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{P_{eficaz}^2}{\rho c} \quad (2.6)$$

Onde:

I_r : Intensidade sonora à distância r (W/m^2);

W : Potência sonora (W);

r : Distância a partir da fonte sonora (m);

$P_{\text{eficaz},r}$: Pressão sonora eficaz a uma distância r da fonte (média RMS da pressão sonora a uma distância r);

ρ : Densidade do meio de propagação ($\text{ar} \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$);

c : Velocidade do som ($\text{no ar} \approx 340 \text{ m/s}$).

2.5 FREQUÊNCIA

A orelha humana é capaz de perceber sons com frequências compreendidas na faixa de 20 Hz a 20.000 Hz, embora a audibilidade de sons compreendidos entre 1.000 Hz e 4.000 Hz seja significativamente maior do que sons de baixa frequência. Sons abaixo de 20 Hz são denominados infrassons e sons acima de 20.000 Hz, de ultrassons.

A figura 2.1 a seguir apresenta curvas isofônicas, nas quais é possível visualizar o nível de pressão sonora necessário para um tom puro, em diferentes frequências, provocar a mesma sensação de pressão sonora na orelha humana.

Figura 2.1 - Curvas isofônicas

Fonte: Moore (2007), tradução nossa

Para que medições de ruído, efetuadas com um sonômetro, tenham correspondência com a sensação que provocam na audição humana, essas curvas isofônicas foram parametrizadas como curvas de ponderação de frequências.

Figura 2.2- Curvas ponderadoras A, B, C e D

Fonte: Smith *et al.* (2001), tradução nossa

Conforme a figura 2.2, há quatro circuitos padronizados internacionalmente além da escala linear (sem compensação):

- A escala “A”, correspondendo à curva isofônica 40 (40 dB em 1000 Hz);
- A escala “B”, correspondendo à curva isofônica 70 (70 dB em 1000 Hz);
- A escala “C”, aproximadamente linear para as frequências compreendidas entre 100 e 5000 Hz;
- A escala “D”, desenvolvida para avaliação de ruídos de sobrevoos de aeronaves, penalizando as altas frequências (atualmente em desuso).

Os circuitos A, B e C foram criados com o objetivo de serem selecionados de acordo com a magnitude dos níveis sonoros a serem medidos. Entretanto, estudos posteriores mostraram que a sonoridade percebida pela orelha humana para ruídos (e não tons puros) era aproximadamente paralela para quaisquer magnitudes de ruído. Verificou-se que o formato das curvas de mesma sonoridade se assemelhava à curva isofônica 40 para tons puros. Como a maioria dos níveis sonoros a serem medidos não são tons puros, o circuito “A” é atualmente o mais utilizado,

independentemente da magnitude dos níveis de ruído, para representar a percepção da orelha humana (LAWRENCE, 1989).

A escala linear (sem compensação) corresponde à linha de 0 dB.

Quando se usa a curva ponderadora A, emprega-se a sigla dBA ou dB(A), o mesmo sendo aplicado para as outras siglas. Sem ponderação grafa-se dB ou dB(L) ou ainda dB(Z).

Quando é desejado conhecer o nível de pressão sonora por faixa de frequência, é necessário o uso de um sonômetro dotado de filtro do tipo “passa-banda”, que tem como característica filtrar as informações de pressão sonora que não se referem à banda em análise, fazendo uma varredura banda por banda. Os filtros mais comuns são os de oitava e de 1/3 de oitava.

Nos filtros de bandas de oitava as frequências centrais (em Hz) são: 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1.000; 2.000; 4.000; 8.000 e 16.000, ou seja, múltiplos da frequência de 16 Hz (15,625 Hz). Cada banda tem uma largura de 70% da sua frequência central. Conforme esclarece Gerges (2000), os extremos inferior (f_1) e superior (f_2) são determinados, respectivamente, por $f_1 = 2^{-0,5}f_c$ e $f_2 = 2^{0,5}f_c$, onde f_c é a frequência central da banda. Por exemplo, a banda cuja frequência central é 1000 Hz tem uma largura de 700 Hz, compreendendo as frequências entre 707 Hz e 1414 Hz, que são normalmente arredondadas para 710 Hz e 1420 Hz.

Nos filtros de 1/3 de oitava a largura de cada banda é de 23% da sua frequência central, e os extremos inferior e superior de cada banda são determinados por $f_1 = 2^{(-1/3)/2}f_c$ e $f_2 = 2^{(1/3)/2}f_c$,

Para converter níveis de ruído medidos sem ponderação de frequências para a curva de ponderação de frequências “A”, empregam-se os valores apresentados da tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Conversão da curva de ponderação de frequências Linear para A por bandas de oitava

Banda de oitava (Hz)	16	31,5	63	125	250	500	1 k	2k	4 k	8 k	16 k
Conversão de dBL para dB(A)	-57,1	-39,7	-26,4	-16,2	-8,8	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,7

Fonte: Bistafa (2011)

2.6 ADIÇÃO DE FONTES SONORAS

Para avaliar o nível de ruído em um determinado ponto no qual chegam níveis de ruído oriundos de diversas fontes, pode-se efetuar a soma das contribuições individuais de cada fonte através da equação 2.7.

$$L_{Ptotal} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.7)$$

Onde:

L_{Ptotal} : Nível de ruído total, em dB(A);

n : Número de fontes sonoras;

L_i : Nível de pressão sonora lido, em dB(A) de cada fonte.

2.7 NÍVEL DE RUÍDO EQUIVALENTE (L_{eq})

Para caracterizar um ambiente submetido a diferentes níveis de ruído, com variações aleatórias ao longo do tempo de medição com um sonômetro, determina-se o nível de ruído equivalente, L_{eq} . Conforme Bistafa (2011), pode-se definir o ruído equivalente como sendo o ruído estacionário que, se ocorresse durante o tempo de medição, geraria a mesma energia sonora produzida pelos eventos sonoros medidos. É utilizado em diversos países, estando entre eles o Brasil, como um dos parâmetros para avaliar a exposição da comunidade ao ruído industrial, de tráfego urbano, de sobrevoos de aviões ou de outras fontes (CROCKER, 2007).

A norma brasileira NBR 16.313 estabelece a nomenclatura $L_{Aeq,T}$ – Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A para o nível de ruído equivalente medido na curva de ponderação de frequências A. O sonômetro fornece seu valor a partir da equação 2.8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (2.8)$$

Onde:

$L_{Aeq,T}$: Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A, expresso em dB(A);

$p_A(t)$: Pressão sonora instantânea ponderada em A no instante t, expresso em pascal (Pa);

p_0 : Pressão sonora de referência ($p_0=20\mu\text{Pa}$);

T: Tempo de integração (duração da medição).

A integral da equação 2.8 pode ser avaliada numericamente (cálculo aproximado) a partir de medições regulares dos níveis de pressão sonora por meio de um sonômetro simples (que não possui a funcionalidade de integrar L_{eq} no decorrer da medição de ruído) por meio da equação 2.9 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000).

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.9)$$

Onde:

L_{Aeq} : Nível de ruído equivalente, em dB(A);

n : Número de leituras de L_i realizadas, em intervalos de tempo regulares;

L_i : Nível de pressão sonora lido a intervalos regulares¹, em dB(A), com o sonômetro em resposta rápida (*fast*).

No Brasil, conforme a Norma ABNT NBR 10.151, determina-se um ruído equivalente para o período diurno e outro para o período noturno, sendo cada um comparado com o seu respectivo limite, como será explicitado mais à frente, no capítulo 5.

Em alguns países (como os EUA) é empregado o nível de ruído dia-noite (L_{dn}), onde os níveis de ruído medidos durante o período noturno (usualmente compreendido entre as 22 horas e 7 horas) são penalizados com 10 dB(A) a mais, buscando melhor representar a interferência no conforto acústico da comunidade durante a noite. Aplicada a penalidade de 10 dB(A) aos níveis de ruído medidos durante o período noturno, calcula-se o L_{dn} utilizando a equação 2.10 (BISTAFA, 2011).

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(\sum_{i=1}^{15} 10^{\frac{Leq_i}{10}} + \sum_{j=1}^9 10^{\frac{Leq_j+10}{10}} \right) \right] \quad (2.10)$$

Onde:

L_{dn} : Nível dia noite, ponderado em A, expresso em dB(A);

Leq_i : Níveis de ruído equivalente medidos durante cada hora i do período diurno (das 7 às 22 horas), na ponderação de frequências A, expressos em dB(A);

Leq_j : Níveis de ruído equivalente medidos durante cada hora j do período noturno (das 22 às 7 horas), na ponderação de frequências A, expressos em dB(A).

Alternativamente pode-se utilizar o nível de ruído equivalente dia-entardecer-noite (*day-evening-night*), representado por L_{den} . Aplica-se a penalidade de 5 dB(A) para os níveis de ruído medidos durante o período da tarde (usualmente o período entre as 19 horas e 22 horas) e a penalidade de 10 dB(A) para o período noturno (entre as 22 horas e 7 horas) (MALING JR., 2007).

¹ A norma ABNT NBR 10151:2000 recomenda uma leitura do L_i no sonômetro a cada 5 segundos durante o tempo de medição do ruído (tempo necessário para anotar o valor em prancheta).

3. FONTES SONORAS

3.1 POTÊNCIA SONORA

De forma geral, as fontes sonoras são classificadas em fontes pontuais, lineares ou de ondas planas. Embora uma fonte de ruído real não seja exatamente nenhum desses tipos de fonte, pode-se classificá-la naquela em que mais se aproxima. Por exemplo, um caminhão pode ser aproximado a uma fonte pontual quando o receptor está situado a uma grande distância deste. Conforme Lord *et al.* (1980), é possível aproximar uma fonte sonora a uma fonte pontual quando o receptor estiver afastado a uma distância superior a duas vezes a maior dimensão dessa fonte. Entretanto, a distâncias menores, considerar esse equipamento como uma fonte pontual incorreria em erros em prognósticos de ruído. Como fonte linear, pode-se tomar como exemplo o tráfego intenso numa rodovia. Por outro lado, um caminhão numa mineração, lentamente trafegando da cava em direção ao britador primário, se aproxima mais a uma fonte pontual móvel.

Partindo da equação 2.6, observa-se que a intensidade sonora é inversamente proporcional à área:

$$I_r = \frac{W}{S} \quad (3.1)$$

Onde:

I_r : Intensidade sonora à distância r da fonte (W/m^2);

W : Potência sonora (W);

S : Área de uma superfície esférica a uma distância r da fonte sonora (m^2);

No caso de uma esfera, sua área é de $área_{esfera} = 4\pi r^2$. Dessa forma, a cada dobro de distância (r) de uma fonte pontual situada no centro da esfera, a área aumenta em 4 vezes. Uma vez que a potência sonora é característica da fonte, não se alterando com a distância, a intensidade sonora diminui, pois a mesma energia agora está diluída numa área 4 vezes maior¹. Ainda conforme a equação 2.6, como a densidade do ar (ρ) e a velocidade do som (c) são constantes nas proximidades de uma fonte sonora, a intensidade é proporcional ao quadrado da pressão sonora ($P_{eficaz_r}^2$). Desta forma, a cada dobro de distância da fonte, a pressão sonora é reduzida em quatro vezes. Se $P_{eficaz_1}^2 = 1$ e $P_{eficaz_2}^2 = 1/4$, substituindo, na equação 2.3, os valores de P^2 por 1 e P_o^2 por 0,25, a pressão sonora é reduzida em 6 dB a cada dobro de distância de uma fonte pontual.

¹Analogamente, medimos temperaturas menores quando nos afastamos de um aquecedor elétrico, embora a sua potência térmica permaneça inalterada.

Para uma fonte linear, entretanto, a área de uma superfície a uma distância r do eixo, é obtida através da relação $\text{área}_{\text{cilindro}} = 2\pi r l$. Considerando o comprimento da fonte linear (L) constante, conforme nos afastamos perpendicularmente à mesma, temos que a cada dobro de r a área é reduzida pela metade, resultando numa redução de 3 dB a cada dobro de distância da fonte.

Fontes de onda plana não são comuns em ambientes externos. Uma superfície de uma máquina grande, como um britador de mandíbulas, a elevadas distâncias, como aquelas às quais estão situados os moradores vizinhos a uma mineração, é melhor representada por uma fonte pontual. Um exemplo de fonte de ondas planas seria um alto-falante emitindo sons dentro de um tubo com o mesmo raio do alto-falante. Dentro do tubo não há mudança da área das frentes de ondas circulares e, portanto, não ocorre divergência geométrica.

Uma das principais características de uma fonte sonora é sua potência sonora.

A partir da equação 3.1 tem-se que $W = I \cdot S$ e $W_o = I_o \cdot S_o$. Sendo $S_o = 1m^2$, substitui-se estes parâmetros na equação 2.5:

$$L_W = 10 \log \frac{I S}{I_r 1} = 10 \log \frac{I}{I_r} + 10 \log S \quad (3.2)$$

Conforme Gerges (2000), a partir das equações 2.3, 2.5 e 2.6, pode-se considerar:

$$\frac{I}{I_r} = \frac{P^2}{P_o^2}$$

Portanto a potência sonora pode ser expressa como:

$$L_W = L_P + 10 \log S \quad (3.3)$$

Para uma fonte pontual com raio r , a área S é dada por $S = 4\pi r^2$. Portanto

$$\begin{aligned} L_W &= L_P + 10 \log 4\pi r^2 \\ L_W &= L_P + 20 \log r + 11 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Através da equação 3.4 é possível obter a potência de uma fonte sonora pontual omnidirecional num campo sonoro livre a partir de sua pressão sonora a uma distância r .

3.2 DIRETIVIDADE

Outra característica a fontes sonoras é a sua diretividade. Uma fonte sonora real dificilmente irradia de forma uniforme ruído em todas as direções. Por exemplo, um caminhão normalmente irradia a maior parte do ruído na sua parte frontal, próximo ao motor, e no bocal do escapamento de gases. Adicionalmente, a maior parte das fontes está posicionada sobre o chão, que é outro limitador para a irradiação omnidirecional do ruído.

A diretividade da fonte pode ser expressa como a variação da intensidade sonora em relação à posição angular a um eixo de referência que passa pela fonte (SOUND RESEARCH LABORATORIES, 1991).

$$Q_{\theta} = \frac{I_{\theta}}{I} \quad (3.5)$$

Onde:

Q_{θ} : Fator de diretividade;

I_{θ} : Intensidade sonora na direção θ (em W/m²);

I : Intensidade média da fonte (em W/m²).

O índice de diretividade pode ser expresso por:

$$DI_{\theta} = 10 \log Q_{\theta} \quad (3.6)$$

O índice de diretividade da fonte pode ser obtido a partir de medições de pressão sonora em diferentes ângulos (θ) e distâncias (r) de uma fonte pontual por meio da equação:

$$L_P(r, \theta) = L_W + DI_{\theta} - 20 \log r - 11 \quad (3.7)$$

No caso de uma fonte pontual situada sobre uma superfície plana e dura, ocorrerão reflexões do som emitido em direção ao solo e a propagação se dará de forma hemisférica (onde o ângulo sólido é 2π). Para pequenas distâncias (de alguns metros), as influências de atenuação pelo ar são desprezíveis, conforme será detalhado no capítulo 4. Desta forma, a partir da equação geral de propagação do ruído (equação 4.1) tem-se:

$$L_P(r, \theta) = L_W + DI_{\theta} - 20 \log r - 8 \quad (3.8)$$

3.3 CAMPOS SONOROS

Uma fonte sonora pode vibrar em diversas frequências, provocando variações na pressão do ar que a envolve. Essas variações de pressão se propagam no ar na forma de ondas esféricas concêntricas (no caso de uma fonte pontual). Entretanto, na região muito próxima à fonte sonora, denominada de campo próximo, existe uma região onde a movimentação do ar é bastante intensa e turbulenta, não sendo possível medir ou prever com exatidão a pressão sonora. Conforme Bistafa (2011), esse efeito é maior para tons puros do que para bandas de oitava. O campo próximo estende-se a uma distância equivalente à metade do comprimento de onda da menor frequência emitida pela fonte ou do dobro da dimensão característica da fonte (prevalecendo o maior valor). Devido a essa característica, deve-se evitar realizar medições de pressão sonora nessa região.

O campo afastado, situado a distâncias da fonte superiores às aquelas do campo próximo, pode ser subdividido em campo livre e campo reverberante. No campo livre, a divergência geométrica das ondas sonoras pode ser facilmente determinada, havendo pouca contribuição do som refletido. No caso de uma fonte pontual, ocorre atenuação de 6 dB para cada dobro na distância de afastamento da fonte. Entretanto, no caso de um recinto fechado, quanto mais próximo das paredes, maior é a influência das ondas sonoras refletidas na pressão sonora total, ocasionando reverberação. Dessa forma, também não é recomendado efetuar medições de pressão sonora no campo reverberante.

Dependendo das dimensões do recinto, dimensões da fonte sonora e características de absorção das paredes, pode não haver região no recinto sem influência expressiva da reverberação. A figura 3.1 ilustra os campos sonoros.

Figura 3.1 – Campos sonoros

A: Campo próximo; B: Campo afastado; C: Campo livre; D: Campo reverberante.
Fonte: Bistafa (2011)

3.4 POTÊNCIA SONORA A PARTIR DA PRESSÃO SONORA

Conforme Bies e Hansen (2009), existem diferentes metodologias aceitas para a determinação da potência sonora de equipamentos a partir de medições de pressão sonora nas proximidades da fonte. A seleção de qual método empregar depende da precisão requerida, da mobilidade da fonte, da presença de outras fontes (caso a fonte avaliada não possa ser transportada) e das condições do local de medição (se ocorre reverberação devido à reflexão em paredes, piso ou teto).

Para determinação da potência sonora de equipamentos, considerando a diretividade e a influência de fatores externos, pode-se destacar as seguintes normas internacionais (vide tabela 3.1):

Tabela 3.1 – Normas internacionais para determinação da potência sonora

Numero	Nome	Complemento
ISO 3741:2010	Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure	Precision methods for reverberation test rooms
ISO 3740:2000	Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources	Guidelines for the use of basic standards
ISO 3742:1988	Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources	Precision methods for discrete-frequency and narrow-band sources in reverberation rooms
ISO 3743-1:2010	Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure	Part 1: Comparison method for a hard-walled test room
ISO 3743-2:1994	Engineering methods for small movable sources in reverberant fields	Part 2: Methods for special reverberation test rooms
ISO 3744:2010	Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure	Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane
ISO 3745:2012		Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms
ISO 3746:2010		Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane
ISO 3747:2010	Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure	Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment
ISO 6395:2008	Earth-moving machinery -- Determination of sound power level	Dynamic test conditions
ISO 8297:1994	Acoustics -- Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment	Engineering method
ISO 9614-1:1993	Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity	Part 1: Measurement at discrete points
ISO 9614-2:1996		Part 2: Measurement by scanning
ISO 9614-3:2002		Part 3: Precision method for measurement by scanning

Fonte: ISO¹

¹ Dados obtidos pelo autor através do site da ISO (www.iso.org).

Para a determinação da potência sonora em campo livre utilizando apenas medições de pressão sonora, é necessário que a reverberação seja desprezível, característica que é conseguida em câmaras anecoicas ou semi-anecoicas. Os pré-requisitos para as condições adequadas de medição estão descritos na Norma ISO 3745. Atendendo a essas condições, a pressão sonora medida é essencialmente aquela diretamente emitida pela fonte, possibilitando o cálculo da potência sonora e da diretividade a partir dos resultados em diferentes pontos de medição.

A Norma ISO 3745 estabelece o desvio padrão esperado para cada banda de oitava da potência sonora calculada, e aplica fatores de correção considerando a pressão atmosférica, temperatura e reverberação e a posição de cada microfone (formando uma hemisfera ao redor da fonte sonora avaliada).

A Norma ISO 3744 estabelece um método similar ao estabelecido pela ISO 3745, para campo livre sobre piso reflexivo, não sendo, necessariamente, anecoico.

Para medições em campo difuso (como uma câmara reverberante, onde se tem reflexões difusas do som), a Norma ISO 3741 estabelece pré-requisitos para o tamanho e formato da câmara, bem como de suas paredes, de forma a proporcionar modos de vibração nas bandas de oitava (ou de terço de oitava, no caso da ISO 3742) requeridas para estudo como, por exemplo, que a proporção da câmara de ensaio deve ser tal que a razão entre quaisquer duas dimensões não é igual ou próximo a um número inteiro. Estabelece também a posição de cada microfone, e medidas de correção.

No caso de máquinas situadas em ambientes internos que não são anecoicos, porém também não são reverberantes, não sendo possível mover a fonte, passa-se a utilizar métodos que possibilitam a determinação da potência sonora com menor precisão, como estabelece a Norma ISO 3747 para fontes fixas ou ISO 3743 para fontes móveis (pequenas). Os microfones precisam estar afastados de quaisquer superfícies refletoras pelo menos metade do comprimento de onda da banda de oitava analisada. Os desvios padrão esperados para a potência em cada banda de oitava são maiores que aqueles estabelecidos nas normas ISO 3745, ISO 3741 e ISO 3742.

Conforme Bies e Hansen (2009), os métodos anteriores envolvem casos nos quais a câmara de medição é grande o suficiente para permitir medições de pressão sonora no campo livre, e as interferências causadas pelo ruído de fundo podem ser consideradas pouco significativas (por serem realizadas em câmaras anecoicas ou

devido à disponibilidade de fatores de correção para minimizar essas interferências). Ou seja, em todos os pontos de medição (posições pré-determinadas nas normas) a pressão sonora emitida pela fonte sonora para a qual se deseja determinar a potência sonora é, pelo menos, 3 dB superior ao ruído de fundo.

Entretanto, em alguns casos as condições supracitadas não podem ser satisfeitas, como por exemplo um recinto muito pequeno, no qual não exista espaço suficiente para efetuar medições em campo livre, ou então um recinto grande, onde exista espaço suficiente, mas o ruído de fundo produzido por outras fontes nas proximidades é muito elevado, impedindo que sejam realizadas medições da fonte sonora a distâncias nas quais se encontra o campo livre. Para esses casos a Norma ISO 3746 estabelece um procedimento de medição que, embora resultem em valores de potência sonora da fonte com maior desvio padrão, possibilita contornar essas limitações.

As medições de pressão sonora devem ser realizadas numa superfície hipotética de forma retangular ou hemisférica que envolva a fonte, usualmente posicionada sobre solo duro e reflexivo. Essa superfície deve estar próxima o suficiente da fonte para reduzir a influência de ruído proveniente de outras fontes. Se o ruído de fundo for elevado, é recomendado realizar as medições da fonte sob a influência do ruído de fundo e posteriormente, com a fonte desligada, realizar medições somente do ruído de fundo. Dessa forma é possível subtrair essa interferência das medições de pressão sonora da fonte em estudo.

A potência sonora em dB(A) é obtida a partir da pressão sonora média medida sobre uma superfície hipotética de área S conforme a seguinte relação (ISO 3746:1995):

$$L_{WA} = \overline{L_{pFA}} + 10 \log \frac{S}{S_0} \quad (3.9)$$

Onde:

L_{WA} : Nível de potência sonora em dB(A);

$\overline{L_{pFA}}$: Nível de pressão sonora médio (equivalente) em dB(A);

S: Área da superfície hipotética envolvente;

S_0 : Área de referência (1 m²).

No caso de medições de pressão sonora sobre uma superfície hemisférica, a origem de seu raio deve coincidir com o centro de uma caixa envolvente à fonte sonora em estudo. O raio dessa hemisfera deve ser maior ou igual ao dobro do diâmetro d_0 (dimensão média) da caixa envolvente. São recomendados raios de 1, 2, 4, 6, 8, 10,

12, 14 ou 16 metros nas posições apresentadas na figura 3.2. Se a fonte apresentar alta diretividade, a Norma ISO 3746 recomenda a realização de medição de pressão sonora em pontos adicionais.

A área da superfície hemisférica é dada por:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3.10)$$

Onde:

S: Área da superfície da hemisfera hipotética sobre uma superfície dura reflexiva (em m²).

r: distância do ponto de medição de ruído à caixa de referência, conforme representado na figura 3.2 (em metros).

Figura 3.2 – Pontos recomendados para posicionamento dos microfones sobre uma hemisfera hipotética (ISO 3746)

Fonte: ISO (1995), tradução nossa

Para medições numa superfície na forma de paralelepípedo envolvendo a caixa de referência na qual se situa a fonte sonora (semelhante à caixa de referência da figura 3.2), a distância de medição da pressão sonora em relação à caixa de referência deve ser de, no mínimo 0,15 m, sendo recomendados os valores de 0,15, 0,25, 0,5, 1, 2, 4 ou 8 metros. As figuras 3.3 e 3.4 ilustram as posições de medição recomendadas pela Norma ISO 3746:1995 para fontes pequenas e para fontes grandes, respectivamente.

A área da superfície do paralelepípedo é dada por (ISO 3746:1995):

$$S = 4(a \cdot b + b \cdot c + c \cdot a) \quad (3.11)$$

Onde:

S: Área da superfície do paralelepípedo hipotético sobre uma superfície dura reflexiva (em m²).

$a = 0,5 L_1 + d$; $b = 0,5 L_2 + d$ e $c = L_3 + d$

d: distância do ponto de medição de ruído à caixa de referência, conforme representado nas figuras 3.3 e 3.4.

L_1 , L_2 e L_3 são, respectivamente, a largura, o comprimento e a altura do paralelepípedo (em metros).

Figura 3.3 – Locais recomendados para posicionamento dos microfones sobre um paralelepípedo hipotético para determinação da potência sonora de uma fonte pequena, onde $L_1 \leq d$, $L_2 \leq d$, $L_3 \leq 2d$ (ISO 3746)

Fonte: ISO (1995), tradução nossa

Figura 3.4 – Locais recomendados para posicionamento dos microfones sobre um paralelepípedo hipotético para determinação da potência sonora de uma fonte grande, onde $4d < L_1 \leq 7d$, $d < L_2 \leq 2d$, $2d < L_3 \leq 5d$ (ISO 3746)

Fonte: ISO (1995), tradução nossa

Para correções decorrentes da influência de ruído de fundo durante as medições de pressão sonora da fonte, pode-se empregar a equação 3.12.

$$\Delta L_A = \overline{L'_{PA}} - \overline{L''_{PA}} \quad (3.12)$$

Onde:

ΔL_A : Incremento nos níveis médios (equivalentes) de pressão sonora em decorrência da influência do ruído de fundo (em dBA);

$\overline{L'_{PA}}$: Nível de pressão sonora médio (equivalente) calculado a partir das medições na superfície de referência com a fonte em operação (em dBA);

$\overline{L''_{PA}}$: Nível de pressão sonora médio (equivalente) de outras fontes, calculado a partir das medições na superfície de referência com a fonte em estudo desligada (em dBA);

Caso $\Delta L_A > 10$ dB, não é necessário aplicar nenhuma correção, uma vez que diferenças superiores a 10 dB em relação ao ruído de fundo tornam este desprezível. Se $3 \text{ dB} \leq \Delta L_A < 10$ dB, deve ser aplicado um valor de correção determinado pela equação 3.13. Se $\Delta L_A < 3$ dB, a precisão da medição é reduzida, sendo a máxima correção aplicável 3 dB, podendo servir para determinar um limite superior para a potência sonora a ser determinada (ISO 3746:1995).

$$K_{1A} = -10 \log(1 - 10^{-0,1\Delta L_A}) \quad (3.13)$$

Onde:

K_{1A} : Fator de correção para interferência do ruído de outras fontes;

ΔL_A : Incremento nos níveis médios (equivalentes) de pressão sonora em decorrência da influência do ruído de outras fontes (em dBA);

Outro fator de correção, K_{2A} , refere-se a correções em função da reverberação do ambiente. Para que a medição de pressão sonora seja considerada fora do campo reverberante, a Norma ISO 3746:1995 estabelece uma distância mínima de 0,15 m da fonte.

Em ambientes externos, o ambiente reflexivo sobre o qual se encontra a fonte deve ser solo duro (compactado), ou superfícies artificiais como concreto ou asfalto. O coeficiente de absorção sonora dessa superfície deve ser inferior a 0,1. Para superfícies com coeficientes de absorção maiores, como grama ou terra não compactada, a distância de medição à fonte não deve exceder 1 metro.

Em ambientes internos, K_{2A} é determinado a partir da comparação da potência de uma fonte sonora de referência, obtida num ambiente controlado por um método preciso (como as normas ISO 3745 ou mesmo a ISO 3744), com a potência sonora dessa mesma fonte de referência no ambiente onde está a fonte cuja potência se deseja determinar. Outra alternativa para determinar o K_{2A} em ambientes internos é a

partir da equação 3.14, que correlaciona a absorção do som no recinto onde se situa a fonte com a área deste recinto.

$$K_{2A} = 10 \log \left[1 + 4 \left(\frac{S}{A} \right) \right] \quad (3.14)$$

Onde:

A: Área equivalente de absorção sonora do recinto para 1 kHz (em m²)

S: Área da superfície de referência que envolve a fonte (em m²)

A tabela 3.2 compara os graus de precisão na determinação da potência sonora por meio de medições de pressão sonora alcançáveis na aplicação das Normas ISO 3744, 3745 e 3746.

Tabela 3.2– Comparativo dos graus de precisão na determinação de potência sonora pelos métodos das Normas ISO 3744, 3745 e 3746

Parâmetro	ISO 3745	ISO 3744	ISO 3746
Grau	Precisão (grau 1)	Engenharia (grau 2)	Controle (grau 3)
Local de ensaio	Câmara anecoica ou semi-anecoica	Ao ar livre ou ambientes internos	Ao ar livre ou ambientes internos
Critério de adequação do local de ensaio	$K_2 \leq 0,5 \text{ dB}$	$K_2 \leq 2 \text{ dB}$	$K_2 \leq 7 \text{ dB}$
Limitação do ruído de fundo	$\Delta L \geq 10 \text{ dB}$ (se possível $\geq 15 \text{ dB}$) $K_1 \leq 0,4 \text{ dB}$	$\Delta L \geq 6 \text{ dB}$ (se possível $\geq 15 \text{ dB}$) $K_1 \leq 1,3 \text{ dB}$	$\Delta L \geq 3 \text{ dB}$ $K_1 \leq 3 \text{ dB}$
Número mínimo de pontos de medição	10	9 (em alguns casos podem ser menos)	4 (em alguns casos podem ser menos)
Classe do sonômetro	1	1	2
Classe do filtro de bandas de oitava	1	1	---
Precisão (desvio padrão típico de reprodutibilidade)	$\sigma_R \leq 1 \text{ dB}$	$\sigma_R \leq 1,5 \text{ dB}$	$\sigma_R \leq 3 \text{ dB}$ para $K_2 < 5 \text{ dB}$ $\sigma_R \leq 4 \text{ dB}$ para K_2 entre 5 e 7 dB

Fonte: ISO (1995)

3.5 POTÊNCIA SONORA A PARTIR DA INTENSIDADE SONORA

Outra metodologia aplicável para a determinação da potência sonora se baseia na intensidade sonora. Para tanto, é necessário um equipamento mais sofisticado de medição, dotado de dois microfones posicionados frente a frente com um espaçamento adequado, conforme pode ser visualizado na figura 3.5, e um console para processamento dos sinais.

Basicamente, conforme definido no item 2.4, a intensidade sonora é determinada pelo produto da pressão sonora pela velocidade de partícula da onda sonora. Por meio destes dois microfones idênticos, determina-se a diferença de pressão entre eles, representando o gradiente de pressão (a variação de pressão com a distância – no caso, de um microfone ao outro). A partir do gradiente de pressão, o console para processamento dos sinais determina a velocidade de partícula. A multiplicação da velocidade de partícula pela pressão média dos dois microfones fornece a intensidade sonora.

Figura 3.5 – Sonda medidora de intensidade sonora e console para processamento dos sinais modelo 2270, da Brüel & Kjær

Fonte: Brüel & Kjær (2010)

O afastamento entre os microfones e o diâmetro destes é determinado a partir do comprimento de onda da banda de oitava (ou de terço de oitava) que está em estudo. Para altas frequências são necessários afastamentos menores, como 6 mm (até 10 kHz) ou 12 mm (até 5 kHz) (pois em afastamentos grandes, como 50 mm caberiam múltiplos da onda estudada) e, para reduzir interferências, são recomendados microfones com pequeno diâmetro (como $\frac{1}{4}$ " (6,35 mm), embora também seja possível utilizar microfones de $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm)). Já para baixas frequências (abaixo de 500 Hz) são recomendados afastamentos de 50 mm entre os microfones, com diâmetros de $\frac{1}{2}$ " (BRÜEL & KJÆR, 2010). A tabela 3.3 apresenta o afastamento

necessário entre os microfones para diferentes faixas de frequência de pressão sonora.

Como intensidade é uma grandeza vetorial, é possível determinar, além do nível de intensidade, sua direção. Essa característica possibilita medições a distâncias muito pequenas da fonte, inclusive dentro do campo próximo, pois o medidor de intensidade é capaz de diferenciar o sentido da intensidade nesse campo (FAHY, 2003).

Basicamente, a potência sonora corresponde à intensidade sonora média medida uniformemente sobre uma superfície hipotética que envolve a fonte (e medida na direção normal à fonte) multiplicada pela área dessa superfície hipotética, como exemplifica a figura 3.6.

Figura 3.6 – Superfície hipotética sobre a qual se mede uniformemente, na direção normal à fonte, a intensidade sonora

Fonte: Brüel & Kjær (2010), tradução nossa

A possibilidade de medir a intensidade sonora próxima à fonte sonora é importante para reduzir a influência do ruído de fundo. De modo geral, um ruído de fundo constante causa pouca interferência na obtenção da potência sonora por meio de medições de intensidade.

Supondo que exista uma fonte sonora externa à superfície hipotética apresentada na figura 3.6, o fluxo de energia acústica entrará por um lado dessa

superfície hipotética e sairá do outro lado, de tal forma que o que entrou de energia acústica também saiu, não interferindo no resultado das medições de intensidade da fonte sonora em estudo situada no interior da superfície hipotética. Parte-se, entretanto, da premissa de que o ruído de fundo seja estacionário. Pequenas flutuações no ruído de fundo podem ser compensadas por medições de intensidade sonora mais duradouras, obtendo-se médias de intensidade representativas. Se o ruído de fundo for muito alto, pode-se ainda realizar medições de intensidade a menores distâncias da fonte.

Em campo livre, a pressão sonora se iguala ao valor numérico da intensidade sonora, quando esta é medida na direção de propagação da onda sonora. Em campo livre, entretanto, pode-se simplesmente utilizar a pressão sonora para determinar a potência sonora da fonte, não sendo necessária uma sonda medidora de intensidade. No campo próximo, contudo, os valores da pressão sonora e da intensidade sonora são diferentes. Essa diferença entre a pressão sonora e a intensidade sonora é denominada índice Pressão-Intensidade (*pressure-intensity index*).

Uma vez que a intensidade sonora é uma grandeza vetorial, quando a sonda de intensidade está posicionada perpendicularmente à direção de propagação da onda sonora, não há diferença entre a informação recebida pelos dois microfones (ambos os microfones recebem exatamente a mesma pressão sonora ao mesmo tempo), fazendo com que a intensidade medida seja nula. Por outro lado, quando a sonda de intensidade está posicionada na direção de propagação da onda sonora, se o campo sonoro for livre, a intensidade e a pressão sonora são numericamente iguais¹. Em outros ângulos de medição, a diferença entre a pressão e a intensidade varia em função do cosseno do ângulo formado entre a direção de propagação da onda sonora e o ângulo da sonda de intensidade.

Dessa forma, o índice pressão-intensidade é influenciado pela diferença entre a pressão e a intensidade no campo próximo e pelo ângulo da sonda de intensidade em relação à direção de propagação da onda sonora. Esse índice é importante para determinar a faixa de frequências passível de ser medida com determinado espaçamento entre os microfones da sonda de medição de intensidade.

¹ Ou seja, quando a sonda de intensidade está posicionada na direção de propagação da onda sonora, a pressão sonora e o módulo da intensidade sonora (pois como é uma grandeza vetorial, pode assumir valor positivo ou negativo) são iguais (e diferentes de zero).

Conforme ilustra a parte superior da figura 3.7, a velocidade de partícula da onda sonora que passa pelos microfones é determinada pelas diferenças de pressão medidas em cada microfone. Aproxima-se a variação contínua da onda sonora a uma reta tangente a essa curva (que na figura 3.7 é representada por uma curva idealmente senoidal) no centro entre os microfones. Para frequências altas, entretanto, conforme representado na parte inferior da figura 3.7, cabem mais do que meia onda sonora, fazendo com que a tangente encontrada seja inferior à variação real da pressão sonora, causando uma subestimação da velocidade de partícula e, por consequência, da intensidade sonora. Para uma acurácia de 1 dB, o comprimento de onda medido deve ser maior do que 6 vezes o afastamento entre os microfones (BRÜEL & KJÆR, 2010).

Figura 3.7 – Influência do espaçador da sonda de intensidade no limite superior de frequência

Fonte: Brüel & Kjær (2010), tradução nossa

Para baixas frequências, caso o comprimento de onda seja muito grande para o espaçamento entre os microfones, a diferença entre as pressões medidas em ambos os microfones é muito pequena, fazendo com que as imprecisões da sonda medidora de intensidade e sistema de análise de sinais seja relativamente alto. Na tabela 3.3 estão apresentados os limites inferior e superior da faixa de frequências para os quais é possível uma acurácia de 1 dB para diferentes espaçadores. Para uma faixa de frequências mais baixas, deve-se utilizar um espaçador maior, enquanto que para frequências é interessante utilizar um espaçador menor. Nota-se que quanto maior o índice pressão-intensidade, mais estreita é a faixa de frequências para a qual se consegue uma acurácia de 1 dB.

Tabela 3.3 – Faixas de frequência para uma acurácia de 1 dB na determinação da intensidade

Índice Pressão- Intensidade	Espaçamento entre os microfones		
	8,5 mm	12 mm	50 mm
0 dB	50 Hz – 7 kHz	40 Hz – 5 kHz	10 Hz – 1,25 kHz
3 dB	110 Hz – 7 kHz	80 Hz – 5 kHz	20 Hz – 1,25 kHz
10 dB	500 Hz – 7 kHz	400 Hz – 5 kHz	100 Hz – 1.25 kHz

Adaptado de Brüel & Kjær (1993)

Outra fonte de erro a ser considerada é o índice de pressão-intensidade residual. Quando ambos os microfones recebem a mesma pressão sonora, como durante a calibração, idealmente o equipamento de medição não deveria detectar intensidade (apenas pressão sonora), pois não há diferenças de pressão entre os microfones. Entretanto, por imprecisões do equipamento, existe alguma diferença entre o sinal de ambos os microfones, o que é entendido pelo equipamento como uma diferença de fase e, por consequência, um valor residual de intensidade sonora. Para uma acurácia de 1 dB na determinação da intensidade sonora, o índice pressão-intensidade deve se ao menos 7 dB inferior que o índice de pressão-intensidade residual (ISO, 1996b).

Subtraindo 7 dB do índice de pressão-intensidade residual obtém-se a capacidade dinâmica, que representa o limite para o qual é possível determinar o índice pressão-intensidade com acurácia de 1 dB (BRITO, 2006).

Para determinação da potência sonora por meio de medições de intensidade destaca-se a norma ISO 9614, que está subdividida em três partes

- ISO 9614-1 – Medição em pontos discretos;
- ISO 9614-2 – Medição por meio de varredura;
- ISO 9614-3 – Método de precisão para medição por meio de varredura.

Segundo a Norma ISO 9614-1:1993, para a determinação da potência sonora de uma fonte por meio de medições de intensidade sonora, define-se uma superfície hipotética que envolve a fonte, no formato mais adequado à mesma (paralelepípedo, hemisfera, cilindro, hemicilindro), em no mínimo uma medição por m² de superfície, e em ao menos 10 posições uniformemente distribuídas. Caso sejam necessárias mais de 50 posições, pode-se reduzir a densidade de pontos para 1 a cada 2 m² e, se o ruído de fundo não for significativo, pode-se limitar o número de pontos a 50 e distribuí-los de forma uniforme sobre a superfície hipotética. A superfície hipotética deve estar, no mínimo, a 0,5 m de distância da fonte.

A Norma ISO 9614-1 estabelece ainda uma série de fatores de correção em função do desvio padrão de cada medição, da duração de cada medição, do número de medições, da característica do ruído de fundo, da diretividade da fonte e da presença de vento (natural ou provocada pelo próprio funcionamento do equipamento em estudo).

A Norma ISO 9614 estabelece metodologias (envolvendo número de pontos e fatores de correção) em função do grau de precisão requeridos. Para grau 1 (precisão), o desvio padrão máximo é de 1 dB para sons nas bandas de oitava de 1000 Hz a 4000 Hz, de 1,5 dB para as bandas de oitava de 250 Hz a 500 Hz e de 2 dB para as bandas de oitava de 63 Hz a 125 Hz. Para grau 2 (engenharia) do desvio padrão máximo varia de 1,5 dB para as bandas de oitava de 1000 Hz a 4000 Hz, 2 dB para as bandas de oitava de 250 Hz a 500 Hz e 3 dB para as bandas de oitava de 63 Hz a 125 Hz. Para grau 3 (controle) admite-se um desvio padrão de até 4 dB para a média A-ponderada.

A Norma ISO 9614-2:1996 estabelece um método para medição da intensidade sonora por meio da varredura de superfícies hipotéticas com a sonda de medição de intensidade. Nesse método, a sonda de intensidade deve ser movimentada na forma de uma serpentina, como ilustrado na figura 3.8.

Figura 3.8 – Exemplos de movimentação de varredura da sonda de medição de intensidade sonora (ISO 9614-2)

Fonte: ISO (1996b)

A sonda deve ser movimentada lentamente a uma velocidade constante entre 0,1 m/s e 0,5 m/s. Uma vez que seria pouco prática a varredura com a sonda sobre superfícies irregulares, estabelece-se ao redor da fonte, uma superfície hipotética regular e simples, formada por diferentes planos, medindo-se por varredura a intensidade média de cada face dessa superfície. Cada superfície deve ser medida duas vezes, sendo que a segunda varredura deve ser feita perpendicularmente à primeira, conforme indicado na figura 3.8. A intensidade sonora é determinada a partir da média das duas medições. A norma ISO 9614-2 estabelece como limites da diferença entre os resultados da primeira e segunda varreduras, para atender aos graus 2 ou 3 de precisão, os desvios apresentados na tabela 3.4.

Tabela 3.4– Graus de precisão da determinação da potência sonora (ISO 9614-2)

Frequências centrais de bandas e oitava	Frequências centrais de bandas de terço de oitava	Desvio padrão	
		Engenharia (grau 2)	Controle (grau 3)
65 Hz a 125 Hz	50 Hz a 60 Hz	3 dB	
250 Hz	200 Hz a 315 Hz	2 dB	
500 Hz a 4 kHz	400 Hz a 5 kHz	1,5 dB	
	6,3 kHz	2,5 dB	
Ponderando em A		1,5 dB	4 dB

Fonte: ISO (1996b)

A norma ISO 9614-2 estabelece também dois graus de precisão para a capacidade dinâmica: para o grau de engenharia (grau 2), subtrai-se 10 dB do índice de pressão-intensidade residual para obter a capacidade dinâmica; para o grau de

controle (grau 3), subtrai-se 7 dB do índice de pressão-intensidade residual para obter a capacidade dinâmica.

Conforme Brito (2006), a norma ISO 9614-2 estabelece um índice de campo para a verificação do efeito da variação do fluxo de vetores de intensidade na presença de ruído de fundo. Esta variação pode ocorrer em decorrência da absorção de parte do ruído de fundo pela superfície da fonte sonora em análise. Dessa forma, parte do fluxo externo de energia acústica que flui para dentro da superfície hipotética que envolve a fonte, conforme ilustra a figura 3.6, fica retida dentro da superfície, interferindo no resultado das medições. Este índice, denominado $F_{+/-}$, é obtido através da equação 3.15, ou seja, a diferença entre o módulo do nível de potência sonora e o nível potência sonora (considerando também a parte vetorial). Vale indicar que o nível de potência sonora pode ser obtido por meio da equação 3.2, onde a intensidade é uma grandeza vetorial.

$$F_{+/-} = 10 \log \left[\frac{\sum |P_i|}{\sum P_i} \right] \quad (3.15)$$

Onde:

$F_{+/-}$: Índice de campo (dB)

P_i : Potência acústica parcial, considerando um segmento da superfície hipotética de medição (é obtida a partir do produto da intensidade (grandeza vetorial) pela área do segmento considerado) (W).

$|P_i|$: Módulo de P_i (W).

Para atender ao grau 2 (engenharia) apresentado na tabela 3.4, a norma ISO 9614-2 estabelece que $F_{+/-}$ deve ser inferior ou igual a 3 dB.

4 PROPAGAÇÃO SONORA AO AR LIVRE

Pode-se classificar o estudo da propagação sonora em interna e ao ar livre. Embora diferentes fenômenos de propagação, atenuação e reflexão ocorram tanto em ambientes internos quanto externos, a predominância de diferentes efeitos prevalece em cada caso.

No presente estudo priorizaremos a propagação sonora ao ar livre, abordando os fenômenos que ocorrem na trajetória entre as fontes sonoras e os receptores (moradores situados nas vizinhanças).

A propagação sonora envolve fontes sonoras, trajetórias de propagação e receptores. No que se refere às fontes sonoras, destacam-se como características fundamentais a potência sonora e a diretividade, descritas no capítulo 3. Os receptores sonoros (ouvintes) serão abordados no capítulo 5.

Durante a trajetória de propagação do ruído pelo ar até os receptores, uma série de fatores atua de forma conjunta na atenuação da pressão sonora, podendo, em alguns casos, a atenuação global ser bastante significativa e, em outros, diminuta.

Podemos destacar como fatores que compõem a propagação do ruído e sua atenuação com a distância (LAWRENCE, 1989):

- Potência e diretividade das fontes sonoras;
- Divergência geométrica das ondas sonoras;
- Atenuação em decorrência da absorção pelo ar;
- Atenuação em decorrência de barreiras;
- Atenuação por absorção e reflexões no solo;
- Atenuação pela presença de vegetação;
- Atenuação pela presença de áreas construídas;
- Influência de condições meteorológicas.

Para um prognóstico dos níveis de pressão sonora esses fatores precisam ser adequadamente estimados. Para tanto, existem diversas aproximações, com bases teórica e empírica, que buscam quantificar esses fatores.

Attenborough *et al.* (2007) constata que, em decorrência das complicadas combinações de diversos fatores, tais como características geométricas entre as fontes sonoras e os receptores, topografia e características meteorológicas, dentre outros, foram desenvolvidas metodologias com base empírica e semi-empírica

(teórica para alguns parâmetros e empírica para outros) para simplificar esse prognóstico, focando em tipos de fontes específicas (como tráfego rodoviário e urbano, aeronáutico e industrial).

Destacam-se como metodologias de prognóstico de fontes industriais a norma internacional ISO 9613, DAL (também denominada de *General Prediction Method*, da Dinamarca), as normas alemãs VDI 2714 / VDI 2720, CONCAWE (*Oil companies international study group for conservation of clean air and water*), NORD2000 (*Nordic Environmental Noise Prediction Methods*, financiado pela agência de proteção ambiental dos países nórdicos – Finlândia, Suécia e Dinamarca), ÖAL28 (da Áustria), a norma britânica BS 5228, entre outros (COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DEL CHILE, 2008).

Trabalhos como os desenvolvidos por Economou e Peppin (2012), Probst et al. (2010), Sylvestre-Williams e Ramakrishnan (2006), Andrade (2004), Mohalik e Pal (2003), entre outros, apresentam estudos avaliando a qualidade dos prognósticos de diferentes modelos de atenuação da pressão sonora com a distância.

Atualmente a metodologia para prognóstico de ruído mais utilizada é aquela apresentada pela norma ISO 9613, segundo Bullen (2012), Metzen (2010), Probst (2008), entre outros, embora, conforme Attenborough (2007), existam críticas quanto a determinadas aproximações em seus modelos empíricos, principalmente no que tange a absorção por reflexões no solo e a influência de diferentes condições atmosféricas.

Por meio de contatos com especialistas em acústica durante encontros da SOBRAC – Sociedade Brasileira de Acústica, e da análise de diversos estudos de impacto ambiental, observa-se no Brasil, atualmente, a predominância no uso dos *softwares* de prognóstico CadnaA (da empresa DataKustik), Predictor-LimA Type 7810 (da empresa Brüel & Kjær) e SoundPLAN (da empresa Braunstein + Berndt GmbH). A predominância no uso desses *softwares* no Brasil também foi constatada por Lisot (2013). Os três *softwares* citados possuem diversas opções de configuração. A faixa de preços varia entre aproximadamente R\$ 20.000,00 para a configuração mais básica a R\$ 100.000,00 para a configuração mais completa.

Existem também algumas (poucas) alternativas de *software* gratuitas (e dentre elas, algumas com código aberto) para prognóstico de ruído de fontes industriais. Um *software* que merece destaque é o Code_TYMPAN (<http://code-tympan.org/>), desenvolvido pela EDF (*Électricité de France*). Possui uma interface gráfica e opções

para diferentes fontes sonoras, inserção de enclausuramento, entre outros. Seu algoritmo de cálculo para fontes industriais é baseado na norma ISO 9613. Tem sido observada, entretanto, pouca evolução no desenvolvimento do *software*, que permaneceu praticamente inalterado nos últimos 4 anos. As atuais limitações (versão 3.10) tornam inviável o seu uso para os objetivos deste trabalho: não é possível importar a topografia de uma pedreira e das áreas de seu entorno e também não é possível utilizar as coordenadas reais em UTM (Universal Transversa de Mercator). Embora exista um campo para inserir coordenadas UTM, as informações inseridas não são computadas. Apesar de existir uma ferramenta para importação de arquivos DXF¹, no Code_TYMPAN ela se limita ao formato DB-TOPO, que é um tipo de DXF em uso exclusivo pelo IGN (Instituto Geográfico Nacional da França).

Para o QGIS (Quantum GIS), um *software* SIG (Sistema de Informações Geográficas) de código aberto, existe um módulo (*plugin*) denominado opeNoise, desenvolvido pela Arpa Piemonte (Agência de Proteção Ambiental de Piemonte – Itália). Entretanto a atual versão em que ele se encontra (0.4.1) considera, para fontes industriais, apenas a divergência geométrica das ondas sonoras, ignorando fatores como barreiras acústicas (inclusive aquelas existentes em decorrência da topografia local), absorção pelo ar, entre outros.

4.1 DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA

Conforme a equação 3.4, para fontes pontuais ocorre, em decorrência da divergência geométrica das ondas sonoras, uma redução de 6 dB a cada dobro de distância da fonte sonora. Caso a fonte emissora seja linear, essa redução é de 3 dB, e se for plana, não ocorre divergência geométrica. Entretanto, outros fatores também influenciam na atenuação do ruído com a distância.

Na figura 4.1 observa-se que mesmo fontes lineares, a grandes distâncias, passam a apresentar a mesma divergência geométrica de uma fonte pontual (no caso de rua com intenso tráfego, por exemplo, a distâncias maiores que seu comprimento dividido por π).

¹ DXF: Formato de intercâmbio de arquivos gerados por *softwares* CAD.

Figura 4.1 - Atenuação do ruído com a distância para fontes pontuais, lineares e de área

Fonte: Sound Research Laboratories (1991)

Conforme Bistafa (2011), para uma fonte pontual (industrial) pode-se escrever a equação geral de propagação do ruído como:

$$L_P(r, \theta) = L_W - 20 \log r + DI_\theta - 10 \log \frac{\Omega}{4\pi} - A_{combinada} - 11 \quad (4.1)$$

Onde:

$L_P(r, \theta)$: Nível de pressão sonora a uma distância r e a um ângulo θ da fonte sonora (em dB);

L_W : Nível de potência sonora (em dB);

r : distância da fonte sonora ao receptor (em metros);

DI_θ : Índice de diretividade;

Ω : Ângulo sólido;

$A_{combinada}$: Atenuação combinada, resultante de barreiras, absorção pelo ar, solo, vegetação, etc.

Vale ressaltar que a aproximação de uma fonte real (como um caminhão ou um britador) para uma fonte pontual pode ser feita para fontes cujas dimensões sejam inferiores à metade da distância fonte-receptor.

A maioria dos equipamentos em uma pedreira operam de forma intermitente. A perfuratriz, por exemplo, gera consideravelmente mais ruído quando está efetivamente perfurando a rocha. No entanto durante aproximadamente 30%¹ do tempo a atividade de perfuração é paralisada para troca das hastes ou

¹ Informações obtidas por observações em campo nas três pedreiras estudadas.

reposicionamento da perfuratriz para começar um novo furo. O britador primário, de mandíbulas, gera mais ruído logo que recebe uma carga nova de rocha, reduzindo sua potência sonora quando opera vazio à espera de uma nova carga. Os caminhões geram mais ruído enquanto estão em deslocamento entre a cava e o britador primário, assim como outros equipamentos, como escavadoras e pás carregadoras também operam de forma intermitente.

Ao utilizarmos as potências sonoras dos equipamentos que operam numa pedreira (apresentadas no item 7.1 desta tese) na equação 4.1, estamos considerando os níveis máximos de ruído. Para determinar o nível de ruído equivalente ao longo de um período (diurno, por exemplo), considerando os diferentes tempos de operação dos vários equipamentos da pedreira, pode-se utilizar a equação 4.2 (BRITISH STANDARDS, 2009).

$$L_{Aeq(T)} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i 10^{0,1L_i} \quad (4.2)$$

Onde:

$L_{Aeq(T)}$: Nível de ruído equivalente A-ponderado durante o período T ;

T : Duração do período considerado (h);

t : Tempo de efetiva operação do equipamento i durante o período T considerado (h);

L_i : Nível de ruído máximo da fonte de ruído i (determinado pela equação 4.1), em dB(A);

n : Número total de fontes em operação;

4.2 ABSORÇÃO PELO AR

A atenuação do ruído pelo ar ocorre fundamentalmente pela transformação de parte da energia acústica, que se propaga através de ondas de pressão na atmosfera, em calor. Segundo Kang (2007), os mecanismos envolvidos nessa transformação de energia são o relaxamento molecular e a viscosidade. Sendo nitrogênio e oxigênio os gases predominantes na atmosfera, os parâmetros que influenciam os diferentes valores de atenuação por distância percorrida são a frequência do som, a umidade relativa e a temperatura. Esses últimos atuam na densidade do ar e, por conseguinte, na distância entre as suas moléculas.

Mestre e Wooten (1980) apresentam a equação 4.3 para a estimativa do nível de atenuação pelo ar a 20 °C. Para outras temperaturas, podem ser utilizados os gráficos da figura 4.2.

$$A_{atm} = 7,4 \frac{f^2 r}{UR} 10^{-8} \quad (4.3)$$

Onde:

A_{atm} : Atenuação do ruído na banda de oitava ou de terço de oitava considerada (dB)

f: Frequência central da banda de oitava ou de terço de oitava (Hz)

r: Distância entre a fonte e o receptor (m)

UR: Unidade relativa do ar (%)

Lawrence (1970 *apud* Kang 2007) exemplifica a atenuação decorrente da absorção atmosférica por bandas de oitava em 100 m de trajetória numa condição de 50% de umidade relativa e 20 °C de temperatura: 0,032 dB a 124 Hz; 0,0072 dB a 250 Hz; 0,18 dB a 500 Hz; 0,42 dB a 1kHz; 1,0dB a 2 kHz; 2,6 dB a 4 kHz e 8,3 dB a 8 kHz. Nota-se uma atenuação significativamente para frequências de som mais altas.

A norma americana ANSI S1.26-1995, conforme Bistafa (2011) permite o cálculo da absorção sonora de tons puros através da equação 4.4 apresentada a seguir, válida para temperatura de 10 °C e umidade relativa de 70%. O Método Nórdico também faz uso da Norma ANSI S1.26.

$$A_{atm,f} = \frac{r}{1000 \text{ m}} \left[0,6 + 1,6 \left(\frac{f}{1 \text{ kHz}} \right) + 1,4 \left(\frac{f}{1 \text{ kHz}} \right)^2 \right] \quad (4.4)$$

Onde:

$A_{atm,f}$: Atenuação de um tom puro na frequência f pela atmosfera (em dB)

r: Distância do percurso da onda sonora pela atmosfera (em m)

Figura 4.2 - Atenuação pela absorção do ar em função da frequência central de banda de oitava, umidade relativa e temperatura

Fonte: Mestre e Wooten (1980), tradução e adaptação nossa

O método austríaco ÖAL 28 recomenda as atenuações pela atmosfera estabelecidas pela Norma ISO 3891, que permite o cálculo da atenuação por bandas de oitava da absorção atmosférica em função da frequência:

$$A_{atm,f} = \frac{r}{1000 \text{ m}} \left[0,2 + 3,6 \left(\frac{f}{1 \text{ kHz}} \right) + 0,36 \left(\frac{f}{1 \text{ kHz}} \right)^2 \right] \quad (4.5)$$

Onde:

$A_{atm,f}$: Atenuação de um tom puro na frequência f pela atmosfera (em dB)

r : Distância do percurso da onda sonora pela atmosfera (em m)

A Norma ISO 9613-1:1993 estabelece a atenuação pela absorção atmosférica por meio da composição das equações 4.6 e 4.7, para o efeito de relaxamento molecular do oxigênio e nitrogênio, respectivamente. O cálculo da atenuação pela atmosfera em dB para tons puros é feito pelas equações 4.8 e 4.9.

$$f_{rO} = \frac{P_a}{P_r} \left(24 + 4,04 \cdot 10^4 h \frac{0,02+h}{0,391+h} \right) \quad (4.6)$$

$$f_{rN} = \frac{P_a}{P_r} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{-1}{2}} \left(9 + 280h \cdot e^{\left\{ -4,170 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{-1}{3}} - 1 \right] \right\}} \right) \quad (4.7)$$

$$\alpha = 8,686 f^2 \left(\left[1,84 \cdot 10^{-11} \left(\frac{P_a}{P_r} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{-5}{2}} \cdot \left\{ 0,01275 \cdot e^{\left(\frac{-2239,1}{T} \right)} \cdot \left[f_{rO} + \left(\frac{f^2}{f_{rO}} \right)^{-1} + 0,1068 \cdot e^{\left(\frac{-3352}{T} \right)} \cdot \left[f_{rN} + \left(\frac{f^2}{f_{rN}} \right)^{-1} \right] \right\} \right) \right) \quad (4.8)$$

$$A_{atm,f} = \alpha \cdot r \quad (4.9)$$

Onde:

f_{rO} : Frequência de relaxamento do oxigênio molecular;

f_{rN} : Frequência de relaxamento do nitrogênio molecular;

α : Coeficiente de atenuação atmosférica;

P_r : Pressão atmosférica de referência (101,325 kPa);

T_0 : Temperatura de referência (293,15 K);

h : Umidade relativa;

r : Distância entre a fonte e o receptor;

$A_{atm,f}$: Atenuação de um tom puro na frequência f pela atmosfera (em dB)

Para bandas de oitava a figura 4.3 apresenta os coeficientes de atenuação atmosférica a serem empregados pela Norma ISO 9613-2:1996.

Figura 4.3 – Coeficientes de atenuação atmosférica por banda de oitava em função da temperatura e umidade relativa (ISO 9613-2)

Temperatura °C	Umidade relativa %	Coeficiente de atenuação atmosférica α , dB/km							
		Frequência central da banda de oitava, Hz							
		63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Fonte: ISO (1996a), tradução nossa

A OCMA (*Oil Companies Material Association*) da Grã-Bretanha estabelece, através do gráfico apresentado na figura 4.4, uma estimativa que combina a divergência geométrica com a absorção atmosférica por banda de oitavas. As curvas da figura 4.4 estão parametrizadas na tabela 4.1.

Figura 4.4 - Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação em função da distância e da absorção do ar

Fonte: Tonin (1984)

Tabela 4.1 – Atenuação por divergência combinada com absorção pela atmosfera por bandas de oitava segundo a OCMA

Frequência central da banda de oitava (Hz)	Atenuação por divergência combinada com absorção pela atmosfera (dB)
63 a 250	$8,6628 \ln d + 7,4674$
500	$9,0863 \ln d + 5,8555$
1000	$9,7851 \ln d + 3,3178$
2000	$17,357 \cdot d^{0,2187}$
4000	$16,124 \cdot d^{0,2417}$
8000	$14,174 \cdot d^{0,2852}$

Onde d é distância da fonte, em metros.

Fonte: Schrage (2005)

4.3 BARREIRAS ACÚSTICAS

Barreiras acústicas possuem alta efetividade na redução dos níveis de pressão sonora no trajeto da fonte ao receptor. São empregadas em diversos casos, sendo os exemplos mais notáveis de aplicação as barreiras acústicas em rodovias e em ferrovias. Entretanto, a própria topografia do terreno no trajeto entre a fonte sonora e o receptor pode atuar como barreira acústica, quando a condição assim favorecer.

As ondas de pressão sonora, ao passarem uma barreira acústica sofrem difração em função de sua frequência, conforme ilustra a figura 4.5.

Figura 4.5 – Efeito de difração das ondas de frequências graves, médias e agudas

Fonte: Sound Research Laboratories (1991), tradução nossa

Observa-se que a região de sombra acústica formada logo atrás da barreira (com relação à fonte sonora) é maior para frequências agudas, para as quais a atenuação é mais efetiva, e menor para baixas frequências.

Um dos principais parâmetros utilizados para o cálculo da atenuação por barreiras é o Número de Fresnel, que consiste na diferença entre o caminho percorrido pela onda sonora em linha direta da fonte até o receptor (trajeto “d” da figura 4.6) e o caminho da onda sonora com a presença de uma barreira acústica nesse caminho (trajetos A, B e C da figura 4.6) dividido pelo comprimento da onda analisada, seguindo a equação 4.10 (BIES; HANSEN, 2009).

Figura 4.6 – Trajetos fonte-receptor das ondas sonoras em linha direta e sobre a barreira acústica

Fonte: Bies e Hansen (2009), tradução nossa

$$N = \frac{2 \cdot (A + B + C - d)}{\lambda} \quad (4.10)$$

Onde:

A: Distância entre a fonte sonora e o topo da barreira (m);

B: Distância entre o topo da barreira e o receptor (m);

C: Distância entre barreiras (m);

d: Distância em linha reta entre a fonte e o receptor (m);

λ : Comprimento de onda, obtido por meio da equação 2.2 (m)

O gráfico da figura 4.7 permite obter a atenuação esperada para uma fonte típica e um receptor situado atrás de uma barreira infinita (ou seja, as contribuições decorrentes das difrações pelas laterais das barreiras são desprezíveis) para $N \geq 0,1$.

Figura 4.7 – Atenuação sonora por uma barreira infinita para uma fonte sonora pontual e linear em função do Número de Fresnel

Fonte: Mestre e Wooten (1980), tradução nossa

Segundo Gerges (2000), a equação 4.11 fornece o nível de atenuação de uma fonte pontual em função do Número de Fresnel quando este for maior ou igual a -0,2. Caso seja inferior a -0,2, a atenuação por barreiras é desprezível. O Número de Fresnel negativo (levemente, até -0,2) significa que o topo da barreira acústica está situado ligeiramente abaixo da linha que liga diretamente a fonte e o receptor (linha direta de visão). Por outro lado, para N maior que 12,5 a atenuação pela barreira acústica permanecerá de 24 dB (limite prático).

$$A_{barreira} = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} + 5 \quad (4.11)$$

Onde:

$A_{barreira}$: Atenuação da barreira (em dB);

N: Número de Fresnel;

Kurze e Anderson (2006) apresentam complementos à equação 4,9 buscando maior precisão no prognóstico para receptores situados na sombra acústica e fontes e receptores situados muito próximos às barreiras. As equações 4.13 a 4.16 a seguir incorporam essas correções de diferentes formas.

A Norma ISO 9613-2:1996 estabelece um procedimento para o cálculo de atenuação de barreiras finitas baseado na norma alemã VDI 2714¹/2720, levando em consideração correções meteorológicas (efeito de curvatura na trajetória das ondas

¹ VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 2714**: Outdoor Sound Propagation. Düsseldorf: VDI - Kommission Lärminderung, 1988.

sonoras em decorrência do vento e gradiente térmico). Estabelece um limite de atenuação de 20 dB para uma barreira simples e 25 dB para duas ou mais barreiras (ou uma barreira grossa), conforme representado na figura 4.7.

$$A_{barreira} = D_z - A_{solo} > 0 \quad (4.12)$$

$$D_z = 10 \log \left(C_1 + \frac{C_2}{\lambda} \cdot C_3 \cdot z \cdot K_{met} \right) \quad (4.13)$$

$$C_3 = \frac{1 + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2} \quad (4.14)$$

$$z = \sqrt{(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2} - d \quad (4.15)$$

$$K_{met} = e^{\left(\frac{-1}{S_W} \sqrt{\frac{d_{ss} d_{sr} d}{2z}} \right)} \quad (4.16)$$

Onde:

$A_{barreira}$: Nível de atenuação da barreira acústica (em dB)

D_z : Nível de atenuação do ruído em decorrência exclusiva da barreira, desconsiderando que a barreira acústica interfere na atenuação por reflexão no solo e em influências meteorológicas (em dB).

A_{solo} : Nível de atenuação pelo solo e por condições meteorológicas (em dB).

C_1 : 3

C_2 : 20 a 40 (fator que incorpora a influência de reflexões no solo e entre a barreira e a fonte, diretividade da fonte e reflexões difusas). Para estimativas simplificadas ou conservadoras, ou em casos da fonte ou o receptor estarem muito próximos à barreira, $C_2 = 20$. Se as reflexões no solo não são significativas ou serão calculadas separadamente, $C_2=40$.

C_3 : 3 para o caso de difrações simples das ondas sonoras pelas bordas da barreira ou barreiras finas. No caso de barreiras grossas, onde ocorrem múltiplas difrações sobre o topo da barreira, utilizar a equação 4.11.

λ : Comprimento de onda (m)

z : Diferença entre S_m e o percurso por cima da barreira (m)

d_{ss} : Percurso da fonte sonora até o primeiro ponto de difração sobre a barreira (m)

e : Distância entre o primeiro e o último ponto de difração sobre a barreira (para barreiras grossas), conforme ilustrado na figura 4.8 (m).

d_{sr} : Percurso do último ponto de difração da barreira até o receptor (m)

a : distância, paralela a “e”, entre a fonte e o receptor

d : percurso direto entre a fonte sonora e o receptor (em linha reta, caso não houvesse uma barreira) (m).

K_{met} : Fator de correção para o efeito de curvatura na trajetória das ondas sonoras em decorrência do vento e gradiente térmico. Para receptores situados a distâncias inferiores a 1 km da fonte, $K_{met}=1$.

S_W : Para $z \geq 0$ e condições de sotavento (onda sonoras direcionadas para baixo em função das condições de vento e gradiente térmico) e receptores situados acima do terreno plano (ou o terreno não ser plano), $S_W=2000m$.

Figura 4.8 – Percursos do som entre a fonte e o receptor sobre uma barreira acústica grossa e em linha reta (ISO 9613-2)

Fonte: ISO (1996a)

O algoritmo estabelecido pela CONCAWE (*Oil companies international study group for conservation of clean air and water*) para estimativa da atenuação por barreiras baseia-se na equação 4.11, entretanto busca incorporar a curvatura de propagação das ondas sonoras decorrentes do gradiente térmico atmosférico e perfil de ventos (TONIN, 1996). As equações 4.17 a 4.20 apresentam a estimativa da atenuação por barreiras em função do Número de Fresnel.

$$\text{Para } -0,30 \leq N < -0,02 \quad A_{\text{barreira}} = 5,65 + 66N + 244N^2 + 287N^3 \quad (4.17)$$

$$\text{Para } -0,02 \leq N < 1,00 \quad A_{\text{barreira}} = 5,02 + 21,1N + 19,9N^2 + 6,69N^3 \quad (4.18)$$

$$\text{Para } 1,00 \leq N < 18,00 \quad A_{\text{barreira}} = 10 \log N + 13 \quad (4.19)$$

$$\text{Para } N \geq 18,00 \quad A_{\text{barreira}} = 26 \quad (4.20)$$

A OCMA (*Oil Companies Material Association*) da Grã-Bretanha estabelece uma estimativa de atenuação por banda de oitavas em decorrência de barreiras, combinada com a atenuação de demais fatores, como reflexão no solo e presença de vegetação e áreas construídas. A figura 4.9 indica a atenuação no caso de proteção mínima (ausência de barreiras) e a figura 4.10 no caso de proteção significativa (presença de barreiras). As curvas das figuras 4.9 e 4.10 estão parametrizadas na tabela 4.2.

Figura 4.9 - Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação no caso de proteção mínima (ausência de barreiras)

Fonte: Tonin (1984)

Figura 4.10 - Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação no caso de proteção significativa (presença de barreiras)

Fonte: Tonin (1984)

Tabela 4.2 – Atenuação por presença de barreiras combinada com atenuação por absorção pelo solo, presença de vegetação e de áreas construídas, por bandas de oitava, segundo a OCMA

Situação	Frequência (Hz)	Atenuação em decorrência de barreiras (dB)
proteção mínima (sem barreiras)	250 e 500	Para $d \leq 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = -10^{-5}d^2 + 0,0164d + 2,4048$ Para $d > 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 9,1$
	1000 e 2000	Para $d \leq 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 2,2491 \ln d - 8,0595$ Para $d > 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 7$
	125 e 4000	Para $d \leq 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 1,5929 \ln d - 5,9513$ Para $d > 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 4,9$
	8000	Para $d \leq 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 9 \cdot 10^{-10}d^3 - 5 \cdot 10^{-6}d^2 + 0,0071d + 0,0367$ Para $d > 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 3$
proteção significativa (presença de barreiras)	250 e 500	Para $d \leq 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 6,5105 \ln d - 26,816$ Para $d > 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 17,7$
	1000 a 8000	Para $d \leq 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 6,1309 \ln d - 26,204$ Para $d > 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 16,2$
	125	Para $d \leq 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = -2 \cdot 10^{-9}d^3 - 5 \cdot 10^{-6}d^2 + 0,0183d - 0,125$ Para $d > 1000 \rightarrow A_{\text{barreira}} = 11$

Onde d é distância da fonte, em metros.

Fonte: Schrage (2005)

4.4 ATENUAÇÃO PELO SOLO

Segundo Kang (2007), atenuações pelo solo ocorrem pela absorção de energia acústica pelas ondas sonoras incidentes no solo e devido à interferência (destrutiva ou construtiva) entre a onda direta e a refletida pelo solo no percurso fonte-receptor.

Solos porosos, como terra arada ou grama, proporcionam uma efetiva absorção de energia acústica.

Bistafa (2011) constata que interferências destrutivas podem chegar a 20 ou 30 dB de atenuação, enquanto interferências construtivas podem dobrar os níveis de ruído (quando as ondas estiverem em fase), provocando um incremento de até 6 dB.

Quando a superfície entre a fonte e o receptor é acusticamente duro, como asfalto, terra batida ou água (um lago, por exemplo), a somatória das interferências construtivas para determinados comprimentos de onda e destrutivas para outros comprimentos de onda resultam numa amplificação média de 3 dB nos níveis de ruído A-ponderados.

Já ondas sonoras que incidem rasantemente em solo poroso (acusticamente macio) tendem a chegar no receptor com fase invertida em relação à onda sonora direta, excetuando-se as baixas frequências. Dessa forma, observa-se uma significativa redução dos níveis de ruído nesses casos.

A Norma ISO 9613-2:1996 estabelece um procedimento de cálculo considerando propagação do som a favor do vento, situação que provoca o direcionamento das ondas sonoras para baixo, em direção ao solo (e aos receptores). O método também se destina a situações de terreno razoavelmente plano (horizontais ou com inclinação constante).

São definidas três regiões, conforme representado na figura 4.11:

- Região da fonte sonora, que compreende a região da fonte até a uma distância horizontal de 30 vezes a altura da fonte;
- Região do receptor, que compreende a região do receptor até a uma distância horizontal de 30 vezes a altura da fonte (em direção ao receptor);
- Região intermediária, compreendida entre as regiões da fonte e do receptor. Dependendo do afastamento entre a fonte e o receptor e de suas respectivas regiões, essas podem se sobrepor à região intermediária.

Figura 4.11 – Regiões para determinação da atenuação pelo solo (ISO 9613-2)

Fonte: ISO (1996a), tradução nossa

Na figura 4.11, h_s é a altura da fonte (em relação ao solo), h_r é a altura do receptor e d_p é a distância horizontal entre a fonte e o receptor.

A Norma ISO 9613-2:1996 estabelece a equação 4.21 para o cálculo da atenuação pelo solo:

$$A_{solo} = A_s + A_r + A_m \quad (4.21)$$

Onde:

A_{solo} : Nível de atenuação do proporcionado pelo solo (em dB);

A_s : Absorção sonora pelo solo com característica G_s na região da fonte sonora;

A_r : Absorção sonora pelo solo com característica G_r na região do receptor;

A_m : Absorção sonora pelo solo com característica G_m na região intermediária entre as regiões da fonte e do receptor;

Regiões que possuem solo acusticamente duro apresentam $G = 0$. Regiões com solo poroso (acusticamente macios) possuem $G = 1$. Regiões que possuem solos com ambas as características possuem G entre 0 e 1 (proporcionais à porcentagem de solo duro).

Os valores de A_s , A_r e A_m são obtidos a partir das equações contidas na tabela 4.3:

Tabela 4.3 - Atenuação da pressão sonora pelo solo por bandas de oitava (ISO 9613-2)

Frequência central da banda de oitava (Hz)	A_s ou A_r (dB)	A_m (dB)
63	-1,5	-3 q
125	$-1,5 + G \cdot a'(h)$	
250	$-1,5 + G \cdot b'(h)$	
500	$-1,5 + G \cdot c'(h)$	
1000	$-1,5 + G \cdot d(h)$	-3 q (1 - G)
2000	$-1,5 (1 - G)$	
4000	$-1,5 (1 - G)$	
8000	$-1,5 (1 - G)$	

Fonte: ISO (1996a)

Onde:

h: altura da fonte ($h=h_s$) ou do receptor ($h=h_r$) em metros

G: Dureza do solo na região da fonte ($G=G_s$) ou na região do receptor ($G=G_r$)

$$a'(h) = 1,5 + 3,0e^{-0,12(h-5)^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right) + 5,7e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} \cdot d_p^2}\right)$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right)$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0e^{-0,46h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right)$$

$$d(h) = 1,5 + 5,0e^{-0,9h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right)$$

$$q = 0 \text{ se } d_p \leq 30(h_s + h_r) \text{ ou } q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \text{ se } d_p > 30(h_s + h_r)$$

A Norma ISO 9613-2:1996 também estabelece um método simplificado para o cálculo da atenuação pela absorção do solo para estimativas do ruído A-ponderado, válido para propagação sobre solo poroso ou misto ($G > 0$), que tenha qualquer formato (não é necessário que seja razoavelmente plano) e para ruído não que seja composto por tom puro, expresso pela equação 4.22.

$$A_{solo} = 4,8 - \frac{2h_m}{d_r} \left(17 + \frac{300}{d_r}\right) \geq 0 \quad (4.22)$$

Onde:

A_{solo} : Nível de atenuação de ruído para ruído A-ponderado se propagando sobre solo poroso com G próximo a 1 (dBA)
 h_m : Altura média da trajetória de propagação sobre o solo (m)

A figura 4.12 ilustra a propagação do ruído para a situação considerada na equação 4.22. A altura média da trajetória de propagação sobre o solo (h_m) é determinada pela equação 4.23.

Figura 4.12 – A altura média (h_m) da trajetória de propagação sobre o solo (ISO 9613-2).

Fonte: ISO (1996a)

$$h_m = \frac{F}{d} \quad (4.23)$$

Onde:

h_m : Altura média da trajetória de propagação sobre o solo (m);

F : Área formada entre a linha reta que une a fonte sonora e o receptor e o perfil do terreno;

d : comprimento da linha reta que une a fonte sonora e o receptor.

Conforme a norma ISO 9613-2:1996, ao utilizar a equação 4.22 para estimativa do nível de atenuação do solo, é necessário somar uma correção que incorpore as reflexões sonoras próximas à fonte. Essa correção D_Ω é calculada através da equação 4.24 e seu valor substitui o fator $10 \log \frac{\Omega}{4\pi}$ da equação 4.1.

$$D_\Omega = 10 \log \left[1 + \frac{d_p^2 + (h_s - h_r)^2}{d_p^2 + (h_s + h_r)^2} \right] \quad (4.24)$$

Vale ressaltar, entretanto, que a presença de barreiras altera a absorção sonora pelo solo, uma vez que altera os ângulos de incidência e reflexão neste. Esta relação está incorporada na equação 4.12.

O método CONCAWE fixa uma atenuação de 3 dB para o caso de solos duros (independentemente da distância ou da frequência do som). Já para sons se

propagando sobre solo poroso, podem ser empregados os valores estabelecidos no gráfico da figura 4.13 ou através das equações da tabela 4.4. No caso de solos com características mistas (parcialmente duros e porosos), empregam-se valores da figura 4.13 apenas para as distâncias correspondentes aos trechos percorridos sobre terrenos porosos (NANDA, 2012).

Figura 4.13 - Atenuação dos níveis de ruído por reflexão em solo poroso por banda de oitava pelo método CONCAWE

Fonte: Bies e Hansen (2009), tradução nossa

Tabela 4.4 – Equações para o cálculo da atenuação dos níveis de ruído por reflexão em solo poroso por banda de oitava pelo método CONCAWE

Frequência central da banda de oitava (Hz)	A_{solo} (dB)
63	$33,4 - 35,04(\log d) + 9,159(\log d)^2 - 0,3508(\log d)^3$
125	$8,96 - 35,8(\log d) - 20,4(\log d)^2 - 2,85(\log d)^3$
250	$-64,2 + 48,6(\log d) - 9,53(\log d)^2 + 0,634(\log d)^3$
500	$-74,9 + 82,23(\log d) - 26,921(\log d)^2 + 2,9258(\log d)^3$
1000	$-100,1 + 104,68(\log d) - 34,693(\log d)^2 + 3,8068(\log d)^3$
2000	$-7,0 + 3,5(\log d)$
4000	$-16,9 + 6,7(\log d)$

Fonte: Balderrama (2002)

4.5 ATENUAÇÃO POR VEGETAÇÃO

A influência da atenuação dos níveis de pressão sonora pela presença de vegetação depende da densidade desta vegetação (altura e densidade das copas, presença de vegetação de altura média e presença de arbustos e vegetação rasteira) e das dimensões da área com vegetação a ser percorrida pelas ondas sonoras. Testes práticos revelam que a contribuição da vegetação na atenuação do ruído é bastante reduzida (SMITH *et al.*, 2001).

Embora medições objetivas possam indicar pouca atenuação devida à vegetação, a presença da mesma torna o meio menos inóspito. Este fato é favorecido devido às folhagens, que espalham significativamente os sons de alta frequência (que transmitem a sensação de “aspereza mecânica”). Por outro lado, o próprio ruído das folhagens pode chegar a 50 dB(A), ocasionando uma sensação agradável (SMITH *et al.*, 2001).

Bistafa (2011) explica que a folhagem da vegetação, ainda que parcialmente, tem a propriedade de absorver o som, e associada com troncos e galhos, também provoca o espalhamento das ondas sonoras, sendo que este fenômeno do espalhamento prepondera no efeito de atenuação de um cinturão verde. Entretanto, a atenuação da pressão sonora somente é significativa para frequências de ondas mais altas. Essa atenuação pode ser estimada pela equação 4.25. Empiricamente foi estabelecida uma atenuação máxima de 10 dB para vegetação.

$$A_{vegetação} = k \left(\frac{f}{1000} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{r_{vegetação}}{100} \right) \leq 10dB \quad (4.25)$$

Onde:

$A_{vegetação}$: Atenuação em decorrência da absorção e espalhamento pela vegetação (dB);

k : Fator a ser escolhido em função da densidade da vegetação (varia de 6 a 10);

f : Frequência da onda sonora (Hz);

$r_{vegetação}$: Comprimento da linha de visão dentro da área com vegetação densa (m).

A figura 4.14 apresenta estimativas de atenuação de um cinturão verde de 30 metros de largura para diferentes tipos de vegetação. A curva representada pela equação 4.25 está identificada como Eq.média na figura 4.14. Embora a figura apresente valores para 30 m de largura de vegetação, empiricamente constatou-se um valor máximo de 10 dB para atenuação, independentemente da largura da área com vegetação densa.

Figura 4.14 – Atenuação sonora de um cinturão verde de 30 m de largura

Fonte: Adaptado de Boletim Técnico IAC 4104 (*apud* BISTAFA, 2011)

Além da densidade da vegetação, outros fatores também influem na absorção sonora. Quando o cinturão verde se situa próximo à fonte, sua atenuação é maior. Em menor grau, essa maior eficiência na absorção ocorre também quando o cinturão verde se situa próximo aos receptores, entretanto a eficiência decresce quando a área vegetada se situa numa posição intermediária entre a fonte e o receptor. A altura da área vegetada também influencia no nível de ruído atenuado, sendo que para ocorrer uma redução efetiva, é necessário no mínimo 15 metros de largura com uma vegetação de altura cujas copas estejam, pelo menos, a 5 m do solo (BISTAFA, 2011).

Para áreas cobertas de grama ou mato, pode-se obter uma estimativa da atenuação de ruído pela vegetação pela equação 4.26 e para áreas de floresta, a equação 4.27 (MESTRE; WOOTEN, 1980). Ressalta-se que as nomenclaturas dos tipos de vegetação não permitem uma definição precisa da cobertura vegetal. Área com mato no Brasil, ou áreas de florestas de mata atlântica, por exemplo, diferem das áreas com grama ou com florestas para os Estados Unidos, e Europa.

$$A_{vegetação\ grama} = (0,18 \log f - 0,31)r_{vegetação} \quad (4.26)$$

$$A_{vegetação\ floresta} = 0,01f^{\frac{1}{3}}r_{vegetação} \quad (4.27)$$

Onde:

$A_{vegetação\ grama}$: Atenuação em decorrência da absorção e espalhamento pelo solo coberto por grama ou mato (dB)

$A_{vegetação\ floresta}$: Atenuação em decorrência da absorção e espalhamento pelo solo coberto por florestas (dB)

f : Frequência da onda sonora (Hz)

$r_{vegetação}$: Comprimento da linha de visão dentro da área com vegetação densa (m)

O Método Nórdico (NORDFORSK) de atenuação estabelece um algoritmo para o cálculo da atenuação devido à vegetação baseado em blocos de vegetação. Pode-se levar em conta até quatro grupos de vegetação, e cada grupo de 50 metros de largura pode ser considerado um novo grupo de vegetação. A equação 4.28 correlaciona o número de grupos com o coeficiente de atenuação pela vegetação por banda de oitava, disponíveis na tabela 4.5 (TONIN, 1996).

$$A_{vegetação} = n_v \cdot \alpha_v \quad (4.28)$$

Onde:

$A_{vegetação}$: Atenuação em decorrência da absorção e espalhamento pela vegetação (dB)

n_v : Número de grupos de vegetação. Se $n_v > 4$, considerar $n_v = 4$

α_v : Coeficiente de atenuação por grupo, disponível na tabela 4.5

Tabela 4.5 - Coeficientes de atenuação sonora por vegetação em bandas de oitava para o método nórdico (NORDFORSK)

Frequência central da banda de oitava (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
α_v	0	0	1	1	1	1	2	3

Fonte: Tonin (1996)

Para que a área com vegetação seja considerada como um grupo válido, deve ser coberta por vegetação densa e com altura, no mínimo, um metro acima da trajetória curva de propagação (devido a efeitos meteorológicos comuns) definida pela equação 4.29:

$$\Delta_h = \frac{d_1 \cdot d_2}{16 \cdot d} \quad (4.29)$$

Onde:

Δ_h : Altura da trajetória curva de propagação das ondas sonoras

d_1 : Distância da fonte até a vegetação

d_2 : Distância da vegetação até o receptor

d : Distância da fonte até o receptor

A Norma ISO 9613-2:1996 estabelece os níveis de atenuação em decorrência da vegetação através dos valores da tabela 4.6. Os valores de “d” nesta tabela podem ser obtidos por meio da figura 4.15 e da equação 4.30.

Tabela 4.6 - Níveis de atenuação por bandas de oitava pela vegetação densa (ISO 9613-2)

Distância de propagação (m)	Unidade	Frequência central da banda de oitava (Hz)							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$10 \leq d \leq 20$	dB	0	0	1	1	1	1	2	3
$20 \leq d \leq 200$	dB/m	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

Fonte: ISO (1996a)

Figura 4.15 – Trajetória curva de propagação do ruído entre a fonte e o receptor (ISO 9613-2)

Fonte: ISO (1996a)

$$d = d_1 + d_2 \quad (4.30)$$

Onde:

d_1 e d_2 : Distâncias percorridas pelas ondas sonoras numa trajetória curva com raio de 5 km por dentro da área vegetada, como ilustra a figura 4.14, respectivamente no lado da fonte e do receptor. A trajetória curva acima da vegetação não é considerada.

4.6 ATENUAÇÃO POR ÁREAS CONSTRUÍDAS

A presença de áreas construídas pode causar dispersão das ondas sonoras. Para a estimativa da redução dos níveis de ruído percebidos por um receptor, a Norma ISO 9613-2:1996 apresenta a equação 4.31:

$$A_{\text{áreas construídas}} = 0,1 \cdot B \cdot d \quad (4.31)$$

Onde:

$A_{\text{áreas construídas}}$: Nível de atenuação de pressão sonora em decorrência da dispersão das ondas sonoras em áreas construídas (dB)

B: Densidade de área construída. Obtida através da razão entre a área efetivamente construída e a área total, incluindo áreas com e sem edificações

d: Obtida através da equação 4.29, adotando-se a mesma trajetória curva empregada para estimativa de absorção por áreas com vegetação (m)

4.7 EFEITO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Conforme Bies e Hansen (2009), as duas principais variáveis meteorológicas que influenciam na propagação da pressão sonora são o gradiente térmico vertical e a velocidade dos ventos.

Ocorre um aumento na velocidade de propagação do som com o aumento da temperatura. Por este motivo, variações de temperatura na atmosfera podem favorecer ou desfavorecer a atenuação do ruído ambiental. A figura 4.16 mostra três situações de variação da temperatura com o aumento da altitude, e a consequente difração das ondas sonoras emitidas por uma fonte localizada sobre a superfície:

Figura 4.16- Situações de variação da temperatura com o aumento da altitude

Fonte: Down e Stocks (1978), tradução nossa

Onde:

- A) Gradiente negativo: Situação mais comum durante o dia, favorece a atenuação do ruído, difratando as ondas sonoras para cima;
- B) Gradiente positivo: Situação encontrada no período noturno, desfavorece a atenuação do ruído difratando as ondas sonoras para o solo;
- C) Inversão térmica: Situação mais propensa a ocorrer no inverno, é caracterizada por uma massa de ar quente sobre uma massa de ar de menor

temperatura, desfavorecendo a subida do ar quente próximo ao solo. Na inversão térmica, da mesma forma que com o gradiente positivo, há a difração das ondas sonoras em direção ao solo. Apenas em maiores altitudes, quando já há o gradiente negativo, há o favorecimento da atenuação do ruído (DOWN; STOCKS, 1978).

O atrito com o solo, vegetação, edificações ou outros obstáculos ocasiona velocidades menores do vento em níveis próximos ao solo e maiores velocidades com o aumento da altitude. Este gradiente positivo de velocidades do vento com a altitude ocasiona a difração das ondas sonoras para cima numa propagação em direção contrária à do vento, e uma difração para baixo numa propagação sonora na mesma direção do vento. Desta forma, conforme mostra a figura 4.17, há uma região de “sombra sonora”, na qual os níveis sonoros são bastante reduzidos. A influência no aumento (ou diminuição) da velocidade de propagação do som pela soma das componentes de velocidade do vento e das ondas sonoras pode ser considerada desprezível (LAWRENCE, 1989).

Figura 4.17 – Influência do vento sobre a propagação das ondas sonoras. Verifica-se o aumento da velocidade com o aumento da altitude e a formação de uma sombra sonora na direção contrária à de propagação do vento

Fonte: Lawrence (1989), tradução nossa

Bistafa (2011) apresenta uma alternativa para estimar a influência das condições meteorológicas nos níveis de ruído num receptor situado a uma distância r da fonte, conforme a tabela 4.7, para ventos com velocidade em torno de 5 m/s a 3 metros do solo.

Tabela 4.7 – Atenuação em decorrência de fenômenos atmosféricos para receptores situados a uma distância r da fonte

Condição atmosférica	Atenuação sem barreiras (dB)	Atenuação com barreiras (dB)
Gradientes negativos moderados <i>Quando o vento ou o gradiente térmico provoca o desvio dos raios sonoros para cima</i>	$A_{atmosfera} = -30 \log \frac{r}{15}$	-3
Sem refração <i>Atmosfera neutra ou efeitos de gradiente térmico estão anulando os efeitos do vento</i>	$A_{atmosfera} = 0$	0
Gradientes positivos moderados <i>Quando o vento ou o gradiente térmico provoca o desvio dos raios sonoros para baixo</i>	$A_{atmosfera} = (10 - 6,2h + 0,03h^2) \log \left(\frac{r}{15} \right) \geq 0$	+3
Gradientes positivos severos <i>Quando o vento e o gradiente térmico provocam o desvio dos raios sonoros para baixo</i>	$A_{atmosfera} = (14 - 7,9h + 0,3h^2) \log \left(\frac{r}{15} \right) \geq 0$	---

Fonte: Bistafa (2011)

Vale ressaltar que ventos com maiores velocidades intensificam a influência das condições atmosféricas, bem como variações na sua direção de propagação. Dessa forma, Bistafa (2011) apresenta a equação 4.32, para uma estimativa média de condições meteorológicas variáveis num receptor situado a 4 m do solo e a uma distância r da fonte:

$$A_{atmosfera} = \frac{3}{\frac{10^5}{r^2} + 1,6} \quad (4.32)$$

Onde:

$A_{atmosfera}$: Atenuação da atmosfera numa condição de ventos variáveis (dBA)

r : Distância da fonte ao receptor (m)

Um dos algoritmos mais completos para a estimativa da variação dos níveis de pressão sonora em decorrência de efeitos meteorológicos é o da CONCAWE.

Ele está baseado nas classes de estabilidade atmosférica de Pasquill¹, apresentadas na tabela 4.8.

¹ Classificação da estabilidade atmosférica baseada em condições meteorológicas como a velocidade do vento, radiação solar e cobertura de nuvens. As classes de estabilidade de Pasquill podem ser visualizadas na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Classificação da estabilidade atmosférica de Pasquill para a estimativa da atenuação atmosférica pelo método CONCAWE

Velocidade do vento (m/s)	Diurno Radiação solar em mW/cm ²				1 h antes do por do sol ou depois do nascer do sol	Noturno Cobertura de nuvens (oitavos)		
	>60	30 - 60	<30	0		0 - 3	4 - 7	8
≤ 1,5	A	A - B	B	C	D	F ou G*	F	D
2,0 - 2,5	A - B	B	C	C	D	F	E	D
3,0 - 4,5	B	B - C	C	C	D	E	D	D
5,0 - 6,0	C	C - D	D	D	D	D	D	D
> 6,0	D	D	D	D	D	D	D	D

A – Extremamente instável; B – Moderadamente instável; C – Levemente instável; D – Neutra; E – Levemente estável; F – Moderadamente estável.

* A categoria G somente ocorre no período noturno com menos de 1 oitavo de cobertura de nuvens e velocidade do vento inferior a 0,5 m/s.

Fonte: Bies e Hansen (2009)

Uma vez determinada a classe de estabilidade atmosférica de Pasquill pela tabela 4.8, determina-se a categoria atmosférica para a estimativa da atenuação atmosférica pelo método CONCAWE por meio da tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Classificação meteorológica CONCAWE para estimativa da atenuação atmosférica

Categoria meteorológica	Estabilidade atmosférica de Pasquill		
	A, B	C, D, E	F, G
1	$v < -3,0$	---	---
2	$-3,0 < v < -0,5$	$v < -3,0$	---
3	$-0,5 < v < 0,5$	$-3,0 < v < -0,5$	$v < -3,0$
4	$0,5 < v < 3,0$	$-0,5 < v < 0,5$	$-3,0 < v < -0,5$
5	$v > 3,0$	$0,5 < v < 3,0$	$-0,5 < v < 0,5$
6	---	$v > 3,0$	$0,5 < v < 3,0$

Fonte: Bies e Hansen (2009)

v: Velocidade dos ventos (m/s)

Para a categoria meteorológica 4 da tabela 4,9, as correções devido a efeitos meteorológicos são desprezíveis. Para as demais classificações, são empregadas as equações das tabelas 4.10 e 4.11.

Tabela 4.10 – Nível de atenuação dos níveis de ruído em decorrência de fenômenos atmosféricos pelo método CONCAWE (parte 1)

Frequência (Hz)	Nível de atenuação (dB)		
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
63	$-38,9 - 26,4(\log d) - 2,84(\log d)^2 - 0,234(\log d)^3$	$16,1 - 28,43(\log d) + 14,4(\log d)^2 - 2,1(\log d)^3$	$-4 + 2(\log d)$
125	$-137 + 142(\log d) - 46,8(\log d)^2 + 5,14(\log d)^3$	$-23,2 + 19,53(\log d) - 4,646(\log d)^2 + 0,3358(\log d)^3$	$-3 + 1,5(\log d)$
205	$-104 + 100(\log d) - 30,3(\log d)^2 + 3,03(\log d)^3$	$-84,8 + 91,93(\log d) - 30,873(\log d)^2 + 3,4295(\log d)^3$	$-100,6 + 101,23(\log d) - 32,352(\log d)^2 + 3,4306(\log d)^3$
500	$-20,9 + 3,86(\log d) + 6,39(\log d)^2 - 1,43(\log d)^3$	$-133,7 + 142,63(\log d) - 47,851(\log d)^2 + 5,3118(\log d)^3$	$-96,8 + 102,98(\log d) - 34,868(\log d)^2 + 3,9016(\log d)^3$
1000	$-54,3 + 39(\log d) - 4,92(\log d)^2 - 0,239(\log d)^3$	$-148,2 + 164,99(\log d) - 56,287(\log d)^2 + 6,3422(\log d)^3$	$-150 + 160,95(\log d) - 54,786(\log d)^2 + 6,1604(\log d)^3$
2000	$-69,9 + 63,6(\log d) - 16,9(\log d)^2 + 1,43(\log d)^3$	$-143,0 + 142,18(\log d) - 44,5097(\log d)^2 + 4,6195(\log d)^3$	$-116,3 + 120,85(\log d) - 39,944(\log d)^2 + 4,378(\log d)^3$
4000	$-126 + 128(\log d) - 40,4(\log d)^2 + 4,24(\log d)^3$	$-125,4 + 124,74(\log d) - 38,807(\log d)^2 + 4,017(\log d)^3$	$-127,5 + 135,12(\log d) - 45,709(\log d)^2 + 5,1113(\log d)^3$

Fonte: Nanda (2012)

Tabela 4.11 – Nível de atenuação dos níveis de ruído em decorrência de fenômenos atmosféricos pelo método CONCAWE (parte 2)

Frequência (Hz)	Nível de atenuação (dB)	
	Categoria 5	Categoria 6
63	$3,35 - 2,26(\log d) + 0,407(\log d)^2 - 0,0572(\log d)^3$	$69,3 - 73,2(\log d) + 24,688(\log d)^2 - 2,7531(\log d)^3$
125	$6,8 - 3,4(\log d)$	$29,53 - 25,62(\log d) + 6,286(\log d)^2 - 0,4904(\log d)^3$
205	$7,4 - 4,2(\log d)$	$31,7 - 23,81(\log d) + 4,055(\log d)^2 - 0,1043(\log d)^3$
500	$7,4 - 4,2(\log d)$	$19,8 - 8,8(\log d) - 2,035(\log d)^2 + 0,6747(\log d)^3$
1000	$104,6 - 108,03(\log d) + 35,2955(\log d)^2 - 3,8227(\log d)^3$	$123,4 - 127,6(\log d) + 42,017(\log d)^2 - 4,584(\log d)^3$
2000	$60,3 - 64,07(\log d) + 21,458(\log d)^2 - 2,3784(\log d)^3$	$82,3 - 90,98(\log d) + 31,444(\log d)^2 - 3,584(\log d)^3$
4000	$28,7 - 20,1(\log d) + 2,688(\log d)^2 + 0,0957(\log d)^3$	$66,4 - 60,77(\log d) + 16,409(\log d)^2 - 1,4457(\log d)^3$

Fonte: Nanda (2012)

Para o caso em que as condições meteorológicas não são conhecidas de forma precisa, Bies e Hansen (2009) apresentam na tabela 4.12 variações esperadas no

prognóstico dos níveis de ruído em decorrência de gradiente térmico e velocidade dos ventos para diferentes distâncias.

Tabela 4.12 – Faixas de variação dos níveis de atenuação atmosférica pelo método CONCAWE quando as condições meteorológicas não são conhecidas de forma precisa

Frequência (Hz)	Distância entre a fonte e o receptor			
	100 m	200 m	500 m	1000 m
63	+1 dB	+4, -2 dB	+7, -2 dB	+8, -2 dB
125	+1 dB	+4, -2 dB	+6, -4 dB	+7, -4 dB
205	+3, -1 dB	+5, -3 dB	+6, -5 dB	+7, -6 dB
500	+3, -1 dB	+6, -3 dB	+7, -5 dB	+9, -7 dB
1000	+7, -1 dB	+11, -3 dB	+12, -5 dB	+12, -5 dB
2000	+2, -3 dB	+5, -4 dB	+7, -5 dB	+7, -5 dB
4000	+2, -1 dB	+6, -4 dB	+8, -6 dB	+9, -7 dB
8000	+2, -1 dB	+6, -4 dB	+8, -6 dB	+9, -7 dB

Fonte: Bies e Hansen (2009)

A norma ISO 9613-2:1996, por sua vez, possui uma metodologia simplificada para estimativa da atenuação dos níveis de pressão sonora em decorrência das condições meteorológicas. Baseia-se na premissa de que a situação mais importante, em termos de prognóstico dos níveis de ruído, ocorre quando os raios sonoros são direcionados para baixo (sotavento), constituindo uma situação desfavorável, onde são esperados níveis de ruído mais elevados nos receptores. Não são aplicadas correções para o caso de ondas sonoras direcionadas para cima (barlavento). A correção calculada para condição de sotavento pela equação 4.33 somente é aplicada para receptores situados a uma distância horizontal superior a dez vezes a soma das alturas da fonte e do receptor. Aplica-se aos níveis sonoros A-ponderados totais (e não por bandas de oitavas).

$$A_{atmosfera} = C_0 \left[1 - 10^{\frac{(h_s + h_r)}{d_p}} \right] \quad (4.33)$$

Onde:

$A_{atmosfera}$: Atenuação da atmosfera numa condição de ventos variáveis (dBA);

d_p : Distância horizontal (projetada no solo) da fonte ao receptor (m);

C_0 : Nível correção referente a condições meteorológicas (porcentagem de tempo em que a condição de propagação de ruído ocorre a sotavento). Varia de 0 a 5 dB, sendo que valores acima de 2 são raros;

h_s : Altura da fonte em relação ao solo (m);

h_r : Altura do receptor em relação ao solo (m).

5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A pressão sonora irradiada por fontes sonoras, após sua trajetória ao ar livre, chega aos receptores.

Entende-se, nesta tese, receptores como as comunidades situadas no entorno das minerações em estudo.

A percepção do ruído pela população depende de uma série de fatores, como o quanto a pressão sonora da fonte excede o ruído de fundo, o horário em que o ruído é emitido, se o ruído apresenta componentes tonais ou tem características impulsivas, se é intermitente, além de outros fatores que interferem na predisposição à rejeição da fonte sonora, como o tempo em que a fonte sonora irá operar, a influência do empreendimento emissor de ruído na desvalorização do imóvel, impacto visual do empreendimento, entre outros.

Para minimizar os efeitos do ruído sobre a comunidade, normas e legislações fixam limites para níveis de ruído em função do zoneamento urbano e do horário (diurno ou noturno).

Pode-se distinguir, de forma geral, dois campos de atuação para a análise do ruído: o enfoque ocupacional e enfoque ambiental.

Embora a análise do ruído sob o enfoque ocupacional também vise o conforto acústico das comunidades vizinhas ao local onde se situam as fontes de ruído, concentra-se principalmente na saúde do trabalhador situado no próprio ambiente da fonte. O enfoque da análise ocupacional concentra-se na probabilidade de lesões na orelha em função da exposição a elevados níveis sonoros ou no aumento dos riscos de outros acidentes devido às dificuldades de comunicação em um ambiente ruidoso (SCHRAGE, 2005).

As principais normas brasileiras que tratam do ruído sob o ponto de vista ocupacional são a Norma Regulamentadora NR-15 e o procedimento técnico para avaliação da exposição ocupacional ao ruído NHO-01, da FUNDACENTRO, detalhados a seguir.

A Norma Regulamentadora 15 (NR-15), da portaria 3214 de 08 de julho de 1978, trata de atividades ou operações insalubres. O anexo Nº1 trata de limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente e o anexo Nº2 dos limites de tolerância para ruídos de impacto (impulsivos). A tabela 5.1 apresenta o período de tempo máximo de exposição do trabalhador a diferentes níveis de ruído, sendo que não

devem estar expostos, em momento algum, trabalhadores sem a adequada proteção auditiva a níveis superiores a 115 dB(A).

Para ruídos de impacto (impulsivos), a NR-15 define como limite de tolerância o nível de 130 dBL, medido com ponderação temporal impulsiva ou 120 dB(A) na ponderação temporal rápida (*FAST*).

Uma norma mais atualizada para a avaliação do ruído ocupacional, e com importantes mudanças em relação à NR-15, é a “Norma de Higiene Ocupacional NHO-01 - Procedimento Técnico - Avaliação da exposição ocupacional ao ruído”, criada pela FUNDACENTRO (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho). Nesta norma estão definidos os procedimentos para a realização de medições de ruído para avaliação da exposição dos trabalhadores. Também é alterado o fator “Q” de 5 dB, definido pela NR-15, para 3 dB. A norma NHO-01 é citada pela Instrução Normativa nº99 INSS/DC, de 5/12/2003 (que estabelece critérios a serem adotados pelas áreas de Benefícios e da Receita Previdenciária), sendo a metodologia e os procedimentos de medição definidos pela NHO-01, mas os limites de tolerância definidos pela NR-15.

Tabela 5.1- Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente definidos pela NR-15

Nível de ruído dB(A)	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

Fonte: NR15 (BRASIL, 2014)

Podemos destacar como normas e legislações brasileiras que tratam do ruído sob o enfoque ambiental:

- No âmbito da legislação federal: Resolução CONAMA nº 001/90 (dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos das atividades industriais – citando os procedimentos de medição e os limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 10151), Resolução CONAMA nº 001/93¹ (define os limites máximos de emissão de ruídos por veículos automotores); Resolução CONAMA nº 230/97 (trata da proibição do uso de equipamentos que possam reduzir a eficácia do controle de emissão de ruído e poluentes); Resolução CONAMA nº 418/09², (dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso); Resolução CONAMA nº 433/11 (que trata da inclusão no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE e estabelece limites máximos de emissão de ruídos para máquinas agrícolas e rodoviárias novas) (BRASIL, 1990, 1993, 1997, 2009, 2011).
- As normas técnicas para ruído que são estabelecidas pelas Normas ABNT NBR 10151:2000³ (Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento) e NBR 10.152:1987 (Níveis de ruído para conforto acústico) (ABNT, 1987, 2000);
- Normas técnicas da CETESB (para o estado de São Paulo): L11.032 (Determinação do nível de ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas) e L11.034 (Critérios de ruído para recintos internos e edificações – Procedimento).

O problema do ruído, tanto sob o enfoque ocupacional quanto o ambiental, tem sido amplamente tratado em diversos países. Como exemplos de órgãos que vêm desenvolvendo intensas pesquisas na área do ruído ocupacional, podem-se citar a

¹ Alterada pelas Resoluções CONAMA 08/93, 17/95 e 272/2000.

² Alterada pela Resolução CONAMA 435/11.

³ As normas ABNT NBR 10.151:2000 e 10.152:1987 encontram-se atualmente (ano de 2017) em fase de revisão.

NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) e a MSHA (*Mine Safety and Health Administration*), dos Estados Unidos. Também a OMS (*Organização Mundial da Saúde*) e a OIT (*Organização Internacional do Trabalho*) divulgam a importância do controle do ruído para a saúde dos trabalhadores.

Sob o enfoque ambiental, diversos países da Europa têm legislações bastante restritivas para preservar o conforto acústico dos bairros residenciais. Na Suécia, exige-se que o ruído nas residências não ultrapasse os 40 dB(A) durante o dia e 30 dB(A) durante a noite. Já na Alemanha, são fixados 65 dB(A) de dia e 50 dB(A) à noite na zona industrial, enquanto que na zona residencial os limites são de 50 dB(A) durante o dia e 35 dB(A) à noite, para sons contínuos e de longa duração (SANTOS, 1998).

A Organização Mundial da Saúde recomenda um limite de 40 dB(A) para o ruído noturno. Como meta intermediária, em países onde esse limite ainda não pode ser atendido, recomenda um limite de 55 dB(A). Como critério de comparação, para novas áreas residenciais o limite para ruído noturno, em decorrência de tráfego em estradas e rodovias (a principal fonte de ruído urbano é o tráfego veicular), é de 62 dB(A) para a França, 49 dB(A) para a Alemanha, 40 dB(A) para a Holanda e 50 dB(A) para a Áustria (WHO, 2009).

Nota-se que a preocupação com o controle do ruído e a conscientização de sua importância é crescente em todo o mundo. A exigência de estudos de impactos ambientais contemplando o problema do ruído de forma mais detalhada incentiva a criação de novos modelos para previsão do ruído.

No Brasil, os procedimentos para a realização de medições de pressão sonora, bem como os níveis de ruído limites para diferentes tipos de zoneamento urbano encontram-se definidos na Norma ABNT NBR 10151 (*Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade*).

Dentre as várias recomendações da norma NBR 10151:2000 destacam-se, em linhas gerais, as seguintes:

- O equipamento de medição deve ser do tipo 0, 1 ou 2;
- O equipamento de medição deve ter recursos para a medição do nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A” (L_{Aeq});
- O calibrador acústico deve ser de classe 2 ou melhor;

- Não devem ser realizadas medições na existência de interferências audíveis advindas de fenômenos da natureza (trovões, chuvas fortes, ventos fortes, etc.);
- Deve-se prevenir o efeito de ventos sobre o microfone com o uso de protetor;
- As medições devem ser efetuadas em pontos afastados de, no mínimo, 2 m de superfícies refletoras (muros, paredes, etc.) e a aproximadamente 1,2 m do piso.

Os níveis de critério de avaliação estabelecidos pela Norma ABNT NBR 10.151:2000 para diferentes tipos de zoneamento estão apresentados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Níveis de critério de avaliação para ambientes externos

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

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000)

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para efetuar o prognóstico dos níveis de ruído emitidos por uma pedreira é necessário conhecer as potências sonoras de suas máquinas e equipamentos. Conforme pontuado anteriormente, essas informações não estão disponíveis na bibliografia concernente e tampouco nos pacotes de *softwares* comerciais de prognóstico. Objetivando criar uma base de dados de potências sonoras a ser utilizada para estudos de impacto, foram efetuadas medições nas três pedreiras que apresentam características de porte e localização bastante distintas, situadas na Região Metropolitana de São Paulo e municípios do entorno, a saber:

- Pedreira 1 – Situada no litoral paulista, é uma pedreira de pequeno porte, atendendo ao consumo de brita para construção civil da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. Possui equipamentos móveis de britagem, além de uma usina de asfalto. Efetua sua lavra em meia encosta, sendo que no lado oposto do vale onde opera está situada uma comunidade na qual as atividades de lavra e beneficiamento são claramente audíveis. Para minimizar conflitos com a comunidade, opera apenas durante o período diurno.
- Pedreira 2 – Situada num município vizinho a São Paulo, pertencente à Região Metropolitana de São Paulo, para a qual fornece brita, é uma pedreira de grande porte, possuindo dois britadores primários (além das instalações de rebitagem). A região de seu entorno ainda possui remanescentes de Mata Atlântica e as residências situadas no entorno são esparsas. As áreas residenciais encontram-se mais afastadas das áreas de lavra e beneficiamento do que na pedreira 1. Como o ruído de fundo no entorno da pedreira é baixo devido ao reduzido fluxo urbano de veículos e a pedreira opera as instalações de rebitagem também durante o período noturno, é possível ouvir suas atividades em algumas localidades das áreas residenciais.
- Pedreira 3 – Situada na região metropolitana de São Paulo, possui porte médio. Em função da densa ocupação de áreas residenciais e comerciais no entorno, não há espaço para avanço horizontal das bancadas, tratando-se, portanto, de uma cava bastante profunda. O ruído urbano de seu entorno é bastante elevado em decorrência de vias bastante movimentadas. Opera apenas durante o período diurno para reduzir o incômodo sonoro à vizinhança.

Dispõe-se de dados históricos de monitoramento ambiental de ruído para as pedreiras selecionadas, e as gerências das três empresas permitiram a realização de medições para fins desta pesquisa.

As três pedreiras não possuem em seus estudos de impacto ambiental, durante a fase de licenciamento, um prognóstico dos níveis de ruído a serem percebidos pelas comunidades situadas no em seu entorno. As pedreiras 2 e 3 operam há mais de duas décadas e na época de seus licenciamentos ambientais as exigências dos órgãos ambientais eram mais brandas. A pedreira 1, embora tenha realizado seu licenciamento ambiental há um pouco mais de uma década, também não possui esse prognóstico. Conforme discutido a seguir, optou-se por apresentar os dados do monitoramento ambiental da Pedreira 1.

Por seu turno, as três pedreiras supracitadas foram consideradas para as medições das potências sonoras de seus equipamentos.

6.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL

Dentre as três pedreiras selecionadas para o estudo, apresentam-se os resultados do monitoramento ambiental realizado na pedreira 1. Levantou-se dados históricos de monitoramento de ruído, bem como estudos ambientais realizados para ampliação das frentes de lavra ou para atendimento de condicionantes ambientais.

Os pontos para monitoramento ambiental foram selecionados buscando amostrar os níveis de pressão sonora nas residências mais próximas ao limite da propriedade da pedreira analisada. Foram também selecionados pontos internos à pedreira, representando o ruído por elas emitido nas áreas de lavra e de britagem, e em áreas mais afastadas, buscando quantificar o ruído urbano de fundo.

A compilação dos dados obtidos nos monitoramentos ambientais efetuados nessa pedreira possibilitou avaliar a variabilidade dos níveis de ruído em cada ponto de amostragem e o atendimento aos limites estabelecidos pela Norma ABNT NBR 10151:2000. Ressalta-se que o autor esteve presente em diversos desses monitoramentos, cujos resultados estão apresentados no capítulo 7.

Como os monitoramentos ambientais foram realizados durante diversos anos, empregou-se diferentes sonômetros:

- Casella CEL 460 e calibrador acústico Casella CEL 282, ambos de classe II;
- Casella CEL 246 e calibrador acústico Casella CEL 120/2, ambos de classe II;

- ACOEM 01 dB SOLO e calibrador acústico ACOEM 01 dB CAL-02, ambos de classe II;

Cada medição de ruído teve duração mínima de 15 minutos, buscando obter um nível de ruído equivalente (L_{eq}) representativo. Quando ocorria alguma interferência externa não usual para o local de medição, como por exemplo, a passagem de algum veículo num ponto onde o tráfego urbano é muito reduzido, ou a ocorrência de latidos constantes de cachorros (em decorrência do monitoramento de ruído), a medição era descartada e uma nova efetuada. No caso do ruído avaliado ser muito variável, o tempo de medição foi estendido visando abarcar todos os eventos acústicos representativos do local de medição.

Os níveis de ruído foram gravados na memória interna do sonômetro em intervalos de 1 segundo, sendo efetuadas com a ponderação temporal rápida (*FAST*) e curva de ponderação de frequências A.

Foram seguidos os procedimentos estabelecidos pela Norma ABNT NBR 10151:2000 para realização das medições.

No decorrer da pesquisa surgiu a oportunidade de realizar um teste piloto com uma Estação de Monitoramento de Ruído (EMR). Optou-se por instalá-la em uma residência situada na região mais exposta ao ruído no período compreendido entre os dias 16 de março e 24 maio de 2016.

A estação de monitoramento de ruído utilizada foi a Brüel & Kjær Noise Monitoring Terminal Type 3655. Essa estação monitorou continuamente os níveis de ruído, transmitindo os resultados via conexão sem fio (rede 3G) para um servidor remoto.

O monitor foi programado para gravar durante 30 segundos o som emitido por eventos que excedem o limite de 55 dB(A) para o período diurno e 50 dB(A) para o período noturno estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.151:2000 para área mista, predominantemente residencial.

Os níveis de ruído medidos podem ser visualizados on-line a partir do celular ou de um computador, bem como baixados em formato de planilha eletrônica (MS-Excel) para posterior análise. O acesso a esses dados, bem como às gravações dos sons que excederam 55 dB(A), foi realizado através do serviço *Brüel & Kjær Noise Sentinel* (arquitetura que integra a transferência dos dados do monitor acústico para

o servidor remoto, bem como os aplicativos para celular e computador), fornecido pelo próprio fabricante do monitor de ruído.

6.2 POTÊNCIA SONORA DOS EQUIPAMENTOS

Para efetuar o prognóstico dos níveis de ruído emitidos por pedreiras, determinou-se a potência sonora dos seus principais equipamentos:

- Britador primário (de mandíbulas);
- Britador secundário (cônico);
- Britagem terciária e quaternária;
- Peneiras vibratórias;
- Perfuratrizes;
- Escavadoras;
- Pás-carregadoras;
- Caminhões basculantes;

Para equipamentos fixos, como britadores e peneiras, a potência sonora foi determinada a partir de medições de intensidade sonora. Como as perfuratrizes, embora sejam móveis, não se deslocam durante a atividade de perfuração, também foi possível efetuar medições de intensidade sonora para esses equipamentos. Já para fontes móveis, como caminhões, escavadoras e pás-carregadoras, a potência sonora foi determinada a partir de medições de pressão sonora.

Conforme exposto no item 3.5, a determinação da potência sonora a partir de medições de intensidade sonora, quando possível, apresenta uma série de vantagens sobre a determinação de potência a partir de medições de pressão sonora. Para fontes móveis, entretanto, não é possível efetuar a varredura com a sonda medidora de intensidade sobre uma superfície paralelepipedal envolvente, uma vez que a fonte está continuamente se movendo em seu interior. Essas diferentes posições da fonte seriam interpretadas pelo console analisador como forte influência de ruído externo.

6.2.1 Determinação da potência a partir de medições de intensidade sonora

Para determinação da potência sonora dos equipamentos fixos a partir da intensidade, foram seguidos os procedimentos estabelecidos pela norma ISO 9614-2:1996, descritos no item 3.5 deste trabalho.

Para cada equipamento a ser medido, estabeleceu-se uma superfície paralelepipedal envolvente, e sobre a qual a sonda medidora de intensidade sonora pôde ser movimentada livremente, varrendo essa superfície em todas as suas faces.

Subdividiram-se faces grandes em superfícies menores, de forma a facilitar a movimentação serpenteante da sonda, conforme exemplificado na figura 3.8. As dimensões das superfícies de medição foram medidas com trena.

Somente são efetuadas medições de intensidade em faces livres. Dessa forma, caso o equipamento esteja afixado em um talude, como ocorre frequentemente com britadores primários, por exemplo, a face traseira não é medida, uma vez que por ela não há fluxo de energia acústica. Também a face inferior (o solo) não é medida, uma vez que as ondas sonoras refletidas por ele serão detectadas nas demais superfícies envolventes.

As medições de intensidade sonora foram efetuadas com o sistema portátil modelo 2270-G, da Brüel & Kjær (vide figura 3.5), constituído pela sonda de intensidade modelo 3654, console analisador modelo 2270 e *software* para tratamento dos dados BZ-7233, todos da fabricante Brüel & Kjær.

O *software* BZ-7233 foi configurado para operar conforme os requisitos da norma ISO 9614-2:1996. Em decorrência de condições desfavoráveis de medição de intensidade, em algumas superfícies de medição, para algumas bandas de terço de oitava, não foram atendidos todos os pré-requisitos estabelecidos por essa norma. A tabela 6.1 apresenta os significados de cada um dos índices de controle de ocorrências que o *software* BZ-7233 é capaz de identificar. Para cada banda de terço de oitava em cada superfície de medição é fornecido um índice que representa a soma de todos os índices de controle de ocorrências da medição. Por exemplo, um índice de controle de ocorrências 12 em determinada banda de terço de oitava significa que ocorreram simultaneamente as ocorrências 8 (índice de campo $F_{+/-} > 3$ dB) e 4 (falha de repetitividade).

Tabela 6.1 – Significados do índice de controle de ocorrências durante as medições de intensidade sonora

Descrição	Índice de controle de ocorrências
Banda (de oitava ou de terço de oitava) descartada	1
Níveis acima da capacidade de medição	512
Capacidade dinâmica muito baixa (índice P-I maior que a capacidade dinâmica)	2
Dados copiados de outra superfície	1024
Níveis abaixo da faixa de capacidade de medição	32
Falha na checagem do instrumento em campo	64
Fora das especificações da IEC 61043 para o índice pressão-intensidade residual	16384
Falha de repetitividade**	4
Influência excessiva de ruído externo à fonte (índice de campo $F_{+/-} > 3$ dB)	8
Tempo de amostragem muito curto (< 20 s)	16
Níveis elevados em frequências não incluídas no cálculo do nível total A-ponderado*	2048
Variabilidade temporal excessivamente elevada	8192

Fonte: Brüel & Kjær, (2010)

* Níveis de potência sonora abaixo de 50 Hz ou superiores a 6,3 kHz devem pelo menos 6 dB inferiores à potência sonora total A-ponderada.

** Diferença entre as duas varreduras superior aos limites da tabela 3.4.

Experimentou-se efetuar as medições de intensidade em toda a superfície envolvente utilizando um espaçador de 50 mm para cobrir melhor as baixas frequências (vide tabela 3.3) e, posteriormente, novamente utilizando um espaçador de 8.5 mm para as altas frequências. Esse procedimento oferecia, entretanto, riscos à sonda medidora de intensidade, pois para a troca de espaçadores é necessário retirar o protetor de vento, separar os microfones de desparafusar o espaçador. Dada a alta concentração de material particulado, facilmente partículas poderiam se depositar sobre as membranas dos microfones. Para efetuar essa troca de forma segura, era necessário se afastar da fonte e ir para um local com atmosfera mais limpa, desmontar a haste de medição, lavar as mãos (impregnadas de material particulado) e ainda assim, a espuma protetora também poderia liberar partículas sobre os microfones ao ser retirada. Dado o elevado custo do equipamento e que a sonda medidora de intensidade estava cedida durante um período de tempo limitado, decidiu-se utilizar um espaçador de 12 mm para as medições. Conforme a tabela 3.3, com esse espaçador é possível efetuar medições com acurácia de 1 dB nas frequências compreendidas na faixa de 40 Hz a 5 kHz.

6.2.2 Determinação da potência a partir de medições de pressão sonora

Conforme explanado no item 3.1, para que uma fonte sonora possa ser aproximada a uma fonte pontual, é necessário realizar a medição de pressão sonora a uma distância de pelo menos duas vezes a maior dimensão da fonte. Entretanto, a maior parte dos equipamentos móveis opera nas proximidades de outros equipamentos ruidosos. Quanto mais afastado da fonte sonora da qual se deseja determinar a potência sonora, maior é a influência relativa do ruído de fundo, proveniente de outras máquinas, que passa a influenciar significativamente nas medições de pressão sonora.

Dessa forma, torna-se necessário realizar medições próximas à fonte, muitas vezes ainda dentro do campo próximo. Por outro lado, podemos considerar que não há reverberação, por serem medições realizadas em ambiente aberto.

O procedimento para determinação da potência sonora que melhor se encaixa nas situações descritas é o estabelecido pela Norma ISO 3746. Conforme detalhado no item 3.4, determinações de potência pela norma ISO 3746 possibilitam resultados com precisão esperada de ± 3 dB(A).

No presente caso, não foi possível realizar medições em todas as posições indicadas por essa norma, como indicam as figuras 3.2 e 3.3. Por exemplo, para uma escavadora em operação, as medições foram realizadas apenas em pontos fora do alcance de seu braço (com a pá acoplada).

Dessa forma, foram realizadas medições de pressão sonora em diferentes posições e distâncias do centro do equipamento. Para cada medição, a área da superfície hemisférica considerada (que envolve o equipamento) foi recalculada.

As medições de ruído foram realizadas com o uso dos seguintes equipamentos:

- ACOEM 01 dB SOLO, de classe II;
- Calibrador acústico ACOEM 01 dB CAL-01, de classe I;
- *Software* ACOEM 01 dB dBTrait versão 5.0

O sonômetro foi programado para efetuar gravações na memória interna em intervalos de 1 segundo, com bandas de oitava sem ponderação de frequências e Leq na curva de ponderação de frequências A.

A duração de cada medição foi variável, sendo definida em função da duração do evento, da variabilidade da pressão sonora e da posição de medição.

Para obter medições de pressão sonora de escavadoras, por exemplo, efetuaram-se sucessivas medições de pressão sonora durante ciclos completos de carregamento de caminhão em diferentes posições e distâncias. Já para caminhões, efetuou-se a medição ao lado do motor a uma distância conhecida, deslocando-se a pé ao lado do caminhão em movimento, perdurando a medição enquanto era possível acompanhar o caminhão.

6.3 PROGNÓSTICO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

As fontes de ruído existentes numa pedreira podem ser aproximadas a fontes pontuais, seguindo critérios apresentados nos capítulos 2 e 3. Mesmo os caminhões, ao se deslocarem, devido à baixa velocidade e à baixa densidade de veículos nas vias de acesso, são melhor representados como fontes pontuais que como fontes lineares (como é o caso de uma rodovia com intenso fluxo de veículos).

A seguir são apresentadas três alternativas para o prognóstico dos níveis de ruído gerados por pedreiras.

6.3.1 Prognóstico expedito – apenas divergência geométrica

Desconsiderando os fatores de atenuação apresentados no capítulo 4, tais como absorção pelo ar, por barreiras, reflexões no solo, por vegetação, etc., tem-se somente a divergência geométrica, que é o espalhamento da energia acústica com a distância das fontes sonoras. Para fontes pontuais, essa divergência pode ser calculada pela equação 4.1. Considerando a fonte aproximadamente omnidirecional pode-se desprezar o índice de diretividade DI_θ . Como os equipamentos numa pedreira operam, de forma geral, sobre solo duro, a energia sonora que se propaga para baixo é refletida, e o ruído se propaga hemisfericamente (ou seja, o ângulo sólido Ω é 2π). Dessa forma, desconsiderando os demais fatores de atenuação ($A_{combinada}$), podemos reescrever a equação 4.1 como:

$$L_p(d) = L_w - 20 \log r - 8 \quad (6.1)$$

Onde:

$L_p(d)$: Nível de pressão sonora a uma distância d da fonte sonora (em dBA);

L_w : Nível de potência sonora (em dBA);

d : distância da fonte sonora ao receptor (em metros);

A distância entre a fonte e o receptor pode ser obtida através da equação 6.2:

$$d = \sqrt{(x_f - x_r)^2 + (y_f - y_r)^2 + (z_f - z_r)^2} \quad (6.2)$$

Onde:

d : Distância linear da fonte sonora ao receptor (m);

x_f , y_f e z_f : Coordenadas da fonte sonora (m);

x_r , y_r e z_r : Coordenadas do receptor sonora (m).

Essa pode ser considerada a forma mais conservadora de estimativa dos níveis de ruído para receptores situados no entorno de uma pedreira, uma vez que seguramente a atenuação real do ruído será maior em decorrência de absorção da energia acústica pela atmosfera, além dos outros fatores de atenuação. Determinadas condições meteorológicas podem, eventualmente, direcionar as ondas sonoras para determinados pontos receptores, mas essa contribuição adicional não supera a atenuação pelos demais fatores desconsiderados.

Posto que a divergência geométrica independe da frequência do som, empregam-se na equação 6.1 os níveis totais A-ponderados das potências sonoras das fontes consideradas. Para cada ponto receptor são somadas (equação 2.7) as contribuições individuais de cada fonte (obtidas através da equação 6.1).

Uma vez que os cálculos envolvidos por essa metodologia expedita são relativamente simples (em comparação com as metodologias a serem descritas a seguir), foi possível efetuar os cálculos para o prognóstico de ruído descritos nas equações 6.1 e 6.2 para uma malha regular de receptores utilizando planilha eletrônica (Microsoft Excel).

6.3.2 Modelo OCMA

O modelo da OCMA (Oil Companies Material Association) representa uma alternativa de prognóstico dos níveis de ruído, considerando, além da divergência geométrica, outros fatores de atenuação (como absorção pela atmosfera, e barreiras).

Na equação 6.1 considerou-se apenas a divergência geométrica das ondas sonoras. No algoritmo da OCMA o termo $A_{combinada}$ da equação 4.1 (que foi desprezado na equação 6.1) é calculado por meio da soma de dois fatores (F_1 e F_2). O fator de atenuação F_1 representa a atenuação por divergência geométrica e absorção pelo ar, e é estimado através da tabela 4.1. O fator F_2 representa a atenuação pela presença de barreiras, vegetação ou áreas construídas, em combinação com a absorção pelo solo. Estão previstas duas situações: proteção mínima (sem barreiras) ou proteção significativa (presença de barreiras). Para cada

situação, a tabela 4.2 apresenta um conjunto de equações diferentes para a estimativa de atenuação por bandas de oitava. Dessa forma, o modelo de prognóstico da OCMA é calculado pela equação 6.3:

$$L_p(d) = L_W - F_1 - F_2 \quad (6.3)$$

Onde:

$L_p(d)$: Nível de pressão sonora a uma distância d da fonte sonora (em dBA);

L_W : Nível de potência sonora (em dBA);

F_1 : Divergência geométrica e absorção pela atmosfera (equações da tabela 4.1);

F_2 : Atenuação por barreiras e reflexões no solo (equações da tabela 4.2).

Vale observar que o termo $20 \log r$ da equação 6.1 já está incluído no fator F_1 , e a constante de 8 dB da equação 6.1 está incorporada nos fatores F_1 e F_2 .

Como os fatores F_1 e F_2 são obtidos para cada banda de oitava da fonte sonora, deve-se calcular o valor de $L_p(d)$ para todas as bandas de cada fonte e posteriormente obter o valor de $L_p(d)$ total A-ponderado por meio da equação 2.7.

Uma vez que os fatores F_1 e F_2 englobam diferentes fatores de atenuação, além da divergência geométrica, possibilitam um prognóstico dos níveis de ruído menos conservadores (mais realistas) que aqueles obtidos pela equação 6.1. Contudo, a absorção pelo ar do fator F_1 considera apenas uma condição atmosférica média. Conforme apresentado na figura 4.2, existem variações expressivas da absorção atmosférica para diferentes condições de umidade e temperatura (principalmente para altas frequências). Já o fator F_2 estima uma atenuação média considerando muitas ou poucas barreiras, simplificando uma variada gama de combinações de barreiras (de terreno plano a elevados taludes ou morros) e absorção pelo solo.

Essas simplificações possibilitam um prognóstico expedito dos níveis de ruído para os receptores situados no entorno de uma pedreira sem a necessidade de informações detalhadas da topografia. De forma geral pode-se considerar o modelo da OCMA também conservador (embora menos que o método de prognóstico que considera apenas a divergência geométrica), já que normalmente para pedreiras a atenuação por barreiras (em decorrência de taludes e de um relevo acidentado) é significativa.

Apesar da maior quantidade de cálculos para o prognóstico dos níveis de ruído pelo algoritmo da OCMA (em comparação com o prognóstico considerando apenas a divergência geométrica), ainda foi possível implementá-los em planilha eletrônica.

A tabela 4.2 apresenta dois conjuntos de equações de prognóstico: um para proteção mínima (sem barreiras) e outro para proteção significativa (com presença de barreiras). Para classificar em qual dessas duas situações se encontra cada receptor, é necessária uma análise da topografia da região. Isso pode ser feito por estimativa visual através do *software* Google Earth ou uma carta topográfica, pois essa classificação entre receptores que estão ou não sujeitos à atenuação significativa por barreiras acústicas não requer informações topográficas detalhadas. Entretanto, como para o modelo descrito a seguir, no item 6.3.3 (ISO 9613), são necessárias informações topográficas detalhadas, utilizou-se esses dados (a serem descritos mais à frente) também para o modelo da OCMA.

Para determinar os grupos de pontos a serem considerados com atenuação significativa pela tabela 4.2, considerou-se os morros como barreiras acústicas. Por meio das curvas de nível, identificou-se as linhas de cumeada (divisores de água) como linhas aquém das quais (em relação às fontes sonoras) os receptores estão numa região de sombra acústica. A visualização das curvas de nível altimétricas foi efetuada pelo Sistema de Informações Geográficas QGIS (QuantumGIS).

Posteriormente foi efetuada, por meio do QGIS, uma análise mais detalhada e individualizada por fonte, determinando-se quais pontos receptores estão em sua respectiva linha direta de visão. Para tanto utilizou-se uma ferramenta para análise do impacto visual de um empreendimento (*viewshed analysis*¹). Pontos fora da área com visão direta de cada fonte foram consideradas como pontos na região de sombra acústica em decorrência de barreiras naturais, aplicando-se a estes as equações da tabela 4.2 para proteção significativa. Já para os pontos dentro da região com visão direta a cada fonte foram aplicadas as equações da tabela 4.2 para pouca atenuação. A difração sonora constitui um fator importante na efetividade da atenuação sonora por barreiras. A ferramenta de análise de impacto visual desconsidera essas difrações sonoras, uma vez que considera a difração da luz visível. Entretanto essa ferramenta pode ser utilizada como alternativa aproximada para determinar quais receptores estariam na região de sombra acústica.

¹ *Viewshed analysis* está disponível, na forma de plugin, no *software* QGIS.

6.3.3 Algoritmo ISO 9613 – PROGNOISE

A norma ISO 9613 (atenuação do som durante a propagação ao ar livre) estabelece um algoritmo de prognóstico dos níveis de ruído que considera, além da divergência geométrica, modelos empíricos para cálculo da atenuação por barreiras acústicas, por reflexão no solo, por vegetação, por áreas construídas e por absorção pelo ar. É dividida em duas partes:

- ISO 9613-1 (1993): Parte 1 – Cálculo da atenuação do som pela atmosfera;
- ISO 9613-2 (1996): Parte 2 – Método geral de cálculo.

O prognóstico dos níveis de ruído pelo algoritmo da norma ISO 9613 é efetuado por meio da equação geral de propagação do ruído (equação 4.1). O termo $A_{combinada}$ é calculado somando-se as atenuações cumulativas decorrentes de barreiras, reflexões no solo, absorção pelo ar, áreas com vegetação e áreas com edificações.

A atenuação pela absorção da energia acústica pelo ar é determinada por meio da equação 4.8.

A atenuação dos níveis de ruído por reflexões sobre o solo, segundo a norma ISO 9613-2, pode ser determinada por meio da equação 4.20 para terrenos planos. Entretanto, no caso de pedreiras, onde o relevo normalmente é acidentado (bancadas na área de lavra e morros no entorno), a absorção pelo solo é melhor determinada por meio da equação 4.21. A norma ISO 9613-2 estabelece que, quando utilizada a equação 4.21, deve-se também considerar um fator de correção D_{Ω} que considera o efeito da reflexão das ondas sonoras que ocorrem próximo à fonte de ruído. Assim, o fator $10 \log \frac{\Omega}{4\pi}$ da equação 4.11, é substituído por D_{Ω} , que por sua vez é calculado pela equação 4.22.

Analisando a equação 4.21, é possível notar que, quanto maior o valor de h_m , que é a altura média da trajetória de propagação das ondas sonoras sobre o solo, menor o valor de A_{solo} . Assim, quanto maior a área “F” da figura 4.12, menor a influência das reflexões das ondas sonoras no solo no abatimento dos níveis de ruído. Ou seja, numa situação em que uma perfuratriz esteja operando em alguma bancada no alto de uma lavra em meia-encosta, os níveis de ruído emitidos sofrerão pouca atenuação pelo solo para os receptores situados na encosta oposta no mesmo vale, uma vez que h_m assume valores elevados.

Por outro lado, também há receptores que não terão visão direta da fonte sonora por estarem protegidos por barreiras acústicas, que podem ser artificiais ou naturais (como o próprio relevo). A atenuação dos níveis de pressão sonora em decorrência de barreiras acústicas varia em função do Número de Fresnel, conforme ilustrado na figura 4.6. A atenuação por barreiras é determinada pela equação 4.11. Vale observar, entretanto, que A_{solo} é nulo na presença de barreiras, segundo especificado pela norma ISO 9613-2, uma vez que ao se considerar apenas as ondas sonoras que difratam no topo de uma barreira acústica (mecanismo exemplificado na figura 4.5), impede-se que ocorra interferência destrutiva por raios sonoros que sofreriam reflexão no solo (caso não existisse a barreira acústica).

Contudo, mesmo quando o topo da barreira acústica está ligeiramente abaixo da linha que liga diretamente a fonte e o receptor (linha direta de visão), há ainda influência de barreiras acústicas. Por exemplo, para o Número de Fresnel $N=0,000001$ (praticamente zero), a atenuação da barreira acústica por meio da equação 4.10 é de 5 dB, que é uma redução dos níveis de ruído que não pode ser desprezada. Apenas para número de Fresnel $N < -0,2$, a influência da barreira acústica torna-se desprezível. Vale notar que a equação 4.12 pode ser reescrita como $D_z = 10 \log \left(3 + \frac{C_2}{2} \cdot N_{fresnel} \cdot C_3 \cdot K_{met} \right)$, e que as considerações para a equação 4.10 também são válidas para a equação 4.12. Nos casos de $N \leq 0$, tem-se a atenuação pelo solo em conjunto com a atenuação por barreiras, e a atenuação resultante é dada pela equação 4.11.

A norma ISO 9613-2 estabelece que para a difração das ondas sonoras nas laterais verticais de uma barreira acústica, o cálculo da atenuação é efetuado pela equação 4.12, uma vez que não há a possibilidade de $N \leq 0$. No caso de a barreira acústica ser o próprio relevo das áreas do entorno de uma pedreira (como um morro, por exemplo), não se considera a difração lateral segundo a norma ISO 9613-2, uma vez que as laterais dessa barreira não são verticais¹. Vale ressaltar, entretanto, que são relativamente escassos os estudos de aplicação da norma ISO 9613 em pedreiras, onde as principais barreiras acústicas são o relevo e as bancadas da área de lavra.

¹ Implantou-se no *software* PROGNOISE um algoritmo para o cálculo da difração lateral de barreiras cujas laterais não são verticais, como é o caso do relevo, uma vez que a difração lateral também pode ocorrer nesses casos. O PROGNOISE permite optar por considerar ou não a difração lateral.

Em virtude dos cálculos mais complexos e a necessidade de sucessivas interações para determinação da atenuação por barreiras e reflexões no solo, foi necessário desenvolver um *software* para efetuar os cálculos estabelecidos pela norma ISO 9613, que foi denominado PROGNOISE (*prognosis + noise*).

Escolheu-se a linguagem de programação Python, por ser uma linguagem bastante atual (em comparação com linguagens como Java, VisualBasic e C), que conta com uma ativa comunidade de desenvolvedores e, por conseguinte, diversos fóruns na *internet* para pesquisa de dúvidas sobre as peculiaridades da linguagem. Outra característica fundamental para a escolha de Python é o fato de que é uma linguagem amplamente utilizada em *softwares* livres e em programação científica. Existem diversos IDEs (Ambientes de Desenvolvimento Integrado) livres que podem ser usados para escrever programas em Python, dentre os quais utilizou-se o IDE Anaconda (da empresa Continuum Analytics).

Uma vez que Python é uma linguagem interpretada¹, utilizou-se o *software* PyInstaller, de licença pública², para tornar o PROGNOISE um *software* executável com todas as bibliotecas necessárias já incorporadas. Assim o usuário não precisa instalar um *software* interpretador (Python) e todas as bibliotecas utilizadas pelo PROGNOISE.

A seguir são explicitadas as bibliotecas utilizadas e as razões para suas escolhas. Por serem todas bibliotecas de uso público, não há impedimentos para utilização do PROGNOISE por especialistas em meio ambiente em consultorias ambientais ou pedreiras.

Para armazenamento dos dados de entrada e saída do PROGNOISE utilizou-se arquivos de planilha eletrônica (extensão de arquivo XLSX – *Office Open XML*). Optou-se por esse formato de arquivo por suportar muitas linhas (1.048.576 linhas) e diversas planilhas num único arquivo (diversas abas numa mesma planilha eletrônica). Adicionalmente, esse formato é facilmente editável por *softwares* populares, como o Microsoft Excel ou o LibreOffice Calc. Também SIG (Sistemas de Informação Geográfica) como o QGIS suportam a leitura de arquivos nesse formato. Utilizou-se a biblioteca Openpyxl, de código aberto, para manusear arquivos XLSX.

¹ A linguagem interpretada é uma linguagem de programação cujo código fonte é codificado para linguagem de máquina por um *software* interpretador, que por sua vez executará os comandos do código fonte. Sem o interpretador, não é possível executar o *software* escrito em linguagem interpretada.

² Licença pública GPL (*General Public License*)

Para a entrada de dados do relevo (topografia), optou-se por usar o formato de arquivo GeoTIFF, que é um padrão de arquivo de domínio público que contém informações georreferenciadas de uma imagem (que está no formato TIFF). As informações contidas nos pixels dessa imagem TIFF¹ são as cotas altimétricas de uma malha de pontos. Quanto maior a densidade de pontos dessa malha (e mais detalhada a topografia), maior o tamanho do arquivo GeoTIFF.

O acesso aos dados topográficos contidos no arquivo GeoTIFF foi implementado por meio da biblioteca GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*), de código aberto, e que possibilita a extração das informações topográficas e automatiza transformações de coordenadas.

Uma vez que o formato de arquivo GeoTIFF é amplamente empregado em geoprocessamento, existem diversas opções de SIG que podem ser utilizados para gerá-los a partir de curvas de nível no formato DXF² (CAD), ou então uma lista de coordenadas topográficas em formato CSV³ (planilha eletrônica), entre outros. No desenvolvimento desse trabalho, utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas de código aberto QGIS.

O IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo) disponibilizou⁴ modelos digitais de terreno (MDT) recentes (do ano de 2009) já no formato GeoTIFF para a área que abrange o entorno da pedreira 1. Por meio do Sistema de Informações Geográficas QGIS, atualizou-se, na topografia fornecida pelo IGC, as áreas de lavra pelos levantamentos topográficos mais recentes efetuados pelas pedreiras em estudo.

No apêndice B contém um manual de uso do PROGNOISE, onde estão especificados os parâmetros operacionais do *software* desenvolvido.

Para avaliar a precisão dos prognósticos dos níveis de ruído proporcionados pelo *software* PROGNOISE, desenvolvido neste trabalho, comparou-se seus resultados com aqueles obtidos por meio do *software* comercial CadnaA⁵. Ambos os

¹ TIFF: *Tag Image File Format*, formato de arquivo de imagens *raster* (formato de arquivo de imagem formada por uma matriz regular de pixels, que por sua vez podem conter informações relativas às cores de uma fotografia ou a cotas altimétricas).

² DXF: Formato de intercâmbio de arquivos gerados por *softwares* CAD.

³ CSV: Formato de intercâmbio de planilhas eletrônicas, como o Microsoft Excel ou o LibreOffice Calc.

⁴ Obtida por meio de requisição ao IGC.

⁵ Conforme explanado no capítulo 4, os *softwares* CadnaA, Predictor-LimA Type 7810 e SoundPLAN estão entre os mais utilizados no Brasil (e no mundo todo também). Utilizou-se o CadnaA em decorrência de sua disponibilidade para este estudo.

softwares foram configurados para os mesmos parâmetros da norma ISO 9613¹. Efetuou-se essas comparações para a Pedreira 1 de duas formas:

- Considerando apenas uma fonte sonora (a perfuratriz), numa malha de receptores espaçados de 1 em 1 metro, numa linha reta percorrendo a topografia local de Leste a Oeste.
- Considerando todas as fontes sonoras (equipamento da instalação de britagem, perfuratriz, caminhões, escavadoras, pás carregadoras e a usina de asfalto) para uma malha de receptores espaçados de 10 em 10 metros no entorno da pedreira.

6.3.4 Mapas de ruído

Os níveis de ruído calculados para uma malha regular de receptores a partir de planilhas eletrônicas para os algoritmos apresentados nos itens 6.3.1 (método que considera apenas a divergência geométrica) e 6.3.2 (método da OCMA), e a partir do *software* PROGNOISE para o algoritmo apresentado no item 6.3.3 (método da norma ISO 9613), foram posteriormente interpolados por triangulação para gerar isolinhas de níveis de pressão sonora. Existem diversas opções de *softwares* que podem ser utilizados para tanto. Nesta tese foi utilizado o QGIS (Quantum GIS), que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, disponível para os principais sistemas operacionais atualmente disponíveis no mercado (Windows, Mac OSX e Linux).

Foram então obtidas imagens de satélite das áreas de estudo por meio do *software* Google Earth Professional, que foram georreferenciadas também no *software* QGIS. Dessa forma, foi possível visualizar as isolinhas de pressão sonora sobre as imagens de satélite, identificando os níveis de ruído em áreas residenciais do entorno.

Foram gerados mapas sonoros para a pedreira 1 utilizando os métodos apresentados nos itens 6.3.1 e 6.3.2, buscando mostrar que são alternativas que

¹ Mesma temperatura (20°C) e umidade (70%) e os limites de atenuação de 20 dB para uma barreira simples e 25 dB para múltiplas barreiras ou barreiras grossas.

podem ser utilizadas para um prognóstico expedito quando não se possui dados precisos da topografia da área em estudo.

Utilizando o *software* PROGNOISE, foram gerados mapas de ruído para a pedreira 1 considerando diferentes situações:

- Todos os equipamentos da pedreira funcionando em sua carga máxima ao mesmo tempo;
- Considerando os tempos médios de operação num dia em que todos equipamentos estão trabalhando;
- Considerando os tempos médios de operação numa situação em que os equipamentos reposicionados.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o prognóstico do ruído nas áreas do entorno de uma pedreira, parte-se da potência sonora de suas fontes, como britadores, peneiras vibratórias, perfuratrizes, caminhões e máquinas. Dessa forma, são apresentadas primeiramente as potências sonoras calculadas para os equipamentos das três pedreiras estudadas. Em seguida, são apresentados os dados concernentes ao monitoramento ambiental da pedreira 1, destacando-se os níveis de ruído medidos ao longo dos anos 2015 e 2016, em nove pontos de monitoramento situados na comunidade próxima à pedreira, assim como a utilização de uma Estação de Monitoramento de Ruído em uma residência localizada no entorno da pedreira. Por fim são apresentados os prognósticos dos níveis de ruído da pedreira 1, efetuados com base no banco de dados das potências sonoras calculadas. Esses prognósticos foram obtidos a partir da aplicação do *software* PROGNOISE, concebido no âmbito dessa tese, cujos resultados foram comparados com os obtidos a partir do *software* comercial CadnaA.

7.1 POTÊNCIAS SONORAS

7.1.1 Pedreira 1

Para determinar a potência dos principais equipamentos utilizados na Pedreira 1, empregou-se a metodologia descrita no item 6.2.

A pedreira 1 possui os seguintes equipamentos para desempenhar suas atividades de lavra e beneficiamento:

- Perfuratriz pneumática Wolf MD5000h e compressor Atlas Copco XAS420;
- Britador primário móvel, de mandíbulas, Sandvik QJ 340;
- Britador secundário móvel, cônico, Sandvik QH330;
- Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QE341;
- Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450;
- Escavadora Komatsu PC 300LC série 6;
- Escavadora Case CX220;
- Escavadora Caterpillar CAT 320D;
- Pá-carregadora Caterpillar CAT 938H;
- Caminhões basculantes Ford Cargo 6332;

Adicionalmente, próximo ao escritório, encontra-se instalada uma usina de asfalto (modelo CIBER UACF 17p1). Embora não seja um equipamento usual em pedreiras, em decorrência dos elevados níveis de pressão é uma importante fonte a ser considerada.

Dos equipamentos supracitados, apenas os equipamentos móveis da Caterpillar e da Komatsu possuem potência sonora disponíveis nos *sites* dos respectivos fabricantes (somente o valor A-ponderado, sem informações por bandas de oitava), sendo esses valores confrontados com as potências medidas em campo.

Os demais equipamentos, dentre os quais os britadores e a perfuratriz se destacam como principais fontes sonoras de uma pedreira, não dispõem de informações de potência sonora, razão pela qual estas foram aqui determinadas.

7.1.1.1 Perfuratriz Wolf MD5000h

Durante as atividades de campo foi possível notar que a perfuratriz se destaca como um dos equipamentos mais ruidosos em operação na pedreira.

Sua potência foi determinada por meio de medições de intensidade sonora. Para as varreduras com a sonda de medição de intensidade, foi adotada uma superfície hipotética paralelepipedal com base de 3,5 m por 3,5 m, e altura de 6 m. Vale esclarecer que, embora a perfuratriz tenha altura superior a 6 metros, o motor pneumático que rotaciona e fornece os pulsos de impacto, situado no topo da haste, permaneceu abaixo da altitude de 6 m durante as medições. Depois da inserção de hastes adicionais à perfuratriz, aguardou-se até o motor estar a uma altura inferior a 6 m do solo para iniciar as medições de ruído. Este cuidado foi tomado por ser impraticável a varredura de uma superfície de medição em tempo hábil (antes da atividade de perfuração parar para nova troca de hastes) para uma face com altura superior a 6 m e profundidade de 3,5 m. A norma ISO 9614-2 estabelece que deve ser mantida uma velocidade de varredura constante entre 0,1 e 0,5 m/s. Adicionalmente tem-se limitações técnicas do medidor de intensidade sonora. Afixou-se a sonda medidora de intensidade a um cabo de alumínio para permitir maior alcance. Entretanto o cabo que interliga a sonda ao console de controle e processamento não possibilita medições a distância superiores de 6 m.

A tabela A1 apresenta dados gerais da medição para cada uma das faces da superfície hipotética paralelepipedal que envolve a perfuratriz. Como esperado, a maior potência sonora foi medida na face situada à frente da perfuratriz, dada a sua

maior proximidade à haste e motor pneumático. A tabela 3.4 apresenta os graus de precisão esperados para medições seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma ISO 9614-2. Observa-se que as diferenças entre as varreduras para as superfícies “frente” e “topo” excederam 1,5 dB(A), requeridos para grau 2 de precisão (desvio na repetitividade). Subtraindo das potências sonoras dessas faces a parte do desvio padrão que excede o limite de 1,5 dB(A), o impacto na potência sonora total da perfuratriz é de apenas 0,3 dB(A). Dessa forma pode-se manter os desvios padrão apresentados na tabela 7.1.

A tabela A2 apresenta os níveis de potência total e por face por bandas de terço de oitava. É possível observar quais índices de controle de ocorrências apresentaram valor 4, que conforme a tabela 6.1, representa falha de repetitividade. Maiores desvios padrão na superfície “topo” decorrem da dificuldade de acesso a essa superfície.

Os dados apresentados nas tabelas A1 e A2 possibilitam também avaliar a diretividade da fonte.

Os níveis de potência sonora globais da perfuratriz por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.1. Na figura 7.1 apresenta uma foto da medição de intensidade sonora.

Tabela 7.1 – Potência sonora em bandas de oitava e total da perfuratriz Wolf MD5000h

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	83,8	>3
63 Hz	93,1	3
125 Hz	95,7	3
250 Hz	96,4	2
500 Hz	103,5	1,5
1 kHz	112,1	1,5
2 kHz	115,8	1,5
4 kHz	116,2	1,5
8 kHz	111,4	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	120,5	1,5

Figura 7.1 – Medição de intensidade sonora na face da frente da superfície hipotética paralelepipedal que envolve a perfuratriz.

Fonte: O autor

7.1.1.2 Compressor Atlas Copco XAS 420

O ruído proveniente do compressor Atlas Copco XAS 420, de 100 psi, é pouco audível frente aos elevados níveis de pressão sonora provenientes da perfuratriz, que utiliza o ar comprimido para suas atividades. Dessa forma, já era esperada uma potência sonora ao menos 10 dB inferior à potência da perfuratriz.

Apesar do elevado ruído de fundo foi possível determinar a potência sonora do compressor por meio das medições de intensidade sonora. Conforme indicado nas tabelas A3 e A4, houveram poucas interferências que provocassem desvios em relação aos critérios da ISO 9614-2.

Foi adotada uma superfície hipotética paralelepipedal com largura de 6 metros, profundidade de 2,5 metros e altura de 2,5 metros. Os níveis de potência sonora globais por bandas de oitava do compressor podem ser visualizados na tabela 7.2. Na figura 7.2 é possível observar uma das posições de medição de intensidade sonora e as condições gerais do equipamento em operação.

Tabela 7.2 – Potência sonora em bandas de oitava e total do compressor Atlas Copco XAS 420

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	57,0	>3
63 Hz	79,9	3
125 Hz	86,7	3
250 Hz	87,4	2
500 Hz	89,8	1,5
1 kHz	93,0	1,5
2 kHz	90,6	1,5
4 kHz	81,0	1,5
8 kHz	74,7	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	97,3	1,5

Figura 7.2 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do compressor Atlas Copco XAS 420.

Fonte: O autor

7.1.1.3 Britador primário móvel QJ340

O britador primário móvel de mandíbulas fabricado pela Sandvik, modelo QJ340, é um britador relativamente pequeno. Sua produção máxima é de 400 t/hora, largura e profundidade da abertura máxima de alimentação de 1200x750 mm e abertura na posição fechada de 50x175 mm. Possui um motor diesel de 350 hp (SANDVIK, 2011a).

Para determinação de sua potência a partir de medições de intensidade sonora, considerou-se uma superfície hipotética paralelepipedal de 5 metros de profundidade, 15 metros de comprimento e 4,2 metros de altura. Subdividiu-se as superfícies laterais (esquerda e direita) em 3 segmentos iguais e a superfície do topo em 6 segmentos.

Como é característico de britadores de mandíbula, há maior geração de ruído assim que é despejada uma nova carga na boca do britador. Se em algum momento o britador opera vazio, há significativa redução da potência sonora, passando a

predominar o ruído do seu motor a diesel. Durante as medições de intensidade sonora, caso o britador operasse vazio, a medição era reiniciada.

Os resultados obtidos para cada quadrante estão disponíveis na tabela A5 e, por bandas de terço de oitava, na tabela A6. A inconstância na potência sonora em decorrência da variabilidade de sua carga explica a variação nos índices de controle de ocorrências mostrados na tabela A6. Os níveis de potência sonora globais, por bandas de oitava, podem ser visualizados na tabela 7.3. Uma foto da medição de intensidade sonora está apresentada na figura 7.3.

Tabela 7.3 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador primário móvel Sandvik QJ340

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	69,9	>3
63 Hz	93,5	3
125 Hz	103,5	3
250 Hz	109,3	2
500 Hz	110,8	1,5
1 kHz	111,4	1,5
2 kHz	109,0	1,5
4 kHz	103,8	1,5
8 kHz	95,9	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	116,8	1,5

Figura 7.3 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do Britador primário móvel Sandvik QJ340.

Fonte: O autor

7.1.1.4 Britador secundário móvel QH330

O britador secundário móvel cônico Sandvik QH330, de pequeno porte, tem capacidade de produção de até 220 t/h, abertura de alimentação de 190 mm e

abertura na saída ajustável por pistão hidráulico para uma faixa compreendida entre 7,5 e 35 mm (SANDVIK, 201?).

Para determinação de sua intensidade, foram feitas medições de intensidade sonora sobre uma superfície hipotética paralelepipedal com largura de 12,5 m, profundidade de 2,2 m e altura de 4,2 m. As superfícies laterais (esquerda e direita) foram subdivididas em 3 segmentos iguais e a superfície do topo em 6 segmentos iguais, conforme apresentado na tabela A7.

Os níveis de ruído emitidos pela operação do britador secundário são mais constantes que aqueles emitidos pelo britador primário. A superfície da frente do equipamento, onde está a correia transportadora do material britado, apresentou potências sonoras mais baixas que as demais superfícies em decorrência de seu maior afastamento do motor e do britador. Os níveis de potência sonora por bandas de terço de oitava por superfície e total, bem como os índices de controle das medições, podem ser visualizados na tabela A8. Os níveis de potência sonora globais, por bandas de oitava, podem ser visualizados na tabela 7.4. Uma foto da medição de intensidade sonora está apresentada na figura 7.4.

Tabela 7.4 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador secundário móvel cônico Sandvik QH330

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	73,7	>3
63 Hz	82,8	3
125 Hz	96,9	3
250 Hz	107,2	2
500 Hz	112,2	1,5
1 kHz	115,3	1,5
2 kHz	115,8	1,5
4 kHz	110,6	1,5
8 kHz	102,3	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	120,3	1,5

Figura 7.4 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador secundário cônico móvel Sandvik QH330 para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.1.5 Conjunto móvel de peneiras vibratórias QE341

Conjunto móvel de peneiras vibratórias (*mobile scalping screen*) Sandvik modelo QE341 possui capacidade de produção de até 350 t/h, dois decks de peneiras vibratórias e motor diesel de 100 HP (SANDVIK, 2014).

Para determinação de sua potência sonora, foram feitas medições de intensidade sonora sobre uma superfície hipotética paralelepipedal com largura de 15 m, profundidade de 4 m e altura de 3,7 m. As superfícies laterais (esquerda e direita) foram subdivididas em 3 segmentos iguais e a superfície do topo em 6 segmentos iguais, conforme apresentado na tabela A9.

O ruído emitido por este equipamento apresenta poucas variações durante sua operação, uma vez que sua alimentação é razoavelmente constante. Assim, são observadas poucas variações nos índices de controle de ocorrências na tabela A10, onde também estão apresentados os níveis de potência sonora por bandas de terço de oitava. Os níveis de potência sonora globais, por bandas de oitava, podem ser visualizados na tabela 7.5. Uma foto da medição de intensidade sonora está apresentada na figura 7.5.

Tabela 7.5 – Potência sonora em bandas de oitava e total do conjunto móvel de peneiras vibratórias QE341

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	65,1	>3
63 Hz	81,8	3
125 Hz	93,3	3
250 Hz	104,7	2
500 Hz	111,0	1,5
1 kHz	115,5	1,5
2 kHz	117,6	1,5
4 kHz	115,1	1,5
8 kHz	104,7	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	121,6	1,5

Figura 7.5 – Medição de intensidade sonora na lateral do conjunto móvel de peneiras vibratórias QE341 para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.1.6 Conjunto móvel de peneiras vibratórias QA450

O conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450 possui capacidade de produção de até 600 t/h. O conjunto é equipado com um motor diesel de 100 hp e possui dois conjuntos com 3 decks de peneira (SANDVIK, 2011b).

Para determinação de sua potência sonora, foram feitas medições de intensidade sonora sobre uma superfície hipotética paralelepipedal com largura de 24 m, profundidade de 7,6 m e altura de 5,5 m. As superfícies laterais (esquerda e direita) foram subdivididas em 8 segmentos iguais (2 linhas e 4 colunas, formando 8 retângulos de 6 m de largura por 2,75 m de altura), as superfícies da frente e do fundo em dois segmentos cada, e a superfície do topo em 8 segmentos (4 linhas e duas colunas, formando 8 retângulos de 6 m de largura por 1,9 m de altura), conforme apresentado na tabela A11.

De forma semelhante ao conjunto móvel de peneiras vibratórias QE341, o ruído emitido por este equipamento (QA450) apresenta poucas variações durante sua operação, uma vez que sua alimentação é razoavelmente constante. Dessa forma, são observadas poucas variações nos índices de controle de ocorrências na tabela A12, onde também estão apresentados os níveis de potência sonora por bandas de terço de oitava. Os níveis de potência sonora globais, por bandas de oitava, podem ser visualizados na tabela 7.6. Uma foto da medição de intensidade sonora está apresentada na figura 7.6.

Tabela 7.6 – Potência sonora em bandas de oitava e total do conjunto móvel de peneiras vibratórias QA450

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	61,6	>3
63 Hz	76,5	3
125 Hz	87,1	3
250 Hz	93,1	2
500 Hz	95,2	1,5
1 kHz	99,0	1,5
2 kHz	102,9	1,5
4 kHz	102,3	1,5
8 kHz	97,4	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	107,5	1,5

Figura 7.6 – Medição de intensidade sonora do conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450 para determinação de sua potência sonora

Fonte: O autor

7.1.1.7 Escavadora Komatsu PC 300LC série 6

Por se tratar de um equipamento móvel, não é possível efetuar varreduras com uma sonda medidora de intensidade sonora sobre uma superfície hipotética que envolve a fonte (no caso, uma escavadora), conforme preconizado pela norma ISO 9614-2. Toda vez que escavadora se move, a superfície hipotética envolvente também precisa ser modificada. Dessa forma, determinou-se a potência sonora a partir de medições de pressão sonora.

As medições de pressão sonora das escavadoras Komatsu PC 300LC (a pedreira 1 possui duas em operação) foram realizadas durante a operação de amontoamento de rocha desmontada (para posterior carregamento em caminhões basculantes).

Selecionou-se pontos situados a distâncias entre 7 e 10 metros do eixo de rotação das escavadoras, de forma a proporcionar segurança e reduzir a interferência da variação na posição do motor em relação ao microfone.

As superfícies hipotéticas envolvendo as escavadoras sobre as quais foram efetuadas as medições de pressão sonora foram hemisferas, cujos raios adotados estão na tabela 7.7.

Embora o deslocamento da pá sobre a rocha desmontada também produza pressão sonora, predominou aquele produzido pelo motor das escavadoras. Essa fonte de pressão sonora adicional, entretanto, não foi considerada como interferência de ruído de fundo, uma vez que é inerente à operação das escavadoras.

Dada a proximidade do sonômetro às escavadoras e a ausência de superfícies refletoras (excetuando-se o terreno rochoso irregular), pode-se desprezar as correções K_1 e K_2 das equações 3.13 e 3.14.

Os resultados das medições de pressão sonora podem ser visualizados na tabela 7.7 e as potências sonoras na tabela 7.8.

Na figura 7.7 é possível observar uma das posições de medição de pressão sonora e as condições gerais do equipamento em operação.

Tabela 7.7 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelas escavadoras Komatsu PC 300LC

Ponto	- - -	1	2	3	4
Distância	m	7	7	8	10
Área	m ²	307,9	307,9	402,1	628,3
Duração	min	05:46	01:52	03:54	04:37
L _{eq}	dB(A)	84,3	82,1	83,0	80,7
L _{máximo}	dB(A)	96,7	92,5	93,1	92,0
L _{mínimo}	dB(A)	75,5	68,5	70,4	70,6
L ₁₀	dB(A)	87,2	86,0	87,0	83,5
L ₉₀	dB(A)	78,6	72,6	72,3	73,8
σ	dB(A)	3,5	5,0	5,3	3,8
16 Hz	dB(A)	15,5	16,6	13,2	18,5
31,5 Hz	dB(A)	37,0	35,9	35,3	35,8
63 Hz	dB(A)	53,9	56,9	57,2	54,0
125 Hz	dB(A)	72,0	70,6	71,3	71,1
250 Hz	dB(A)	76,1	73,3	73,0	69,3
500 Hz	dB(A)	78,8	77,1	77,8	74,7
1k Hz	dB(A)	79,2	76,8	77,6	75,9
2k Hz	dB(A)	76,8	74,4	75,6	73,8
4k Hz	dB(A)	71,4	68,7	71,0	69,2
8k Hz	dB(A)	62,8	58,5	61,7	60,8
16k Hz	dB(A)	50,1	45,9	48,5	46,4

Tabela 7.8 – Potência sonora das escavadoras Komatsu PC 300LC

Ponto	1	2	3	4	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	109,3	107,1	109,1	108,9	108,7
16 Hz	40,4	41,5	39,2	46,5	42,9
31,5 Hz	61,9	60,8	61,3	63,8	62,1
63 Hz	78,8	81,8	83,2	82,0	81,7
125 Hz	96,9	95,5	97,3	99,1	97,4
250 Hz	101,0	98,2	99,0	97,3	99,1
500 Hz	103,7	102,0	103,8	102,7	103,1
1k Hz	104,1	101,7	103,6	103,9	103,4
2k Hz	101,7	99,3	101,6	101,8	101,2
4k Hz	96,3	93,6	97,0	97,2	96,2
8k Hz	87,7	83,4	87,7	88,8	87,3
16k Hz	75,0	70,8	74,5	74,4	74,0
σ	- - -	- - -	- - -	- - -	1,0

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora da série 6 da Escavadora Komatsu PC 300LC é de 107,8 dB(A), valor bastante próximo ao obtido na Tabela 7.8 (KOMATSU, 2002).

Figura 7.7 – Medição de pressão sonora a 7 metros de escavadora Komatsu PC 300LC para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.1.8 Escavadora Case CX220

Trata-se de uma escavadora de menor porte (pá com 1,3 m³ de capacidade volumétrica), empregada, principalmente, para alimentação do britador primário móvel com material presente em pilhas de minério trazidas por caminhões basculantes, e também para carregá-los com material britado.

As medições de pressão sonora foram realizadas da mesma forma que para as escavadoras Komatsu PC 300LC. Entretanto, durante as medições de pressão sonora para a escavadora Case CX220 o ruído da movimentação de rocha por sua caçamba era desprezível, por tratar-se de material de granulometria muito fina (emitindo pouco ruído de atrito com o material), além das instalações de britagem estarem momentaneamente desligadas.

O ruído de fundo, desta maneira, pode ser considerado desprezível por encontrar-se mais de 10 dB(A) abaixo do ruído proveniente da escavadora.

Os resultados das medições de pressão sonora estão apresentados na tabela 7.9 e as potências sonoras na tabela 7.10. Na figura 7.8 é possível observar uma das posições de medição de pressão sonora e as condições gerais do equipamento em operação.

Tabela 7.9 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora Case CX220

Ponto	- - -	1	2
Distância	m	7,0	7,0
Área	m ²	307,9	307,9
Duração	min	05:01	01:12
L _{eq}	dB(A)	81,8	81,3
L _{máximo}	dB(A)	84,7	84,0
L _{mínimo}	dB(A)	77,4	79,2
L ₁₀	dB(A)	83,4	82,7
L ₉₀	dB(A)	79,2	79,8
σ	dB(A)	1,6	1,1
16 Hz	dB(A)	13,9	11,7
31,5 Hz	dB(A)	31,9	37,0
63 Hz	dB(A)	48,8	49,5
125 Hz	dB(A)	64,0	65,7
250 Hz	dB(A)	71,4	71,4
500 Hz	dB(A)	76,5	75,5
1k Hz	dB(A)	75,3	74,7
2k Hz	dB(A)	75,0	74,6
4k Hz	dB(A)	72,7	72,5
8k Hz	dB(A)	68,4	68,0
16k Hz	dB(A)	58,0	57,6

Tabela 7.10 – Potência sonora da escavadora Case CX220

Ponto	1	2	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	106,7	106,2	106,5
16 Hz	38,8	36,6	37,8
31,5 Hz	56,8	61,9	60,0
63 Hz	73,7	74,4	74,0
125 Hz	88,9	90,6	89,8
250 Hz	96,3	96,3	96,3
500 Hz	101,4	100,4	100,9
1k Hz	100,2	99,6	99,9
2k Hz	99,9	99,5	99,7
4k Hz	97,6	97,4	97,5
8k Hz	93,3	92,9	93,1
16k Hz	82,9	82,5	82,7
σ	- - -	- - -	0,4

Figura 7.8 – Medição de pressão sonora a 7 metros da escavadora Case CX220 para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.1.9 Escavadora Caterpillar CAT 320D

Escavadora de pequeno porte (pá com 1,2 m³ de capacidade volumétrica), similar à escavadora Case CX220.

A aplicação desta escavadora na Pedreira 1 é semelhante à da Case CX220, e o local de medição da pressão sonora foi o mesmo. Entretanto, para minimizar a influência do ruído de fundo proveniente das instalações de britagem, conforme ilustra a figura 7.9, a medição foi realizada a 4,5 metros de distância do motor do equipamento.

Os resultados das medições de pressão sonora podem ser visualizados na tabela 7.11 e as potências sonoras na tabela 7.12.

Tabela 7.11 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora CAT 320D

Ponto	- - -	1
Distância	m	4,5
Área	m ²	127,2
Duração	min	01:20
L _{eq}	dB(A)	80,7
L _{máximo}	dB(A)	81,5
L _{mínimo}	dB(A)	80
L ₁₀	dB(A)	80,9
L ₉₀	dB(A)	80,2
σ	dB(A)	0,2
16 Hz	dB(A)	28,5
31,5 Hz	dB(A)	35,4
63 Hz	dB(A)	56,6
125 Hz	dB(A)	63,5
250 Hz	dB(A)	72,0
500 Hz	dB(A)	74,5
1k Hz	dB(A)	75,2
2k Hz	dB(A)	74,2
4k Hz	dB(A)	70,0
8k Hz	dB(A)	60,5
16k Hz	dB(A)	44,7

Tabela 7.12 – Potência sonora da escavadora CAT 320D.

Ponto	L _w médio
Unidade	dB(A)
Total	101,7
16 Hz	49,5
31,5 Hz	56,4
63 Hz	77,6
125 Hz	84,5
250 Hz	93,0
500 Hz	95,5
1k Hz	96,2
2k Hz	95,2
4k Hz	91,0
8k Hz	81,5
16k Hz	65,7
σ	- - -

Figura 7.9 – Medição de pressão sonora a 4,5 metros da escavadora Caterpillar CAT 320D para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.1.10 Pá-carregadora CAT 938H

As medições de pressão sonora da pá-carregadora Caterpillar CAT 938H foram efetuadas no pátio de expedição da pedreira, durante a operação de carregamento de um caminhão basculante, atividade mais corriqueira desempenhada por esse equipamento.

A pá carregadora se desloca em direção à pilha de minério e, após carregar sua pá, manobra para despejar o material na caçamba de um caminhão basculante, passando novamente a manobrar para carregar sua pá na pilha de minério.

Idealmente as medições de pressão sonora da pá-carregadora seriam realizadas a grandes distâncias deste, de forma que as variações na posição da pá-carregadora em relação ao sonômetro sejam pouco representativas frente à distância média, o que significaria medições a mais de 20 metros de distância. Entretanto, sendo esse equipamento relativamente pouco ruidoso, nessa distância o próprio ruído do motor do caminhão basculante a ser carregado, além de outras fontes de ruído diversas presentes na pedreira, passariam a representar interferências significativas.

Assim, para manter uma distância aproximadamente constante do sonômetro à pá-carregadora, o sonômetro foi deslocado conforme o equipamento se movimentava. As distâncias eram medidas pelo próprio operador do sonômetro por meio de uma trena eletrônica a laser, que procurou mantê-la sempre constante. A

posição relativa do sonômetro em relação à pá-carregadora pode ser visualizada na figura 7.10.

A superfície hipotética envolvendo a pá-carregadora sobre a qual foram efetuadas as medições de pressão sonora foi uma hemisfera com raio de 4 metros.

Os resultados das medições de pressão sonora podem ser visualizados na tabela 7.13 e as potências sonoras na tabela 7.14.

Tabela 7.13 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora CAT 938H

Medição		1	2	3
Distância	m	4,0	4,0	4,0
Área	m ²	100,5	100,5	100,5
Duração	min	3:00	3:02	2:22
L _{eq}	dB(A)	88,0	87,3	88,1
L _{máximo}	dB(A)	97,7	99,0	99,9
L _{mínimo}	dB(A)	73,8	73,3	74,6
L ₁₀	dB(A)	93,7	92,5	92,3
L ₉₀	dB(A)	75,9	76,0	76,1
σ	dB(A)	6,5	6,2	6,2
16 Hz	dB(A)	16,9	18,9	9,9
31,5 Hz	dB(A)	43,8	42,5	51,4
63 Hz	dB(A)	65,5	64,9	67,5
125 Hz	dB(A)	65,6	65,9	65,8
250 Hz	dB(A)	63,5	63,6	64,2
500 Hz	dB(A)	71,2	71,2	70,5
1k Hz	dB(A)	86,9	86,2	87,1
2k Hz	dB(A)	77,8	77,2	78,7
4k Hz	dB(A)	68,6	66,9	67,2
8k Hz	dB(A)	65,8	61,0	59,0
16k Hz	dB(A)	53,9	51,2	47,7

Tabela 7.14 – Potência sonora da pá-carregadora CAT 938H

Medição	1	2	3	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	107,7	107,0	107,9	107,6
16 Hz	36,9	38,9	29,9	36,6
31,5 Hz	63,8	62,5	71,4	67,8
63 Hz	85,5	84,9	87,5	86,1
125 Hz	85,6	85,9	85,8	85,8
250 Hz	83,5	83,6	84,2	83,8
500 Hz	91,2	91,2	90,5	91,0
1k Hz	106,9	106,2	107,1	106,8
2k Hz	97,8	97,2	98,7	98,0
4k Hz	88,6	86,9	87,2	87,7
8k Hz	85,8	81,0	79,0	82,9
16k Hz	73,9	71,2	67,7	71,6
σ	---	---	---	0,5

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora da pá-carregadora CAT 938H é de 107 dB(A), valor bastante próximo ao obtido na Tabela 7.14 (CATERPILLAR, 2012).

Figura 7.10 – Medição de pressão sonora a 4 metros da pá-carregadora CAT 938H para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.1.11 Caminhões basculantes Ford Cargo 6332

A Pedreira 1 utiliza para o transporte interno de minério, das frentes de lavra para as instalações de britagem e para o pátio de carregamento, caminhões basculantes Ford Cargo 6332.

Para determinar a potência sonora dos caminhões carregados se deslocando nas vias de acesso interno, foram realizadas medições de pressão sonora a um metro de distância do motor. Essas medições foram realizadas andando (rápido) ao lado do motor na mesma velocidade do caminhão, mantendo a distância de medição constante com o auxílio de uma trena, conforme ilustra a figura 7.11.

Sendo a principal fonte de ruído o motor, considerou-se como superfície de medição uma esfera concêntrica com o motor com raio de 2 metros (1 metro do sonômetro até a carcaça do motor e outro até o centro do motor).

Os resultados das medições de pressão sonora estão apresentados na tabela 7.15 e as potências sonoras na tabela 7.16.

Tabela 7.15 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Ford Cargo 6332

Medição		1	2	3	4	5
Distância	m	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3
Duração	min	01:09	01:49	00:14	02:04	05:30
L _{eq}	dB(A)	86,0	86,3	84,6	85,6	87,7
L _{máximo}	dB(A)	89,6	90,7	87,0	88,2	91,6
L _{mínimo}	dB(A)	81,8	79,9	82,5	77,7	75,0
L ₁₀	dB(A)	88,6	87,5	86,8	87,2	90,5
L ₉₀	dB(A)	82,6	84,1	82,5	79,1	83,1
σ	dB(A)	2,0	1,4	1,2	3,2	3,1
16 Hz	dB(A)	11,5	14,0	18,8	17,0	12,9
31,5 Hz	dB(A)	45,1	39,9	42,4	44,2	50,3
63 Hz	dB(A)	54,9	61,5	57,8	65,6	61,9
125 Hz	dB(A)	64,4	65,3	62,3	62,3	65,9
250 Hz	dB(A)	71,0	71,6	67,4	69,4	74,2
500 Hz	dB(A)	79,7	79,4	77,3	78,6	81,2
1k Hz	dB(A)	81,3	81,8	79,8	81,3	83,1
2k Hz	dB(A)	80,2	80,7	78,6	80,3	82,1
4k Hz	dB(A)	76,1	76,5	74,1	74,6	77,6
8k Hz	dB(A)	70,1	69,5	75,0	65,3	69,7
16k Hz	dB(A)	59,5	60,7	69,5	51,6	57,3

Tabela 7.16 – Potência sonora dos caminhões basculantes Ford Cargo 6332

Medição	1	2	3	4	5	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	103,0	103,3	101,7	102,6	104,8	103,2
16 Hz	28,5	31,0	35,8	34,0	29,9	32,7
31,5 Hz	62,1	56,9	59,4	61,2	67,3	62,9
63 Hz	71,9	78,5	74,8	82,6	78,9	78,8
125 Hz	81,4	82,3	79,3	79,3	82,9	81,3
250 Hz	88,0	88,6	84,4	86,4	91,2	88,3
500 Hz	96,7	96,4	94,3	95,6	98,2	96,4
1k Hz	98,3	98,8	96,8	98,3	100,1	98,6
2k Hz	97,2	97,7	95,6	97,3	99,1	97,5
4k Hz	93,1	93,5	91,1	91,6	94,6	93,0
8k Hz	87,1	86,5	92,0	82,3	86,7	88,0
16k Hz	76,5	77,7	86,5	68,6	74,3	80,7
σ	---	---	---	---	---	1,1

Figura 7.11 – Medição de pressão sonora a 1 metro do motor do caminhão basculante Ford Cargo 6332 transportando minério para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.1.12 Usina de asfalto CIBER UACF 17p1

A pedreira 1 possui também uma pequena usina de asfalto, modelo CIBER UACF 17p1. Este equipamento opera apenas algumas horas por dia, em alguns dias da semana em função da demanda.

Idealmente a potência sonora desse equipamento seria determinada por meio de medições de intensidade sonora. Entretanto a usina de asfalto estava parada para manutenção durante o período em que a sonda medidora de intensidade estava disponível para medição. Dessa forma, determinou-se a potência sonora desse equipamento por meio de medições de pressão sonora.

Os pontos de amostragem se situaram ao redor do equipamento, a 1,5 metros do solo. Para os pontos 1 a 7 foi considerada uma superfície hipotética paralelepipedal a 14,5 metros de distância da fonte, resultando numa superfície com 59 m de largura, 31,8 m de profundidade e altura de 19 m. Para os pontos 8 e 9, medidos a 5 m da fonte, temos uma superfície paralelepipedal com 40 m de largura, 12,8 m de profundidade e 9,5 m de altura.

Figura 7.12 – Vista da usina de asfalto CIBER UACF 17p1.

Fonte: O autor

7.1.2 Pedreira 2

A pedreira 2 possui os seguintes equipamentos para desempenhar suas atividades de lavra e beneficiamento:

- Perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9;
- Britador primário de mandíbulas FAÇO S6000 (120/90);
- Britador secundário cônico FAÇO S4000;
- Britador terciário cônico FAÇO H6800;
- Peneiras vibratórias;
- Pá-carregadora Komatsu WA320;
- Pá-carregadora Caterpillar 950G;
- Escavadora Liebherr R954C;
- Caminhão basculante Ford Cargo 2628;
- Caminhão basculante Mercedes 2635;
- Caminhão basculante VOLVO 440.

7.1.2.1 Perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9

A potência sonora da perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9 foi determinada seguindo os mesmos procedimentos empregados para a perfuratriz da Pedreira 1.

Foram efetuadas medições de intensidade sobre uma superfície paralelepipedal com 13 m de largura, 7,7 m de profundidade e 4 m de altura, conforme detalha a tabela A13.

A tabela A14 apresenta os níveis de potência individualizados por face em bandas de terço de oitava, bem como os índices de controle de ocorrências das medições.

Os níveis de potência sonora globais da perfuratriz por bandas de oitava estão dispostos na tabela 7.19. Na figura 7.13 é possível visualizar uma foto da medição de intensidade sonora.

Tabela 7.19 – Potência sonora em bandas de oitava e total da perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	63,3	>3
63 Hz	77,8	3
125 Hz	97,3	3
250 Hz	96,8	2
500 Hz	104,3	1,5
1 kHz	109,5	1,5
2 kHz	112,7	1,5
4 kHz	111,3	1,5
8 kHz	107,5	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	117,0	1,5

Figura 7.13 – Medição da intensidade sonora emitida perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9

Fonte: O autor

7.1.2.2 Britador primário FAÇO S6000 (120/90)

O britador primário de mandíbulas FAÇO S6000 (abertura 120/90) é um britador relativamente grande (frente às três pedreiras estudadas).

A parte traseira do britador encontra-se engastada no talude (vide figura 7.14), possibilitando que os caminhões basculem sua carga na calha vibratória que alimenta o britador.

As medições de intensidade para determinação da potência sonora do britador foram efetuadas sobre uma superfície paralelepipedal com 5,1 m de largura, 8 m de profundidade e 5,5 m de altura. Para facilitar a varredura com a sonda medidora, subdividiu-se algumas das faces de medição em superfícies menores, cujas dimensões estão apresentadas na tabela A15. Pelo exposto no parágrafo anterior, não foi medida a intensidade na superfície traseira.

Os níveis de potência sonora globais por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.20. As potências sonoras em bandas de terço de oitava individualizadas por faces, bem como os índices de controle de ocorrências das medições, podem ser visualizadas na tabela A16.

Tabela 7.20 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador primário FAÇO S6000

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	71,1	>3
63 Hz	91,7	3
125 Hz	102,2	3
250 Hz	107,9	2
500 Hz	111,4	1,5
1 kHz	111,7	1,5
2 kHz	108,6	1,5
4 kHz	101,5	1,5
8 kHz	93,7	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	116,6	1,5

Figura 7.14 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador primário FAÇO S6000. Conforme indicado na foto, a pedreira em estudo possui dois britadores primários, entretanto apenas um estava em operação durante as medições.

Fonte: O autor

7.1.2.3 Britador secundário FAÇO S4000

A potência sonora do britador secundário cônico FAÇO S4000 foi determinada a partir de medições de intensidade sonora. As dimensões da superfície paralelepipedal envolvente e dados gerais das medições por face podem ser consultados na tabela A17. As informações por bandas de terço de oitava constam na tabela A18. Os níveis de potência sonora global e os totais por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.21, a seguir. Na figura 7.15 é possível visualizar a medição de intensidade sonora do equipamento.

Tabela 7.21 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador secundário FAÇO S4000

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	66,0	>3
63 Hz	81,7	3
125 Hz	105,1	3
250 Hz	110,4	2
500 Hz	113,9	1,5
1 kHz	116,0	1,5
2 kHz	112,1	1,5
4 kHz	106,1	1,5
8 kHz	97,1	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	120,0	1,5

Figura 7.15 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador secundário FAÇO S4000.

Fonte: O autor

7.1.2.4 Britador terciário FAÇO H6800

Seguindo os procedimentos do britador secundário, a potência sonora do britador terciário cônico FAÇO H6800 foi também determinada a partir de medições de intensidade sonora. As dimensões da superfície paralelepipedal envolvente e dados gerais das medições por face podem ser consultados na tabela A19. As informações por bandas de terço de oitava constam na tabela A20. Os níveis de potência sonora global e os totais por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.22 a seguir. Na figura 7.16 é possível visualizar que foi instalada uma barreira acústica móvel no lado direito do britador para reduzir sua influência sobre o conforto acústico da comunidade situada no entorno.

Tabela 7.22 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador terciário FAÇO H6800

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	59,5	>3
63 Hz	72,0	3
125 Hz	92,9	3
250 Hz	103,3	2
500 Hz	107,6	1,5
1 kHz	110,8	1,5
2 kHz	111,2	1,5
4 kHz	107,8	1,5
8 kHz	102,2	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	116,1	1,5

Figura 7.16 – Vista do britador cônico terciário FAÇO H6800. Na lateral direita foi implantada uma barreira acústica móvel para minimizar o impacto sobre o conforto acústico da comunidade situada no entorno.

Fonte: O autor

7.1.2.5 Peneiras vibratórias

A pedreira 2 possui uma série de peneiras vibratórias, cujas telas têm 5 m de altura por 2 m de largura. Todas as peneiras analisadas são fabricadas pela Nordberg e têm duplo deck, cujas malhas são:

- Peneira A: 1º deck: 50 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha);
- Peneira B: 1º deck: 55 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha);
- Peneira C: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço);
- Peneira D: 1º deck: 30 mm e 2º deck: 22 mm (telas de borracha);
- Peneira E: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço);

Observa-se que a maior parte das telas são de borracha, minimizando a emissão de ruído. Apenas as telas com malhas mais finas (4,5 mm) são de aço. Dada a proximidade das peneiras vibratórias entre si, a determinação individualizada de suas potências *in loco* é possível apenas por meio da intensidade sonora (não sendo aplicável o método de determinação por pressão sonora). As dimensões das

superfícies paralelepipedais envolventes e dados gerais das medições por face para as peneiras A a E podem ser consultados nas tabelas A21, A23, A25, A27 e A29, respectivamente. As informações por bandas de terço de oitava constam nas tabelas A22, A24, A26, A28 e A30. Os níveis de potência sonora global e os totais por bandas de oitava estão apresentados nas tabelas 7.23 a 7.27, a seguir. Na figura 7.17 visualizam-se algumas das diversas peneiras vibratórias em operação na pedreira 2.

Tabela 7.23 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória A

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	64,7	>3
63 Hz	77,4	3
125 Hz	86,8	3
250 Hz	93,0	2
500 Hz	98,3	1,5
1 kHz	104,4	1,5
2 kHz	109,9	1,5
4 kHz	108,1	1,5
8 kHz	100,1	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	113,2	1,5

Tabela 7.24 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória B

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	59,4	>3
63 Hz	76,3	3
125 Hz	90,2	3
250 Hz	98,9	2
500 Hz	104,7	1,5
1 kHz	110,4	1,5
2 kHz	112,8	1,5
4 kHz	109,1	1,5
8 kHz	98,9	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	116,3	1,5

Tabela 7.25 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória C

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	65,4	>3
63 Hz	78,6	3
125 Hz	83,8	3
250 Hz	92,4	2
500 Hz	95,6	1,5
1 kHz	94,1	1,5
2 kHz	94,4	1,5
4 kHz	93,6	1,5
8 kHz	96,5	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	102,5	1,5

Tabela 7.26 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória D

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	55,3	>3
63 Hz	69,6	3
125 Hz	85,7	3
250 Hz	92,9	2
500 Hz	97,4	1,5
1 kHz	105,1	1,5
2 kHz	109,3	1,5
4 kHz	107,0	1,5
8 kHz	101,8	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	112,8	1,5

Tabela 7.27 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória E

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	62,1	>3
63 Hz	63,8	3
125 Hz	82,9	3
250 Hz	88,3	2
500 Hz	94,1	1,5
1 kHz	96,6	1,5
2 kHz	98,0	1,5
4 kHz	99,3	1,5
8 kHz	101,5	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	105,7	1,5

Figura 7.17 – Vista geral de um dos conjuntos de peneiras vibratórias.

Fonte: O autor

7.1.2.6 Pá-carregadora Komatsu WA320

A intensa movimentação da pá-carregadora no desempenho de suas funções impossibilita a realização de medições de intensidade para a determinação de sua potência sonora. Dessa forma, adotando procedimentos de medição análogos

àqueles utilizados nos equipamentos móveis da pedreira 1, determinou-se a potência sonora da pá-carregadora Komatsu WA320 a partir de medições de pressão sonora.

A posição relativa do sonômetro em relação à pá-carregadora pode ser visualizada na figura 7.18.

Os resultados das medições de pressão sonora podem ser visualizados na tabela 7.28 e as potências sonoras na tabela 7.29.

Tabela 7.28 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora Komatsu WA320

Medição		1	2	3
Distância	m	4,0	4,0	4,0
Área	m ²	100,5	100,5	100,5
Duração	min	04:39	03:11	05:29
L _{eq}	dB(A)	84,5	85,6	84,5
L _{máximo}	dB(A)	92,4	94,8	92,4
L _{mínimo}	dB(A)	68,0	77,7	75,8
L ₁₀	dB(A)	87,2	89,3	86,9
L ₉₀	dB(A)	77,5	80,0	79,8
σ	dB(A)	4,0	3,5	2,7
16 Hz	dB(A)	24,9	24,8	21,9
31,5 Hz	dB(A)	40,1	44,8	46,2
63 Hz	dB(A)	56,8	61,0	60,1
125 Hz	dB(A)	65,4	67,5	67,8
250 Hz	dB(A)	74,6	74,0	74,3
500 Hz	dB(A)	79,1	77,1	79,0
1k Hz	dB(A)	77,7	81,0	78,8
2k Hz	dB(A)	79,3	80,3	79,0
4k Hz	dB(A)	72,9	76,0	69,7
8k Hz	dB(A)	68,9	68,2	64,3
16k Hz	dB(A)	58,1	53,8	55,9

Tabela 7.29 – Potência sonora da pá-carregadora Komatsu WA320

Medição	1	2	3	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	104,5	105,6	104,5	104,9
16 Hz	44,9	44,8	41,9	44,1
31,5 Hz	60,1	64,8	66,2	64,4
63 Hz	76,8	81,0	80,1	79,7
125 Hz	85,4	87,5	87,8	87,0
250 Hz	94,6	94,0	94,3	94,3
500 Hz	99,1	97,1	99,0	98,5
1k Hz	97,7	101,0	98,8	99,4
2k Hz	99,3	100,3	99,0	99,6
4k Hz	92,9	96,0	89,7	93,6
8k Hz	88,9	88,2	84,3	87,6
16k Hz	78,1	73,8	75,9	76,3
σ	---	---	---	0,6

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora A-ponderada da pá-carregadora Komatsu WA320-5 é de 105 dB(A), valor bastante próximo ao obtido na Tabela 7.29 (KOMATSU, 2004).

Figura 7.18 – Medição de pressão sonora a 4 metros da pá-carregadora Komatsu WA320 para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.2.7 Pá-carregadora Caterpillar 950G

Outro modelo de pá-carregadora em operação na pedreira 2 é a Caterpillar 950G. Seguindo os mesmos procedimentos de medição do item anterior, apresenta-se na tabela 7.30 as pressões sonoras medidas e na tabela 7.31 as potências sonoras calculadas.

Tabela 7.30 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora CAT 950G

Medição		1	2
Distância	m	4,0	4,0
Área	m ²	100,5	100,5
Duração	min	03:37	04:57
L _{eq}	dB(A)	86,8	87,1
L _{máximo}	dB(A)	98,4	100,3
L _{mínimo}	dB(A)	78,3	77,9
L ₁₀	dB(A)	88,5	88,3
L ₉₀	dB(A)	80,8	79,8
σ	dB(A)	3,3	4,0
16 Hz	dB(A)	29,0	29,1
31,5 Hz	dB(A)	46,3	48,5
63 Hz	dB(A)	67,3	66,9
125 Hz	dB(A)	74,0	73,1
250 Hz	dB(A)	77,1	76,4
500 Hz	dB(A)	79,2	78,7
1k Hz	dB(A)	82,8	83,7
2k Hz	dB(A)	78,4	78,0
4k Hz	dB(A)	76,4	76,5
8k Hz	dB(A)	72,7	73,5
16k Hz	dB(A)	63,3	63,9

Tabela 7.31 – Potência sonora da pá-carregadora CAT 950G

Medição	1	2	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	106,8	107,1	107,0
16 Hz	49,0	49,1	49,1
31,5 Hz	66,3	68,5	67,6
63 Hz	87,3	86,9	87,1
125 Hz	94,0	93,1	93,6
250 Hz	97,1	96,4	96,8
500 Hz	99,2	98,7	99,0
1k Hz	102,8	103,7	103,3
2k Hz	98,4	98,0	98,2
4k Hz	96,4	96,5	96,5
8k Hz	92,7	93,5	93,1
16k Hz	83,3	83,9	83,6
σ	- - -	- - -	0,2

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora A-ponderada da pá-carregadora Caterpillar 950G é de 107 dB(A), mesmo valor obtido na Tabela 7.31 (CATERPILLAR, 2017).

7.1.2.8 Escavadora LIEBHERR R954C

A potência sonora da escavadora LIEBHERR R954C foi determinada seguindo procedimentos análogos àqueles adotados para as escavadoras da Pedreira 1.

Os níveis de pressão sonora medidos podem ser visualizados na tabela 7.32 e as potências sonoras na tabela 7.33. Na figura 7.19 pode-se visualizar a escavadora LIEBHERR R954C em operação.

Tabela 7.32 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora LIEBHERR R954C

Medição		1	2
Distância	m	5,0	4,0
Área	m ²	157,1	100,5
Duração	min	02:52	01:36
L _{eq}	dB(A)	83,2	85,6
L _{máximo}	dB(A)	93,7	95,0
L _{mínimo}	dB(A)	72,4	71,1
L ₁₀	dB(A)	87,0	88,9
L ₉₀	dB(A)	74,1	73,3
σ	dB(A)	4,7	5,8
16 Hz	dB(A)	14,0	15,4
31,5 Hz	dB(A)	34,8	36,1
63 Hz	dB(A)	52,3	55,2
125 Hz	dB(A)	62,1	66,7
250 Hz	dB(A)	71,3	75,2
500 Hz	dB(A)	77,7	80,6
1k Hz	dB(A)	79,5	81,6
2k Hz	dB(A)	75,3	77,8
4k Hz	dB(A)	67,9	70,5
8k Hz	dB(A)	58,7	59,9
16k Hz	dB(A)	44,9	46,1

Tabela 7.33 – Potência sonora da escavadora LIEBHERR R954C

Medição	1	2	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	105,2	105,6	105,4
16 Hz	36,0	35,4	35,7
31,5 Hz	56,8	56,1	56,5
63 Hz	74,3	75,2	74,8
125 Hz	84,1	86,7	85,6
250 Hz	93,3	95,2	94,4
500 Hz	99,7	100,6	100,2
1k Hz	101,5	101,6	101,5
2k Hz	97,3	97,8	97,6
4k Hz	89,9	90,5	90,2
8k Hz	80,7	79,9	80,3
16k Hz	66,9	66,1	66,5
σ	- - -	- - -	0,3

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora A-ponderada da pá-carregadora Caterpillar 950G é de 105 dB(A), próximo ao valor obtido na tabela 7.33 (LIEBHERR, 2011).

Figura 7.19 – Escavadora LIEBHERR R954C carregando um caminhão na frente de lavra.

Fonte: O autor

7.1.2.9 Caminhão basculante Ford Cargo 2628

A Pedreira 2 efetua o transporte de minério das frentes de lavra para o britador primário por meio de três modelos de caminhões: Ford Cargo 2628, Mercedes 2635 e VOLVO 440. Neste item estão apresentadas as potências sonoras dos caminhões Ford Cargo 2628.

Seguindo os mesmos procedimentos adotadas para determinar a potência sonora dos caminhões na Pedreira 1, foram realizadas medições de pressão sonora a um metro de distância do motor. Essas medições foram realizadas andando (rápido) ao lado do motor na mesma velocidade do caminhão (conforme ilustrado na figura 7.20), mantendo a distância de medição constante com o auxílio de uma trena. Foram consideradas apenas situações em os caminhões estavam carregados, se deslocando horizontalmente ou subindo as vias de acesso interno, desconsiderando medições com os caminhões descarregados descendo para a cava.

Sendo a principal fonte de ruído o motor, considerou-se como superfície de medição uma esfera concêntrica com o motor com raio de 2 metros (1 metro do sonômetro até a carcaça do motor e outro até o centro do motor).

Os resultados das medições de pressão sonora estão apresentados na tabela 7.34 e as potências sonoras na tabela 7.35.

Tabela 7.34 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Ford Cargo 2628

Medição		1	2	3	4	5
Distância	m	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3
Duração	min	00:35	00:15	00:30	00:21	00:22
L _{eq}	dB(A)	86,2	88,6	87,9	88,0	87,2
L _{máximo}	dB(A)	89,4	90,9	90,4	90,3	89,0
L _{mínimo}	dB(A)	79,7	85,1	80,8	72,4	79,2
L ₁₀	dB(A)	88,4	90,5	89,8	90,0	88,8
L ₉₀	dB(A)	82,3	85,7	84,9	77,9	82,5
σ	dB(A)	2,3	1,9	1,9	5,2	2,7
16 Hz	dB(A)	30,1	29,1	35,9	24,0	27,1
31,5 Hz	dB(A)	51,5	44,8	49,4	41,0	44,9
63 Hz	dB(A)	75,5	68,2	70,5	69,7	79,7
125 Hz	dB(A)	72,8	74,1	75,3	75,2	79,9
250 Hz	dB(A)	71,2	71,8	72,8	75,1	71,7
500 Hz	dB(A)	76,0	78,3	78,8	78,4	76,1
1k Hz	dB(A)	80,8	82,0	81,9	81,8	80,3
2k Hz	dB(A)	81,2	85,0	83,4	83,3	79,6
4k Hz	dB(A)	76,4	80,4	79,2	79,2	73,8
8k Hz	dB(A)	69,5	74,5	73,5	75,0	67,3
16k Hz	dB(A)	56,4	62,8	61,5	66,5	55,0

Tabela 7.35 – Potência sonora dos caminhões basculantes Ford Cargo 2628

Medição	1	2	3	4	5	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	103,2	105,6	104,9	105,0	104,2	104,7
16 Hz	47,1	46,1	52,9	41,0	44,1	48,1
31,5 Hz	68,5	61,8	66,4	58,0	61,9	64,8
63 Hz	92,5	85,2	87,5	86,7	96,7	92,0
125 Hz	89,8	91,1	92,3	92,2	96,9	93,2
250 Hz	88,2	88,8	89,8	92,1	88,7	89,8
500 Hz	93,0	95,3	95,8	95,4	93,1	94,7
1k Hz	97,8	99,0	98,9	98,8	97,3	98,4
2k Hz	98,2	102,0	100,4	100,3	96,6	99,9
4k Hz	93,4	97,4	96,2	96,2	90,8	95,4
8k Hz	86,5	91,5	90,5	92,0	84,3	89,9
16k Hz	73,4	79,8	78,5	83,5	72,0	79,3
σ	---	---	---	---	---	0,9

Figura 7.20 – Medição de pressão sonora a 1 metro do motor do caminhão basculante Ford Cargo 2628 carregado para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.2.10 Caminhão basculante Mercedes 2635

Para os caminhões Mercedes 2635 foram efetuadas medições de pressão sonora considerando-se duas situações: caminhão carregado deslocando-se horizontalmente e caminhão descarregado descendo pelas vias de acesso na cava em direção à frente de lavra. Conforme dados da tabela 7.36, observam-se níveis de pressão sonora dos caminhões descarregados em declive mais de 10 dB abaixo dos caminhões carregados em deslocamento horizontal.

Na tabela 7.37 estão os níveis de potência considerando apenas a situação de caminhões carregados.

Tabela 7.36 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Mercedes 2635

Medição		1	2	3
Situação		Caminhão carregado deslocando-se horizontalmente	Caminhão descarregado descendo	Caminhão descarregado descendo
Distância	m	2,0	2,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3	50,3
Duração	min	00:42	00:10	00:08
L _{eq}	dB(A)	94,0	78,8	79,1
L _{máximo}	dB(A)	98,0	83,4	83,5
L _{mínimo}	dB(A)	84,2	63,8	64,9
L ₁₀	dB(A)	97,1	83,3	83,4
L ₉₀	dB(A)	85,4	66,8	64,8
σ	dB(A)	4,5	6,7	6,6
16 Hz	dB(A)	31,1	26,7	27,7
31,5 Hz	dB(A)	48,0	42,6	43,4
63 Hz	dB(A)	73,8	54,7	57,7
125 Hz	dB(A)	83,6	59,8	64,9
250 Hz	dB(A)	84,3	65,1	68,9
500 Hz	dB(A)	86,8	72,3	73,0
1k Hz	dB(A)	89,5	74,1	74,5
2k Hz	dB(A)	87,3	72,7	72,0
4k Hz	dB(A)	80,1	68,8	67,5
8k Hz	dB(A)	71,4	63,3	54,8
16k Hz	dB(A)	60,0	53,3	44,8

Tabela 7.37 – Potência sonora dos caminhões basculantes Mercedes 2635

Medição		1	2	3	L _w médio (para o caminhão carregado)
Situação		Caminhão carregado deslocando-se horizontalmente	Caminhão descarregado descendo	Caminhão descarregado descendo	Caminhão carregado deslocando-se horizontalmente*
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	111,0	95,8	96,1	111,0	
16 Hz	48,1	43,7	44,7	48,1	
31,5 Hz	65,0	59,6	60,4	65,0	
63 Hz	90,8	71,7	74,7	90,8	
125 Hz	100,6	76,8	81,9	100,6	
250 Hz	101,3	82,1	85,9	101,3	
500 Hz	103,8	89,3	90,0	103,8	
1k Hz	106,5	91,1	91,5	106,5	
2k Hz	104,3	89,7	89,0	104,3	
4k Hz	97,1	85,8	84,5	97,1	
8k Hz	88,4	80,3	71,8	88,4	
16k Hz	77,0	70,3	61,8	77,0	

7.1.2.11 Caminhão basculante VOLVO 440

A determinação da potência sonora dos caminhões VOLVO 440 foi efetuada seguindo os mesmos procedimentos descritos no item referente ao caminhão Ford Cargo 2628. Os resultados das medições de pressão sonora estão apresentados na tabela 7.38 e as potências sonoras na tabela 7.39.

Tabela 7.38 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes VOLVO 440

Medição		1	2	3	4
Distância	m	2,0	2,0	2,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3	50,3	50,3
Duração	min	00:24	00:28	00:46	00:14
L _{eq}	dB(A)	87,4	88,8	88,0	90,8
L _{máximo}	dB(A)	96,3	90,4	94,3	94,7
L _{mínimo}	dB(A)	73,5	85,9	79,9	73,0
L ₁₀	dB(A)	90,7	90,0	88,9	94,2
L ₉₀	dB(A)	74,2	86,3	84,7	74,0
σ	dB(A)	6,1	1,2	2,2	7,8
16 Hz	dB(A)	22,9	25,3	29,0	26,2
31,5 Hz	dB(A)	41,0	43,4	52,3	41,3
63 Hz	dB(A)	58,8	70,0	70,3	65,0
125 Hz	dB(A)	73,4	73,0	74,6	73,8
250 Hz	dB(A)	77,6	72,6	74,4	80,5
500 Hz	dB(A)	82,7	79,5	80,4	84,3
1k Hz	dB(A)	82,3	84,5	83,8	86,2
2k Hz	dB(A)	79,5	84,3	82,4	84,5
4k Hz	dB(A)	72,8	77,0	75,4	78,3
8k Hz	dB(A)	61,7	68,2	67,3	71,7
16k Hz	dB(A)	49,0	56,9	57,5	60,2

Tabela 7.39 – Potência sonora dos caminhões basculantes VOLVO 440

Medição	1	2	3	4	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	104,4	105,8	105,0	107,8	106,0
16 Hz	39,9	42,3	46,0	43,2	43,4
31,5 Hz	58,0	60,4	69,3	58,3	64,4
63 Hz	75,8	87,0	87,3	82,0	84,9
125 Hz	90,4	90,0	91,6	90,8	90,8
250 Hz	94,6	89,6	91,4	97,5	94,3
500 Hz	99,7	96,5	97,4	101,3	99,1
1k Hz	99,3	101,5	100,8	103,2	101,4
2k Hz	96,5	101,3	99,4	101,5	100,1
4k Hz	89,8	94,0	92,4	95,3	93,3
8k Hz	78,7	85,2	84,3	88,7	85,5
16k Hz	66,0	73,9	74,5	77,2	74,4
σ	- - -	- - -	- - -	- - -	1,5

7.1.3 Pedreira 3

A pedreira 3 possui os seguintes equipamentos para desempenhar suas atividades de lavra e beneficiamento:

- Perfuratriz hidráulica EVERDIGM RHINO RD10;
- Britador primário de mandíbulas FAÇO 120/90;
- Britador secundário de mandíbulas FAÇO 140/40;
- Britador terciário cônico Nordberg HP300;
- Britador quaternário cônico Nordberg HP200;
- Peneiras vibratórias;
- Pá-carregadora Caterpillar 966H;
- Pá-carregadora Liebherr L580;
- Escavadora Liebherr R944C;
- Caminhão basculante Scania P420;
- Caminhão basculante VOLVO VM330;
- Caminhão basculante Ford Cargo 2623.

7.1.3.1 Perfuratriz hidráulica EVERDIGM RHINO RD10

A potência sonora da perfuratriz hidráulica EVERDIGM RHINO RD10 foi determinada seguindo os mesmos procedimentos empregados para a perfuratriz da Pedreira 1.

Foram efetuadas medições de intensidade sobre uma superfície paralelepipedal com 10 m de largura, 4 m de profundidade e 4 m de altura, conforme detalha a tabela A31.

A tabela A32 apresenta os níveis de potência sonora total e individualizadas por face em bandas de terço de oitava, bem como os índices de controle de ocorrências das medições.

Os níveis de potência sonora globais da perfuratriz por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.40. A figura 7.21 apresenta uma foto da medição de intensidade sonora.

Tabela 7.40 – Potência sonora em bandas de oitava e total da perfuratriz EVERDIGM RD10

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	64,8	>3
63 Hz	71,9	3
125 Hz	91,7	3
250 Hz	99,4	2
500 Hz	105,6	1,5
1 kHz	112,4	1,5
2 kHz	117,2	1,5
4 kHz	117,2	1,5
8 kHz	111,6	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	121,5	1,5

Figura 7.21 – Medição da intensidade sonora emitida perfuratriz hidráulica EVERDIGM RHINO RD10.

Fonte: O autor.

7.1.3.2 Britador primário FAÇO 120/90

O britador primário de mandíbulas FAÇO 120/90 é um britador relativamente grande (de porte semelhante ao da Pedreira 2).

A parte traseira do britador encontra-se engastada no talude. Adicionalmente, a lateral direita e metade da lateral esquerda do britador primário encontram-se protegidos por paredes de concreto (vide figura 7.22). Como normalmente (para a maior parte das pedreiras) apenas a parte traseira do britador primário fica engastada em um talude, determinou-se aqui a potência sonora considerando a situação de operação da Pedreira 3 e também a situação na qual operaria normalmente (onde também as superfícies laterais emitem ruído). Nesse caso, como não foi possível acessar a lateral direita, considerou-se que ela possui a mesma potência sonora que a lateral esquerda.

As medições de intensidade para determinação da potência sonora do britador foram efetuadas sobre uma superfície paralelepipedal com 4 m de largura, 8 m de profundidade e 5 m de altura. Para facilitar a varredura com a sonda medidora, subdividiu-se algumas das faces de medição em superfícies menores, cujas dimensões estão apresentadas na tabela A33. Pelo exposto no parágrafo anterior, não foi medida a intensidade na superfície traseira.

Os níveis de potência sonora globais por bandas de oitava para a condição de operação da Pedreira 3 e para a condição normal de operação (considerando todas as faces exceto a de trás) estão apresentados na tabela 7.41. As potências sonoras em bandas de terço de oitava individualizadas por faces, bem como os índices de controle de ocorrências das medições, podem ser visualizadas na tabela A34.

Tabela 7.41 – Potência sonora em bandas de oitava e total do Britador primário FAÇO 120/40

Frequência	Potência sonora na condição de operação da Pedreira 3 – dB(A)	Potência sonora na condição normal de operação – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	73,3	75,6	>3
63 Hz	92,1	94,8	3
125 Hz	100,6	102,7	3
250 Hz	106,7	108,8	2
500 Hz	108,0	109,7	1,5
1 kHz	107,3	108,8	1,5
2 kHz	104,6	105,7	1,5
4 kHz	99,2	100,0	1,5
8 kHz	91,2	91,9	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	113,3	115,0	1,5

Figura 7.22 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais do britador primário FAÇO 120/40. Conforme indicado na foto, a lateral direita e parte da lateral esquerda estão protegidas por muros (além da parte traseira, engastada no talude).

Fonte: O autor

7.1.3.3 Britador secundário FAÇO 120/40

A Pedreira 3 utiliza para a britagem secundária dois britadores de mandíbulas FAÇO 120/40 operando em paralelo. A potência desse conjunto de britadores foi determinado por meio de medições de intensidade sonora. As dimensões da superfície paralelepipedal envolvente e dados gerais das medições por face podem ser consultados na tabela A35. As informações por bandas de terço de oitava constam na tabela A36. Os níveis de potência sonora global e os totais por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.42 a seguir. Na figura 7.23 é possível visualizar a medição de intensidade sonora da dupla de britadores.

Tabela 7.42 – Potência sonora em bandas de oitava e total da dupla de britadores secundários de mandíbulas FAÇO 120/40

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	69,0	>3
63 Hz	87,8	3
125 Hz	104,0	3
250 Hz	111,6	2
500 Hz	116,2	1,5
1 kHz	120,5	1,5
2 kHz	119,7	1,5
4 kHz	112,9	1,5
8 kHz	103,2	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	124,6	1,5

Figura 7.23 – Medição de intensidade sonora em uma das laterais da dupla de britadores de mandíbulas FAÇO 120/40.

Fonte: O autor

7.1.3.4 Britador terciário cônico Nordberg HP300

Seguindo os procedimentos do britador secundário, a potência sonora do britador terciário cônico Nordberg HP300 foi também determinada a partir de medições de intensidade sonora. As dimensões da superfície paralelepipedal envolvente e dados gerais das medições por face podem ser consultados na tabela A37. As informações por bandas de terço de oitava constam na tabela A38. Os níveis de potência sonora global e os totais por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.43, a seguir. Na figura 7.24 é possível visualizar uma foto da medição de intensidade sonora.

Tabela 7.43 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador terciário Nordberg HP300

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	58,2	>3
63 Hz	78,5	3
125 Hz	92,0	3
250 Hz	105,6	2
500 Hz	111,5	1,5
1 kHz	117,9	1,5
2 kHz	116,4	1,5
4 kHz	111,7	1,5
8 kHz	103,0	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	121,4	1,5

Figura 7.24 – Medição de intensidade sonora no britador cônico terciário Nordberg HP300.

Fonte: O autor

7.1.3.5 Britador quaternário cônico Nordberg HP200

Seguindo os procedimentos do britador terciário, a potência sonora do britador quaternário cônico Nordberg HP200 foi também determinada a partir de medições de intensidade sonora. As dimensões da superfície paralelepipedal envolvente e dados gerais das medições por face podem ser consultados na tabela A39. As informações por bandas de terço de oitava constam na tabela A40. Os níveis de potência sonora global e os totais por bandas de oitava estão apresentados na tabela 7.44 a seguir. Na figura 7.25 é possível visualizar uma foto da medição de intensidade sonora.

Tabela 7.44 – Potência sonora em bandas de oitava e total do britador terciário Nordberg HP200

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	46,5	>3
63 Hz	65,9	3
125 Hz	80,7	3
250 Hz	92,6	2
500 Hz	99,7	1,5
1 kHz	102,9	1,5
2 kHz	101,6	1,5
4 kHz	98,4	1,5
8 kHz	96,2	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	107,5	1,5

Figura 7.25 – Medição de intensidade sonora no britador cônico terciário Nordberg HP200.

Fonte: O autor

7.1.3.6 Peneiras vibratórias

A pedreira 3 possui uma série de peneiras vibratórias com as seguintes características:

- Peneira A: 1 deck de 50 mm (tela de borracha de 3 m por 1,5 m);
- Peneira B: OMNI 5020 – 1º deck: 32 mm e 2º deck: 21 mm (telas de borracha);
- Peneira C: OMNI 5020 – 1º deck: 15 mm e 2º deck: 12 mm (telas de borracha), 3º deck: 4,5 mm (tela de metal);
- Peneira D: METSO 5020 – tipo banana com 3 decks, apenas o 1º em uso com tela de metal de 12 mm.

Observa-se que a maior parte das telas são de borracha, minimizando a emissão de ruído. Apenas as telas com malhas mais finas (4,5 mm) são de aço. As dimensões das superfícies paralelepipedais envolventes e dados gerais das medições por face para as peneiras A a D podem ser consultados nas tabelas A41, A43, A47 e A51, respectivamente.

As peneiras B, C e D estão situadas no alto de torres e, conforme exemplificado na figura 7.26, possuem calhas metálicas para coleta do passante pela peneira. Embora a emissão de ruído proveniente da queda de material sobre as chapas metálicas das calhas seja inferior ao ruído gerado pelas peneiras vibratórias,

determinou-se também suas potências. Os dados gerais das medições das calhas metálicas das peneiras B, C e D estão apresentados nas tabelas A45, A49 e A53.

As informações por bandas de terço de oitava constam nas tabelas A42, A44, A48 e A52 e, para as calhas metálicas, nas tabelas A46, A50 e A54. Os níveis de potência sonora global e os totais por bandas de oitava estão apresentados nas tabelas 7.45 a 7.48, a seguir.

Tabela 7.45 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória A

Frequência	Potência sonora – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	50,5	>3
63 Hz	72,8	3
125 Hz	86,4	3
250 Hz	95,3	2
500 Hz	101,4	1,5
1 kHz	105,9	1,5
2 kHz	105,6	1,5
4 kHz	101,7	1,5
8 kHz	93,0	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	110,4	1,5

Tabela 7.46 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória B

Frequência	Potência sonora da peneira vibratória – dB(A)	Potência sonora da calha – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	64,4	55,7	>3
63 Hz	71,0	68,0	3
125 Hz	80,8	77,0	3
250 Hz	87,9	84,4	2
500 Hz	94,0	89,0	1,5
1 kHz	101,2	92,3	1,5
2 kHz	103,5	96,1	1,5
4 kHz	103,2	94,5	1,5
8 kHz	98,3	90,0	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	108,2	100,3	1,5

Tabela 7.47 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória C

Frequência	Potência sonora da peneira vibratória – dB(A)	Potência sonora da calha – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	71,1	59,8	>3
63 Hz	73,1	60,1	3
125 Hz	82,9	72,9	3
250 Hz	90,0	83,7	2
500 Hz	92,3	83,6	1,5
1 kHz	93,8	84,3	1,5
2 kHz	94,1	84,9	1,5
4 kHz	91,4	87,2	1,5
8 kHz	89,6	82,6	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	100,1	92,5	1,5

Tabela 7.48 – Potência sonora em bandas de oitava e total da peneira vibratória D

Frequência	Potência sonora da peneira vibratória – dB(A)	Potência sonora da calha – dB(A)	Desvio padrão (σ)
31,5 Hz	61,0	57,2	>3
63 Hz	72,9	67,5	3
125 Hz	81,6	76,1	3
250 Hz	91,6	83,5	2
500 Hz	98,4	90,4	1,5
1 kHz	101,1	92,1	1,5
2 kHz	99,1	92,6	1,5
4 kHz	97,9	92,7	1,5
8 kHz	95,5	89,2	>2,5
Total (63 Hz a 8 kHz)	105,9	98,8	1,5

Figura 7.26 – Medição de intensidade em uma das peneiras vibratórias. É possível visualizar a calha metálica situada na parte inferior da peneira, cuja potência sonora também foi determinada.

Fonte: O autor

7.1.3.7 Pá-carregadora CATERPILLAR 966H

Determinou-se a potência sonora da pá-carregadora CAT 966H a partir de medições de pressão sonora, seguindo procedimentos análogos àqueles utilizados nos equipamentos móveis das pedreiras 1 e 2.

A posição relativa do sonômetro em relação à pá-carregadora pode ser visualizada na figura 7.27.

Os resultados das medições de pressão sonora podem ser visualizados na tabela 7.49 e as potências sonoras na tabela 7.50.

Tabela 7.49 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora CAT 966H

Medição		1	2	3	3
Distância	m	2,0	2,0	3,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3	113,1	25,1
Duração	min	01:00	01:00	00:24	00:21
L _{eq}	dB(A)	92,2	90,5	87,4	86,2
L _{máximo}	dB(A)	102,0	98,0	91,4	93,4
L _{mínimo}	dB(A)	78,9	80,9	81,8	73,5
L ₁₀	dB(A)	94,2	94,5	90,1	91,8
L ₉₀	dB(A)	85,5	83,6	83,2	73,9
σ	dB(A)	3,9	3,7	2,6	6,9
16 Hz	dB(A)	18,0	16,7	15,1	14,6
31,5 Hz	dB(A)	42,1	45,7	41,3	34,4
63 Hz	dB(A)	67,8	68,0	71,2	52,7
125 Hz	dB(A)	78,1	75,8	74,5	67,0
250 Hz	dB(A)	82,8	82,5	77,0	74,0
500 Hz	dB(A)	86,4	84,5	77,2	81,6
1k Hz	dB(A)	87,9	85,5	84,8	81,8
2k Hz	dB(A)	84,6	83,3	78,5	78,6
4k Hz	dB(A)	77,0	77,5	70,9	71,1
8k Hz	dB(A)	67,2	68,3	61,8	63,5
16k Hz	dB(A)	56,9	59,7	55,5	52,8

Tabela 7.50 – Potência sonora da pá-carregadora CAT 966H

Medição	1	2	3	4	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	109,2	107,5	107,9	100,2	107,3
16 Hz	35,0	33,7	35,6	28,6	33,9
31,5 Hz	59,1	62,7	61,8	48,4	60,3
63 Hz	84,8	85,0	91,7	66,7	87,2
125 Hz	95,1	92,8	95,0	81,0	93,3
250 Hz	99,8	99,5	97,5	88,0	97,9
500 Hz	103,4	101,5	97,7	95,6	100,6
1k Hz	104,9	102,5	105,3	95,8	103,4
2k Hz	101,6	100,3	99,0	92,6	99,4
4k Hz	94,0	94,5	91,4	85,1	92,5
8k Hz	84,2	85,3	82,3	77,5	83,2
16k Hz	73,9	76,7	76,0	66,8	74,6
σ	- - -	- - -	- - -	- - -	4,1

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora A-ponderada da pá-carregadora CAT 966H é de 107 dB(A), valor bastante próximo ao obtido na tabela 7.50 (CATERPILLAR, 2014).

Figura 7.27 – Medição de pressão da pá-carregadora CAT 966H para determinação de sua potência sonora.

Fonte: O autor

7.1.3.8 Pá-carregadora LIEBHERR L580

Outro modelo de pá-carregadora em operação na pedreira 3 é a LIEBHERR L580. Seguindo os mesmos procedimentos de medição do item anterior, apresenta-se na tabela 7.51 as pressões sonoras medidas e na tabela 7.52 as potências sonoras calculadas.

Tabela 7.51 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela pá-carregadora LIEBHERR L580

Medição		1	2
Distância	m	6,0	8,0
Área	m ²	226,2	402,1
Duração	min	01:19	01:47
L _{eq}	dB(A)	82,5	79,6
L _{máximo}	dB(A)	88,8	86,4
L _{mínimo}	dB(A)	75,7	70,2
L ₁₀	dB(A)	85,4	82,3
L ₉₀	dB(A)	78,7	74,6
σ	dB(A)	2,5	3,3
16 Hz	dB(A)	30,0	25,9
31,5 Hz	dB(A)	54,0	33,2
63 Hz	dB(A)	63,3	53,9
125 Hz	dB(A)	64,5	59,2
250 Hz	dB(A)	71,7	68,1
500 Hz	dB(A)	76,9	74,1
1k Hz	dB(A)	78,3	75,8
2k Hz	dB(A)	74,5	71,6
4k Hz	dB(A)	69,1	66,2
8k Hz	dB(A)	59,8	59,0
16k Hz	dB(A)	49,2	50,5

Tabela 7.52 – Potência sonora da pá-carregadora LIEBHERR L580

Medição	1	2	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	106,0	105,6	105,8
16 Hz	53,5	51,9	52,8
31,5 Hz	77,5	59,2	74,6
63 Hz	86,8	79,9	84,6
125 Hz	88,0	85,2	86,9
250 Hz	95,2	94,1	94,7
500 Hz	100,4	100,1	100,3
1k Hz	101,8	101,8	101,8
2k Hz	98,0	97,6	97,8
4k Hz	92,6	92,2	92,4
8k Hz	83,3	85,0	84,3
16k Hz	72,7	76,5	75,0
σ	- - -	- - -	0,3

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora A-ponderada da pá-carregadora LIEBHERR L580 é de 106 dB(A), valor bastante próximo daquele obtido na tabela 7.52 (LIEBHERR, 2015).

7.1.3.9 Escavadora LIEBHERR R944C

A potência sonora da escavadora LIEBHERR R944C foi determinada seguindo-se procedimentos análogos àqueles adotados para as escavadoras da Pedreira 1.

Os níveis de pressão sonora medidos podem ser visualizados na tabela 7.53 e as potência sonoras na tabela 7.54. Na figura 7.28 pode-se visualizar a escavadora LIEBHERR R954C em operação).

Tabela 7.53 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pela escavadora LIEBHERR R944C

Medição		1	2	3
Distância	m	5,0	4,0	4,0
Área	m ²	157,1	100,5	100,5
Duração	min	04:17	01:00	00:48
L _{eq}	dB(A)	85,6	90,5	90,3
L _{máximo}	dB(A)	99,9	100,2	102,8
L _{mínimo}	dB(A)	77,8	81,3	76,7
L ₁₀	dB(A)	87,7	94,0	92,8
L ₉₀	dB(A)	78,6	82,6	78,5
σ	dB(A)	4,0	4,1	5,9
16 Hz	dB(A)	17,8	16,7	20,6
31,5 Hz	dB(A)	44,0	43,5	48,4
63 Hz	dB(A)	59,8	69,4	64,3
125 Hz	dB(A)	69,1	74,0	75,0
250 Hz	dB(A)	74,6	78,3	76,6
500 Hz	dB(A)	80,2	82,3	84,2
1k Hz	dB(A)	81,1	87,7	86,5
2k Hz	dB(A)	79,0	83,0	84,0
4k Hz	dB(A)	71,7	74,9	77,0
8k Hz	dB(A)	63,8	64,3	67,2
16k Hz	dB(A)	51,8	54,5	52,9

Tabela 7.54 – Potência sonora da escavadora LIEBHERR R944C

Medição	1	2	3	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	107,6	110,5	110,3	109,7
16 Hz	39,8	36,7	40,6	39,3
31,5 Hz	66,0	63,5	68,4	66,4
63 Hz	81,8	89,4	84,3	86,4
125 Hz	91,1	94,0	95,0	93,7
250 Hz	96,6	98,3	96,6	97,2
500 Hz	102,2	102,3	104,2	103,0
1k Hz	103,1	107,7	106,5	106,2
2k Hz	101,0	103,0	104,0	102,8
4k Hz	93,7	94,9	97,0	95,4
8k Hz	85,8	84,3	87,2	85,9
16k Hz	73,8	74,5	72,9	73,8
σ	- - -	- - -	- - -	1,7

No catálogo disponível no site da fabricante, a potência sonora A-ponderada da pá-carregadora LIEBHERR R944C é de 105 dB(A). Os níveis de potência sonora mais elevados apresentados na tabela 7.54 se devem à forte influência do ruído proveniente da pá movimentando a rocha desmontada (LIEBHERR, 2013).

Figura 7.28 – Escavadora LIEBHERR R944C carregando um caminhão na frente de lavra.

Fonte: O autor

7.1.3.10 Caminhão basculante Scania P420

Na Pedreira 3 efetua o transporte de minério das frentes de lavra para o britador primário por meio de três modelos de caminhões: Scania P420, VOLVO VM330 e Ford Cargo 2623. Neste item estão apresentadas as potências sonoras dos caminhões Scania P420.

Seguindo os mesmos procedimentos adotadas para determinar a potência sonora dos caminhões na Pedreira 1, foram realizadas medições de pressão sonora a um metro de distância do motor.

Os resultados das medições de pressão sonora estão apresentados na tabela 7.55 e as potências sonoras na tabela 7.56.

Tabela 7.55 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Scania P420

Medição		1	2	3	4
Distância	m	2,0	2,0	2,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3	50,3	50,3
Duração	min	00:32	00:27	00:55	00:50
L _{eq}	dB(A)	91,5	91,6	89,2	92,2
L _{máximo}	dB(A)	92,9	92,9	90,8	95,6
L _{mínimo}	dB(A)	84,1	89,9	84,2	83,2
L ₁₀	dB(A)	92,2	92,7	90,2	95,1
L ₉₀	dB(A)	90,3	90,2	85,5	89,8
σ	dB(A)	1,6	0,8	1,7	2,5
16 Hz	dB(A)	25,3	17,7	19,8	18,9
31,5 Hz	dB(A)	42,8	40,9	42,9	40,6
63 Hz	dB(A)	71,5	61,7	72,8	68,0
125 Hz	dB(A)	83,8	79,3	78,2	80,2
250 Hz	dB(A)	79,1	84,6	76,0	84,6
500 Hz	dB(A)	84,2	85,6	81,3	86,4
1k Hz	dB(A)	86,8	86,1	84,8	86,8
2k Hz	dB(A)	85,4	84,5	83,6	84,9
4k Hz	dB(A)	79,1	78,8	76,3	79,0
8k Hz	dB(A)	68,1	68,6	65,1	69,5
16k Hz	dB(A)	59,0	59,8	55,4	61,0

Tabela 7.56 – Potência sonora dos caminhões basculantes Scania P420

Medição	1	2	3	4	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	108,5	108,6	106,2	109,2	108,3
16 Hz	42,3	34,7	36,8	35,9	38,6
31,5 Hz	59,8	57,9	59,9	57,6	58,9
63 Hz	88,5	78,7	89,8	85,0	87,1
125 Hz	100,8	96,3	95,2	97,2	97,9
250 Hz	96,1	101,6	93,0	101,6	99,4
500 Hz	101,2	102,6	98,3	103,4	101,8
1k Hz	103,8	103,1	101,8	103,8	103,2
2k Hz	102,4	101,5	100,6	101,9	101,7
4k Hz	96,1	95,8	93,3	96,0	95,5
8k Hz	85,1	85,6	82,1	86,5	85,1
16k Hz	76,0	76,8	72,4	78,0	76,2
σ	---	---	---	---	1,3

7.1.3.11 Caminhão basculante VOLVO VM330

A determinação da potência sonora dos caminhões VOLVO VM330 foi efetuada seguindo os mesmos procedimentos descritos no item anterior. Os resultados das medições de pressão sonora estão apresentados na tabela 7.57 e as potências sonoras na tabela 7.58.

Tabela 7.57 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes VOLVO VM330

Medição		1	2
Distância	m	2,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3
Duração	min	00:42	00:16
L _{eq}	dB(A)	85,9	84,5
L _{máximo}	dB(A)	89,0	88,8
L _{mínimo}	dB(A)	81,4	69,8
L ₁₀	dB(A)	87,7	87,7
L ₉₀	dB(A)	83,1	70,7
σ	dB(A)	1,9	6,5
16 Hz	dB(A)	23,5	23,0
31,5 Hz	dB(A)	41,2	44,9
63 Hz	dB(A)	62,0	63,3
125 Hz	dB(A)	70,7	67,9
250 Hz	dB(A)	71,6	72,9
500 Hz	dB(A)	76,6	75,1
1k Hz	dB(A)	81,8	80,7
2k Hz	dB(A)	80,9	79,0
4k Hz	dB(A)	75,4	72,3
8k Hz	dB(A)	69,1	63,0
16k Hz	dB(A)	58,9	50,3

Tabela 7.58 – Potência sonora dos caminhões basculantes VOLVO VM330

Medição	1	2	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	102,9	101,5	102,3
16 Hz	40,5	40,0	40,3
31,5 Hz	58,2	61,9	60,4
63 Hz	79,0	80,3	79,7
125 Hz	87,7	84,9	86,5
250 Hz	88,6	89,9	89,3
500 Hz	93,6	92,1	92,9
1k Hz	98,8	97,7	98,3
2k Hz	97,9	96,0	97,1
4k Hz	92,4	89,3	91,1
8k Hz	86,1	80,0	84,1
16k Hz	75,9	67,3	73,5
σ	- - -	- - -	1,0

7.1.3.12 Caminhão basculante Ford Cargo 2623

Também a determinação da potência sonora dos caminhões Ford Cargo 2623 foi efetuada seguindo os mesmos procedimentos descritos no item anterior. Os resultados das medições de pressão sonora estão apresentados na tabela 7.59 e as potências sonoras na tabela 7.60.

Tabela 7.59 – Resultados das medições de pressão sonora emitidos pelos caminhões basculantes Ford Cargo 2623

Medição		1	2	3
Distância	m	2,0	2,0	2,0
Área	m ²	50,3	50,3	50,3
Duração	min	00:51	00:29	00:12
L _{eq}	dB(A)	90,3	92,1	91,4
L _{máximo}	dB(A)	93,9	93,7	93,0
L _{mínimo}	dB(A)	84,2	89,2	83,8
L ₁₀	dB(A)	93,3	93,3	92,9
L ₉₀	dB(A)	85,3	90,8	85,7
σ	dB(A)	2,5	1,0	2,8
16 Hz	dB(A)	25,0	29,0	33,1
31,5 Hz	dB(A)	51,9	41,7	46,6
63 Hz	dB(A)	74,1	69,5	60,2
125 Hz	dB(A)	71,3	79,0	79,1
250 Hz	dB(A)	75,7	81,9	79,6
500 Hz	dB(A)	81,0	85,1	86,9
1k Hz	dB(A)	85,9	87,6	86,0
2k Hz	dB(A)	85,3	85,9	83,4
4k Hz	dB(A)	80,5	80,1	77,2
8k Hz	dB(A)	72,4	70,3	68,4
16k Hz	dB(A)	59,7	60,0	58,1

Tabela 7.60 – Potência sonora dos caminhões basculantes Ford Cargo 2623

Medição	1	2	3	L _w médio
Unidade	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Total	107,3	109,1	108,4	108,3
16 Hz	42,0	46,0	50,1	47,2
31,5 Hz	68,9	58,7	63,6	65,6
63 Hz	91,1	86,5	77,2	87,8
125 Hz	88,3	96,0	96,1	94,7
250 Hz	92,7	98,9	96,6	96,8
500 Hz	98,0	102,1	103,9	102,0
1k Hz	102,9	104,6	103,0	103,6
2k Hz	102,3	102,9	100,4	102,0
4k Hz	97,5	97,1	94,2	96,5
8k Hz	89,4	87,3	85,4	87,7
16k Hz	76,7	77,0	75,1	76,4
σ	---	---	---	0,9

7.1.4 Resumo das potências sonoras

As tabelas 7.61, 7.62 e 7.63 apresentam, de forma resumida, uma base de dados de potências sonoras por bandas de oitava e totais para os equipamentos que operam em pedreiras de pequeno, médio e grande porte (respectivamente as pedreiras 1, 3 e 2).

Tabela 7.61 – Quadro resumo das potências sonoras em bandas de oitavas e totais dos equipamentos que operam na pedreira 1

Equipamentos	Frequência - dB(A)									Total
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	dB(A)
Perfuratriz pneumática Wolf MD5000h	83,8	93,1	95,7	96,4	103,5	112,1	115,8	116,2	111,4	120,5
Compressor Atlas Copco XAS 420	57,0	79,9	86,7	87,4	89,8	93,0	90,6	81,0	74,7	97,3
Britador primário móvel, de mandíbulas, Sandvik QJ 340	69,9	93,5	103,5	109,3	110,8	111,4	109,0	103,8	95,9	116,8
Britador secundário móvel, cônico, Sandvik QH330	73,7	82,8	96,9	107,2	112,2	115,3	115,8	110,6	102,3	120,3
Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QE341	65,1	81,8	93,3	104,7	111,0	115,5	117,6	115,1	104,7	121,6
Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450	61,6	76,5	87,1	93,1	95,2	99,0	102,9	102,3	97,4	107,5
Escavadora Komatsu PC 300LC série 6	62,1	81,7	97,4	99,1	103,1	103,4	101,2	96,2	87,3	108,7
Escavadora Case CX220	60,0	74,0	89,8	96,3	100,9	99,9	99,7	97,5	93,1	106,5
Escavadora Caterpillar CAT 320D	56,4	77,6	84,5	93,0	95,5	96,2	95,2	91,0	81,5	101,7
Pá-carregadora Caterpillar CAT 938H	67,8	86,1	85,8	83,8	91,0	106,8	98,0	87,7	82,9	107,6
Caminhões basculantes Ford Cargo 6332	62,9	78,8	81,3	88,3	96,4	98,6	97,5	93,0	88,0	103,2
Usina de asfalto CIBER UACF 17p1	80,0	91,5	108,1	115,9	119,9	113,0	111,1	108,5	104,3	122,7

Tabela 7.62 – Quadro resumo das potências sonoras em bandas de oitavas e totais dos equipamentos que operam na pedreira 2

Equipamentos	Frequência - dB(A)									Total
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	dB(A)
Perfuratriz hidráulica Atlas Copco ROC D9	63,3	77,8	97,3	96,8	104,3	109,5	112,7	111,3	107,5	117,0
Britador primário de mandíbulas FAÇO S6000 (120/90)	71,1	91,7	102,2	107,9	111,4	111,7	108,6	101,5	93,7	116,6
Britador secundário cônico FAÇO S4000	66,0	81,7	105,1	110,4	113,9	116,0	112,1	106,1	97,1	120,0
Britador terciário cônico FAÇO H6800	59,5	72,0	92,9	103,3	107,6	110,8	111,2	107,8	102,2	116,1
Peneiras vibratórias (valores médios)	62,7	75,6	86,7	94,5	99,8	105,5	108,8	106,2	100,1	112,5
Pá-carregadora Komatsu WA320	64,4	79,7	87,0	94,3	98,5	99,4	99,6	93,6	87,6	104,9
Pá-carregadora Caterpillar 950G	67,6	87,1	93,6	96,8	99,0	103,3	98,2	96,5	93,1	107,0
Escavadora Liebherr 954	56,5	74,8	85,6	94,4	100,2	101,5	97,6	90,2	80,3	105,4
Caminhão basculante Ford Cargo 2628	64,8	92,0	93,2	89,8	94,7	98,4	99,9	95,4	89,9	104,6
Caminhão basculante Mercedes 2635	65,0	90,8	100,6	101,3	103,8	106,5	104,3	97,1	88,4	111,1
Caminhão basculante VOLVO 440	64,4	84,9	90,8	94,3	99,1	101,4	100,1	93,3	85,5	105,9

Tabela 7.63 – Quadro resumo das potências sonoras em bandas de oitavas e totais dos equipamentos que operam na pedreira 3

Equipamentos	Frequência - dB(A)									Total
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	dB(A)
Perfuratriz hidráulica EVERDIGM RHINO RD10	64,8	71,9	91,7	99,4	105,6	112,4	117,2	117,2	111,6	121,5
Britador primário de mandíbulas FAÇO 120/90	75,6	94,8	102,7	108,8	109,7	108,8	105,7	100,0	91,9	115,0
Britador secundário de mandíbulas FAÇO 140/40	66,0	84,8	101,0	108,6	113,2	117,5	116,7	109,9	100,2	121,6
Britador terciário cônico Nordberg HP300	58,2	78,5	92,0	105,6	111,5	117,9	116,4	111,7	103,0	121,5
Britador quaternário cônico Nordberg HP200	46,5	65,9	80,7	92,6	99,7	102,9	101,6	98,4	96,2	107,5
Peneiras vibratórias (valores médios)	66,3	72,5	83,5	92,1	97,9	102,3	102,4	100,3	95,2	107,5
Pá-carregadora Caterpillar 966H	60,3	87,2	93,3	97,9	100,6	103,4	99,4	92,5	83,2	107,2
Pá-carregadora Liebherr L580	74,6	84,6	86,9	94,7	100,3	101,8	97,8	92,4	84,3	105,8
Escavadora Liebherr R944C	66,4	86,4	93,7	97,2	103,0	106,2	102,8	95,4	85,9	109,7
Caminhão basculante Scania P420	58,9	87,1	97,9	99,4	101,8	103,2	101,7	95,5	85,1	108,5
Caminhão basculante VOLVO VM330	60,4	79,7	86,5	89,3	92,9	98,3	97,1	91,1	84,1	102,2
Caminhão basculante Ford Cargo 2623	65,6	87,8	94,7	96,8	102,0	103,6	102,0	96,5	87,7	108,3

7.2 MONITORAMENTO AMBIENTAL

Atendendo às condicionantes estabelecidas na Licença de Operação, bem como para comprovar o adequado desempenho ambiental, torna-se necessário um monitoramento regular dos níveis de pressão sonora nos limites da área da pedreira. Vale esclarecer que, para o estado de São Paulo, conforme definido pelo Decreto Estadual nº 55.149/2009¹, empreendimentos que comprovem adequado desempenho ambiental podem obter extensão nos prazos de renovação de suas licenças de operação.

Na Pedreira 1 o monitoramento dos níveis de ruído é realizado desde o ano de 2008. Mais precisamente, no período compreendido entre os anos de 2008 e 2011, o monitoramento de ruído tinha periodicidade semestral. Quando as atividades de lavra se intensificaram, tornaram-se frequentes as reclamações dos moradores quanto ao ruído à CETESB, que exigiu uma intensificação na periodicidade do monitoramento ambiental e a tomada de medidas para a redução dos níveis de ruído.

Buscando minimizar o incômodo à comunidade em decorrência do ruído gerado nas atividades de lavra e de beneficiamento, a pedreira 1 opera apenas durante o período diurno, das 7:00 às 17:00 horas de segunda a sexta-feira e em alguns sábados das 7:00 às 16:00.

Na figura 7.29 é possível visualizar uma imagem de satélite da pedreira 1 e seu entorno e a localização dos pontos de monitoramento de pressão sonora. Alguns situam-se em locais mais expostos ao ruído proveniente dos equipamentos da pedreira enquanto outros, mais afastados, servem como critério de comparação para o ruído de fundo. Os níveis de ruído equivalente referentes ao período de monitoramento dos últimos dois anos (2015 e 2016), podem ser visualizados no gráfico da figura 7.30.

¹ Artigo 1º, § 5º: Os empreendimentos ou atividades que, por ocasião da renovação de suas Licenças de Operação, comprovarem a eficiência dos seus sistemas de gestão e auditoria ambientais poderão ter o prazo de validade da nova licença ampliado, em até 1/3 (um terço) do prazo anteriormente concedido, a critério da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

Figura 7.29 – Imagem de satélite com os pontos de monitoramento ruído (R1 a R9), da Estação de Monitoramento de Ruído (EMR) e da localização das fontes sonoras (para as fontes móveis é apenas um indicativo da localização aproximada).

Fonte da imagem de Satélite: Google Earth. Data do imageamento: 16/02/2017.

Figura 7.30 – Gráfico comparativo dos níveis de ruído equivalente, medidos mensalmente de janeiro de 2015 a abril de 2016, nos nove pontos de monitoramento situados na comunidade próxima à pedreira.

Fonte: O autor.

Observa-se, por meio do gráfico apresentado na figura 7.30, que os pontos R4, R5 e R7, mais próximos à pedreira, apresentaram os maiores níveis de ruído, por vezes excedendo o limite de 55 dB(A) estabelecido para as áreas residenciais situadas no entorno da pedreira durante o período diurno pela norma ANBT NBR 10.151:2000. Nestes pontos é possível distinguir, entre o ruído urbano, a operação dos equipamentos da pedreira. O ponto R5, em frente à residência mais próxima à pedreira, sofre também influência de uma marcenaria situada nas proximidades.

Nos pontos R3, R8 e R9 raramente é possível ouvir o ruído proveniente de algum equipamento da pedreira, enquanto que nos pontos R1 e R2 ouve-se apenas o ruído urbano.

Adicionalmente, conforme detalhado no item 6.1, foi realizado um teste piloto com uma Estação de Monitoramento de Ruído (EMR) no período compreendido entre os dias 16 de março e 24 maio de 2016 para verificar sua aplicabilidade em pedreiras e vantagens decorrentes de sua utilização. O ponto onde foi instalada a EMR está próximo ao ponto R7, conforme mostra a figura 7.29, onde também estão indicadas as posições momentâneas das principais fontes de ruído. Este ponto está situado no alto da encosta oposta à área de lavra, não havendo barreiras para o ruído dos equipamentos que ali operam, o que justifica a sua escolha. O ponto R5, embora

esteja mais próximo à pedreira, sofre forte influência do ruído proveniente de uma marcenaria que opera nas proximidades, além de muitas residências com cachorros. A foto da figura 31 mostra o local de instalação do equipamento.

Figura 7.31 – Microfone da estação de monitoramento de ruído (centro) e estação meteorológica (à esquerda). Ao fundo é possível visualizar parte das bancadas da área de lavra da pedreira.

Fonte: O autor.

Além do ruído proveniente da operação dos equipamentos da pedreira, há ainda importantes contribuições do ruído urbano, tais como crianças brincando na rua, tráfego local, latidos, entre outros. Adicionalmente, alguns dias no mês operam dois outros empreendimentos – uma fábrica de blocos e uma usina de concreto – situados na divisa nordeste da pedreira.

É importante salientar que uma pedreira é bastante dinâmica, estando os equipamentos continuamente mudando de lugar. No caso da pedreira 1, também os equipamentos de beneficiamento (britadores e peneiras) são móveis.

A maioria dos equipamentos em uma pedreira, entretanto, operam de forma intermitente. A perfuratriz, por exemplo, gera consideravelmente mais ruído quando está efetivamente perfurando a rocha. No entanto durante aproximadamente 30% do tempo a atividade de perfuração é paralisada para troca das hastes ou

reposicionamento da perfuratriz para começar um novo furo. Esses tempos são bastante variáveis, e há outras pedreiras maiores, com perfuratrizes hidráulicas, mais modernas, com trocas automatizadas de hastes e reposicionamento mais rápido. O britador primário, de mandíbulas, gera mais ruído logo que recebe uma carga nova de rocha, reduzindo sua potência sonora quando opera vazio à espera de uma nova carga. A usina de asfalto, que é o equipamento mais próximo à comunidade, opera apenas algumas horas por dia e alguns dias por semana, sob demanda. A tabela 7.64 apresenta o tempo médio de operação por dia dos equipamentos da pedreira em estudo.

Tabela 7.64 – Tempos médios de operação dos equipamentos na pedreira

Equipamento	Tempo médio de operação (h/dia)	Equipamento	Tempo médio de operação (h/dia)
Perfuratriz pneumática	5,1	Britador primário	7,4
Usina de asfalto	2,8	Britador secundário	8,6
Escavadoras	7,2	Peneiras vibratórias 1	8,7
Pás carregadoras	4,0	Peneiras vibratórias 1	6,5

Fonte: Dados fornecidos pela gerência da pedreira 1

Por meio da EMR foi possível observar, conforme gráfico da figura 7.32, que a frequência de dias em que o limite diurno, de 55 dB(A), é excedido assemelha-se à frequência de tardes em que o limite diurno é excedido, quando não há atividades na pedreira. Conclui-se desta forma que a influência do ruído urbano é bastante significativa na comunidade.

Figura 7.32 – Variação dos níveis de ruído durante os períodos diurno vespertino e noturno medidos pela Estação de Monitoramento de Ruído (EMR) e Níveis de Critério de Avaliação estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.151.

Fonte: O autor.

Ainda observando a figura 7.32, não se percebe uma relação entre os níveis de ruído e as velocidades de vento ou índices pluviométricos, salvo nos dias com chuvas consideravelmente intensas. Isso se explica nesse gráfico por se tratarem de médias meteorológicas diárias. Embora nos momentos de incidência de chuvas ou ventos ocorra uma elevação nos níveis de ruído medidos, apenas chuvas muito duradouras ou ventanias persistentes provocam alterações nos níveis de ruído equivalente dos períodos considerados, fato que ocorreu apenas em poucos dias.

7.3 PROGNÓSTICO DA PRESSÃO SONORA

A partir das potências sonoras apresentadas no item 7.1, das informações topográficas obtidas a partir de cartas do IGC e do IBGE, e da análise das imagens de satélite (Google Earth), seguindo a metodologia apresentada em 6.3 foram obtidos os mapas acústicos apresentados nas figuras 7.34 a 7.43.

A figura 7.33 apresenta um modelo digital de elevação. O relevo acidentado tem forte influência sobre a propagação do ruído para as áreas de entorno. É possível observar que na encosta oposta à área de lavra está uma área residencial onde as atividades da pedreira são audíveis.

Figura 7.33 – Visão de modelo digital de elevação o entorno próximo da pedreira em estudo. Curvas de nível da área de lavra provenientes de levantamento topográfico realizado pela pedreira 1. Curvas de nível da região do entorno provenientes do IGC. Imagem de satélite do Google Earth Professional (data do imageamento: 06/02/2015).

Fonte: O autor.

7.3.1 Prognóstico expedito – apenas divergência geométrica

Considerando apenas a divergência geométrica das ondas sonoras, conforme descrito no item 6.3.1, obtém-se um prognóstico dos níveis de ruído bastante conservador, uma vez que uma série de fatores de atenuação, como barreiras, absorção pelo ar, presença de vegetação, reflexões no solo, entre outros, são desprezados.

O prognóstico de ruído considerando apenas a divergência geométrica foi efetuado considerando-se os equipamentos da Pedreira 1 operando nas posições indicadas na figura 7.29. As potências dos equipamentos podem ser consultadas no item 7.1.1.

Figura 7.34 – Prognóstico de ruído para a Pedreira 1 considerando apenas a divergência geométrica.

Fonte: O autor.

Conforme é possível observar na figura 7.34, considerando somente a atenuação por divergência geométrica, mesmo a mais de um quilômetro de distância das fontes sonoras ainda são estimados níveis de ruído elevados. Por outro lado, sua simplicidade possibilita efetuar prognósticos mesmo com poucas informações disponíveis (basta a potência sonora em níveis A-ponderada).

E por ser uma estimativa conservadora, caso sejam estimados níveis de ruído que atendam aos limites para o zoneamento da área em estudo, considerando apenas a divergência geométrica, não são necessários estudo mais aprofundados.

7.3.2 Modelo OCMA

As equações desenvolvidas pela OCMA (*Oil Companies Materials Association*) possibilitam incorporar, de forma relativamente simples, a absorção pelo ar e pela presença de barreiras, sendo esses, além da atenuação por reflexão em solos macios, os principais fatores de atenuação sonora.

As equações da tabela 4.1 estimam a atenuação em decorrência da divergência geométrica combinada com a absorção pela atmosfera. Já as equações da tabela 4.2 permitem estimar a atenuação adicional em decorrência da presença de barreiras. Para utilizar as equações da tabela 4.2, é necessário classificar os receptores em pontos cujo trajeto fonte-receptor possui barreiras significativas ou barreiras pouco significativas.

Essa classificação foi realizada utilizando como critério as linhas de cumeada como linhas que separam receptores com muita ou pouca atenuação. Receptores situados atrás dos morros foram considerados com proteção significativa. A figura 7.35 permite identificar três grupos de receptores considerados: grupo 1 (ausência de barreiras significativas), grupo 2 (presença de barreiras para as fontes da instalação de britagem e ausência de barreiras para as demais fontes) e grupo 3 (presença de barreiras significativas). É possível notar, na figura 7.33, que o fundo da cava, onde está instalada a britagem móvel, possui barreiras no lado oposto à lavra de meia-encosta. Desta forma, para receptores do grupo 2 essa barreira atenua sons provenientes da britagem, porém não é considerada para fontes situadas no alto da cava em meia-encosta.

Foram calculadas as contribuições de cada fonte para todos os receptores por banda de oitava, e os resultados foram somados ao ruído de fundo por meio da

equação 2.7, sendo os resultados finais apresentados, de forma gráfica, na figura 7.36.

Figura 7.35 – Linhas de cumeada separando as áreas 1 (ausência de barreiras significativas), 2 (presença de barreiras para as fontes da instalação de britagem e ausência de barreiras para as demais fontes) e 3 (presença de barreiras significativas)

Fonte: O autor.

Figura 7.36 – Níveis de ruído pela metodologia da OCMA, considerando linhas de cumeeada como divisores aquém dos quais receptores são considerados com muita atenuação em decorrência de barreiras.

Fonte: O autor.

Foi, em seguida, utilizado um método alternativo para determinar, individualmente para cada fonte sonora, quais receptores apresentariam proteção significativa. Conforme explicado no item 6.3.2, utilizou-se para esse fim uma ferramenta para análise de impacto visual (*viewshed analysis*). A figura 7.37 ilustra dois exemplos de receptores com visão direta à perfuratriz, operando no topo da lavra em meia-encosta, e britador primário, operando no fundo da cava. Os pontos com visão direta foram considerados com pouca atenuação, e aqueles fora da área de visão direta, foram considerados protegidos da fonte sonora pela presença de barreiras.

A figura 7.38 apresenta, de forma gráfica, os resultados obtidos.

Figura 7.37 – À esquerda, em roxo, áreas onde os receptores têm visão direta à perfuratriz operando no alto da lavra em meia-encosta. À direita, em verde, áreas onde os receptores têm visão direta ao britador primário operando no fundo da cava.

Fonte: O autor.

Figura 7.38 – Níveis de ruído pela metodologia da OCMA, considerando a linha de visão de cada fonte individualmente como critério para pontos com muita ou pouca atenuação em decorrência de barreiras.

Fonte: O autor

Como esperado, o mapa de ruído da figura 7.34, considerando apenas a atenuação por divergência geométrica, apresenta valores muito superiores àqueles das figuras 7.36 e 7.38, elaborados pelo método OCMA de prognóstico, que por sua vez já considera, embora de forma bastante simplificada, a atenuação por outros fatores, como absorção pelo ar, presença de barreiras, reflexões no solo, entre outros. Esses dois métodos podem ser aplicados em fases iniciais de avaliações ambientais, pois requerem poucas informações sobre o projeto. Representam, entretanto, prognósticos com acurácia consideravelmente inferiores ao algoritmo estabelecido pela norma internacional ISO 9613.

7.3.3 Algoritmo ISO 9613 – PROGNOISE

Conforme descrito do item 6.3.3, foi desenvolvido o *software* PROGNOISE para efetuar o cálculo dos níveis de ruído segundo a norma ISO 9613. Esclarece-se que ele foi concebido especificamente para as condições de propagação sonora encontradas em pedreiras. Ou seja, não são consideradas fontes lineares (como rodovias ou vias urbanas), assim como reflexões em paredes (caso de fontes dentro de recintos). Por outro lado, ele é capaz de calcular a atenuação decorrente do relevo e apresenta a opção de considerar difrações laterais de barreiras acústicas (inclusive naturais). O apêndice B desta tese contém um manual de uso do PROGNOISE.

Para verificar a acurácia dos resultados dos prognósticos fornecidos pelo PROGNOISE, adotou-se como critério os resultados de simulações similares por meio do *software* CadnaA, da empresa Datakustik, que está há muitos anos no mercado e é um dos *softwares* de referência para o prognóstico de ruído ambiental, conforme já apontado anteriormente.

Efetuu-se, em um primeiro momento, uma simulação para 2504 pontos receptores situados em um perfil Leste-Oeste na Pedreira 1, considerando como fonte sonora a perfuratriz Wolf MD5000h. O espaçamento entre os pontos receptores foi de 1 metro (totalizando aproximadamente 2,5 km), percurso no qual há situações de vales, áreas horizontais (como a região costeira situada a leste na figura 7.29) e barreiras íngremes (como os taludes da cava), englobando, dessa forma, todas as situações envolvidas na relação entre barreiras acústicas e absorção por reflexões no solo. A média dos desvios entre os resultados do PROGNOISE e aqueles calculados

pelo CadnaA foi de 0,17 dB(A) com desvio padrão de 0,33 dB(A)¹. Excetua-se um único ponto, exatamente sobre a perfuratriz, no qual o CadnaA calculou, para 0 (zero) metros de distância da fonte um nível de pressão sonora 40 dB(A) acima da potência sonora A-ponderada da fonte.

As figuras 7.39 e 7.40 a seguir apresentam os mapas acústicos resultantes dos prognósticos elaborados a partir do PROGNOISE e do CadnaA, respectivamente, considerando todas as fontes da pedreira 1 em operação. Cabe destacar que considerou-se a localização das fontes conforme indicado na figura 7.29. Em ambos os *softwares*, foi considerada uma umidade relativa do ar de 70%, temperatura de 20°C, uma malha com receptores situados a cada 10 m, e os limites estabelecidos pela norma ISO 9613 de 20 dB para uma barreira e 25 dB para múltiplas barreiras.

Comparando-se as figuras 7.39 e 7.40, é possível observar que os resultados são muito similares. Observam-se pequenas divergências, como a isolinha de 40 dB(A) de ruído situada a sudeste da pedreira, que apresenta-se deslocada em alguns metros em ambas as figuras. Tal fato se deve a pequenas diferenças na forma de interpretar os dados topográficos.

Quanto à acurácia do prognóstico, a norma ISO 9613 estima um desvio de ± 3 dB para distâncias entre 100 m e 1000 m da fonte sonora. Para distâncias entre 0 e 100 m, é estimada uma acurácia ± 1 dB caso a fonte sonora esteja a uma altura entre 5 e 30 m do solo, e ± 3 dB caso a fonte esteja a uma altura de até 5 m do solo.

Cabe considerar que os mapas acústicos apresentados nas figuras 7.39 e 7.40 consideram uma situação em que todos os equipamentos estão operando em sua carga máxima e ao mesmo tempo. Entretanto, dada a intermitência das operações e que muitos equipamentos são utilizados apenas algumas horas por dia (conforme apresenta a tabela 7.64 para a pedreira 1), apresenta-se na figura 7.41 um mapa de ruído considerando o nível de ruído equivalente (calculado conforme a equação 4.2) para um dia típico de operação. Como grande parte dos equipamentos numa pedreira é móvel (na pedreira 1 inclusive a britagem é móvel), apresenta-se na figura 7.42 a distribuição do ruído numa situação em que os equipamentos estão operando numa

¹ A título de comparação, efetuou-se esse mesmo prognóstico para os 2504 pontos receptores utilizando o *software* SoundPLAN, da empresa Braunstein + Berndt GmbH. A média dos desvios entre os resultados do SoundPLAN e os resultados do CadnaA foi de 0,36 dB(A) com desvio padrão de 0,44 dB(A). Observa-se desta forma que os três *softwares* apresentaram resultados bastante próximos entre si, e que os resultados fornecidos pelo PROGNOISE são ligeiramente mais próximos aos resultados do CadnaA que os resultados fornecidos pelo SoudPLAN.

posição alternativa. Na figura 7.43 apresenta-se ainda outra configuração possível dos equipamentos, considerando um dia de operação em que a usina de asfalto está paralisada (o que é bastante comum, uma vez que esse equipamento opera apenas quando há demanda deste produto).

Figura 7.39 – Prognóstico de ruído pelo modelo ISO 9613 utilizando o *software* PROGNOISE

Fonte: O autor.

Figura 7.40 – Prognóstico de ruído pelo modelo ISO 9613 utilizando o *software* CadnaA

Fonte: O autor.

Figura 7.41 – Prognóstico de ruído utilizando o *software* PROGNOISE, considerando o tempo médio diário de operação dos equipamentos da pedreira 1

Fonte: O autor.

Figura 7.42 – Prognóstico de ruído utilizando o *software* PROGNOISE, considerando o tempo médio diário de operação dos equipamentos da pedreira 1 realocado numa posição alternativa ao da figura anterior

Fonte: O autor.

Figura 7.43 – Prognóstico de ruído utilizando o *software* PROGNOISE, considerando o tempo médio diário de operação dos equipamentos da pedreira 1 realocado numa posição alternativa ao das figuras anteriores e com a usina de asfalto desligada

Fonte: O autor.

Os mapas acústicos das figuras 7.39 e 7.40 apresentam os níveis máximos de ruído para os equipamentos operando nas posições indicadas na figura 7.29. No mapa da figura 7.41 os equipamentos estão nessas mesmas posições, porém as isolinhas representam o nível de ruído médio (equivalente) diário, pois considerou-se o período efetivo médio de funcionamento de cada equipamento.

As figuras 7.42 e 7.43 apresentam níveis diários médios de ruído esperados para o entorno da pedreira 1 quando os equipamentos operam em posições distintas daquelas da figura 7.29.

Uma vez que o Nível de Critério de Avaliação estabelecido pela norma ABNT NBR 10.151:2000 para a área em estudo é de 55 dB(A), observa-se que o nível médio diário de ruído excede esse valor nas áreas mais próximas à pedreira nas figuras 7.39 a 7.42. Na figura 7.43, entretanto, onde a usina de asfalto encontra-se desligada, nota-se uma sensível redução nos níveis de pressão sonora, com valores inferiores a 55 dB(A) na maior parte das áreas de entorno (excetuando uma pequena porção do bairro residencial, onde é previsto um nível e ruído médio de 55 dBA). Por esse motivo existe um projeto para enclausuramento da usina de asfalto. Cabe ressaltar que os mapas consideram os níveis de ruído provenientes da pedreira, que se somarão ao ruído de fundo local. O gráfico 7.30 mostra a média do ruído de fundo para alguns pontos do entorno da pedreira 1.

8 CONCLUSÕES

Os empreendimentos minerários voltados à produção de agregados para a construção civil representam uma parcela importante da produção mineral brasileira. Dentre esses empreendimentos, o presente estudo abordou as pedreiras, as quais situam-se, frequentemente, próximos a centros urbanos. Se, por um lado, essa proximidade favorece a redução do custo do transporte e assume um papel importante no preço final da brita, por outro, provoca frequentes conflitos com as comunidades do entorno. Tais conflitos estão associados, muitas vezes, ao ruído decorrente das operações de lavra e beneficiamento desenvolvidas nas pedreiras.

Um adequado prognóstico dos níveis de ruído na fase de licenciamento ambiental dá subsídios, ainda na fase de projeto, para escolha de alternativas locais das instalações de beneficiamento e de formas de desenvolver a lavra, que minimizem o impacto sobre o conforto acústico das comunidades situadas no entorno. Uma ferramenta de prognóstico dos níveis de ruído possibilita também identificar locais onde seja necessário implantar uma barreira acústica ou antever, para uma pedreira que já está em atividade, impactos futuros com a ampliação das áreas de lavra, aquisição de novos equipamentos ou alterações nas instalações de britagem.

Para efetuar qualquer prognóstico de níveis de pressão sonora necessita-se, primordialmente, das potências sonoras das fontes emissoras de ruído. Para tanto, foram selecionadas três pedreiras, de pequeno, médio e grande porte, visando uma maior variabilidade de modelos de máquinas e equipamentos.

A partir de medições de pressão e de intensidade sonoras, foram determinadas as potências sonoras dos principais equipamentos de pedreiras, como britadores, peneiras, perfuratrizes, caminhões e máquinas, resultando em uma base de dados a ser utilizada para prognósticos de ruído. As tabelas 7.61, 7.62 e 7.63 apresentam um resumo das potências sonoras por bandas de oitava e totais.

Para efetuar os cálculos de prognóstico dos níveis de ruído que podem atingir as comunidades situadas no entorno de minerações desenvolveu-se um *software* denominado PROGNOISE, baseado no método de cálculo da norma ISO 9613. O PROGNOISE representa uma alternativa gratuita aos *softwares* comerciais e, em conjunto com a base de dados de potências sonoras das máquinas e equipamentos determinadas neste trabalho, formam uma ferramenta acessível para o prognóstico

do ruído ambiental em pedreiras.

Utilizou-se o PROGNOISE para gerar mapas de ruído para a pedreira 1 considerando diferentes posicionamentos de seus equipamentos e de operação de suas máquinas, sendo possível identificar quais as áreas na comunidade situada no entorno que são mais afetadas pelo ruído decorrente das atividades minerárias. Ressalta-se que os resultados gerados a partir da simulação efetuada com o PROGNOISE foram comparados com os dados obtidos a partir dos *softwares* comerciais CadnaA e SoundPLAN, tendo-se observado valores semelhantes entre os três *softwares*.

Por outro lado, mesmo que prognósticos de ruído possam subsidiar a tomada de ações que minimizem conflitos com a comunidade, é fundamental o monitoramento ambiental para acompanhar a efetividade de medidas mitigadoras e avaliar o impacto das atividades de uma pedreira sobre o conforto acústico da comunidade. Esse monitoramento é normalmente efetuado a partir de campanhas periódicas de medição em pontos sensíveis da comunidade. Foi possível, através de um teste piloto de aplicação de uma Estação de Monitoramento de Ruído, instalada na residência de um morador próximo à Pedreira 1, identificar as vantagens do uso desse equipamento, tais como acompanhamento *on-line* dos níveis de pressão sonora, transmissão por rede móvel (3G) do áudio dos picos de ruído para identificação das fontes sonoras predominantes e registro contínuo dos níveis de ruído para identificar de forma consistente períodos do dia em que há maior perturbação do conforto acústico.

Por fim, o manual do PROGNOISE, disponibilizado no apêndice B desta tese, mostra que seu uso é bastante prático. O *software* PROGNOISE pode ser obtido a partir do envio de uma solicitação para o e-mail prognoise@outlook.com. Dessa forma a ferramenta construída no âmbito dessa pesquisa estará acessível aos profissionais interessados, possibilitando a realização e o aprimoramento de estudos de ruído ambiental, visando o conforto acústico das comunidades localizadas no entorno de pedreiras.

REFERÊNCIAS

ALESHEIKH, A.A.; OMIDVARI, M. Application of GIS in urban traffic noise pollution. **International Journal of Occupational Hygiene**, Tehran, v.2, n.2, p.79-84, 2010.

ANDRADE, S.M.M. **Metodologia para avaliação do impacto ambiental sonoro da construção civil no meio urbano**. 2004. 253 p. Tese (Doutorado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós-graduação e pesquisa de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 4p.

_____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4p.

_____. **NBR 16.313**: Acústica - Terminologia. Rio de Janeiro, 2014. 11p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção**, 2015. Disponível em: < <http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

ATTENBOROUGH, K.; LI, K.M.; HOROSHENKOV, K. **Predicting outdoor sound**. London: Taylor & Francis, 2007.

BACCI, D.C. **Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais**. Tese (Doutorado) – Instituto de geociências e ciências exatas da Universidade Estadual Paulista. Rio Claro (SP), 2000.

BACCI, D.L.C; DINIZ, T.M.R.G.; AQUINO, T.D.V.S. Diagnóstico socioambiental da atividade de mineração na região noroeste do município de São Paulo – Relacionamento com a comunidade e com o poder público. In: **Revista geociências** Vol. 30 n. 2, 2011. Disponível em: < http://www.revistageociencias.com.br/30_2/Art%2006_Bacci.pdf>. Acesso em: 07 de janeiro de 2015.

BALDERRAMA, J.D.A. **Predicción de niveles de ruído generados por industrias**. 2002. 191 p. Monografia – Escuela de ingeniería acústica, Facultad de ciencias de la ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2002.

BIES, D.A.; HANSEN, C.H. **Engineering noise control: Theory and practice**. 4. ed. London: Spon press, 2009.

BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blucher, 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Relatório técnico 30**: Perfil de brita para construção civil. Brasília, 2009. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construcao_civil.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 08 de março de 1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, p. 6408, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>>. Acesso em: 25 de novembro de 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 11 de fevereiro de 1993. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, p. 2037-2040, 1993. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 25 de novembro de 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 230, de 22 de agosto de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, p. 18603-18604, 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=230>>. Acesso em: 25 de novembro de 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 418, de 25 de novembro de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 226, p. 81-84, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=618>>. Acesso em: 25 de novembro de 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 433, de 13 de julho de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, Número 134, p. 69. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=654>>. Acesso em: 25 de novembro de 2012.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-15-Anexo Nº.1**. Redação dada pela Portaria MTE Nº 1.297, de 13 de agosto de 2014. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-15-1.htm>. Acesso em: 04 de maio de 2015.

BRITISH STANDARDS. **BS 5228-1**: Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites - Part 1: Noise. London, 2009.

BRITO, L.A.P.F. **Correções na determinação do nível de potência sonora obtido através da técnica da intensimetria**. 2006. 182 p. Tese (doutorado) – Faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BRÜEL & KJÆR. **Sound intensity software BZ-7233 user manual**. Version 3.4. Nærum, 2010.

_____. **Sound intensity**. Nærum, 1993. [Livreto de informações técnicas].

BULLEN, R. **The Harmonoise noise prediction algorithm**: Validation and use under Australian conditions. In: Proceedings of Acoustics 2012, 2012, Fremantle, Australia. Paper, Fremantle: Australian Acoustical Society. Disponível em:

<https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2012/papers/p43.pdf>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2017.

CATERPILLAR. **Safety operation and maintenance manual: 938H wheel loader and IT38H integrated toolcarrier**, 2012. Disponível em: <<https://safety.cat.com/cda/files/2455737/7/SEBU8079-11%20S.pdf>>. Acesso em: 7 de março de 2015.

_____. **950GC Wheel loader**. 2017. Disponível em: <<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20170303-32752-18684>>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

_____. **966H/972H Carregadeiras**. 2014. Disponível em: <<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10292849>>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

CAVALCANTE, K.V.S.M. **Avaliação acústica ambiental de habitats de passeriformes expostos a ruídos antrópicos em Minas Gerais e São Paulo**. 2009. 124 p. Dissertação (mestrado) – Escola de engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

Comisión Nacional del Medio Ambiente del Chile. **Levantamiento de información de entrada de modelo de predicción de ruido y aplicación em caso piloto**. Santiago, 2008. Disponível em: <http://www.sinia.cl/1292/articles-46174_recurso_1.pdf>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2015.

COWAN, J.P. **Handbook of environmental acoustics**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

CROCKER, M.J. **Handbook of noise and vibration control**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.

DOWN, C.G.; STOCKS, J. **Environmental impact of mining**. 2 ed. London: Applied Science Publishers, 1978.

ECONOMOU, P.; PEPPIN, R.J. **A comparison of ISO 9613-2 and advanced calculation methods: predictions versus experimental results**, Journal of the Canadian acoustics v. 40, n. 3, p. 54-55, 2012, Disponível em: <<http://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/2536>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2015.

FAHY, F.; **Foundations of engineering acoustics**. London: Elsevier Academic Press, 1 ed, 2 reimpressão. 2003.

GERGES. S.N.Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015**, 2015. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3744**: Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure: Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. Genève, 2010a.

_____. **ISO 3745**: Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure: Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms. Genève, 2012.

_____. **ISO 3746**: Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure: Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. Genève, 1995.

_____. **ISO 9613-1**: Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. Genève, 1993a.

_____. **ISO 9613-2**: Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors: General method of calculation. Genève, 1996a.

_____. **ISO 9614-1**: Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity: Measurement at discrete points. Genève, 1993b.

_____. **ISO 9614-2**: Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity: Measurement by scanning. Genève, 1996b.

KANG, Jian. **Urban sound environment**. London and New York: Taylor & Francis, 2007.

KOMATSU. **Product bulletin**: PC 300LC-7 hydraulic excavator, 2002. Disponível em: <http://www.pracodidacol.com/portals/0/pdf/construccion/komatsu/excavadoras/pc300lc_7.pdf>. Acesso em: 7 de março de 2015.

_____. **WA320-5 Radlader**, 2004. Disponível em: <http://www.bs-bauma.com/fileadmin/content_bilder-dateien/01-pdfs/verkaufsprogramm/komatsu/radlader/Komatsu-WA320-5.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

KURAKULA, V. **A GIS-based approach for 3D noise modelling using 3D city models**. 2007. 113 p. Thesis – International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede (Netherlands), 2007.

KURZE, U.J.; ANDERSON, G.S. Outdoor sound propagation. In: BERANEK, L.L.; VÉR, I.L. **Noise and vibration control engineering: principles and applications**, John Wiley and Sons, New Jersey, 2006.

LAWRENCE, A. **Acoustics and the built environment**. London: Elsevier Applied Science, 1989.

LIEBHERR. **Escavadeira hidráulica R944C**. 2013. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/277435/Descric%C3%A7%C3%A3o%20t%C3%A9cnica.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

_____. **Escavadeira hidráulica R954C Litronic**. 2011. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/277476/Descric%C3%A7%C3%A3o%20t%C3%A9cnica.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

_____. **Pá-carregadeira L538 – L580**. 2015. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/236024/Bildprospekt%20L%20538%20-%20L%20580.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

LIMA, A.F.A.; ALBUQUERQUE, H.N. Impactos ambientais e socioeconômicos de uma mineradora e seus efeitos no município de Pocinhos-PB. In: RBIC - **Revista Brasileira de Informações Científicas**, Vol. 3, N. 4, 2012. Disponível em: <http://www.rbic.com.br/artigos%20pdf/vol3_n4/6vol3n4.pdf>. Acesso em: 07 de janeiro de 2015.

LISOT, A. **Modelo em escala reduzida ao ar livre como ferramenta de validação de simulação computacional de barreiras acústicas**. 128 p. Tese (doutorado) – Faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

LORD, H.W.; GATLEY, W.S.; EVENSEN, H.A. **Noise control for engineers**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980.

MALING JR., G.C. Noise. In: ROSSING, T.D. (Ed.). **Springer handbook of acoustics**. New York: Springer Science, 2007. p. 999-1006.

MESTRE E.V.; WOOTEN, D.C. Noise impact analysis. In: RAU, J. G.; WOOTEN, D.C.(Ed.). **Environmental impact analysis handbook**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. Chap. 4, p .4-1 – 4-70.

METZEN, H.A. New techniques in noise prediction. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 17th, 2010, Cairo. **ICSV17**: Paper. Cairo: International Congress on Sound and Vibration, 2010. Disponível em: <http://www.datakustik.com/fileadmin/user_upload/PDF/Papers/Paper_NewTechniquesNoisePrediction.pdf>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2017.

MOHALIK, N.K.; PAL, A.K. Development of a noise model with respect to sound propagation and its application to a mining complex. **Noise & Vibration Worldwide**, v.34, n.2, p.8-16, 2013. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/243750227_Development_of_a_noise_model_with_respect_to_sound_propagation_and_its_application_to_a_mining_complex>. Acesso em: 10 de novembro de 2014.

MOORE, B.C.G. Psychoacoustics. In: ROSSING, T.D. (Ed.). **Springer handbook of acoustics**. New York: Springer Science, 2007. p. 468-472.

NANDA, S.K. **Noise impact assessment and prediction in mines using soft computing techniques**. 2012. 263 p. Tese (Doutorado) - Department of Mining Engineering, National institute of technology Rourkela, Odisha, India, 2012.

PATRÍCIO, M.C.M.; SILVA, M.A.S.; RIBEIRO, V.H.A. Conflitos socioambientais: estudo de caso de uma pedreira na Paraíba. **Polêmica**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 528-544, 2013. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/8021/5864>>. Acesso em: 07 de janeiro de 2015.

PROBST, W. Noise prediction in special cases. In: **INTERNOISE 2008; INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING**, 37th, 2008, Shanghai. Disponível em <http://www.datakustik.com/fileadmin/user_upload/PDF/Papers/Paper_NoisePredictionSpecialCases_Probst_IN08.pdf>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2017.

PROBST, W.; METZEN, H.A.; RABE, T. Noise prediction for industrial facilities. In: **INTERNOISE 2010**, Lisboa. **[Paper]**. Disponível em: <http://www.datakustik.com/fileadmin/user_upload/PDF/Papers/Paper_NoisePredictionIndustrialFacilities_Probst_IN10.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro de 2014.

RIDER, J.P.; BURKS, J.A. A computer model simulating noise behavior in the mining environment. In: SCHEINER, B.J.; STANLEY, D.A.; KARR, C.L.(Eds). **Emerging computer techniques for the minerals industry**. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc, 1993. Part VI, Cap. 36, p. 355-361.

ROSSING, T.D.; FLETCHER, N.H. **Principles of vibration and sound**. 2.ed. New York: Springer-Verlag, 2004.

SANDVIK. **Technical specification sheet**: Sandvik QA450 triple deck doublescreen, 2011. Disponível em: <[http://www2.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003713.nsf/Alldocs/Product s*5CCrushers*and*screens*5CMobile*units*2AQA450/\\$file/BrandedTechspec_QA450%20lr.pdf](http://www2.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003713.nsf/Alldocs/Product%20s*5CCrushers*and*screens*5CMobile*units*2AQA450/$file/BrandedTechspec_QA450%20lr.pdf)>. Acesso em: 7 de março de 2015.

_____. **Technical specification sheet**: Sandvik QJ340 jaw crusher unit, 2011. Disponível em: <http://www.gcrookandsons.co.uk/wp-content/uploads/2012/09/sandvik_QJ340_.pdf>. Acesso em: 7 de março de 2015.

_____. **Technical specification sheet**: Sandvik QH330 cone crusher unit, 201?. Disponível em: <[http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/5100/SAM/Internet/CL01023.NSF/Alldocs/Products*5CCrushers*and*screens*5CMobile*crushers*and*screens*5CCone*crushers*2AQH330/\\$FILE/QH330technical_specification_sheet.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/5100/SAM/Internet/CL01023.NSF/Alldocs/Products*5CCrushers*and*screens*5CMobile*crushers*and*screens*5CCone*crushers*2AQH330/$FILE/QH330technical_specification_sheet.pdf)>. Acesso em: 7 de março de 2015.

_____. **Technical specification**: QE341 scalping screen, 2014. Disponível em: <http://sandvik.blob.core.windows.net/media/Techspec_QE341_2015_rev1.pdf>. Acesso em: 7 de março de 2015.

SANTOS, A.C.M. **Ruído nas atividades mineradoras**. 187 p. 1998. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SCHRAGE, M. W. **Mapa de ruído como ferramenta de diagnóstico do conforto acústico da comunidade**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SMITH, B.J.; PETERS, R.J.; OWEN, S. **Acoustics and noise control**. 2.ed. Harlow: Longman, 2001.

SOUND RESEARCH LABORATORIES Ltd. **Noise control in industry**. 3.ed. London: E.&F.N Spon, 1991.

SYLVESTRE-WILLIAMS, N.; RAMAKRISHNAN, R. Error bounds, uncertainties and confidence limits of outdoor sound propagation. **Canadian Acoustics**, Toronto, v. 34, n. 3, p. 42-43, 2006. Disponível em: <<http://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/1813>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2015.

TONIN, R. Estimating noise levels from petrochemical plants, mines and industrial complexes. **Acoustics Australia**, Cronulla, v. 13, n. 2, p. 59-67, 1984.

TONIN, R. **Modelling and predicting environmental noise**: Technical report, AAS96. Renzo Tonin & Associates, 1996. Disponível em: <<http://www.rtagroup.com.au/pdfs/22.pdf>>. Acesso em: 27 de junho de 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Night noise guidelines for Europe**. World Health Organization. Geneva, 2009. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf?ua=1>. Acesso em: 22 de novembro de 2016.

**APÊNDICE A – TABELAS DETALHADAS DAS POTÊNCIAS SONORAS
DETERMINADAS POR INTESIMETRIA**

Pedreira 1

Tabela A1 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Perfuratriz Wolf MD5000h

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1
Altura (m)	3,5	3,5	3,5	3,5	6
Largura (m)	3,1	6	3,1	6	3,1
Duração (hh:mm:ss)	00:01:15	00:00:51	00:01:23	00:01:43	00:00:49
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	106,7	105,8	98,7	102,8	101,8
Pressão sonora – dB(A)	106,6	104,9	96,9	102,2	100,2
Intensidade sonora – dB(L)	105,0	107,9	97,5	101,3	100,3
Intensidade sonora – dB(A)	105,0	101,4	95,9	100,9	98,7
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	1,7	3,6	1,1	1,3	1,5
Índice P-I – dB(L)	1,7	-2,1	1,3	1,5	1,4
Potência sonora – dB(L)	115,3	121,2	107,8	114,5	113,0
Potência sonora – dB(A)	115,3	114,6	106,2	114,1	111,4
Diferença entre varreduras – dB(L)	1,3	8,6	0,0	1,0	4,0
Diferença entre varreduras – dB(A)	1,2	1,0	0,6	1,8	3,7

Tabela A2 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Perfuratriz Wolf MD5000h

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	72,8	1	28,2	1	72,8	1	28,9	1	26,0	1	34,4	1
31,5	76,3	1	42,5	1	76,3	1	34,7	1	42,4	1	45,9	1
40	82,4	1	36,5	1	82,4	1	32,2	1	41,3	1	35,0	1
50	87,7	1	60,9	6	87,6	4	48,5	6	49,2	2	67,4	6
63	89,1	1	79,4	2	86,7	4	75,6	2	79,8	2	80,6	6
80	88,1	1	67,1	6	87,9	4	66,2	2	71,5	6	72,0	6
100	90,9	1	69,5	2	90,8	4	63,4	2	63,8	6	75,0	4
125	92,3	1	83,1	0	88,8	4	80,6	0	85,9	0	83,1	4
160	89,0	1	77,4	0	87,6	4	73,2	0	79,0	0	78,1	0
200	89,8	1	79,9	4	84,4	4	79,7	0	83,3	0	84,4	4
250	91,3	1	81,8	4	87,5	4	75,9	0	82,6	4	86,2	4
315	93,1	1	85,1	0	89,2	0	80,1	0	83,8	0	87,3	4
400	95,0	1	87,3	4	90,0	0	84,4	0	87,8	0	88,8	4
500	99,8	1	92,6	4	93,5	4	89,8	0	93,4	0	93,5	4
630	100,0	1	92,8	4	94,2	0	88,0	0	93,3	0	94,4	4
800	105,6	1	98,8	4	100,8	0	94,7	0	98,7	0	98,3	4
1k	107,1	1	101,4	0	101,0	0	94,8	0	100,5	4	100,4	4
1,25k	108,8	1	102,3	0	103,4	0	96,0	0	102,3	4	102,0	4
1,6k	109,8	1	104,3	0	104,5	0	98,6	0	103,0	0	101,1	4
2k	111,1	1	106,0	0	104,8	0	98,1	0	105,4	0	102,2	4
2,5k	111,9	1	106,9	0	105,4	0	96,4	0	106,6	0	102,9	4
3,15k	112,2	1	107,9	0	106,4	0	96,2	0	105,9	4	102,3	4
4k	110,8	1	106,2	0	105,5	0	94,3	0	104,4	4	100,9	4
5k	111,3	1	107,0	0	105,4	4	94,7	0	105,5	4	100,8	4
6,3k	108,8	1	104,4	0	103,7	0	92,1	0	101,9	4	98,7	4
8k	106,1	1	101,2	1	101,4	1	89,3	1	99,0	1	96,6	1
10k	103,7	1	98,7	1	100,0	1	85,7	1	95,0	1	93,7	1

Tabela A3 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Compressor Atlas Copco XAS 420

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1
Altura (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	6
Largura (m)	2,5	6	2,5	6	2,5
Duração (hh:mm:ss)	00:00:46	00:01:11	00:00:42	00:01:19	00:00:46
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	88,0	88,9	94,3	89,8	91,4
Pressão sonora – dB(A)	82,7	81,0	86,3	80,0	80,0
Intensidade sonora – dB(L)	87,1	86,1	92,1	87,4	89,9
Intensidade sonora – dB(A)	81,3	77,7	84,3	77,2	79,0
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	1,5	3,3	2,0	2,8	1,0
Índice P-I – dB(L)	0,9	2,8	2,1	2,5	1,4
Potência sonora – dB(L)	95,0	97,9	100,1	99,1	101,7
Potência sonora – dB(A)	89,2	89,5	92,3	88,9	90,8
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,2	0,1	0,3	0,5	0,4
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,1	1,0	0,8	0,4	0,7

Tabela A4 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Compressor Atlas Copco XAS 420

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	53,4	1	41,6	1	43,1	1	46,5	1	48,7	1	48,1	1
31,5	49,4	1	31,9	1	36,8	1	46,1	1	45,6	1	38,6	1
40	52,9	1	34,8	1	45,0	1	49,1	1	47,6	1	44,4	1
50	60,3	1	44,5	2	53,1	2	54,8	2	54,4	2	54,3	2
63	65,2	1	51,0	2	56,2	2	58,3	2	59,0	2	61,0	2
80	79,7	1	64,9	0	69,0	2	72,3	2	73,1	2	76,6	2
100	77,3	1	69,8	0	70,9	2	72,8	0	69,8	2	66,0	0
125	77,4	1	68,0	0	70,0	0	71,4	0	70,2	0	71,4	0
160	85,5	1	72,0	0	78,1	0	78,7	0	78,1	0	81,4	0
200	80,5	1	68,5	0	74,0	0	75,7	0	72,7	0	74,0	0
250	81,7	1	71,9	0	74,8	0	76,3	0	74,5	0	75,2	0
315	84,6	1	76,0	0	76,8	0	79,8	0	76,0	0	78,1	0
400	83,9	1	73,7	0	76,5	0	79,5	0	76,0	0	76,8	0
500	84,9	1	75,6	0	76,8	0	80,7	0	76,9	0	77,5	0
630	86,1	1	78,1	0	77,5	0	81,2	0	78,6	0	79,4	0
800	87,4	1	78,5	0	79,1	0	83,2	0	78,2	0	80,8	0
1k	88,3	1	80,1	0	80,6	0	83,6	0	79,5	0	81,3	0
1,25k	89,0	1	82,1	0	81,0	4	83,2	0	80,5	0	82,5	0
1,6k	88,4	1	82,0	0	80,9	4	82,1	0	79,4	0	82,0	0
2k	85,4	1	78,8	0	76,8	0	81,2	0	75,8	0	77,3	0
2,5k	80,8	1	71,8	0	73,0	0	77,9	0	71,1	0	70,1	0
3,15k	77,6	1	70,3	0	70,3	0	72,9	0	69,2	0	68,9	0
4k	75,6	1	68,6	0	67,9	0	69,4	0	67,5	0	69,4	0
5k	75,0	1	67,3	0	66,3	0	70,4	0	65,6	0	68,5	0
6,3k	72,7	1	64,7	0	64,5	0	68,4	0	63,7	0	65,6	0
8k	68,8	1	60,9	1	60,8	1	64,1	1	60,0	1	61,8	1
10k	65,4	1	58,3	1	58,0	1	60,3	1	57,2	1	57,8	1

Tabela A5 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) móvel Sandvik QJ340

Superfície	Frente				Esquerda				Fundo				Direita				Topo			
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C3	L1C1	L1C1	L1C2	L1C3	L1C1	L1C1	L1C2	L1C3	L1C1	L1C2	L2C1	L2C2	L3C1	L3C2		
Altura (m)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0		
Largura (m)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5		
Duração (mm:ss)	01:28	01:19	01:27	01:20	01:09	01:44	01:19	01:47	00:59	00:52	00:54	00:54	00:54	00:54	00:54	00:54	00:54	00:58		
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Pressão sonora – dB(L)	102,5	104,4	105,9	104,1	101,3	102,1	105,0	101,9	107,0	101,6	105,2	102,7	103,1	101,5						
Pressão sonora – dB(A)	93,2	97,6	99,2	94,8	94,3	95,3	98,1	95,3	95,8	95,8	98,5	97,5	96,4	95,7						
Intensidade sonora – dB(L)	99,8	99,5	103,2	101,6	98,8	96,7	103,0	99,1	104,5	96,9	101,9	100,1	99,0	99,2						
Intensidade sonora – dB(A)	78,5	93,9	96,6	91,5	91,2	81,3	95,7	92,4	92,7	86,0	95,4	94,1	92,3	93,0						
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Índice P-I – dB(A)	14,7	3,7	2,6	3,3	3,0	14,0	2,4	2,9	3,1	9,8	3,1	3,4	4,1	2,7						
Índice P-I – dB(L)	2,6	4,8	2,7	2,5	2,4	5,3	1,9	2,8	2,5	4,7	3,3	2,6	4,1	2,3						
Potência sonora – dB(L)	113,1	112,8	116,4	114,8	112,0	110,0	116,2	112,3	115,5	107,9	112,9	111,0	109,9	110,2						
Potência sonora – dB(A)	91,7	107,2	109,8	104,7	104,4	94,5	108,9	105,6	103,6	96,9	106,4	105,0	103,3	104,0						
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,9	1,6	0,2	0,3	0,5	0,7	1,1	0,9	0,6	1,0	1,6	0,7	1,3	0,9						
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,6	1,3	0,0	0,1	0,1	4,0	0,8	1,2	0,3	1,1	1,5	1,0	1,1	1,1						

Tabela A6 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) móvel Sandvik QJ340

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	53,4	1	47,3	1	52,7	1	49,4	1	52,7	1	54,1	1
31,5	67,3	1	54,7	1	61,3	1	48,5	1	60,6	1	64,3	1
40	66,2	1	54,9	1	60,6	1	53,2	1	62,3	1	59,1	1
50	78,4	1	66,7	2	73,4	2	65,4	2	72,7	2	73,1	2
63	86,9	1	75,0	2	81,0	2	78,0	2	80,9	2	81,7	2
80	92,2	1	82,2	0	87,2	2	79,4	2	86,7	2	86,2	6
100	99,4	1	90,3	2	94,3	2	83,8	0	92,0	2	95,1	2
125	96,7	1	85,8	0	90,9	2	84,0	0	92,3	0	90,7	0
160	99,5	1	85,9	0	94,3	0	88,2	0	94,3	0	94,0	0
200	106,2	1	95,5	0	101,5	0	90,9	0	98,8	0	101,8	4
250	102,9	1	85,7	2	98,2	0	92,6	0	96,6	4	97,9	4
315	103,9	1	85,1	2	98,8	4	93,5	0	97,9	0	99,1	4
400	105,2	1	79,9	6	100,0	4	94,4	0	100,1	4	100,1	4
500	106,3	1	82,4	6	101,5	4	95,4	0	100,0	4	101,8	4
630	106,5	1	79,3	6	101,8	0	95,2	0	100,9	4	101,4	4
800	106,9	1	86,0	2	102,5	0	94,3	0	101,3	4	101,9	4
1k	106,9	1	88,6	2	102,8	0	94,4	0	100,8	4	101,9	4
1,25k	106,1	1	88,7	2	102,2	0	93,4	0	100,1	4	100,9	4
1,6k	105,6	1	89,5	0	102,1	0	92,3	0	99,3	0	100,3	0
2k	104,0	1	88,4	0	100,7	0	89,9	0	97,7	4	98,5	0
2,5k	102,6	1	87,1	0	99,6	0	87,5	0	96,1	4	96,8	4
3,15k	100,6	1	85,1	0	97,6	0	84,6	0	94,3	4	94,8	4
4k	98,9	1	81,6	2	95,7	0	83,2	0	92,6	4	93,3	4
5k	97,0	1	79,8	2	93,5	4	80,5	0	90,7	4	92,1	4
6,3k	93,4	1	79,7	0	90,4	0	77,2	0	87,4	4	87,8	4
8k	90,7	1	76,6	1	86,9	1	72,9	1	85,4	1	85,4	1
10k	87,4	1	72,7	1	83,4	1	68,4	1	82,7	1	81,8	1

Tabela A7 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador secundário móvel cônico Sandvik QH330

Superfície	Frente		Esquerda				Direita				
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C3	L1C4	L1C5	L1C1	L1C2	L1C3	L1C4	L1C5
Altura (m)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Largura (m)	4,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Duração (mm:ss)	01:16	01:17	01:18	01:00	00:58	00:56	00:58	00:59	01:18	01:03	01:04
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	100,8	100,6	101,5	102,2	100,8	100,2	101,2	102,5	104,7	104,1	101,9
Pressão sonora – dB(A)	98,9	96,7	98,5	99,8	98,3	98,0	99,0	100,0	101,4	100,2	98,4
Intensidade sonora – dB(L)	89,0	98,1	98,9	99,8	97,5	95,8	94,8	98,0	102,4	101,6	96,7
Intensidade sonora – dB(A)	88,4	94,3	96,0	97,6	95,4	94,5	92,5	95,4	98,1	96,4	92,9
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	10,5	2,4	2,5	2,2	2,9	3,4	6,6	4,6	3,4	3,8	5,5
Índice P-I – dB(L)	11,8	2,5	2,6	2,4	3,3	4,4	6,5	4,4	2,3	2,5	5,2
Potência sonora – dB(L)	101,7	108,3	109,1	110,0	107,7	106,0	105,0	108,2	112,7	111,8	106,9
Potência sonora – dB(A)	101,1	104,5	106,2	107,8	105,6	104,7	102,7	105,6	108,3	106,6	103,1
Diferença entre varreduras – dB(L)	2,0	0,4	0,1	0,1	0,4	0,7	0,1	0,2	0,2	1,0	0,4
Diferença entre varreduras – dB(A)	1,9	0,4	0,1	0,1	0,3	0,6	0,1	0,3	0,5	0,5	0,7

Tabela A7 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador secundário móvel cônico Sandvik QH330 (continuação)

Superfície	Fundo		Topo									
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C2	L1C1	L1C2	L2C1	L2C2	L3C1	L3C2	L4C1	L4C2	L5C1	L5C2
Altura (m)	4,2	4,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Largura (m)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Duração (mm:ss)	00:56	00:53	00:59	00:59	01:26	01:26	01:22	01:22	01:24	01:24	01:26	01:26
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	100,4	100,3	99,4	99,4	102,8	102,8	108,1	108,1	102,0	102,0	99,9	99,9
Pressão sonora – dB(A)	96,6	95,7	97,8	97,8	100,9	100,9	107,5	107,5	99,0	99,0	96,3	96,3
Intensidade sonora – dB(L)	97,2	98,0	95,2	95,2	100,1	100,1	106,7	106,7	98,3	98,3	97,2	97,2
Intensidade sonora – dB(A)	92,9	93,0	94,3	94,3	98,5	98,5	106,3	106,3	94,4	94,4	93,6	93,6
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	3,6	2,7	3,5	3,5	2,5	2,5	1,3	1,3	4,6	4,6	2,6	2,6
Índice P-I – dB(L)	3,2	2,4	4,2	4,2	2,7	2,7	1,4	1,4	3,7	3,7	2,7	2,7
Potência sonora – dB(L)	106,9	107,6	102,6	102,6	107,5	107,5	114,1	114,1	105,7	105,7	104,6	104,6
Potência sonora – dB(A)	102,6	102,7	101,7	101,7	105,9	105,9	113,7	113,7	101,8	101,8	101,0	101,0
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,3	0,4	0,7	0,7	0,3	0,3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,2	0,2
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,3	0,4	0,8	0,8	0,3	0,3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,2	0,2

Tabela A8 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador secundário móvel cônico Sandvik QH330

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	64,3	1	38,2	1	35,0	1	52,4	1	64,0	1	41,9	1025
31,5	68,7	1	43,3	1	53,8	1	55,4	1	68,2	1	53,5	1025
40	71,3	1	49,3	1	58,4	1	55,0	1	70,9	1	55,1	1025
50	74,4	1	61,2	6	65,2	2	61,8	6	73,1	4	65,8	1030
63	75,8	1	68,1	2	66,4	6	66,0	2	74,3	6	69,5	1026
80	81,0	1	70,3	2	71,8	6	70,9	2	78,8	6	75,3	1026
100	93,7	1	74,8	2	84,6	2	82,5	0	91,9	2	84,7	1026
125	89,9	1	64,8	2	82,9	2	79,3	2	83,8	2	86,6	1024
160	91,9	1	65,9	2	86,7	0	80,2	2	85,9	2	87,8	1024
200	97,9	1	76,8	6	92,3	0	86,0	0	93,6	0	92,5	1028
250	103,2	1	82,6	2	97,6	0	95,7	0	96,8	0	98,0	1024
315	104,0	1	84,1	2	98,3	0	94,2	0	98,4	0	99,4	1024
400	106,3	1	91,8	2	99,6	0	92,6	0	99,7	0	103,2	1028
500	108,0	1	92,6	2	102,1	0	96,4	0	101,9	0	104,0	1024
630	107,7	1	87,3	6	101,2	0	93,8	0	100,6	0	105,0	1028
800	109,4	1	88,3	6	101,9	0	95,2	0	102,7	0	106,9	1028
1k	110,3	1	90,5	2	102,9	0	95,5	0	103,2	0	107,9	1024
1,25k	111,5	1	92,0	6	104,2	0	95,2	0	103,6	4	109,4	1024
1,6k	111,3	1	92,8	2	103,8	0	95,2	0	103,6	0	109,2	1024
2k	111,4	1	88,7	6	103,1	0	94,6	0	102,7	0	109,7	1024
2,5k	110,3	1	89,3	6	102,3	0	93,4	0	101,7	0	108,6	1024
3,15k	107,9	1	88,2	6	100,1	0	91,4	0	99,6	0	106,0	1024
4k	105,6	1	86,0	6	97,5	0	88,3	0	96,8	0	103,9	1024
5k	102,7	1	86,2	6	94,6	0	85,7	0	94,1	0	101,0	1024
6,3k	99,9	1	83,4	0	91,5	0	82,4	0	91,2	0	98,3	1024
8k	96,8	1	80,6	1	88,2	1	80,6	1	88,6	1	95,1	1025
10k	93,8	1	77,6	1	86,2	1	77,3	1	87,5	1	91,2	1025

Tabela A9 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QE341

Superfície	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo		
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C3	L1C1	L1C1	L1C2	L1C3	L1C1	L2C1	L3C1
Altura (m)	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	5,0	5,0	5,0
Largura (m)	4,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0
Duração (mm:ss)	02:03	02:24	02:40	02:36	01:13	01:29	01:33	01:29	01:23	01:24	01:10
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	95,7	102,1	103,3	101,6	101,1	99,4	102,7	102,1	101,4	106,7	99,8
Pressão sonora – dB(A)	93,4	95,9	102,1	100,5	94,3	98,2	101,3	98,1	100,9	106,7	96,0
Intensidade sonora – dB(L)	94,1	87,9	100,7	96,5	96,0	96,2	100,5	100,0	92,6	105,3	95,9
Intensidade sonora – dB(A)	91,6	91,5	100,4	96,6	91,9	95,3	99,4	95,3	92,8	105,6	90,9
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	1,9	4,3	1,7	3,9	2,4	3,0	1,9	2,7	8,1	1,1	5,1
Índice P-I – dB(L)	1,6	14,2	2,6	5,1	5,0	3,2	2,2	2,1	8,8	1,4	3,9
Potência sonora – dB(L)	105,8	100,5	113,4	109,2	107,7	108,9	113,2	112,6	105,6	118,3	108,9
Potência sonora – dB(A)	103,3	104,2	113,1	109,2	103,6	107,9	112,1	108,0	105,9	118,6	103,9
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,2	0,9	0,1	0,0	1,0	0,1	0,4	0,2	3,2	1,1	1,1
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,1	0,3	0,2	0,0	1,1	0,2	0,6	0,1	2,7	1,2	0,0

Tabela A10 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QE341

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	48,7	1	37,2	1	40,7	1	38,7	1	45,3	1	42,0	1
31,5	58,2	1	48,8	1	47,4	1	50,0	1	55,8	1	52,2	1
40	64,0	1	53,5	1	51,9	1	48,5	1	60,6	1	61,3	1
50	70,4	1	58,2	2	61,7	6	54,6	2	68,9	2	65,6	6
63	79,9	1	64,3	2	73,3	6	71,7	2	76,0	2	72,6	6
80	76,4	1	67,8	2	77,1	6	60,0	6	79,0	2	70,3	6
100	83,1	1	76,9	0	86,9	2	77,3	2	86,7	0	80,9	6
125	88,2	1	76,0	0	75,5	2	78,3	2	85,9	0	82,9	6
160	91,1	1	78,4	0	82,0	2	79,9	2	88,4	0	84,4	2
200	96,8	1	85,0	0	84,6	2	87,0	2	93,8	0	92,6	6
250	99,6	1	83,2	0	94,0	0	89,6	0	95,4	0	93,0	4
315	101,9	1	86,5	0	95,9	0	89,9	0	97,3	0	96,7	4
400	103,6	1	87,4	0	97,7	0	91,6	0	99,1	0	98,3	4
500	106,1	1	89,5	0	100,1	0	94,5	0	101,4	0	101,0	4
630	108,0	1	91,3	0	101,9	0	94,8	4	102,5	0	104,1	4
800	109,3	1	91,9	0	103,2	0	93,3	0	103,5	0	105,8	4
1k	110,7	1	93,0	0	104,5	0	94,2	0	104,3	0	107,6	4
1,25k	111,9	1	93,9	0	105,6	0	94,0	0	105,1	0	109,2	4
1,6k	112,1	1	94,0	0	105,9	0	92,1	0	105,2	0	109,4	4
2k	113,1	1	94,9	0	107,0	0	91,4	0	105,8	0	110,4	4
2,5k	113,2	1	94,2	0	106,6	0	90,5	0	105,5	0	110,9	4
3,15k	112,3	1	92,1	0	104,8	0	88,5	0	103,9	0	110,5	4
4k	110,2	1	89,3	0	102,0	0	86,0	0	100,9	0	108,7	4
5k	106,7	1	85,7	0	98,5	0	83,4	0	97,4	0	105,3	4
6,3k	103,2	1	81,8	0	95,1	0	80,5	0	93,9	0	101,7	4
8k	98,2	1	76,5	1	90,6	1	77,0	1	89,5	1	96,5	1
10k	93,5	1	71,4	1	86,2	1	73,3	1	85,3	1	91,6	1

Tabela A11 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450

Superfície	Frente		Esquerda							
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L2C1	L1C1	L1C2	L1C3	L1C4	L2C1	L2C2	L2C3	L2C4
Altura (m)	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Largura (m)	3,80	3,80	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Duração (mm:ss)	01:15	01:13	01:42	01:24	00:59	00:56	01:46	01:45	01:02	01:00
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	90,5	91,0	99,6	100,8	97,7	94,2	99,8	99,5	97,9	95,1
Pressão sonora – dB(A)	85,2	87,4	95,1	97,5	95,0	91,3	96,1	96,7	95,9	93,3
Intensidade sonora – dB(L)	88,1	88,9	94,2	83,7	85,3	87,4	96,8	90,9	84,3	83,5
Intensidade sonora – dB(A)	83,2	85,8	89,8	83,3	73,3	82,5	93,3	86,8	87,6	84,8
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1
Índice P-I – dB(A)	2,0	1,6	5,4	14,2	21,8	8,8	2,8	9,9	8,4	8,5
Índice P-I – dB(L)	2,3	2,1	5,4	17,1	12,4	6,8	3,0	8,7	13,5	11,5
Potência sonora – dB(L)	98,3	99,1	106,4	95,9	97,5	99,6	108,9	103,1	96,5	95,7
Potência sonora – dB(A)	93,4	96,0	101,9	95,5	85,4	94,7	105,5	98,9	99,8	97,0
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,1	0,3	0,3	5,7	1,4	1,6	0,1	2,3	5,7	2,4
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,4	0,1	0,1	1,0	4,6	3,5	0,1	3,3	1,7	0,4

Tabela A11 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450 (continuação)

Superfície	Direita								Fundo	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C2	L1C3	L1C4	L2C1	L2C2	L2C3	L2C4	L1C1	L2C1
Altura (m)	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Largura (m)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	3,80	3,80
Duração (mm:ss)	01:22	01:35	01:26	01:19	01:32	01:44	01:25	01:19	01:14	00:57
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	91,8	94,2	95,4	92,4	92,3	95,0	96,1	93,3	95,2	96,2
Pressão sonora – dB(A)	87,3	89,8	90,2	86,7	89,0	92,3	92,2	89,3	90,1	92,1
Intensidade sonora – dB(L)	88,0	91,4	92,9	89,1	89,3	92,4	93,7	90,9	92,1	92,8
Intensidade sonora – dB(A)	82,3	86,1	87,1	82,2	85,5	89,7	89,7	86,7	86,5	88,6
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	5,1	3,7	3,1	4,4	3,5	2,6	2,6	2,7	3,6	3,5
Índice P-I – dB(L)	3,8	2,8	2,5	3,3	3,0	2,6	2,4	2,4	3,1	3,4
Potência sonora – dB(L)	100,1	103,5	105,0	101,2	101,5	104,6	105,9	103,1	102,3	103,0
Potência sonora – dB(A)	94,4	98,3	99,3	94,4	97,6	101,9	101,8	98,8	96,7	98,8
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,3	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2	0,5	0,4	1,0	0,6
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,3	0,3	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,5	1,2	0,6

Tabela A11 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450 (continuação)

Superfície	Topo							
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C2	L2C1	L2C2	L3C1	L3C2	L4C1	L4C2
Altura (m)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Largura (m)	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Duração (mm:ss)	01:14	00:42	00:59	00:44	00:57	00:49	00:54	00:42
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	95,3	98,4	96,6	99,4	94,9	98,2	92,2	94,8
Pressão sonora – dB(A)	91,6	95,2	93,3	96,1	92,4	96,2	89,3	92,5
Intensidade sonora – dB(L)	93,1	96,0	93,8	94,7	91,9	86,5	89,4	87,3
Intensidade sonora – dB(A)	89,5	93,0	91,1	91,9	89,4	88,9	86,4	80,4
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	-1	1	-1	1	1	1	-1
Índice P-I – dB(A)	2,1	2,3	2,2	4,2	2,9	7,3	2,9	12,0
Índice P-I – dB(L)	2,3	2,5	2,8	4,7	3,0	11,7	2,8	7,5
Potência sonora – dB(L)	103,6	106,6	104,4	105,3	102,5	97,0	99,9	97,8
Potência sonora – dB(A)	100,1	103,5	101,6	102,4	100,0	99,4	97,0	91,0
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,0	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0	0,3	3,3
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,0	0,7	0,4	0,9	0,7	0,8	0,1	8,4

Tabela A12 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Conjunto móvel de peneiras vibratórias Sandvik QA450

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	57,1	-1	35,2	1	42,6	1	50,4	1	44,6	1	56,5	1
31,5	52,5	-1	48,7	1	57,9	1	45,5	1	59,2	1	56,3	1
40	58,9	-1	53,8	1	47,7	1	44,8	1	59,3	1	62,5	1
50	73,1	1	59,6	2	67,1	6	63,7	2	71,2	2	60,5	6
63	70,9	1	65,3	2	70,8	6	57,8	6	73,4	2	62,4	6
80	70,7	1	66,1	2	74,7	6	66,1	2	75,5	2	63,3	6
100	80,4	1	75,0	0	85,5	2	77,6	2	85,8	2	62,3	2
125	81,1	1	71,7	0	80,8	6	74,9	2	82,5	0	74,1	2
160	84,5	1	73,3	0	80,9	6	76,1	2	85,0	0	73,8	2
200	68,5	-1	77,1	0	89,1	6	81,3	0	88,5	0	79,5	6
250	88,5	1	79,7	0	95,1	6	91,1	0	94,8	0	86,4	6
315	91,2	-1	81,0	0	96,0	4	89,0	4	93,2	0	85,5	6
400	85,4	-1	83,2	0	95,8	6	87,3	0	94,3	0	75,0	6
500	91,6	-1	85,8	0	98,4	6	91,0	4	97,0	0	90,7	6
630	91,7	1	85,9	0	95,4	6	88,4	0	95,8	0	62,7	6
800	87,4	1	87,3	0	97,9	6	90,3	0	97,4	0	84,9	6
1k	93,8	1	88,0	0	97,9	6	91,1	0	98,0	0	85,5	6
1,25k	97,0	1	89,3	0	96,9	6	90,8	0	98,4	0	89,7	6
1,6k	98,0	1	88,8	0	95,8	6	90,7	0	98,4	0	91,4	6
2k	98,2	1	88,2	0	94,1	6	90,0	0	98,0	0	91,1	6
2,5k	98,3	1	87,3	0	90,2	6	88,2	0	97,3	4	90,8	6
3,15k	98,3	1	86,2	0	87,0	6	87,1	0	96,0	4	91,5	6
4k	97,5	1	83,8	0	91,1	6	84,5	0	94,1	4	91,0	6
5k	96,4	1	81,7	0	91,1	6	82,3	4	92,6	4	89,9	6
6,3k	94,9	1	78,9	0	90,3	4	80,2	0	90,5	4	88,8	4
8k	91,8	1	76,0	1	87,4	1	78,0	1	87,4	1	85,2	1
10k	89,3	1	72,6	1	84,6	1	74,6	1	84,9	1	82,9	1

Pedreira 2

Tabela A13 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Perfuratriz Atlas Copco ROC D9

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1
Altura (m)	4,0	4,0	4,0	4,0	13,0
Largura (m)	7,7	13,0	7,7	13,0	7,7
Duração (hh:mm:ss)	00:01:22	00:02:26	00:01:30	00:01:51	00:02:38
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	96,1	94,7	98,0	95,4	96,5
Pressão sonora – dB(A)	96,5	92,5	92,7	94,5	94,0
Intensidade sonora – dB(L)	94,6	93,3	96,7	94,0	95,4
Intensidade sonora – dB(A)	94,9	90,6	91,2	92,8	92,7
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	1,6	1,9	1,6	1,7	1,3
Índice P-I – dB(L)	1,6	1,4	1,4	1,4	1,1
Potência sonora – dB(L)	109,4	110,5	111,6	111,2	115,4
Potência sonora – dB(A)	109,8	107,7	106,1	110,0	112,7
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,6	0,7	0,9	0,8	1,0
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,5	0,7	0,3	0,7	1,8

Tabela A14 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Perfuratriz Atlas Copco ROC D9

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	50,1	1	24,8	1	33,4	1	42,9	1	34,9	1	50,6	1
31,5	53,7	1	43,4	1	45,1	1	44,5	1	45,6	1	51,9	1
40	62,5	1	45,8	1	55,1	1	55,7	1	53,6	1	59,2	1
50	62,9	-1	44,6	2	53,1	2	54,0	2	53,9	6	64,3	4
63	66,7	1	51,8	6	57,5	2	58,4	2	58,9	6	63,9	4
80	77,3	1	57,9	6	64,9	2	66,2	2	76,0	4	67,8	2
100	95,2	1	74,4	0	86,4	0	89,7	0	85,1	0	92,0	0
125	92,8	1	72,6	0	84,1	0	87,2	0	82,6	0	89,6	0
160	82,8	1	71,8	0	75,9	0	74,6	0	74,2	0	79,2	4
200	87,8	1	74,7	0	80,8	0	81,0	0	77,8	4	84,2	0
250	90,0	1	79,0	4	82,9	0	81,9	0	80,0	4	86,8	0
315	95,0	1	83,1	0	88,8	0	86,9	0	85,7	4	91,2	0
400	100,0	1	88,7	0	93,4	0	93,4	0	90,6	4	95,8	0
500	97,7	1	87,6	0	90,6	0	89,6	4	89,0	4	93,9	0
630	100,3	1	90,2	0	93,3	0	92,3	0	91,9	4	96,4	0
800	103,2	1	93,8	0	95,7	0	94,7	0	95,3	0	99,4	0
1k	105,0	1	97,5	0	96,7	0	94,0	0	97,8	0	101,1	0
1,25k	105,6	1	98,0	0	97,3	0	95,7	0	97,8	0	101,6	0
1,6k	107,4	1	100,7	0	98,1	0	96,4	0	100,7	0	103,2	0
2k	107,8	1	101,1	0	98,5	0	96,4	0	101,0	0	103,8	4
2,5k	108,5	1	101,9	0	98,6	0	95,7	0	102,0	0	104,6	0
3,15k	107,2	1	100,7	0	97,4	0	95,8	0	100,7	0	102,9	4
4k	105,9	1	99,0	0	96,5	0	95,2	0	99,1	0	101,8	4
5k	106,5	1	100,3	0	96,7	0	94,6	0	100,4	0	101,7	4
6,3k	105,0	1	99,0	0	95,0	0	92,2	0	99,2	0	100,3	4
8k	102,2	1	96,3	1	92,0	1	89,5	1	96,8	1	97,0	1
10k	98,9	1	93,2	1	88,5	1	85,7	1	93,1	1	93,9	1

Tabela A15 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO S6000

Superfície	Direita		Frente		Esquerda		Topo	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C2	
Altura (m)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	8,0	8,0	
Largura (m)	4,0	4,0	5,1	4,0	4,0	2,5	2,5	
Duração (mm:ss)	02:43	01:03	02:06	00:46	01:56	01:36	01:59	
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	
Pressão sonora – dB(L)	104,5	101,9	102,1	99,7	100,6	102,8	104,9	
Pressão sonora – dB(A)	96,8	95,4	94,5	93,9	93,1	97,0	98,2	
Intensidade sonora – dB(L)	102,4	97,5	99,5	97,3	99,7	102,4	104,6	
Intensidade sonora – dB(A)	94,9	91,9	92,9	91,6	92,2	96,9	98,0	
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	
Índice P-I – dB(A)	1,9	3,5	1,6	2,2	0,9	0,1	0,2	
Índice P-I – dB(L)	2,2	4,5	2,5	2,4	0,9	0,4	0,3	
Potência sonora – dB(L)	115,8	110,9	114,0	110,7	113,2	115,5	117,7	
Potência sonora – dB(A)	108,3	105,3	107,4	105,1	105,6	110,0	111,1	
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,3	0,9	0,9	0,7	0,9	1,8	1,0	
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,5	0,5	0,8	0,5	1,1	0,2	0,4	

Tabela A16 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO S6000

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Direita		Frente		Esquerda		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	60,4	-1	56,2	1	45,6	1	45,0	1	57,9	1
31,5	70,6	-1	64,3	1	54,1	1	50,1	1	69,2	1
40	57,1	1	62,3	1	63,5	1	60,6	1	65,2	1
50	79,3	1	66,6	6	71,8	2	71,2	2	77,2	2
63	87,1	1	80,5	2	79,8	2	79,3	2	83,4	6
80	89,5	1	83,9	2	81,3	2	82,4	2	85,2	6
100	94,2	1	90,4	2	81,5	2	86,7	0	89,7	0
125	95,8	1	90,5	2	85,0	2	88,2	0	92,3	0
160	100,1	1	94,2	2	89,6	2	91,9	0	97,0	0
200	101,9	1	94,4	0	93,6	0	92,7	0	99,4	4
250	103,0	1	96,0	0	94,2	0	95,8	0	99,9	0
315	104,2	1	97,6	0	95,6	0	96,6	0	100,9	0
400	106,2	1	101,1	0	97,4	0	97,7	0	102,4	0
500	106,6	1	100,1	0	97,9	0	98,2	0	103,5	0
630	107,1	1	100,9	0	97,9	0	98,6	0	104,1	0
800	107,4	1	100,1	0	97,9	0	98,8	0	104,9	0
1k	107,1	1	99,9	0	98,0	0	98,5	0	104,5	0
1,25k	106,2	1	98,8	0	96,7	0	97,7	0	103,7	0
1,6k	105,5	1	99,4	0	95,9	0	98,1	0	102,2	0
2k	103,5	1	97,4	0	93,8	0	95,7	0	100,4	0
2,5k	101,5	1	94,9	0	92,7	0	93,3	0	98,5	0
3,15k	98,7	1	92,6	0	89,3	0	90,7	0	95,6	0
4k	96,4	1	90,4	0	86,9	4	88,7	4	93,0	4
5k	93,8	1	88,3	0	84,2	4	85,7	4	90,4	4
6,3k	91,3	1	85,3	0	81,4	0	83,0	0	88,2	0
8k	88,5	1	82,8	1	78,4	1	80,4	1	85,4	1
10k	84,5	1	79,0	1	71,4	1	76,6	1	81,5	1

Tabela A17 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador secundário cônico FAÇO S4000

Superfície	Direita	Frente		Esquerda	Topo		Fundo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1
Altura (m)	4,3	4,3	4,3	4,3	7,5	7,5	4,3
Largura (m)	7,5	3,35	3,35	7,5	3,35	3,35	7,5
Duração (hh:mm:ss)	00:02:10	00:01:02	00:01:00	00:01:22	00:01:23	00:01:19	00:01:22
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	106,0	103,8	104,0	104,6	103,4	105,1	104,6
Pressão sonora – dB(A)	101,6	100,0	100,3	99,5	98,7	101,0	99,5
Intensidade sonora – dB(L)	101,4	101,8	102,3	103,4	102,0	100,6	103,4
Intensidade sonora – dB(A)	96,8	98,1	98,4	98,0	97,1	96,2	98,0
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	4,8	1,9	1,9	1,5	1,6	4,7	1,5
Índice P-I – dB(L)	4,6	1,9	1,8	1,2	1,4	4,5	1,2
Potência sonora – dB(L)	116,5	113,4	113,8	118,5	116,0	114,6	118,5
Potência sonora – dB(A)	111,9	109,7	110,0	113,1	111,1	110,2	113,1
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,5	0,2	0,6	0,2	0,4	1,4	0,2
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,4	0,2	0,9	0,5	1,3	1,6	0,5

Tabela A18 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador secundário cônico FAÇO S4000

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Direita		Frente		Esquerda		Topo		Fundo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	50,5	1	41,4	1	45,5	1	44,2	1	40,2	1	44,2	1025
31,5	57,7	1	51,5	1	51,7	1	49,9	1	50,3	1	49,9	1025
40	65,1	1	58,1	1	58,6	1	57,8	1	58,3	1	57,8	1025
50	71,6	1	63,2	2	63,1	2	65,7	2	64,4	2	65,7	1026
63	75,6	1	67,3	2	68,1	2	68,6	2	70,0	2	68,6	1026
80	79,9	1	72,5	2	70,9	2	73,2	2	74,1	2	73,2	1026
100	92,7	1	84,5	2	83,1	0	87,5	0	83,9	6	87,5	1024
125	101,8	1	94,4	2	91,9	0	96,0	0	94,4	0	96,0	1024
160	101,9	1	91,9	2	92,9	0	95,8	0	96,4	0	95,8	1024
200	103,0	1	94,3	0	95,0	0	97,0	0	96,2	4	97,0	1024
250	106,5	1	97,5	0	98,6	0	99,4	0	101,5	0	99,4	1024
315	106,5	1	98,0	0	98,6	0	100,3	0	99,9	0	100,3	1024
400	107,8	1	99,0	0	99,7	0	102,0	0	100,4	4	102,0	1024
500	108,7	1	100,8	0	101,3	0	102,1	0	102,1	4	102,1	1024
630	110,4	1	102,2	0	103,5	0	103,4	0	104,4	4	103,4	1024
800	111,0	1	102,6	0	104,3	0	103,9	0	105,0	4	103,9	1024
1k	111,7	1	103,7	0	104,8	0	104,9	0	105,0	4	104,9	1024
1,25k	110,9	1	103,1	0	104,1	0	103,7	0	104,7	4	103,7	1024
1,6k	109,1	1	101,2	0	102,3	0	101,7	0	103,2	4	101,7	1024
2k	107,0	1	99,6	0	100,2	0	99,4	0	101,1	4	99,4	1024
2,5k	105,0	1	97,5	0	98,3	0	97,7	0	99,0	4	97,7	1024
3,15k	103,3	1	95,7	0	96,2	0	96,2	0	97,0	4	96,2	1024
4k	101,0	1	93,4	0	93,9	0	93,8	0	94,9	4	93,8	1024
5k	98,7	1	90,8	0	91,5	0	91,6	0	92,9	4	91,6	1024
6,3k	95,1	1	87,0	0	88,1	0	87,8	0	89,5	0	87,8	1024
8k	91,2	1	82,9	1	84,1	1	83,9	1	85,9	1	83,9	1025
10k	87,1	1	79,3	1	79,7	1	79,6	1	81,9	1	79,6	1025

Tabela A19 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador terciário cônico FAÇO H6800

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1
Altura (m)	2,8	2,8	2,8	2,8	3,0
Largura (m)	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5
Duração (hh:mm:ss)	00:00:56	00:01:19	00:00:56	00:01:34	00:01:22
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	106,1	108,2	106,1	107,4	107,7
Pressão sonora – dB(A)	104,0	105,8	104,0	105,3	106,1
Intensidade sonora – dB(L)	102,6	101,2	102,6	97,2	104,5
Intensidade sonora – dB(A)	100,5	99,6	100,5	95,1	102,9
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	3,5	6,3	3,5	10,3	3,2
Índice P-I – dB(L)	3,6	7,0	3,6	10,2	3,2
Potência sonora – dB(L)	111,0	110,5	111,0	106,5	113,3
Potência sonora – dB(A)	108,9	108,8	108,9	104,3	111,6
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,5	1,0	0,5	0,7	0,3
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,7	1,1	0,7	1,0	0,3

Tabela A20 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador terciário cônico FAÇO H6800

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	47,7	-1	36,6	1	45,8	1	36,6	1025	40,2	1	30,0	1
31,5	56,1	-1	46,5	1	53,3	1	46,5	1025	48,1	1	46,3	1
40	56,2	-1	45,4	1	54,3	1	45,4	1025	47,8	1	42,5	1
50	64,4	-1	52,8	2	62,7	2	52,8	1026	51,5	2	55,8	2
63	63,4	1	58,3	2	56,0	6	58,3	1026	55,3	2	59,0	2
80	70,4	1	67,5	2	65,1	2	67,5	1026	63,1	6	67,2	2
100	87,1	1	79,8	2	83,7	2	79,8	1026	75,4	2	77,2	2
125	86,8	1	80,8	2	78,5	6	80,8	1026	75,0	2	81,5	2
160	89,8	1	81,5	2	80,8	2	81,5	1026	80,0	2	86,5	0
200	94,1	1	86,6	0	86,0	2	86,6	1024	84,1	2	90,1	0
250	99,2	1	92,6	0	89,8	2	92,6	1024	89,5	2	94,7	0
315	100,1	1	94,2	0	90,1	2	94,2	1024	86,4	2	95,4	0
400	100,6	1	94,0	0	89,9	2	94,0	1024	90,7	2	96,2	0
500	103,1	1	96,3	0	95,2	6	96,3	1024	91,6	6	98,5	0
630	104,2	1	97,5	0	96,7	2	97,5	1024	92,1	6	99,5	0
800	104,7	1	98,3	0	97,5	2	98,3	1024	94,0	6	99,0	0
1k	106,4	1	99,8	0	99,4	2	99,8	1024	94,8	2	101,0	0
1,25k	106,8	1	99,7	0	99,9	2	99,7	1024	95,2	2	102,1	0
1,6k	107,2	1	100,2	0	100,5	2	100,2	1024	95,3	2	102,4	0
2k	106,4	1	99,0	0	99,7	0	99,0	1024	94,9	2	101,9	0
2,5k	105,6	1	98,2	0	98,8	0	98,2	1024	94,1	2	101,2	0
3,15k	104,4	1	96,7	0	97,3	4	96,7	1024	92,0	2	100,4	0
4k	102,8	1	94,5	0	95,2	6	94,5	1024	88,6	6	99,7	0
5k	101,4	1	92,5	0	92,6	6	92,5	1024	86,8	6	99,0	0
6,3k	99,7	1	89,8	0	91,4	6	89,8	1024	83,2	2	97,7	0
8k	97,2	1	86,3	1	89,1	1	86,3	1025	79,8	1	95,4	1
10k	93,3	1	81,9	1	85,2	1	81,9	1025	76,1	1	91,7	1

Tabela A21 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1º deck: 50 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha)

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1
Altura (m)	2,7	2,7	2,7	2,7	4,8
Largura (m)	3,1	2,4	2,4	2,4	3,1
Duração (mm:ss)	00:38	01:28	00:52	01:14	01:28
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	104,0	95,2	97,8	98,0	95,2
Pressão sonora – dB(A)	103,9	92,8	97,0	95,8	92,8
Intensidade sonora – dB(L)	93,0	91,3	94,8	94,2	91,3
Intensidade sonora – dB(A)	93,7	89,4	94,2	92,2	89,4
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	10,2	3,4	2,8	3,6	3,4
Índice P-I – dB(L)	11,0	3,9	3,0	3,8	3,9
Potência sonora – dB(L)	102,2	99,4	102,9	103,5	99,4
Potência sonora – dB(A)	102,9	97,5	102,3	101,4	97,5
Diferença entre varreduras – dB(L)	6,7	0,0	0,2	0,0	0,2
Diferença entre varreduras – dB(A)	6,0	0,1	0,3	0,0	0,3

Tabela A22 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1º deck: 50 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	52,8	-1	46,2	17	41,5	1	50,2	1	41,5	1025	42,3	1
31,5	64,1	-1	57,2	17	45,6	1	62,3	1	45,6	1025	54,6	1
40	53,1	1	50,1	17	48,9	1	51,3	1	48,9	1025	54,6	1
50	68,7	1	58,6	18	60,8	2	62,5	2	60,8	1026	66,0	2
63	71,7	1	57,7	22	63,1	2	66,2	2	63,1	1026	68,5	2
80	75,2	1	66,4	18	67,4	2	69,1	2	67,4	1026	69,8	2
100	79,2	1	70,3	22	71,4	2	70,2	2	71,4	1026	75,4	0
125	81,8	1	73,6	18	73,0	2	72,6	2	73,0	1026	78,4	0
160	83,8	1	72,1	22	75,0	0	74,0	0	75,0	1024	81,4	0
200	86,2	1	77,7	22	78,0	0	76,8	0	78,0	1024	82,6	0
250	87,8	1	76,0	22	80,4	0	79,7	0	80,4	1024	84,0	0
315	89,9	1	78,5	22	82,4	0	82,9	0	82,4	1024	87,1	0
400	92,2	1	81,2	22	85,0	0	85,5	0	85,0	1024	89,0	0
500	93,2	1	82,6	22	85,9	0	86,3	0	85,9	1024	90,3	0
630	94,8	1	86,4	22	87,9	0	87,2	0	87,9	1024	92,3	0
800	96,9	1	88,6	22	89,9	0	88,0	0	89,9	1024	94,8	0
1k	99,5	1	90,3	22	92,2	0	89,2	0	92,2	1024	97,6	0
1,25k	101,3	1	92,7	22	93,9	0	90,2	0	93,9	1024	99,8	0
1,6k	104,2	1	94,3	22	95,3	0	93,7	0	95,3	1024	101,7	0
2k	105,6	1	97,1	22	96,1	0	93,6	0	96,1	1024	103,1	0
2,5k	105,5	1	96,3	22	95,3	0	92,3	0	95,3	1024	103,6	0
3,15k	104,9	1	96,9	22	93,8	0	91,6	0	93,8	1024	103,0	0
4k	103,3	1	95,8	20	91,8	0	89,5	0	91,8	1024	101,4	0
5k	100,9	1	93,4	22	89,1	0	88,0	0	89,1	1024	99,0	0
6,3k	97,9	1	90,0	18	86,6	0	85,5	0	86,6	1024	96,0	0
8k	94,6	1	86,4	17	83,5	1	82,6	1	83,5	1025	92,6	1
10k	90,8	1	81,9	17	80,3	1	79,5	1	80,3	1025	88,8	1

Tabela A23 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira B: 1º deck: 55 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha)

Superfície	Frete	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1
Altura (m)	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
Largura (m)	3,30	2,75	2,75	3,30	2,75
Duração (mm:ss)	00:53	01:22	01:39	01:05	01:22
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	106,1	97,4	100,3	94,8	97,4
Pressão sonora – dB(A)	105,4	94,1	98,4	90,0	94,1
Intensidade sonora – dB(L)	102,7	90,2	94,4	87,4	90,2
Intensidade sonora – dB(A)	102,1	88,0	93,8	83,9	88,0
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	3,3	6,1	4,5	6,1	6,1
Índice P-I – dB(L)	3,4	7,1	5,9	7,3	7,1
Potência sonora – dB(L)	112,9	99,7	103,8	97,7	99,7
Potência sonora – dB(A)	112,3	97,5	103,3	94,2	97,5
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,1	0,4	0,3	0,2	0,4
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,0	0,3	0,3	0,1	0,3

Tabela A24 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira B: 1º deck: 55 mm e 2º deck: 30 mm (telas de borracha)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frete		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	45,5	-1	36,9	1	38,6	1	31,1	1	38,6	1025	41,8	1
31,5	57,9	-1	47,5	1	51,5	1	40,5	1	51,5	1025	56,1	1
40	53,2	-1	48,8	1	45,6	1	42,1	1	45,6	1025	46,6	1
50	57,3	1	59,5	6	54,3	2	46,1	6	54,3	1026	51,8	6
63	70,6	1	66,1	2	56,2	2	58,1	2	56,2	1026	67,8	2
80	74,9	1	71,4	2	62,5	2	62,3	2	62,5	1026	70,8	2
100	79,7	1	76,7	2	63,0	6	69,7	2	63,0	1030	76,2	2
125	84,9	1	80,4	2	77,1	2	65,5	2	77,1	1026	79,9	0
160	88,1	1	82,8	0	78,5	2	72,0	2	78,5	1026	84,8	0
200	92,0	1	88,5	0	81,7	2	75,2	2	81,7	1026	87,4	0
250	94,9	1	90,6	0	84,6	2	78,5	0	84,6	1026	91,0	0
315	95,0	1	90,7	0	84,8	2	80,3	0	84,8	1026	91,1	0
400	97,0	1	93,0	0	85,5	2	81,8	0	85,5	1026	93,3	0
500	99,8	1	96,7	0	88,4	2	82,1	0	88,4	1026	95,2	0
630	101,9	1	98,2	0	90,8	2	84,4	0	90,8	1026	97,9	0
800	103,7	1	100,2	0	92,7	0	85,3	0	92,7	1024	99,4	0
1k	105,5	1	101,9	0	94,1	0	84,8	2	94,1	1024	101,8	0
1,25k	107,0	1	103,1	0	95,3	0	85,1	2	95,3	1024	103,6	0
1,6k	108,0	1	104,1	0	96,1	0	84,0	2	96,1	1024	104,6	0
2k	108,4	1	104,5	0	96,1	0	82,9	2	96,1	1024	105,3	0
2,5k	107,7	1	103,7	0	95,0	0	81,6	2	95,0	1024	104,7	0
3,15k	106,3	1	102,1	0	93,3	0	80,2	2	93,3	1024	103,5	0
4k	104,2	1	99,8	0	91,4	0	78,4	2	91,4	1024	101,3	0
5k	100,9	1	96,3	0	88,3	0	75,6	2	88,3	1024	98,1	0
6,3k	97,1	1	92,2	0	84,7	0	73,0	2	84,7	1024	94,5	0
8k	93,0	1	88,0	1	80,9	1	70,4	1	80,9	1025	90,4	1
10k	88,5	1	83,6	1	77,0	1	66,3	1	77,0	1025	85,8	1

Tabela A25 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira C: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço)

Superfície	Frete	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1
Altura (m)	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
Largura (m)	4,20	3,75	3,75	4,20	3,75
Duração (mm:ss)	01:01	01:02	01:06	01:08	00:59
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	95,6	91,5	92,7	92,0	91,6
Pressão sonora – dB(A)	93,9	85,1	88,0	82,3	86,7
Intensidade sonora – dB(L)	85,5	79,8	79,0	86,2	88,3
Intensidade sonora – dB(A)	82,4	71,6	69,9	74,8	83,5
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	-1	-1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	11,5	13,5	18,2	7,5	3,2
Índice P-I – dB(L)	10,1	11,7	13,6	5,8	3,3
Potência sonora – dB(L)	97,4	91,2	90,5	98,2	99,7
Potência sonora – dB(A)	94,3	83,0	81,3	86,7	94,9
Diferença entre varreduras – dB(L)	1,0	1,5	6,8	0,9	0,6
Diferença entre varreduras – dB(A)	1,8	1,6	11,9	0,6	0,4

Tabela A26 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira C: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frete		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	50,0	-1	41,2	1	45,0	1	41,3	1	42,9	1	43,3	1
31,5	65,2	-1	56,2	1	63,8	1	52,4	1	37,4	1	54,7	1
40	50,4	1	53,1	1	50,0	1	48,4	1	47,7	1	51,2	1
50	61,8	1	58,8	2	53,3	6	50,0	6	51,8	6	59,7	2
63	75,6	1	66,7	0	65,0	6	68,6	2	56,0	6	73,2	2
80	75,4	1	67,1	2	66,5	2	69,0	2	68,9	2	69,6	2
100	77,1	1	68,4	2	71,1	6	65,0	2	70,8	2	72,0	2
125	77,1	1	70,9	2	71,4	2	70,2	2	72,3	2	74,2	0
160	81,4	1	73,7	0	66,0	6	72,1	2	73,1	2	78,7	0
200	86,4	1	78,3	0	76,6	6	74,4	2	77,5	2	83,8	0
250	87,1	1	80,8	0	69,6	6	74,5	2	78,9	2	84,8	0
315	88,9	1	82,3	0	78,4	6	75,3	2	81,2	0	87,1	0
400	90,2	1	77,3	6	76,9	2	74,1	2	82,6	0	89,2	0
500	89,8	1	78,5	6	74,9	6	77,3	0	81,6	0	88,5	0
630	92,0	1	83,9	2	78,9	6	77,2	2	82,4	0	90,2	0
800	89,6	1	78,3	6	80,2	6	75,1	2	82,1	0	88,7	0
1k	88,2	1	82,8	2	81,6	6	74,9	2	82,4	4	89,0	0
1,25k	90,0	1	81,8	6	71,9	6	75,6	2	83,5	0	89,5	0
1,6k	89,7	1	86,1	2	68,4	6	74,6	6	84,4	0	90,2	0
2k	90,1	1	87,1	2	76,7	6	73,1	2	84,9	0	90,6	0
2,5k	89,0	1	87,2	2	71,3	2	73,7	2	84,7	0	90,0	0
3,15k	88,3	1	87,4	2	72,7	6	71,5	2	84,3	0	89,6	0
4k	88,8	1	87,0	2	76,4	6	67,2	6	83,9	4	89,8	0
5k	89,4	1	86,3	2	74,2	2	67,8	6	83,9	4	90,1	0
6,3k	91,1	1	84,6	2	76,0	2	66,5	2	84,3	4	91,0	0
8k	92,1	1	81,3	1	77,9	1	66,7	1	84,1	1	91,6	1
10k	92,1	1	82,6	1	79,5	1	66,0	1	83,5	1	91,7	1

Tabela A27 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira D: 1º deck: 30 mm e 2º deck: 22 mm (telas de borracha)

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1
Altura (m)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Largura (m)	3,1	3,0	3,0	3,1	3,0
Duração (mm:ss)	00:47	01:23	01:24	01:28	01:24
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	104,4	97,8	98,2	96,8	97,6
Pressão sonora – dB(A)	104,9	93,4	96,4	94,3	96,9
Intensidade sonora – dB(L)	99,4	86,4	88,6	92,8	94,3
Intensidade sonora – dB(A)	100,1	68,9	89,3	90,7	94,0
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	-1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	4,8	24,5	7,1	3,6	2,9
Índice P-I – dB(L)	5,0	11,5	9,5	4,1	3,3
Potência sonora – dB(L)	108,1	94,9	97,2	101,5	102,9
Potência sonora – dB(A)	108,8	77,5	97,9	99,4	102,5
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,4	0,8	0,6	0,1	0,1
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,4	3,0	0,6	0,2	0,1

Tabela A28 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira D: 1º deck: 30 mm e 2º deck: 22 mm (telas de borracha)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	41,7	-1	32,2	1	36,5	1	35,3	1	34,6	1	33,9	1
31,5	54,9	-1	44,9	1	50,9	1	47,6	1	46,8	1	46,8	1
40	41,8	-1	37,2	1	42,7	1	41,6	1	26,2	1	37,9	1
50	50,1	1	40,0	6	48,1	6	50,5	2	42,4	2	46,6	2
63	65,8	1	44,2	2	57,4	6	63,9	2	59,7	2	59,7	2
80	67,1	1	58,1	6	63,6	2	64,4	2	62,8	2	63,2	2
100	73,5	1	56,2	2	66,7	2	68,7	2	68,9	2	70,8	2
125	79,2	1	66,4	2	68,4	2	74,4	2	75,1	2	74,0	2
160	84,3	1	68,5	2	74,1	6	76,0	0	79,7	0	80,2	0
200	86,5	1	70,8	6	77,7	2	74,4	2	80,6	0	83,6	0
250	89,5	1	70,7	2	77,3	6	80,1	0	85,3	0	87,0	0
315	87,9	1	72,7	6	80,2	6	80,5	0	82,9	0	85,9	0
400	87,8	1	81,2	2	89,3	6	84,2	0	84,4	0	88,9	0
500	91,0	1	80,7	6	80,2	6	84,0	0	84,5	0	88,5	0
630	95,7	1	90,3	0	80,5	6	86,7	0	87,1	0	91,8	0
800	97,5	1	93,4	0	82,1	6	86,8	0	88,7	0	93,1	0
1k	100,3	1	97,7	0	85,3	2	87,7	0	90,9	0	94,2	0
1,25k	102,0	1	98,9	0	88,0	2	88,4	0	93,0	0	96,8	0
1,6k	103,4	1	100,5	0	91,2	2	89,7	0	95,2	0	97,1	0
2k	106,0	1	104,2	0	91,7	2	90,5	0	95,8	0	98,7	0
2,5k	103,5	1	98,8	0	90,2	2	90,8	0	94,5	0	99,9	0
3,15k	103,0	1	97,7	2	89,6	2	90,0	0	94,0	0	99,8	0
4k	102,5	1	96,6	2	88,1	2	88,3	0	93,0	0	100,0	0
5k	101,1	1	93,2	2	85,3	6	86,2	0	91,6	0	99,4	0
6,3k	99,4	1	91,0	2	82,9	6	83,3	0	89,5	0	97,9	0
8k	96,7	1	87,7	1	80,4	1	80,0	1	86,6	1	95,3	1
10k	92,6	1	82,6	1	77,1	1	76,2	1	82,8	1	91,3	1

Tabela A29 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira E: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço)

Superfície	Frete	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1
Altura (m)	3,0	3,0	3,0	3,0	6,5
Largura (m)	3,5	3,3	3,3	3,5	3,5
Duração (mm:ss)	01:41	01:33	01:28	00:28	01:35
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	91,0	89,9	89,7	90,4	92,1
Pressão sonora – dB(A)	89,8	85,1	87,2	85,6	87,9
Intensidade sonora – dB(L)	87,6	85,5	85,8	84,5	79,5
Intensidade sonora – dB(A)	86,4	81,0	84,0	81,3	79,1
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	3,5	4,1	3,2	4,3	8,9
Índice P-I – dB(L)	3,5	4,4	3,9	5,9	12,6
Potência sonora – dB(L)	97,8	95,4	95,7	94,7	92,4
Potência sonora – dB(A)	96,6	90,9	93,9	91,5	92,0
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,2	0,1	0,1	3,6	1,6
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,4	0,2	0,2	3,4	0,6

Tabela A30 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira E: 1º deck: 12 mm (tela de borracha) e 2º deck: 4,5 mm (tela de aço)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frete		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	57,5	-1	48,4	1	41,1	1	43,8	17	54,6	1	52,4	1
31,5	57,6	-1	55,4	1	38,7	1	55,2	17	60,2	1	56,7	1
40	56,8	-1	45,0	1	38,5	1	45,6	17	56,6	1	39,7	1
50	57,8	-1	50,2	2	49,5	6	49,3	22	59,7	2	47,2	6
63	50,5	1	55,4	2	53,5	6	56,2	22	62,2	2	58,9	2
80	62,3	1	61,8	2	60,3	2	59,0	22	66,8	2	64,8	2
100	68,2	1	64,8	2	64,9	2	61,0	22	68,8	2	68,4	2
125	78,8	1	68,6	2	74,1	2	68,6	18	63,0	6	75,8	0
160	80,4	1	70,9	0	76,0	2	69,8	18	65,4	2	77,3	0
200	79,3	1	71,6	0	74,2	0	71,9	22	71,9	6	76,4	0
250	81,8	1	73,8	0	76,5	0	72,1	22	73,0	2	79,3	0
315	86,4	1	75,4	0	80,2	0	75,8	20	77,4	2	83,2	0
400	88,2	1	78,3	0	81,3	0	77,9	22	76,6	2	85,4	0
500	89,7	1	79,6	0	82,5	0	79,3	16	79,0	2	87,0	0
630	90,0	1	80,7	0	82,5	0	81,1	20	78,3	2	87,0	0
800	91,6	1	82,7	0	83,2	0	80,8	20	81,7	2	88,9	0
1k	92,2	1	83,7	0	83,9	0	81,6	20	82,4	2	89,4	0
1,25k	91,6	1	83,8	0	84,3	0	80,6	20	80,9	2	88,5	0
1,6k	92,8	1	85,4	0	85,4	0	81,3	20	81,9	2	89,7	0
2k	93,2	1	86,2	0	85,7	0	83,4	20	81,8	2	89,8	0
2,5k	93,6	1	86,9	0	85,7	0	82,2	20	81,9	2	90,4	0
3,15k	93,8	1	87,2	0	85,3	0	79,4	20	81,1	2	91,3	0
4k	94,4	1	87,5	0	84,4	0	76,4	20	79,7	2	92,5	0
5k	95,3	1	87,6	0	84,1	0	73,2	20	80,2	2	93,9	0
6,3k	96,4	1	87,6	0	84,0	0	70,5	16	81,6	2	95,2	0
8k	97,0	1	87,7	1	84,0	1	67,5	17	82,4	1	96,0	1
10k	96,8	1	87,3	1	83,8	1	64,5	17	82,9	1	95,9	1

Pedreira 3

Tabela A31 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Perfuratriz EVERDIGM RHINO R10

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1
Altura (m)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Largura (m)	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0
Duração (mm:ss)	00:54	00:56	01:05	01:04	01:01
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	103,2	99,5	100,0	99,0	105,7
Pressão sonora – dB(A)	103,8	99,2	100,3	96,9	106,5
Intensidade sonora – dB(L)	101,6	96,3	97,6	97,5	103,5
Intensidade sonora – dB(A)	102,3	95,4	98,0	95,6	104,3
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	1,5	3,8	2,3	1,4	2,2
Índice P-I – dB(L)	1,5	3,2	2,4	1,5	2,2
Potência sonora – dB(L)	113,7	109,3	110,6	109,6	116,5
Potência sonora – dB(A)	114,3	108,4	111,0	107,6	117,3
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,9	0,4	0,2	0,2	0,1
Diferença entre varreduras – dB(A)	1,0	0,4	0,2	0,0	0,1

Tabela A32 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Perfuratriz EVERDIGM RHINO R10

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	58,1	1	31,8	1	49,0	1	55,9	1	46,2	1	51,3	1
31,5	59,5	1	36,9	1	51,4	1	57,7	1	46,7	1	51,0	1
40	61,8	1	43,7	1	52,7	1	59,8	1	52,4	1	53,2	1
50	63,3	1	35,9	6	56,3	2	59,2	0	56,3	6	56,8	6
63	66,2	1	51,8	2	60,0	2	62,1	0	59,6	2	57,1	2
80	69,6	1	56,7	2	63,2	2	64,3	0	64,3	2	60,7	2
100	88,2	1	70,7	0	80,9	0	83,2	0	81,6	2	82,2	0
125	86,8	1	70,0	0	80,0	0	81,1	0	80,9	0	80,7	0
160	85,4	1	70,5	0	79,9	0	78,8	0	80,1	0	78,0	0
200	89,5	1	75,3	0	83,5	0	82,9	0	83,8	0	82,7	0
250	94,0	1	81,2	0	87,4	0	87,9	0	88,4	0	87,0	0
315	97,2	1	86,3	0	90,8	0	90,3	0	91,3	4	90,9	0
400	100,1	1	90,3	4	93,1	0	90,9	0	93,3	0	95,7	0
500	99,9	1	91,4	4	92,7	0	90,7	0	93,8	0	94,8	0
630	102,1	1	94,0	0	95,2	0	93,0	0	95,8	0	96,6	0
800	108,1	1	99,7	0	101,3	0	96,7	0	101,8	0	103,3	0
1k	106,7	1	98,4	0	99,9	0	96,0	0	101,7	0	100,7	0
1,25k	108,0	1	100,6	0	100,7	0	95,7	0	103,8	0	100,9	0
1,6k	111,8	1	104,6	0	104,2	0	99,0	0	107,7	0	104,9	0
2k	112,1	1	105,4	0	103,6	0	97,2	0	108,9	0	103,4	0
2,5k	113,2	1	106,0	0	104,3	0	97,9	0	110,6	0	103,6	4
3,15k	113,7	1	106,4	0	104,8	0	98,5	0	111,0	0	104,2	4
4k	112,3	1	105,9	0	103,5	0	97,4	0	109,5	0	102,0	4
5k	111,0	1	104,9	0	101,4	0	96,2	0	108,0	0	101,0	4
6,3k	108,6	1	102,8	0	98,7	0	93,4	0	105,7	0	98,7	0
8k	106,0	1	98,5	1	97,0	1	90,5	1	103,5	1	96,5	1
10k	105,0	1	98,4	1	96,7	1	88,1	1	102,0	1	95,8	1

Tabela A33 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO 120/90

Superfície	Frente		Esquerda		Direita		Topo	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C2	L1C1	L2C1	
Altura (m)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	
Largura (m)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Duração (mm:ss)	01:28	01:32	01:55	01:32	01:55	01:02	01:25	
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	
Pressão sonora – dB(L)	106,3	109,2	107,2	109,2	107,2	106,6	97,6	
Pressão sonora – dB(A)	97,6	99,5	97,8	99,5	97,8	100,2	91,4	
Intensidade sonora – dB(L)	103,7	100,9	104,3	100,9	104,3	104,7	95,6	
Intensidade sonora – dB(A)	94,3	91,5	93,8	91,5	93,8	97,9	88,9	
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	
Índice P-I – dB(A)	3,3	8,0	4,0	8,0	4,0	2,3	2,4	
Índice P-I – dB(L)	2,5	8,3	2,9	8,3	2,9	1,8	2,0	
Potência sonora – dB(L)	116,7	113,9	117,3	113,9	117,3	116,8	107,6	
Potência sonora – dB(A)	107,3	104,5	106,8	104,5	106,8	110,0	101,0	
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,2	1,1	0,4	1,1	0,4	0,4	1,8	
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,6	1,5	0,3	1,5	0,3	0,9	2,2	

Tabela A34 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador primário (de mandíbulas) FAÇO 120/90

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	63,5	1	53,5	1	59,1	1	59,1	1025	55,8	1
31,5	68,8	1	58,1	1	64,7	1	64,7	1025	60,1	1
40	74,3	1	64,6	1	69,5	1	69,5	1025	67,9	1
50	83,8	1	75,3	2	79,3	2	79,3	1026	75,6	2
63	91,2	1	84,8	2	86,4	2	86,4	1026	81,1	6
80	91,6	1	84,4	2	86,7	2	86,7	1026	83,9	2
100	94,9	1	86,4	2	89,7	2	89,7	1026	88,8	0
125	96,8	1	88,1	2	91,5	2	91,5	1026	91,1	0
160	100,4	1	92,8	0	95,2	2	95,2	1026	93,8	0
200	101,6	1	95,4	0	96,0	0	96,0	1024	94,8	0
250	101,9	1	94,7	0	96,4	0	96,4	1024	95,9	4
315	106,7	1	99,3	0	101,6	0	101,6	1024	99,6	4
400	105,2	1	98,1	0	99,0	0	99,0	1024	100,2	4
500	104,2	1	96,4	0	97,8	2	97,8	1026	100,0	4
630	105,4	1	97,5	0	99,6	6	99,6	1030	100,3	4
800	104,7	1	97,2	0	97,8	6	97,8	1030	100,9	4
1k	104,1	1	96,1	0	97,0	6	97,0	1030	100,6	4
1,25k	103,2	1	94,7	0	96,6	6	96,6	1030	99,6	4
1,6k	102,4	1	93,8	0	95,3	6	95,3	1030	99,1	4
2k	100,8	1	92,2	0	92,5	6	92,5	1030	98,2	4
2,5k	99,2	1	90,7	0	90,3	6	90,3	1030	97,0	4
3,15k	97,0	1	87,9	0	87,7	4	87,7	1028	95,1	4
4k	94,8	1	86,1	0	85,3	4	85,3	1028	92,8	4
5k	92,7	1	83,9	0	83,2	4	83,2	1028	90,8	4
6,3k	89,6	1	80,4	0	80,0	4	80,0	1028	87,7	0
8k	86,6	1	77,2	1	77,1	1	77,1	1025	84,8	1
10k	83,0	1	74,2	1	73,5	1	73,5	1025	81,1	1

Tabela A35 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britadores secundários (de mandíbulas) FAÇO 120/40 (2 em paralelo)

Superfície	Frente	Esquerda		Fundo	Direita		Topo	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L2C1
Altura (m)	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	4,5	4,5
Largura (m)	3,0	4,5	4,5	3,0	4,5	4,5	3,0	3,0
Duração (hh:mm:ss)	00:02:08	00:02:10	00:03:06	00:02:08	00:02:10	00:03:06	00:02:13	00:01:32
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	109,6	108,3	106,6	109,6	108,3	106,6	110,5	113,3
Pressão sonora – dB(A)	105,2	105,0	104,2	105,2	105,0	104,2	107,9	112,1
Intensidade sonora – dB(L)	105,2	106,1	103,6	105,2	106,1	103,6	108,3	111,3
Intensidade sonora – dB(A)	100,1	102,6	101,4	100,1	102,6	101,4	105,3	110,3
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	5,1	2,5	2,8	5,1	2,5	2,8	2,7	1,8
Índice P-I – dB(L)	4,4	2,2	3,1	4,4	2,2	3,1	2,2	2,0
Potência sonora – dB(L)	114,3	116,9	114,4	114,3	116,9	114,4	119,6	122,6
Potência sonora – dB(A)	109,2	113,4	112,2	109,2	113,4	112,2	116,6	121,6
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,9	0,1	0,0	0,9	0,1	0,0	0,5	0,2
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,5	0,2	0,4	0,5	0,2	0,4	0,5	0,3

Tabela A36 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britadores secundários (de mandíbulas) FAÇO 120/40 (2 em paralelo)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	48,6	1	33,1	1	42,5	1025	33,1	1025	42,5	1	45,2	1
31,5	61,9	1	47,1	1	55,4	1025	47,1	1025	55,4	1	58,8	1
40	68,0	1	56,1	1	62,0	1025	56,1	1025	62,0	1	63,8	1
50	70,3	1	58,4	2	64,8	1026	58,4	1026	64,8	2	65,3	2
63	77,4	1	66,7	2	71,6	1026	66,7	1026	71,6	2	72,0	2
80	87,3	1	76,2	0	80,6	1026	76,2	1024	80,6	2	83,6	2
100	94,5	1	85,4	2	86,8	1026	85,4	1026	86,8	2	90,8	2
125	96,5	1	85,2	2	89,9	1024	85,2	1026	89,9	0	92,7	0
160	102,5	1	92,6	0	96,1	1024	92,6	1024	96,1	0	97,8	0
200	104,7	1	95,1	0	96,9	1024	95,1	1024	96,9	0	101,2	0
250	106,2	1	96,7	0	98,6	1024	96,7	1024	98,6	0	102,5	0
315	108,7	1	97,5	0	101,1	1024	97,5	1024	101,1	0	105,8	0
400	110,4	1	96,7	0	102,2	1024	96,7	1024	102,2	0	108,3	0
500	110,9	1	96,4	0	103,1	1024	96,4	1024	103,1	0	108,6	4
630	112,6	1	98,1	0	104,9	1024	98,1	1024	104,9	0	110,3	0
800	114,8	1	100,0	0	107,2	1024	100,0	1024	107,2	0	112,4	0
1k	116,0	1	99,6	0	107,1	1024	99,6	1024	107,1	0	114,4	0
1,25k	116,3	1	100,0	0	107,5	1024	100,0	1024	107,5	0	114,7	0
1,6k	116,2	1	99,3	0	107,0	1024	99,3	1024	107,0	0	114,7	0
2k	115,1	1	97,5	0	105,4	1024	97,5	1024	105,4	0	113,8	0
2,5k	112,9	1	95,7	0	103,2	1024	95,7	1024	103,2	0	111,7	0
3,15k	110,5	1	93,5	0	100,7	1024	93,5	1024	100,7	0	109,2	0
4k	107,5	1	90,9	2	97,7	1024	90,9	1026	97,7	0	106,2	0
5k	104,1	1	87,1	2	94,2	1024	87,1	1026	94,2	0	102,9	0
6,3k	101,0	1	84,2	0	91,0	1024	84,2	1024	91,0	0	99,8	0
8k	97,5	1	82,0	1	87,1	1025	82,0	1025	87,1	1	96,3	1
10k	93,9	1	80,8	1	83,4	1025	80,8	1025	83,4	1	92,5	1

Tabela A37 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador terciário cônico Nordberg HP300

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo		Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1
Altura (m)	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,40
Largura (m)	4,30	3,40	2,15	2,15	3,40	4,30
Duração (mm:ss)	02:59	02:10	02:39	01:54	02:43	01:09
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	101,9	105,0	107,8	107,2	100,9	111,5
Pressão sonora – dB(A)	100,7	103,7	106,5	105,9	99,6	110,8
Intensidade sonora – dB(L)	99,2	101,4	96,7	96,8	99,1	109,0
Intensidade sonora – dB(A)	98,2	100,2	95,1	95,1	97,8	108,4
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	2,5	3,5	11,4	10,8	1,8	2,5
Índice P-I – dB(L)	2,6	3,6	11,2	10,5	1,8	2,5
Potência sonora – dB(L)	111,5	112,6	105,9	106,0	110,3	120,6
Potência sonora – dB(A)	110,4	111,4	104,4	104,4	109,0	120,0
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,2	0,1	1,9	0,4	0,1	0,1
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,1	0,1	1,8	0,9	0,1	0,2

Tabela A38 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador terciário cônico Nordberg HP300

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	37,6	1	35,8	1	32,1	1	29,9	1	37,5	1	34,9	1
31,5	48,5	1	37,9	1	42,8	1	40,3	1	42,4	1	42,5	1
40	57,7	1	50,6	1	48,4	1	50,9	1	51,1	1	51,7	1
50	67,0	1	59,0	2	60,1	2	60,2	2	59,9	2	60,6	2
63	72,9	1	65,5	2	67,1	2	65,9	2	63,9	2	66,7	2
80	76,6	1	69,2	2	69,2	2	67,6	2	68,4	2	72,2	2
100	81,6	1	73,6	2	75,2	2	70,4	6	72,8	0	77,6	2
125	83,8	1	74,9	2	74,2	2	74,1	2	74,9	0	81,0	2
160	90,8	1	79,7	2	80,9	2	79,9	2	79,5	0	89,0	0
200	98,1	1	86,9	0	88,9	0	87,2	6	85,8	0	96,4	0
250	99,9	1	89,1	0	90,1	0	88,9	2	89,1	0	98,1	0
315	102,9	1	92,0	0	93,2	0	90,0	2	91,4	0	101,3	0
400	104,0	1	94,2	0	95,8	0	89,6	6	93,7	0	101,9	0
500	106,2	1	96,6	0	98,6	0	92,2	6	96,1	0	103,9	0
630	108,7	1	98,8	0	100,3	0	96,2	6	97,5	0	106,7	0
800	111,8	1	100,6	0	101,7	0	98,1	6	99,0	0	110,4	0
1k	113,7	1	103,0	0	104,3	0	100,6	6	101,7	0	112,1	0
1,25k	113,6	1	103,0	0	104,1	0	100,5	2	101,3	0	112,0	0
1,6k	112,4	1	101,5	0	101,9	0	98,0	6	99,8	0	111,0	0
2k	111,6	1	100,5	0	100,9	0	96,2	6	98,8	0	110,4	0
2,5k	110,6	1	98,5	0	99,0	0	94,6	2	97,0	0	109,7	0
3,15k	109,0	1	96,6	0	96,7	0	93,0	6	95,1	0	108,1	0
4k	106,6	1	93,6	0	93,3	0	88,1	2	92,2	0	105,9	0
5k	103,9	1	90,9	0	90,4	0	82,4	6	89,0	0	103,2	0
6,3k	100,8	1	87,8	0	87,5	0	82,1	4	85,8	0	100,1	0
8k	97,5	1	84,3	1	84,1	1	80,4	1	81,8	1	96,9	1
10k	93,9	1	80,7	1	80,7	1	77,1	1	77,9	1	93,2	1

Tabela A39 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Britador quaternário cônico Nordberg HP200

Superfície	Frete	Esquerda		Fundo		Direita	Topo			
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1	L1C2	L2C1	L2C2
Altura (m)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	1,75	1,75	1,75	1,75
Largura (m)	4,00	1,75	1,75	2,00	2,00	3,50	2,00	2,00	2,00	2,00
Duração (mm:ss)	02:12	01:21	01:05	00:59	01:23	01:10	00:42	00:45	00:59	00:51
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	100,8	98,2	99,9	96,0	95,9	98,6	98,2	101,8	99,0	100,0
Pressão sonora – dB(A)	99,4	96,9	98,5	94,6	94,4	97,3	97,1	100,9	98,0	98,8
Intensidade sonora – dB(L)	95,7	91,9	94,8	94,2	93,5	93,5	95,9	94,9	96,7	96,9
Intensidade sonora – dB(A)	94,4	90,4	93,2	93,0	92,2	92,5	94,8	94,7	95,7	95,7
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1
Índice P-I – dB(A)	5,0	6,5	5,3	1,7	2,2	4,8	2,3	6,2	2,3	3,2
Índice P-I – dB(L)	5,1	6,3	5,1	1,8	2,3	5,2	2,3	6,9	2,3	3,1
Potência sonora – dB(L)	107,2	99,7	102,7	102,7	102,0	104,3	101,3	100,4	102,1	102,3
Potência sonora – dB(A)	105,9	98,3	101,1	101,4	100,7	103,4	100,2	100,2	101,1	101,1
Diferença entre varreduras – dB(L)	2,3	0,2	0,4	0,7	0,3	0,9	0,4	0,1	0,7	0,1
Diferença entre varreduras – dB(A)	2,2	0,4	0,3	0,6	0,3	0,9	0,6	0,1	1,0	0,1

Tabela A40 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Britador quaternário cônico Nordberg HP200

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	34,2	-1	33,1	1	27,6	1	31,0	1	36,3	1	34,8	17
31,5	43,7	1	39,2	1	26,1	1	39,6	1	39,5	1	41,2	17
40	42,8	1	49,5	1	47,6	1	46,6	1	43,6	1	44,5	17
50	50,8	1	57,2	2	54,0	2	52,8	2	49,7	2	50,2	18
63	56,1	1	64,3	2	60,1	2	60,2	2	57,4	2	56,5	18
80	65,3	1	66,3	2	63,1	2	63,6	2	61,4	2	62,7	18
100	70,6	1	70,5	2	68,0	2	68,6	2	62,7	2	68,6	18
125	75,4	1	71,8	2	71,3	2	72,1	0	64,7	6	72,4	22
160	78,6	1	77,4	6	75,2	2	75,7	0	71,6	2	76,3	18
200	83,0	1	84,2	4	80,3	2	80,7	0	79,4	2	81,7	18
250	87,9	1	83,9	6	81,2	2	83,6	0	80,9	2	85,8	20
315	90,1	1	87,7	4	85,2	0	86,6	0	84,6	2	87,2	16
400	91,7	1	90,2	4	87,8	0	88,0	0	87,5	0	88,7	16
500	94,8	1	92,0	6	91,4	0	90,9	0	89,8	0	90,3	18
630	96,7	1	94,2	4	92,6	0	92,8	0	92,8	0	92,3	18
800	95,5	1	96,2	4	92,6	2	93,3	0	93,6	0	91,6	18
1k	99,8	1	97,5	6	95,7	0	96,5	0	96,1	0	94,7	18
1,25k	98,2	1	99,0	4	95,1	2	96,0	0	96,0	0	95,0	18
1,6k	99,0	1	96,8	4	94,3	0	96,5	0	94,7	0	94,2	18
2k	96,3	1	96,2	4	92,2	2	94,1	0	93,0	0	93,3	18
2,5k	93,7	1	93,9	0	89,3	2	91,2	0	90,1	4	92,1	18
3,15k	93,7	1	91,7	4	87,6	6	89,4	0	87,9	4	92,5	20
4k	93,7	1	89,4	0	85,5	6	87,2	0	85,7	4	93,0	20
5k	93,5	1	86,4	0	83,1	6	84,9	0	83,6	4	92,9	20
6,3k	93,1	1	84,0	0	80,5	4	81,9	0	81,5	4	92,7	20
8k	91,5	1	80,4	1	78,2	1	78,9	1	78,7	1	91,2	17
10k	88,5	1	76,6	1	75,5	1	75,3	1	75,2	1	88,2	17

Tabela A41 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1 deck de 50mm (tela de borracha de 3 m por 1,5 m)

Superfície	Frente	Esquerda	Fundo	Direita	Topo
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1
Altura (m)	2,6	2,6	2,6	2,6	3,8
Largura (m)	2,8	3,8	2,8	3,8	2,8
Duração (hh:mm:ss)	00:01:36	00:01:37	00:01:48	00:02:02	00:01:31
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	107,1	102,3	100,0	101,6	105,8
Pressão sonora – dB(A)	106,4	100,7	98,0	100,1	105,2
Intensidade sonora – dB(L)	95,6	96,9	96,0	96,7	97,5
Intensidade sonora – dB(A)	94,8	94,9	94,3	94,8	96,7
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	-1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	11,6	5,7	3,7	5,3	8,5
Índice P-I – dB(L)	11,4	5,4	4,0	5,0	8,3
Potência sonora – dB(L)	104,3	106,9	104,6	106,6	107,8
Potência sonora – dB(A)	103,4	104,9	102,9	104,8	107,0
Diferença entre varreduras – dB(L)	5,5	1,0	0,2	1,6	0,6
Diferença entre varreduras – dB(A)	4,5	1,6	0,1	2,1	0,8

Tabela A42 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória A: 1 deck de 50mm (tela de borracha de 3 m por 1,5 m)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	39,0	1	25,8	1	34,3	1	33,5	1	35,8	1	25,9	1
31,5	44,8	1	36,6	1	43,0	1	37,4	1	40,9	1	40,9	1
40	48,8	1	38,3	1	49,0	1	42,1	1	48,2	1	49,0	1
50	57,9	1	43,9	6	35,3	2	49,3	2	53,9	2	55,1	2
63	67,2	1	54,0	6	63,0	2	56,1	2	61,1	2	61,3	2
80	71,3	1	59,8	2	63,3	2	61,9	2	65,6	2	67,1	2
100	83,3	1	75,2	2	78,2	2	75,0	2	77,6	2	74,1	2
125	79,0	1	59,2	6	73,3	2	70,4	2	72,9	2	74,3	2
160	81,6	1	77,1	6	76,4	2	75,3	2	75,6	2	79,1	2
200	85,3	1	83,6	6	82,5	2	80,5	0	81,5	2	81,4	2
250	89,9	1	83,3	6	86,4	0	82,7	0	85,2	0	83,7	2
315	93,1	1	81,1	6	88,6	0	86,3	0	88,7	0	84,5	2
400	93,9	1	85,2	6	88,7	2	87,4	0	89,4	0	88,1	2
500	95,1	1	93,3	6	91,7	2	89,5	0	91,7	4	91,8	2
630	99,1	1	92,2	6	94,0	6	92,2	0	94,1	4	94,9	2
800	101,3	1	89,9	6	96,5	4	93,3	0	95,1	4	96,7	2
1k	100,5	1	97,5	6	96,3	6	94,2	0	95,8	6	97,9	2
1,25k	101,5	1	96,8	6	96,3	2	94,4	0	96,4	4	98,7	6
1,6k	101,3	1	96,0	6	95,5	4	94,2	0	96,1	4	98,6	2
2k	100,9	1	92,9	6	94,7	4	93,1	0	94,8	4	98,0	2
2,5k	100,2	1	87,9	6	93,3	4	91,6	0	93,4	4	97,2	2
3,15k	98,6	1	84,3	6	91,7	4	90,0	0	91,9	4	95,4	2
4k	96,8	1	86,8	2	89,2	4	87,6	0	89,4	4	93,1	2
5k	94,3	1	84,4	6	86,3	4	85,1	0	86,4	0	90,8	2
6,3k	90,9	1	79,9	4	82,8	0	81,9	0	83,1	0	87,6	0
8k	87,2	1	75,9	1	79,4	1	78,8	1	79,5	1	83,8	1
10k	83,9	1	71,8	1	75,9	1	77,8	1	76,3	1	79,4	1

Tabela A43 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória B: 1º deck: 32 mm e 2º deck: 21 mm (telas de borracha)

Superfície	Frente	Esquerda		Fundo	Direita		Topo	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L2C1
Altura (m)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3,5	3,5
Largura (m)	3,7	3,5	3,5	3,7	3,5	3,5	3,7	3,7
Duração (hh:mm:ss)	00:01:06	00:01:10	00:02:00	00:01:26	00:01:17	00:01:22	00:00:53	00:00:53
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	97,8	88,6	92,0	86,3	89,5	91,9	95,1	91,7
Pressão sonora – dB(A)	98,1	84,3	91,3	81,7	85,3	90,1	95,0	90,4
Intensidade sonora – dB(L)	92,8	84,6	89,3	81,7	84,3	88,2	92,9	88,0
Intensidade sonora – dB(A)	93,4	80,8	88,9	77,1	80,4	87,1	92,9	86,5
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	4,7	3,5	2,4	4,6	4,9	3,0	2,1	3,9
Índice P-I – dB(L)	5,0	4,0	2,6	4,6	5,2	3,7	2,2	3,7
Potência sonora – dB(L)	102,2	93,8	98,6	91,2	93,5	97,4	104,0	99,1
Potência sonora – dB(A)	102,9	90,1	98,1	86,5	89,6	96,3	104,0	97,6
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,3	0,7	0,7	0,1	0,6	0,5	0,0	1,3
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,2	0,3	0,6	0,1	0,7	0,6	0,1	1,0

Tabela A44 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória B: 1º deck: 32 mm e 2º deck: 21 mm (telas de borracha)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	47,4	1	36,4	1	40,7	1	38,9	1	36,7	1	44,3	1
31,5	63,5	1	49,0	1	53,0	1	50,8	1	55,4	1	61,8	1
40	56,6	1	48,1	1	49,7	1	45,3	1	49,7	1	54,8	1
50	59,8	1	46,8	6	54,0	6	43,2	6	53,9	2	57,2	6
63	66,6	1	56,2	2	58,9	6	56,9	2	59,7	6	62,9	2
80	68,5	1	56,7	6	59,7	2	58,2	2	60,0	2	66,1	2
100	73,8	1	61,6	2	69,7	2	57,8	2	67,5	2	70,0	2
125	75,4	1	58,1	6	69,8	2	65,5	2	68,9	2	71,6	0
160	78,0	1	60,1	2	71,6	2	67,0	2	71,6	2	74,8	0
200	81,6	1	63,4	2	74,6	0	70,1	0	76,7	0	77,8	0
250	83,3	1	70,5	2	75,9	0	70,8	0	77,7	0	79,6	0
315	84,2	1	74,3	0	76,7	0	70,3	0	77,2	0	81,1	0
400	86,3	1	77,0	0	78,9	0	73,0	0	78,6	0	83,1	0
500	88,4	1	80,6	0	80,1	0	73,9	0	79,7	0	85,6	0
630	91,4	1	85,2	0	83,0	0	74,7	0	82,6	0	88,1	0
800	93,9	1	87,7	0	84,8	0	75,5	2	84,5	0	91,0	0
1k	96,1	1	90,4	0	87,5	0	75,8	0	85,9	0	93,0	0
1,25k	98,3	1	91,8	0	89,2	0	76,3	0	87,6	0	95,9	0
1,6k	98,0	1	92,3	0	89,2	0	76,8	0	88,2	0	94,9	0
2k	98,7	1	93,8	0	89,7	0	76,9	0	88,0	0	95,3	0
2,5k	99,3	1	94,6	0	90,1	0	76,0	0	88,0	0	96,0	0
3,15k	99,1	1	94,4	0	89,7	0	75,2	0	87,8	0	95,7	0
4k	98,6	1	94,3	0	88,6	0	73,7	0	86,5	0	95,3	0
5k	97,5	1	93,0	0	86,9	0	71,6	0	84,7	0	94,5	0
6,3k	95,8	1	90,8	0	84,7	0	70,0	0	82,3	0	93,2	0
8k	93,1	1	87,6	1	81,9	1	67,6	1	79,2	1	90,9	1
10k	89,7	1	83,4	1	78,1	1	65,5	1	75,3	1	87,9	1

Tabela A45 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória B

Superfície	Frente		Esquerda		Fundo		Direita	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1	L1C1	L1C2	L1C2
Altura (m)	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
Largura (m)	3,7	3,5	3,5	3,7	3,5	3,5	3,5	3,5
Duração (mm:ss)	01:01	01:45	01:45	01:01	01:19	01:19	01:19	01:19
Sobrecarga (mm:ss)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pressão sonora – dB(L)	83,1	89,1	89,1	83,1	86,0	86,0	86,0	86,0
Pressão sonora – dB(A)	79,2	85,0	85,0	79,2	84,4	84,4	84,4	84,4
Intensidade sonora – dB(L)	78,3	68,0	68,0	78,3	82,4	82,4	82,4	82,4
Intensidade sonora – dB(A)	76,3	79,4	79,4	76,3	81,5	81,5	81,5	81,5
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Índice P-I – dB(A)	2,9	5,6	5,6	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Índice P-I – dB(L)	4,7	21,0	21,0	4,7	3,6	3,6	3,6	3,6
Potência sonora – dB(L)	91,3	80,7	80,7	91,3	95,0	95,0	95,0	95,0
Potência sonora – dB(A)	89,2	92,1	92,1	89,2	94,2	94,2	94,2	94,2
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,5	0,1	0,1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,0	0,3	0,3	0,0	0,9	0,9	0,9	0,9

Tabela A46 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória B

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	44,4	1	36,7	1	40,6	1025	36,7	1025	38,1	1025
31,5	55,1	1	46,5	1	51,5	1025	46,5	1025	49,8	1025
40	41,8	-1	44,0	1	46,7	1025	44,0	1025	49,1	1025
50	55,6	-1	42,8	6	57,4	1030	42,8	1030	53,6	1026
63	61,2	-1	51,4	6	61,1	1030	51,4	1030	54,1	1026
80	66,6	-1	53,7	6	67,4	1030	53,7	1030	56,4	1030
100	72,4	-1	60,0	2	73,1	1030	60,0	1026	60,6	1026
125	57,3	1	63,1	2	69,1	1026	63,1	1026	66,6	1026
160	75,1	1	66,8	2	70,3	1030	66,8	1026	70,8	1026
200	78,1	1	70,4	0	72,9	1030	70,4	1024	73,6	1024
250	80,1	1	72,0	0	75,0	1030	72,0	1024	75,8	1024
315	80,4	1	72,2	0	75,5	1026	72,2	1024	76,2	1024
400	82,6	1	74,0	0	77,9	1026	74,0	1024	78,4	1024
500	84,3	1	74,9	0	80,0	1024	74,9	1024	80,2	1024
630	85,5	1	75,8	0	80,7	1024	75,8	1024	81,9	1024
800	86,3	1	76,5	0	81,7	1024	76,5	1024	82,8	1024
1k	87,2	1	77,5	0	82,3	1026	77,5	1024	83,9	1024
1,25k	88,8	1	79,2	0	81,9	1030	79,2	1024	86,4	1024
1,6k	90,9	1	80,0	0	85,7	1024	80,0	1024	88,1	1024
2k	91,5	1	80,2	0	86,4	1024	80,2	1024	88,9	1024
2,5k	91,4	1	79,9	0	86,3	1024	79,9	1024	88,9	1024
3,15k	90,6	1	78,6	0	85,8	1024	78,6	1024	87,9	1024
4k	89,8	1	77,6	0	85,3	1024	77,6	1024	86,9	1024
5k	88,6	1	76,2	0	84,2	1024	76,2	1024	85,8	1024
6,3k	87,0	1	74,4	0	82,7	1024	74,4	1024	84,1	1024
8k	85,0	1	72,3	1	80,7	1025	72,3	1025	82,1	1025
10k	82,8	1	70,3	1	79,0	1025	70,3	1025	79,4	1025

Tabela A47 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória C: 1º deck: 15 mm e 2º deck: 12 mm (telas de borracha), 3º deck: 4,5 mm (tela de metal)

Superfície	Frente		Esquerda		Fundo	Direita		Topo	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C2	L1C1	L1C2	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L2C1
Altura (m)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,50	3,50
Largura (m)	1,85	1,85	3,50	3,50	3,70	3,50	3,50	3,70	3,70
Duração (hh:mm:ss)	00:02:02	00:02:18	00:01:58	00:02:06	00:03:17	00:03:05	00:02:57	00:01:24	00:01:24
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	86,8	86,7	88,7	87,5	89,1	89,6	86,1	90,5	89,6
Pressão sonora – dB(A)	82,6	82,6	83,2	81,4	83,3	83,6	81,1	88,2	85,4
Intensidade sonora – dB(L)	85,0	84,5	85,4	84,1	84,7	86,9	81,1	87,6	86,9
Intensidade sonora – dB(A)	79,9	79,9	79,3	77,5	76,0	79,9	75,6	84,2	81,5
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	2,7	2,7	3,9	3,9	7,2	3,7	5,5	4,0	3,9
Índice P-I – dB(L)	1,8	2,2	3,3	3,4	4,4	2,7	5,0	2,9	2,7
Potência sonora – dB(L)	92,4	92,0	95,6	94,3	95,1	97,1	91,3	98,7	98,1
Potência sonora – dB(A)	87,3	87,4	89,6	87,7	86,5	90,1	85,8	95,3	92,6
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,4	0,4	0,4	0,0	1,8	1,0	0,6	0,2	0,1
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,5	0,8	0,1	0,3	0,9	0,8	1,0	0,5	0,7

Tabela A48 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória C: 1º deck: 15 mm e 2º deck: 12 mm (telas de borracha), 3º deck: 4,5 mm (tela de metal)

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	53,4	1	44,0	1	45,7	1	38,1	1	47,4	1	49,8	1
31,5	70,7	1	61,5	1	60,9	1	54,9	1	64,9	1	67,6	1
40	60,1	1	54,1	1	54,5	1	48,1	1	51,7	1	54,2	1
50	65,5	1	59,7	6	59,9	6	53,5	2	56,2	2	59,8	6
63	66,9	1	54,3	2	56,8	6	58,4	2	58,6	2	64,4	2
80	70,8	1	56,8	2	63,1	2	68,4	2	60,1	2	61,9	2
100	77,2	1	68,2	2	68,5	2	62,4	2	74,7	2	68,7	2
125	77,2	1	63,8	2	70,4	2	64,1	2	69,1	2	74,6	0
160	79,6	1	65,8	0	72,0	0	68,2	2	70,4	2	77,3	0
200	84,2	1	71,0	0	79,9	0	74,5	0	75,3	0	79,6	0
250	85,0	1	72,3	0	77,9	0	74,1	0	77,3	0	81,9	0
315	86,3	1	75,0	0	78,0	0	74,8	0	79,2	0	83,5	0
400	87,1	1	75,8	0	79,3	0	74,6	2	80,9	0	83,8	0
500	86,7	1	74,8	0	79,0	0	71,9	6	76,9	0	84,6	0
630	88,7	1	76,3	0	79,8	0	77,5	0	79,4	0	86,6	0
800	88,5	1	77,2	0	80,0	0	79,2	0	80,2	0	85,7	0
1k	88,1	1	79,1	0	80,5	0	74,1	6	80,3	0	84,9	0
1,25k	90,2	1	81,7	0	81,0	0	73,6	6	82,3	0	87,6	0
1,6k	90,1	1	81,2	0	81,2	0	72,9	2	82,0	4	87,7	0
2k	89,5	1	80,8	0	80,8	0	73,7	2	80,1	4	87,1	4
2,5k	88,2	1	80,0	0	80,5	0	72,2	6	79,6	4	85,4	4
3,15k	87,2	1	79,3	0	79,5	0	72,0	2	78,0	4	84,4	4
4k	86,5	1	78,5	0	78,6	0	71,2	2	77,3	4	83,7	4
5k	86,0	1	78,1	0	77,8	4	70,8	2	76,4	4	83,4	4
6,3k	85,7	1	76,7	0	77,1	4	69,9	0	75,3	4	83,6	0
8k	84,8	1	75,8	1	76,1	1	68,3	1	74,2	1	82,8	1
10k	83,9	1	74,4	1	75,3	1	66,5	1	73,3	1	82,0	1

Tabela A49 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória C

Superfície	Frente	Esquerda		Fundo	Direita	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1
Altura (m)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Largura (m)	3,7	7,0	3,7	7,0	3,7	7,0
Duração (mm:ss)	01:14	01:34	01:34	02:02	01:14	01:34
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	81,9	82,5	82,5	83,4	81,9	82,5
Pressão sonora – dB(A)	78,5	77,5	77,5	79,3	78,5	77,5
Intensidade sonora – dB(L)	77,6	76,9	70,7	78,4	77,6	76,9
Intensidade sonora – dB(A)	74,9	70,7	66,4	74,7	74,9	70,7
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	3,6	6,8	11,1	4,6	3,6	6,8
Índice P-I – dB(L)	4,3	5,6	11,8	5,0	4,3	5,6
Potência sonora – dB(L)	89,3	91,4	82,4	92,9	89,3	91,4
Potência sonora – dB(A)	86,6	85,1	78,1	89,1	86,6	85,1
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,2	1,3	2,4	0,4	0,2	1,3
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,1	0,9	4,0	0,4	0,1	0,9

Tabela A50 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória C

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	42,5	1	36,3	1	35,2	1	25,4	1	39,8	1
31,5	59,2	1	51,8	1	51,3	1	40,5	1	57,3	1
40	49,9	1	46,7	1	39,2	1	41,6	1	46,6	1
50	52,6	1	50,4	2	41,1	6	46,4	6	50,2	2
63	55,0	1	50,0	2	55,4	2	49,7	6	45,5	6
80	57,2	1	52,9	6	50,2	6	54,4	6	57,0	2
100	65,4	1	54,9	6	63,4	6	50,4	2	61,7	2
125	68,0	1	59,7	2	64,6	2	57,4	2	63,0	2
160	69,9	1	63,2	2	65,3	2	54,7	2	66,6	2
200	76,6	1	66,5	0	72,6	0	67,6	6	72,4	0
250	78,6	1	69,2	0	74,0	0	68,8	2	75,1	0
315	80,7	1	70,7	0	74,6	0	73,6	0	77,4	0
400	79,6	1	71,6	0	72,9	6	70,8	2	76,6	0
500	78,1	1	72,0	0	72,7	2	63,5	6	74,4	0
630	78,6	1	72,8	0	72,9	2	62,5	6	75,2	0
800	78,7	1	72,6	0	73,4	6	60,4	2	75,5	0
1k	80,0	1	73,9	0	75,1	2	63,0	2	76,5	0
1,25k	79,9	1	74,7	0	73,6	2	67,1	6	77,1	0
1,6k	79,4	1	73,7	0	73,0	6	66,8	6	76,9	0
2k	80,1	1	73,5	0	73,1	2	63,8	6	77,9	0
2,5k	80,9	1	73,4	0	72,2	2	67,0	6	78,9	0
3,15k	80,6	1	72,5	0	71,4	2	66,8	6	78,9	0
4k	81,8	1	76,5	0	72,5	2	67,9	6	79,1	0
5k	84,2	1	82,1	0	71,8	2	68,9	6	78,9	0
6,3k	78,5	1	71,7	0	68,9	0	66,8	4	76,3	0
8k	77,8	1	69,9	1	68,2	1	66,6	1	76,0	1
10k	77,3	1	69,6	1	67,0	1	65,5	1	75,5	1

Tabela A51 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Peneira vibratória D: tipo banana com 3 decks, apenas o 1º em uso com tela de metal de 12 mm

Superfície	Frente	Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C2	L1C1	L1C2	L1C1	L1C2	L1C1	L2C1
Altura (m)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,85	2,85
Largura (m)	3,70	2,85	2,85	1,85	1,85	2,85	2,85	3,70	3,70
Duração (hh:mm:ss)	00:01:25	00:01:48	00:01:12	00:01:04	00:01:07	00:01:16	00:01:12	00:01:24	00:01:24
Sobrecarga (hh:mm:ss)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	94,8	92,4	90,7	91,5	91,2	92,1	90,7	93,5	94,4
Pressão sonora – dB(A)	93,0	89,9	87,7	89,3	89,0	89,0	87,7	91,7	92,9
Intensidade sonora – dB(L)	90,5	89,1	87,4	88,2	88,0	89,4	87,4	91,2	92,0
Intensidade sonora – dB(A)	88,4	86,3	84,3	85,5	84,9	86,1	84,3	89,5	90,7
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	4,6	3,6	3,4	3,9	4,0	3,0	3,4	2,1	2,2
Índice P-I – dB(L)	4,2	3,3	3,2	3,3	3,2	2,7	3,2	2,3	2,3
Potência sonora – dB(L)	99,2	96,7	95,0	93,9	93,7	96,9	95,0	101,4	102,3
Potência sonora – dB(A)	97,1	93,9	91,9	91,2	90,6	93,6	91,9	99,8	100,9
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,2	0,3	0,9	0,1	0,1	0,2	0,9	0,3	1,3
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,0	0,2	0,8	0,1	0,1	0,2	0,8	0,4	1,4

Tabela A52 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Peneira vibratória D: tipo banana com 3 decks, apenas o 1º em uso com tela de metal de 12 mm

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita		Topo	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	37,0	1	33,2	1	31,2	1025	27,7	1	22,2	1	36,7	1
31,5	52,6	1	46,0	1	47,2	1025	38,9	1	44,8	1	48,1	1
40	60,3	1	48,4	1	54,0	1025	47,7	1	54,8	1	56,1	1
50	58,8	1	49,3	2	52,6	1026	47,5	6	54,1	2	52,4	2
63	64,8	1	56,3	2	57,9	1026	54,2	2	58,2	2	60,3	2
80	72,0	1	65,9	2	61,5	1026	63,4	2	65,4	2	66,9	2
100	73,2	1	67,2	2	65,6	1026	61,9	2	64,9	2	68,6	2
125	77,2	1	67,2	2	67,8	1026	66,4	0	69,1	0	74,7	0
160	78,6	1	70,6	2	69,9	1024	66,9	2	71,3	0	75,1	0
200	82,2	1	74,0	0	74,0	1024	71,0	0	75,0	0	78,6	0
250	85,3	1	76,4	0	77,5	1024	76,3	0	78,3	0	81,0	0
315	89,8	1	79,1	0	83,1	1024	79,4	0	82,6	0	85,9	0
400	93,2	1	83,5	0	86,3	1024	84,1	0	84,7	0	89,5	0
500	93,1	1	84,6	0	83,5	1024	82,3	0	83,7	0	90,4	0
630	94,6	1	86,0	0	85,5	1024	83,5	0	84,8	0	92,0	0
800	95,3	1	86,9	0	85,4	1024	83,2	0	86,5	0	92,8	4
1k	97,6	1	88,8	0	88,2	1024	85,8	0	88,6	0	95,1	0
1,25k	95,7	1	87,5	0	86,4	1024	84,3	0	86,1	0	93,1	4
1,6k	94,7	1	86,2	0	84,3	1024	83,1	0	84,1	0	92,6	4
2k	94,4	1	85,5	0	84,1	1024	81,9	0	83,5	0	92,5	4
2,5k	93,9	1	85,2	2	82,9	1024	81,3	0	82,7	0	92,1	0
3,15k	93,7	1	85,6	0	81,6	1024	79,7	0	82,1	0	92,0	0
4k	93,0	1	85,0	0	81,5	1024	79,1	0	81,0	0	91,3	0
5k	92,5	1	84,2	0	80,8	1024	78,4	0	79,9	0	90,8	0
6,3k	91,6	1	83,3	0	78,7	1024	77,4	0	78,8	0	90,2	0
8k	90,6	1	82,2	1	76,7	1025	77,3	1	77,3	1	89,2	1
10k	89,8	1	80,5	1	75,7	1025	77,8	1	76,3	1	88,5	1

Tabela A53 – Dados gerais da medição de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória D

Superfície	Frente	Esquerda		Fundo	Direita	
Posição (Linha/Coluna)	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1	L1C1
Altura (m)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Largura (m)	3,7	5,7	3,7	5,7	3,7	5,7
Duração (mm:ss)	01:22	01:51	01:12	01:34	01:22	01:51
Sobrecarga (mm:ss)	0	0	0	0	0	0
Pressão sonora – dB(L)	84,9	87,1	87,2	85,2	84,9	87,1
Pressão sonora – dB(A)	82,8	85,3	85,4	82,6	82,8	85,3
Intensidade sonora – dB(L)	79,0	82,4	81,3	80,5	79,0	82,4
Intensidade sonora – dB(A)	76,2	80,9	77,6	78,0	76,2	80,9
Sentido da intensidade sonora (+1/-1)	1	1	1	1	1	1
Índice P-I – dB(A)	6,7	4,4	7,8	4,7	6,7	4,4
Índice P-I – dB(L)	5,9	4,7	5,9	4,6	5,9	4,7
Potência sonora – dB(L)	91,7	97,0	93,9	95,1	91,7	97,0
Potência sonora – dB(A)	88,8	95,4	90,2	92,5	88,8	95,4
Diferença entre varreduras – dB(L)	0,3	0,1	0,8	1,0	0,3	0,1
Diferença entre varreduras – dB(A)	0,1	0,2	0,1	1,4	0,1	0,2

Tabela A54 – Potência sonora por bandas de terço de oitava e índice de controle de ocorrências das medições de intensidade sonora – Calha da peneira vibratória D

Frequência (Hz)	Potência global dB(A)	Direção (+/-)	Frente		Esquerda		Fundo		Direita	
			Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle	Potência dB(A)	Controle
25	41,9	1	31,0	1	28,6	1	39,3	1	38,8	1
31,5	53,6	1	48,1	1	46,6	1	53,5	1	50,5	1
40	54,6	1	45,2	1	49,6	1	47,4	1	50,3	1
50	56,1	1	42,1	6	49,9	2	51,8	2	52,4	2
63	59,8	1	52,2	2	52,7	6	54,7	2	54,7	2
80	66,3	1	58,8	2	61,4	2	61,0	2	59,4	2
100	67,9	1	59,1	2	61,5	2	64,3	6	61,1	2
125	72,4	1	63,1	2	66,7	2	68,2	6	66,0	2
160	72,5	1	63,4	2	67,3	2	64,8	2	68,5	2
200	77,1	1	67,6	2	71,7	0	70,1	2	73,1	0
250	77,5	1	68,4	2	72,7	0	70,8	0	72,6	0
315	80,6	1	72,4	0	76,8	0	72,6	2	75,2	0
400	86,0	1	78,0	0	82,9	0	77,7	2	78,9	0
500	84,8	1	76,5	0	80,7	0	77,6	2	79,2	0
630	86,1	1	77,9	0	81,9	0	78,8	2	80,6	0
800	86,2	1	77,9	2	82,3	0	78,5	2	80,4	0
1k	88,2	1	79,8	2	84,3	0	80,9	2	82,2	0
1,25k	87,5	1	78,4	2	83,7	0	79,7	2	82,3	0
1,6k	87,5	1	77,6	2	84,1	0	79,1	2	82,3	0
2k	87,7	1	76,6	2	84,7	0	78,9	2	82,3	0
2,5k	88,1	1	76,6	2	85,3	0	79,7	2	82,4	4
3,15k	88,7	1	77,3	2	86,2	0	79,9	2	82,4	4
4k	87,9	1	77,2	2	85,5	0	78,8	2	81,0	4
5k	87,2	1	76,8	0	85,1	0	77,5	2	79,9	4
6,3k	85,9	1	74,9	0	84,0	0	76,4	0	78,4	0
8k	84,2	1	73,0	1	82,4	1	74,4	1	76,3	1
10k	82,4	1	71,1	1	80,7	1	71,7	1	74,6	1

APÊNDICE B – MANUAL DE USO DO PROGNOISE

MANUAL DE USO DO PROGNOISE

O PROGNOISE é um *software* que efetua o prognóstico do ruído emitido por fontes industriais em terrenos acidentados, como aqueles situados no entorno de pedreiras, utilizando os métodos de cálculo especificados nas normas ISO 9613-1:1993 e ISO 9613-2:1996.

Ele está em contínuo desenvolvimento pelo autor. Para obter uma cópia do PROGNOISE, envie um e-mail para prognoise@outlook.com.

Na sua atual versão, o PROGNOISE considera a divergência geométrica, atenuação pelo ar, atenuação por barreiras (por exemplo o próprio terreno e os taludes da cava) e atenuação pelo solo.

O PROGNOISE utiliza dois arquivos para seu funcionamento: “noise.xlsx” (planilha eletrônica no formato Microsoft Excel) e “topo.tif” (arquivo no formato GeoTIFF).

O arquivo “noise.xlsx” contém os parâmetros de operação do modelo e as potências sonoras das fontes consideradas. O arquivo “topo.tif” fornece as informações topográficas ao modelo.

Para a operação do PROGNOISE é necessário que os arquivos “noise.xlsx” e “topo.tif”, além do próprio executável “prognoise.exe”, estejam na mesma pasta.

PARÂMETROS DE ENTRADA

O arquivo “noise.xlsx” pode ser editado com qualquer *software* de planilha eletrônica, como, por exemplo, o LibreOffice Calc (não é necessário que seja o Microsoft Excel).

Parâmetros

Na figura B1 é possível visualizar a aba “parâmetros” do arquivo “noise.xlsx”, onde são definidas opções gerais de operação do PROGNOISE.

Figura B1 – Aba “parâmetros” da planilha “noise.xlsx”

	A	B	C	D	E
1	Planilhas individuais	1	1=sim e 0=não		
2	Espacamento da malha de receptores	10	metros		
3	Densidade da malha topográfica	1	metros		
4	Altura dos receptores	1,5	metros		
5	Receptores específicos	0	1=sim e 0=não		
6	X receptor mínimo	322120	metros (UTM-E)		
7	Y receptor mínimo	7392170	metros (UTM-N)		
8	X receptor máximo	324420	metros (UTM-E)		
9	Y receptor máximo	7393940	metros (UTM-N)		
10	Pressão atmosférica	760	mmHg		
11	Temperatura	20	°C		
12	Umidade relativa	70	%		
13	Difração lateral barreiras	0	1=sim e 0=não		
14	Limite atenuação barreiras	1	1=sim e 0=não		
15	Limite barreira 1	20	dB(A)		
16	Limite barreira 2	25	dB(A)		
17					

A seguir explica-se o significado de cada uma das opções disponíveis. Não deve ser inserida ou excluída qualquer linha ou coluna nessa planilha. Apenas os valores realçados na figura B1 devem ser modificados.

- Planilhas individuais (1=sim e 0=não): Especifica se devem ser geradas, além da planilha com os níveis de ruído totais esperados em cada ponto receptor (provenientes das diversas fontes sonoras consideradas), planilhas com os resultados individuais para cada fonte. Essa opção é interessante caso queira verificar quais as principais contribuições de cada fonte nos receptores considerados.
- Espaçamento da malha de receptores (metros): Especifica qual o espaçamento entre os pontos na malha de receptores a ser considerada. Devem ser escolhidos números inteiros. Recomenda-se espaçamentos de 10, 25 ou 50 metros. Uma malha muito densa, como por exemplo o espaçamento de 1 metro, requer um elevado tempo de processamento e gera uma quantidade elevada de pontos receptores (dependendo da área a ser considerada – para uma área de 1 km², por exemplo, seriam 1.000.000 receptores).
- Densidade da malha topográfica (metros): Especifica qual a densidade da malha de pontos a serem considerados para a topografia. Idealmente deve ser igual ou menor que o tamanho das células do arquivo “topo.tif”. Recomenda-se o valor de 1 metro. Valores maiores, como 5 ou 10 metros, requerem um tempo de

processamento menor, porém alguns obstáculos pequenos no terreno podem eventualmente ser ignorados, o que pode resultar, para alguns receptores, num prognóstico subestimado (ou, em alguns casos, superestimado) dos níveis de ruído.

- **Altura dos receptores (metros):** Especifica a que altura acima do solo está cada receptor considerado. Ou seja, a cota de cada ponto da malha de receptores sobre a topografia local acrescida da altura em relação ao solo. Usualmente 1,5 ou 4 metros.
- **Receptores específicos (1=sim e 0=não):** Especifica se deve ser efetuado o prognóstico para uma malha regular de receptores ou se devem ser considerados pontos receptores específicos, que estão listados na aba “lista_receptores” da planilha “noise.xlsx”. Esse recurso pode ser utilizado quando não se deseja elaborar um mapa de ruído (com isolinhas), e sim, estimar os níveis de ruído esperados em alguns pontos receptores específicos.
- **X receptor mínimo (metros):** Coordenada UTM-E (longitude) mínima da área retangular da malha de receptores a ser considerada. Embora não seja necessário, recomenda-se que a coordenada seja múltipla de 10. Não é necessário especificar o *datum* da projeção UTM, uma vez que será considerado o mesmo *datum* do arquivo “topo.tif”.
- **Y receptor mínimo (metros):** Coordenada UTM-N (latitude) mínima da área retangular da malha de receptores a ser considerada.
- **X receptor máximo (metros):** Coordenada UTM-E (longitude) máxima da área retangular da malha de receptores a ser considerada.
- **Y receptor máximo (metros):** Coordenada UTM-N (latitude) máxima da área retangular da malha de receptores a ser considerada.
- **Pressão atmosférica (mmHg):** Pressão atmosférica média a ser considerada para o cálculo da atenuação da pressão sonora pelo ar.
- **Temperatura (°C):** Temperatura média a ser considerada para o cálculo da atenuação da pressão sonora pelo ar.
- **Umidade relativa do ar (%):** Umidade relativa média do ar a ser considerada para o cálculo da atenuação da pressão sonora pelo ar.

- Difração lateral barreiras (1=sim e 0=não): Especifica se, além da difração das ondas sonoras por cima das barreiras acústicas, deve também ser considerada a difração sonora pela lateral dessas barreiras. O PROGNOISE é capaz de estimar a contribuição pela difração lateral, inclusive de barreiras inclinadas, como a topografia local e as bancadas na área de lavra. Ativar essa opção eleva significativamente o tempo de processamento. Dessa forma, recomenda-se sua utilização apenas para pontos receptores específicos ou para uma malha com poucos receptores.
- Limite atenuação barreiras (1=sim e 0=não): Especifica se deve ser considerada uma limitação para a atenuação máxima de barreiras acústicas. Se for escolhido 0 (não), barreiras altas, próximas às fontes sonoras ou próximas a determinados receptores, podem conferir atenuações superiores a 25 dB. A norma ISO 9613-2 especifica um limite de atenuação de 20 dB para barreiras simples ou finas (que oferecem uma borda para a difração) e um limite de 25 dB para barreiras grossas ou duplas (oferecem múltiplas bordas para a difração). O padrão, para operação conforme especificado pela norma ISO 9613-2, é 1 (sim).
- Limite barreira 1 (dB): Valor máximo de atenuação para barreiras simples ou finas (que oferecem uma borda para a difração). A norma ISO 9613-2 estabelece um limite de atenuação de 20 dB para barreiras simples, porém é possível especificar outro valor.
- Limite barreira 2 (dB): Valor máximo de atenuação para barreiras grossas ou duplas (oferecem múltiplas bordas para a difração). A norma ISO 9613-2 estabelece um limite de atenuação de 25 dB para barreiras duplas ou grossas, porém é possível especificar outro valor.

Fontes de ruído

Na aba “lista_fontes” do arquivo “noise.xlsx” devem ser listadas as fontes sonoras e suas potências, conforme pode ser observado na figura B2. A primeira linha, que contém os nomes de cada coluna, deve permanecer inalterada. As potências sonoras dos principais equipamentos de pedreiras estão disponíveis no item 7.1 desta tese.

Figura B2 – Aba “lista fontes” da planilha “noise.xlsx”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	nome	X UTM-E (m)	Y UTM-N (m)	h (m)	descrição	horas do período	horas de operação no período	p16Hz dB(A)	p32Hz dB(A)	p63Hz dB(A)	p125Hz dB(A)	p250Hz dB(A)	p500Hz dB(A)	p1kHz dB(A)	p2kHz dB(A)	p4kHz dB(A)	p8kHz dB(A)	p16kHz dB(A)
1																		
2	f1	323381	7394181	2,0	Britador primario	8	6	0,0	69,9	93,5	103,5	109,3	110,8	111,4	109,0	103,8	95,9	0,0
3	f2	323377	7394217	2,0	Britador secundario	8	7	0,0	73,7	82,8	96,9	107,2	112,2	115,3	115,8	110,6	102,3	0,0
4	f3	323372	7394165	2,0	Britador terciário	8	7	0,0	65,1	81,8	93,3	104,7	111,0	115,5	117,6	115,1	104,7	0,0
5	f4	323335	7394183	2,0	Peneiras vibratórias	8	7	0,0	61,6	76,5	87,1	93,1	95,2	99,0	102,9	102,3	97,4	0,0
6	f5	323370	7394043	1,5	Escavadeira 1	8	6	0,0	56,4	77,6	84,5	93,0	95,5	96,2	95,2	91,0	81,5	0,0
7	f6	323443	7394024	1,5	Escavadeira 2	8	7	0,0	62,1	81,7	97,4	99,1	103,1	103,4	101,2	96,2	87,3	0,0
8	f7	323233	7393979	1,5	Escavadeira 3	8	7	0,0	62,1	81,7	97,4	99,1	103,1	103,4	101,2	96,2	87,3	0,0
9	f8	323401	7393913	1,5	Pa carregadeira	8	4	0,0	67,8	86,1	85,8	83,8	91,0	106,8	98,0	87,7	82,9	0,0
10	f9	323239	7394389	1,5	Caminhão 1	8	6	0,0	62,9	78,8	81,3	88,3	96,4	98,6	97,5	93,0	88,0	0,0
11	f10	323506	7394250	1,5	Caminhão 2	8	6	0,0	62,9	78,8	81,3	88,3	96,4	98,6	97,5	93,0	88,0	0,0
12	f11	323784	7394102	1,5	Caminhão 3	8	6	0,0	62,9	78,8	81,3	88,3	96,4	98,6	97,5	93,0	88,0	0,0
13	f12	323634	7394077	2,0	Usina de asfalto	8	3	0,0	80,0	91,5	108,1	115,9	119,9	113,0	111,1	108,5	104,3	0,0
14	f13	323117	7393722	1,5	Perfuratriz	8	5	0,0	83,8	93,1	95,7	96,4	103,5	112,1	115,8	116,2	111,4	0,0
15																		

- Na coluna “nome” deve ser colocado um nome curto para identificação da fonte. Caso a opção “planilhas individuais” da aba “parâmetros” esteja com o valor 1 (sim), será gerada uma aba com os as contribuições individuais de cada fonte. Os nomes de cada uma dessas abas são definidos nessa coluna.
- Nas colunas “X” e “Y” (metros) são inseridas as coordenadas UTM-E (longitude) e UTM-N (latitude) de cada fonte sonora. Não é necessário especificar o *datum* da projeção UTM, uma vez que será considerado o mesmo *datum* do arquivo “topo.tif”.
- Na coluna “h” (metros) deve ser inserida a altura do centro de cada fonte sonora.
- Na coluna “descrição” (opcional) pode-se inserir uma descrição de cada uma das fontes consideradas.
- Na coluna “horas do período” (número decimal) devem ser inseridas as horas correspondentes à jornada diária de cada equipamento.
- Na coluna “horas de operação no período” (número decimal) devem ser inseridas as horas de efetiva operação de cada equipamento. A partir da comparação das “horas de operação no período” e das “horas do período” é calculado um nível de ruído equivalente para o período para cada fonte.
- Nas colunas “p16Hz, p32Hz, p63Hz, p125Hz, p250Hz, p500Hz, p1kHz, p2kHz, p4kHz, p8kHz e p16kHz” devem ser inseridas as potências sonoras por bandas de oitava em **dB(A)** de cada equipamento considerado. Caso não se conheça a potência sonora em algumas bandas sonoras, como as de “p16Hz” ou de

“p16Hz” (que normalmente são pouco significativas na ponderação de frequências “A”), colocar 0 (zero).

Lista de receptores

Na aba “lista_receptores” do arquivo “noise.xlsx” podem ser listados os receptores discretos para os quais se deseja efetuar o prognóstico dos níveis de ruído, conforme mostrado na figura B3.

Os pontos receptores da aba “lista_receptores” somente serão considerados se a opção “receptores específicos” da aba “parâmetros” estiver com o valor 1 (sim).

Figura B3 – Aba “lista_receptores” da planilha “noise.xlsx”

	A	B	C	D	E	F
	X UTM-E (m)	y UTM-N (m)				
1						
2	324369	7393648				
3	324248	7393447				
4	324184	7393302				
5	323098	7392552				
6						
7						
8						
9						
10						

INFORMAÇÕES TOPOGRÁFICAS

O PROGNOISE obtém as informações topográficas a partir de um arquivo no formato GeoTIFF com o nome “topo.tif”. A partir dessas informações, calcula a atenuação por barreiras acústicas e absorção pelo solo. Tanto barreiras naturais (a própria topografia) quanto barreiras artificiais, como taludes ou diques de terra, devem estar contidos nesse arquivo.

Para gerar um arquivo GeoTIFF pode-se utilizar diversas alternativas de *software* SIG (Sistema de Informações Geográficas). Utilizou-se o QGIS, que é um SIG de código aberto.

A figura B4 ilustra a importação de dados topográficos pelo QGIS. É possível inserir *shapefiles* (formato SHP), arquivos CAD (formato DXF), lista de pontos cotados (formato CSV), GeoTIFF (formato TIF), entre muitos outros.

Figura B4 – Importação de dados topográficos diversos pelo QGIS

Após a importação das diferentes camadas de informações topográficas, como curvas de nível das áreas do entorno e levantamento topográfico atualizado da cava, pode-se gerar o arquivo GeoTIFF a partir da ferramenta “interpolação” no QGIS.

Conforme indicado na figura B5, é possível definir as coordenadas X e Y do canto esquerdo inferior e direito superior do GeoTIFF a ser gerado. É necessário que a coordenada do canto esquerdo inferior possua, tanto em X quanto em Y, valores inferiores aos valores de “X receptor mínimo” e “Y receptor mínimo” da aba “parâmetros” no arquivo “noise.xlsx”. Analogamente, o canto direito superior do GeoTIFF deve ter coordenadas superiores aos valores de “X receptor máximo” e “Y receptor máximo”. Idealmente, recomenda-se que essa diferença entre as coordenadas X e Y máximas e mínimas do arquivo GeoTIFF e da malha de receptores seja ao menos de duas vezes o valor estabelecido para “Espaçamento da malha de receptores” da aba “parâmetros”.

Ainda, como mostrado na figura B5, pode-se escolher o tamanho das células em X e Y. Recomenda-se escolher 1 (um) para o tamanho das células (tanto em X quanto em Y), para que o GeoTIFF contemple com maior detalhamento pequenos obstáculos. Da mesma forma recomenda-se selecionar, na aba “parâmetros” do arquivo “noise.xls”, o valor 1 (um) para “densidade da malha topográfica”.

Figura B5 – Gerar um GeoTIFF a partir das curvas de nível e pontos cotados importados

EFETUAR O PROGNÓSTICO DOS NÍVEIS DE RUÍDO

Com os parâmetros de entrada da planilha eletrônica “noise.xlsx” e as informações topográficas do arquivo “topo.tif”, basta executar o PROGNOISE. Para tanto, clicar duas vezes em “prognose.exe”. Os três arquivos precisam estar na mesma pasta, como indicado na figura B6.

Para gerar um mapa de ruído, salve a aba “totais” para um arquivo no formato CSV utilizando o Microsoft Excel ou o LibreOffice Calc, e então importe o arquivo no QGIS, conforme indicado a figura B9.

Figura B9 – Importação do arquivo “totais.csv” no QGIS

Por fim, para gerar isolinhas de ruído, pode-se utilizar o *plugin* “contour” no QGIS, selecionando-se o espaçamento entre as curvas e a variação de cores, conforme ilustrado na figura B10.

Figura B10 – Elaboração de isolinhas de ruído por meio do *plugin* “contour” no QGIS