



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**ARTHUR BARBOSA BURLE**

**PROPOSTA INICIAL DE ZONEAMENTO EM ÁREAS METROPOLITANAS  
PRÓXIMAS A PEDREIRAS**

**RECIFE  
2017**

**ARTHUR BARBOSA BURLE**

**PROPOSTA INICIAL DE ZONEAMENTO EM ÁREAS METROPOLITANAS  
PRÓXIMAS A PEDREIRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Área de conhecimento: Lavra de Minas.  
Orientador Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima.

RECIFE  
2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

B961p Burle, Arthur Barbosa.  
Proposta inicial de zoneamento em áreas metropolitanas próximas a pedreiras / Arthur Barbosa Burle. – 2017.  
32 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima.  
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Departamento de Engenharia de Minas, 2017.  
Inclui Referências.

1. Engenharia de Minas. 2. Zona de segurança. 3. Velocidade de partícula. 4. Pressão acústica. 5. Ultralaçamento. 6. Mineração. I. Lima, Robson Ribeiro. (Orientador). II. Título.

UFPE

**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

A comissão examinadora de defesa do Trabalho de Conclusão do Curso

**PROPOSTA INICIAL DE ZONEAMENTO EM ÁREAS METROPOLITANAS  
PRÓXIMAS A PEDREIRAS**

Defendida por

Arthur Barbosa Burle

Considera o candidato: APROVADO

Recife, 01 de junho de 2017

**EXAMINADORES**

---

Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima - DEMINAS  
(orientador)

---

Prof. Dr. Márcio Luiz Siqueira Campos Barros - DEMINAS  
(examinador)

---

Prof. Me. Carlos Eduardo da Silva Araújo – DEMINAS  
(examinador)

---

Me. Danisete Pereira de Souza Neto - DECIVIL  
(examinador)

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a minha família, meus pais Izolda e Arnaldo Burle e ao meu irmão Arnaldo, que me deram o suporte necessário para concluir esta etapa importantíssima da minha vida.*

*À minha namorada, Andressa Mourão, que além de ser a melhor companheira para os bons momentos, sempre se esforça ao máximo para me dar todo o suporte nas dificuldades.*

*Ao meu orientador Robson Ribeiro Lima pela ideia do tema do projeto e por todo o suporte dado durante a sua produção.*

*Aos professores Marcio Luiz de Siqueira Campos Barros e Carlos Magno Muniz e Silva pela grande contribuição de informações e literatura na elaboração do tema.*

*À todo o Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, principalmente aos professores e amigos que estiveram comigo durante toda a graduação.*

*Muito obrigado,  
Arthur Burle.*

## RESUMO

A extração de agregados exerce um papel de suma importância para o desenvolvimento econômico e infraestrutural em todas as sociedades no mundo. No entanto, o desenvolvimento urbanístico quando desordenado, acaba por se sobrepor a áreas sob efeito de atividades em pedreiras, em função da sua proximidade ao mercado consumidor. Para os centros urbanos, a etapa de desmonte é o principal fator gerador de conflitos, afetando diretamente a saúde da população e a estrutura física das cidades. O uso de explosivos em pedreiras produz três fontes principais de danos; a vibração do solo, pressão acústica e o ultralancamento. Ao longo do tempo vários países buscaram desenvolver normativas para estabelecer critérios de ordenamento relacionados aos efeitos da atividade de mineração. Os dados propostos pelas normas internacionais e nacionais serviram como base técnica para a formação da proposta de zoneamento deste trabalho, resultando em três áreas de segurança, vermelha, amarela e verde, respectivamente relacionadas a menor nível de risco às comunidades e estruturas. O trabalho permitiu observar discutir a necessidade de ampliação das normas brasileiras quanto à temática, principalmente relacionado aos parâmetros de pressão sonora e ultralancamento. A caracterização infraestrutural das residências municipais é um fator a ser considerado na gestão municipal.

**Palavras-chave:** Zona de segurança. Velocidade de partícula. Pressão acústica. Ultralancamento. Mineração.

## ABSTRACT

The extraction of aggregates plays an important role for the economic and infrastructural development in all the societies in the world. However, the urban development, when disorderly, ends up overlapping areas under the effect of activities in quarries, due to its proximity to the consumer market. For the urban centers, the blasting stage is the main factor generating conflicts, directly affecting the health of the population and the physical structure of the cities. The use of explosives in quarries produces three major sources of damage; The vibration of the ground, acoustic pressure and the fly rock. Over time, several countries have sought to develop regulations to establish management criteria related to the effects of the mining activity. The data proposed by the international and national standards served as a technical basis for the zoning proposal of this work, resulting in three areas of security, red, yellow and green, respectively related to lower risk to communities and structures. The study allowed to observe the need to expand the Brazilian standards regarding the subject, mainly related to sound pressure and fly rock parameters. The infrastructural characterization of municipal residences is a factor to be considered in municipal management.

**Keywords:** Safety zone. Particle velocity. Acoustic pressure. Ultrasound. Mining.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.2 OBJETIVOS .....	10
<b>1.2.1 Objetivo específico</b> .....	10
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	11
2.1 PEDREIRAS: CONSIDERAÇÕES QUANTO À DETONAÇÃO .....	11
2.2 VELOCIDADE DE PARTÍCULA E FREQUÊNCIA .....	12
2.3 PRESSÃO ACÚSTICA .....	15
2.4 ULTRALANÇAMENTO .....	18
2.5 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL NO BRASIL .....	19
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	20
<b>4 PROPOSTA DE ZONEAMENTO PRÓXIMAS A PEDREIRAS</b> .....	22
4.1 VISÃO GERAL DA PROPOSTA .....	22
<b>4.1.1 Velocidade de partícula</b> .....	23
<b>4.1.2 Pressão acústica</b> .....	25
<b>4.1.3 Ultralanchamento</b> .....	26
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	28
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a pré-história, o período neolítico, conhecido como o processo de sedentarização de grupos nômades, que transformou o curso da espécie humana, esteve estreitamente associado aos avanços derivados da idade da pedra, (COPPE & COSTA, 2009). Desde então, atividades de extração mineral, como pedreiras, exercem papel importante na construção das sociedades humanas a partir de sua influência direta no desenvolvimento econômico e infraestrutural.

Apenas em 2009, o mercado de exportação brasileiro de britas movimentou cerca de 578,19 bilhões de dólares (DNPM, 2010). Os agregados de uso na construção civil são considerados bens minerais de uso social, portanto indispensáveis para as necessidades do homem urbano contemporâneo.

Dentre os benefícios de implementação do setor de extração de rochas em localidades menores, destaca-se a elevação nos índices de empregabilidade e aumento do desenvolvimento urbano no contorno. Em termos de extração mineral, pedreiras possuem alto custo benefício em função do baixo despendimento operacional em relação ao produto final. Características gerais de pedreiras incluem grandes volumes produzidos, beneficiamento simples, baixo preço unitário e necessidade de proximidade da fonte de produção com o mercado consumidor (TONSO, 1994).

No entanto, a ausência ou descumprimento de planos diretores municipais e processos de urbanização desordenados geram intensos conflitos territoriais locais (DJORDJEVIC, 1997; SANCHEZ, 1987). Prejuízos às pedreiras próximas envolvem redução em sua produtividade por restrições impostas à execução correta de planos de lavra pré-estabelecidos, onde por vezes requerem mesmo a finalização das atividades de mineração, (MUNARETTI *et al.*, 2006a, 2006b).

Danos à saúde da população instalada próximas à área da jazida compreendem, disfunções pulmonares como a silicose (GABAS, 2008), doença desenvolvida a partir da exposição constante a poeira de sílica e que facilita aos enfermos a contração de comorbidades como a tuberculose, (BARBOZA *et al.*, 2008). Submeter-se a altos níveis de pressão sonora em decorrência da etapa de detonação em pedreiras é causa da perda irreversível de funções auditivas, (SCHRAGE, 2005).

Na identificação destes aspectos nocivos são estabelecidos parâmetros mensuráveis associadas às atividades em pedreiras. Em curto prazo são utilizadas vibração e frequência de partícula, pressão sonora e ultralancamento. Em longo prazo a presença de aerossóis (ABNT, 1999) é avaliada, principalmente adaptada para

equipamentos de proteção individual como respiradores e peças semifaciais filtrantes (PFFs) para funcionários da mina.

Uma síntese das principais legislações atribuídas aos parâmetros citados evidencia a ausência de especificações em normas da ABNT para os diferentes tipos de danos causados pelo desmonte em pedreiras. A exemplo das diretrizes norte-americanas, europeias, australianas e indianas, complexos urbanos são normalmente classificados em relação ao tipo de uso ou material de construção, (BARROS, 2005; BACCI, 2003). No contexto brasileiro, dados a nível nacional são insuficientes, sendo encontrados em sua maioria na região Sudeste.

Visto que as normas brasileiras necessitam de contribuições para o aperfeiçoamento de suas diretrizes e buscando contribuir na criação de alternativas que elucidem principais conflitos entre sociedade e pedreiras, o seguinte trabalho propõe um modelo de zoneamento de segurança relacionado às jazidas. Além disto, o cunho teórico desta pesquisa e a necessidade de experimentações das hipóteses elaboradas incentiva o empenho da comunidade acadêmica sob este tema tão relevante para políticas nacionais.

## 1.2 OBJETIVOS

Contribuir para o estabelecimento de diretrizes a partir de três critérios (vibração de partícula/frequência, pressão acústica, ultralancamento) potencialmente danosos e oriundos de detonações em pedreiras, visando ordenamento na construção de lotes habitacionais em áreas próximas.

### 1.2.1 Objetivo específico

- Desenvolver zoneamento de áreas próximas a pedreiras a partir de dados bibliográficos, com embasamento legislativo nacional e internacional.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentadas as bases bibliográficas para conceituar a importância dos parâmetros destacados na estruturação do plano de zoneamento. Serão abordados aspectos quanto à detonação, os três parâmetros selecionados (vibração de partícula e frequência, pressão sonora, ultralancamento) e aspectos da construção civil brasileira, este último importante para futuros trabalhos que visem complementar a proposta aqui apresentada.

### 2.1 PEDREIRAS: CONSIDERAÇÕES QUANTO À DETONAÇÃO

Pedreiras exploram rochas com diversas propriedades relacionadas à composição, dureza, porosidade, falhas, dobras, diaclases, xistosidade e comportamento. De acordo com Coppe & Costa (2009), “segundo a ANEPAC, a participação dos tipos de rochas utilizadas na produção de brita é a seguinte: (i) granito e gnaisse – 85%; (ii) calcário e dolomito – 10%; (iii) e basalto e diabásio – 5%.”.

A variabilidade nas propriedades mineralógicas produz diferentes cenários quanto ao desmonte por explosivos. Morais & Gripp (2004) discutem alguns modelos computacionais que se propõem a realizar projeções quanto à fragmentação das rochas; destacando que a irregularidade quanto às características de cada rocha dificulta a padronização de apenas um plano de fogo, requerendo das pedreiras um mapeamento detalhado das frentes de lavra, de forma a compreender o comportamento da rocha.

Em um ensaio realizado por Correia (op.cit), cinco amostras de mesmas dimensões para diferentes rochas graníticas foram submetidas a um furo vazante cada, onde foram colocados em sequência um cordão detonante e uma carga explosiva, de forma idêntica. Apesar de todas as rochas serem graníticas a diferença dos resultados pode ser evidenciada na figura 01.

**Figura 01.** Visualização das amostras após ensaios com explosivos.



**Fonte:** Correia, 2011.

Desta forma, a variação nas rochas implica ainda na elaboração da malha da detonação, nos tipos e quantidades de explosivos necessários para a fragmentação desejada. Sabendo que os custos mais altos do processo de desmonte em uma mineração são de perfuração e fragmentação secundária, destaca-se a importância financeira para a empresa de que a detonação seja feita de maneira correta, bem como para as comunidades vizinhas, evitando com isso uma necessidade de uma detonação secundária, (CORREIA, op.cit.).

Durante a etapa de detonação, é necessário que parâmetros adotados como indicadores de segurança em torno da mina sejam analisados para possíveis riscos. Uma vez que a área de mineração tenha sido completamente analisada, a investigação da bancada requer atenção particular, com projeções multidirecionais quanto à emissão de fatores de impacto.

É ainda imprescindível, a correlação dos dados obtidos com a meteorologia local, principalmente para variações em umidade do ar, períodos de inversão térmica e saturação de água no solo, pois estes produzem mudanças significativas nos parâmetros analisados.

## 2.2 VELOCIDADE DE PARTÍCULA E FREQUÊNCIA

A todo momento sismólogos necessitam utilizar técnicas de monitoramento da intensidade de terremotos. Desde o século XIX desenvolveram-se os primeiros estudos

aplicados à confecção de “*isoseismal maps*”<sup>1</sup> para compreender o comportamento das vibrações de partícula em relação ao epicentro do terremoto, (VARGA, 2008; MUSSON, 2009).

Os primeiros estudos associando velocidade de partícula ao desmonte de rochas em pedreiras foram realizados por Calder & Bauer (1971), buscando correlacionar a eficiência de fragmentação após a aplicação de tensão em um talude. A energia dissipada dissocia-se em ondas mecânicas de acordo com propriedades da rocha (BARROS, op.cit.).

Estas ondas, descritas por Crosby (1998), reduzem a capacidade ou força de fragmentação em relação ao aumento de distância da fonte. Quando a rocha não sofre quebras, a energia apresenta-se em forma de vibração de partícula, (LIMA, 2001). O quadro 02 elaborado por Jimeno et al. (1995) identifica as principais variáveis passíveis ou não de controle pelo empreendimento de mineração em relação a vibração de partícula.

**Quadro 02.** Variáveis controláveis e não-controláveis relacionadas à velocidade de partícula em minerações. **Fonte:** Jimeno et al. (1995). Conteúdo traduzido pelo autor.

VARIÁVEIS	VIBRAÇÕES DO SOLO		
	BAIXA	MODERADA	ALTO
<b>OPERAÇÕES COM POSSIBILIDADE DE CONTROLE</b>			
Carga por espera	X		
Tempo de retardo	X		
Acurácia dos acessórios de detonação	X		
Distância à frente e espaçamento		X	
Quantidade de tampão			X
Tipo de tampão			X
Comprimento e diâmetro de carga			X
Ângulo do furo			X
Direção de iniciação		X	
Peso de carga por detonação			X
Profundidade da carga			X
Cordão detonante coberto ou livre		X	
Sistema de iniciação – elétrico ou não elétrico			X
<b>OPERAÇÕES SEM POSSIBILIDADE DE CONTROLE</b>			
Superfície geral do terreno		X	
Tipo e profundidade do estéril		X	
Condições atmosféricas			X

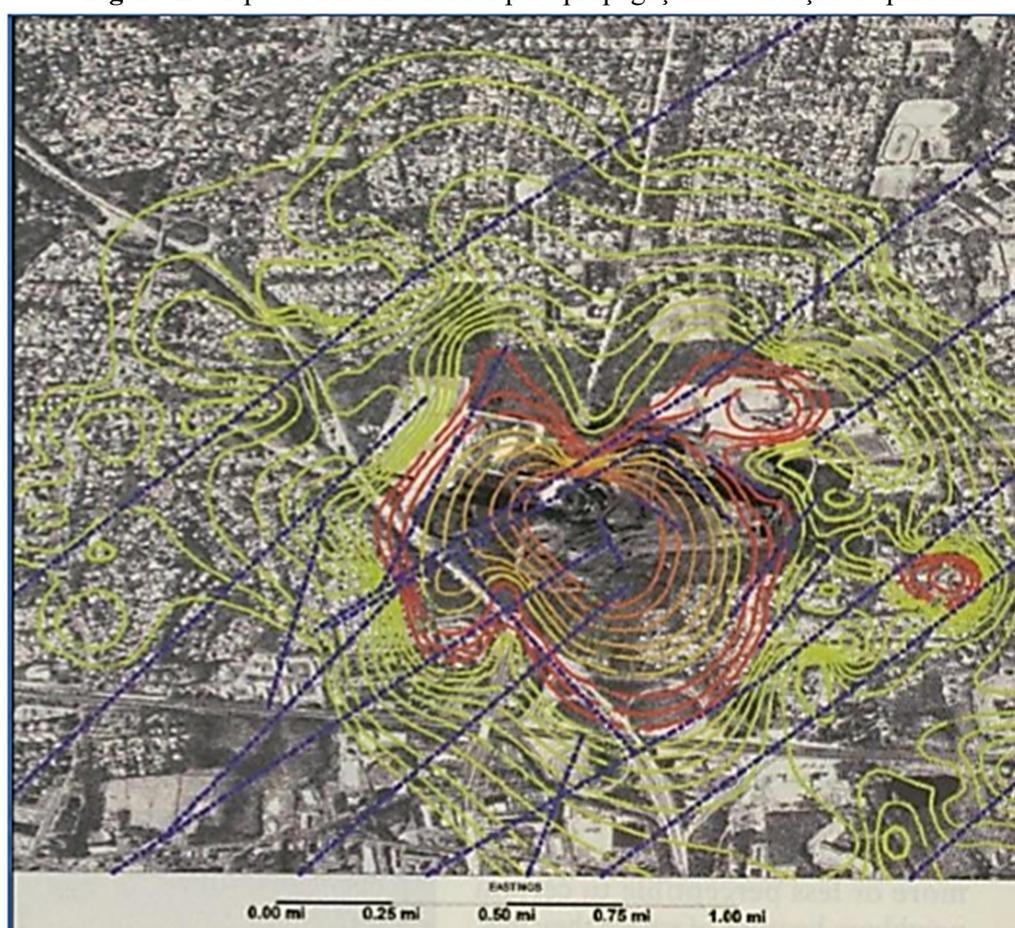
Além disto, efeitos da velocidade partícula também estão associados à frequência da mesma, definido por Holmberg (2000) como “o número de oscilações da

<sup>1</sup> Mapas de iso-velocidades.

vibração de partículas do solo por segundo, quando o tremor derivado das detonações atravessa estruturas residenciais”. A intensidade de impacto de casas e edifícios quanto à frequência depende ainda de três variáveis, (i) massa, (ii) altura e (iii) rigidez. Aquelas menores e mais rígidas são menos resistentes em relação a valores mais altos.

Utilizando a técnica de *isoseismal maps*, a empresa *Geosonics Inc.*, fabricante de sismógrafos, desenvolveu um sistema com alto nível de detalhamento utilizando cerca de cem sismógrafos. Em única detonação gerou-se um mapa iso-velocidades para vibração de partículas em torno da mina. Desta maneira, analisou-se possíveis danos causados em estruturas localizadas a centenas de metros do ponto de detonação assim como mapeado por Reil (1998) na figura 2 (CANEDO, 2013).

**Figura 2.** Mapa de iso-velocidades para propagação de vibração de partícula.



Fonte: Reil, 1998.

Devido ao elevado preço de sismógrafos, testes como este se tornam inviáveis para a maioria das mineradoras. Uma adaptação deste sistema foi proposta por Iramina (2002) em uma pedreira no estado de São Paulo. Utilizando nove sismógrafos em oito detonações distintas e, considerando que para longas distâncias, os pontos de

detonações poderiam ser aproximados a um só. O método consiste em se obter as relações carga-distância para cada linha direcional e interpolar os pontos intermediários das retas obtidas, gerando modelos aproximados do comportamento de vibração de partícula na área (IRAMINA, op.cit.).

Segundo Duvall & Fogelson (1962), quando a velocidade de vibração de partículas a partir da detonação da carga explosiva é superior a 190 mm/s, os efeitos às construções civis são negativos, representados pela queda de reboco ou rachaduras. Todavia, velocidades maiores que 140 mm/s já são significativamente nocivas, causando danos como trincas no reboco e aberturas de rachaduras preexistentes.

### 2.3 PRESSÃO ACÚSTICA

O termo “som”, derivado de base indo-europeia “*swein*” onde significa “soar, fazer ruído”, é definida por Alves (2004) como o conjunto de vibrações regulares que causam perturbação na pressão atmosférica. Estas oscilações são identificadas pelo aparelho auditivo humano. Alves ainda define “ruído” como o resultado de sons irregulares. Ruídos são fonte de desconforto para os indivíduos no ambiente, (GRANDJEAN, 1982).

Ruídos são frequentemente associados a atividades industriais e de mineração, tornando-se um dos principais problemas sanitários para funcionários e comunidades próximas. Níveis de pressão sonora (NPS) ou ruído são expressos em decibéis (dBL), o NPS interessa-se em mensurar a intensidade e tempo de exposição, fatores capazes de causar danos irreversíveis à saúde auditiva, (GIRARDI & SELLITO, 2011).

O ruído derivado das atividades de detonação em uma pedreira pode ser decomposto em quatro tipos de pressões principais. Fontanelli et al. (2015) caracterizam os em, (i) pulso de pressão do ar, causado pelo desprendimento de fragmentos de rochas da face do talude; neste fenômeno, a intensidade de ruído será inversamente proporcional à profundidade do explosivo. Embora possua alta amplitude, sua frequência é reduzida, por isto não causa tantos danos à saúde humana.

O (ii) pulso de pressão da rocha possui baixa amplitude e é o mais veloz, normalmente é irrelevante nas análises. Em terceiro é descrito o (iii) pulso de liberação de gases originado no momento da decomposição do explosivo, responsável pela fragmentação da rocha. Por último, o (iv) pulso de liberação de tampão, derivado do escape de gás. O pulso de liberação de gases soma-se ao pulso de liberação de tampão,

possui elevada frequência de onda, sobrepondo-se ao pulso de pressão de ar e causando danos à população.

A norma NBR 9653 (op.cit.) estabelece para etapas que incluem uso de explosivos em áreas urbanas, que os valores de NPS não devem ultrapassar 100Pa, correspondente a 134 dBL/pico. Embora a NR-15 (1978), lançada pelo Ministério do Trabalho, estabeleça o valor máximo de 85 dBL, a mesma também esclarece as diferenças entre “ruído contínuo ou intermitente” (RCI) e ruído de impacto (RI). Detonações são categorizadas como RI, pois possuem tempo de exposição inferior a 1 segundo e demoram mais que este período para se repetirem.

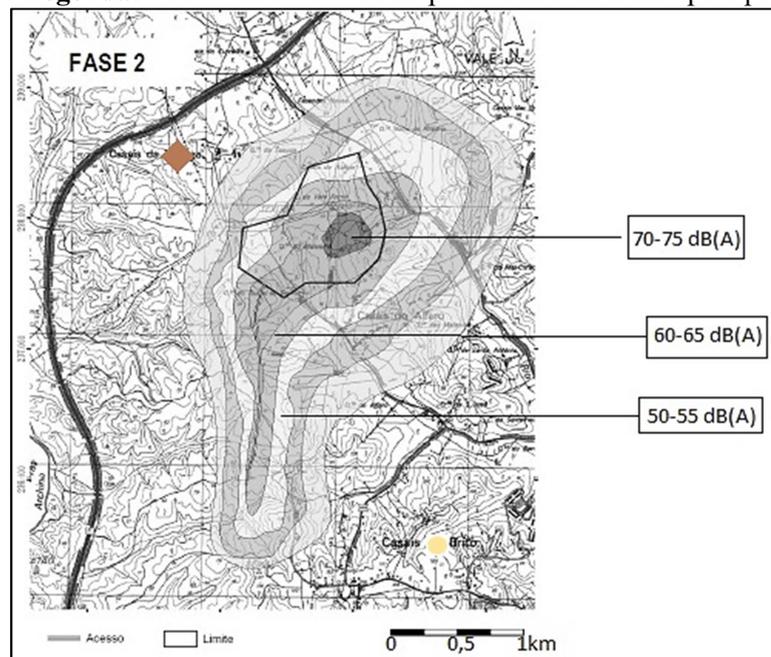
Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 9/2007, denominado “Regulamento Geral do Ruído” (RGL) classifica zonas sensíveis e mistas, de responsabilidade da Câmara Municipal, com o objetivo de monitorar os níveis de ruídos aos quais a população está submetida. No texto da RGL (2007), com máximo diurno de 55 dBL, as áreas sensíveis são definidas como,

*“Áreas definidas em plano de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento noturno”.*

Zonas mistas são definidas como “áreas definidas em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afetada por outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos à definição de zona sensível”, e devem apresentar valores máximos de NPS de 65 dBL. Ferreira & Guerreiro (2011) apresentam os níveis típicos de ruídos existentes em extrações minerais. Desmonte de rochas com a detonação de explosivos apresentam valores de 70-140 dBL distando cerca de 20 metros da pega de fogo.

Ainda ao que diz respeito ao trabalho desenvolvido por Ferreira & Guerreiro (op.cit.), os autores analisam a aplicação de mapas de ruídos (figura 03) no monitoramento do conforto ambiental. Objetiva-se o acompanhamento dos níveis de ruído de todas as operações de uma pedreira.

**Figura 03.** Mapas de ruído para diversas fases da exploração de uma pedreira ou mina a céu aberto. **Legenda:** Pontos marcados no mapa identificam municípios próximos.



**Fonte:** Adaptado de Ferreira & Guerreiro, (2011).

Monitoramentos são importantes, pois durante a detonação, a exposição ao pico de pressão sonora pode causar graves complicações auditivas. A projeção das ondas sonoras dependerá de fatores físicos como, a (i) distância, (ii) umidade do ar e (iii) temperatura, prejudicial em horários de inversão térmica pela ampliação dos impactos sonoros da detonação. O quadro 03 elaborado por Jimeno et al. (op.cit.), identifica as principais variáveis passíveis ou não de controle pelo empreendimento de mineração, relacionadas à pressão acústica.

**Quadro 03.** Variáveis controláveis ou não-controláveis relacionadas à pressão sonora em detonações. **Fonte:** Jimeno et al. (1995). Conteúdo traduzido pelo autor.

VARIÁVEIS	PRESSÃO SONORA		
	BAIXA	MODERADA	ALTO
<b>OPERAÇÕES COM POSSIBILIDADE DE CONTROLE</b>			
Carga por espera	X		
Tempo de retardo	X		
Distância à frente e espaçamento	X		
Quantidade de tampão	X		
Tipo de tampão		X	
Comprimento e diâmetro de carga			X
Ângulo do furo			X
Direção de iniciação	X		
Peso de carga por detonação			X
Profundidade da carga	X		
Cordão detonante coberto ou livre	X		
Sistema de iniciação – elétrico ou não elétrico			X
<b>OPERAÇÕES SEM POSSIBILIDADE DE CONTROLE</b>			
Superfície geral do terreno		X	
Tipo e profundidade do estéril	X		
Vento	X		
Condições atmosféricas	X		

As medições de pressão sonora devem ser feitas segundo a norma NBR 10151 (ABNT, 2000), onde são necessários um medidor de pressão sonora e um calibrador, ambos com certificado de calibração da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), renovado no mínimo a cada dois anos. O calibrador deve ser utilizado imediatamente antes e após cada medição, caso seja necessário, ajustes no medidor de pressão sonora devem ser efetuados.

## 2.4 ULTRALANÇAMENTO

Dos critérios avaliados no trabalho até o momento, a variável “ultralançamento” é ponto fundamental nas discussões sobre segurança no entorno de pedreiras. O lançamento de fragmentos ocorre em função da etapa de desmonte, colocando em risco a vida de seres humanos e estruturas residenciais. Desta forma, o ultralançamento é um dos principais fatores para a geração de conflitos socioambientais, como destacado em estudo de caso no município de Pocinhos, no Agreste Paraibano, (PATRÍCIO *et al.*, 2013).

Como ponto de partida para a compreensão e elaboração de estratégias que evitem o ultralançamento, é necessário analisar a geologia do material a ser extraído. O alto número de falhas e dobras em materiais rochosos favorecem o fenômeno. No

entanto, rochas com elevado grau de homogeneização usualmente requerem grande quantidade de explosivos, portanto, o segundo caso é o maior responsável pela maior frequência destes eventos. Além disso, os tipos de explosivos, distribuição, posição dos furos, tamponamento e os tempos de retardos são outras variáveis que precisam ser avaliadas. (JIMENO *et al.*, op.cit.)

O modelo empírico norte-americano para calcular a velocidade inicial de ultralancamento de um fragmento rochoso foi sugerido por Julius Roth, em 1979.

$$V_o = \sqrt{2E} \times f(q_l \div m_l)$$

Onde,

$V_o$ = velocidade inicial $\sqrt{2E}$ = constante de Gurney (referente ao tipo de explosivo) $q_l$ = concentração de explosivo por unidade de comprimento $m_l$ = Massa total de material por unidade de comprimento
--

A função f depende da geometria do sistema. Para bancadas verticais, a equação foi alterada para a fórmula abaixo. Sendo  $\sqrt{2E'}$  um valor menor do que  $\sqrt{2E}$  sugerido pelo autor.

$$V_o = \sqrt{2E'} \times (q_l \div m_l)$$

Sabendo que este parâmetro é o único que não tem algum tipo de gradação para a intensidade do dano, além de ser o maior causador de riscos graves, como danos físicos e até mesmo óbitos, é fundamental que ele seja completamente eliminado. Portanto, é importante reforçar que este parâmetro seja provido de um amplo fator de segurança em relação às distâncias que podem ser atingidas, evitando assim, acidentes em função de erros de cálculos ou operacionais.

## 2.5 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL NO BRASIL

Nas regiões sul e no sudeste do Brasil, assim como em países como os Estados Unidos e Japão, é bastante difundido o método de construção denominado *Steel frame*. (OLIVEIRA, 2012; BERTOLINI, 2013). Caracterizam-se por seu perfil metálico, com isolamento térmico e acústico, bases estruturais em madeira ou aço galvanizado, dobras e fechamentos externos são envoltos por placas de cimento, madeira ou gesso. (ROSENBAUM, 2009).

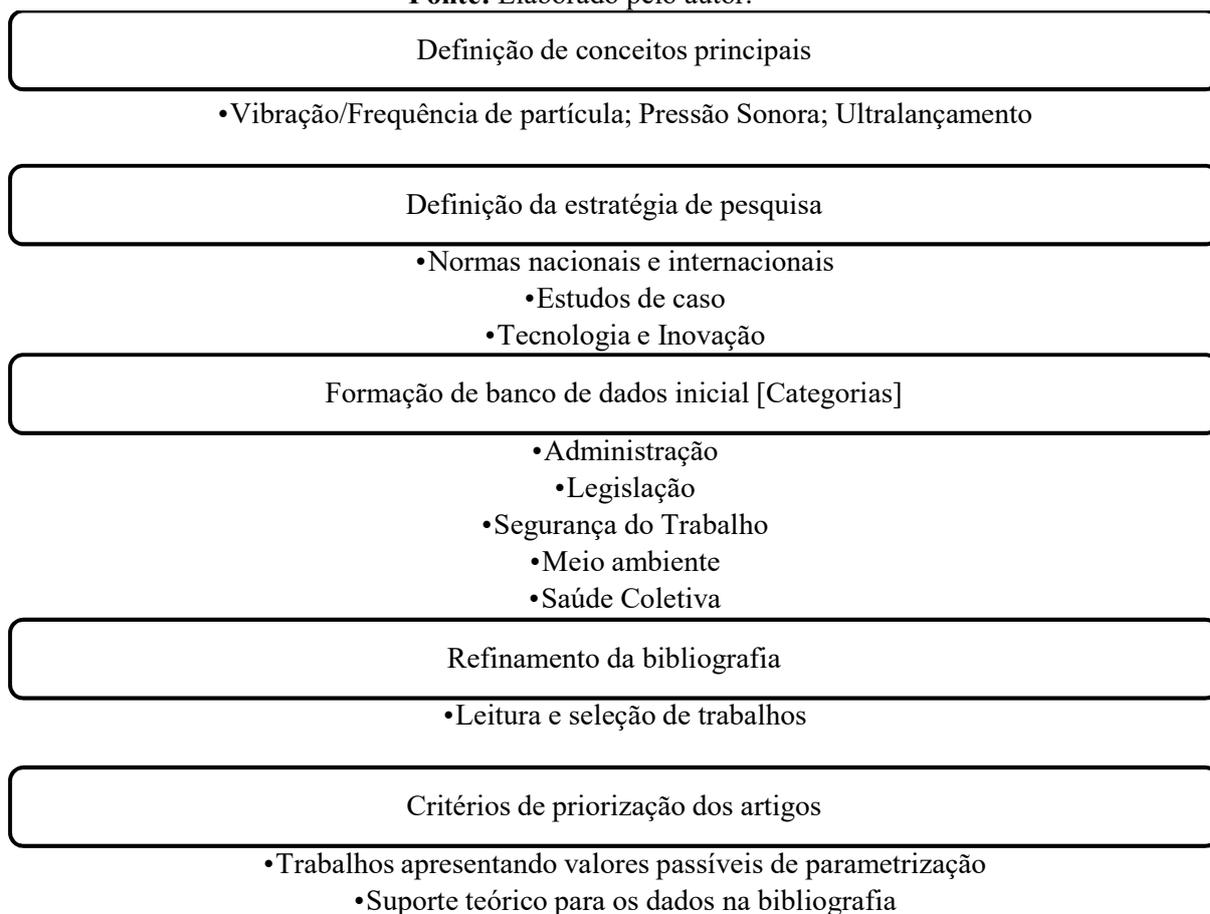
Contudo, o contexto nordestino utiliza majoritariamente o método denominado tradicional, baseado em alvenaria de tijolos cerâmicos com cimento e areia. A escolha por este tipo de método acontece pela ausência recursos e mão de obra qualificada, tendo um menor custo para a construção, (OLIVEIRA, op.cit.) Estas estruturas não oferecem proteção aos impactos inferidos por desmontes em minerações próximas, e possivelmente estão associadas a processos de urbanização desordenados, os quais geram os principais conflitos citados neste trabalho.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho teve como principal método de pesquisa o levantamento bibliográfico, sua esquematização apresenta-se abaixo (esquema 01), com destaque para a definição de cinco categorias principais na etapa de formação do banco de dados.

**Esquema 01.** Etapas de planejamento e execução para o trabalho de conclusão de curso.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.



Para o banco de dados foram utilizados os periódicos CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior), *SCIELO* (*Scientific Electronic Library*

*Online*) e REM (Revista Escola de Minas), além de outras obras literárias. Através da busca por termos livres (quadro 01), houve a recuperação de um grande número de trabalhos que discutiam a temática para as categorias citadas (esquema 01), no entanto, como critério de seleção, a prioridade foi dada para estudos realizados em território brasileiro.

**Quadro 01.** Combinações realizadas com o termo “pedreiras”. **Fonte:** Elaborado por autor.

<b>TERMOS E COMBINAÇÕES UTILIZADOS</b>
Pressão acústica; ruído; conflitos socioambientais; ultralancamento; segurança do trabalho; vibração de partícula, urbanização; estruturas civis, legislação, explosivos; desmonte.

A partir dos números obtidos, destacam-se entre a década de 90 e 00, trabalhos realizados com temática administrativa e aumento na eficiência de produção, além da questão sanitária de operários, categorizados como “administrativos” e “segurança do trabalho”. Destaca-se a partir dos anos 2000 um aumento vertiginoso em temáticas ambientais, com conflitos territoriais, redução dos impactos associados à atividade de britagem e derivados. Após o ano de 2010, crescem o número de trabalhos na categoria “Tecnologia e Inovação”, propondo alternativas viáveis em pedreiras para diminuição dos impactos e conflitos locais.

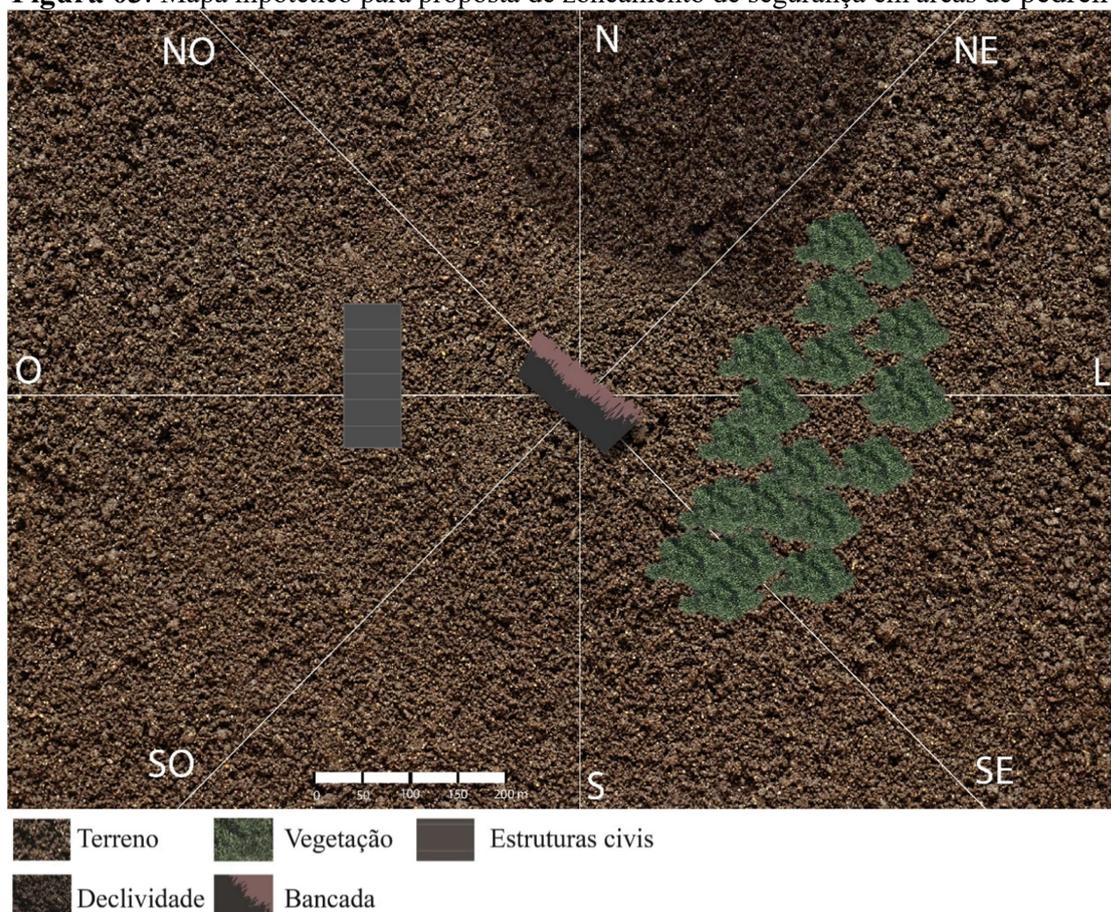
#### 4 PROPOSTA DE ZONEAMENTO PRÓXIMAS A PEDREIRAS

Inúmeros conflitos territoriais entre pedreiras e sociedades poderiam ser evitados com esforços para parametrização de zonas de segurança. A sugestão do presente trabalho é que sejam feitas medições para velocidade de partícula e pressão acústica em oito direções radiais de ângulos equidistantes a partir da bancada da pedreira, além de cálculos de ultralaçamentos. Desta forma, obtém-se valores de distância aproximados aos dos parâmetros do modelo e assim, formar as zonas de segurança.

##### 4.1 VISÃO GERAL DA PROPOSTA

Um mapa foi elaborado (figura 03) para ilustrar a sugestão de zoneamento dada no presente trabalho. A Estrutura central representa uma bancada de uma pedreira com a frente livre no sentido NE e em sua volta, foram postos alguns obstáculos para exemplificar possíveis alterações nas medições dos mesmos.

**Figura 03.** Mapa hipotético para proposta de zoneamento de segurança em áreas de pedreiras.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O zoneamento é proposto em três níveis para velocidade de partícula e pressão acústica e em dois níveis para ultralaçamento. A zona vermelha é uma área

considerada de elevado índice de risco para o parâmetro avaliado. Na zona amarela é autorizado a construção de residências, contanto que haja rigorosa adequação às medidas de segurança que devem ser geradas a partir de relatório individual, este deve ser apresentado por empresa terceirizada e de total responsabilidade da empresa. Por último, a zona verde representa a ausência de riscos para comunidades e suas estruturas residenciais.

Primeiramente, é importante ressaltar que em função da ausência de experimentação nas hipóteses aqui elaboradas, dados foram retirados a partir da revisão bibliográfica e utilizados.

#### 4.1.1 Velocidade de partícula

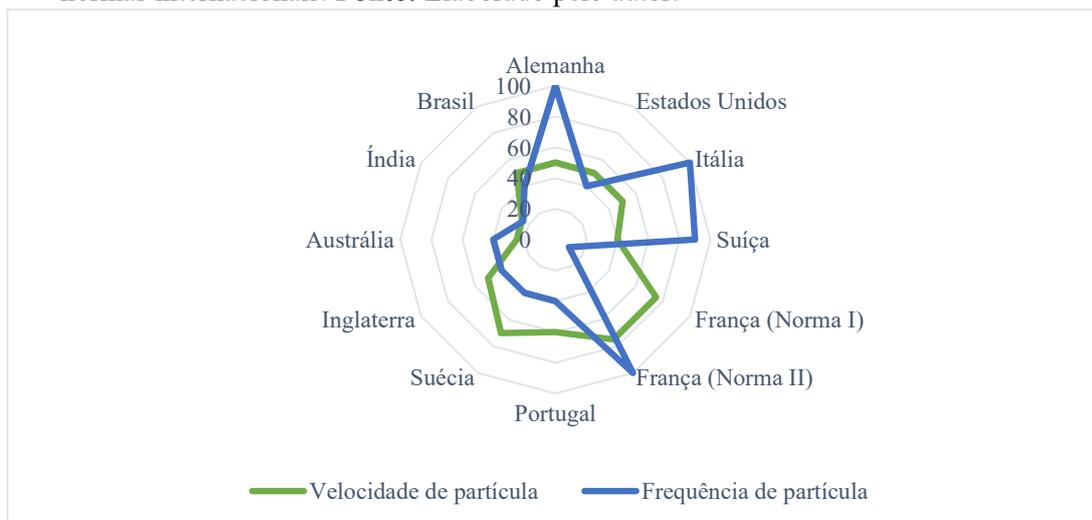
Legislações em diversos países propõem níveis mínimos e máximos de velocidade de partícula e frequência para áreas próximas a minas. Estas normas definem que as estruturas podem resistir a velocidades de partícula consideravelmente mais altas caso a frequência também esteja mais elevada. A tabela 01 apresenta uma sumarização das principais normas internacionais e as compara à brasileira.

**Tabela 01.** Sumarização das legislações referentes à velocidade de partícula e frequência.  
**Fonte:** Adaptado de Bacci *et al.*, (2003b); Barros (2005).

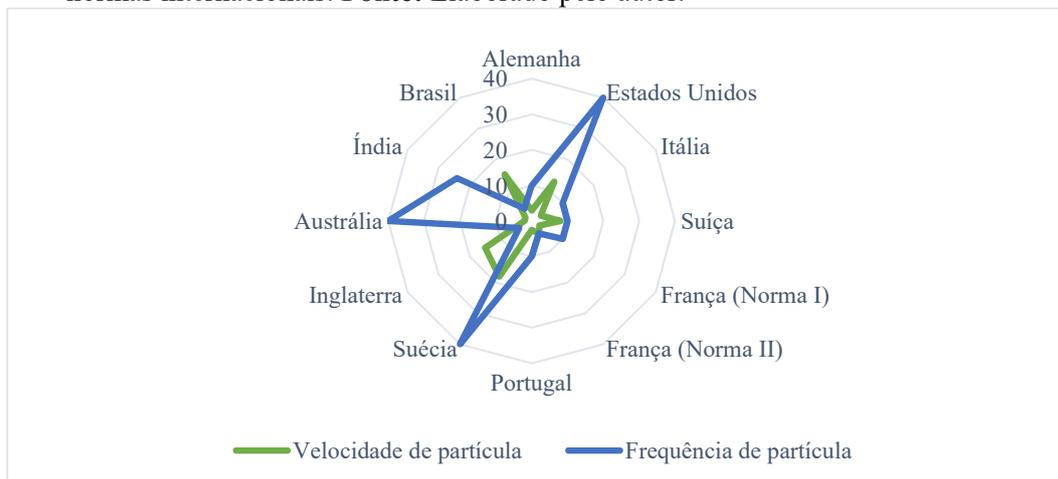
Países	Velocidade de partícula (mm/s)		Frequência (Hz)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Alemanha	3	50	<10	100
Estados Unidos	12,7	50	<40	40
Itália	3	50	<10	100
Suíça	8	40	<10	90
França	2,5/4,0	75	<10/4	10/100
Portugal	2,5	60	<10	40
Suécia	18	70	<40	40
Inglaterra	15	50	<4	40
Austrália	2	25	<40	40
Índia	2	25	<24	24
Brasil	15	50	<4	40

O gráfico 01 apresenta os valores máximos dos parâmetros analisados. Observa-se que as normas estabelecem velocidade de partícula em média de aproximadamente 50mm/s, estando de acordo a NR 9653 (ABNT, 2005). O gráfico 02 apresenta os valores máximos de velocidade de partícula para os níveis baixos de frequência das normas analisadas. A média obtida para este parâmetro foi de 7,3mm/s, um valor bastante inferior quando comparado à norma brasileira.

**Gráfico 01.** Valores máximos para velocidade de partícula e frequência nas principais normas internacionais. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

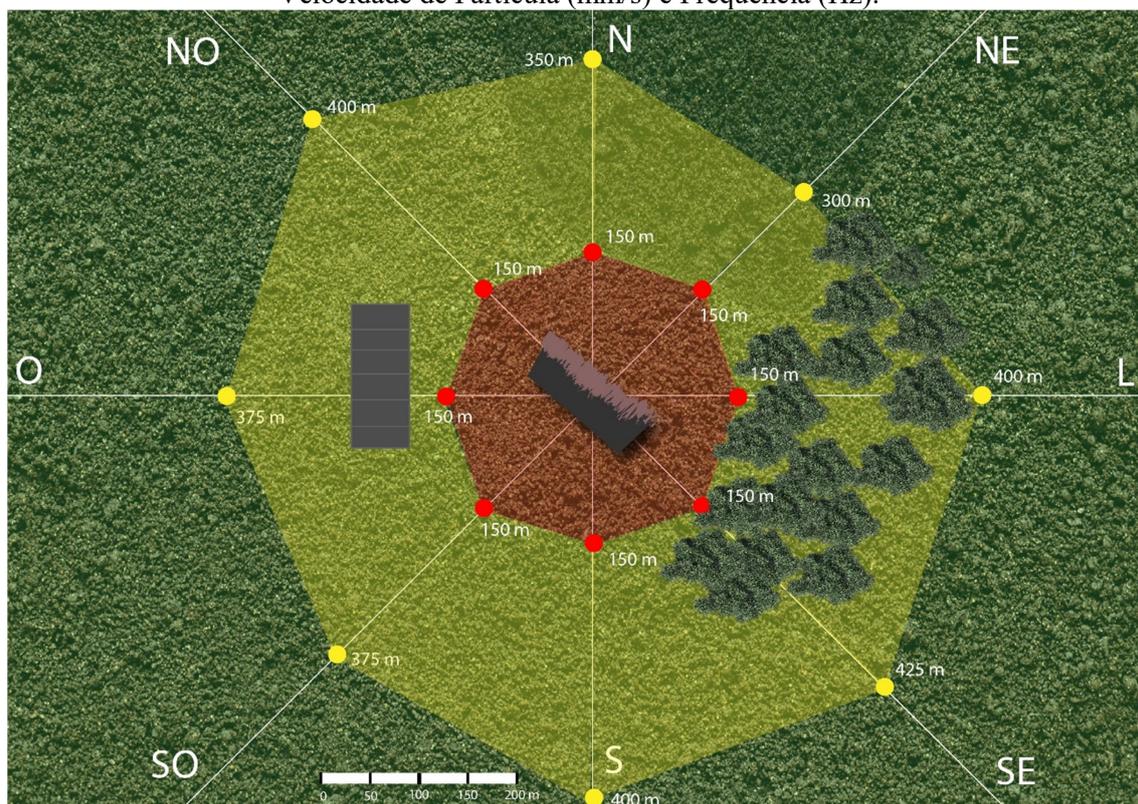


**Gráfico 02.** Valores mínimos para velocidade de partícula e frequência nas principais normas internacionais. **Fonte:** Elaborado pelo autor.



Diante das médias obtidas foi definido para a parametrização das zonas de segurança que, para qualquer valor de frequência, nenhum tipo de residência poderia ser construída em áreas em que as medições de velocidades de partícula são superiores a 50 mm/s e em zonas com medições inferiores a 7 mm/s, qualquer tipo de estrutura pode ser erguida sem riscos de danos provenientes da detonação. A figura 04 exemplifica as zonas para velocidade de partícula com dados hipotéticos.

**Figura 04.** Mapa hipotético para proposta de zoneamento de segurança a partir da análise de Velocidade de Partícula (mm/s) e Frequência (Hz).



Fonte: Elaborado pelo autor.

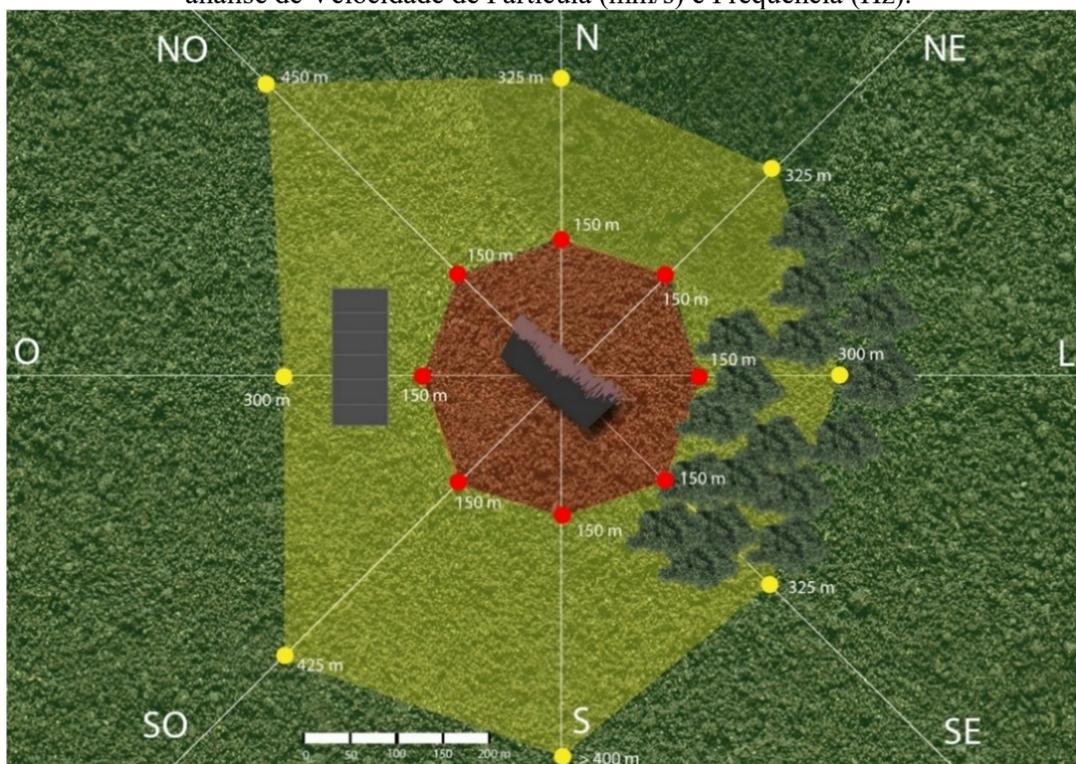
Na zona amarela seriam permitidas construções com maior resistência a vibrações do solo, como edifícios industriais leves com estruturas de concreto armado ou metálicas. É possível notar que nos sentido norte (N) e nordeste (NE) as distâncias atingidas pela zona amarela foram significativamente reduzidas, isto ocorre em função da presença de um componente vertical adicionada no caminho da propagação, e como consequência, a distância horizontal final atingida é menor.

#### 4.1.2 Pressão acústica

Para estabelecer o limite entre zona vermelha e amarela em função dos parâmetros de pressão acústica, é necessário que sejam executadas medições dentro de residências construídas segundo requisitos para a área amarela. Aspectos relacionados a estruturas incluem, eficiente isolamento acústico, paredes espessas, ausência de janelas ou outras aberturas frente à área de linha de fogo.

O limite adotado entre as zonas amarela e verde são os mesmos definidos pela NR 9653/2005, de 132dB<sub>L</sub>. A figura 05 exemplifica com dados fictícios, um zoneamento em relação à pressão acústica.

**Figura 05.** Mapa hipotético para proposta de zoneamento de segurança a partir da análise de Velocidade de Partícula (mm/s) e Frequência (Hz).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A pressão acústica pode ter grandes variações de acordo com o local e até mesmo o momento em que a detonação for feita. Alguns fatores que podem favorecer sua propagação são altas temperaturas e umidade, baixa frequência e concentração de elementos poluentes na atmosfera, principalmente monóxido e dióxido de carbono. (FERNANDES, 2002). Além disso, se a detonação for feita de um local mais baixo ou a favor do vento, a propagação será impulsionada, assim como no caso inverso ela será retardada ou reduzida. (GUIMARÃES, 2005; JIMENO, op.cit.).

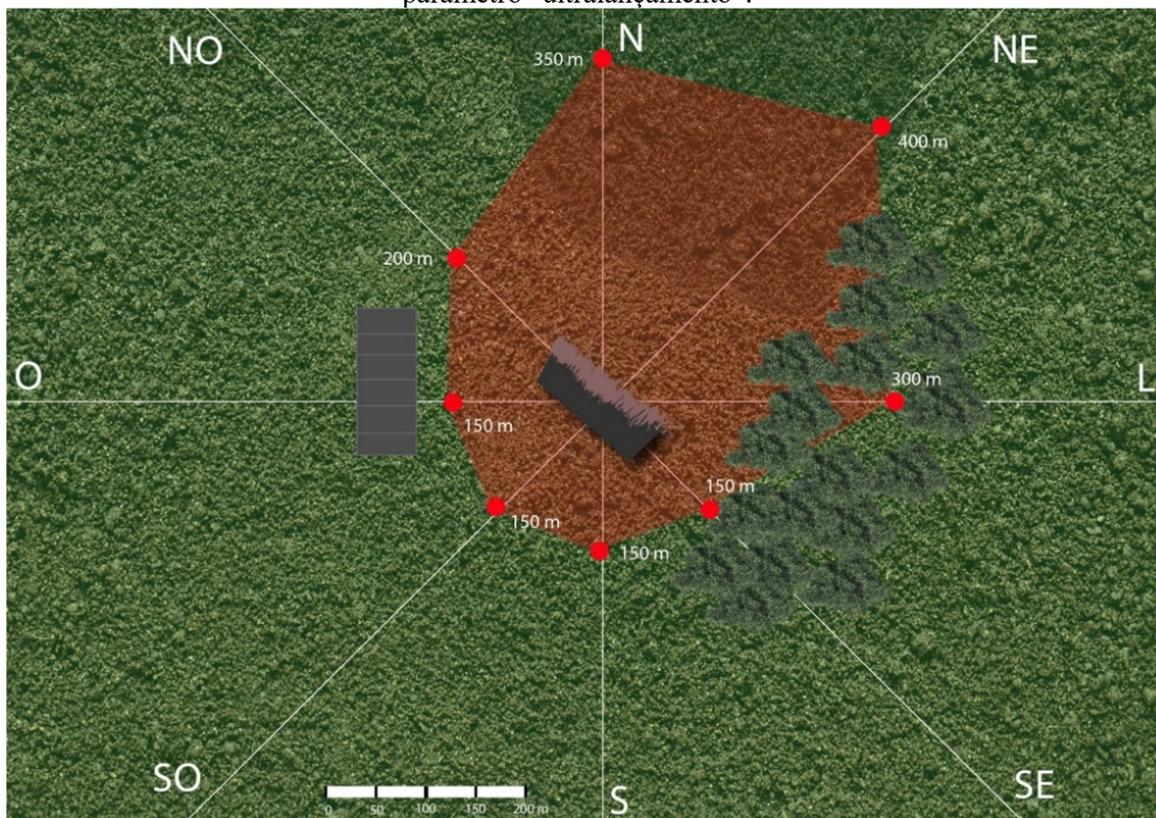
Para exemplificar alguns fatores que podem alterar a propagação da pressão sonora. No sentido oeste (O) foi colocada uma estrutura civil, nos sentidos leste (L) e sudeste (SE) abrangem uma feição que representa bosques de vegetação, por fim, no sentido norte (N) e nordeste (NE) um declive no terreno sem especificações de profundidade. Em todos os sentidos mencionados a propagação da pressão sonora é reduzida, entretanto existem situações em que a propagação pode ser favorecida, como por exemplo, a presença de um aclave.

#### 4.1.3 Ultralancamento

Independente da resistência nas estruturas residenciais, este parâmetro é o único considerado invariável visto que põe em risco à vida humana, desta forma não há

necessidade de se elaborar zoneamento amarelo. Os parâmetros sugeridos para servir de base para a definição dos limites entre a zona vermelha e a verde foram cálculos com o modelo de Julius Roth, com a adição de um fator de segurança de 100% em relação à distância obtida. A figura 06 exemplifica o zoneamento em relação a ultralancamento.

**Figura 06.** Mapa hipotético para proposta de zoneamento de segurança a partir do parâmetro “ultralancamento”.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Embora a região frontal da bancada esteja no sentido NE, é importante que haja uma distância mínima de proteção em todos os sentidos. Além disto, há uma declividade nos sentidos N e NE, em consequência deste fator, a distância final dos fragmentos rochosos serão maiores que os esperados em uma região plana.

## 5 CONCLUSÃO

Diante do que foi proposto, conclui-se que os critérios avaliados oferecem riscos à integridade física de estruturas urbanas e a saúde humana de comunidades próximas a pedreiras. Em função dos diversos conflitos socioambientais gerados, a parametrização atua como importante suporte às gestões municipais, ainda que a ausência de dados requeiram estudos técnicos específicos para cada contexto geológico, meteorológico e da mineração.

No que diz respeito aos danos causados por vibrações no solo, a legislação brasileira apresenta-se em conformidade com outras normas internacionais, oferecendo base técnica inicial para proposição de alternativas que solucionem a problemática. Para as perturbações causadas por elevados níveis de ruído, a norma brasileira permite um zoneamento parcial, requerendo um melhor monitoramento deste parâmetro, especialmente relacionado à propagação sonora oriunda de explosivos em minerações.

Na criação do mapa hipotético para ultralancamento foi exigida total referência em normas internacionais, sendo este o critério em maior urgência de detalhamento. Uma vez que as mineradoras utilizem todos os artifícios tecnológicos possíveis para evitar eventos de projeção de fragmentos à longa distância, a atenção dirige-se à gestão municipal na fiscalização de construções civis, elevando os níveis de segurança para a comunidade.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, L. **Teoria Musical: Lições essenciais**. IRMÃOS VITALE: São Paulo, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 12543. **Equipamentos de proteção respiratória**. Terminologia. Rio de Janeiro, 1999.
- \_\_\_\_\_. NBR 9653. **Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas**. Norma de Procedimento. São Paulo, 1986.
- BACCI, D.C.; LANDIM, P.M.B.; ESTON, S.M.; IRAMINA, W.S. Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas - Parte II. **REM - Revista Escola de Minas**. v.2, n.56, p.131-137, 2003b.
- BARBOZA, C. E.; WINTER, D, H. Tuberculosis and silicosis: epidemiology, diagnosis and chemoprophylaxis. **Bras Pneumol**. v. 34, n. 11, pp. 961-968, 2008.
- BARROS, M.L.S.C. **Modelo de Aferição da Velocidade de Partículas através de Parâmetro Energético**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2005, 153p.
- BERTOLINI, H.O.L. **Construção via obras secas como fator de produtividade e qualidade**. 2013. Monografia (Graduação) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. 81p.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. Atividade e operações insalubres. NR 15. Disponível em: <<http://www.jorgemacedo.com.br/CONTEUDO/LEGISLACOES/1978.06.08%20AMIANTO%20NR%2015%20%20PORTARIA%20MINISTERIAL%20%203214.pdf>> . Acesso em: 20 mai. 2017.
- CALDER, P. N., BAUER, A. The Influence and Evaluation of Blasting on Stability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY IN OPEN PIT MINING, 1, 1971., Vancouver, B. C., **Canadá. Proceedings...** Vancouver, 1971. p. 83-94.
- CANEDO, R.G. **Mapa de iso-velocidades: uma ferramenta para o controle das vibrações nas pedreiras**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. doi: 10.11606/T.3.2013.tde-08072014-121202. Acesso em: 11 mai. 2017.
- CAVALCANTI, V.M.M.; FREIRE, G.S.S. A possibilidade de utilização de areias marinhas como agregado na construção civil na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. **Gravel**, n. 5, p. 11-24. Porto Alegre, 2007.
- COPPE, C.J.; COSTA, L.C.F. **Operações de lavra em Pedreiras**. In: Manual de agregados para construção civil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 228p.
- CORREIA, R.M.S. **Influência das propriedades petrofísicas na fragmentação de rochas graníticas por detonação com explosivos**. 2011. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra. Coimbra, 2011.

CROSBY, W. A. **International Blasting, Drilling and Explosives Technology Course**. MREL: Ouro Preto, 1998.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE. **Decreto lei N.º 9/2007 - Regulamento Geral do Ruído**. Lisboa, 2007. Disponível em: <[http://www.psp.pt/Legislacao/DecLei\\_9-2007.pdf](http://www.psp.pt/Legislacao/DecLei_9-2007.pdf)>. Acesso em: 22 mai. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário Mineral Brasileiro 2010**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 2010. Disponível em: <<http://www.dnpm.bov.br>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

DJORDJEVIC, N. Minimizing the environmental impact of blast vibrations. **Mining Engineering**, p. 57-61, 1997.

DUVALL, W.I., FOGELSON, D.E. Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration. **BuMines RI 5968**, 19p. 1962.

FERNANDES, J.C. **Acústica e Ruídos – Apostila**. UNESP: Bauru, 2002.

FERREIRA, N.; GUERREIRO, H. O Ruído e a indústria extrativa. **Boletim de Minas**, v. 45, n. 1, p. 4-17. 2011. Disponível em: <<http://www.dgeg.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?tipo=1&id=4508>>. Acesso em: 17 mai. 2017.

FONTANELLI, G.; SOUZA, L.E.; ABICHEQUER, L.A.; NETO, R.O.; GONÇALVES, I.G. Diagnóstico e modelos de previsão de níveis de ruído e vibração em desmonte de rochas com explosivos. **Revista Monografias Ambientais**. Santa Maria, v. 14, Ed. Especial Unipampa. 2015, p. 43-61.

GABAS, G. C. C. **Análise crítica dos critérios de seleção de respiradores para particulados em ambientes de mineração**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. 124p.

GIRARDI, G.; SELLITO, M.A. Medição e reconhecimento do risco físico ruído em uma empresa da indústria moveleira da serra gaúcha. **Estudos Tecnológicos**, v. 7, n. 1, p. 12-23, 2011. Disponível em: <[http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos\\_tecnologicos/article/view/4510/1733](http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/4510/1733)>. Acessado em: 17 mai. 2017. doi: 10.4013/ete.2011.71.02.

GRANDJEAN, E. **Fitting the task to the man - an ergonomic approach**. TAYLOR & FRANCIS: Londres, 1982. 379p.

GRUENZNER, G. **Avaliação da poeira de sílica: um estudo de caso em uma**

**Pedreira na região metropolitana de São Paulo.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 93p.

GUIMARÃES, L.G. **Análise dos níveis de pressão Sonora nos locais de maior incidência de ruído na cidade de Santa Maria, RS.** 2005. Monografia (Especialização em Educação Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005. 61p.

HOLMBERG, R. **Explosives and Blasting Technique.** A.A. BALKEMA: Munich, Germany, 2000.

IRAMINA, W. S. **O mapa de iso-velocidades como ferramenta de controle ambiental.** Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. 223p.

JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; CARCEDO, F. J. A. **Drilling and blasting of rocks.** Londres: Taylor & Francis, 1995.

LIMA, G.A.C. Análise dos impactos das vibrações geradas por desmontes em taludes das minerações: estudo de caso da Mina de Timpobepa em Ouro Preto (MG). **Rev. Geografia**, v. 10, n. 2, 2001.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **Atividades e operações insalubres (115.000-6): NR-15.** Disponível: <<http://www.mtb.gov.br/segurancaesaudef/legislacao/normas/conteudo/nr15/default.asp>> Acesso em 16 mai. 2017.

MORAIS, J.L.; GRIPP, M.F.A. Fundamentos para simulação dos desmontes de explosivos. **Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 4, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672004000400005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672004000400005)>. Acesso em: 16 mai. 2017.

MUNARETTI, E.; KOPPE, J.C.; SCHNACK, P. & COSTA, J.F.C.L. Estudo da atenuação de onda sísmica para construção de depósito de resíduos industriais na Pedreira Expopedras. **RS. IBRAM**, 2006b.

MUSSON, R. How to map an earthquake. **Mapping News**, n. 35, pp. 24-25, Edinburgh, 2009.

OLIVEIRA, G. V. **Análise comparativa entre o sistema construtivo em *light steel framing* e o sistema construtivo tradicionalmente empregado no nordeste do Brasil aplicados na construção de casas populares.** Monografia (Graduação). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2012.

PALMA, D. C. **Quando o ruído atinge a audição.** Trabalho de conclusão de curso. Centro de especialização em Fonoaudiologia Clínica. Porto Alegre, 1999. 48p.

PATRÍCIO, M.C.M.; SILVA, V.M.A.; RIBEIRO, V.H.A., 2013. Conflitos socioambientais: estudo de caso em uma pedreira na Paraíba. **Polêmica (Online) 12.**

Disponível: <<http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/8021/5817>>. Acesso: 19 mai. 2017.

REIL, J.P. Why people complain about blasting. **Rock Products**, p. 40-46, 1998.

RIGOLON, F J.Z. **A retomada do crescimento e o papel do BNDS**. Rio de Janeiro: BNDES, 1996.

ROTH, J. A. **Model for the determination of flyrock range as a function of shot conditions**. US Bureau of Mines. Los Altos: Cantis, 1979.

ROSENBAUM, M. **Construção seca**. Disponível em: <<http://www.rosenbaumdesign.wordpress.com>>. Acessado em: 21 mai. 2017.

SANCHEZ, L.E. Incidência ambiental das vibrações. **Brasil Mineral**. v. 38, p.52-61, 1987.

SCHRAGE, M. W. **Mapa de ruído como ferramenta de diagnóstico do conforto acústico da comunidade**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 101p.

TEIXEIRA, L.P.; CARVALHO, Fátima, M.A.A. Construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n.109, p.9-26, jul. 2005.

TREINTA, F.T.; FILHO, J.R.F.; SANT'ANNA, A.P.; RABELO, L.M. Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. **Production**, v.24, n.3, p.508-520, 2014.

TONSO, S. **As Pedreiras no Espaço Urbano: Perspectivas Construtivas**. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 1994.

VARGA, P. History of early isoseimal maps. **Acta Geod. Geoph. Hung.**, v. 43(2-3), pp. 285-307. Budapeste, 2008.