

## Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas – Parte II

Denise de La Corte Bacci

*Pós-doutoranda – LACASEMIN - Depart. de Engenharia de Minas e de Petróleo – Escola Politécnica – USP  
E-mail: dbacci@dglnet.com.br*

Paulo Milton Barbosa Landim

*Depart. de Geologia Aplicada - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP/Rio Claro (SP)  
E-mail:plandim@rc.unesp.br*

Sérgio Médici de Eston

*Professor Titular e Chefe do Depart. de Engenharia de Minas e de Petróleo; Coordenador do Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração (LACASEMIN) – Escola Politécnica – USP  
E-mail: smeston@usp.br*

Wilson Siguemasa Iramina

*Pesquisador do LACASEMIN - Depart. de Engenharia de Minas e de Petróleo – Escola Politécnica – USP  
E-mail: wilsiram@usp.br*

### Resumo

As atividades que envolvem o uso de explosivos devem ser controladas, não só com relação ao desmonte de estruturas (rocha e outros materiais), mas também quanto a danos estruturais em edificações próximas (casas, edificações históricas, etc.) e outros impactos ambientais como vibração, propagação de ruídos, ultralanchamentos e sobrepressão atmosférica. Tais atividades são regidas por normas técnicas que sugerem parâmetros de medição e limites definidos na avaliação de prováveis danos. No caso específico de minerações em áreas urbanas, a velocidade de vibração de partícula (Vp), normalmente expressa em mm/s, é o parâmetro que tem dado melhor correlação na avaliação de possíveis danos às estruturas civis, atribuídos às vibrações do terreno. As diferentes normas existentes apresentam valores de Vp que variam de 2mm/s para edifícios históricos até 150mm/s para construções em concreto armado. A maioria delas considera na avaliação de danos estruturais, além da velocidade, a frequência da vibração. Algumas normas foram elaboradas com base em dados experimentais, analisando parâmetros como o tipo de construção e o material nela utilizados, outras se basearam apenas em valores empíricos, mas todas apresentam valores conservativos. A norma brasileira não avalia o parâmetro frequência e não classifica os diferentes tipos de estruturas civis, restringindo-se ao valor resultante da velocidade de vibração como parâmetro medido, sendo, assim, limitada e deficiente em relação às normas internacionais. A coletânea aqui apresentada reuniu as normas nas Américas e em outros continentes, além de uma comparação com as normas européias mais importantes em âmbito mundial.

**Palavras-chave:** vibrações do terreno, explosivos, danos em estruturas, normas técnicas.

### Abstract

*Blasting requires control measures related to structural damage to buildings and environmental impacts like ground vibrations, noise, flyrock and air blast. The use of explosives is controlled by federal and state regulations, which involve measurement of parameters to evaluate probable damage in buildings and other type of constructions. In urban areas, the peak particle velocity (PPV) associated with ground vibration and expressed in mm/second, is the best parameter to evaluate possible structural damages. Worldwide legal limits vary from a low 2 mm/s for historical buildings to a high 150 mm/s for reinforced concrete.*

*Most of the regulations consider peak particle velocity and frequency as a double damage parameter. Some regulations were elaborated with an experimental database, involving different types of construction and building materials. Others were proposed using empirical data. Both regulations present conservative values. The Brazilian norm does not consider the frequency and the different types of buildings in the damage evaluation.*

*This paper presents a review of American and other regulations for blasting activities as compared to European regulations.*

**Keywords:** ground vibrations, explosives, structural damage, regulations.

# 1. Introdução

Os valores limites do nível de vibração do terreno não dependem apenas dos danos que a velocidade de vibração de partícula pode causar nas construções civis, mas também do tipo de construção em si, tendo sido provado que, com frequência, a vibração gerada por explosivos é apenas o instante detonador de um processo de instabilidade atribuído a outras causas, como recalque, dilatação térmica, insuficiência de material, erro de cálculo de projeto, etc. (Fornaro, 1980).

Também é importante considerar as características próprias das vibrações, ou seja, a frequência, a repetitividade e a duração do fenômeno. Pode-se dizer que um edifício sofre danos, se os impulsos dinâmicos provocados pelas vibrações sobrepõem-se aos impulsos estáticos, levando a uma superação das condições de resistência da estrutura.

Quando não é possível, partindo apenas das medidas de velocidade, atingir os valores de deslocamento e os impulsos, é necessário recorrer-se a tabelas empíricas de danos, correlacionando, de vários modos, as características mais evidentes do fenômeno. Esse é o caminho sugerido pela maior parte das normas (Fornaro, 1980).

Serão apresentadas, a seguir, as normas nas Américas, a norma australiana e a norma indiana relacionadas ao nível de vibração decorrente do uso de explosivos em minerações, além de uma comparação destas com as principais normas européias, indicando quais os parâmetros e os valores-limites de prováveis danos estruturais que cada uma delas apresenta.

## 1. Norma Norte-Americana - USBM (RI 8507) e OSMRE

O *Bureau of Mines* americano sempre se destacou como pioneiro nos estudos das vibrações, tendo como preocupação o estabelecimento de um limite de segurança que não causasse danos estruturais em construções civis.

A maioria dos seus trabalhos correlaciona os parâmetros deslocamento, frequência, velocidade máxima de partícula e distância segura com a energia liberada na detonação.

Duvall e Fogelson (1962) concluíram que danos em residências são proporcionais à velocidade de vibração de partícula e que danos maiores (queda de reboco ou rachaduras) podem ser esperados a partir de  $V_p$  de 190mm/s (7,6pol/s). Já danos menores (trincas no reboco, abertura de rachaduras preexistentes) podem ser esperados a partir de  $V_p$  de 140mm/s (5,6pol/s) e que 50mm/s (2,0pol/s) representa um valor razoável de separação entre zona de segurança e uma zona de prováveis danos.

O Boletim 656, publicado pelo Bureau of Mines em 1971, intitulado "*Blasting Vibrations and Their Effects of Structures*", propôs uma velocidade máxima de partícula de 50mm/s (2,0pol/s) como o nível de segurança para as construções civis. A probabilidade de danos a uma estrutura residencial varia conforme aumenta ou diminui, em proporção, o nível de vibração acima ou abaixo de 50mm/s.

O critério atual de danos desenvolvido pelo *United States Bureau of Mines* (USBM) baseia-se nas pesquisas realizadas em minerações a céu aberto e publicadas em 1980 no Report of Investigation RI 8507, intitulado "*Structure Response & Damage Produced by*

*Ground Vibration from Surface Mine Blasting*" (Siskind et al., 1980). Nesse trabalho, foi constatado que existe um sério problema com a ressonância estrutural, originada em resposta à vibração de baixa frequência propagada no terreno, apresentando como resultado aumentos em deslocamentos e deformações, o que veio reforçar a idéia de que danos podem ser ocasionados pela frequência.

Os limites de danos adotados no RI 8507 foram definidos para "danos cosméticos do tipo mais superficial", ou seja, fissuras internas que se desenvolvem em todas as residências, independentemente das vibrações geradas pela detonação de explosivos.

Os níveis de vibração de partícula seguros foram definidos como "níveis com improbabilidade de produzir fissuras no interior de residências ou quaisquer outros danos". Esses níveis são apresentados na Tabela 1 e são definidos como limites conservativos. Os valores foram muito criticados pela indústria das pedreiras por serem considerados desfavoráveis à produção.

O *United States Bureau of Mines* (USBM) e o Office for Surface Mining Reclamation (OSRME) estabeleceram dois critérios para o controle dos danos provocados pelas vibrações no terreno. Os dois critérios, mostrados na Figura 1, constituem uma referência de velocidade máxima de vibração de partícula ( $V_p$ ) em função da frequência.

**Tabela 1** - Níveis seguros de velocidades de vibração da partícula para estruturas civis (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Siskind et al., 1980).

Tipo de estrutura	Vp (mm/s)	
	A baixas frequências f < 40 Hz	A altas frequências f > 40 Hz
Casas modernas – paredes interiores pré-moldadas em gesso, sem revestimento	19	50
Casas velhas – paredes interiores com gesso ou revestimento de madeira	12,7	50

## 2. Norma Brasileira (NBR 9653)- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

Desde 1983, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vem coletando e analisando dados técnicos da bibliografia internacional e associando-os à experiência nacional, através da sua Comissão de Estudos CE - 18.205.02.

A experiência brasileira advém de trabalhos em pedreiras operando junto à periferia das grandes concentrações urbanas, em especial, no litoral paulista e na Grande São Paulo. Em média, a área urbanizada se constitui de residências modestas, construídas por uma população de baixa renda.

Esses trabalhos foram analisados estatisticamente, com os seguintes objetivos:

- Caracterizar as condições médias de operação das pedreiras, que correspondem às condições econômicas favoráveis.
- Caracterizar o nível de vibração correspondente àquelas condições econômicas de operação.

Observando-se as correlações existentes entre as variáveis envolvidas no fenômeno: carga máxima por espera (Q) e distância (D), velocidade de vibração de partícula (Vp) observadas ou medidas nos trabalhos realizados, conclui-se:

- No caso geral (227 medições) para todos os tipos de rocha estudados (gnaisse, granito, calcário e basalto), não foram observados valores de velocidade de vibração de partícula (Vp) superiores a 15mm/s, a partir de 200m das detonações.
- Para a faixa de valores de D (distância) inferiores a 200m, sugeriram-se limites do uso da carga máxima por espera (Q), de modo a não se excederem os valores de velocidade de vibração da partícula (Vp) em 15mm/s, ou seja:

- para  $140 < D < 200 \Rightarrow Q < 100$  kg/espera
- para  $40 < D < 140 \Rightarrow Q < 30$  kg/espera

Com base nas análises realizadas, a CE - 18.205.02 redigiu e aprovou a norma NBR 9653, que estabelece a velocidade de vibração de partícula (Vp) igual a 15mm/s como limite máximo de vibração admissível nos arredores da área de operação das pedreiras. A norma também estabelece que não devem ocorrer, de forma alguma, ultralanchamentos de fragmentos e sobrepressões atmosféricas excessivas.

A velocidade resultante de vibração de partícula deve ser calculada com base na seguinte fórmula:

$$VR = \left[ (VL)^2 + (VT)^2 + (VV)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

onde:

VR = velocidade resultante de vibração da partícula, em mm/s.

VL = velocidade de vibração na direção longitudinal, em mm/s.

VT = velocidade de vibração na direção transversal, em mm/s.

VV = velocidade de vibração na direção vertical, em mm/s.

Também é definido o nível de sobrepressão atmosférica, medido além da

área de operação, não devendo ultrapassar o valor de 134 dBL pico.

Embora seja amplamente difundido que, para frequências altas, a estrutura suporta melhor as vibrações, como no caso de estruturas fundadas em rocha localizadas a menos de 300m da detonação (Siskind et al., 1980), a norma brasileira não trata da frequência dos fenômenos vibratórios, nem determina os tipos de edifícios afetados pelas vibrações, sendo, desse ponto de vista, deficiente em relação às normas internacionais já mencionadas.

Trabalhos de Langfors e Kihlstrom (1963) e do USBM (Siskind et al., 1980) indicam total ausência de danos nas condições anteriormente mencionadas e também para valores de Vp menores que 50mm/s. Para uma faixa de frequência entre 2 e 40Hz, os limites de Vp possuem ampla dispersão, devido aos grandes deslocamentos que ocorrem associados à ressonância estrutural (as frequências naturais das estruturas estão nessa faixa). Para esses casos, os limites de velocidade de vibração de partícula (Vp) com ausência de danos em edifícios foram calculados por simples conversão de movimentos harmônicos simples, para a faixa de 13 a 25mm/s, a 10Hz.

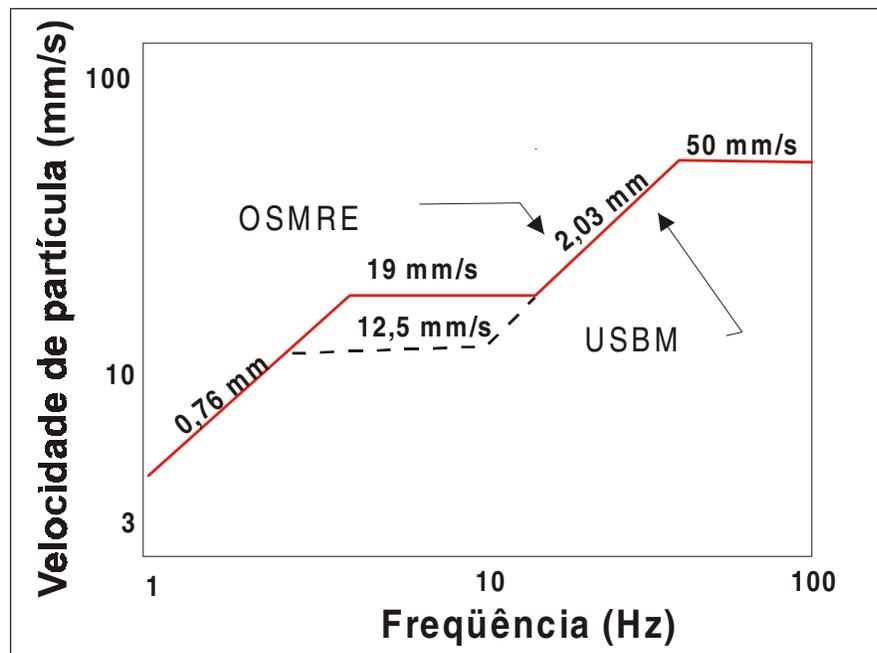


Figura 1 - Diagrama representando os limites de Vp e de deslocamento, sugeridos pelo USBM e OSMRE, medidos em mm/s e mm, respectivamente, em função da frequência, em Hz. A linha tracejada, em baixo, refere-se aos valores propostos pelo USBM para paredes rebocadas. (Fonte: Bacci, 2000, modificado de Berta, 1985).

### 3. CETESB D7.013

A CETESB estabeleceu critérios de avaliação de problemas ambientais através da norma interna D7.013, de 1992, na qual se fixam as condições exigíveis para a atividade de mineração a céu aberto que utiliza explosivos no desmonte do minério, no que se refere ao controle de poluição e à conservação do meio ambiente. Esse critério avalia o incômodo gerado à população e não se refere aos danos em estruturas civis, como a NBR 9653.

A velocidade resultante de vibração de partícula é calculada do mesmo modo que na norma NBR 9653, a qual estabelece como valor máximo de  $V_p$  3mm/s, medido na componente vertical. Quando a medição for realizada com utilização de instrumentos cujos resultados sejam a integração das três componentes, o valor máximo permitido para a velocidade de partícula é de 4,2mm/s, para que não haja incômodo à população. Em ambos os casos, a medição deve ser feita fora dos limites da propriedade da mineração.

Quanto à instalação dos sensores, estes devem ser fixados rigidamente no solo, a uma distância inferior a 10m da edificação mais atingida.

### 4. Norma Australiana

Os critérios australianos para limitar os níveis de vibração a partir de desmontes com explosivos em rochas são baseados nas especificações dos seguintes órgãos:

- Comissão Estadual de Controle da Poluição (SPCC) do Manual de Controle de Perturbação Ambiental (*New South Wales*) - 1980.
- Conselho Ambiental Australiano (AEC) - Norma AS2187, Parte 2 de 1983 - uso de explosivos.
- *U.S. Bureau of Mines* (USBM) - Relatório RI 8485.

O critério adotado pela SPCC para velocidade de vibração da partícula era o de não exceder 7mm/s e as detonações deveriam ser realizadas no período das 9 às 15 horas, para se evitarem inversões

térmicas, sendo requisitado o monitoramento de todos os desmontes de um empreendimento.

A norma AS2187 (1983) adotou critérios referentes ao pico de velocidade de vibração da partícula, medido no terreno próximo à fundação da estrutura, como mostra a Tabela 2.

A norma foi reeditada em 1993, não considerando limites de  $V_p$  para as construções históricas e monumentos, mas ressaltando que esses requerem considerações especiais, muitas vezes resultando em medições adicionais na sua própria estrutura.

Em abril de 1986, o *Environmental Noise Control Committee of the Australian Environmental Council* (AEC) editou um documento intitulado "*Draft Technical Basis for the Control of Noise and Vibration from Blasting*", sugerindo as seguintes restrições:

- a) Nível máximo permitido de velocidade de vibração da partícula de 5mm/s.
- b) O nível máximo pode ser excedido em 5% dos desmontes em um período de 12 meses, não ultrapassando nunca o valor de 10mm/s.
- c) Recomenda o valor de 2mm/s para o controle das vibrações.
- d) Os desmontes são permitidos das 9 às 15h, de segunda à sábado, sendo proibidos nos domingos e feriados.

**Tabela 2** - Valores máximos de velocidade de vibração da partícula, adotados pela Norma AS2187, segundo os tipos de construções civis (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Scott, 1996).

Tipos de construções	Velocidade máxima de vibração de partícula (mm/s)
Construções históricas e monumentos de especial valor ou significado	2
Casas e prédios residenciais de baixa altura	10
Prédios comerciais ou industriais ou estruturas de concreto armado ou ferro	25

e) Os desmontes não podem ocorrer mais de uma vez ao dia, excetuando-se desmontes secundários.

f) As restrições quanto ao tempo e à frequência dos desmontes não se aplicam a locais onde os efeitos das vibrações não são perceptíveis e a minas subterrâneas metalíferas.

### 5. Norma Indiana

O limite de vibração suportado pelas estruturas civis na Índia nos arredores das minas a céu aberto foi determinado pelo Central Mining Research Institute (CMRI), em 1991, através de um monitoramento da resposta estrutural de diversas construções.

A Tabela 3 apresenta os resultados de tal estudo.

Os estudos apontam que um valor de  $V_p$  de 5mm/s, medido na fundação das estruturas, é seguro a baixas frequências para qualquer tipo de estrutura residencial, mesmo se este se amplifica no nível mais alto, devido à ressonância.

A Tabela 4 mostra os valores mínimos de vibração e os danos que podem ser gerados nas estruturas, segundo estudos do CMRI, em diversos tipos de residências.

Os valores propostos nesse estudo foram monitorados em residências, escolas, construções pobres e demais

locais de interesse. Muitas dessas residências encontravam-se em mau estado de conservação e foram construídas sem nenhuma supervisão e com material de baixa qualidade.

## 6. Análise das principais normas técnicas

As principais diferenças entre as normas americanas em relação às recomendações europeias são:

- a) Quanto à instalação do geofone: na norma americana os geofones são, em geral, dispostos no terreno circundante à estrutura em observação, e não no interior do edifício ou em correspondência de suas partes particularmente sensíveis.
- b) Quanto aos tipos de edifícios: as recomendações do USBM distinguem os edifícios em duas classes, considerando o tipo de revestimento interno, ou seja, aqueles construídos com paredes rebocadas, e os construídos sem reboco nas paredes, ou com revestimentos em gesso ou madeira. Os limites para as paredes à vista (sem reboco), propostos pelo USBM, coincidem com aqueles do OSMRE, no campo da frequência compreendido entre 0 e 11Hz e entre 40 e 100Hz. A recomendação do OSRME permite maiores valores de  $V_p$  no intervalo de frequência compreendido entre 11 e 40Hz. As

normas europeias definem o tipo de edifício em função do seu uso (residencial, industrial, histórico), dando valores de  $V_p$  mais baixos que a norma americana para frequências menores que 40Hz. No intervalo de 40 a 100Hz, para edifícios industriais, os valores se aproximam daqueles da norma americana, mantendo-se mais baixos para os outros tipos de edifícios.

- c) Quanto aos intervalos de frequência: as normas norte-americanas definem os intervalos em menor e maior que 40Hz, pois a ressonância natural dos edifícios está abaixo desse valor. As normas europeias definem intervalos

de frequência menores, devido aos tipos de construções mais antigas e, portanto, mais sensíveis encontradas nesses países.

Segundo Schillinger (1994), uma comparação entre a norma alemã DIN 4150 e a norma norte-americana USBM RI8507 mostra uma variação dos valores de  $V_p$  admitidos, como mostra a Figura 2. A razão entre a USBM RI8507 e a DIN 4150, para residências e monumentos históricos, mostra um fator 3 a 4 vezes maior para a norma americana, no intervalo de frequência de 1 a 100Hz, significando que as estruturas residenciais dos Estados Unidos seriam de 3 a 4 vezes

**Tabela 3** - Valores-limites estabelecidos pelo CMRI para vibrações na fundação a diferentes níveis de frequência (Fonte: adaptado de Pal Roy, 1998).

Tipo	Especificações da estrutura	Valores de $V_p$ (mm/s)	
		< 24 Hz	> 24 Hz
(a)	Construções domésticas, paredes interiores pré-moldadas em gesso; estruturas com reboco; pontes.	5	10
(b)	Prédios industriais, estruturas de concreto armado ou aço.	12,5	25
(c)	Estruturas de importância histórica; estruturas muito sensíveis; com mais de 50 anos de idade; estruturas em baixo estado de conservação e sem reparações.	2	5

**Tabela 4** - Valores mínimos de vibrações produzidas por desmontes nos quais ocorreram danos, medidos nas estruturas, segundo CMRI (1991).

	$V_p$ (mm/s)	Local de medição	Tipo de estrutura
Ocorrência das primeiras trincas	50	Solo	Estrutura de tijolo
Ocorrência das primeiras trincas	76	Primeiro andar	Estrutura de tijolo
Ocorrência das primeiras trincas	400	Paredes laterais	Estrutura de concreto
Alargamento de trincas existentes	90	Solo	Estrutura de tijolo
Rachaduras	240	-	Estrutura de tijolo
Queda de reboco	280	-	Estrutura de tijolo
Fissuras profundas	192	Paredes laterais e cantos	Construções de sapê ( <i>mud houses</i> )

mais resistentes à cargas dinâmicas, que as construções européias. No entanto, o próprio autor não aceita essa hipótese e argumenta que as regulamentações possuem um caráter conservativo e não estão isentas de referências políticas. Tais referências, geralmente, estão concentradas na determinação da probabilidade de aceitação social da ocorrência de danos e incômodo. Atualmente, o incômodo aos seres humanos vem sendo até mais considerado que os danos em edifícios, embora com maior dificuldade para serem regulamentados, devido à sua subjetividade.

A norma brasileira não apresenta uma definição dos valores de  $V_p$  em relação à frequência e não define os tipos de construção civil nem os possíveis danos que podem ocorrer em função do tipo de material utilizado. O valor definido pela ABNT como limite máximo de vibração a ser gerado é mais coerente com os estudos internacionais e não com a realidade das construções nacionais.

A CETESB apresenta valores mais rígidos para o limite de vibração de partícula, pois considera o incômodo ao ser humano e não os danos possíveis de serem causados em determinados tipos de estruturas civis, como define a NBR 9653.

A realidade brasileira mostra que a maioria das pedreiras em áreas urbanas é circundada por construções residenciais de baixa renda, na periferia dos grandes centros urbanos. Essas residências apresentam diversos tipos de problemas já na sua construção, como quedas de rebocos, trincas e rachaduras de paredes, originados, não pelas detonações com explosivos realizadas pelas pedreiras, mas por outros problemas como os de recalque do terreno, infiltração de água e, ainda, pela má qualidade do material utilizado. O maior problema das reclamações contra as pedreiras ocorre devido à sobrepressão atmosférica e ao ruído gerado na detonação e não pela vibração do terreno.

Quando se consideram os terrenos graníticos ou basálticos - que perfazem a maioria das jazidas próximas dos centros urbanos -, observa-se que os valo-

res de vibração dificilmente excedem a norma NBR 9653, embora em alguns casos excedam os valores estabelecidos pela CETESB. Nesse caso, apresentam altas frequências diminuindo muito o risco de possíveis danos estruturais, segundo os padrões internacionais. O in-

cômodo gerado nesses casos é o que mais preocupa, restringindo os valores de  $V_p$ .

As Tabelas 5 e 6 comparam os parâmetros e os valores de velocidade e frequência das principais normas.

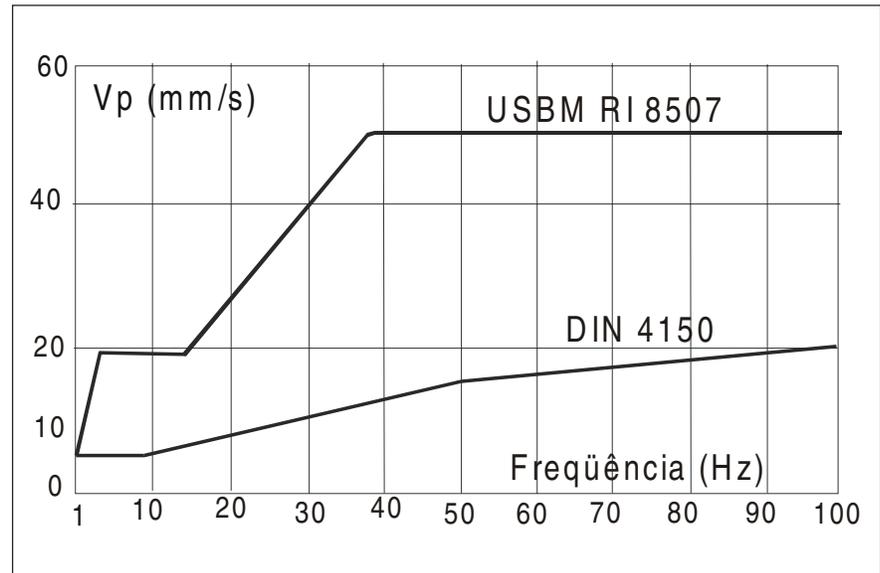


Figura 2 - Gráfico comparativo das normas alemã DIN 4150 e norte-americana RI 8507 (Fonte: Bacci, 2000, modificado de Schillinger, 1994).

Tabela 5 - Valores de velocidade de vibração de partícula e frequência das principais normas internacionais. Mínimos e máximos estabelecidos em função do tipo de edifício.

Países	Velocidade (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	10	90	8	30
França	2,5/4,0	75/15	<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	-	>40

Tabela 6 - Normas e recomendações para os edifícios.

Países	Normas	Parâmetros							
		F	Vel. Total	Vp Componente	Distância	Terreno	Tipo de Edifício	Tipo de Vibração	Tipo de Atividade
Alemanha	DIN 4150	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I, PI	Não
Estados Unidos	USBM (1980)	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I, PI	Não
	OSMRE	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I, PI	Sim
Itália	UNI 9916	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I, PI	Não
Suíça	SN640312/92	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	I, C	Não
França	AFTES 1974	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	I, PI	Não
	Min.Ambiente	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I, PI, C	Sim
	(GFEE)	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I	Sim
Portugal	NP 2074	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	I	Sim
Espanha	UNE 22-381	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I, PI	Não
Suécia	SS4604866	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	I, PI	Sim
Finlândia	Min. Sanità	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	I, PI, C	Não
Austrália	AS2187	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	I, PI	Sim
Índia	CMRI	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	I	Não
Brasil	NBR 9653	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	I, PI	Não

I – Impulsiva; PI – Periódica Impulsiva; C – Contínua.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9653. *Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas*. Norma de Procedimento. 1986. São Paulo (SP).

BACCI, D.C. *Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais*. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 2000. v.1 (texto) e v.2 (anexos). (Tese de Doutorado).

BERTA, G. *L'esplosivo strumento di lavoro*. 1985. ITALESPLSIVI - Milano. 1ª ed. 488p. Surface mineral extractions (except coal) sites. British Standard.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - *Norma D7.013 - Mineração por explosivo*. São Paulo: 1992. 7 p.

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

LANGFORS, U., KIHLMSTROM. *The modern technique of rock blasting*. New York, and Almqvist & Wiksell, Stockholm: John Wiley & Sons, Inc. 1963.

PAL ROY, P. Characteristics of ground vibrations and structural response to surface and underground blasting. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 16, p.151-166, 1988.

REIHER, H., MEISER, F.J. Human annoyance of vibrations. *Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens*, v. 2, n. 11, 1931.

SCHILLINGER, R.R. Blasting vibrations and other environmental effects of blasting works. EXPLOSIVES 94 - CONFERENCE PROCEEDINGS - University of Leeds, U.K. - The Institute of Explosives Engineers. The European Federation of Explosives Engineers & The University of Leeds Department of Mining & Mineral Engineering. 1994. p. 15-26.

SCOTT, A. *Open pit blast design*. In: JKMR. T.J. Napier Munn Editor. Austrália: The University of Queensland. 1996. 339 p.

SISKIND, D.E., STAGG, M.S., KOPP, J.W., DOWDING, C.H. *Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting*. Report of Investigation 8507 USBM - United States Bureau of Mines, 1980. 74 p.

Artigo recebido em 06/11/2002 e aprovado em 15/02/2003.



[www.rem.com.br](http://www.rem.com.br)  
[www.scielo.br](http://www.scielo.br)