

## **EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO EN EL AMBIENTE SUBTERRÁNEO DE LA MINA DE PANASQUEIRA**

NAVARRO TORRES, Vidal

*Investigador del Centro de Geotecnia IST Lisboa [vnavarr@popsrv.ist.utl.pt](mailto:vnavarr@popsrv.ist.utl.pt)*

DINIS DA GAMA, Carlos

*Presidente do Centro de Geotecnia, IST Lisboa, [dgama@ist.utl.pt](mailto:dgama@ist.utl.pt)*

### **RESUMEN**

El ruido en los frentes de explotación subterránea es uno de los tradicionales problemas ocupacionales, que son encarados desde un punto de vista de seguridad e higiene minera.

Para un control efectivo de la contaminación acústica del ambiente subterráneo es necesario considerar dos aspectos: una detallada evaluación del impacto ambiental producido y una gestión ambiental eficiente.

La evaluación del impacto ambiental acústico fue realizada en el ambiente subterráneo de las operaciones de explotación de wólfram mediante cámaras y pilares en la mina de Panasqueira de Portugal, proponiéndose como herramienta de gestión la aplicación de norma ambiental ISO 14001.

En el estudio de evaluación del impacto ambiental fue identificado en los frentes de trabajo impacte ambiental leve, moderado y alto variando el nivel sonoro continuo equivalente del ruido ocupacional desde 89 dB(A) hasta 120 dB(A) y el ruido ambiental que alcanza distancias de 5 a 42 metros desde la fuente, tal como se indica en la figura.

El estudio permitió buscar alternativas viables desde el punto de vista técnico e económico para la de reducción y protección del personal expuesto.

Una vez realizada la evaluación del impacto ambiental y definida la alternativa viable para el control correspondiente, fue imprescindible buscar un sistema de gestión ambiental eficiente que permita conseguir un compromiso ambiental desde la alta gerencia hasta el personal del frente de operaciones para cumplir con la aplicación de las medidas de control y obtener resultados reales esperados. En este sentido el Sistema de Gestión Ambiental EMS (Enrionmental Management System) o norma ISO

14001 es la que ofrece altísimas ventajas, que finalmente puede permitir la obtención de la certificación de calidad.

## 1. EL RUIDO EN EL AMBIENTE SUBTERRÁNEO

### 1.1. Efectos del ruido

La polución sonora es una contaminación ambiental a través de la energía mecánica o acústica, que tiene reflejos en todo el organismo y no solo en el aparato auditivo.

Por medio de la figura 1 se ilustra los efectos provocados por las ondas sonoras en el organismo humano donde se puede acompañar las ondas sonoras que, al ser penetradas a través del oído, se distribuyen en los lóbulos cerebrales hasta llegar al sistema nervioso central. Después siguen a lo largo de la médula y se distribuyen para los órganos manifestándose los efectos nocivos sobre varias formas, que afectan las descargas hormonales, la pérdida de la audición principalmente cuando la intensidad es elevada.

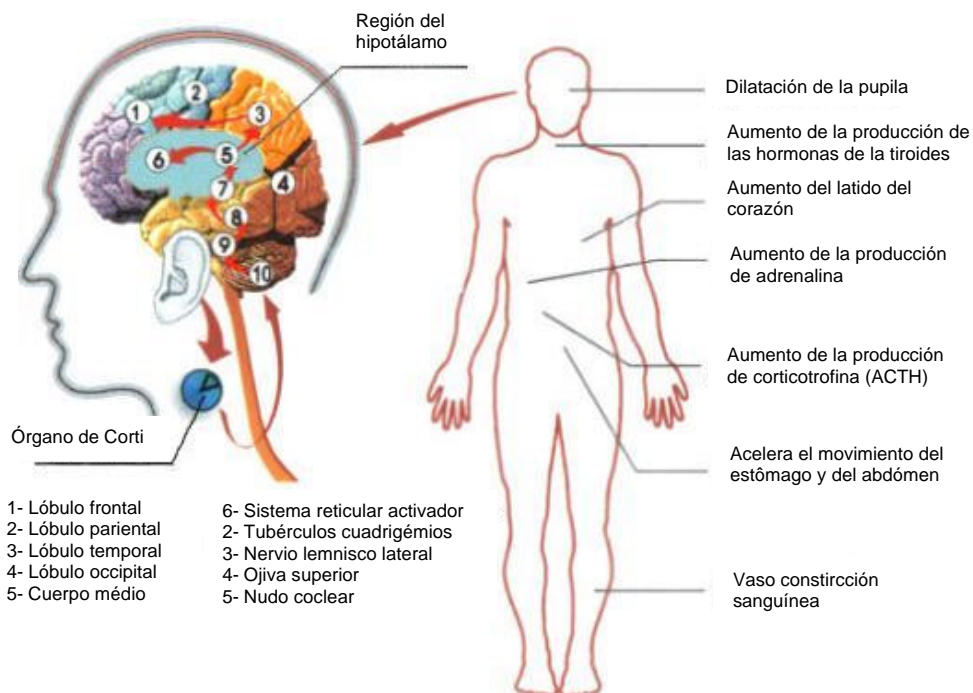


Figura 1 – Distribución de las ondas sonoras a través de los lóbulos cerebrales hasta ser conducidas al sistema nervioso central (Navarro Torres V. F., 2003)

El riesgo de sordez permanente varia de acuerdo con la intensidad y la duración de la exposición como fue demostrado por el estudio realizado por la *International Standard Organization* ISO 1999 (Tabla 1).

Tabla 1 – Riesgo de perdida de la audición de personas expuestas al ruido (continuo) durante 8 horas de trabajo, en % (ISO 1999)

L <sub>Aeq,8h</sub> (dB)	Tiempo de exposición al ruido (años)						
	2	5	10	20	30	40	45
“Normal”	1	2	3	7	14	32	50
85	1	3	6	13	22	42	57
90	3	7	12	23	32	54	65
95	4	10	20	35	45	61	72
100	5	14	31	49	58	74	82
105	8	20	45	65	77	87	91
110	10	28	58	85	91	95	95

### 1.2. Fuentes do ruido en el ambiente subterráneo

O ruido en minas subterráneas está relacionado a las actividades operacionales (Fig. 2) que son de perforación o corte, disparo, carga de explosivo, soporte, carga de explosivo, transporte, extracción, ventilación, bombeo, chancado primario, etc. que registran altas presiones sonoras (Tabla 2.74).

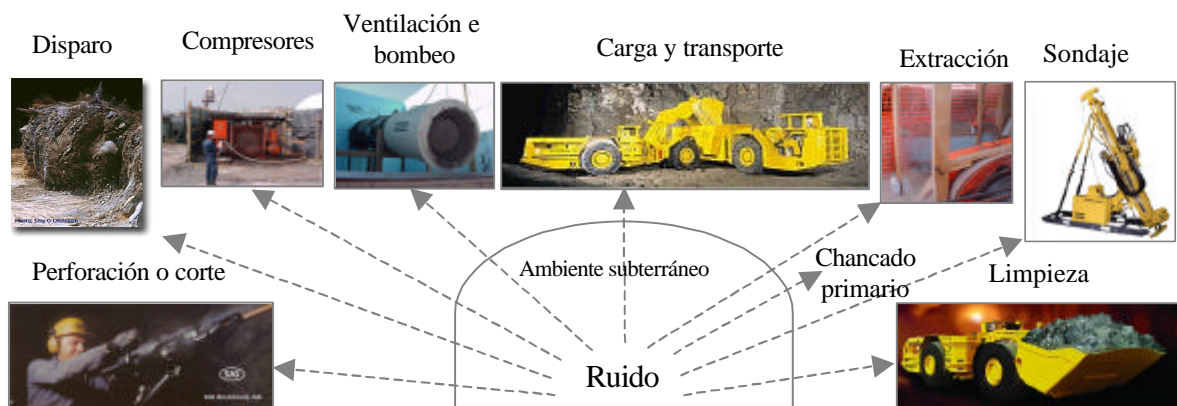


Figura 2 – Fuentes del ruido en el ambiente subterráneo(Navarro Torres, V. F., 2003)

### 1.3. Particularidades del ruido subterráneo

En aberturas subterráneas las propagaciones de las ondas del ruido se dividen en dos componentes: Ondas directas e ondas reflejadas (Fig. 3). En este proceso parte de las ondas son absorbidas por la superficie de las excavaciones (roca o revestimiento o soporte).



Figura 3 – Fases da transmisión del son en el ambiente subterráneo (Howes, M. J., 1982).

O nivel da presión sonora para *perforadoras neumáticos*  $L_m$  (dB) puede ser calculado mediante la ecuación (1) en función del consumo de aire comprimido  $Q$  ( $m^3/s$ ).

$$L_m = 140 + 10 \log Q \quad (1)$$

Para *máquinas* con motor *diesel*, el nivel de presión sonora del sistema de escape del motor  $L_{de}$  (dB) se calcula con la ecuación (2) e considerando el sistema motor  $L_{dm}$  (dB) a través de la ecuación (3), en ambos casos mediante la variable del motor  $P_m$  (KW).

$$L_{de} = 110 + 10 \log P_m \quad (2)$$

$$L_{dm} = 110 + 8 \log P_m \quad (3)$$

Para *ventiladores principales* o nivel de presión sonora  $L_v$  (dB) es determinado en función de la potencia del motor  $P_{mv}$  (KW), de la presión estática  $H_v$  (Kpa) e del caudal de aire  $Q_v$  ( $m^3/s$ ) utilizando cualesquiera de las ecuaciones (3), (4) o (5).

$$L_v = 97 + 10 \log P_{mv} + 10 \log H_v \quad (3)$$

$$L_v = 100 + 10 \log Q_v + 20 \log H_v \quad (4)$$

$$L_v = 95 + 20 \log P_{mv} + 10 \log Q_v \quad (5)$$

## 2. ESTÁNDARES DE RUIDO

Los estándares existentes evalúan el ruido utilizando varios índices o niveles como son: nivel de presión sonora, nivel percentil, nivel sonoro continua equivalente, nivel de exposición sonora, nivel pico o máximo, etc. los que son determinados considerando el tiempo de exposición e intensidad sonora, de los cuales el mas utilizado es el *nivel sonoro continuo equivalente* (ecuación 6), que es expresado por la ecuación indicada en seguida, en función de: Presión sonora instantánea  $P_{A(t)}$  (Pa), del intervalo de tiempo  $T = (t_2 - t_1)/\Delta t$  de la duración (s), de la presión de referencia  $P_o = (2 \times 10^{-5} \text{ Pa o } 20 \mu \text{ Pa})$  y del nivel de presión sonora ponderada A para la muestra  $i$   $L_{pAi}$  (dB).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_o^2} dt = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T 10^{0.1 L_{pAi}} \right] \quad (6)$$

Entre los estándares del *ruido ocupacional adoptados a nivel de varios países del mundo son algo similares* (Tabla 2).

En Portugal el Decreto Ley n.º 162/90 do 22 de mayo, en el Art. 149 indica: En los locales de trabajo deben ser adoptados medidas adecuadas para la eliminación o reducción y propagación del ruido, no debiendo sobrepasar los valores de 85 dB (A) para el ruido y de 200 Pa para la presión acústica instantánea no compensada.

Tabla 2 – Estándares de ruido ocupacional para exposición de 8 horas por día (disponible en [www.nrca.org/standards/noise/review\\_noise\\_standards.htm](http://www.nrca.org/standards/noise/review_noise_standards.htm))

País	Fuente	$L_{eq}$ máximo dB (A)	Pico dB (A)
Australia	<i>Australia National Occupational Health and Safety Commission</i>	85	140
Canadá	<i>Canadian Centre for Occupational Health and Safety</i>	85 a 90	135 a 140
India	<i>Rules of the Factories Act</i>	90	140
Singapur	<i>Department of Industrial Health</i>	85	
Tailandia	<i>Ministry of Interior</i>	90	
U. K.	<i>Noise at Work Regulations</i>	90	140
E.U.A.	<i>Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labour</i>	90	140
U. E.	<i>European Union Occupational Safety an health</i>	85	140

### 3. ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN LA MINA DE PANASQUEIRA PORTUGAL

#### 3.1. Localización y clima

La mina de Panasqueira, propiedad de la empresa Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S. A. integrante del grupo Avocet, productora de Wolframio a un ritmo medio de 320,000 toneladas de mineral por año, se localiza en la vertiente sur de la cordillera montañosa denominada Serra da Estrela a una altitud de cerca de 700 metros, en la aldea de Barroca Grande, a 60 kilómetros al este de la ciudad de Coimbra y a 250 kilómetros al noroeste de Lisboa (Fig. 4 izquierda).

El clima es típico de la región montañosa llamada Beiras y de la península Ibérica con temperatura media mas baja de 7.5 °C y alta de 24 °C , cuja variación anual está ilustrado en la Fig. 4 (derecha) (R. Naique, 2001).

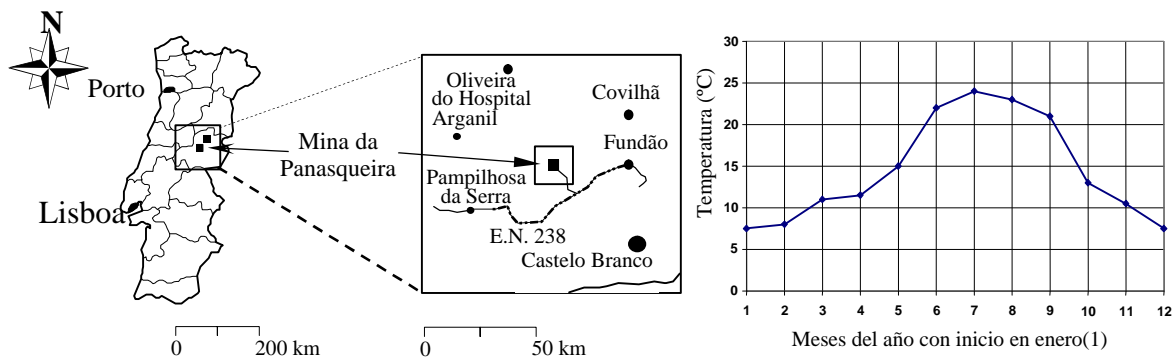


Figura 3 - Localización geográfica y variación media mensual de la temperatura en la mina de Panasqueira

#### 3.2. Estudios de impacto acústico en el ambiente subterráneo

El nivel sonoro continuo equivalente  $Leq$  máximo caracterizados en la mina de Panasqueira (Tabla 3) varia desde 92 dB(A) hasta 120 dB(A) que corresponden a la fuente de producción del ruido.

En el pozo de extracción denominado Claudio dos Reis las mediciones del ruido ambiental muestran una tendencia de atenuación según las ecuaciones indicadas en la Tabla 4 y Fig.5.

Tabla 3 - Nivel sonoro continua equivalente máximo de ruido registrado en el ambiente subterráneo de la mina de Panasqueira (Navarro Torres, V. F., 2003)

No.	Puesto de trabajo	Equipo minero	Exposición efectiva (h/día)	Leq dB(A)	No. de trabajadores
1	Tajeos	LHD Wag. Diesel ST-3.5	6.3	102	02
2	Tajeos	LHD eléctrico EST-2D	5.2	93	02
3	Tajeos	Jumbo Tamrock H107	5.6	120	02
4	GalP-5, rampa L2/L2	Dumper Wagner MT 412	6.5	104	01
5	Gal., rampa, Tajeos.	Tractor AGRIA	Eventual	97	13
6	Poço extracção	Sistema Jaula - Vagones	6.5	89	08
7	Galería D23:L2	02 Ventiladores de 80 hp	Eventual	111	variable
8	Galería D23.L2	01 Ventilador de 80 hp	Eventual	102	Variable
9	Desmontes	01 ventilador de 7.5 kW	Eventual	92	Variable
10	Cámara chancado				
11	primario	Chancado primário	2.05	103	01
12	Cabeza de fajas	Faja transp.Tolvas	2.05	97	01
	Virador de mineral	Descarga vaones	Eventual	93	01

Tabla 4 - Ecuaciones de atenuación del ruido producido por la operación de izaje con la distancia y superficie de la excavación en esquisto y en galería de 9.65 m<sup>2</sup> de sección (Mina de Panasqueira)

Trecho da galería	Ambiente próximo al Pozo de Extracción (Fig.3. izquierda)	General para galería de 9.65 m <sup>2</sup> de sección excavado en esquisto
Entrada de vagones a la jaula	$y = -0.2818x + 88.559$ $R^2 = 0.9829$	$Leq_D = -0.2818D + Leq_{m\acute{a}x}$
Salida de vagones de la jaula	$y = -0.2116x + 88.914$ $R^2 = 0.7898$	$Leq_D = -0.2116D + Leq_{m\acute{a}x}$

Donde  $Leq_D$  es el nivel sonoro continuo equivalente  $Leq$  dB(A) a la distancia  $D$  (m) e  $Leq_{m\acute{a}x}$  es el ruido expresado en nivel sonoro continuo equivalente  $Leq$  dB(A) caracterizado en la fuente.

En términos generales y para ambos trechos la ecuación de atenuación por la distancia en una galería de 9.65 m<sup>2</sup> excavada en esquisto resulta la ecuación (7) con una correlación de 0.8223.

$$Leq_D = Leq_{m\acute{a}x} - 0.2369D \quad (7)$$

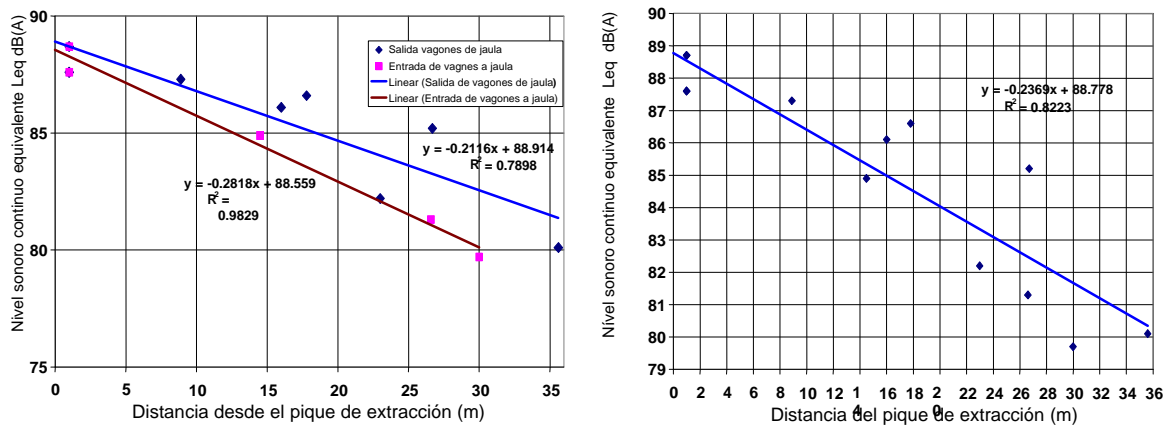


Figura 5 - Atenuación del ruido en la galería D15 en ambos lados del pozo (izquierda) e general (derecha) en la operación en el pozo de extracción de la mina de Panasqueira (Navarro Torres, V. F., 2003)

El método de explotación en la mina de Panasqueira es de cámaras y pilares con cámaras de 5.0 m de ancho y 2.2 m de altura (11.10 m<sup>2</sup>) y pilares de 3.0 m a 11.0 m. En el sentido recto de estas cámaras la atenuación del ruido debido a la distancia es ligeramente diferente que en el sentido lateral (Fig. 6).

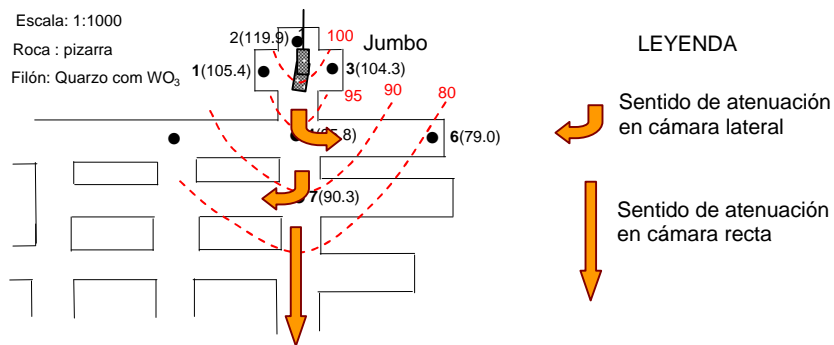


Figura 6 - Sentido de la propagación de las ondas sonoras en tajeos de cámaras y pilares

La tendencia del ruido en función de la distancia con fuente fija como es el caso de los ventiladores (Fig. 7) resulta expresado por la ecuación (8) para propagación de las ondas sea en sentido recto de las cámaras o en sentido lateral.

$$Leq_D = Leq_{m\acute{a}x} - 0.49454D \quad (8)$$

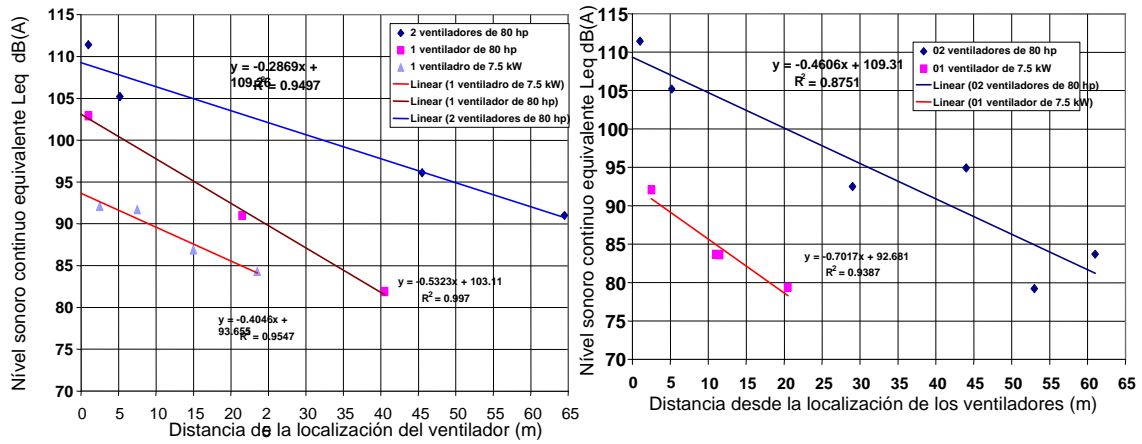


Figura 7 - Atenuación del ruido producidos por los ventiladores en los tajeos de cámaras y pilares(Navarro Torres, V. F., 2003)

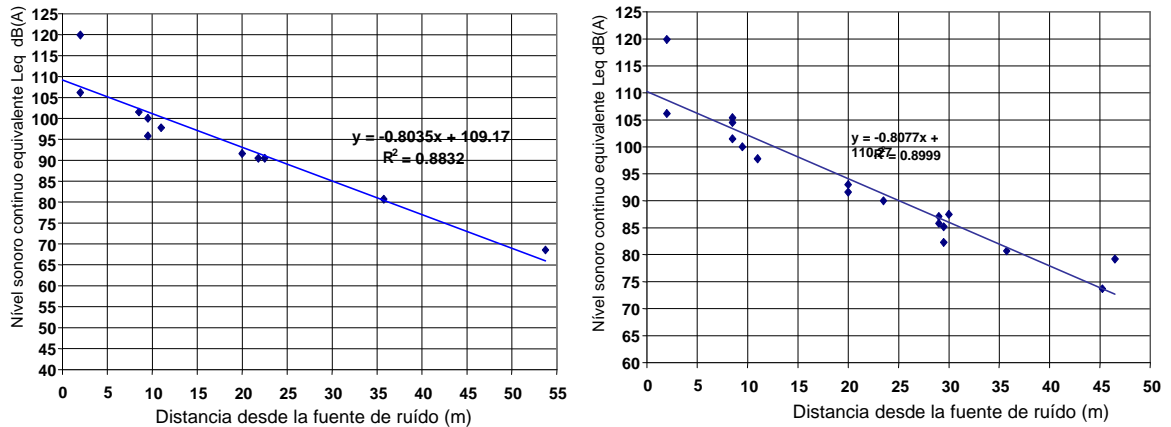


Figura 8 - Atenuación por la distancia del ruido producido por el Jumbo Tamrock H107 y LHD Diesel ST-3.5 en los tajeos de cámaras y pilares(Navarro Torres, V. F., 2003)

Esta tendencia para el caso del Jumbo Tamrock H107 y LHD Diesel Wagner ST-3.5 de Atlas Coco (Fig. 8) resulta expresado en la ecuación (9) sea en el sentido recto e lateral de las cámaras.

$$Leq_D = Leq_{m\acute{a}x} - 0.8056D \quad (9)$$

Tabla 5 - Matriz de riesgo (impacto) ambiental en el ambiente subterráneo de la mina de Panasqueira (Navarro Torres, V. F., 2003)

LOCAL		Tempo exposiçã o (horas)	Distânci a atingida (m)	Núme ro de home ns	Nível de impacte acústico
Frete de trabalho	Equipamento				
L2.D15.Raquete	Sistema de extracção, guincho e vagões	6.5	5 a 18 do Poço	08	∇
L3.D15.Galerias base	Sistema de extracção e vagões	6.5	14 a 27 do Poço	08	∇
L2. Virador minério	Locomotiva e vagões (no virador)	1.0	-	01	∇
L2.Galeria D23 L2.Ch.R-4.D23	02 ventiladores de 80 hp 01 ventilador de 80 hp	Eventual	42 a 18 do vent.	Variá v.	⊗
L3.D19.R- 3.AW34.Pto.60	01 ventilador auxiliar de 7.5 kW	Eventual	9 a 21 do vent.	Variá v.	⊗
Câmara de Quebragem	Britador primário Sistema de tela transportadora	2.05	50 da câmara	01	◆
L3.D21.R- 2.AW30.Pto.383 L3.D21.R- 2.AW30.Pto.382	Jumbo Tamrock H107 (no.2) Jumbo Tamrock H107 (no.2)	5.6	20 a 30 do frente de furac.	02	◆
L3.D21.R- 2.AW30.Pto.353	LHD Wager EST-2D (no.2) eléctrico	5.2	13 do LHD	02	⊗
L3.D19.R- 3.AW34.Pto.80 L3.D19.R- 3.AW34.Pto.84	LHD Wagner ST-3.5 (no.15) diesel	6.3	22 a 35 LHD	02	◆
L3.Gal.P-5, rampa L2/L3	Dumper Wagner MT- 413(no.1)	6.5	-	01	◆
Rampas Rebordões, L2/L3	Tractor AGRIA (no.11)	Eventual	-	13	⊗
Casa Cabeça de Correia Poço S. Bárbara C.Correia	Correia transportadora, Torva de transferência	2.05	Até mais de 80	01	◆
∇ Leve		⊗ Moderado		◆ Alto	

En términos generales la tendencia de al atenuación del ruido pela distancia (ruido ambiental) para todas as fuentes importantes identificadas está en la Fig. 9 que corresponde a la ecuación (10).

Con los estándares referidos, la matriz de riesgo ambiental en el ambiente subterráneo de la mina de Panasqueira en condiciones de no existir ningún tipo de protección es como es presentado en la Tabla 5.

La matriz (Tabla 7) muestra que en el ambiente subterráneo de la mina de Panasqueira existe impacto ambiental acústico de leve, moderado a alto, estudio que permitió tomar las medidas de corrección adecuadas.

$$Leq_D = Leq_{m\acute{a}x} - 0.4345D$$

(10)

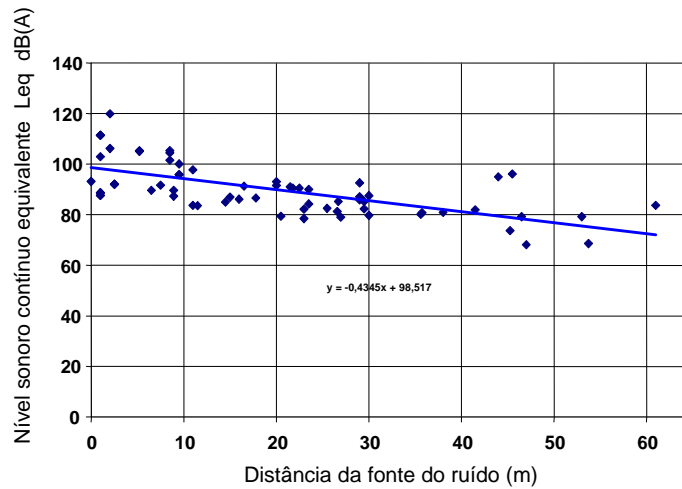


Figura 9 - Tendencia del ruido ambiental subterráneo en la mina de Panasqueira(Navarro Torres, V. F., 2003)

## CONCLUSIONES

La evaluación del impacto sonoro en el ambiente subterráneo de la mina de Panasqueira muestra que el riesgo ambiental acústico no debe ser abordado, como se hace tradicionalmente, considerado sólo en un sentido de ruido ocupacional e con referencia puntual de la fuente.

Por lo tanto, para una gestión ambiental del ruido que permita obtener una adecuada cualidad ambiental es totalmente posible aplicar las normas ambientales como la ISO 14000.

## BIBLIOGRAFÍA

CASCIO, J., et al. (1996), "Guía ISO 14000 – Las nuevas normas internacionales para la administración ambiental". McGraw-Hill, México.

DECRETO-LEI N.O 162/90 do 22 de Maio de 1990, "Regulamento Geral de Segurança e Higiene no Trabalho nas Minas e Pedreiras, de Portugal".

HOWES, M.J. (1982), "Noise Control", Camoborne School Mines.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION ISO 1999-1990, "Determination of occupational noise exposure and estimation of noise induced hearing impairment".

NAVARRO TORRES, V. F. E DINIS DA GAMA, C. (2001), "Avaliação do impacte Ambiental Sonoro no Ambiente Subterrâneo da Mina da Panasqueira". Relatório Centro de Geotecnia IST Lisboa.

NAVARRO TORRES, V. F., (2003), "Engenharia ambiental subterrânea e as suas aplicações a minas Portuguesas e Peruanas", Tese de Doutoramento, IST Lisboa.

NAIQUE, R. (2001), "Registos de temperatura e humidade relativa nas minas da Panasqueira", Barroca Grande, Portugal.