

# ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DE OBRAS GEOTÉCNICAS

## ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDEX OF GEOTECHNICAL WORKS

Navarro Torres, Vidal, *Centro de Getecnia, Lisboa, Portugal, vnavarr@mail.ist.utl.pt*  
Dinis da Gama, Carlos, *Centro de Getecnia, Lisboa, Portugal, dgama@ist.utl.pt*

### RESUMO

Actualmente, são cada vez mais importantes a sustentabilidade (ST) das actividades humanas e o desenvolvimento sustentável (DS). O DS foi assumido no Princípio 3 da Declaração do Rio de Janeiro (1992), como "o desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem comprometer as possibilidades das gerações futuras para atender as suas próprias necessidades". As obras geotécnicas também devem ser desenvolvidas nessa perspectiva, ou seja, em equilíbrio com os quatro componentes do ambiente (ar, água, seres vivos e solo/rocha), o qual é possível alcançar através da aplicação de tecnologias limpas, dos princípios da eco-eficiência e uma adequada gestão ambiental, garantindo que as obras tenham elevada permanência no tempo, para o benefício da humanidade, no presente e no futuro.

### ABSTRACT

Currently, increasing importance is ascribed to the sustainability (ST) of human activities and to the sustainable development (DS). DS was assumed in Principle 3 of the Rio de Janeiro Declaration (1992), as "that development which satisfies the needs of the present generations without jeopardizing the possibilities of the future generations to reach their needs". Geotechnical works must be developed under the same perspectives, that is harmonically balanced with the four environment components (air, water, human beings and soil/rock), which is attained through the application of clean technologies, eco-efficiency principles and a reliable environmental management, that may guarantee long-time spans for the benefit of mankind, at present and in the future.

## 2. INTRODUÇÃO

Os três principais suportes do DS são constituídos pela rentabilidade económica, a protecção ambiental e a responsabilidade social, que são determinantes na aplicação prática dos seus princípios fundamentais.

Concordantes com os princípios das Nações Unidas, muitos países, organizações e instituições vêm trabalhando no sentido de operacionalizar o ansiado DS. Assim, a nível da União Europeia (EU) existe uma Comissão denominada *European Commission on Sustainable Development* ([http://europa.eu.int/comm/sustainable/pages/summit\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/sustainable/pages/summit_en.htm)) e a nível das Nações Unidas a denominada *Division for Sustainable Development* [12], que vêm implementando estratégias do DS a nível regional e global.

A Comissão Europeia considera que a Responsabilidade Social Empresarial (RSE) é uma contribuição das empresas para o DS, pois envolve a operacionalização do DS ao nível

empresarial [10]. Também baseadas neste princípio, as Nações Unidas lançaram o conceito de “empresa responsável”, que reconhece o papel das empresas na consecução do DS.

Já a Responsabilidade Social é, essencialmente, um conceito segundo o qual as empresas decidem, numa base voluntária, contribuir para uma sociedade mais justa e para um ambiente mais limpo [6].

As referências feitas nos parágrafos anteriores, indicam que se vêm implementando acções no sentido de operacionalizar o DS a nível global, regional e local. Esta acção tem sido experimentada também em todas as áreas da actividade humana, como sejam os sectores primário da economia (agricultura, pesca e mineração), secundário (indústria transformadora, transportes, etc.) e terciário (serviços).

O termo *sustentabilidade* (ST) é resultante do conceito de DS e, em termos gerais, pode-se definir como a condição ou característica referida à permanência no tempo de qualquer actividade ou empreendimento e dos benefícios deles derivados.

A ST procura uma harmonia ou equilíbrio entre os aspectos económicos, ambientais e sociais para uma melhoria da qualidade de vida humana, respeitando o direito das próximas gerações em beneficiar, pelo menos, da mesma qualidade de vida. Logo, a ST de qualquer actividade humana faz sentido sempre que exista a relação necessária entre os sistemas económicos, ambientais e sociais, tendo como núcleo central o Homem.

Para uma real e eficaz gestão do DS é necessário usar modelos ou processos que permitam avaliar a ST das diversas actividades que o Homem desenvolve, sendo esta avaliação possível através dos *Índices de Sustentabilidade* (IS), quer no campo económico, quer no ambiental ou no social.

### **3. O PORQUÊ DA SUSTENTABILIDADE NAS OBRAS GEOTÉCNICAS**

O sector das obras geotécnicas, como qualquer outra actividade humana, é de importância vital para o desenvolvimento da humanidade e, como tal, deve envolver projectos economicamente viáveis, em harmonia com a protecção ambiental e assumindo responsabilidade social, ou seja, de forma sustentável. A realização de obras geotécnicas relaciona-se, portanto, com o desenvolvimento sócio-económico da população mundial, regional e local.

Estima-se que a população mundial no ano 2005 é de 6.5 mil milhões e para o ano de 2030 será de 8.2 mil milhões. Neste mesmo período, a população nas regiões menos desenvolvidas variará de 5.3 mil milhões a 6.7 mil milhões e a população de regiões desenvolvidas que é de 1.2 mil milhões apresenta tendência à estabilização [11].

Na Europa, a população em 2005 é de 728 milhões de habitantes, com tendência a diminuir 10.7% até ao ano 2050 e a população Portuguesa neste mesmo período é de 10.5 milhões, com tendência estável [11].

Uma causa determinante para a intensificação das obras geotécnicas urbanas é o crescimento da população urbana. A população urbana mundial no ano de 1950 era apenas cerca de 1/3 (29 %) do total, mas no ano de 2005 passou a ser quase metade (49.2%) e no ano 2030 prevê-se um acréscimo até 60.8% (Fig. 1), com tendência a aumentar. No ano 2001 existiam 19 megacidades com mais de 10 milhões de habitantes e prevê-se que no ano 2015 existirão 60 [4].

Na Comunidade Europeia, contrariamente à tendência da diminuição da população total, a população urbana vem experimentando um contínuo crescimento, estimando-se que no ano de 2005 seja de 73.3% e para 2030 cerca de 79.6% da população total (Fig. 1).

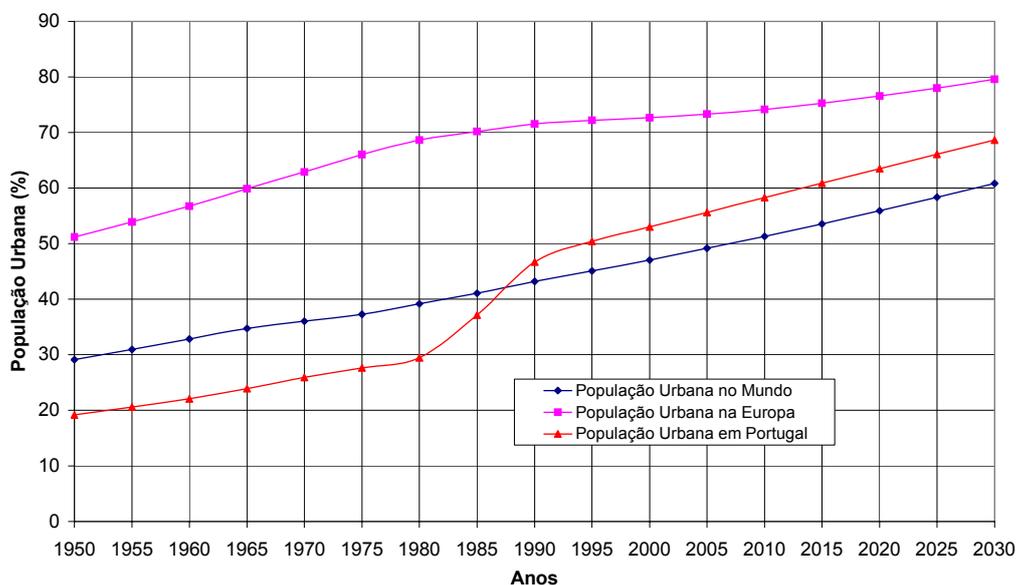


Figura 1 - Evolução da população urbana Mundial, Europeia e Portuguesa (baseado em [11])

Em Portugal, neste mesmo período, estima-se que a tendência da população urbana terá um crescimento contínuo, passando de 55.6% no ano 2005 a 68.7% em 2030 (Fig.1).

Estes indicadores mostram que haverá empreendimentos de obras geotécnicas cada vez maiores para satisfazer os requisitos do crescimento populacional global e urbano. Por exemplo, para a construção de túneis, as perspectivas são as referidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Túneis construídos, em execução e projectados (baseado em [5])

PAÍS	ANO	COMPRIMENTO (km)	TIPOS
Austrália	2002 – 2006	91.4	Rodovias, ferrovias, cabo eléctrico
Suécia	2002 – 2008	80.4	Ferrovia, rodovia
África do Sul	1991 – 2004	44.4	Hídrico, rodovia
Alemanha	2001 – 2011	117.7	Rodovia, metro, ferrovia
Egipto	2001 - 2004	51.0	Metro, rodovia
Inglaterra	1999 – 2002	80.70	Ferrovia, rodovia, metro
Japão	até 2001	224.0	Rodovia, ferrovia
Noruega	2001	30.0	Hidroeléctrica, rodovia
Roménia	2001	9.8	Rodovia, Metro
Rússia	2001	19.70	Rodovia, ferrovia
Turquia	2001	84.9	Rodovia, metro

Esta realidade é reflectida, assim, através de um contínuo aumento na construção de túneis. No ano de 1986, a ITA (International Tunnelling Association) tinha registado 900 projectos em 6 países (Áustria, Egipto, Islândia, Itália, Japão, E.U.A. e Alemanha), em 1988 registou 1411 projectos, incluindo Checoslováquia e Holanda. Em 1989 registou 1019 túneis, que incluem Cuba e Noruega, continuando este crescimento na década do 90 e inícios do século XXI (Tabela 1).

## 4. AS OBRAS GEOTÉCNICAS E A SUSTENTABILIDADE

### 4.1 Definição dos Índices de Sustentabilidade (IS)

O sector das obras geotécnicas é um sector determinante na melhoria da qualidade de vida da humanidade actual, bem como de futuras gerações, tendo grande responsabilidade de intervenção baseada na rentabilidade económica, na protecção ambiental e na responsabilidade social, que são os suportes do DS.

A operacionalização do DS é uma tarefa muito complexa, sendo uma importante ferramenta que pode ser utilizada para a gestão baseada nos critérios da ST que, através dos IS, dão origem a critérios de decisão muito importantes.

Com efeito, os IS permitem obter informação sobre a sustentabilidade do sistema e, neste caso, sobre as obras geotécnicas. Os IS permitem ainda verificar como o objectivo de obter resultados positivos em termos de produto “per capitae” se arrisca à degradação precoce dos recursos naturais, do ambiente e da sociedade. Sabe-se que todos os tipos de desenvolvimento implicam riscos, pelo que é necessário controlá-los através da fixação de limites permissíveis. Logo, os IS devem ser relevantes, compreensíveis e confiáveis.

Estudos que se vem realizando no Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico permitem propor um modelo para avaliar a ST de uma obra geotécnica através de três componentes principais: nos aspectos ambientais, económicos e nos sociais (Tabela 2 e Fig. 2).

Tabela 2 – Níveis de sustentabilidade das obras geotécnicas

$0 \leq ISG \leq 0.25$	$0.25 < ISG \leq 0.50$	$0.50 < ISG \leq 0.75$	$0.75 < ISG \leq 1$
Muito baixa	Baixa	Moderada	Boa

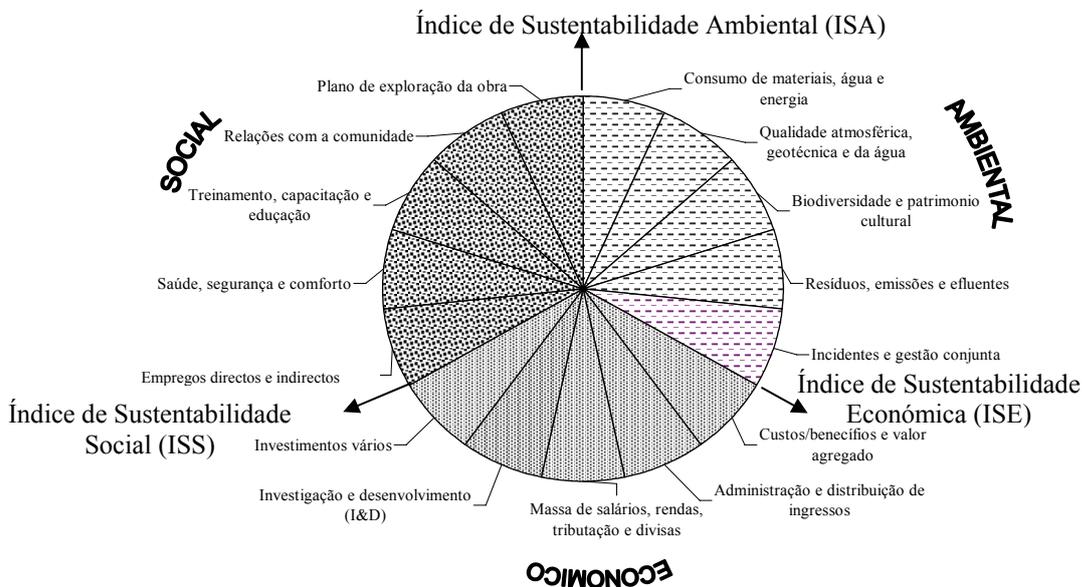


Figura 2 – Indicadores de Sustentabilidade em Obras Geotécnicas

Cada um dos 15 indicadores apresentados na Fig. 2, pode ter muitos mais sub-indicadores dependendo do tipo, dimensão, localização e outras características da obra, podendo atingir até mais de uma centena.

Por outro lado, cada um dos IS pode-se expressar através de índices que variam de 0 a 1, sendo o nível da ST caracterizável por meio de uma escala apropriada, como a indicada na Tabela 2.

#### 4.2 Modelo matemático para a quantificação do índice de sustentabilidade geotécnica

Considerando os três componentes principais do DS das obras geotécnicas, pode-se definir um Índice de Sustentabilidade Geotécnica (ISG) mediante a equação (1) em função do Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA), do Índice de Sustentabilidade Económica (ISE) e do Índice de Sustentabilidade Social (ISS).

$$ISG = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{i=4} IS_i = \frac{1}{3} (ISA + ISE + ISS) \quad (1)$$

Para calcular o índice de sustentabilidade de cada componente deve-se usar a condição de sustentabilidade de cada elemento poluente ( $X$  e/ou  $X'$ ) baseada no padrão mínimo de sustentabilidade ou de qualidade de vida, dado pelas normas em vigor. Três critérios são possíveis, considerando a condição local dos elementos ou variáveis ambientais ( $x_i$ ):

- 1) Quando a sustentabilidade se obtém com  $x_i < X$ ;
- 2) Quando a sustentabilidade se obtém com  $x_i \geq X$ ;
- 3) Quando a sustentabilidade se obtém com  $X' < x_i < X$ .

Considerando as condições do critério 1, o  $IS$  pode-se calcular usando a equação (2), onde a classificação dos indicadores é baseada na condição  $x_i < X$  e os valores baixos de  $x_i$  conduzem a uma sustentabilidade alta, significando que  $X$  é um padrão máximo.

$$IS = 1 - \left[ \frac{x_i}{X} \right], \text{ com as condições: } x_i = X \text{ ou } x_i > X \rightarrow IS = 0 \quad (2)$$

Nas condições do critério 2, o  $IS$  pode ser calculado usando a equação (3), baseado na condição  $x_i \geq X$ , onde valores altos de  $x_i$  geram valores altos de sustentabilidade. Neste caso,  $X$  corresponde a um padrão mínimo.

$$IS = \frac{x_i}{X}, \text{ com as condições: } x_i = X \text{ ou } x_i > X \rightarrow IS = 1 \quad (3)$$

Considerando as condições do critério 3, o  $IS$  pode ser calculado pelas equações (4 e 5), baseado na condição  $X' < x_i < X$  onde, para valores  $x_i > X$ , a sustentabilidade é baixa, e é insustentável para  $X_1$ , quando  $x_i < X'$  e, ainda, a sustentabilidade será baixa e insustentável para  $X_1'$ .

$$\begin{aligned} \text{Se } X' < x_i < X &\rightarrow IS = 1 \\ \text{Se } x_i > X &\rightarrow IS = 1 - \frac{x_i - X}{X_1 - X} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Se } x_i < X \rightarrow \text{IS} = 1 - \frac{X' - x_i}{X' - X_1'} \quad (5)$$

$$\text{Se } X_1' > x_i > X_1 \rightarrow \text{IS} = 0$$

## 5. MODELO MATEMÁTICO PARA A DETERMINAÇÃO DO ISA NAS OBRAS SUBTERRÂNEAS

Uma obra geotécnica subterrânea será ambientalmente sustentável quando o sistema ambiental é mantido em condições estáveis, em níveis saudáveis e em melhoria em vez de deterioração, usando medidas de protecção *técnica e economicamente* viáveis. A seguir apresenta-se o modelo matemático para a quantificação do indicador ambiental da qualidade geotécnica, atmosférica e das águas nas obras subterrâneas.

### 5.1. Índice de sustentabilidade geotécnica (ISG)

O ISG está relacionado com 2 sub-indicadores (j): estabilidade da abertura subterrânea  $ISG_r$  e propriedades dinâmicas do maciço rochoso  $ISG_{vs}$ . O modelo matemático proposto é o expresso mediante a equação (6).

$$\text{ISG} = \frac{1}{j} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{ISG}_{r(i)} + \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} \text{ISG}_{v(i)} \right) \quad (6)$$

Aplicando a equação (2) e o critério de impacte ambiental geotécnico de Navarro Torres et al. [3], a sustentabilidade de uma abertura subterrânea que permanecerá estável ao longo do tempo sem necessidade de suporte ( $ISG_r$ ) será:

$$\text{ISG}_r = 1 - \frac{A}{2.282 \cdot \text{ESR} \cdot Q^{0.3898}}, \text{ para aberturas } \textit{sem suporte}, \quad (7)$$

onde A é a dimensão geométrica da abertura (m), ESR é o índice *Excavation Support Ratio* e Q é o índice *Tunnelling Quality Index* [1].

Aplicando a equação (3) e para a rotura de um maciço que envolve uma abertura subterrânea circular, quando a pressão de suporte  $p_i$  é inferior à pressão crítica do suporte  $P_{cr}$ , a sustentabilidade geotécnica  $ISG_r$  será dada por:

$$\text{ISG}_r = \frac{(1 + K)p_i}{2P_o - \sigma_{cm}}, \text{ para aberturas } \textit{com suporte}, \quad (8)$$

onde K é o factor calculado em função do ângulo de atrito do maciço  $\phi$  (Equação 9),  $P_o$  é a tensão *in situ* no maciço,  $\sigma_{cm}$  é a resistência à compressão simples do maciço, calculada em função da coesão c e do ângulo de atrito (Equação 10).

$$K = \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} \quad (9)$$

$$\sigma_{cm} = \frac{2c \cos \phi}{1 + \text{sen} \phi} \quad (10)$$

O índice de sustentabilidade geotécnica devido a vibrações  $ISG_v$  pode-se exprimir através da equação (2), resultando:

$$ISG_v = 1 - 5 \left( \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \right), \text{ para } \textit{incomodidade humana} \text{ residencial diurna, ou}$$

$$ISG_v = 1 - \frac{1}{v_L} \left( \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \right), \text{ para } \textit{danos nas estruturas}, \quad (11)$$

onde  $v$  é a velocidade de vibração no local da avaliação (mm/s),  $v_x$  é a componente longitudinal da vibração (mm/s),  $v_y$  é a componente transversal (mm/s) e  $v_z$  é a componente vertical, o coeficiente 5 é resultante do padrão definido pela Norma ISO2631-2:1989 (0.2 mm/s) e  $v_L$  é a velocidade limite admissível pelas normas (mm/s), no caso de Portugal a NP 2074.

## 5.2. Índice de sustentabilidade do ar da atmosfera subterrânea ( $ISG_a$ )

Os problemas ambientais na atmosfera subterrânea estão relacionados com o caudal e velocidade do ar, a contaminação do ar pelas poeiras, a presença de gases e o ruído. Portanto, o modelo matemático desenvolvido para a quantificação  $ISG_a$ , considera estes sub-indicadores (Equação 12) sendo que cada um deles possui diversas variáveis ambientais.

$$ISG_a = \frac{1}{j} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ISQ_i + \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} ISV_i + \frac{1}{n''} \sum_{i=1}^{n''} ISP_i + \frac{1}{n'''} \sum_{i=1}^{n'''} ISg_i + \frac{1}{n^{iv}} \sum_{i=1}^{n^{iv}} ISR_i \right), \quad (12)$$

onde  $ISQ$  é o índice de sustentabilidade devido ao caudal de ar,  $ISV$  o índice devido à velocidade do ar,  $ISP$  o índice devido a partículas ou poeiras,  $ISg$  o índice devido aos gases e o  $ISR$  o índice devido ao ruído. Os parâmetros  $n$ ,  $n'$ ,  $n''$ ,  $n'''$ ,  $n^{iv}$  correspondem à quantidade de variáveis ambientais existentes em cada sub-indicador.

Com base nos modelos matemáticos para a determinação dos índices de qualidade do ar desenvolvidos por Navarro Torres et al. [3], os índices de sustentabilidade  $ISQ$ ,  $ISV$ ,  $ISP$ ,  $ISg$  e  $ISR$  podem ser calculados pelas equações 13, 14, 15, 16 e 17, respectivamente:

$$ISQ = \frac{Q_a}{0.05N + 0.035hp}, \quad (13)$$

onde  $Q_a$  é o caudal do ar na atmosfera subterrânea ( $m^3/s$ ),  $N$  a quantidade máxima de trabalhadores,  $hp$  é a potência dos motores e equipamentos diesel (HP) sendo os coeficientes apresentados os padrões de qualidade definidos pelo D.L. N.º 169/90 (0.05  $m^3/s$ .pessoa e 0.035  $m^3/s$ .HP).

$$ISV = 6.6V_a - 0.33, \text{ para } V_{is}=0.05 \text{ m/s } ISV = 2.143 - 0.143V_a, \text{ para } V_{is}=15 \text{ m/s} \quad (14)$$

onde  $V_a$  é a velocidade do ar na atmosfera subterrânea (m/s),  $V_{is}$  é a velocidade de insustentabilidade (m/s) e os coeficientes são resultado dos padrões definidos pelo D.L. N.º 169/90 (0.2m/s <V<8m/s, para V velocidade padrão).

$$ISP = \frac{1}{n}(n - 0.0025P_d - 0.33P_r), \quad (15)$$

onde  $n$  é a quantidade de variáveis ambientais existentes,  $P_d$  é a concentração de partículas de emissões diesel ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $P_r$  é a concentração de poeiras de rocha ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) e os coeficientes resultantes da MSHA [2] e do D.L. N.º 169/90 (400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de emissão diesel e 3  $\text{mg}/\text{m}^3$  para sílica livre <6% aplicável a túneis).

$$ISg = \frac{1}{n}(n + 0.048O_2 - 0.02CO - 0.0002CO_2 - 0.04NO - 0.2NO_2 - 0.2SO_2), \quad (16)$$

onde  $O_2$  (%),  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  são expressos em ppm, por serem os gases mais comuns na atmosfera subterrânea e  $n$  é a quantidade de variáveis ambientais que varia em função da quantidade de poluentes identificados. Os coeficientes são definidos pelo padrão da MSHA ( $O_2$  20.95%,  $CO$  50 ppm,  $CO_2$  ppm,  $NO$  25 ppm,  $NO_2$  5 ppm e  $SO_2$  5 ppm).

$$ISR = 1 - 0.011r, \quad (17)$$

em que  $r$  é o ruído registado no local (dB) e o coeficiente resulta do padrão definido pelo Decreto Regulamentar n.º 09/92 do 28 de Abril (máximo admissível 90 dB).

### 5.3 Índice de sustentabilidade das águas (ISa)

O ISa pode ser quantificado considerando como sub-indicadores as suas propriedades físico-químicas  $ISa_{fq}$ , substâncias tóxicas  $ISa_{st}$  e outros componentes  $ISa_o$  (Equação 18).

$$ISa = \frac{1}{j} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ISa_{fq(i)} + \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} ISa_{st(i)} + \frac{1}{n'''} \sum_{i=1}^{n'''} ISa_{o(i)} \right) \quad (18)$$

Com base nos padrões de qualidade de águas de drenagem ácida de minas, estabelecido pelo Banco Mundial [3] e aplicando a equação 2 e 3 o ISa será:

$$ISa = \frac{1}{n}((n-1) - 0.036T + 0.16pH - 0.05BOD - 0.05OG - 0.02S^* - As - 10Cd - 0.5Fe^* - Cr^* - 1.67Pb - 500Hg - 2Ni - Zn - 3.3Cu) \quad (19)$$

onde pH é a acidez da água, T a temperatura da água (°C), BOD a demanda bioquímica do oxigénio, OG o óleo e gordura e S sólidos em suspensão. Estas variáveis e os metais são expressos em mg/l ou ppm e os \* indicam a concentração total.

## 6. APLICAÇÃO A ALGUMAS OBRAS

Como parte aplicativa do modelo desenvolvido, apresentam-se na Tabela 3 vários casos de estudo da sustentabilidade do sistema ambiental de diversos trabalhos geotécnicos subterrâneos baseados nos estudos realizados por Navarro Torres et al. [3] nas minas da Panasqueira, de Neves Corvo, túnel da Gardunha e no Metro de Lisboa.

Um exemplo típico corresponde aos resultados do cálculo da sustentabilidade da Mina da Panasqueira feito com base em medições no mês de Dezembro de 2000, onde o índice de

sustentabilidade geotécnica ( $ISG$ ) é de 0.98 (Boa), o da atmosfera subterrânea ( $ISG_a$ ) é de 0.54 (Moderada) e da água ( $ISa$ ) 0.27 (baixa) (Fig. 3).

Tabela 3 – Resultados da aplicação dos modelos matemáticos a casos práticos.

Sub-indicador	Local	Parâmetros utilizados	Eq.	$ISA$	
				Índices de sustentabilidade	
Geotécnico	Mina Panasqueira	Desmontes do Nível 3, rocha xisto com $v_p=5100$ m/s, $Q=39.8$ e para aberturas (Câmaras) de 5 m e $ESR=3.5$	7	$ISG_r$	0.98
Geotécnico	Mina Neves Corvo	Rocha xisto com $Q=2.5$ a $20.3$ , $ESR=3.5$ para aberturas de 5m (Rampa CRAMS03)	7	$ISG_r$	0.56 a 0.81
Geotécnico	Túnel da Gardunha	Solo e rocha muito alterada com $\sigma_{cm}=0.116$ MPa, $K=1.3$ , $\phi=7.5^\circ$ , $C=50$ kPa, $\pi_i=0.3$ a $0.75$ MPa, $P_o=0.4$ MPa	8	$ISG_r$	0.78 a 1.00
Geotécnico	Metro de Lisboa (Linha Am)	Ponto (E19) de medição em zona com túnel a 15 m de profundidade, solo e rocha alterada, $v=0.078$ mm/s	11	$ISG_v$	0.61
Atmosfera subterrânea	Mina da Panasqueira	Desmontes do Nível 3, $N=30$ pessoas, 2 LHD Wagner com 364hp, velocidade do ar de 0.05 a 0.18 m/s.	13	$ISQ$	0.98
			14	$ISV$	0.44*
Atmosfera subterrânea	Mina da Panasqueira	Desmontes do Nível 3, $O_2=19.2\%$ , $CO=50$ ppm, $CO_2=3000$ ppm, $NO=2.5$ ppm e $NO_2=6.7$ ppm	16	$ISg$	0.21
Atmosfera subterrânea	Mina da Panasqueira	Desmontes do Nível 3, nível contínuo sonoro equivalente de 89 a 120 dB	17	$ISR$	0.39*
Água de mina	Mina da Panasqueira	Descarga de água ácida pela galeria da Salgueira com $pH=4$ , $Cu=2.01$ ppm, $Zn=12.6$ ppm, $Fe=4.09$ ppm, $Mn=8.6$ ppm e $As=0.026$ ppm	18	$ISa$	0.27

\* Valor médio

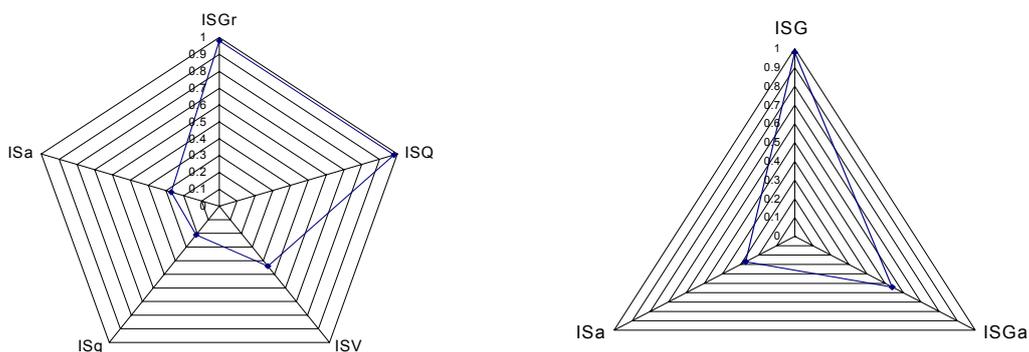


Figura 3 – Índices de Sustentabilidade Ambiental da Mina da Panasqueira

## 7. CONCLUSÕES

O sector das obras geotécnicas apresenta um carácter de grande importância para o desenvolvimento da humanidade, pelo que os projectos se devem desenvolver com um adequado índice de sustentabilidade, ou seja, tais empreendimentos devem ser economicamente viáveis, com protecção ambiental e responsabilidade social.

Através do exposto no presente artigo, verifica-se que o Desenvolvimento Sustentável das Obras Geotécnicas pode ser quantificado através do Índice de Sustentabilidade.

Este modelo matemático abre o caminho para uma avaliação e análise do Desenvolvimento Sustentável das Obras Geotécnicas de forma pragmática, deixando ao lado a pura filosofia.

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] Barton N. e Grimstad, E. (2000). El Sistema Q para la selección del sostenimiento en el método Noruego de excavación de túneles. Cap+itulo 1, Ingeo Túneles Libro 3, Madrid.
- [2] Mine Safety and Health Administration, MSHA, (2001), Rules and Regulations U.S., Federal Register/Vol.66, No.13/Friday, January 19.
- [3] Navarro Torres, Vidal, et al. (2005). Engenharia Ambiental Subterrânea e aplicações. CETEM/CYTED/CNPq Rio de Janeiro.
- [4] Parker, H.W., 2004. The tunnels and the Environment. Tunnelling Asia 2004 Need for Accelerated Underground Construction Issues & Challenges. ITA.
- [5] Tribune N.º 21. International Tunneling Association ITA. Fevereiro, 2002
- [6] Parecer do Comité das Regiões de 14 de Março, 2002. Livro Verde – Promover um quadro Europeu para a Responsabilidade Social das Empresas.
- [7] Rule and Regulations of U.S. Federal register/Vol. 66, No. 13/Friday, January 19, 2001
- [8] Building Services Research and Information Association (BSRIA)  
<http://www.managenergy.net/actors/A1289.htm>
- [9] *European Commission Sustainable Development*  
[http://europa.eu.int/comm/sustainable/pages/idea\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/sustainable/pages/idea_en.htm)
- [10] União Europeia. Responsabilidade Social das Empresas: um contributo das empresas para o desenvolvimento sustentável  
<http://europa.eu.int/scadplus/leg/pt/lvb/n26034.htm>
- [11] United Nations – Population Division: World Population prospects: The 2004 Revision Database  
<http://esa.un.org/unpp/index.asp?panel=1>
- [12] Division for Sustainable Development  
<http://www.un.org/esa/sustdev/csd/cycle1.htm>