

A SUSTENTABILIDADE DAS OBRAS GEOTÉCNICAS

SUSTAINABILITY 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 (1992), como "aquele desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem comprometer as possibilidades das gerações futuras para atender as suas próprias necessidades".

As obras geotécnicas e, em particular, as subterrâneas devem-se realizar considerando os princípios básicos da ST e do DS expressos na economia, na protecção ambiental e na responsabilidade social.

Uma obra geotécnica tem de ser realizada em equilíbrio com os quatro componentes do ambiente (ar, água, seres vivos, solo/rocha), que é possível conseguir a través da aplicação de tecnologias limpas, dos princípios da ecoeficiência e uma adequada gestão ambiental, que garantam que a obra tenha elevada permanência no tempo para o benefício da humanidade, no presente e no futuro.

A ST de uma obra geotécnica subterrânea pode ser capaz de otimizar a produtividade dos recursos utilizados, implicando benefícios directos para a empresa, para o processo produtivo e para a sociedade em geral. A ST pode ser expressa em forma qualitativa e qualitativa através dos indicadores da sustentabilidade (IS), que incluem os Indicadores de desempenho de Gestão e Indicadores de Desempenho Operacional.

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 the Janeiro Declaration (1992), as "that development which satisfies the needs of the actual generations without jeopardizing the possibilities of the future generations".

Geotechnical Works, and in particular underground projects, must be achieved according to the principles of ST and DS expressed in terms of economics, environmental protection and social responsibility.

Any geotechnical work must be harmonically with the four environment components (air, water, living beans and soil/rock), which are attained through the application of clean technologies, eco-efficiency principles and a reliable environmental management, that may guarantee long time frames for the benefit of man king, at present and in the future.

The ST of a geotechnical underground works should be able to optimise productivity of used resources, providing benefits to the companies, to the productive process and society, as a whole. ST can be expressed in both qualitative and qualitative terms trough sustainability indicator (SI), which include management performance indicators and operational performance indicators.

2. INTRODUÇÃO

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

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 Sustainable Development* (http://europa.eu.int/comm/sustainable/pages/summit_en.htm), a nível das Nações Unidas existe o denominado Division for Sustainable Development [12], etc. que vem implementando estratégias do DS de nível regional e global.

A Comissão Europeia considera que a Responsabilidade Social Empresarial (RSE) é uma contribuição das empresas para o DS, pois, a RSE é a operacionalização do DS ao nível empresarial [10]. Baseado neste princípio as Nações Unidas lançaram o conceito de “empresa responsável”, que reconhece o papel das empresas na consecução de um DS.

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 vem-se experimentando também a nível de todos os sectores da actividade humana como são: o sector mineral, agricultura, pesca, transportes, indústria, serviços, etc.

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

A ST procura uma harmonização ou equilíbrio dos aspectos económicos, ambientais e sociais para uma melhoria da qualidade de vida humana, respeitando o direito das próximas gerações de contar com a mesma qualidade de vida.

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 realiza o homem, esta avaliação é possível através dos *Indicadores da Sustentabilidade* (IS) quer no campo económico, quer no ambiental e quer no social.

3. O POR QUÊ 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 com responsabilidade social, ou seja em forma sustentável.

O desenvolvimento das obras geotécnicas têm de ver com o desenvolvimento socio-económico da população mundial, regional e local. Estima-se que a população mundial para o ano 2005 é 6.5 bilhões e para o 2030 será de 8.2 bilhões. Neste mesmo período a população nas regiões menos desenvolvidas variará de 5.3 bilhões a 6.7 bilhões e a população de regiões desenvolvidas é de 1.2 bilhões com tendência à estabilização [11].

Em Europa a população no ano 2005 é de 728 milhões com tendência a diminuir um 10.7% no 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 1950 era apenas próximo a 1/3 (29 %) do total, no ano de 2005 passou a ser quase 1/2 (49.2%) e no ano 2030 prevê-se um acréscimo de 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 Europa, contrariamente à tendência da diminuição da população, o que diz respeito à urbana vem experimentando um contínuo crescimento, estimando-se para o ano 2005 um 73.3% e para o 2030 um 79.6% (Fig. 1).

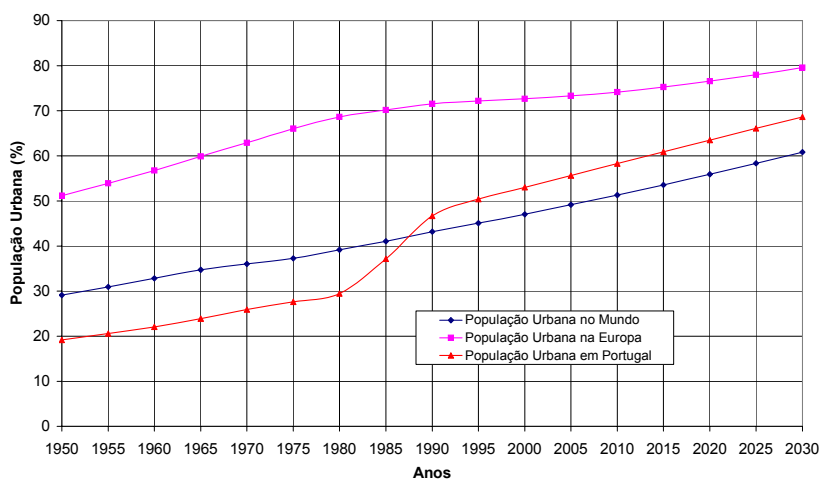


Figura 1 - Previsão da população urbana Mundial, Europeia e Portuguesa (baseado em [11])

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

Estes indicadores mostram haverá empreendimentos de obras geotécnicas cada vez maiores para satisfazer os requisitos do crescimento populacional global e urbano.

Esta realidade é reflectida por exemplo, com um contínuo aumento na construção de túneis. A ITA (International Tunnelling Association) no ano 1986 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 inclui a Cuba e Noruega, continuando este crescimento na década do 90 e inícios do século XXI (Tabela 1).

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

País	Ano	Comprimento (km)	Comentário
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
Roméia	2001	9.8	Rodovia, Metro
Rússia	2001	19.70	Rodovia, ferrovia
Turquia	2001	84.9	Rodovia, metro

4. AS OBRAS GEOTECNICAS E A SUSTENTABILIDADE

4.1 Definição dos Indicadores da Sustentabilidade (IS)

O sector das obras geotécnicas é um sector determinante na melhoria da qualidade da vida da humanidade da actual e futuras gerações, pelo tem a grande responsabilidade de operar baseado na rentabilidade económica, na protecção ambiental e na responsabilidade social que são o suporte do DS.

A operacionalização do DS é uma tarefa muito complexa, mas uma interessante ferramenta é uma gestão baseada nos critérios da ST e através dos IS que são ferramentas de decisão muito importantes.

Os IS são os que permitem obter informação sobre a sustentabilidade do sistema e neste caso sobre as obras geotécnicas. Os IS permitem ver de como o objectivo de obter resultados positivos em termos de ingresso “per cápita” se arrisca a degradação dos recursos naturais, o ambiente e a sociedade. Pois, sabe-se que todo tipo de desenvolvimento implica riscos, mas é necessário controlar nos limites permissíveis. Os IS devem ser relevantes, compreensíveis e confiáveis.

Baseado na técnica *Sustainable Project Appraisal Routine SPeAR®*, propõe-se um modelo que permite avaliar a ST de uma obra geotécnica através de quatro indicadores principais quer no aspecto ambiental, quer no económico, quer no social e quer na utilização de recursos (Fig. 2).

Cada um dos 16 indicadores do modelo de Indicadores de Sustentabilidade das Obras Geotécnicas (ISG) podem ter muitos mais sub-indicadores dependendo to tipo, tamanho, localização, etc. da obra, podendo atingir até centenas de índices.

Cada um dos IS podem-se expressar através de índices que variam de 0 a 1 e o nível da ST caracterizar usando uma escala apropriada como a indicada na Tabela 2.

Tabela 2 – Nível 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

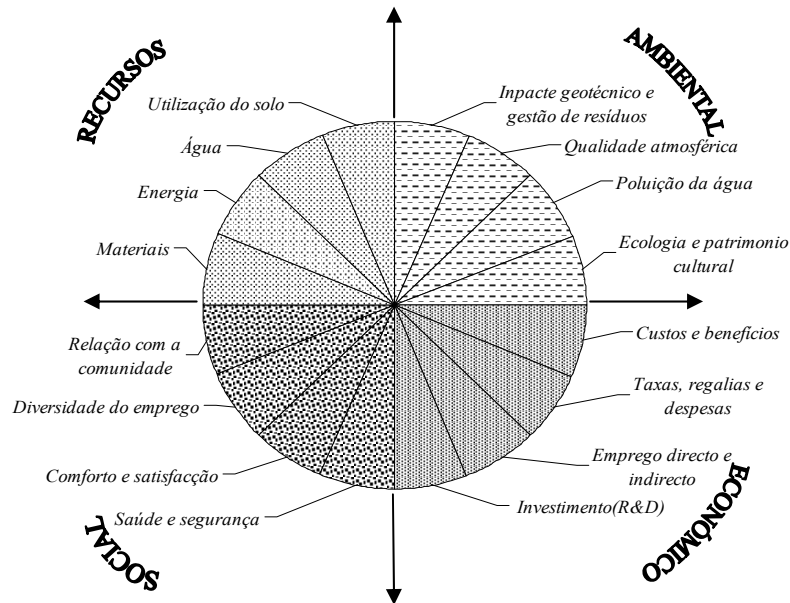


Figura 2 – Indicadores de Sustentabilidade em obras Geotécnicas

4.2 Modelo matemático para a quantificação do índice de sustentabilidade geotécnica

Considerando os quatro componentes principais do DS das obras geotécnicas, o ISG pode ser determinado mediante a equação (1) em função do Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA), do Índice de Sustentabilidade Económica (ISE), do Índice de Sustentabilidade Social (ISS) e Índice de Sustentabilidade dos Recursos (ISR).

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

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 mínimo padrão de sustentabilidade ou de qualidade de vida, dadas pelas normas em vigor. Três critérios são tomados considerando a condição local dos elementos ou variáveis ambientais (x_i):

- 1) Quando a sustentabilidade é com $x_i < X$
- 2) Quando a sustentabilidade é com $x_i \geq X$
- 3) Quando a sustentabilidade é com $X' < x_i < X$

Considerando as condições do critério 1, o IS pode-se calcular usando a expressão da 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. Neste caso X é um padrão máximo.

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

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.

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

Considerando as condições do critério 3, o IS pode ser calculado com as equações (4 e 5), baseado na condição $X' < x_i < X$, onde para altos valores de x_i ($X_i > X$) a sustentabilidade é baixa e é insustentável a X_i e para baixos valores de x_i ($x_i < X'$) a sustentabilidade é baixa e insustentável a X_i' .

$$\text{Se } X' < x_i < X \rightarrow IS = 1$$

$$\text{Se } x_i > X \rightarrow IS = 1 - \frac{x_i - X}{X_1 - X} \quad (4)$$

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

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

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

Uma obra geotécnica subterrânea será ambientalmente sustentável quando os seus componentes ou sistemas ambientais sejam mantidos em condições estáveis, em níveis saudáveis e em melhoria em vez do deterioro, usando medidas de protecção *técnica e economicamente* viáveis.

5.1. Índice de sustentabilidade geotécnica (ISG)

O ISG está relacionado com 2 sub-indicadores (j) que são de estabilidade da abertura subterrânea ISG_r , e seu comportamento das propriedades dinâmicas do maciço rochoso ISG_v , e o modelo matemático proposto é o expresso mediante a equação (6).

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

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

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

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, que sucede quando a pressão de suporte p_i é inferior à pressão crítica do suporte P_{cr} e nesta condição a sustentabilidade geotécnica ISG_r resulta:

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

Onde K é o factor calculado em função do ângulo de fricção do maciço ϕ ($K = \frac{1+\text{sen}\phi}{1-\text{sen}\phi}$), P_o é a pressão hidrostática in situ do maciço, σ_{cm} é a resistência à compressão simples do maciço calculado em função da coesão C e o ângulo de fricção interna ($\sigma_{cm} = \frac{2C \cos\phi}{1+\text{sen}\phi}$).

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

$$ISG_v = 1 - 5 \left(\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \right), \text{ para incomodidade humana residencial diurno, ou} \quad (9)$$

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

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, os gases e o ruído, portanto o modelo matemático desenvolvido para a quantificação ISG_a é considerando estes sub-indicadores (equação 10), sendo que cada um de eles possuem várias variáveis ambientais.

$$ISG_a = \frac{1}{j} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ISQ_i + \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} ISV_i + \frac{1}{n''} \sum_{i=1}^{n''} ISP_i + \frac{1}{n'''} \sum_{i=1}^{n'''} ISg_i + \frac{1}{n^{iv}} \sum_{i=1}^{n^{iv}} ISR_i \right) \quad (10)$$

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

Baseado nos modelos matemáticos para a determinação dos índices de qualidade do ar desenvolvidos por Navarro Torres, Vidal, et al. [3], os índices de sustentabilidade ISQ, ISV, ISP, ISg e ISR podem ser calculados com as equações 11, 12, 13, 14 e 15 respectivamente:

$$ISQ = \frac{Q_a}{0.05N + 0.035hp} \quad (11)$$

Onde Q_a é o caudal do ar na atmosfera subterrânea (m^3/s), N é quantidade máxima de pessoas, hp é a potência do motor do equipamento diesel (HP), os coeficientes são padrões de qualidade definidos pelo D.L. N.º 169/90 ($0.05 m^3/s.pessoa$ e $0.035 m^3/s.HP$).

$$ISV = 6.6V_a - 0.33, \text{ para } V_{is}=0.05 \text{ m/s} \quad ISV = 2.143 - 0.143V_a, \text{ para } V_{is}=15 \text{ m/s} \quad (12)$$

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 ($0.2\text{m/s} < V < 8\text{m}^3/\text{s}$, para V velocidade padrão).

$$ISP = \frac{1}{n} (n - 0.0025P_d - 0.33P_r) \quad (13)$$

Onde n é a quantidade de viráveis 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 (mg/m^3) e os coeficientes resultantes da MSHA [2] e o 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).

$$ISg = \frac{1}{n} (n + 0.048O_2 - 0.02CO - 0.0002CO_2 - 0.04NO - 0.2NO_2 - 0.2SO_2) \quad (14)$$

Onde O_2 (%), CO , CO_2 , NO , NO_2 , SO_2 expressos em ppm, são os gases mais comuns na atmosfera subterrânea e n a quantidade de varáveis ambientais que deve-se variar em função da quantidade de poluentes identificados e os coeficientes 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).

$$ISR = 1 - 0.011r \quad (15)$$

Onde r é o ruído registado no local (dB) e o coeficiente é resultante do padrão definido pelo Decreto Regulamentar n.º 09/92 do 28 de Abril (máximo permissível 90 dB).

5.3 Índice de sustentabilidade das águas (ISG_w)

O ISA pode-se quantificar considerando como sub-indicadores as suas propriedades físico-químicas ISA_{fq} , substâncias tóxicas ISA_{st} e outros componentes ISA_o (equação 16).

$$ISa = \frac{1}{j} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ISA_{fq(i)} + \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} ISA_{st(i)} + \frac{1}{n'''} \sum_{i=1}^{n'''} ISA_{o(i)} \right) \quad (16)$$

Baseado 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 resulta:

$$ISa = \frac{1}{n} ((n-1) - 0.036T + 0.16pH - 0.05BOD - 0.05OG - 0.02S^* - As - 10Cd - 0.5Fe^* - Cr^* - 1.67Pb - 500Hg - 2Ni - Zn - 3.3Cu) \quad (17)$$

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 * indica a concentração total.

6. APLICAÇÃO A ALGUMAS OBRAS

Como parte aplicativa do modelo desenvolvido apresenta-se o caso da sustentabilidade do sistema ambiental de diversos trabalhos geotécnicos subterrâneos (Tabela 3), baseado nos estudos realizados por Navarro Torres, Vidal, et al. [3] nas minas da Panasqueira, de Neves Corvo, túnel da Gardunha e o Metro de Lisboa.

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

Sub-indicador	Local	Parâmetros utilizados	Equação	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, $pi=0.3$ a 0.75 MPa, $Po=0.4$ 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	9	ISG_v	0.61
Atmosfera subterrânea	Mina da Panasqueira	Desmontes do Nível 3, $N=30$ pessoa, 2 LHD Wagner com 364hp, velocidade do ar de 0.05 a 0.18 m/s.	11	ISQ	0.98
			12	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	14	ISg	0.21
Atmosfera subterrânea	Mina da Panasqueira	Desmontes do Nível 3, nível contínuo sonoro equivalente de 89 a 120 dB	15	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	17	ISa	0.27

* Valor médio

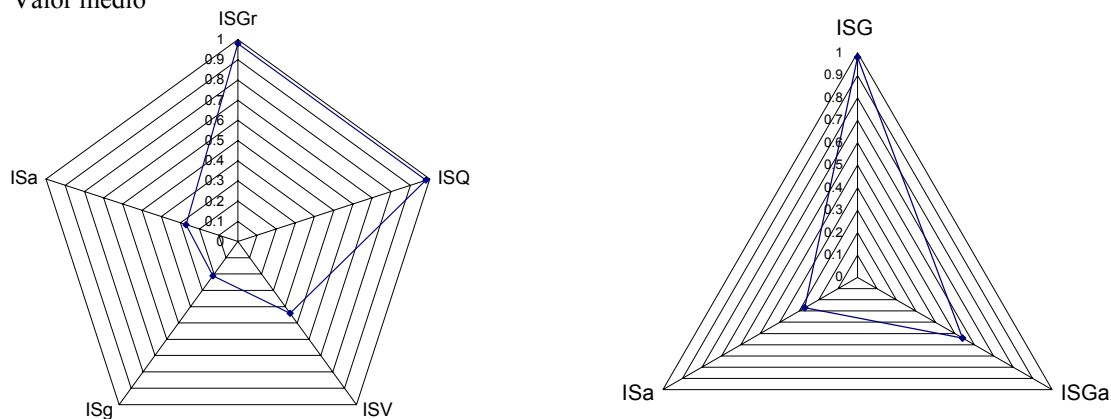


Figura 3 – Índices de Sustentabilidade Ambiental da Mina da Panasqueira

Um exemplo típico corresponde aos resultados do cálculo da sustentabilidade da Mina de Panasqueira feito em base a 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). Finalmente o índice de sustentabilidade ambiental ISA para esta Mina é de 0.60 (Moderada).

7. CONCLUSÕES

O sector das obras geotécnicas é e será de vital importância para o desenvolvimento da humanidade, pelo que os projectos devem-se desenvolver com um bom índice de sustentabilidade, ou seja, estes empreendimentos geotécnicos devem ser economicamente viáveis com a protecção ambiental e responsabilidade social.

O grande aporte no presente artigo consiste em que o Desenvolvimento Sustentável das Obras Geotécnicas pode ser quantificado através do Índice de Sustentabilidade.

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

9. 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

[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>