DESENVOLVIMENTO DA GEOTECNIA. NECESSIDADES INFRAESTRUTURAIS E PERSPETIVAS GENÉRICAS

Emerging trends in geotechnical engineering – Part 2

António Silva Cardoso*

RESUMO – A engenharia geotécnica é um dos primeiros domínios técnico-científicos a intervir em qualquer projeto de infraestruturas ou de desenvolvimento urbano, sendo, muitas vezes, o mais importante. No decurso dos tempos muitas inovações metodológicas, analíticas, numéricas e tecnológicas foram sendo descobertas e utilizadas nas investigações de campo e de laboratório e nas áreas da análise, do projeto e da construção de estruturas geotécnicas. Os campos em que a geotecnia tem forte intervenção e onde essas inovações foram sendo introduzidas são muito vastos e espraiam-se por escalas muito diversas. A globalização mundial, a utilização não sustentável dos recursos, as alterações ambientais causadas por razões antrópicas, o aumento dos desastres naturais e a carência de infraestruturas para dar resposta às necessidades das populações criam um quadro que condiciona decisivamente a evolução da engenharia geotécnica. Neste conjunto de quatro artigos perspetiva-se o futuro da geotecnia: parte-se de uma caracterização, feita no 1º artigo, das diversas condicionantes, tanto sociais, económicas e ambientais, como geotécnicas, e das necessidades das sociedades humanas e apontam-se vias de desenvolvimento futuro que ao autor parecem das mais relevantes.

SYNOPSIS – Geotechnical engineering is one of the first technical and scientific fields to intervene in any infrastructure or urban development project and, in many cases, it is the most important. In the course of time many methodological, analytical, numerical and technological innovations have been discovered and used in field and laboratory investigations and in the areas of analysis, design and construction of geotechnical structures. The fields in which geotechnics has strong intervention and where these innovations have been introduced are very large and spread out over very different scales. The world globalization, the non-sustainable use of resources, the climate change caused by human activities, the increase of natural disasters and the lack of infrastructure to meet people's needs influence decisively the evolution of geotechnical engineering. In this set of four papers a perspective of the future of geotechnics is outlined, starting with the characterization of various conditioning factors (first paper) and of the needs of human societies.

PALAVRAS CHAVE – Engenharia geotécnica, tendências emergentes, necessidades das sociedades humanas.

1 – INTRODUÇÃO

Num conjunto sequencial de quatro artigos fornece-se uma perspetiva do desenvolvimento futuro da geotecnia, partindo de uma caracterização das condicionantes sociais, económicas e ambientais atuais e das necessidades das sociedades humanas. A este propósito é relevante o que, em 2011, disse Peter Hansford ao tomar posse como Presidente da Institution of Civil Engineers: "(…) *Continuamos a precisar de mais infraestruturas de transporte,* (…) *de mais capacidade de geração de energia, de melhores instalações hidráulicas e de recolha e tratamento de resíduos e de todos os outros ingredientes essenciais para apoiar a nossa economia. Em todo o mundo, as comunidades humanas precisam desesperadamente de novas infraestruturas ou de melhoramento*

* Professor, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. E-mail: scardoso@fe.up.pt

das existentes para suportar uma população mundial em crescimento para 9 mil milhões de pessoas em 2050 (…)".

A perspetiva que se desenvolve neste conjunto de textos é, naturalmente, parcelar e incompleta, não pretendendo mais do que, por um lado, enunciar um conjunto de fatores condicionantes, tanto sociais, económicos e ambientais, como próprios da disciplina, isto é, geotécnicos, e, por outro lado, apontar vias de desenvolvimento futuro que ao autor parecem, umas (as condicionantes) e outras (as vias de desenvolvimento), das mais relevantes. Por isso, como não podia deixar de ser, é uma perspetiva pessoal, condicionada pelos interesses e pela experiência do autor.

No primeiro artigo trata-se as questões de enquadramento (Cardoso, 2015). Neste artigo procede-se a uma breve caracterização das necessidades infraestruturais mundiais, usando dados elaborados por organizações nacionais e internacionais que incluem estimativas quantificadas, e enuncia-se perspetivas genéricas para a evolução da geotecnia. Nos dois últimos artigos aponta-se rumos focalizados em certos temas, que ao autor parecem interessantes e úteis para o futuro.

2 – NECESSIDADES

2.1 – Introdução. A importância das infraestruturas

As infraestruturas são fundamentais para o funcionamento das sociedades modernas evoluídas. As infraestruturas são um meio para assegurar, por um lado, a distribuição de bens e serviços, a qual é essencial para a promoção da prosperidade e do crescimento e, portanto, da qualidade de vida, da saúde e da segurança dos cidadãos, e, por outro lado, a qualidade dos ambientes. As infraestruturas desempenharam no passado e continuarão a desempenhar no futuro um papel vital no desenvolvimento económico e social, papel cada vez mais relevante à medida que a globalização da economia se vai acentuando e as sociedades humanas se vão tornando mais dependentes do funcionamento adequado de um espectro crescente de serviços infraestruturais. Acresce que os vários sistemas de infraestruturas eles próprios interagem cada vez mais entre si, engendrando interdependências e complementaridades, bem como crescentes vulnerabilidades, colocando novos desafios de interoperacionalidade e de fiabilidade (OCDE, 2007).

As infraestruturas fornecem as bases em que assentam a prosperidade e o bem-estar das nações: facilitam as deslocações e os contactos, promovem as comunicações, fornecem energia e água, contribuem para a saúde e para a educação das pessoas e possibilitam que o conjunto da economia possa prosperar. O custo da construção e manutenção das infraestruturas é elevado, mas os custos de não proceder a esses investimentos imprescindíveis é incalculável; infraestruturas de qualidade produzem abundantes benefícios para a economia, o ambiente e o progresso social (WEF, 2012).

No que respeita aos transportes, a qualidade das redes de infraestruturas é um aspeto chave da competitividade internacional porque facilita o comércio – especialmente as exportações – e tem impacto positivo no crescimento da economia. Por isso, não é surpreendente que, como mostra o gráfico da Figura 1, os países com infraestruturas de melhor qualidade também são mais competitivos (OCDE, 2011).

Contudo, muitos países, em desenvolvimento e desenvolvidos, enfrentam *deficits* infraestruturais significativos, devido ao crescimento da população, da urbanização, de novas necessidades e ao envelhecimento das infraestruturas existentes.

No que segue faz-se uma breve referência particular às necessidades mundiais de água potável, de energia e de transportes e, depois, resumem-se alguns dados relevantes sobre a importância dos investimentos em infraestruturas, quer nos países em desenvolvimento, quer nos países desenvolvidos, ainda que neste caso importantes parcelas dos investimentos sejam não para a construção de novas infraestruturas mas para a renovação das existentes.

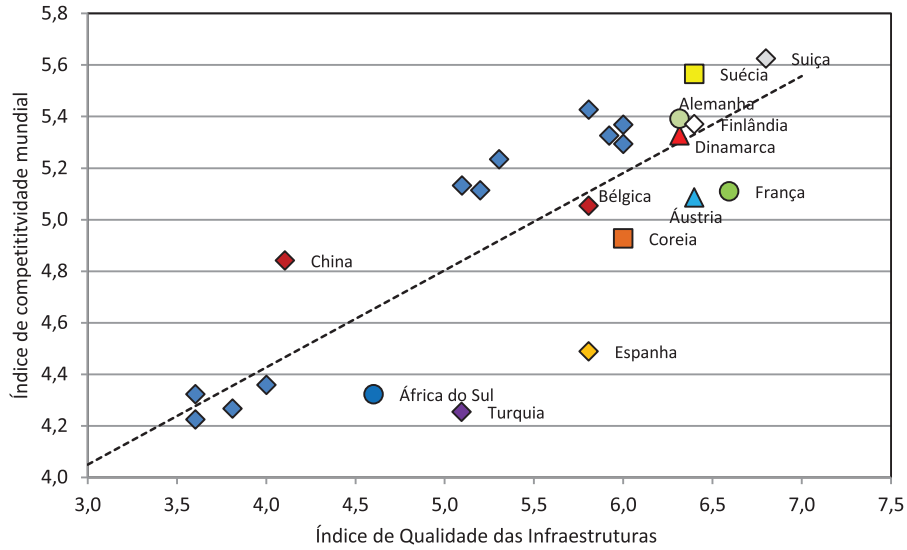


Fig. 1 – Correlação entre os índices de qualidade das infraestruturas e de competitividade; ambos os índices são estabelecidos pelo WEF – *World Economic Forum* (adaptado de OCDE, 2011).

2.2 – Breve caracterização das necessidades em alguns setores

2.2.1 – Água

Um setor fundamental para a vida humana, para a saúde pública e para a economia, cuja utilização requer as adequadas infraestruturas, é o da água e saneamento. O Quadro 1 mostra a distribuição da água no mundo e o Quadro 2 o consumo de água por dia e por habitante em diversos países. Note-se que o consumo é extraordinariamente variável, entre o elevado consumo dos americanos e australianos e o baixo consumo dos habitantes da generalidade dos países africanos.

Quadro 1 – Distribuição da água no mundo (10^6 km^3).

Total	100%	1300,0
Água salgada	97,5%	1267,5
Água doce	2,5%	32,5
Atmosfera e humidade do solo	0,9%	0,3
Rios e lagos	0,3%	0,1
Água subterrânea	30,1%	9,8
Gelo e neves perpétuas	68,7%	22,3

Fonte: El País Semanal n.º 1955, 15 de março de 2014

Quadro 2 – Consumo de água por dia e por habitante (em litros).

Angola, Camboja, Etiópia, Haiti	15
Ghana, Nigéria	35
China	85
Reino Unido, Brasil, Índia	135-150
Portugal	170
Itália, Japão, México	365-385
Austrália	495
EUA	575

Fonte: El País Semanal n.º 1955, 15 de março de 2014

Na reportagem do El País Semanal (n.º 1955, 15 de março de 2014) referem-se ainda os seguintes dados caracterizadores da situação atual:

- 20% dos aquíferos mundiais são sobre-explorados;
- a água captada é consumida 70% na agricultura, 20% na indústria e 10% no uso doméstico;
- a percentagem da população com acesso a água potável é de 100%, nos países industrializados, de 85 a 87%, na América Latina e Caraíbas, no Sul da Ásia e no Norte e Este de África, de 76%, no Este da Ásia e Pacífico, e de 57%, na África subsariana; a percentagem média global é 83%;
- prevê-se que em 2030 a escassez de água possa afetar metade da população mundial;
- 1/3 da população não tem acesso a saneamento;
- 80% das águas residuais não são tratadas e são despejadas em rios e lagos;
- 70% dos resíduos industriais são vertidos em linhas de água.

2.2.2 – Energia

A energia e a qualidade de vida (mortalidade infantil, educação, esperança de vida, etc.) estão intimamente ligadas, como mostra a correlação, apresentada na Figura 2, entre o Indíce de Desenvolvimento Humano (HDI, *Human Development Index*) e o consumo de energia *per capita*. O índice HDI é resultado da média de 3 índices: *life expectancy index LEI, education index EI, e gross domestic product index GDPI*. Os dados mostram que o desenvolvimento humano está intimamente relacionado com o consumo de energia, mas também mostram que níveis de qualidade de vida similares podem ser alcançados com enormes diferenças nos níveis de consumo de energia, o que abre as portas para o aumento da eficiência no uso da energia.

Espera-se que haja um aumento acentuado da procura de energia nos próximos 25 anos devido ao desenvolvimento económico e ao crescimento da população. Segundo Fragaszy *et al.* (2011) o crescimento será de 17% se o consumo e a população crescerem aos ritmos atuais, mas alcançará os 66% se o consumo nos países subdesenvolvidos aumentar até ao nível necessário a um padrão de qualidade de vida adequado (valor estimado em 1,5kW/pessoa, Santamarina, 2006). Esta situação exacerbará os problemas atuais causados pela dependência dos combustíveis fósseis, quer

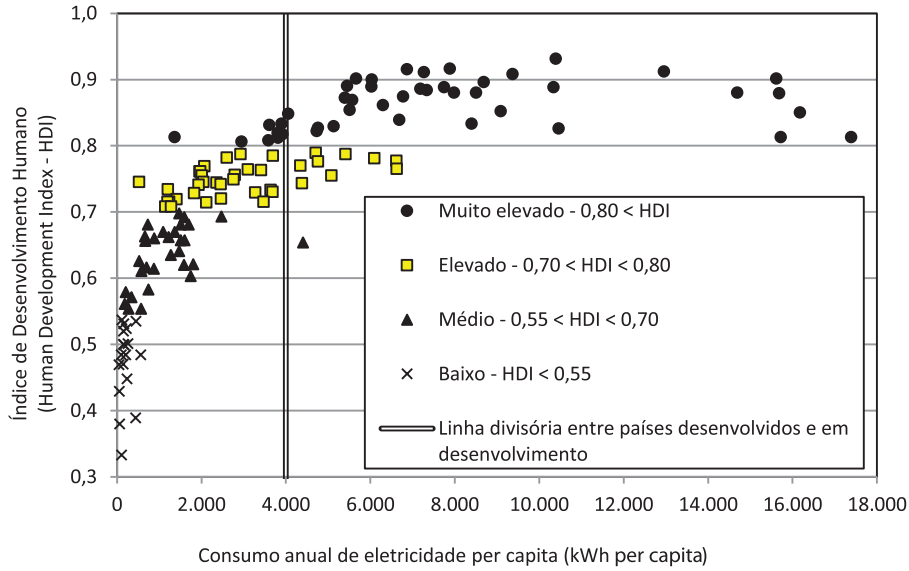


Fig. 2 – Relação entre o índice HDI *(Human Development Index)* e o consumo anual de eletricidade *per capita* (dados de WB, 2015, e de UN, 2015).

os problemas ambientais, quer os problemas políticos e sociais. Com efeito, atualmente, mais de 80% de toda a energia consumida no mundo é obtida dos combustíveis fósseis, fundamentalmente devido ao seu baixo custo nas condições atuais do mercado.

Como já se referiu, a queima dos combustíveis fósseis é acompanhada pela emissão de dióxido de carbono, cuja libertação na atmosfera é a principal causa responsável pelo efeito de estufa, que está na base das alterações climáticas de origem antrópica. Assim, a redução das emissões de CO_2 para a atmosfera nas próximas décadas constitui uma necessidade premente e uma tarefa central da investigação aplicada para os próximos anos. O contributo dos geotécnicos na busca de soluções inovadoras que se enquadrem nesse objetivo global pode ser e é certamente muito amplo e diversificado.

2.2.3 – Transportes

Um estudo recente da OCDE (2011) (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económicos) refere que se espera que, a longo prazo, o PIB mundial cresça fortemente, podendo duplicar até 2030; o maior crescimento económico deve ocorrer na região da Ásia / Pacífico, com a liderança da China e da Índia; entre as regiões desenvolvidas, o PIB da América do Norte deve crescer 50% e o da Europa 40%, até 2030. Os crescimentos da economia, do comércio internacional e da população (particularmente, da urbana) são importantes propulsores do aumento de passageiros e do fluxo de mercadorias. Com a duplicação do PIB mundial até 2030, as expectativas da OCDE, para o período 2010-30, são que se verifiquem, a nível mundial, os seguintes aumentos anuais: i) tráfico aéreo cerca de 4,7%; ii) carga aérea cerca de 5,9%; iii) tráfico marítimo de contentores superior a 6%; iv) transporte ferroviário de passageiros e de mercadorias 2-3%. A ocorrerem estes crescimentos: i) o transporte aéreo de passageiros pode duplicar em 15 anos; ii) os fretes aéreos podem triplicar em 20 anos; iii) o transporte marítimo de contentores pode multiplicar por 4 até 2030. As atuais infraestruturas não têm capacidade para suportar crescimentos da ordem de grandeza dos enunciados, pelo que vão ser necessários importantes investimentos.

Quadro 3 – Estimativa do investimento em infraestruturas até 2030, segundo a OCDE.

OCDE (2007) – *Infrastructure to 2030*	**2007-2030**
Ferrovias, estradas, telecomunicações, distribuição de eletricidade, água	$53{,}0 \times 10^{12}$ US$
Geração de eletricidade	$12{,}0 \times 10^{12}$ US$
Outros investimentos na área da energia (petróleo, gás, carvão, etc.)	$6{,}0 \times 10^{12}$ US$
	$71{,}0 \times 10^{12}$ US$
OCDE (2011) - *Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030*	**2009-2030**
Aeroportos	$2{,}2 \times 10^{12}$ US$
Portos	$0{,}8 \times 10^{12}$ US$
Novas ferrovias (incluindo manutenção)	$5{,}0 \times 10^{12}$ US$
Petróleo e gás – transporte e distribuição	$3{,}3 \times 10^{12}$ US$
	$11{,}3 \times 10^{12}$ US$

2.3 – Estimativas dos investimentos futuros em infraestruturas a nível mundial

No relatório da OCDE (2007) *Infrastructure to 2030* estima-se que as necessidades em infraestruturas (adicionais e renovações) a nível mundial até 2030 impliquem um investimento total acumulado da ordem de US$ 71×10^{12}, entre 2007 e 2030 (ver Quadro 3). Este relatório não contempla os aeroportos e os portos.

Um relatório posterior (OCDE, 2011), dedicado à questão dos transportes, conclui que as necessidades globais de investimento em infraestruturas de transportes podem alcançar o montante de US$ 11×10^{12}, no período 2009-30. Portanto, o investimento anual global médio é da ordem de US$ $3{,}4 \times 10^{12}$, valor semelhante ao apontado posteriormente pelo McKinsey Global Institute (2013).

Tendo presente que o PIB mundial em 2013 foi de US$ $73{,}9 \times 10^{12}$, conclui-se que aquele montante corresponde a mais de 4% do PIB mundial. Tal significa que os investimentos em infraestruturas podem corresponder a percentagens elevadas dos respetivos PIB em países com economias em forte desenvolvimento, que carecem de infraestruturas como fator fundamental para que esse desenvolvimento se processe consistentemente.

No encontro anual de 2014 do EBRD (*European Bank for Reconstruction and Development*) foi referenciado um montante global das necessidades de investimento da mesma ordem de grandeza do acima indicado. Com efeito, nesse encontro discutiu-se como financiar os US$ 65×10^{12} que, desde agora até 2030, são necessários para cobrir a manutenção e renovação das infraestruturas existentes (EBRD, 2014).

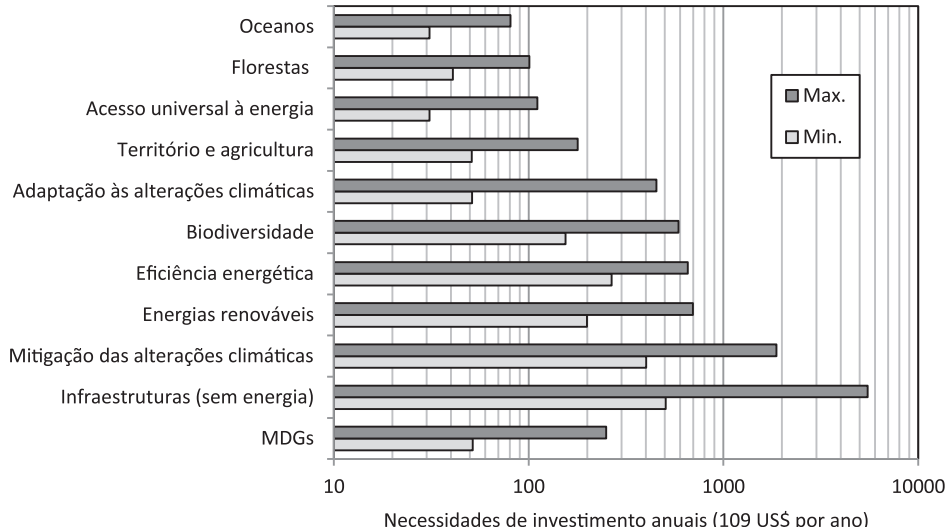
Efetivamente, um tema que está em cima da mesa e que é recorrentemente discutido nos fóruns internacionais é o problema do financiamento. De acordo com o *World Economic Forum* (WEF, 2012) há falta de investimento para cobrir a forte procura de infraestruturas em muitos países, desenvolvidos e em desenvolvimento, estimando-se essa carência em cerca de US$ 1×10^{12} por ano até 2020.

Reportando-se apenas aos países em desenvolvimento, técnicos do Banco Mundial (Lin e Lu, 2013) chamam a atenção para as carências infraestruturais desses países: por exemplo, no mundo em desenvolvimento quase uma em cada quatro pessoas não tem eletricidade em sua casa e em grande parte dele - incluindo dois terços das famílias africanas - não há fornecimento de água em

casa nem saneamento. Por outro lado, salientam os imperativos económicos do desenvolvimento de infraestruturas; com efeito, no mundo pós-crise, com necessidade de encontrar suportes para o crescimento económico, o desenvolvimento de infraestruturas cria empregos, aumenta a mobilidade e abre o caminho para o crescimento económico em muitos setores. Segundo as suas estimativas as necessidades anuais de financiamento de infraestruturas nos países em desenvolvimento são da ordem de US$ 1,2-1,5 $\times 10^{12}$, mas atualmente investe-se menos de metade dessa verba.

Por fim, considere-se um documento muito recente das Nações Unidas (UN, 2013). No Capítulo 1 desse documento faz-se a recolha das várias estimativas que têm sido feitas sobre as necessidades de investimento anual global do mundo, a maior parte dele para financiar infraestruturas (Figura 3). Constata-se que em cada setor ou *cluster* considerado o leque de variação das estimativas publicadas é bastante aberto, variando do simples para 3 a 10 vezes mais. Esta ampla variação reflete (UN, 2013) as diferenças das bases de dados utilizadas, de âmbito, de metodologia, de referências e outros fatores, incluindo a própria incerteza de que este tipo de exercícios está à partida eivado. O montante global reflete essas variações, sendo os seus valores extremos os seguintes:

- Mínimo - US$ 1,78 $\times 10^{12}$, o que corresponde a 2,4% do PIB;
- Máximo - US$ 10,49 $\times 10^{12}$, o que corresponde a 14,1% do PIB.



MDGs – Em 2000, todos os estados membros da Nações Unidas e pelo menos 23 organizações internacionais comprometeram-se a ajudar para que se alcançassem em 2015 os seguintes Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (MDGs - *Millennium Development Goals*): 1) erradicar a pobreza extrema e a fome; 2) alcançar o ensino primário universal; 3) promover a igualdade de género e as oportunidades para as mulheres; 4) reduzir a mortalidade infantil; 5) melhorar a saúde maternal; 6) combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças; 7) assegurar a sustentabilidade ambiental; 8) desenvolver parcerias globais para o desenvolvimento.

Fig. 3 – Ordem de grandeza das necessidades anuais de investimento – pesquisa da literatura (adaptado de UN, 2013, Chapter 1).

Em suma, provavelmente o valor indicado logo no início e estimado pela OCDE (2007, 2011), intermédio entre este dois, constitui a estimativa mais razoável. Tal significa que o investimento anual médio em infraestruturas do mundo até 2030 deverá situar-se algo acima dos 4% do PIB.

2.4 – Os casos de alguns países

2.4.1 – Preâmbulo

Em alguns países, organizações da sociedade civil, geralmente associações profissionais de engenheiros civis, promovem a avaliação qualitativa das infraestruturas dos respetivos países e, em alguns casos, produzem estimativas dos investimentos necessários para atingir certos níveis de qualidade. Que seja do conhecimento do autor, é nos Estados Unidos da América onde há mais tempo se elaboram relatórios deste tipo. No que segue resume-se os resultados do mais recente desses relatórios e faz-se outro tanto com os estudos relativos ao Reino Unido e à África do Sul.

2.4.2 – Estados Unidos

Desde há uns anos a ASCE (*American Society of Civil Engineers*) prepara periodicamente o Relatório sobre as Infraestruturas Americanas (*Report Card on America's Infrastructure*) com o objetivo de informar o público do estado das infraestruturas de uma forma concisa e de fácil acesso. Cada uma das 16 categorias de infraestruturas consideradas é avaliada mediante critérios rigorosos e tendo em consideração as fontes de dados agregados mais recentes, procurando-se assim fornecer uma avaliação abrangente dos ativos infraestruturais americanos. No Quadro 4 apresentam-se as classificações atribuídas desde 1988 a cada uma das 16 categorias, considerando a seguinte escala de avaliação (ASCE, 2013):

A) Excecional - Preparada para o futuro: as infraestruturas que compõem o sistema / rede estão genericamente em excelentes condições, tipicamente novas ou recentemente reabilitadas, e satisfazem as necessidades futuras. Poucos componentes do sistema / rede apresentam sinais de deterioração que requeiram atenção. As instalações obedecem aos padrões modernos relativos à funcionalidade e possuem a resiliência necessária para suportar a maioria dos desastres e eventos climáticos severos.

B) Bom - Adequada para o presente: as infraestruturas que compõe o sistema / rede estão em boas a excelentes condições. Alguns componentes do sistema / rede mostram sinais de deterioração que requerem atenção; poucos componentes apresentam deficiências significativas. As infraestruturas são seguras e confiáveis com problemas de capacidade mínimos e riscos mínimos.

C) Medíocre - Requer atenção: as infraestruturas que compõe o sistema / rede estão em razoáveis a boas condições, apresentando sinais genéricos de deterioração que requerem atenção. Alguns componentes do sistema / rede exibem deficiências significativas nas suas condições físicas e na funcionalidade, com o aumento da vulnerabilidade ao risco.

D) Pobre - Em risco: as infraestruturas que compõe o sistema / rede estão em fracas a razoáveis condições e, a maioria, abaixo dos padrões atuais, com muitos componentes próximos do fim da sua vida útil. Uma grande parte do sistema apresenta deterioração significativa. Quer as condições quer as capacidades motivam elevada preocupação, havendo risco elevado de falha.

F) Crítico (Falha) - Imprópria para os fins: as infraestruturas que compõe o sistema / rede estão em condições inaceitáveis, com sinais generalizados de deterioração avançada. Muitos dos componentes do sistema exibem sinais de falha iminente.

Quadro 4 – Avaliação das infraestruturas dos EUA: classificações (adaptado de ASCE, 2013).

Categoria	1988	1998	2001	2005	2009	2013
Infraestruturas hidráulicas e ambientais						
Barragens	-	D	D	D+	D	D
Água potável	B–	D	D	D–	D–	D
Resíduos perigosos	D	D–	D+	D	D	D
Diques	-	-	-	-	D–	D–
Resíduos sólidos	C–	C–	C+	C+	C+	B–
Águas residuais	C	D+	D	D–	D–	D
Transportes						
Aeroportos	B–	C–	D	D+	D	D
Pontes	-	C–	C	C	C	C+
Navegabilidade dos rios	B–	-	D+	D–	D–	D–
Portos	-	-	-	-	-	C
Vias ferroviárias	-	-	-	C–	C–	C+
Estradas	C+	D–	D+	D	D–	D
Trânsito	C–	C–	C–	D+	D	D
Instalações públicas						
Parques públicos e recreativos	-	-	-	C–	C–	C–
Escolas	D	F	D–	D	D	D
Energia	-	-	D+	D	D+	D+
Classificação geral média	**C**	**D**	**D+**	**D**	**D**	**D+**
Custo para melhorar ($\times 10^{12}$ US$)	---	---	1,3	1,6	2,2 em 5 anos	3,6 em 7 anos

A = Excecional; B = Bom; C = Medíocre; D = Pobre; F = Crítico

No relatório de 1988 foi atribuída às infraestruturas dos EUA a classificação média global ‘C’. Entre os problemas identificados nesse relatório figuravam o aumento do congestionamento, o atraso / deferimento das operações de manutenção e a idade de muitos dos componentes do sistema; o relatório mostrava também preocupação pela insuficiência dos investimentos para cobrir os custos das operações e das necessidades futuras. Desde 1998, os 5 relatórios posteriores elaborados pela ASCE confirmam consistentemente que esses mesmos problemas persistem. A este propósito recorde-se o incidente ocorrido recentemente na vizinhança da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA), o qual é brevemente relatado no Quadro 5.

Quadro 5 – Incidente ocorrido recentemente na UCLA.

A rotura de uma conduta de água com 0,75m de diâmetro em 29 de julho de 2014 no Sunset Boulevard, Los Angeles, originou os impressionantes jatos de água que se vêm nas fotografias. A enchente resultante (perderam-se mais de 75 milhões de litros de água) inundou várias áreas e edifícios da UCLA.
A rotura ocorreu numa conduta com quase 100 anos de idade, alertando para os riscos e despesas que muitas cidades americanas enfrentam, pois existem milhares de redes de abastecimento de água que foram construídas há muitas gerações. Com efeito muitos dos sistemas de água potável das cidades americanas datam da primeira metade do século XX. De acordo com a *National Association of Water Companies* ocorrem anualmente nos EUA cerca de 240 000 roturas de condutas, resultado do fato de quase metade dessas tubagem estar em pobres condições. *"Much of our drinking water infrastructure is nearing the end of its useful life"*, afirma a *American Society of Civil Engineers* no relatório de 2013 acima comentado, salientando que o custo da substituição de redes de abastecimento da água nas próximas décadas pode ultrapassar 10^{12} US$.

A estimativa do investimento necessário até 2020 para se alcançar e manter um bom estado de conservação, ou seja, para se alcançar globalmente o grau 'B', é de $3{,}6 \times 10^{12}$ US$, sendo que a estimativa dos fundos desde já disponíveis é de $2{,}0 \times 10^{12}$ US$; no relatório estima-se uma carência de cerca de $1{,}6 \times 10^{12}$ para se atingir aquele desiderato. Note-se que, como o PIB dos EUA foi de $16{,}7 \times 10^{12}$ US$, aquele nível de investimento é equivalente a cerca de 3,1% do PIB todos os anos.

2.4.3 – Reino Unido

A ICE (*Institution of Civil Engineers*), nos últimos anos, também tem produzido relatórios com objetivos similares aos prosseguidos pela ASCE em que usa uma escala de classificação das infraestruturas semelhante (ICE, 2014):

A) Preparada para o futuro – Infraestrutura bem mantida e em boas condições. Há capacidade excedentária para cobrir eventuais incidentes importantes. Há uma estratégia clara, incluindo planos para desenvolver o setor de forma a enfrentar as necessidades dos próximos 5 anos.

B) Adequada para o presente – Infraestrutura em condições aceitáveis, sujeita a um regime de manutenção aceitável. Responde adequadamente às necessidades atuais e os incidentes que ocorrem na rede são pouco relevantes. Contudo, são necessários investimentos para dar resposta às necessidades dos próximos 5 anos.

C) Requer atenção – Infraestrutura mantida de forma pouco frequente, requer atenção. Não possui capacidade excedentária, logo há deficiências em períodos de pico de utilização ou aquando de incidentes, mesmo que de menor relevância. São necessários investimentos significativos para a melhorar e a tornar capaz de responder às necessidades dos próximos 5 anos.

D) Em risco – Infraestrutura em condições abaixo do aceitável e deficientemente mantida. Exibe frequentemente faltas de capacidade para responder à procura e não exibe resiliência. Caso não haja um investimento significativo pode haver um impacto importante na economia nacional.

F) Imprópria para os fins – Infraestrutura em condições inaceitáveis, com pouca manutenção. A capacidade é insuficiente e a resiliência constitui uma séria preocupação. O estado da infraestrutura afeta a economia nacional.

O Quadro 6 mostra os resultados dos exercícios de avaliação feitos em 2010 e 2014. Verifica-se que: i) os setores que estavam em boas condições em 2010 (rede de transportes nacionais e o setor da água e respetivo tratamento) mantiveram o bom nível; ii) melhoraram dois setores, um dos quais (energia) deixou de estar na situação de risco em que se encontrava; iii) pioraram outros dois setores, sendo que se aprofundou a situação de risco das infraestruturas de transporte locais. Ao contrário dos relatórios americanos, neste não há uma avaliação global nem se procede a uma estimativa dos investimentos necessários.

Quadro 6 – Avaliação das infraestruturas do Reino Unido (adaptado de ICE, 2014).

	2010	**2014**	
Energia	D	C–	↑
Redes de transportes estratégicas	B	B	↔
Transportes locais	D	D–	↓
Água e águas residuais	B	B	↔
Gestão dos riscos de inundações	C	C–	↓
Gestão de resíduos e de recursos	C	C+	↑

2.4.4 – África do Sul

A estrutura do relatório preparada pela SAICE (*South African Institution of Civil Engineers*) é algo diferente da dos dois casos anteriores, pois tem a preocupação de considerar de forma separada as zonas urbanas, refletindo provavelmente a crescente importância destas áreas no desenvolvimento do país (Quadro 7). Neste caso também se propõe uma classificação final global, mas não se procede à estimativa de custos. A escala de classificação é a seguinte:

A) Classe mundial – A infraestrutura é, em todos os aspetos, comparável ao que de melhor existe a nível internacional. Está em excelentes condições e é bem mantida, possuindo capacidade para suportar eventos inusuais.

B) Preparada para o futuro – Infraestrutura bem mantida e em boas condições. Há capacidade excedentária para cobrir eventuais incidentes importantes.

C) Adequada para o presente – Infraestrutura em condições aceitáveis, com algumas quebras em períodos de pico. São necessários investimentos a médio prazo para evitar deficiências sérias.

D) Em risco – Infraestrutura em condições abaixo do aceitável e deficientemente mantida. É provável que os utentes possam vir a sofrer inconvenientes severos e mesmo situações perigosas se não for dada uma atenção imediata ao estado da infraestrutura.

E - Imprópria para os fins – A infraestrutura colapsou ou está em risco de colapsar, expondo os utentes a riscos para a sua integridade física e para a sua saúde. Carece de atenção imediata.

Quadro 7 – Avaliação das infraestruturas da África do Sul (adaptado de SAICE, 2011).

Água	Infraestruturas do *Department of Water Affairs*	D–	↓
	Áreas urbanas importantes	C+	↔
	Todas as outras áreas	D–	↔
Águas residuais	Áreas urbanas importantes	C–	↔
	Todas as outras áreas	E–	↓
Gestão de resíduos sólidos	Recolha de resíduos nas áreas urbanas importantes	C	↑
	Recolha de resíduos em todas as outras áreas	D	↔
	Deposição de resíduos nas áreas urbanas importantes	C+	↑
	Deposição de resíduos em todas as outras áreas	D	↔
Estradas	Estradas nacionais	B	↑
	Estradas provinciais pavimentadas	D–	↔
	Estradas metropolitanas pavimentadas	C–	↔
	Estradas distritais e locais pavimentadas	D	↔
	Todos os tipos de estradas não pavimentadas	E	↔
Aeroportos	Aeroportos nacionais	B+	↑
Portos	Portos comerciais	B–	↑
	Portos de pesca (novo subsetor)	C	
Ferrovia	Para linhas de transporte de cargas pesadas	B+	↑
	Para linhas de transporte de mercadorias na rede principal	C+	↔
	Para ramais ativos	D	↑
	Para linhas de passageiros	C–	↑
Eletricidade	Para infraestruturas de geração	C+	↔
	Para a rede de transmissão	B–	↑
	Para a distribuição local	D	↔
Infraestruturas de saúde	Hospitais	D+	↓
	Clínicas	D	↓
Escolas públicas	Escolas públicas correntes (novo setor)	D+	
Classificação global		**C**	↑

Por vezes usa-se + ou – para indicar um grau que se situa nos extremos da classe.
As setas representam as tendências de variação em relação à avaliação de 2006.

2.5 – Conclusão

Todas as estimativas apontam para a existência, a nível mundial, de importantes carências de infraestruturas essenciais para o melhoramento da qualidade de vida, da proteção ambiental e da eficiência económica dos países em desenvolvimento. Em alguns países mais desenvolvidos, em que não se prosseguiu uma política adequada de manutenção das infraestruturas, o investimento na sua renovação pode atingir montantes significativos. Em termos médios globais as necessidades de investimento cifram-se em 4 a 5% do PIB mundial, o que significa que em alguns países, com maiores carências, os níveis do financiamento necessário possam ser bastante superiores ao indicado.

3 – PERSPETIVAS GENÉRICAS DE DESENVOLVIMENTO DA GEOTECNIA

3.1 – Introdução

Perspetivar o futuro da geotecnologia é ao mesmo tempo um grande desafio e um problema. A dimensão desse desafio decorre do facto de a geotecnia, talvez mais do que qualquer outro ramo da engenharia, ao ser um domínio técnico-científico que tem um contributo decisivo no desenvolvimento das infraestruturas necessárias ao progresso humano, é fortemente afetada e condicionada pelo conjunto de fatores societais que, de uma forma breve, se enunciou nos capítulos anteriores. Acresce que ainda que seja, em muitos aspetos, um domínio técnico-científico maduro, com capacidade para abordar e resolver muitos problemas graves e complexos, continuam a subsistir muitos problemas / dificuldades de índole diversa, consequência da especificidade e extrema variabilidade dos materiais com que lida, da amplíssima gama de questões que trata e da constante incorporação de novos desafios de todo o tipo (problemas mais complexos, novos materiais, novas tecnologias, etc.).

Considera-se que a análise das perspetivas futuras deve ser feita, tanto quanto possível, tendo presente um quadro de referência abrangente. Nesse sentido é conveniente começar por referir qual se entende ser o objetivo central da atividade dos geotécnicos (adaptado de NRC, 2006, e de Hansford, 2011):

- o objetivo central dos geotécnicos que se dedicam mais ao exercício prático da profissão deve ser fazer com que os projetos sejam concretizados com menores incertezas (riscos), mais rapidamente, usando metodologias mais baratas e melhores e com o devido respeito pela sustentabilidade e pela proteção ambiental;
- o objetivo central dos geotécnicos que se dedicam mais à investigação e inovação tecnológicas, tanto no curto e como no longo prazo, deve ser o de proporcionar o conhecimento e a compreensão que permitam a resolução dos problemas e que os projetos sejam concretizados nos termos enunciados no ponto anterior.

A este propósito mas numa perspetiva mais ampla, é relevante referir a visão que, num documento prospetivo, a ASCE (2007) desenha para o futuro dos engenheiros civis: "(…) *Entrusted by society to create a sustainable world and enhance the global quality of life, civil engineers serve competently, collaboratively, and ethically as master: - planners, designers, constructors, and operators of society's economic and social engine, the built environment; - stewards of the natural environment and its resources; - innovators and integrators of ideas and technology across the public, private, and academic sectors; - managers of risk and uncertainty caused by natural events, accidents, and other threats; - and leaders in discussions and decisions shaping public environmental and infrastructure policy. As used in the vision, "master" means to*

possess widely recognized and valued knowledge and skills and other attributes acquired as a result of education, experience, and achievement. Individuals, within a profession, who have these characteristics are willing and able to serve society by orchestrating solutions to society's most pressing current needs while helping to create a more viable future (…)".

A consequência óbvia destes enunciados gerais é que os geotécnicos têm que ter uma perceção, tão clara quanto possível, das implicações económicas, sociais e ambientais das suas atuações. Assim em termos de perspetivas que condicionam e apontam os caminhos da atuação dos geotécnicos, há as perspetivas globais / societais, que decorrem diretamente das condicionantes económicas, sociais e ambientais brevemente descritas no primeiro texto desta série (Cardoso, 2015), bem como das necessidades infraestruturais geradas por essas condicionantes, enunciadas sumariamente no Capítulo 2 do presente texto, e há as perspetivas mais particulares / profissionais, específicas da Geotecnia, dependentes do seu estado de desenvolvimento, mas também condicionadas por alguns dos fatores de enquadramento.

Em qualquer caso, há um fator que certamente afetará todos os desenvolvimentos futuros. Como se salienta no relatório da NRC (2006), não há atividades isoladas neste mundo em rápida mudança; decisões tomadas num dado lugar têm repercussões noutros locais, às vezes com consequências dramáticas e imprevistas; a influência de inúmeras decisões em todas as escalas está a ter um forte impacto sobre o meio ambiente. A fim de responder de forma eficaz aos problemas causados pelas interações humanas com os sistemas terrestres, há necessidade de alargar o âmbito da geo-engenharia: o desenvolvimento sustentável constitui um novo paradigma para a prática de geo-engenharia. A geo-engenharia tem feito progressos significativos, em resposta às necessidades da sociedade; no entanto, há que assumir uma mudança de perspetiva, do nacional para o global, e a inclusão das dimensões social, económica e ambiental no desenvolvimento de soluções robustas para satisfazer essas necessidades; maior atenção aos efeitos antrópicos sobre o meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável são manifestações importantes desta mudança de perspetiva.

Portanto, dadas as condições em que se desenvolvem atualmente as atividades de engenharia, designadamente os condicionamentos ambientais, sociais e económicos, todos os projetos de engenharia, e de uma forma mais geral todas as ações de planeamento de infraestruturas, devem ter presente a questão da sustentabilidade (Sterling, 2012; Nelson, 2013; etc.), cujo objetivo geral, definido da forma mais abrangente possível, é garantir a satisfação das necessidades atuais das sociedades sem comprometer a possibilidade de as futuras gerações poderem fazer o mesmo (Brundtland, 1987). A sustentabilidade e também a resiliência - há quem a considere integrada na primeira - são dois conceitos fundamentais para garantir um futuro mais seguro ao desenvolvimento humano. (A resiliência é definida como a capacidade de responder às mudanças adversas - climáticas ou outras - com impacto mínimo no funcionamento.) Garantir a sustentabilidade de todas as atividades que se desenvolvam e a resiliência das soluções concebidas implica que tais desideratos sejam tidos em conta nos métodos, procedimentos e processos conceptuais e sobretudo construtivos que sejam aplicados, integrando igualmente ferramentas, técnicas e avanços científicos de várias disciplinas, por forma a ser possível resolver problemas cada vez mais complexos.

Na parte restante do presente capítulo discutem-se as perspetivas globais, faz-se uma breve introdução aos conceitos de sustentabilidade e resiliência e aborda-se a questão da formação dos geo-tecnólogos. As perspetivas específicas de desenvolvimento da Geotecnia serão tratadas em textos subsequentes da presente série, alertando desde já que, obviamente, será uma abordagem parcelar, condicionada também pelas preferências do autor; após um enunciado genérico dedicar-se-á algum espaço a tecer alguns comentários mais pormenorizados sobre algumas das perspetivas enunciadas.

3.2 – Perspetivas globais

Como se viu nos capítulos anteriores a situação atual caracteriza-se pelos seguintes problemas e tendências, entre outros (ASCE, 2007; Long, 2006; Chowdhury e Flentje, 2007):

a) pobres condições infraestruturais em muito países, face às crescentes necessidades impostas pelo aumento da população e das cidades; para dar resposta às necessidades de equipamentos (habitações, escolas, hospitais, etc.), de energia, de água potável, de ar despoluído, de sistemas seguros de deposição de resíduos e de transportes a questão da sustentabilidade deve estar permanentemente no centro das decisões;

b) alteração das condições climáticas acarretando o aumento dos desastres naturais, sobretudo de natureza hidrológica;

c) disfunção entre as previsões de custos e prazos e a realidade, o que se torna mais grave à medida que aumenta a dimensão e amplitude das obras, e ocorrência de fenómenos de corrupção na indústria da construção;

d) os desafios colocados pela globalização mundial, na qual se inclui a prática da engenharia, também cada vez mais global.

Como se disse as perspetivas gerais de desenvolvimento da geotecnia decorrem das reflexões anteriores, muito brevemente resumidas a seguir:

1) o crescimento da população, da sua urbanização e o desenvolvimento económico e social geram necessidades muito importantes de infraestruturas, no planeamento, conceção e construção das quais os engenheiros geotécnicos estarão fortemente envolvidos;

2) as atividades e as necessidades humanas exercem uma enorme pressão sobre os sistemas naturais, colocando novos problemas para cuja solução o envolvimento da engenharia é imprescindível;

3) as soluções terão que ser definidas tendo presente a perecibilidade dos recursos, a necessidade de garantir que as futuras gerações dispõem dos recursos que lhes serão imprescindíveis, os desequilíbrios que as ações humanas podem causar, sendo que esses desequilíbrios podem ter consequências, nomeadamente no que respeita ao aumento dos desastres naturais que afligem e podem afetar gravemente as populações humanas, isto é, numa palavra, as soluções terão que ser sustentáveis;

4) na busca das melhores soluções, as novas tecnologias serão um auxiliar precioso, uma vez que propiciam o aumento da qualidade das previsões (aumento das capacidades de recolha e tratamento de dados e de modelação dos fenómenos, etc.) e o advento de soluções inovadoras e ambientalmente mais adequadas;

5) as intervenções deverão ser ambientalmente responsáveis e economicamente benéficas, visando a solução holística dos problemas.

A humanidade depende dos recursos naturais para sobreviver. Eles suportam o funcionamento da economia global e deles depende a nossa qualidade de vida. Os recursos naturais incluem matérias-primas como os combustíveis fósseis e os minerais mas também os alimentos, o solo, a água, o ar, a biomassa e os ecossistemas. Porém, os recursos são limitados e, na opinião de alguns especialistas, alguns dos recursos naturais base vão a caminho da exaustão. O crescimento da procura e da competição para os obter exerce pressão sobre os equilíbrios ambientais e ecológicos. Daí a necessidade de melhorar a eficiência no uso dos recursos, tais como, por exemplo, a água ou

certos recursos minerais, essenciais para à vida (ver, por exemplo, Rijnaarts, 2010). O uso eficiente dos recursos limitados significa usá-los de forma sustentada, isto é, atendendo à capacidade de regeneração (Breedeveld, 2012).

Para finalizar entende-se adequado enfatizar que, nos contributos que têm que dar para a definição das soluções mais adequadas, os engenheiros e, em particular, os geotécnicos devem (Long, 2006):

1) tomar em consideração as novas tecnologias e as novas abordagens para resolver melhor os seus problemas, de forma mais rápida e mais barata;

2) ter bem presente que os problemas para cuja resolução têm que contribuir, tais como as consequências da mudança global, o fornecimento de energia isenta de emissões ambientalmente agressivas, o abastecimento de água em termos globais e os sistemas urbanos, são social e economicamente muito importantes para as populações humanas e envolvem questões que necessitam de abordagens multi e interdisciplinares.

3.3 – Sustentabilidade

3.3.1 – Definição e operacionalização do conceito

Os projetos de engenharia têm sido tradicionalmente dominados por uma visão estreita, unidimensional, da eficiência tecnológica, assumindo-se implicitamente que a natureza é um fornecedor infinito de recursos, que se regenera perpetuamente, com capacidade indefinida para absorver todos os resíduos. Foi apenas na última metade do século XX, particularmente durante a crise energética da década de 70, que o impacto negativo da excessiva confiança no avanço tecnológico foi identificado como um problema para o mundo económico e que as interligações fundamentais entre a sociedade, a economia, a tecnologia e o ambiente começaram a suscitar o escrutínio público (Misra e Basu, 2011).

Com efeito, no último meio século, foi sendo dedicada cada vez maior atenção ao estudo das implicações do desenvolvimento humano sobre o ambiente planetário e à análise da possibilidade de as mudanças climáticas globais afetarem a viabilidade dos modos de desenvolvimento atuais. No decurso deste período o foco da discussão pública foi mudando sucessivamente (Sterling, 2012): a) nos anos 60, a ecologia e a proteção do ambiente natural foram objeto de grandes discussões; b) nos anos 70 a estas preocupações adicionaram-se as questões relativas ao fornecimento de energia e, mais genericamente, as concernentes aos limites do desenvolvimento humano devido ao facto de os recursos naturais serem limitados e perecíveis; c) nos anos 80 a queda dos preços dos combustíveis, o fim da Guerra Fria e o desenvolvimento económico explosivo de muitas economias fez com que as preocupações das décadas anteriores fossem significativamente postas de lado; d) nos anos 90 assistiu-se a uma crescente preocupação com as mudanças climáticas e com o seu impacto futuro, assim como com a aceleração dessas mudanças causada pelo desenvolvimento humano; e) no presente século, todas as preocupações anteriores aumentaram e aumentou a urgência devido a uma série de importantes desastres naturais provocados pela atividade humana, ao rápido crescimento da população mundial, à concentração da população nas áreas urbanas e às preocupações económicas causadas pelo aumento dos preços dos recursos naturais.

Nesta linha de preocupações, Long (2006) defende que, se a capacidade para construir estruturas tais como barragens, autoestradas e sistemas de fornecimento de água seguros foi um imperativo do último século, talvez o mais importante imperativo deste século seja a sustentabilidade.

Também a ASCE (2007), na sua visão do futuro da engenharia civil, entende que: "(…) *The public has become increasingly aware that development need not come at the price of a compromised*

and depleted environment. Enlightened citizens see sustainability, not as an unattainable ideal, but as a practical goal. To answer that call, civil engineers realize that they must increasingly transform themselves from designers and builders to project life-cycle 'sustainers' (…)".

A Comissão Brundtland (1987), constituída sob os auspícios das Nações Unidas, definiu desenvolvimento sustentável como "*development that meets the needs of the present without compromising the ability of the future generations to meet their own needs*". A longo prazo, a sustentabilidade implica que a população mundial tenha água, alimentos e outros recursos naturais em quantidade suficiente para que as suas comunidades continuem a existir; mas a possibilidade de satisfação dessas necessidades por tempo indefinido implica que haja um balanço entre a grandeza dessas necessidades e a capacidade da natureza de as fornecer continuamente ou mesmo, caso a população continue a aumentar e/ou continuem a aumentar os consumos *per capita*, de forma crescente. Assim, a imprescindibilidade, aparentemente inquestionável, de se garantir a sustentabilidade levanta questões de grande complexidade, nomeadamente as seguintes (Sterling, 2012):

- Qual o período de tempo que deve ser considerado ao analisar a sustentabilidade? Qualquer consumo de recursos não renováveis conduz à exaustão do seu fornecimento a custos praticáveis.
- Como pode ser conciliável o presente crescimento da população com a sustentabilidade global?
- Como se pode resolver os desequilíbrios regionais entre necessidades e recursos disponíveis? É razoável suportar padrões de vida em regiões em que os recursos se estão a exaurir ou se as mudanças climáticas causarem um aumento da frequência e da magnitude dos riscos naturais? Dever-se-á mudar as populações para áreas mais seguras e mais ricas em recursos? É isto politicamente praticável?
- A rápida urbanização da população mundial requer que as comunidades urbanas sejam capazes de criar um modo de vida viável para o futuro previsível.

A introdução da sustentabilidade no âmbito dos projetos de engenharia altera a escala de muitos deles. A sustentabilidade implica que os engenheiros tenham que se posicionar para além da prática tradicional e tenham que considerar os seus projetos como parte de um sistema físico e social de muito maior dimensão. Entre outras novas condicionantes, os engenheiros têm que pensar a funcionalidade e o comportamento dos seus projetos no decurso de longos períodos de tempo – provavelmente muito para além do período de vida do projeto (NRC, 2013). Neste contexto, enquadra-se a preocupação com a avaliação do ciclo de vida (*LCA - life-cycle assessment, life-cycle analysis, ecobalance or cradle-to-grave analysis*) das construções e dos materiais usados. (LCA é uma metodologia para avaliar os impactos ambientais associados a todos as fases da vida de um produto "desde o berço até à sepultura", isto é, desde a extração das matérias primas, passando pelo processamento do material, manufatura dos produtos, distribuição, uso, reparação e manutenção e condução a depósito e reciclagem.)

Numa perspetiva prática, a sustentabilidade resulta do equilíbrio entre economia, equidade (sociedade) e ambiente, sendo que conseguir um tal desiderato é uma tarefa complexa uma vez que as três vertentes frequentemente conflituam entre si (Misra e Basu, 2011). O conflito mais comum é entre o crescimento económico e a proteção ambiental. Assim, a sustentabilidade conforma soluções de compromisso para um dado problema que são aceitáveis para as três vertentes – ambiental, económica e social – mas, em geral, não são as melhores na perspetiva particular de cada vertente.

Para os propósitos da engenharia, sustentabilidade significa essencialmente uso prudente dos recursos a um custo comportável e com controlo adequado das consequências, nomeadamente no

que respeita à emissão de gases com efeitos negativos (Gradel, 1997, Kibert, 2008). Para a engenharia geotécnica, sustentabilidade implica (Misra e Basu, 2011): i) projeto e construção robustos que minimizem os inconvenientes para a sociedade e os custos financeiros; ii) minimização do uso de recursos e de energia em todas as fases do projeto (planeamento, conceção, construção e manutenção); iii) uso de materiais e de métodos que causem o mínimo impacto negativo nos sistemas ecológicos e no ambiente; iv) maximização da reutilização das infraestruturas que vão ser substituídas para minimizar o uso de recursos e os resíduos. Este objetivo múltiplo fornece uma visão holística, evitando a promoção da eficiência tecnológica à custa do equilíbrio ecológico e social, combate o uso dos recursos para além da capacidade de regeneração do planeta, preocupa-se com a geração de resíduos para além da capacidade de assimilação da Terra e favorece a reutilização e reciclagem de todos os materiais.

3.3.2 – Avaliação da sustentabilidade

Atualmente faltam quadros de referência para avaliar e quantificar o grau relativo de sustentabilidade de práticas alternativas da engenharia geotécnica. Muito trabalho de investigação e desenvolvimento há a fazer neste âmbito.

Entretanto, a título de exemplo refere-se a metodologia proposta por Misra e Basu (2011). A metodologia, apoiando-se na revisão bibliográfica das ferramentas disponíveis de avaliação da sustentabilidade, considera três componentes – a avaliação do ciclo de vida (LCA), a avaliação do impacto ambiental e a análise de custo-benefício – a partir das quais são definidos três indicadores. Estes indicadores são combinados usando uma análise multicritério por forma a obter-se um índice de sustentabilidade; este índice permite comparar alternativas disponíveis para resolver o mesmo problema da engenharia geotécnica prática. Os autores aplicam a metodologia a um problema de fundações por estacas, comparando diversas metodologias construtivas, mas consideram que ela pode ser aplicada a outros tipos de problemas geotécnicos.

3.3.3 – Sustentabilidade e eurocódigos

Refira-se de passagem que a preocupação com as questões da sustentabilidade está também presente no novo ciclo de revisão dos Eurocódigos. Com efeito essa revisão envolve novos materiais e conceitos (Calgaro, 2010), sendo de referir para o que agora interessa, a introdução, entre os "Requisitos básicos" (*Basic works requirements*), de um capítulo sobre o "Uso sustentável dos recursos naturais" (*Sustainable use of natural resources*). De acordo com Calgaro (2010) será fixado um preceito que impõe que as construções devam ser concebidas, construídas e demolidas tendo presente a obrigação de o uso dos recursos naturais ser sustentável, o que implica assegurar para os trabalhos de construção: a) reciclabilidade dos seus materiais e equipamentos após a demolição; b) durabilidade; c) uso de matérias-primas e de materiais secundários ambientalmente compatíveis.

3.3.4 – Espaço subterrâneo e sustentabilidade das cidades

Espaço subterrâneo e sustentabilidade são temas que ultimamente têm tido um tratamento conjunto, quer na perspetiva de garantir a sustentabilidade das construções subterrâneas, quer na perspetiva de a utilização adequada do espaço subterrâneo para certos fins poder constituir uma solução interessante e sustentável.

No que respeita à primeira vertente – garantir a sustentabilidade das construções subterrâneas – saliente-se apenas que qualquer alteração permanente do espaço subterrâneo – um recurso valioso

e insubstituível – deve ser precedida do estudo e clara compreensão dos impactos dessa alteração no conjunto mais amplo das infraestruturas físicas e sociais afetadas no decurso do tempo, evitando prejudicar as gerações futuras e, antes pelo contrário, ajudando essas futuras gerações a prosperar. Por isso, a prática da engenharia relativa ao espaço subterrâneo deve adotar processos e metodologias mais interdisciplinares e deve comunicar com e apoiar-se mais em outros especialistas que possam contribuir para um abordagem holística dos problemas (Gilbert, 2013).

O uso do espaço subterrâneo por razões de sustentabilidade, sobretudo dos ambientes urbanos, tem vindo a receber um interesse crescente. São de referir, entre outros, os seguintes textos recentes: NRC (2013), Sterling (2012) e Nelson (2013). Nelson (2013) aponta várias razões para que a ligação entre sustentabilidade urbana e espaço subterrâneo seja virtuosa: (i) o crescimento da população e das cidades, o qual exerce uma enorme pressão sobre os sistemas de infraestruturas; logo, nomeadamente por razões de equidade, há que dar resposta às novas necessidades de reabilitação e extensão dos sistemas existentes, atendendo a certas particularidades, tais como as questões culturais específicas de alguns países e culturas ou as características particulares da população de mais idade; (ii) as crises de falta de recursos; estas crises serão mais agudas, designadamente de carência de água e de energia, sendo que ambas envolvem o espaço subterrâneo; (iii) aumento da frequência e da magnitude dos desastres; (iv) o crescimento urbano, que se faz, cada vez mais frequentemente, para zonas ambientalmente frágeis; (v) o aumento dos custos de construção de infraestruturas.

Recentemente, importantes infraestruturas foram construídas em espaço subterrâneo por diversas razões: preservar o espaço à superfície, proporcionar isolamento climático e de segurança, reduzir os custos de construção e de consumo de energia, melhorar o fluxo de tráfego, garantir a qualidade estética, etc. Os sistemas de infraestruturas podem ser implantados sob cidades e rios ou, mesmo, em montanhas, não ocupando o espaço à superfície, sobretudo em zonas densamente povoadas. Nesta perspetiva no relatório da NRC (2013) defende-se que "(…) *placing new infrastructures underground also may encourage or support the redirection of urban development into sustainable patterns* (…)". Infraestruturas subterrâneas bem concebidas, bem construídas e bem operadas podem, em muitos casos, ser um fator de melhoria da qualidade de vida e de sustentabilidade, mais do que estruturas similares construídas à superfície. As infraestruturas subterrâneas contribuem para a sustentabilidade de vários modos (Sterling, 2012):

- reduzindo a área ocupada por construções humanas, o que contribui para a preservação de recursos naturais, incluindo terra, água e biodiversidade;
- criando um ou mais níveis de comunicações e de serviços, incluindo infraestruturas críticas, o que melhora a resiliência e reduz a poluição do ar (principalmente no setor dos transportes) e a poluição visual desnecessária;
- criando oportunidades para a redução do consumo de energia e de geração de resíduos;
- criando estruturas menos sujeitas aos efeitos dos sismos e de muitos outros eventos catastróficos;
- contribuindo para o melhoramento da qualidade da paisagem e do ambiente.

Por fim, importa referir dois aspetos que, entre muitos outros, são salientados no documento da NCR (2013): 1) são necessários estudos científicos retrospetivos sobre os custos diretos e indiretos e sobre os impactos dos vários tipos de infraestruturas subterrâneas que permitam suportar avaliações da utilidade e dos impactos económicos, sociais e ambientais de projetos futuros, tendo em vista maximizar a sustentabilidade; 2) o espaço subterrâneo é um recurso valioso mas decididamente não renovável; daí que o espaço subterrâneo só pode ser um fator promotor da

sustentabilidade das cidades na medida em que seja bem conhecido e na medida em que a sua utilização e reutilização, assim como a proteção dos ambientes natural e construído, estejam incorporados num sistema de planeamento total e de longo prazo das infraestruturas urbanas.

Em suma, o espaço subterrâneo pode ser um ativo importante para a criação e/ou a remodelação das áreas urbanas visando a sustentabilidade, o que comporta viabilidade económica e habitabilidade.

3.4 – Resiliência

No domínio da física a resiliência é a propriedade dos materiais de retomarem a sua forma ou posição inicial após deformação, caso esta não exceda um dado limiar; de forma mais sintética, os *Oxford Dictionaries* definem resiliência como "*the ability of a substance or object to spring back into shape; elasticity*". O termo é também usado no campo da saúde, física e psicológica. Por exemplo, a resiliência psicológica é definida como a capacidade de um indivíduo se adaptar adequadamente à tensão e à adversidade, sendo que estas podem resultar de inúmeros e diferenciados fatores, como sejam, problemas familiares ou relacionais, problemas de saúde ou dificuldades profissionais ou financeiras, entre outros fatores (APA, 2014). Os *Oxford Dictionaries* apresentam uma outra definição, mais geral do que a acima transcrita: "*the capacity to recover quickly from difficulties; toughness*". Esta última definição engloba igualmente o conceito que interessa no âmbito do presente texto: resiliência é a capacidade de uma comunidade, ou de certa parcela dessa comunidade, resistir a um evento catastrófico ou, caso não seja possível resistir, é a capacidade de uma comunidade retomar o seu funcionamento efetivo normal tão depressa quanto possível após o evento. A Figura 4 mostra uma representação esquemática da resiliência ou falta dela.

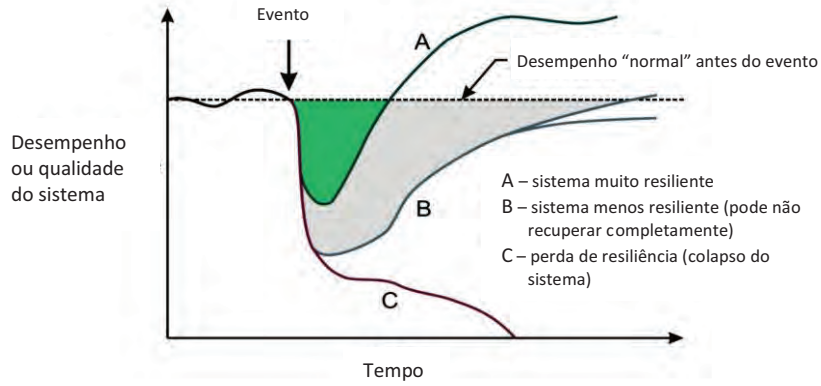


Fig. 4 – Representação esquemática do conceito de resiliência (Nelson e Sterling, 2012).

Sendo os fenómenos naturais (como sismos, tsunamis, ciclones, cheias, etc.) ou de caráter político-social (terrorismo, etc.) eventos chave na análise da resiliência, o conceito também se aplica a mudanças disruptivas que possam ocorrer no decurso de períodos de tempo longos, como as que derivam das mudanças climáticas, da subida do nível do mar ou de outras alterações ambientais. No contexto do longo prazo, as preocupações com a resiliência fundem-se com as preocupações com a sustentabilidade visto que será difícil uma comunidade ser sustentável se não for capaz de acomodar alterações esperadas e irreversíveis do ambiente (Sterling, 2012).

Em sistemas muito complexos, como são as comunidades humanas acima de certa dimensão, a avaliação da resiliência é uma tarefa complexa, devendo envolver meios e agentes muito diversos,

oriundos de ambientes e contextos distintos e com formações disciplinares complementares e cobrindo um leque amplo de competências. Neste contexto complexo, é pertinente referir as dificuldades operativas que Nelson (2013), analisando as condições americanas, entende subsistirem:

- Os engenheiros e os profissionais das áreas sociais não possuem uma visão concertada do que entendem significar a resiliência;
- Os técnicos de planeamento e os profissionais ligados ao uso dos terrenos não têm participado nas discussões sobre resiliência;
- Existe uma ligação débil entre os efeitos (resultados) e as métricas definidas em situações correntes e as normas ou incentivos preconizados nos planos de ação;
- A avaliação da resiliência ainda não está normalizada e os procedimentos e modelos ainda não estão validados.

Por fim, refira-se que, tal como acontece com a sustentabilidade urbana, nos últimos tempos tem vindo a ser destacado o papel que as estruturas subterrâneas podem desempenhar no aumento da resiliência das comunidades humanas (Sterling, 2012; Nelson, 2013).

3.5 – Colaboração e formação multidisciplinares

Existe um consenso generalizado (Chowdhury e Flentje, 2007; ASCE, 2007; NRC, 2006; Simpson e Tatsuoka, 2008; Fragaszy *et al.,* 2011; etc.) que para lidar com os problemas enunciados, tanto no âmbito da investigação e desenvolvimento como no da conceção e concretização dos projetos, se necessita mais do que nunca de colaborações interdisciplinares e multidisciplinares.

O tipo e o alcance dos problemas geotécnicos têm vindo a mudar (NRC, 2006): i) a atividade e as necessidades humanas exercem uma enorme pressão sobre os sistemas naturais, o que faz com que os problemas de engenharia se cruzem com questões sociais e ambientais; ii) o desenvolvimento sustentável exige melhor compreensão do comportamento dos recursos naturais, desde a nano-escala até à macro- e mesmo até à escala global, e a vinculação da sua gestão a objetivos económicos, sociais e ambientais; iii) consequentemente, as metodologias e processos tradicionais dos geo-engenheiros terão que se expandir de modo a integrar as questões e condicionantes colocadas pela exigência de sustentabilidade; este âmbito alargado da atuação dos geo-engenheiros exigirá novos tipos e quantidades de dados, *benchmarking* e novos modelos.

Os novos enquadramentos e as novas condicionantes das atividades profissionais de engenharia só podem ser bem apercebidos através de abordagens multidisciplinares, ou seja, para se poder construir soluções verdadeiramente interdisciplinares, a cooperação tem de ser praticada, pelo que deve ser encorajada e recompensada. Tal deve-se refletir igualmente nas universidades, nas quais devem existir estruturas e meios que facilitem e promovam a colaboração interdepartamental. Por outro lado, é necessária uma força de trabalho mais diversificada em termos de formação educacional, de conhecimentos técnicos e de domínios de aplicação, que no seu conjunto possua uma ampla gama de perspetivas culturais, de competências, de conhecimentos e experiências práticas, para enfrentar problemas complexos de geo-engenharia. Paralelemente a uma nova perspetiva da investigação interdisciplinar e da transferência e adaptação de conhecimentos entre diferentes disciplinas, é necessária uma nova perspetiva sobre a educação em ciência e em engenharia para que a nova força de trabalho fique verdadeiramente preparada para as novas exigências. É, assim, necessário repensar os currículos dos cursos de engenharia à luz das novas condicionantes e promover a formação contínua e a reciclagem dos profissionais.

4 – AGRADECIMENTO

O autor agradece a cuidada revisão do texto feita pelo colega e amigo Professor José Couto Marques.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA - American Psychological Association. (2014). *The Road to Resilience*. (http://www.apa.org/helpcenter/road-resilience.aspx).

ASCE - American Society of Civil Engineers (2007). *The vision for Civil Engineering in 2025* (based on the Summit on the Future of Civil Engineering, June 21-22, 2006). Task Committee to Plan a Summit on the Future of the Civil Engineering Profession.

ASCE - American Society of Civil Engineers (2013). *2013 Report Card for America´s Infrastructures*. (http://www.infrastructurereportcard.org/)

Breedeveld, J. (2012). *Future position of Geotechnical Engineering*. (http://www.kiviniria.nl/eygec/papers/keynote_breedeveld.pdf)

Brundtland, G.H. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford, UK.

Calgaro, J.A. (2010). *Further Developments of Eurocodes and Geotechnical Issues*. 2nd International Workshop on Evaluation of Eurocode 7. Pavia, Italy.

Cardoso, A.S. (2015). *Desenvolvimento da geotecnia. Condicionantes gerais e específicas*. Revista Geotecnia, nº 135, pp. 05-39.

Chowdhury, R.; Flentje, P. (2007). *Perspectives for the future of Geotechnical Engineering*. Proc. International Conference on Civil Engineering for the New Millennium: Opportunities and Challenges. Bengal Engineering College, Shibpur, India.

EBRD - European Bank for Reconstruction and Development (2014). *Accelerating Infrastructure to Boost Growth and Employment*. EBRD Annual Meeting 2014: Accelerating Infrastructure**.** (http://www.ebrd.com/pages/news/press/2014/140428a.shtml)

El País Semanal (2014). *El tesoro transparente*. Por Isabel Valdés Aragonés y Artur Galocha, n.º 1955, 15 de Marzo de 2014.

Fragaszy, R.J.; Santamarina, J.C.; Amekudzi, A.; Assimaki, D.; Bachus, R.; Burns, S.E.; Cha, M.; Cho, G.C.; Cortes, D.D.; Dai, S.; Espinoza, D.N.; Garrow, L.; Huang, H.; Jang, J.; Jung, J.W.; Kim, S.; Kurtis, K.; Lee, C.; Pasten, C.; Phadnis, H.; Rix, G.; Shin, H.S.; Torres, M.C.; Tsouris, C. (2011). *Sustainable development and energy geotechnology - Potential roles for geotechnical engineering*. KSCE Journal of Civil Engineering, v.15, 4, pp.611-621.

Gilbert, P.H. (2013). *Underground Engineering for Sustainable Urban Development - Preface*. Committee on Underground Engineering for Sustainable Development, Committee on Geological and Geotechnical Engineering, Board on Earth Sciences and Resources, Division on Earth and Life Studies, National Research Council.

Gradel, T. (1997). *Industrial Ecology: Definition and Implementation*. Industrial ecology and global change. R. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout and V. Thomas (Eds.), pp. 23-41.

Hansford, P. (2011). *Delivering value*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Civil Engineering, Volume 164, Issue 1.

ICE - Institution of Civil Engineers (2014). *The State of the Nation Infrastructure 2014*.

Kibert, C.J. (2008). *Sustainable Construction*, 2nd Edition. John Wiley and Sons Inc., New Jersey.

Lin, J.; Lu, K. (2013). *To Finance the World's Infrastructure, We Need a New Asset Class*. Huffington Post, 19 November.

Long, J.C.S. (2006). *Preface of Geological and Geotechnical Engineering in the New Millennium*. Opportunities for Research and Technological Innovation. Committee on Geological and Geotechnical Engineering in the New Millennium: Opportunities for Research and Technological Innovation, Committee on Geological and Geotechnical Engineering, Board on Earth Sciences and Resources, Division on Earth and Life Studies, National Research Council, The National Academies Press.

McKinsey Global Institute (2013). *Infrastructure productivity: How to save $1 trillion a year*. McKinsey and Company.

Misra, A.; Basu, D. (2011). *Sustainability in geotechnical engineering*. Internal Geotechnical Report 2011-2, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Connecticut.

Nelson, P. (2013). *Uncertainty and Resilience as Key Frameworks for the Future of Urban Geotechnical Engineering*. A Presentation to the Geotechnical Group of the ASCE Metropolitan Section, October 31, 2013.

Nelson, P.; Sterling, R. (2012). *Sustainability and resilience of underground urban infrastructure: new approaches to metrics and formalism*. Proc. GeoCongress 2012, State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering, San Francisco, 25-29.

NRC - National Research Council (2006). *Geological and Geotechnical Engineering in the New Millennium*. Opportunities for Research and Technological Innovation. Committee on Geological and Geotechnical Engineering in the New Millennium: Opportunities for Research and Technological Innovation, Committee on Geological and Geotechnical Engineering, Board on Earth Sciences and Resources, Division on Earth and Life Studies, National Research Council, The National Academies Press.

NRC - National Research Council (2013). *Underground Engineering for Sustainable Urban Development*. Committee on Underground Engineering for Sustainable Development, Committee on Geological and Geotechnical Engineering, Board on Earth Sciences and Resources, Division on Earth and Life Studies.

OCDE (2007). *Infrastructure to 2030. Main findings and policy recommendations*. OECD Futures Project on "Global Infrastructure Needs: Prospects and Implications for Public and Private Actors".

OCDE (2011). *Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030 - Main Findings*. International Futures Programme**.** OECD Futures Project on Transcontinental Infrastructure Needs to 2030/50.

Rijnaarts, H.H.M. (2010). *The Olympic Game of Eco-Innovation and Technology*. Inaugural lecture upon taking up the post of Professor of Environment and Water Technology at Wageningen University on 8 April 2010. (http://edepot.wur.nl/170203)

SAICE - South African Institution of Civil Engineers (2011). *SAICE Infrastructure Report Card 2011*. Civil Engineering, May 2011, Vol. 19, No 4, pp 4-11.

Santamarina, J.C. (2006). *The worldwide energy situation*. Anales Academia Nacional de Ingenieria, Vol. II-06, pp. 79-98.

Simpson, B.; Tatsuoka, F. (2008). *Geotechnics: the next 60 years*. Géotechnique 58, No.5, 357-368.

Sterling, R.L. (2012). *Understanding the Sustainability and Resiliency Implications of Underground Space Use*. Geotechnical Aspects of Tunneling for Infrastructure Development, Proceedings of the 32nd Annual Seminar Geotechnical Division. The Hong Kong Institution of Engineers, pp. 1-6.

UN - United Nations (2013). UN Task Team on the Post-2012 UN Development Agenda, Working Group on Financing for Sustainable Development - Background Papers: Chapter 1. Financing for sustainable development: Review of global investment requirement estimates; Chapter 2. The variety of national, regional and international public sources for development finance; Chapter 3. Challenges in raising private sector resources for financing sustainable development; Chapter 4. Public support to private investment for sustainable development: challenges and opportunities, with emphasis on the environmental pillar; Executive Summary. UN System Task Team on the Post-2015 UN Development Agenda Working Group on "Financing for sustainable development" (http://www.un.org/esa/ffd/sdf/firstsession/index.htm)

UN - United Nations (2015). Human Development Report by the United Nations Development Program.

WB - The World Bank (2015) - http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC

WEF - World Economic Forum (2012), Global Agenda Council on Infrastructure 2012-2014. (http://www.weforum.org/reports/global-agenda-council-infrastructure-2012-2014)