

BIM – GGIM: CONCEITOS E APLICAÇÕES NA GEOTECNIA

BIM – GGIM: CONCEPTS AND GEOTECHNICAL APPLICATIONS

Paraíso da Mata, Pedro; *Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal, pedro.p.mata@hotmail.com*

Silva, Paula F. da; *GeoBioTec e Dep. de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal, apfs@fct.unl.pt*

Pinho, Fernando F. S.; *CEris – ICIST e Dep. de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal, ffp@fct.unl.pt*

RESUMO

A presente comunicação pretende contribuir para o desenvolvimento de uma “nova era” na gestão da informação geológica e geotécnica, e tem como objetivo auxiliar todos os *stakeholders* envolvidos na análise dos riscos intrínsecos a projetos geotécnicos, nomeadamente os que dependem de fundações, contenções ou túneis. Consiste em utilizar uma ferramenta complementar ao BIM - *Building Information Modelling*, um programa aplicado à geologia e geotecnia (G&G) que se designa por *Geological & Geotechnical Information Modelling* - GGIM. Pretende estimular a implementação da modelação 3D do meio G&G, bem como a introdução de ações no tempo, 4D. Possibilitará inferir riscos e custos, tanto mais assertivamente quanto maior for a quantidade de informação disponibilizada para a área em análise. Esta metodologia tem como fim último garantir a acessibilidade à informação G&G à comunidade interessada na mesma, salientando-se as potencialidades da sua funcionalidade através de uma análise SWOT. Discutem-se ainda quatro exemplos de obras problemáticas onde a existência de uma ferramenta deste tipo teria sido vantajosa.

ABSTRACT

This paper intends to trigger a new era of geological and geotechnical information management. It aims to assist all stakeholders involved in mitigating the risks inherent in geotechnical projects, namely of tunnels, foundations or retaining walls. It consists in using a complementary tool to BIM - Building Information Modelling, a software applied to geology and geotechnics (G&G), designated as Geological & Geotechnical Information Modelling - GGIM. The aim is to implement the 3D modelling of the geotechnical parameters and the introduction of action in time (4D). Afterwards, it will be possible to foresee and mitigate the risk and the cost. The accuracy of the prevision will be directly increased by the amount of information available for the target area. This tool is intended to enable access to G&G information to the interested community. The potentialities of working with GGIM, as well as the SWOT analysis of its applicability, are also introduced. Four examples of problematic sites are discussed where the existence of a tool of this type would have had an advantageous applicability.

1 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de projetos que envolvem riscos geológicos e geotécnicos é cada vez maior nos locais de crescimento demográfico acentuado, implicando a construção de estruturas em locais menos propícios, em especial em áreas urbanas situadas em zonas litorais. Esta necessidade estimula o desenvolvimento de técnicas que permitam a execução desses projetos com qualidade e segurança, sem desprezar o controlo orçamental. Por outro lado, tendo presente que a economia mundial tem vindo a sofrer diversos reveses, o “custo” é a palavra primordial em qualquer projeto.

O BIM é uma metodologia de análise e gestão de projetos, virtual, que se pode estender á dimensão 4D, e que devido à possibilidade da inserção das diversas especialidades no projeto/construção do empreendimento, permite visualizar, descobrir e resolver problemas de interferência entre as diversas especialidades. Permite, além disso, a estimativa dos custos de materiais, mão-de-obra, equipamentos e o tempo necessários à execução de todo o projeto ou de apenas determinada etapa. O BIM a 4D envolve o agendamento da execução das diversas especialidades permitindo verificar as várias interferências entre as mesmas no desenrolar da construção.

Atualmente, já existem diversos modelos geológicos 3D, alguns desenvolvidos por empresas de uma forma particular, e outros desenvolvidos por entidades estatais tanto ao nível das instituições municipais como a nível nacional, como se verifica no Reino Unido. Diversos autores (Glynn *et al.*, 2011; Mathers, 2011; Gunnink *et al.*, 2013; Jorgensen *et al.*, 2013; Thorleifson *et al.*, 2013; Kessler e Dearden, 2014; Mathers *et al.*, 2014) defendem modelos geológicos; no entanto, pretende-se ir mais longe, ter um detalhe maior com a diminuição substancial da escala de interações e um aumento de informação tendo sempre como

finalidade a construção de estruturas com risco controlado/estudado e a inerente diminuição de custos permitindo, além disso, a seleção e introdução de ações no tempo (4D).

Muitos técnicos envolvidos em projetos G&G já se depararam com situações que aumentaram o prazo e/ou o custo das suas empreitadas. Diversos estudos (Coppendale, 1995; Hoek and Palmeiri, 1998; Chapman e Marcetteau, 2004; Donnelly, 2004; van Staveren, 2006; Chapman, 2008) confirmam que uma parte significativa dos atrasos nas obras e desvios aos orçamentos comerciais se deveram a problemas geológicos e/ou geotécnicos.

Quando se verificam situações anómalas ao projeto, os prazos tendem a aumentar relativamente ao programado e consequentemente os custos associados incrementam. As empreitadas de fundações, contenções e túneis são disso um bom exemplo. De uma forma geral, a principal parcela do aumento de custos deve-se a um conhecimento fraco das características geotécnicas dos locais de implantação que tendem a aumentar o prazo e/ou a modificar (encarecer) as técnicas e processos previamente orçamentados para a execução do projeto, onerando a estimativa de custos inicial.

Pretende-se nesta comunicação alertar para a necessidade da existência de uma ferramenta que permita modelar a informação geotécnica, assim como despoletar uma mudança de mentalidade acerca da normalização e partilha de dados G&G em Portugal. É necessário refletir nas potencialidades que a aplicação de uma metodologia como o GGIM terá na mitigação dos riscos potenciais derivados de falhas num adequado enquadramento G&G que, segundo van Staveren (2006), são o maior fator de risco na construção. Não é pretensão dos autores explicar o modo de funcionamento do GGIM em termos informáticos e de programação; esse assunto será tratado em futuras publicações.

2 - PRINCIPAIS CARATERÍSTICAS DO GGIM

O GGIM pretende constituir-se como um programa de livre acesso para os intervenientes no processo construtivo, que inclui uma base de dados onde podem ser inseridos os elementos da estrutura a edificar e os elementos provenientes da prospeção e estudo G&G dos terrenos intercetados por forma a modelar, virtualmente, a sua distribuição e características e avaliar a sua interação no tempo. O programa estará *online*, sendo somente a plataforma de acesso descarregada no respetivo computador.

O GGIM será, de uma forma geral, semelhante ao BIM e irá complementá-lo. A grande diferença é que na metodologia BIM, tudo está centrado na superestrutura a edificar e modela-se, virtualmente, um projeto. No GGIM 3D a modelação virtual do projeto é a infraestrutura, pois a componente geológica já existe e será trabalhada como uma modelação da realidade, que será tanto mais apurada quanto mais informação de base existir. O 4D no GGIM também será um pouco diferente, pois será mesmo a interferência entre o que se planeou edificar e o meio G&G, podendo contemplar-se o recurso a métodos de execução diversos durante a construção. Tendo o programa a funcionar *online*, em tempo real, e podendo ser atualizado, o GGIM poderá ser utilizado em fase construtiva, possibilitando testar o melhor equipamento a utilizar, permitindo adicionalmente avaliar o risco potencial, o tempo e os custos associados a essa operação. Acresce que a nova informação obtida durante a construção pode ser incluída no GGIM, viabilizando a atualização do modelo 3D do meio G&G cada vez numa escala de maior detalhe, e com mais informação. Como se compreende, a informação que se poderá extrair do GGIM será sempre superior à que se obtém com uma campanha de prospeção e ensaios singulares.

Será, assim, possível inferir riscos e custos quer em termos 3D como 4D tanto mais assertivamente, quanto maior for a quantidade de informação disponibilizada para a área em análise.

O GGIM funcionará da forma esquematizada na Figura 1, segundo os seguintes tópicos:

1. Existência de uma base de dados G&G georreferenciados, a desenvolver especificamente com uma capacidade de armazenamento suficiente para ser atualizada de forma contínua, devendo para tal ter informação normalizada e validada conforme referido por Silva e Rodrigues-Carvalho (2000); paralelamente o utilizador insere no programa as estruturas que pretende edificar por forma a ver a sua interação estática com o modelo 3D;
2. Modelação padronizada, de uma forma estática, sem ações, pelo que a modelação, nesta fase, é automática e baseada apenas na informação armazenada. O resultado é um modelo 3D gerado automaticamente;
3. Desenvolvimento de níveis de informação: o GGIM define qual a informação que pode ser disponibilizada a um utilizador específico, baseado em risco ou custo;

4. Utilização da informação: o utilizador inicia a sua interação com o GGIM, de uma forma dinâmica, considerando ações no tempo (4D), sendo que o programa apresentará as respetivas reações espectáveis baseadas nos graus de informação de que dispõe. O utilizador conseguirá visualizar, em animação (4D), o que poderá acontecer na execução de uma estrutura com determinado faseamento construtivo. Por outro lado, o programa poderá fornecer a indicação de que dados necessita para a mesma ser mais precisa e poderá mesmo estimar o seu custo. Se o utilizador não pretender investir mais em informação poderá alterar o método executivo para um mais adequado e que satisfaça os mínimos inferidos para a informação geológica/geotécnica disponível na base de dados.

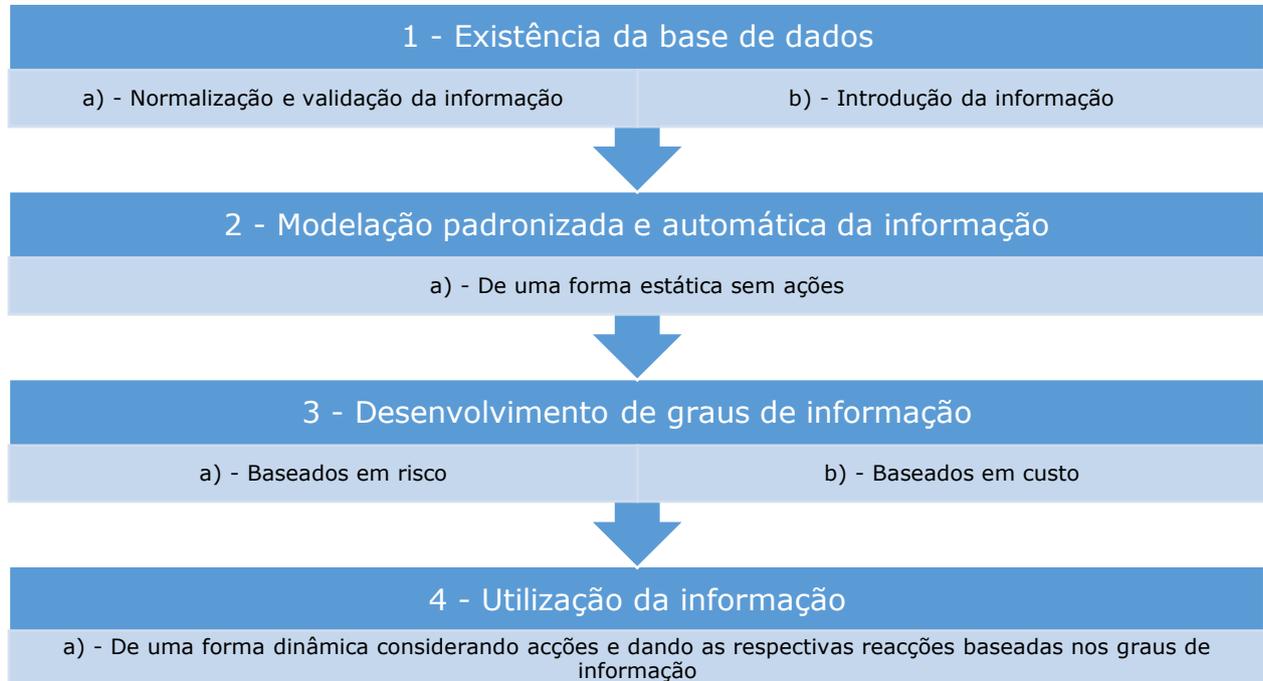


Figura 1 – Esquema de macrofuncionamento do GGIM

Segundo Brown (2009), o risco pode ser transferido ou segurado, mas esta aproximação não é muito aplicada em fundações ou contenções. Em geral os geotécnicos trabalham com informação limitada que tenta representar uma realidade inacessível, e geralmente complexa, e que pode mudar surpreendentemente em distâncias curtas. Para isso, recorrem a princípios de interpolação/extrapolação e deduzem a sua interação com a estrutura a edificar (Abdrabbo and Gaaver, 2012).

No entanto e de uma maneira geral, está-se permanentemente a considerar o custo necessário para a execução da empreitada com um nível de risco aceitável, pois como refere Latham (1994) " Na realidade, nenhum projeto geotécnico é livre de risco. Esse risco pode ser gerido, minimizado, partilhado, transferido ou aceite, porém nunca ignorado". Em projetos que interagem com a geologia/geotecnia é comum os especialistas envolvidos depararem-se com riscos potenciais devidos, por força maior:

- ao enquadramento geológico/geotécnico,
- à intervenção humana,
- aos meios mecânicos utilizados.

3 - POTENCIALIDADES DO GGIM

É do senso comum que não se consegue ter um "risco nulo". No entanto deve-se tentar atingir um patamar social mais desenvolvido diminuindo o risco, sem que existam custos adicionais no processo. O ser humano quando se depara com a mudança fica normalmente desconfortável. O que se propõe com o GGIM envolve uma alteração ao *mind set* podendo vir a ser alvo de críticas e, até, não ser bem aceite em mercados como o Português, pois utiliza o investimento de "alguns" para o bem comum. Todavia, esta mudança terá de se verificar, uma vez que cada vez mais a internacionalização é uma realidade que as empresas Portuguesas têm de gerir adequadamente devido à conjuntura económica, quer nacional, quer mundial. No entanto, a utilização do GGIM implicará a eventual regulamentação e definição de regras que compreendam e beneficiem os investidores. É frequentemente reconhecido que, para usar previsões mais confiáveis e seguras, se requer mais informação (Duncan, 2000). Essa informação será utilizada na geração dos modelos 3D e 4D em que se inserem os dados relativos à execução da obra geotécnica e se infere da interação estrutura/geologia no tempo, em fase de construção e de utilização. Será assim possível prever

os riscos e os custos associados de forma a serem mitigados dentro de uma orçamentação aceitável para o projeto.

De uma maneira geral, uma parte da comunidade geotécnica já se deparou com mercados onde diversas empresas concorrentes a uma empreitada de grandes dimensões se juntam, para, em fase de concurso e anteprojecto, obterem mais informação em conjunto, do que aquela que conseguiriam liderando cada uma a sua campanha geotécnica.

Geralmente, estas associações são comuns em empresas dos mercados do Norte da Europa, onde existe uma integridade e cultura de partilha de informação, ainda pouco utilizada em Portugal, na forma de conduzir este tipo de contratos. Para se conseguir chegar a este tipo de acordos, a cultura das empresas envolvidas tem de ter como base a confiança mútua entre competidores.

A título de exemplo refere-se um concurso constituído por quatro empresas e onde existia um grupo de trabalho composto por um representante de cada uma delas, que tinha por objetivo definir e contratar os trabalhos de investigação geológica/geotécnica que serviriam de base aos processos de concurso de cada empresa. Este custo seria igualmente repartido pelas quatro firmas. Assim, mesmo que cada empresa gastasse apenas 50% do que investiria para obter a informação por si, ter-se-ia, para as quatro 200% de valor daquela informação. Todas conseguiram o dobro da informação com metade do investimento. Se a informação que se pretendia fosse toda obtida com os 100% que uma das empresas investiria por si, apenas seria necessário o investimento de 25% de cada uma. Desta forma, todas estariam a concorrer ao projeto com base em conhecimentos idênticos, o que é muito mais justo para o mercado. No final a empresa que ganhasse o concurso ressarciria as outras no valor do investimento de cada uma. Ninguém perde: a que ganha o concurso tem toda a informação, as outras também tiveram acesso à informação, mas como não ganharam e foram ressarcidas do seu investimento, também não tiveram prejuízo inerente ao investimento nas campanhas de reconhecimento geológico/geotécnico.

Tendo por base este conceito de associação, propõe-se a realização de uma base de dados inserida no GGIM onde todas as empresas interessadas colocam os dados de investigação geológica/geotécnica, quer a nível de prospeção *in situ*, quer ao nível dos ensaios de laboratório realizados e características físicas e químicas obtidas. Através da análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) representada na **Error! Reference source not found.**, também conhecido por FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças), demonstra-se a aplicabilidade do GGIM. Verifica-se que, de uma maneira geral, as SW são fatores externos ao GGIM e, inversamente, as OT são fatores internos.

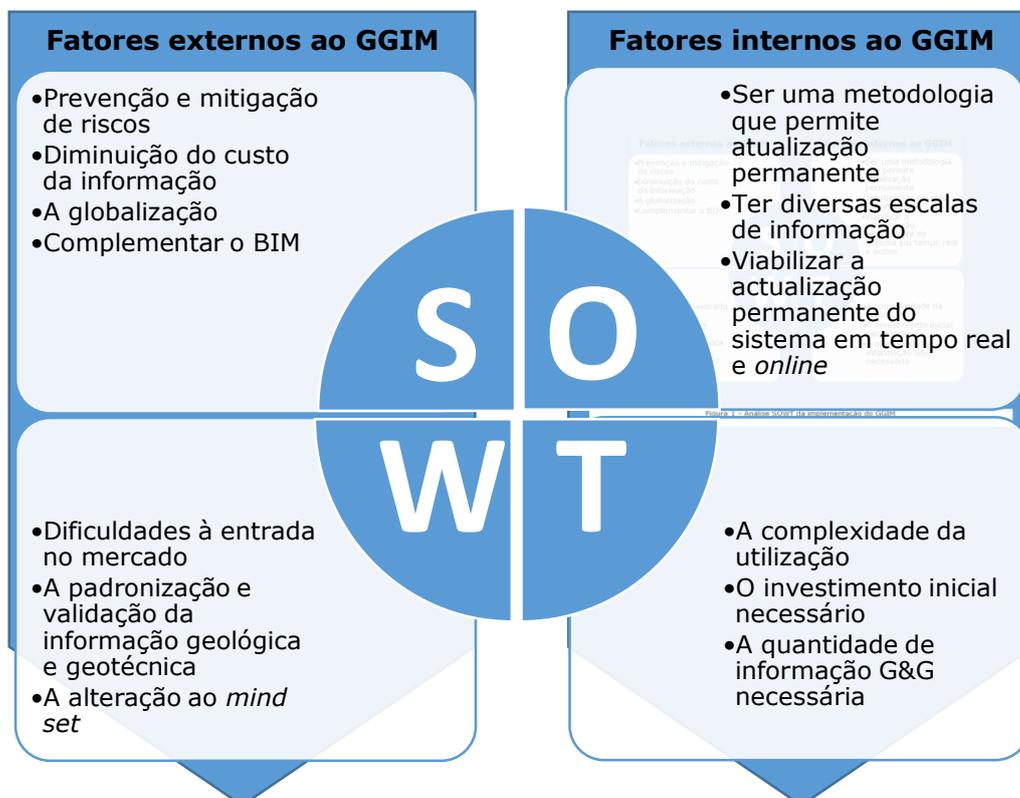


Figura 2 - Análise SWOT da implementação do GGIM

Consideraram-se *Strengths* a prevenção e mitigação de riscos, a diminuição dos custos com as campanhas de prospeção geotécnica, mas que resultariam em benefício no acréscimo no conhecimento G&G, e a

globalização que, futuramente, seria a possibilidade de existir um modelo G&G à escala mundial. As *Weaknesses* correspondem essencialmente às dificuldades à sua implementação no mercado das obras geotécnicas, a falta da padronização da informação G&G de base que ainda subsiste em Portugal e a natural necessidade de alterar o *mind set* para implementar eficazmente o GGIM.

As *Opportunities* consistem no GGIM ser uma ferramenta que permite uma atualização permanente, podendo ser desenvolvida de acordo com a finalidade pretendida, ter diversas escalas de informação e possibilitar adicionar nova informação, traduzindo-se numa otimização de resultados, ou seja: numa eficaz gestão de riscos e de custos, além de ser uma ferramenta que poderá complementar o BIM. As *Threats* resultam da complexidade inerente à sua utilização, bem como ao investimento inicial para implementá-la, acrescido da quantidade de informação G&G que será necessário gerir.

A título de exemplo refere-se que, para a cidade de Londres, já existe um modelo 3D que cobre 4800km² e centenas de metros de profundidade (Mathers *et al.*, 2014). Porém, o que se propõe é ligeiramente diferente, pois permitirá a atualização imediata e a interação com as estruturas a projetar. Incluindo o tempo como quarta grandeza, poder-se-á prever, por exemplo, o comportamento mecânico da estrutura com a introdução de ações como sismos ou vibrações através da modelação das respetivas ondas nos terrenos interessados.

A Grã-Bretanha está a desenvolver um estudo de 3D aplicado ao seu território que pode ser o princípio de algo semelhante¹ à base de dados inserida no GGIM. Ainda naquele país existe um modelo análogo, mas relativo à geoquímica do meio (Ludden, Peach e Flight, 2015), o que também é relevante para executar obras de fundações que recorrem a fluidos estabilizadores. Usando mais esta informação poder-se-ia resolver alguns problemas de execução, nomeadamente as flocculações de bentonite ou a desagregação de cadeias de polímeros, entre outros.

Assim e em resumo o que se pretende implementar é uma base de dados com capacidade de modelação 3D da geologia/geotecnia à qual será adicionada a informação e a modelação das estruturas a realizar com base no seu processo construtivo e interação durante essa execução - o 4D. Desta forma pode-se avaliar os riscos e custos associados ao processo executivo planeado.

Ao GGIM, terá de se fornecer, em termos de *inputs*, para funcionamento a 3D, os seguintes elementos:

- a informação geológica, por exemplo das sondagens executadas na área interessada de uma forma padronizada e assegurando a sua não redundância para adequado funcionamento do sistema e organizada de modo a determinar o que é informação objetiva e a subjetiva, resultante da interpretação do especialista;
- a estrutura a construir, apenas ao nível de fundações ou contenções, por exemplo o desenho das estacas.

Como output, em 3D, será gerado virtualmente um modelo de como a estrutura projetada interferirá com a geologia/geotecnia.

Em termos de *inputs* para funcionamento a 4D, teriam de existir no sistema:

- os elementos geológicos/geotécnicos em 3D, assim como os que variam no tempo. Como a subida e descida dos níveis de freáticos, alterações da salinidade no solo, vibrações exercidas por sismos, vulcões, métodos executivos e ações antrópicas;
- as características físicas dos terrenos interessados, que teriam de ser comparáveis e quantificáveis com os métodos executivos que se pretendessem estudar;
- o faseamento executivo das fundações ou contenções, parametrizando as respetivas grandezas físicas;

Aos itens anteriores, seria sempre adicionado o tempo e o custo e a variação dos parâmetros ao longo do mesmo.

Em termos de outputs em 4D, o programa deverá proporcionar uma visualização virtual animada:

- do que eventualmente aconteceria com aquelas fundações ou contenções naquelas condições geológicas/geotécnicas e da envolvente (estruturas e infraestruturas), quer em fase de execução quer de exploração em termos de tempo e custo;
- em fase de execução, do comportamento de uma estaca em profundidade, mas também como reagiria à variação de níveis freáticos, e assim determinar qual o método mais adequado para a realização da estaca ou avaliar o tempo até à colocação da armadura, antes do desmoronamento do fuste. Numa estaca realizada com recurso a bentonite, poder-se-ia determinar qual a mistura

¹ <http://www.bgs.ac.uk/research/ukgeology/nationalGeologicalModel/GB3D.html>

mais indicada para escavação naquele terreno, que tipo de reciclagem seria adequada adotar e durante quanto tempo, entre outros;

- no caso de um talude de escavação a efetuar e determinar a frente máxima de abertura a adotar ou quais as espessuras de recobrimento mínimas que poderiam ser utilizadas em fase de execução.

Tudo isto servirá para se avaliar e classificar os riscos técnicos e geotécnicos associados à obra. Este procedimento permitirá equacionar, em fase de execução, o valor mínimo a despender para manter o risco geológico/geotécnico dentro do limite considerado tolerável.

O GGIM possibilitará:

- Modelar e visualizar virtualmente, a 3D, a informação geológica/hidrogeológica;
- Introduzir as informações geotécnicas (valores das propriedades físicas) e modelar o comportamento geotécnico do terreno;
- Introduzir os elementos a construir em 3D;
- Visualizar em 3D a interação da estrutura/geologia/hidrogeologia (estática, apenas num momento);
- Visualizar a interação estrutura em construção/geologia/hidrogeologia ao longo da construção (4D). Dando assim informação sobre o risco nesta fase, como o processo executivo iria interagir com o terreno durante a execução. No seguimento, seria possível determinar os níveis de informação baseados em riscos e em custos; estimar os gastos na obtenção de informação geotécnica adicional para se obter um nível de risco o mais baixo possível ou, de outra maneira, qual o risco que se incorreria executando as fundações de determinada forma;
- Visualizar virtualmente a interação estrutura/geologia/hidrogeologia durante a vida do projeto – dinâmico, a 4D.

4 - EXEMPLOS DE OBRAS PROBLEMÁTICAS

Apresentam-se, seguidamente, quatro exemplos de situações de obra onde a aplicação do GGIM, com as respetivas potencialidades acima mencionadas, teriam impedido a derrapagem da empreitada em termos de prazo e de custos.

4.1 - Central de ciclo combinado

Remonta a 2008, uma empreitada de fundações indiretas da construção de uma central de ciclo combinado no centro de Portugal (Figura 3a), onde não foi devidamente considerada a presença de carsificações (Figura 3b). Esta falha, levou a um aumento do tempo, excedendo o prazo inicialmente previsto em mais de 100% (de 81 para 164 dias) e o custo do empreiteiro em 60%.



a) Aspeto geral da obra



b) Tarolo de calcário carsificado

Figura 3 - Fundações indiretas em terreno carsificado

A empreitada consistia na execução de estacas moldadas de \varnothing 800mm e \varnothing 1000mm com recurso a fluídos estabilizadores, tanto bentonite como polímeros. A obra foi planeada para ser executada com recurso a três máquinas perfuradoras de estacas, mas devido às vicissitudes inerentes ao trabalho, nomeadamente a variação lateral da carsificação, tiveram de mobilizar-se sete equipamentos. Da análise realizada à condição económica da empreitada, conclui-se que os desvios, orçamental e de prazo, se deveram a

pressupostos inadequados, como o de que só se intercetaria o *karst* em cerca de 10% da obra, estimativa adotada na fase de orçamentação.

4.2 - Contenção de talude

Em 2010 ocorreu a instabilização de um talude na execução da respetiva contenção. Este incidente deveu-se ao desconhecimento da presença de uma falha na zona intercetada pelo corte do talude, que tinha um desenvolvimento desfavorável a essa mesma escavação (Figura 4).



Aspetto da falha no talude



Marcação da falha para o adjudicatário



Aspetto após o primeiro movimento



Aspetto após a rotura global

Figura 4 - Incidente na escavação de um talude intercetado por uma falha tectónica oblíqua

Durante o desmonte do talude, o empreiteiro geral e a fiscalização foram alertados para a risco inerente a um deslizamento. As informações foram subestimadas, tendo sido encaradas como mais uma justificação para requerer trabalhos não contratualizados.

Após o escorregamento (Figura 4), a fiscalização e o empreiteiro consideraram as informações como verídicas. O talude rompeu numa área com 35 m de altura e 60m de comprimento e onde já estava efetivamente feita cerca de 85% da empreitada. Como o subempreiteiro alertou para o facto e registou fotograficamente, e por escrito, a informação dada previamente ao incidente, não teve custo com o incidente, tendo sido ressarcido pela execução da remoção do terreno movimentado e pela reabilitação do talude. No entanto, o aumento de produção para o subempreiteiro revelou-se num aumento de custo para o empreiteiro geral e dono de obra, diminuindo consequentemente a produtividade do projeto.

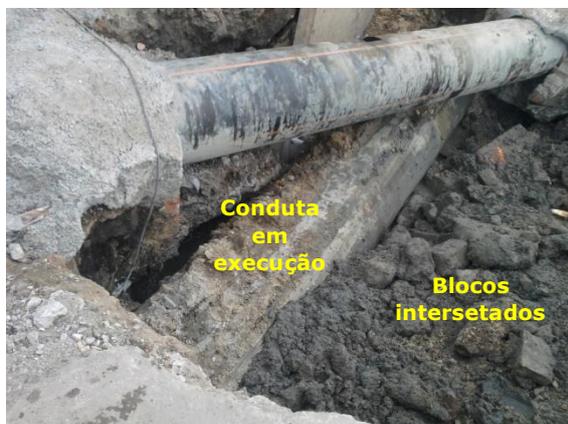
4.3 - Edifício em Vila Viçosa

Esta situação de obra remonta a 2009 e consiste numa empreitada de fundações indiretas para a construção de um edifício estatal em Vila Viçosa. Estava considerado, para todo o edifício, a execução de fundações indiretas por estacas moldadas.

Esta empreitada não chegou a ser realizada pela empresa inicialmente contratada. Esta decisão foi tomada após a primeira visita ao local de obra pela respetiva equipa de produção. No local afloravam mármorees. A solicitação, projeto e respetiva proposta comercial baseavam-se em quatro sondagens, duas das quais após o fecho do processo, e consideraram-se ter intercetado caixas de falha. Os custos foram apenas os inerentes ao processo de projeto e comercial, visto ter-se conseguido interromper a tempo a empreitada.

4.4 - Atravessamento de infraestrutura no Barreiro

Em 2010, no Barreiro, desenvolveu-se uma subempreitada de perfuração horizontal de Ø 1200mm para um subsistema de drenagem. A presença de outras infraestruturas enterradas e de blocos não cartografados no caminho do atravessamento projetado causou desvios e um acréscimo de custo na subempreitada de cerca de 20%. Como mostra a Figura 5, teve de ser aberta uma vala em plena zona urbana para se entender o motivo (estrutura humana ou geológica) pelo qual tinha encravado a progressão da conduta hidráulica.



Vala escavada para observação



Aspeto da face do tubo removido devido à colisão com blocos

Figura 5 - Incidente na cravação de uma conduta enterrada no Barreiro

4.5 - Discussão

Os casos de obra descritos anteriormente, como muitas outras ocorrências não registadas pelas entidades executantes, podem-se atribuir à falta de informação G&G, resultantes não só do menosprezo pela necessidade da sua obtenção nas fases de estudo de projeto, geralmente devido ao investimento que implicaria realizar ter sido considerado desnecessário, mas também do desconhecimento quer da interação do processo construtivo com a geologia/geotecnia do local, quer das técnicas mais adequadas a aplicar àquelas condições G&G.

Pode-se afirmar que, quando se está perante a ocorrência de um evento de risco que tenha sido considerado, o custo que houve na sua mitigação se baseou num valor considerado aceitável para o conhecimento do risco em que se incorre. Mas não seria possível ter mais informação com quase o mesmo custo e melhorar a sua modelação e, com isso, reduzir os riscos potenciais G&G?

Tendo em conta os exemplos anteriormente referidos e reportando-se ao exemplo 1, poder-se-ia ter mais informação do desenvolvimento lateral do *karst*. Em fase de concurso e de orçamentação, todos os intervenientes ficariam mais sensíveis à possibilidade desta ocorrência, mas em consequência subindo o valor das respetivas propostas, que se iriam aproximar. Poder-se-ia ter, também, a forma como o processo executivo se iria relacionar com a litologia, utilizando a modelação 3D e, para determinação da interação das fundações com o método executivo, a modelação 4D. Poder-se-ia ter experimentado, virtualmente, outros tipos de perfuração, com martelos de fundo de furo, por exemplo, e ter determinado qual o custo dessa operação e a respetiva viabilidade.

No exemplo 2 e correlacionando as sondagens executadas, que se considerou mais tarde que inadvertidamente interessaram caixas de falhas no maciço de mármore, correlacionando-as com outras existentes na zona, rapidamente se chegaria a um modelo onde se teria concluído que não seria necessário o recurso a fundações indiretas. Neste caso também houve desconfiança quanto à veracidade das sondagens. Neste contexto, a modelação 3D permitiria antever o desenvolvimento lateral da litologia e, posteriormente, com a consideração do método executivo das fundações, a modelação 4D permitiria prever qual dos processos seria mais adequado, gerindo-se assim o risco e custo do mesmo.

No exemplo 3, o estudo geotécnico executado para a realização do projeto foi de facto insuficiente, pois não detetou a estrutura geológica que despoletou a rotura no talude. No entanto, existiam sondagens de uma outra empreitada vizinha, o estudo para uma linha de alta tensão, que a referiam; mais uma vez, se essas sondagens estivessem lançadas no GGIM e em conjugação com as que foram realizadas, a probabilidade de ser ter descoberto a caixa de falha em fase de projeto teria sido significativamente maior. Ter-se-ia assim também duas modelações, uma 3D e outra 4D. Na modelação 3D, apenas estaria registada

a informação geológica e geotécnica, na modelação 4D seria visualizada virtualmente a antevisão do desmonte para o talude e a execução da contenção e como a mesma se comportaria com o tempo. Poder-se-ia ter a informação baseada em risco e/ou em custo do que se iria passar com a contenção.

No último caso e à semelhança do anterior, se a campanha de prospeção e ensaios do projeto tivesse sido interligada com as demais existentes na envolvente, ter-se-ia conseguido prever a existência de obstáculos geológicos ao avanço da perfuração horizontal. Conseguir-se-ia ter o modelo geológico/geotécnico a 3D, no qual se basearia a execução do atravessamento com o seu avanço – modelação 4D. Seria também possível visualizar, virtualmente, como seria preferível executar o atravessamento, se da forma como foi feito com perfuração horizontal a trado, ou se recorrendo a uma microtuneladora. Assim com o GGIM e à semelhança dos casos de obra anteriores, ter-se-ia uma noção do risco, custo e prazo dos métodos referidos.

5 - CONCLUSÃO

Pode-se considerar a ideia utópica e impossível de implementar, e que vai retirar ao mercado a execução de sondagens visto que com a conjugação da informação no tempo será cada vez menos necessária a realização de campanhas mais extensas. Se há 400 anos tivessem explicado aos descobridores Portugueses que a partilha dos seus mapas náuticos seria uma evolução, também quem o fizesse não seria compreendido. Este tipo de partilha no futuro será uma ferramenta banal, como o Google Maps, que ninguém há 15 anos considerava possível. A alteração do *mind set* e a normalização da informação geológica/geotécnica serão etapas cruciais e complicadas para a implementação desta ideia de projeto em Portugal.

Em algumas zonas, nomeadamente nas grandes cidades, onde se realizam muitas campanhas geológico/geotécnicas, já seria possível a implementação da base de dados do GGIM e conseguir-se-ia ter um modelo mais detalhado quanto mais informação normalizada se pudesse integrar na base de dados. Nasceria assim um GGIM (*Geological & Geotechnical Information Modelling*) que, além de permitir ter uma previsualização do terreno a 3D, viabilizaria a modelação a 4D aplicada à construção, através da simulação de eventos, uma vez que contemplaria as variações do terreno, da estrutura, da hidrogeologia e das características físicas, mecânicas e químicas. Poder-se-iam simular os sismos ou outros eventos, como vibrações existentes durante a execução de estacas ou na cravação de tubos para atravessamentos, ou ainda a execução de túneis. Tudo isto poderia ser visualizado através de uma realidade virtual animada gerada pelo GGIM e quantificado em termos de risco, custo e tempo, complementando a metodologia BIM.

Neste contexto, uma questão se impõe: quem é que, na comunidade Portuguesa, vai investir numa abordagem deste tipo, sabendo que pode estar a dar informação a quem nada gastou? Os autores pretendem contribuir para que esta realidade se concretize em Portugal.

Fica a convicção de que, desta forma, seria possível para todos obter mais informação geológica/geotécnica e prever a sua interação com as estruturas a edificar no subsolo com menos custos e riscos para todos os *stakeholders*.

AGRADECIMENTOS

A colaboração de Paula F. da Silva foi apoiada pela UID/GEO/ 04035/2013.

REFERÊNCIAS

- Abdrabbo, F.M., Gaaver, K.E. (2012). Applications of the Observational Method in Deep Foundations. *Alexandria Engineering Journal* 51(4): 269–79. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016812000944> (November 13, 2014).
- Brown, D. (2009). Contemporary Topics in Deep Foundations *Management of Risk in Deep Foundations with Design-Build*. Sequatchie. [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41021\(335\)1](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41021(335)1).
- Chapman, T.J.P. (2008). The Relevance of Developer Costs in Geotechnical Risk Management. In *Proceedings of the Second BGA International Conference on Foundations, ICOF2008*, eds. M.J. Brown, M.F. Bransby, A.J. Brennan, and J.A. Knappett. London: IHS BRE Press, 26.
- Chapman, T., Marcetteau, A. (2004). Achieving Economy and Reliability in Piled Foundation Design for a Building Project. *The Structural Engineer* (June): 32–37.
- Coppendale, J. (1995). Manage Risk in Product and Process Development and Avoid Unpleasant Surprises. *Engineering Management Journal* 5(1): 35. http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/em_19950103 (January

23, 2015).

- Donnelly, C.R. (2004). Appropriate Risk Transfer in 'Underground' Projects. In *United States Society on Dams*, Charlotte, 11.
- Duncan, J.M. (2000). Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 126(4): 307–16. <http://www.mendeley.com/catalog/factors-safety-reliability-geotechnical-engineering/> (October 9, 2014).
- Glynn, P., Jacobsen, L., Phelps, G., Bawden, G., Grauch, V., Orndorff, R., Winston, R., Fienen, M., Cross, V., Bratton, J. (2011). 3D/4D Modeling, Visualization and Information Frameworks: Current US Geological Survey Practice and Needs. *Three-Dimensional Geological Mapping; Workshop Extended Abstracts, Minneapolis, Minnesota, October 8 2011, Geological Survey of Canada, Open File 6998*: 33–38.
- Gunnink, J.L., Stafleu, J., Maljers, D., Hummelman, J. (2013). Hydraulic Parameterization of 3D Subsurface Models: From Measurement-Scale to Model-Scale. In *Three-Dimensional Geological Mapping*, Minnesota, 35–39.
- Hoek, E., Palmeiri, A. (1998). Geotechnical Risks on Large Civil Engineering Projects. In *Keynote Address for Theme I – International Association of Engineering Geologists Congress, Vancouver, Canada*.
- Jorgensen, F., Thomsen, R., Sandersen, P., Vangkilde-Pedersen, T. (2013). Geological Survey of Denmark and Greenland: Early Sketches for a Detailed Nationwide 3D Geological Model Based on Geophysical Data and Boreholes. In *Three-Dimensional Geological Mapping*, Minnesota, 41–45.
- Kessler, H., Rearden, R. (2014). Technical Requirements for Serving 3D Geological Models. D3.4(312845): 22. <http://www.egdi-scope.eu/wp-content/uploads/2014/07/D3.4-Requirements-serving-3D-geological-models.pdf> (September 24, 2015).
- Latham, M. (1994). *Constructing the Team*. London: HMSO. http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCcQFjAB&url=http://www.cewales.org.uk/cew/wp-content/uploads/Constructing-the-team-The-Latham-Report.pdf&ei=Za_VNvEI8GuUaiXgqgP&usq=AFQjCNHdSVMRIsIWQJWZ1VTLj (January 21, 2015).
- Ludden, J., Peach, D., Flight, D. (2015). Geochemically Based Solutions for Urban Society: London, A Case Study. *ELEMENTS*: 253–58. <http://elements.geoscienceworld.org/content/11/4/253.full.pdf> (September 23, 2015).
- Mathers, S.J., Burke, H.F., Terrington, R.L., Thorpe, S., Dearden, R.A., Williamson, J.P., Ford, J.R. (2014). A Geological Model of London and the Thames Valley, Southeast England. *Proceedings of the Geologists' Association* 125(4): 373–82. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787814000662> (November 6, 2014).
- Mathers, S. (2011). 3D Geological Mapping (modelling). In *Geological Survey Organizations and the New British Geological Survey Initiative to Build a National Geological Model of the UK*. : 45–48. <http://isgs.illinois.edu/sites/isgs/files/files/3Dworkshop/2011/mathers.pdf> (September 23, 2015).
- Silva, A.P., Rodrigues Carvalho, J.A. (2000). Informação Geográfica e Registo de Sondagens - A Necessidade de Normalização em Portugal. In *VII Congresso de Geotecnia*, Porto, 341–44.
- van Staveren, M.T. (2006). *Uncertainty and Ground Conditions: A Risk Management Approach*. First. Oxford: Elsevier Ltd. www.books.elsevier.com.
- Thorleifson, H., Berg, D., Russel, H. (2013). Three-Dimensional Geological Mapping. In *Three-Dimensional Geological Mapping*, Denver: Minnesota geological survey, 84. <http://www.mngs.umn.edu/> (September 24, 2015).