

PROJECTO E ASSESSORIA TÉCNICA ÀS OBRAS GEOTÉCNICAS DO ALDEAMENTO TURÍSTICO CABO GIRÃO LOCALIZADO NA ILHA DA MADEIRA

PROJECT AND TECHNICAL ASSISTANCE TO THE GEOTECHNICAL SUPPORT STRUCTURES OF TOURIST RESORT CABO GIRÃO IN MADEIRA ISLAND

Sousa, Filipe M.B. Almeida, *Cenorgeo, Lisboa, Portugal, fsousa@cenorgeo.pt*

Baião, Carlos J. Oliveira, *Cenorgeo, Lisboa, Portugal, cbaiao@cenorgeo.pt*

Brito, José A. Mateus, *Cenorgeo, Lisboa, Portugal, mbrito@cenorgeo.pt*

RESUMO

Dados os condicionamentos existentes para a implantação dos diferentes núcleos que constituem o Aldeamento Turístico Cabo Girão, na Ilha da Madeira, designadamente a acidentada topografia e o cenário geológico-geotécnico ocorrente, verificou-se a necessidade de conceber um conjunto muito importante de estruturas de suporte, recorrendo a distintas soluções, nomeadamente a muros de gravidade e semi-gravidade em betão ciclópico, a muros em betão armado, a paredes pregadas e a taludes pregados. Apresenta-se a concepção de projecto nas suas diferentes fases e as principais actividades desenvolvidas no âmbito da assessoria técnica especial prestada na fase de execução dos trabalhos.

ABSTRACT

As a result of the several restraints associated with the implantation of the different constructions areas included in the Tourist Resort Cabo Girão, in Madeira Island, such as the layout, topography and geological-geotechnical conditions it was necessary to conceive different type of retaining structures, namely gravity walls, cantilever concrete wall, nailed retaining wall and soil nailing slope stabilization. The conception of these solutions during the different project phases and the most important works resulting from the technical assistance given during the excavation activities are described.

1. DESCRIÇÃO GERAL DO ALDEAMENTO

O Aldeamento Turístico Cabo Girão, com cerca de 65000 m² de área total, localiza-se na zona do Cabo Girão, no concelho de Câmara de Lobos, na Ilha da Madeira, cerca da cota 580 m e é constituído por um núcleo de serviços comuns (núcleo N1), quatro núcleos essencialmente destinados à habitação (núcleos N2 a N5) e um espaço de lazer (núcleo N6) (Figura 1).

A área total de construção do empreendimento é da ordem dos 41100 m², desenvolvendo-se entre socalcos definidos pela estrada regional que atravessa o empreendimento.

O edifício do núcleo N1 designado de “casa mãe”, tem quatro pisos, sendo os dois inferiores semi-enterrados, encontrando-se implantado numa zona central do empreendimento. É um núcleo de espaços comuns, oferecendo uma área de lazer no exterior ao edifício que inclui duas piscinas e outros equipamentos. Os núcleos N2 a N5 desenvolvem-se em redor da “casa-mãe”,

sendo o núcleo N2, implantado a Oeste, constituído por cinco edifícios, o núcleo N3, localizado a Norte, por vinte e um edifícios e o núcleo N4, situado a Este, por um bloco de sete edifícios, todos eles com três pisos. O núcleo N5 é constituído por vinte e uma moradias com dois pisos, sendo seis delas geminadas, e situa-se na parte mais a Sul do empreendimento. O núcleo N6 define uma zona de lazer com piscina e court de ténis e localiza-se na extremidade Oeste do núcleo N5 (Figura 1).

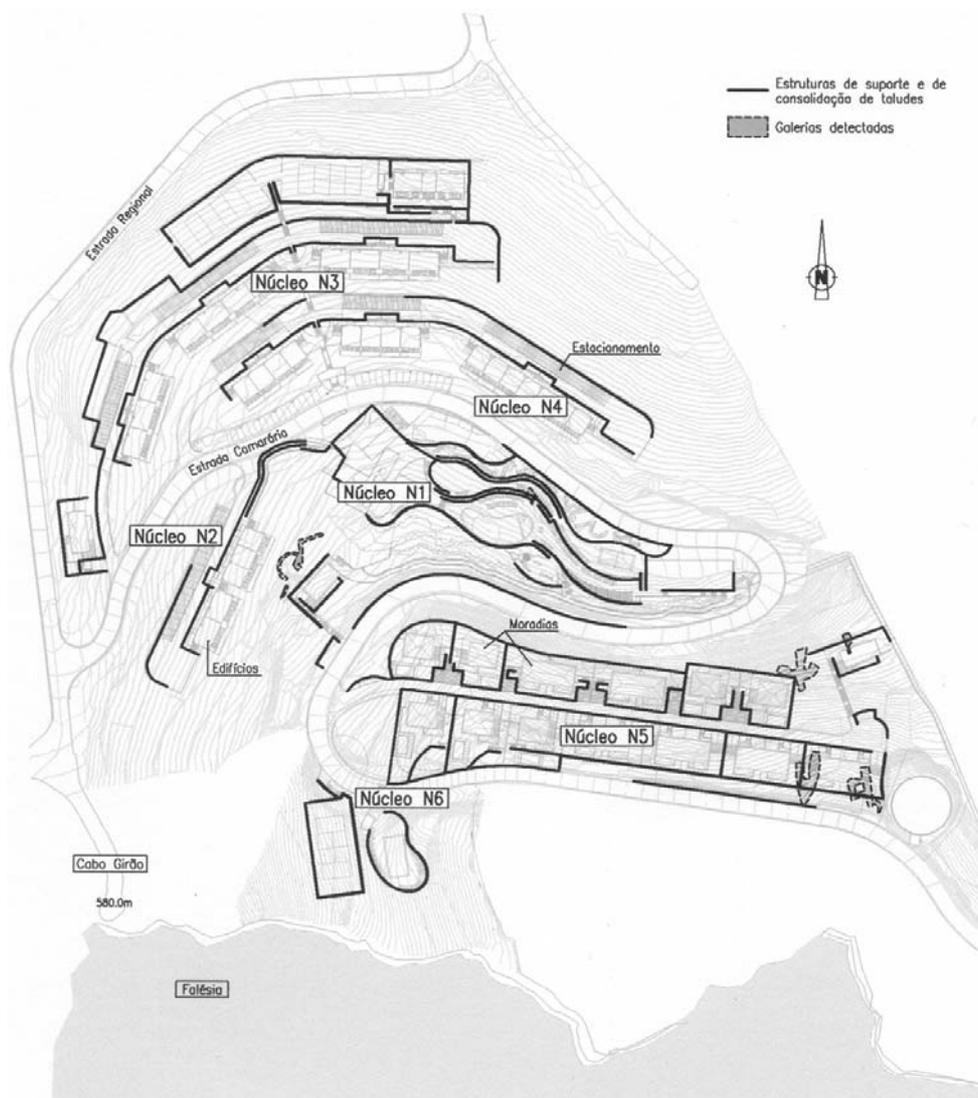


Figura 1 - Planta do Aldeamento Turístico Cabo Girão

Para a inserção deste conjunto de edificações e das respectivas infraestruturas foi necessário criar várias plataformas ao longo do terreno existente, contidas por estruturas de suporte de aterro e de escavação com significativo desenvolvimento e importância.

Com efeito, foram construídas um total de 40 estruturas de suporte e de consolidação de taludes de escavação, com um desenvolvimento total de cerca de 3200 m (Figuras 1 e 2), ou seja, cerca de duas vezes superior ao comprimento dos arruamentos definidos no interior do aldeamento, tendo sido necessário conceber um conjunto importante de diferentes soluções, nomeadamente de muros de gravidade e semi-gravidade em betão ciclópico, de muros em betão armado, de paredes pregadas e de taludes pregados. Salienta-se que para uma obra deste tipo, a influência

das estruturas de suporte no valor total da obra, de cerca de 15%, é demonstrativo da importância de que se revestiram todos os estudos desenvolvidos.



Figura 2 – Vista aérea do Aldeamento Turístico Cabo Girão (Janeiro 2006)

2. GEOMORFOLOGIA E CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

A área onde se insere o aldeamento situa-se numa extensa e inclinada encosta virada sobre o mar, com pendente de norte para Sul, truncada abruptamente pela falésia escarpada do Cabo Girão com cerca de 550 m de desnível. A encosta tem um declive médio entre 20° e 30° e apresentava vários taludes e muros de suporte antigos, sendo recortada pela passagem de uma estrada camarária, desenvolvendo-se o empreendimento entre sensivelmente as cotas 510 m e 610 m, ou seja, numa área com um desnível de aproximadamente 100 m.

Na caracterização geológico-geotécnica geral teve-se em consideração os resultados do estudo geológico-geotécnico [1] elaborado especificamente para a fase de projecto, o qual incluiu a realização de 19 sondagens à rotação, regularmente distribuídas pela área do aldeamento. De acordo com este estudo, verificou-se que à superfície ocorriam depósitos de cobertura resultantes da alteração das formações subjacentes, as quais são predominantemente constituídas por tufos desagregados, por vezes argilificados, com níveis de bombas vulcânicas, cobrindo sobretudo a parte Norte do aldeamento. Esta formação apresenta uma espessura significativa, que chega a atingir os 17 m e caracteriza-se por, quando exposta, ser facilmente erodível, levando a uma rápida alteração das suas características de compacidade e resistência, contribuindo para a existência de um horizonte superior mais alterado e descomprimido.

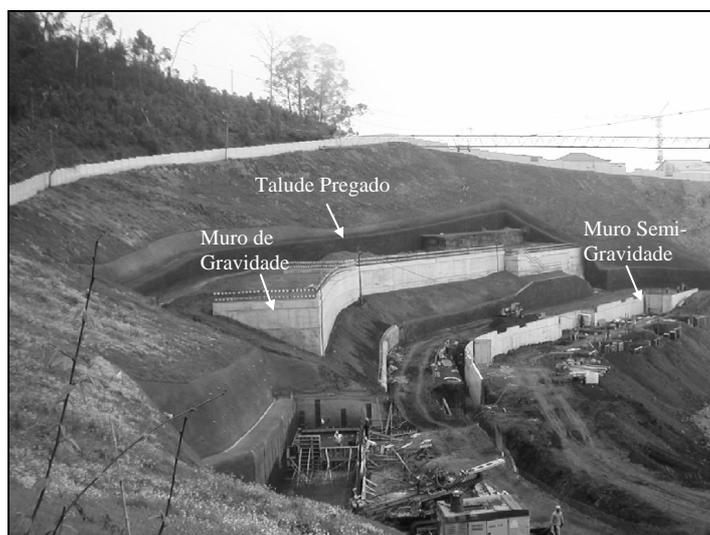
Os afloramentos eram raros em toda a área, sendo apenas visíveis ao longo da estrada existente, que constitui o caminho camarário. Na parte situada mais a Sul, os afloramentos são predominantemente de basaltos fracturados e de brechas desagregadas, nomeadamente no talude de escavação adjacente à estrada existente.

Os parâmetros geotécnicos de cálculo adoptados para os terrenos, constituídos essencialmente por tufos, determinados com base nos resultados de ensaios realizados, foram $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\varphi' = 30^\circ$, $c' = 10 \text{ kPa}$ e $\text{tg } \delta'_f = 0,45$.

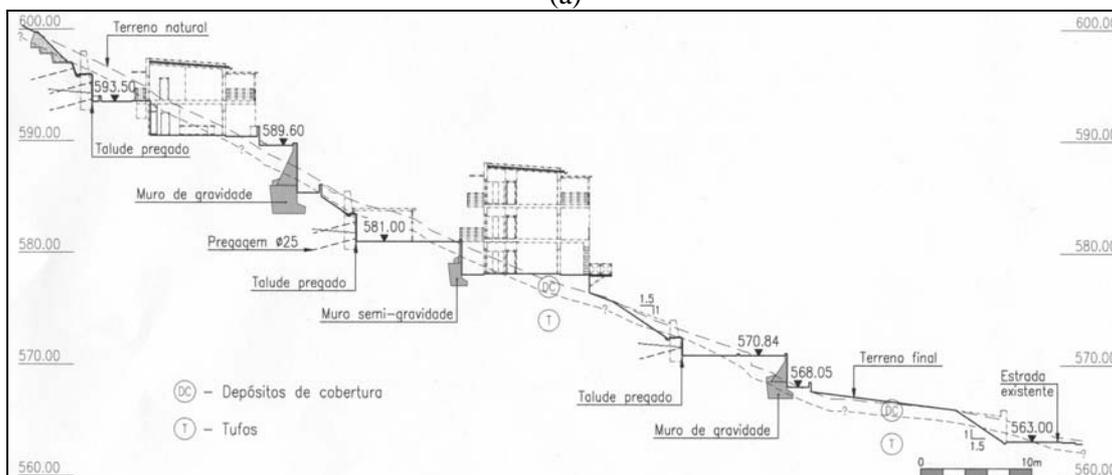
3. PROJECTO

3.1 Fixação do layout do aldeamento

A necessidade de criar plataformas numa encosta muito inclinada para inserir as habitações, os espaços de lazer e os arruamentos (Figura 3) obrigou a que na fase de projecto fosse despendida particular atenção à implantação dessas estruturas, quer em planimetria, quer em altimetria, de modo a garantir a sua harmoniosa integração na encosta. De facto, só através de uma estreita interacção entre a equipa de projectistas, particularmente a responsável pelo projecto geotécnico, e o gabinete de arquitectura, responsável pelo layout do empreendimento, foi possível otimizar as quantidades de trabalho associadas à realização da movimentação de terras e da execução das estruturas de suporte, viabilizando, deste modo, economicamente a concretização do projecto de construção do Aldeamento Turístico Cabo Girão [2] [3].



(a)



(b)

Figura 3 – (a) Vista geral do topo do núcleo N3; (b) Corte transversal de projecto do núcleo N3

Com efeito, a filosofia que orientou a actividade desenvolvida teve subjacente a necessidade de se obter um equilíbrio entre as soluções de escavação e de aterro, tentando garantir, para além da harmoniosa integração já referida, a estabilidade de toda a encosta a intervir e a manutenção de todas as estruturas, espaços e equipamentos previstos na fase inicial do projecto.

A título de exemplo da actividade desenvolvida durante o projecto, apresentam-se de forma sucinta, algumas das alterações introduzidas na arquitectura por forma a ter em conta os condicionamentos geotécnicos:

- eliminação do arruamento principal de circulação interna do aldeamento, tirando partido da estrada camarária que atravessa o aldeamento, criando acessos para os diversos núcleos. De facto, a criação do novo arruamento obrigaria, dadas as condições topográficas do local, à execução de um importante número de estruturas de suporte, bem como à execução de passagens superiores sobre a estrada existente, quer para veículos, quer para peões;

- nova implantação planimétrica de blocos de apartamentos, medida com grande incidência sobre os núcleos N2 e N4, onde inicialmente havia uma concentração muito elevada de habitações, localizadas muito próximas de um muro existente e numa zona muito declivosa da encosta, respectivamente, factores que obrigariam a intervenções muito amplas. Assim, integrado num socalco suave localizado na zona Norte da encosta, concentraram-se no núcleo N3 todas estes blocos, em dois alinhamentos principais, recorrendo apenas a estruturas de aterro de altura não muito elevada no seu tardoz;

- optimização altimétrica de todos os núcleos, estruturas e arruamentos, com o objectivo de obter edifícios não muito expostos ou demasiadamente enterrados, nem estruturas de suporte com grandes alturas, quer de escavação, quer de aterro, e garantindo, ainda, as inclinações para os arruamentos e as rampas conforme o estabelecido regulamentarmente;

- eliminação dos espaços entre edifícios, conseguindo, incorporar numa área menor a mesma área de construção, diminuindo a extensão das estruturas de suporte a executar;

- rotação dos alinhamentos previstos para alguns arruamentos e blocos adjacentes, para uma direcção paralela à das curvas de nível do terreno, resultando em soluções bem integradas e económicas, recorrendo a estruturas de suporte de pequena altura, com particular importância nos núcleos N3 e N4 (Figura 4).



Figura 4 – Vista da parte superior do talude localizado no tardoz do núcleo N4

3.2 Concepção e descrição geral das estruturas de suporte

Na concepção das soluções das diferentes estruturas de suporte a executar nos diversos núcleos tiveram-se em consideração, para além dos aspectos já analisados, os condicionamentos geológico-geotécnicos, topográficos, económicos e executivos [3], os quais conduziram à necessidade de recorrer a diferentes tipos de soluções na concepção das estruturas de suporte, nomeadamente a muros de gravidade e semi-gravidade em betão ciclópico, a muros em betão armado, a paredes pregadas e a taludes pregados.

Assim, no caso em que os aterros a executar para criação das plataformas dos edifícios ou dos arruamentos apresentavam, numa extensão significativa, altura superior a cerca de 4,5 m, previu-se a execução de estruturas de suporte do tipo muro de gravidade em betão ciclópico ou do tipo muro de semi-gravidade. Nas situações de aterro com altura inferior a 5,5 m admitiu-se a execução de muros em betão armado, com uma secção tipo em “T” invertido. Previu-se que todos estes muros fossem fundados directamente no substrato. Refere-se que, de modo a tirar o máximo partido da resistência do terreno, se preconizou, sempre que possível, a adopção de muros do tipo semi-gravidade constituídos por uma parte inferior em betão ciclópico, betonada contra o terreno, e uma parte superior, correspondente à altura de aterro, constituída por uma consola em betão armado (Figura 5).



Figura 5 – Estrutura de suporte com secção tipo semi-gravidade

Foram ainda definidas estruturas de suporte com secção tipo em “U” de modo a contemplar as situações em que se verificava a necessidade de garantir o desnível entre três plataformas a cotas distintas e a reduzida distância, inviabilizando a execução de dois muros paralelos. Assim, as secções definidas correspondem, em termos gerais, a duas consolas paralelas em betão armado fundadas num elemento de fundação comum, em betão armado ou betão ciclópico (Figura 6).

Nas situações de escavação no maciço em que, por razões geométricas e de arquitectura era necessário garantir um paramento vertical entre duas plataformas e o maciço competente se encontrava abaixo da cota da plataforma superior a materializar, previu-se a execução de paredes pregadas constituídas na parte superior por uma secção tipo em “L”, também em betão armado, correspondente à altura em que não era possível betonar as paredes directamente contra o maciço. Estas paredes tinham como objectivo, por um lado, revestir e confinar a escavação a executar, e, por outro, garantir um acabamento idêntico ao das estruturas adjacentes.

Em face da importância dos taludes de escavação a efectuar, essencialmente os localizados no tardo dos diferentes núcleos, traduzida pela sua altura e inclinação, da futura construção de edificações sobre os terrenos a suportar e das características desses terrenos, concebeu-se uma solução de revestimento pregado, constituída por betão projectado e pregagens, que, para além de permitir um revestimento de pele suficiente para confinar e evitar a progressiva desagregação do terreno, constitui uma estrutura de suporte ligeira, flexível e económica, associada ao terreno, e que tira o máximo partido da sua resistência.



Figura 6 – Estrutura de suporte com secção tipo em “U”

Dada a exposição de grande parte dos taludes pregados a executar, teve-se como preocupação adicional procurar minimizar o seu impacto visual e garantir um melhor enquadramento paisagístico. Para o efeito, preconizou-se a incorporação de um aditivo colorante na segunda camada de betão projectado, cuja cor final foi fixada em fase de obra, de modo a promover um adequado enquadramento dos revestimentos na área envolvente.

4. ASSESSORIA TÉCNICA DURANTE A FASE DE OBRA

Dando continuidade ao trabalho efectuado ao nível do Estudo Prévio e do Projecto de Execução, e dada a especificidade da obra a realizar, foi considerado pertinente assegurar o acompanhamento e o apoio técnico do projectista à execução das inúmeras estruturas de suporte, no sentido de proceder à respectiva adaptação e optimização.

Esta actividade revelou-se bastante profícua, tendo sido possível proceder, em tempo útil, à adaptação de várias estruturas de suporte projectadas, tirando partido das reais condições geológico-geotécnicas que, em alguns locais, se revelaram mais favoráveis que as assumidas no projecto. Por outro lado, permitiu solucionar de forma eficaz alguns problemas levantados em fase de obra devido a singularidades geológicas que vieram a ser detectadas nesta fase.

Destaca-se no âmbito da assessoria técnica, de entre outras optimizações que foram sendo efectuadas, a diminuição de volume de betão em alguns muros através da redução da largura das respectivas sapatas e a redução da quantidade de pregagens a realizar nos taludes de escavação, medida esta adoptada com base na interpretação dos ensaios de arranque de pregagens,

definidos no âmbito do projecto de execução, e na inspecção visual dos taludes necessários consolidar.

Com efeito, ao longo de todo o empreendimento foram definidos alguns ensaios de arranque, distribuídos uniformemente pelos diferentes núcleos, com o objectivo de aferir o valor da força de arranque por unidade de comprimento, parâmetro fundamental no dimensionamento das pregagens previstas executar em todos os taludes, Freitas et al. [4]. Na maioria dos ensaios realizados concluiu-se que a força de arranque por unidade de comprimento era superior à considerada no dimensionamento efectuado na fase de projecto, facto que permitiu proceder ao ajuste da malha de pregagens em alguns dos taludes de 1,5V:1,5H para 1,75V:1,5H e 2V:1,5H. Esta optimização, bem como a dispensa de grande quantidade de pregagens previstas realizar na consolidação de alguns taludes existentes, traduziu-se numa economia desta natureza de trabalhos de cerca de 1200 m, ou seja, cerca de 14 % do total previsto.

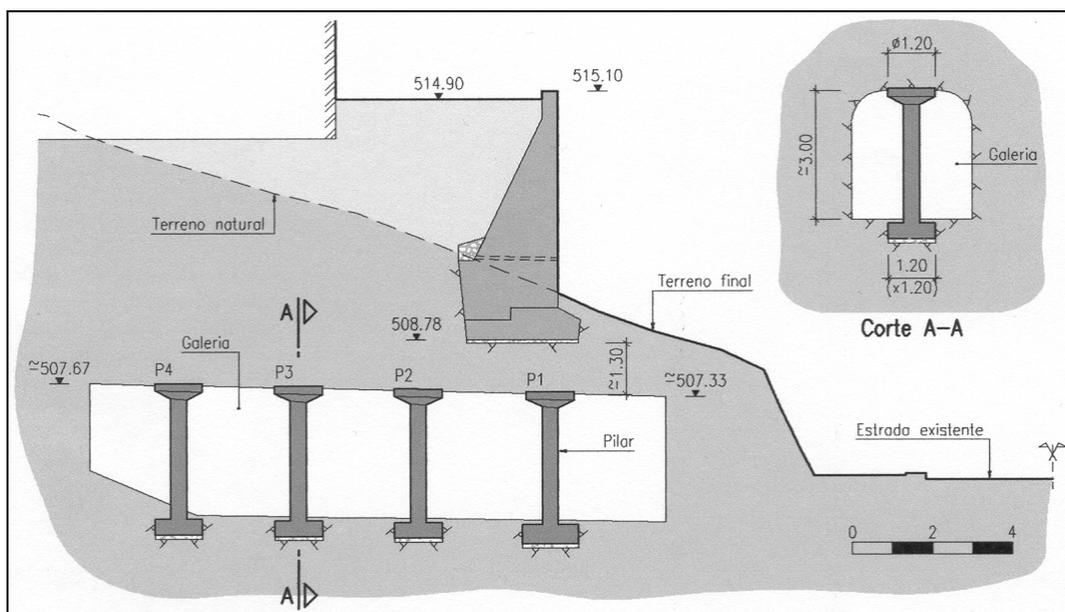
No que se refere às singularidades encontradas no decurso dos trabalhos destaca-se o facto de terem sido detectadas seis galerias de captação ou armazenamento de água, das quais apenas duas haviam sido identificadas, sem no entanto ter sido possível o seu reconhecimento, aquando da fase de projecto, encontrando-se as restantes cobertas pela densa vegetação existente no local. Cada uma destas galerias foi alvo de um estudo específico, tendo-se procurado desenvolver soluções que garantissem a respectiva estabilização no sentido de poderem ser integradas e enquadradas no aldeamento como elementos de interesse. Em alguns casos procederam-se a pequenos ajustes de arquitectura, noutros houve mesmo a necessidade de proceder ao enchimento completo, recorrendo a betão ciclópico.

Destaca-se pela sua importância e grandeza, a galeria de armazenamento de água detectada a Sul do empreendimento, junto ao reservatório existente, localizada sobre um muro de suporte e uma moradia a construir, com forma geométrica tipo “H” (Figura 1). De modo a permitir futuras visitas da galeria detectada foi analisada a possibilidade do seu reforço, tendo como premissa a necessidade de manter inalterada a definição estabelecida para o núcleo N5.

Assim, foi projectada e executada uma solução de pilares em betão armado para suportar a necessária altura de aterros a realizar para as plataformas das moradias, bem como para suportar o muro cuja fundação na zona da entrada da galeria detectada se encontrava com cerca de 1,30 m de recobrimento (Figura 7). Na zona Este da galeria, dada a proximidade desta com a sapata do muro foi ainda considerada a execução de 3 microestacas com perfis metálicos. Para a zona Oeste, onde o muro se encontrava sobre o alinhamento de uma das cavidades da galeria foi executado um enchimento em betão ciclópico do referido “corredor” da galeria, ao longo de toda a largura da secção do muro.

Por fim, salienta-se, no âmbito da assessoria técnica, a análise cuidada efectuada aos relatórios das leituras semanais da instrumentação. Dado o grande número e desenvolvimento das estruturas de suporte a realizar, optou-se por apenas instrumentar as estruturas mais importantes, ou seja, as de maior altura total e cujo eventual deficiente comportamento provocasse maiores riscos, optimizando, desta forma, o plano de instrumentação a implementar, tendo-se considerando suficiente proceder à instalação de cerca de 70 marcas topográficas de superfície para observação dos deslocamentos horizontais e verticais das estruturas e do terreno suportado.

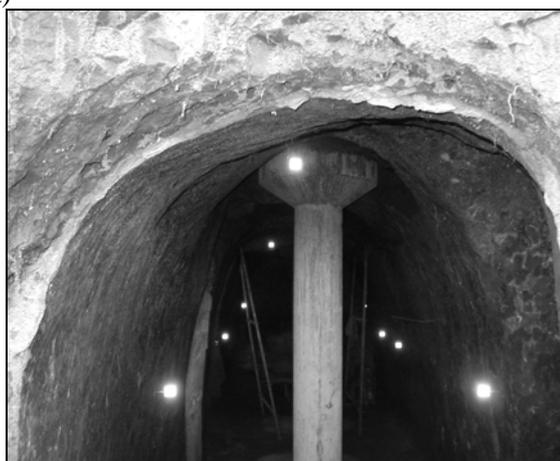
A interpretação dos resultados revelou um adequado comportamento das estruturas projectadas, não tendo sido registado nenhum sinal de instabilização. Com efeito, o deslocamento horizontal máximo registado nos muros de suporte foi de 3 a 4 mm para as estruturas mais altas, com cerca de 8,0 m de altura, e nas estruturas de escavação nunca atingiu 0,1% da altura da escavação, com altura média ao longo de todo o empreendimento de cerca de 6,0 m.



(a)



(b)



(c)

Figura 7 – (a) Solução preconizada para a galeria detectada no núcleo N5; (b) vista da galeria antes da execução dos pilares; (c) vista a partir da entrada da galeria após conclusão dos pilares

5. CONCLUSÕES

As estruturas de suporte do Aldeamento Turístico Cabo Girão e toda a concepção global do empreendimento obrigaram em todas as fases de projecto, a uma forte intervenção e cooperação entre a Arquitectura e a Engenharia. Na verdade, revelou-se um trabalho preponderante a optimização de todas as soluções na fase de concepção garantindo a necessária integração do projecto no meio envolvente, tanto mais que as obras de suporte corresponderam a 15% do valor total da obra.

Num projecto tão extenso e multi-disciplinar foi essencial a compatibilização, não só entre as diferentes soluções de estruturas de suporte adoptadas, mas também com as diferentes especialidades, tornando-se fulcral a organização do trabalho desenvolvido por forma a tornar simples o processo de execução em obra.

Associado a esta significativa actividade de coordenação, salienta-se também a extrema importância do facto de se conhecer com grande profundidade as condições geológicas existentes logo na fase de projecto, tendo sido possível, desta forma, tirar o máximo partido das características mecânicas do maciço e das condições locais para a definição dos diferentes tipos de estruturas de suporte a considerar.

Na fase de assessoria técnica validaram-se em obra as bases consideradas para ajustar as soluções projectadas às condições reais que foram sendo encontradas, que foram traduzidas, em alguns casos, em reduções significativas de quantidades de trabalho, e consequentemente, de economia da obra.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos à Holiday Property Bond (Dono da Obra), à Mota-Engil (Construtor) e a todos os intervenientes no empreendimento em análise, quer pela sua válida contribuição técnica para o respectivo sucesso, quer pela autorização concedida na divulgação dos elementos que constam da presente comunicação.

REFERÊNCIAS

- [1] Cenorgeo (2003). *Aldeamento Turístico Cabo Girão. Estudo Geológico-Geoténico. Projecto de Execução.*
- [2] Cenorgeo (2003). *Aldeamento Turístico Cabo Girão. Estruturas de Suporte. Estudo Prévio.*
- [3] Cenorgeo (2004). *Aldeamento Turístico Cabo Girão. Estruturas de Suporte. Projecto de Execução.*
- [4] Freitas, A. R. J., Baião, C. J. O., Brito, J. A. M. (2006). *Estruturas de contenção pregadas de taludes especiais. O caso das novas vias rápidas da Ilha da Madeira.* 10º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa.