

CONTRIBUIÇÃO DA TOMOGRAFIA SÍSMICA NA CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO DA ZONA DA CENTRAL DE VENDA NOVA II

THE ROLE OF SEISMIC TOMOGRAPHY IN THE VENDA NOVA II POWERHOUSE ROCK MASS CHARACTERIZATION

Plasencia, Nadir (*Geóloga, HIDRORUMO, Projecto e Gestão – S.A.*)

Coelho, Maria João (*Geofísica, LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil*)

Lima, Celso (*Engenheiro Civil, HIDRORUMO, Projecto e Gestão – S.A.*)

Fialho, Luís (*Geólogo, LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil*)

RESUMO

Na actual configuração do reforço de potência de Venda Nova II, a implantação da caverna da central situa-se no maciço granítico da Borralha a uma profundidade de 350 metros. A partir da superfície foram executadas 4 sondagens verticais, profundas, com recuperação contínua de amostra. Entre esses furos foram seguidamente realizados leques sísmicos para obtenção de tomografias sísmicas de velocidade das ondas longitudinais em várias secções entre furos. As tomografias sísmicas contribuíram, em conjunto com a geologia de superfície e os resultados da prospecção mecânica, para a definição do modelo geológico-geotécnico do maciço rochoso e para a localização da caverna da central.

ABSTRACT

In the new Venda Nova II hydroelectric upgrading the powerhouse cavern will be located at 350 m deep. At the site 4 boreholes were carried out. Later crosshole seismic tests were performed in order to obtain P-wave velocity tomographies for all the sections between boreholes. The tomographies joint with the surface geology and the mechanical survey contributed for the massif geological-geotechnical model definition and for powerhouse cavern location.

1 – INTRODUÇÃO

O empreendimento hidroeléctrico de Venda Nova II consiste num reforço de potência que a CPPE (Companhia Portuguesa de Produção de Electricidade, S.A) pretende realizar, através da interligação das albufeiras, que já actualmente explora, criadas pelas barragens de Venda Nova, no rio Rabagão, e Salamonde, no rio Cávado, respectivamente com níveis de pleno armazenamento às cotas de (690,80) e (270,80).

Para tal está prevista a construção de uma central, a instalar numa caverna subterrânea, dotada de dois grupos reversíveis, e um extenso circuito, desenvolvendo-se na sua totalidade na margem esquerda do rio Rabagão. A tomada de água em turbinamento localiza-se a montante da barragem existente e a restituição far-se-á para o rio Rabagão, próximo da confluência com o rio Cávado, já na albufeira de Salamonde.

2 – LOCALIZAÇÃO DA CAVERNA DA CENTRAL

A caverna para a central subterrânea será localizada na proximidade da povoação de Soutelos, com uma cobertura de cerca de 320 metros (abóboda cerca da cota (255)), altura de 30 metros, largura de 20 metros e comprimento de 60 metros.

A localização altimétrica da central foi condicionada pela submergência dos grupos em relação à cota da albufeira da Salamonde e pela inclinação pretendida, por razões construtivas, do túnel em carga, condicionantes que também influenciaram a sua localização em planta.

Litologicamente esta zona caracteriza-se por um granito de grão médio de tendência porfiróide com veios e filões de quartzo e ou pegmatíticos, por vezes róseos. Além da maior e menor tendência ao desenvolvimento de cristais de feldspato este granito apresenta também encraves de micaxisto mais ou menos quartzoso.

Com base na geomorfologia e na fotografia aérea foram identificados vários alinhamentos à superfície que se admite corresponderem a estruturas tectónicas. Os dois alinhamentos mais marcantes no local, identificados na Figura 1 respectivamente por E e F, têm orientação N45°W e N15°W e são, aparentemente, subverticais. A localização preliminar da caverna da central foi definida, tendo por base a geomorfologia e a tectónica, de forma a evitar a sua interferência dessas estruturas geológicas.

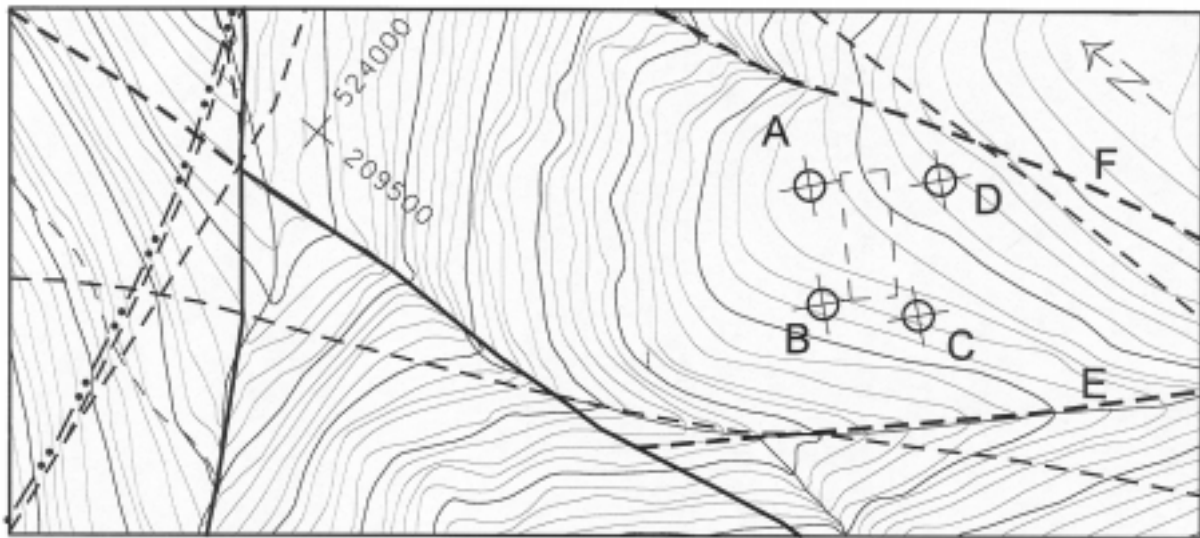


Figura 1 –Planta esquemática com a topografia e localização preliminar da central; FA, FB, FC e FD correspondem, respectivamente, às bocas dos furos das sondagens A, B, C, e D; e a I. Estão também representados os alinhamentos geológicos identificados; E e F alinhamentos que condicionam o posicionamento da caverna.

3 – PROSPECÇÃO MECÂNICA

Dada a proximidade desses acidentes tectónicos detectados pelos trabalhos de cartografia de superfície até então desenvolvidos, foram realizadas 4 sondagens profundas e sub-verticais designadas por A, B, C e D. Em planta (Fig. 1) a posição das sondagens definiram os vértices de um quadrilátero cujo centro se previa vir a ficar próximo do ponto central da área da caverna. Os comprimentos das sondagens A, B, C e D foram de 354.7, 371.0, 381.6 e 354.0 metros e as respectivas origens às cotas (563), (557), (562) e (577), pelo que, em profundidade, atingiram níveis inferiores aos da soleira teórica da caverna da central.

As sondagens foram efectuadas à rotação com recuperação contínua de amostra (“wire-line”). Quando da abertura dos furos de sondagem, foi verificado o respectivo posicionamento em cada 50 metros de furação. Os ensaios de permeabilidade foram realizados no final de cada sondagem, com obturador duplo, e com 5 patamares de pressão.

Em amostras de rocha obtidas pelas sondagens foram realizados ensaios laboratoriais de compressão uniaxial para determinação do módulo de deformabilidade, coeficiente de Poisson e resistência à compressão uniaxial simples, assim como ensaios de carga pontual (“point load test”).

A interpretação dos resultados das sondagens e ensaios laboratoriais permitiram o zonamento geológico-geotécnico, sintetizado no Quadro 1 e esquematizado no Figura 2. Nesse zonamento foram identificadas 3 zonas geológico-geotécnicas. As zonas ZG1C e ZG2C (esta última com uma espessura entre 15 e 30 metros) caracterizam-se litologicamente por apresentarem um granito de grão médio por vezes de tendência porfiróide, e algumas vezes róseo. A zona ZG3C (com uma espessura entre 10 e 20 metros) corresponde a um saibro granítico superficial, transitando, em profundidade para um granito muito fracturado.

Quadro 1 – Zonamento geológico-geotécnico do maciço da central.

| Zonas Geotécnicas | Grau de Alteração | Grau de Fracturação | RQD (%) | Permeabilidade | Ir (MPa) | UCS (MPa) | E (GPa) | v |
|-------------------|-------------------|-----------------------|---------|----------------------------|----------|-----------|---------|------|
| ZG3C | W3 a W4-5 | F3 a F4-5 | 0-90 | >10 U.L. | 3.8 | 57.7 | 42.0 | - |
| ZG2C | W1-2 a W3 | F1-2 a F3 | 50-90 | 0-8 U.L. | 6.3 | 96.9 | 51.0 | - |
| ZG1C | W1 a W2 | F1 a F2, por vezes F3 | 90-100 | <2 U.L., por vezes >2 U.L. | 7.0 | 110.1 | 54.9 | 0.17 |

U.L. = unidades Lugeon

E = módulo de deformabilidade

Ir = “point load test”

v = coeficiente de Poisson

UCS = resistência à compressão uniaxial

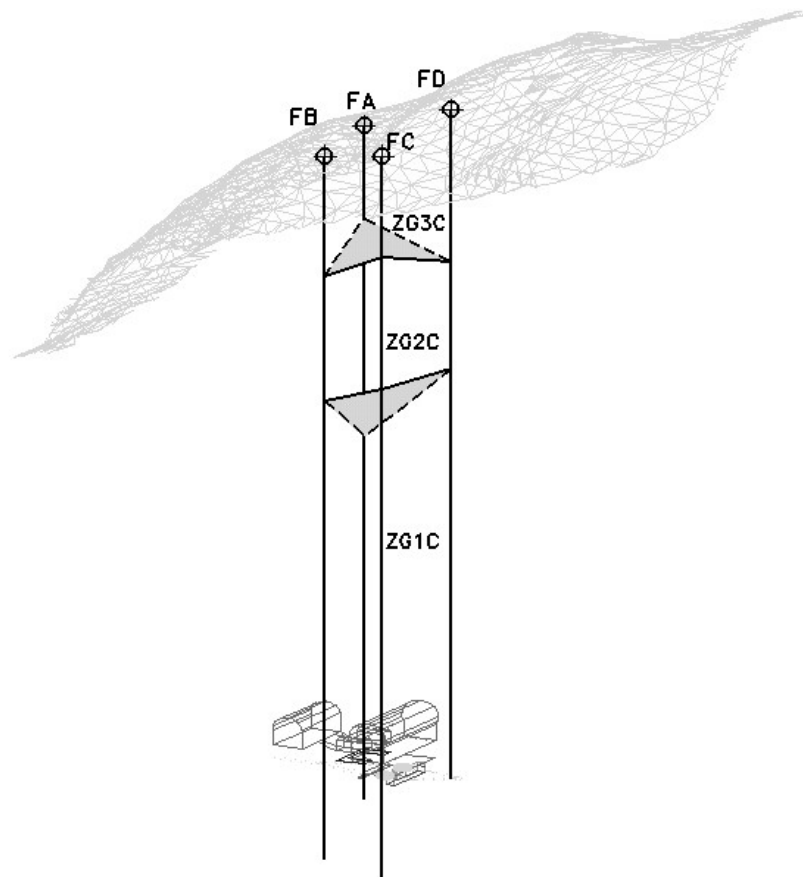


Figura 2 – Perspectiva do modelo geológico-geotécnico definido para o maciço da zona da central.

Nas sondagens foram identificadas algumas zonas de esmagamento que, correlacionadas com a superfície, se poderiam fazer corresponder a falhas cartografadas. O acidente geológico mais importante foi detectado na sondagem C entre 264 e 280 metros de profundidade - cerca das cotas (298) e (282) – classificado como uma zona conturbada com brecha de falha e pegmatito, e constituída por diversas falhas estreitas com argila. Foi também detectado um esmagamento significativo no fim da sondagem B entre os 363 metros e 371 metros de profundidade - cerca de (194) e (186) em cota.

Ao correlacionar os elementos das sondagens com os da cartografia de superfície, uma das hipóteses de interpretação então formuladas, apontava para que aquelas zonas conturbadas, detectadas nas sondagens C e B, pertenceriam ao mesmo acidente, o qual, à superfície, teria correspondência com o alinhamento estrutural E localizado a SW destas sondagens.

4 – PROSPECÇÃO SÍSMICA

Entre os furos de sondagem A, B, C e D, foram posteriormente efectuados leques sísmicos, aproximadamente entre 95 e 370 metros de profundidade, para obtenção de tomografias de velocidades de propagação das ondas longitudinais entre cada par de furos, obtendo-se assim as seis secções tomográficas (quatro correspondentes aos lados e duas às diagonais do quadrilátero) representadas na Figura 3.

Os leques sísmicos são obtidos a partir dos registos das ondas sísmicas geradas pela fonte de energia colocada a profundidades sucessivas num determinado furo e detectadas em diversos receptores colocados ao longo de um furo adjacente. Esta multiplicidade de posições da fonte sísmica e dos receptores ao longo dos furos tem como objectivo produzir uma elevada densidade espacial e uma cobertura angular de raios sísmicos o mais completa possível na secção entre furos. Descrições mais detalhadas do método dos leques sísmicos para obtenção de tomografias, podem ser encontradas, por exemplo, em Jackson & McCann (1997) e em Pessoa (1990).

Nos trabalhos efectuados (LNEC (1997)), o espaçamento entre receptores e fontes sísmicas ao longo dos furos foi em qualquer dos casos de 6 metros. As distâncias entre furos às profundidades ensaiadas variam entre cerca de 36 metros na secção B-C e cerca de 67 metros na secção diagonal A-C. Dada a elevada dimensão vertical das secções estudadas (cerca de 275 metros de extensão), as coberturas de raios sísmicos foram efectuadas através de diversos conjuntos de leques sísmicos, cada um destes com 10 a 11 posições de fonte sísmica e 10 a 12 receptores. Entre cada dois conjuntos, efectuaram-se conjuntos de sobreposição para aumentar a cobertura nas zonas de transição. Como fonte sísmica utilizaram-se cápsulas de detonação eléctrica instantânea e como receptores foram utilizados 12 hidrofones apropriados para furos profundos, moldados num cabo único, fabricado por Design Projects Ltd. Como sistema de aquisição digital dos registos sísmicos utilizou-se um sismógrafo ABEM Terraloc MKIII de 12 canais. De um modo geral os sinais sísmicos apresentavam boa relação sinal/ruído permitindo a detecção visual das primeiras chegadas sem pré-processamento. Os sinais com elevado nível de ruído ou cujos tempos das primeiras chegadas saíam fora da gama de velocidades esperadas, foram rejeitados. O numero total de raios sísmicos variou entre 771 para a secção D-A e 960 para a secção B-C.

Para obtenção da tomografia de velocidades das ondas longitudinais, os tempos de percurso destas ondas, resultantes dos leques sísmicos, são invertidos numa matriz de velocidades na área coberta pelos raios sísmicos. A inversão ou reconstrução da distribuição das velocidades a partir dos tempos de percurso, e os diversos algoritmos utilizados são bem descritos na literatura da especialidade, nomeadamente em Nolet (1987). O algoritmo de inversão tomográfica utilizado foi do tipo SIRT (“simultaneous iterative reconstruction technique”) através de um programa de cálculo automático implementado por Pessoa (1990), considerando raios rectilíneos e velocidade constante em cada célula do modelo. Com excepção da secção B-C, onde se utilizou uma malha de células rectangulares com 4

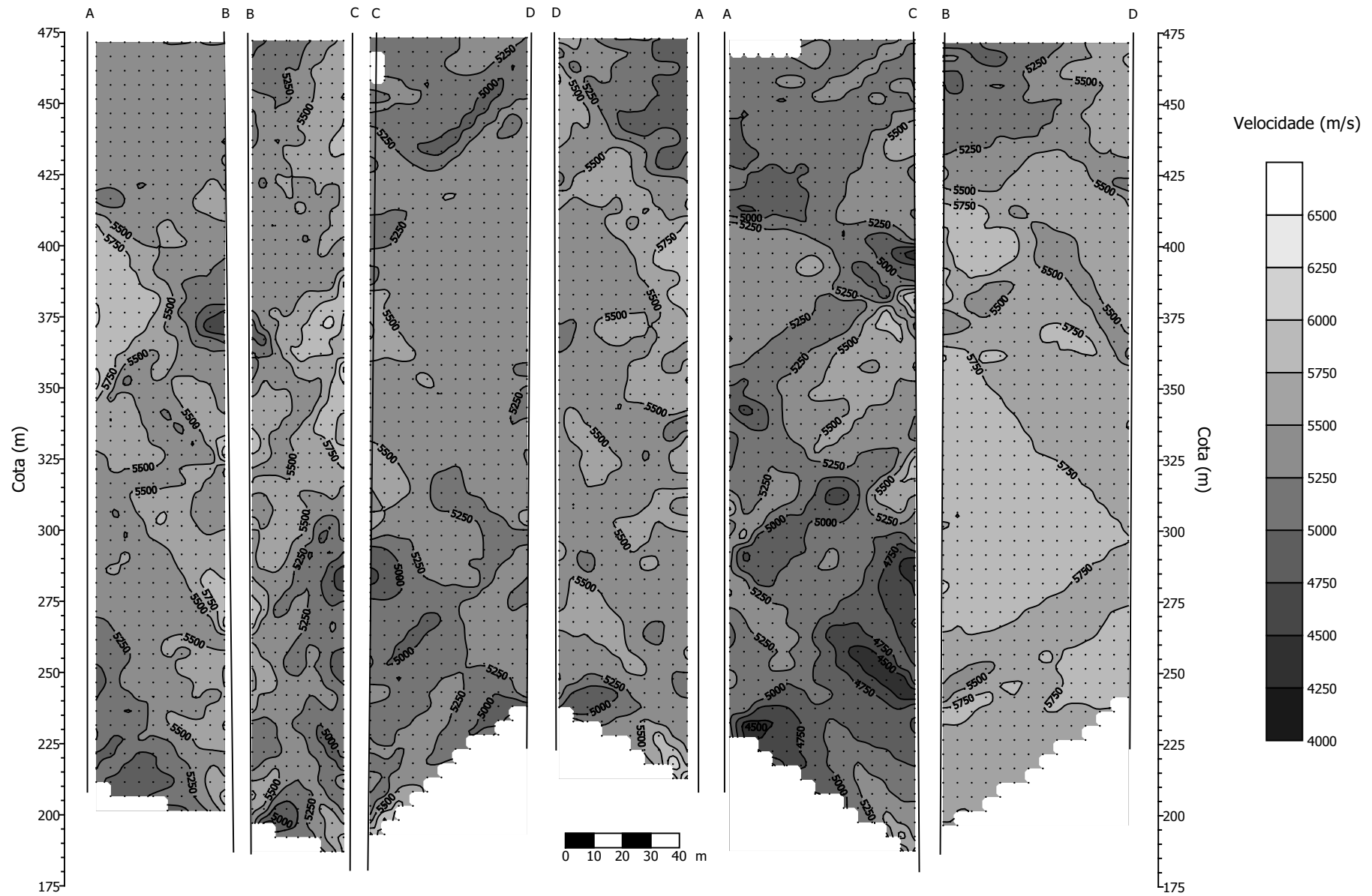


Figura 3 – Tomografias sísmicas de velocidade das ondas longitudinais.

metros na horizontal por 5 metros na vertical, utilizaram-se nas restantes secções malhas de células quadradas com 5 metros de lado. Como modelos iniciais dos processos iterativos optaram-se por modelos de velocidade uniforme igual à média das velocidades dos raios sísmicos de cada secção estudada. O factor de convergência numérica foi em qualquer dos casos de 0.1 milissegundo, correspondendo a menos de 1% do valor médio dos tempos observados. Apesar de ser superior ao erro de leitura dos tempos, considerou-se este valor como sendo da ordem de grandeza do erro experimental, tendo em conta os eventuais erros de posicionamento das fontes e receptores ao longo dos furos.

As tomografias apresentadas na Figura 3 correspondem aos modelos escolhidos como melhores estimativas do campo das velocidades, no decorrer do processo iterativo. Excepto no caso da secção C-D, cujo modelo corresponde à quarta iteração, todos os restantes foram obtidos na oitava iteração. Mesmo sem ter sido atingida a convergência numérica nestas iterações, optou-se por estes modelos, interrompendo o processo iterativo, não só devido aos baixos erros residuais obtidos (os erros residuais médios, em valor absoluto, variam entre 0.6% na secção B-D e 1.8% na secção B-C, relativamente à média dos tempos observados nas respectivas secções) como também para evitar o aparecimento e/ou aumento de artefactos nos modelos de velocidades.

Estes baixos erros residuais médios, bem como os baixos valores dos erros residuais máximos (entre cerca de 2.5% na secção B-D e 7.5% na secção A-C, relativamente às médias dos tempos observados) e ainda o facto das velocidades médias das células dos modelos serem muito próximas das médias das velocidades dos raios sísmicos que intersectam cada secção, evidenciam elevada concordância (correlação) dos modelos geofísicos obtidos com os tempos medidos.

As tomografias sísmicas permitiram assim um zonamento de alta resolução do maciço rochoso investigado, em termos de velocidade de propagação das ondas longitudinais. As distribuições de velocidade obtidas são características de um maciço de elevada qualidade mecânica e relativamente homogéneo, apesar de se observarem algumas inversões de velocidade, entre as quais, a de maior expressão, aquela que ocorre em torno do furo C, visível nas secções B-C, C-D e A-C, com dimensão vertical de cerca de 90 metros, aproximadamente entre as cotas 300 e 210 metros. Estas zonas de baixa velocidade estão associadas a um maior grau de fracturação e/ou de alteração do maciço podendo mesmo corresponder a zonas tectonizadas como parece ser evidente no caso da relação entre a zona de baixas velocidades obtida em torno do furo C e o acidente geológico detectado nesta sondagem.

O esmagamento detectado nas amostras do fim da sondagem B, apesar de ocorrer a profundidade ligeiramente inferior à que foi ensaiada pelos leques sísmicos, pode estar correlacionado com a inversão local de velocidade (com valores inferiores a 5000 m/s) observada na secção B-C, junto ao furo B, a cerca de 195 metros de cota.

5 – CONCLUSÕES

A prospeção mecânica, os resultados dos ensaios laboratoriais, dos ensaios de permeabilidade bem como das diversas secções tomográficas em termos de velocidades de propagação das ondas longitudinais, evidenciaram, de um modo geral para a zona da caverna da central, um maciço de elevada qualidade geomecânica e relativamente homogéneo.

A amostragem da sondagem C, aproximadamente entre as cotas (298) e (282) e a zona final da sondagem B – entre as cotas (194) e (186) - evidenciaram, simultaneamente, um maciço mais alterado, fracturado, com brecha de falha e argila. As tomografias sísmicas detectaram a profundidades próximas destas cotas, velocidades de propagação relativamente mais baixas, principalmente em torno do furo C e particularmente na secção A-C.

Dos ensaios geofísicos realizados entre os furos B e D foi possível concluir estar-se na presença de um maciço bastante homogéneo, tendo-se medido velocidades médias superiores às registadas nas

restantes secções, o que parece mostrar que o acidente tectónico detectado no furo C tem uma inclinação tal que não intersecta os restantes furos às cotas ensaiadas.

A interpretação dos resultados da prospecção geofísica parece assim confirmar a hipótese de o alinhamento estrutural E, identificado através da cartografia de superfície, ser o mesmo que, foi intersectado pelas sondagens B e C.

Com base nesta interpretação, e dado que tal alinhamento estrutural intersectaria a caverna da central na posição em que estava prevista, optou-se por deslocar a mesma para NE, a fim de possibilitar melhores condições da sua abertura e da garantia das condições de estabilidade.

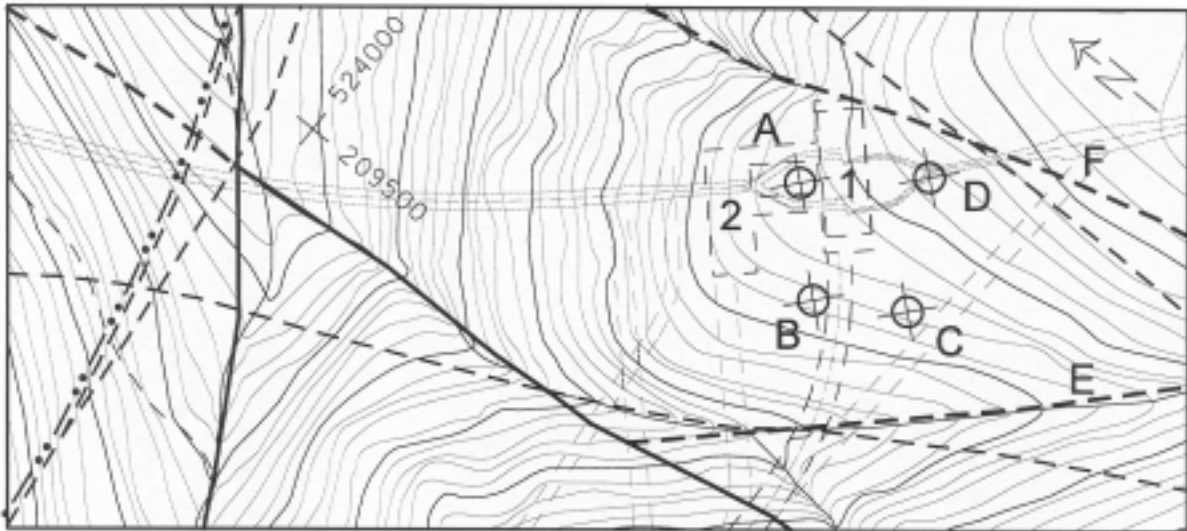


Figura 4 – Implantação prevista actualmente para a central de Venda Nova II; FA, FB, FC e FD correspondem, respectivamente, às bocas dos furos das sondagens A, B, C, e D. Estão também representados os alinhamentos geológicos identificados; E e F alinhamentos que condicionam o posicionamento da caverna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hidrorumo (1997). Reforço de Potência do Aproveitamento Hidroeléctrico de Venda Nova II, Volume I – Memória geral.

Hidrorumo (1997). Reforço de Potência do Aproveitamento Hidroeléctrico de Venda Nova II, Volume VI – Estudos geológicos e geotécnicos.

Jackson, P.D.; McCann, D.M. (1997). Cross-hole seismic tomography for engineering site investigation. *Modern Geophysics in Engineering Geology*, Geological Society Engineering Geology Special Publication No. 12, pp. 247-264.

Nolet, G. (Ed.) (1987). *Seismic tomography with applications in global seismology and exploration geophysics*. D. Reidel Publishing Company, 386 pp.

Pessoa, J.M.N.C. (1990). Aplicação de técnicas tomográficas à prospecção sísmica entre furos de sondagem. Trabalho de síntese apresentado no âmbito das provas de aptidão pedagógica e capacidade científica na Universidade de Aveiro.