

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DO MACIÇO ROCHOSO DO CIRCUITO HIDRÁULICO DO EMPREENDIMENTO DE VENDA NOVA II

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE VENDA NOVA II HYDRAULIC CIRCUIT ROCK MASS

Cotelo Neiva, J.M. – *Geólogo – consultor da HIDRORUMO, Projecto e Gestão S.A.*

Plasencia, Nadir - *Geóloga - HIDRORUMO, Projecto e Gestão S.A.*

Lima, Celso - *Engenheiro Civil - HIDRORUMO, Projecto e Gestão S.A.*

RESUMO

O maciço, predominantemente granítico, é cortado por filões de pórfiro, aplito, pegmatito e quartzo, famílias de diaclases e de falhas. A geologia da região, os resultados da prospecção mecânica, dos ensaios de permeabilidade e geomecânicos da rocha e da prospecção geofísica permitiram induzir as características do maciço rochoso. Isso condicionou a esquematização do circuito hidráulico, a previsão das dificuldades da escavação, e a definição do revestimento.

ABSTRACT

The rock mass is mostly granite cut by porphyry, aplite, pegmatite and quartz veins, joint sets and faults. Geology, mechanical survey, permeability and geomechanical tests, and geophysical survey allowed to predict rock mass characteristics. The hydraulic circuit was designed taking account geological and geotechnical data.

1 - INTRODUÇÃO

O aproveitamento hidroeléctrico de Venda Nova localiza-se próximo desta povoação, a cerca de 55km da cidade de Braga, e é constituído por uma barragem em abóbada, com cerca de 97 m de altura, no rio Rabagão, um túnel na margem direita deste rio, conduta e central situadas a céu aberto na margem esquerda do rio Cávado. A sua construção foi concluída em 1951 e a sua exploração está a cargo da CPPE, empresa do grupo EDP, que, como dono de obra, se propôs realizar um reforço de potência do actual aproveitamento.

Para este reforço de potência, foram projectados um circuito hidráulico e central subterrâneos, localizados na margem esquerda do rio Rabagão. A tomada de água em turbinamento localiza-se a montante da barragem de Venda Nova, e a restituição para o rio Rabagão situa-se próximo da confluência com o rio Cávado na albufeira de Salamonde. As obras do aproveitamento ficarão inseridas num maciço predominantemente granítico, tendo o traçado do circuito hidráulico, sido fundamentalmente influenciado pelas características geológico-geotécnicas.

2 – LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A região situa-se no flanco NNE da Serra da Cabreira, entre as povoações de Sidrós a N, Ferral a NNE, Botica a SW, Campo e Lamalonga a S. É atravessada pela maior parte do tramo final SE-NW do vale do rio Rabagão, de profundos meandros encaixados em grande parte em tramos de falhas NE-SW, NW-SE, N-S a NNE-SSW e NNW-SSE (Fig.1).

Nesta região, a área mais elevada do maciço granítico culmina na pirâmide de Campos (889 m), resto do relevo de planalto que é a Serra da Cabreira, e se vai esbatendo para as povoações de Lamalonga (824 – 835 m) a SE e Campo (800 – 825 m) a WSW, em que a erosão estabeleceu a vertente NE do tramo SE-NW do Rabagão.

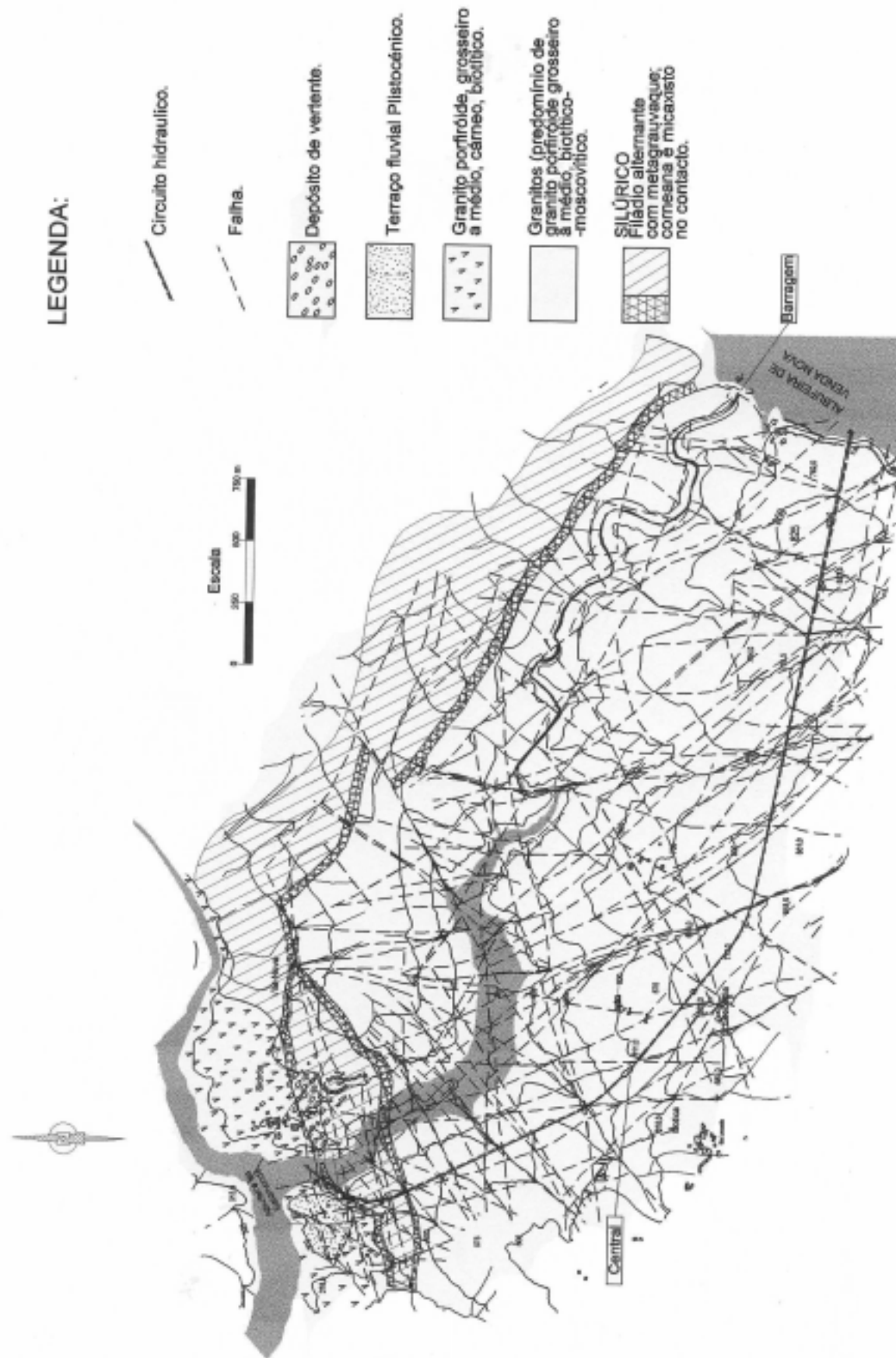


Fig.1-Carta geológica.

3 – GEOLOGIA

Foi elaborada uma carta geológica da região na escala 1/5000, reduzida na Fig.1, e um corte geológico segundo o traçado do circuito hidráulico reduzido na Fig. 2. Naquela, vê-se que as formações mais antigas aflorantes a N e NE são camadas xistosas de filádios mais ou menos grafitosos com pirite disseminada, com intercalações de metagrauvaque e níveis estreitos de mármore mais ou menos magnesiano, conjunto datado do Silúrico. São camadas intensamente dobradas, com dobras hercínicas quase isoclinais, de charneiras NW-SE mergulhantes 10-30°NW, planos axiais de 70°NE, e que sofreram redobramento, com crenulação, de fase hercínica mais recente. A xistosidade dominante é NW-SE com pendor 50°-80° NE. As famílias de diaclases indicam-se no Quadro 1.

As intrusões de magmas graníticos hercínicos sin-a tardi- ou postectónicos deslocaram um pouco as formações metapelíticas mais estreitas, como as do NNW, em que as dobras passam de WNW a ENE, mas que na mancha NE, a que se liga, e prolonga largamente para NE e E, as dobras têm a atitude NW-SE, excepto por vezes junto ao contacto do granito em que tomam orientação WNW-ESE. Na região, a intrusão do magma do granito porfirítico grosseiro a médio, biotítico-moscovítico, impõe também sobre as rochas xistentas uma auréola de metamorfismo de contacto, de corneana com andaluzite na “inner zone” e micaxisto com andaluzite e filádio com biotite na “outer zone”. Aspectos de migmatização, com vénulas de granito, aplito e pegmatito nas rochas xistentas, observam-se na “inner zone” e em parte da “outer zone”, e níveis de escarnitos de modificação dos de mármore magnesiano.

Dos granitos hercínicos, o mais antigo será o granito porfiróide, grosseiro, que aflora na povoação de Botica com apreciável extensão para NW, S e SW, com orientação NW-SE dos fenocristais de feldspato. Com ele contacta o granito médio de duas micas, com encraves de concentrações de biotite, dominante na Serra da Cabreira. Os dois granitos contactam com o granito predominante na região do túnel, um granito porfiróide, grosseiro a médio, biotítico-moscovítico, com lineação dos fenocristais (Fig. 1), e grandes encraves de granito porfiróide médio de duas micas, como entre 1400 m a WNW e 1700 m a W da barragem da Venda Nova e também

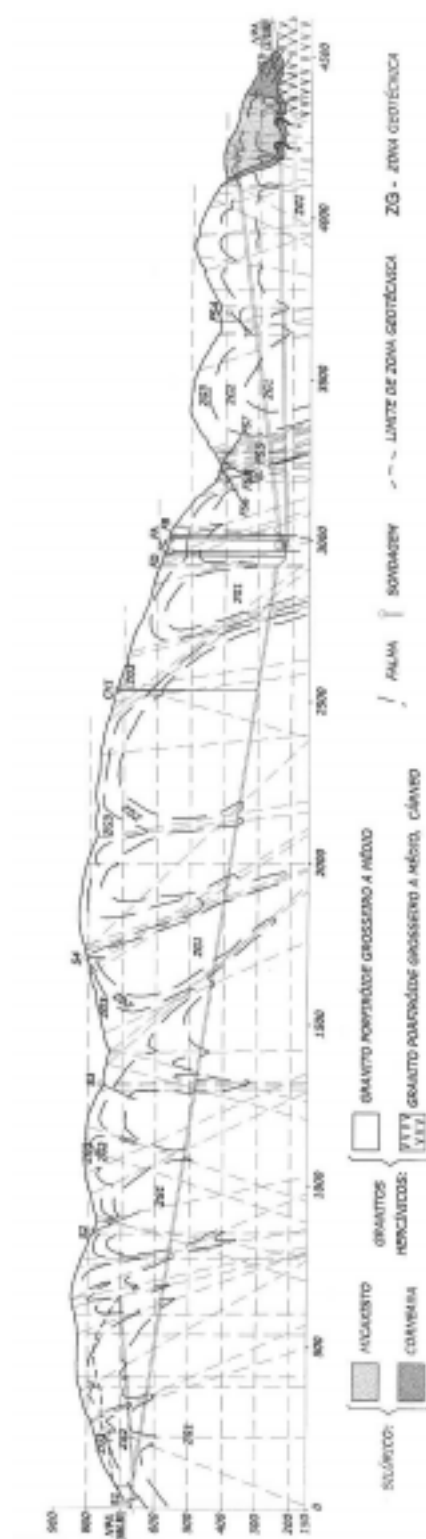


Fig.2 – Corte geológico-geotécnico segundo o perfil longitudinal do circuito hidráulico.

próximo e a S da povoação de St^a Leocádia, de monzonito porfiróide fino a médio biotítico com rara hornblenda actinolítica, como a NW de Campos e SSE de St^a Leocádia, e de corneana e filádio com biotite, como a NW da pirâmide de Campos, e também pequenos encraves das rochas indicadas e de granodiorito e tonalito (Noronha 1983). O monzonito referido é semelhante ao de Sezelhe, Montalegre (Neiva, 1994). Também no granito do novo circuito hidráulico foram encontrados encraves de granito médio a fino e granito fino de duas micas. Granito porfiróide de grão grosseiro a médio, cárneo, biotítico, dominante na Serra do Gerês, contacta a Norte as rochas xistentas do Silúrico, que metamorfozou por contacto (Fig. 1). As rochas graníticas estão recortadas por diaclases subverticais NW-SE, NNW-SSE, ENE-WSW, WNW-ESE e NNE-SSW e diaclases subhorizontais, estas em grande parte correlacionadas com a descompressão do maciço e sua meteorização, horizontalizando e tornando-se mais esparsas em profundidade. No Quadro 1 estão referidas as diversas famílias. Em cada série de famílias estruturais, a seriação da mais para a menos frequente, é feita, por ordem alfabética, a partir de letra a).

Granito grosseiro avermelhado, devido à cor do feldspato (microclina - micropertite), ocorre em filões e pequenas massas que atravessam o granito porfiróide grosseiro a médio, principalmente a N, entre Vila Nova e Frades. Alguns dos filões ocupam caixas de falhas (Quadro 1). Extenso dique de dolerito, praticamente E-W, atravessa os granitos a S de Campo. Filões aplitícos, pegmatíticos e aplito-pegmatíticos são numerosos, ocupando algumas falhas e diaclases, na grande maioria relacionados com o granito porfiróide grosseiro a médio (Quadro 1); alguns estão mineralizados por berilo e cassiterite. Diversos filões de quartzo, principalmente diferenciados hidrotermais desse granito, cortam as rochas xistentas e graníticas segundo NNW-SSE, NNE-SSW e NW-SE a WNW-ESE (Quadro 1). Alguns estão mineralizados por volframite e sulfuretos.

Falhas recortam o maciço rochoso, havendo diversas com mais de um movimento tectónico. As mais frequentes são NW-SE, NNW-SSE, WNW-ESE, NE-SW e NNE-SSW, referidas no Quadro 1. Falhas N-S e NW-SE rejeitam falhas NNW-SSE; e falhas N-S e NE-SW rejeitam falhas WNW-ESE. A falha NE-SW que passa na povoação da Botica permitiu um desligamento de 150 m do afloramento NE do Silúrico (Fig.1).

Um depósito de terraço Plistocénico observa-se na margem esquerda do Rabagão entre as cotas 305 e 325, a cerca de 500 m a WSW de Sidrós. Depósitos de vertente têm maior expressão entre Vila Nova, Sidrós e 200 metros a SW do referido terraço, notando-se algumas passagens a depósito semelhante ao de tipo “raña”.

A região é de sismicidade baixa, com sismos de fraca magnitude, frequentes (Ribeiro e Cabral, 1988). Situa-se na zona de menor risco do País, com 0,3 de coeficiente de sismicidade, mas, segundo o Atlas do Ambiente, de intensidade sísmica V. Considerando a falha activa mais próxima, Verin-Régua-S. Pedro do Sul, a distância epicentral de 35 km do local de maior intensidade, e uma magnitude de 5,6 (escala de Richter), a aceleração máxima esperada no túnel será de 44 cm.s^{-2} . Utilizando cartas de risco sísmico para períodos de recorrência de 1 000 anos (Oliveira, 1977), estimaram-se, para o mesmo local e como valores máximos, aceleração de $77,5 \text{ cm.s}^{-2}$, velocidade de $8,5 \text{ cm.s}^{-1}$ e deslocamento de 3,5 cm.

4 – PROSPECÇÃO MECÂNICA

4.1 – Sondagens

A cartografia geológica da superfície (escala 1/5000) foi complementada por duas campanhas de reconhecimento por sondagens, efectuadas pela Tecnasol, Lda. (1982 e 1996), utilizando sondas rotativas com coroas diamantadas e dispositivos de obtenção de tarolos. Essas sondagens, em número de 29 e 13, respectivamente, perfizeram 2 667,82 e 2 311,75 m de comprimento. O observado nos tarolos permitiu melhorar em profundidade a caracterização de diversas estruturas tectónicas e averiguar dos estados de alteração e fissuração do maciço, levando ao zonamento deste (Quadro 6).

Quadro 1 – Características geométricas dos elementos estruturais das rochas aflorantes e das falhas.

[illegible]

Pela geologia, geomorfologia e ensaios de permeabilidade, induz-se que o comportamento mecânico e hidráulico do maciço rochoso é diferente na vertente WNW a NNW virada ao rio Cávado (albufeira de Salamonde) do comportamento da vertente NNE viradas ao rio Rabagão e onde a erosão vertical recente foi muito mais activa. Na vertente virada ao Cávado, há rochas xistosas com as quais os granitos contactam e as metamorfizam e os comportamento mecânico e hidráulico dos dois tipos rochosos assemelham-se. Assim, a zona W_5 , F_5 tem espessura de 1,5 – 13 m, a de W_4 , F_{4-5} desce a 10 – 24 m, a de W_3 , F_{3-4} de 13 – 25 m, a de W_2 , F_{2-3} de 16- 32 m, a de W_1 , F_{1-2} a partir do intervalo 18 – 60 m; RQD de 94 – 100% ocorre a partir do intervalo de 18 – 50 m. A zona com permeabilidade > 10 U.L. atinge 15 – 25 m de profundidade, a de permeabilidade 2 – 1 U.L. vai dos 25 aos 40 ou 50 m, ficando entre as duas uma zona de permeabilidade de 10 – 2 U.L.; e a zona < 1 U.L. inicia-se a 40 – 50 m de profundidade.

No restante e extenso maciço granítico, o circuito hidráulico situa-se todo na vertente esquerda do rio Rabagão. A profundidade de W_5 , F_5 não excede 17 m e há casos em que é inexistente; o domínio de W_4 , F_{4-5} vai do intervalo 1,5-16 m até os 4 – 35 m; W_3 , F_{3-5} vai deste intervalo até 27 – 111 m; e W_2 , F_{2-3} , desde este ultimo intervalo até os 58 – 138 m; desde este intervalo ocorre W_1 , F_{1-2} . RQD de 94–100% tem o seu limite superior desde o intervalo 60 – 109 m de profundidade, excepto no local de sondagem S_1 onde a erosão foi muito activa e em que são muito menores as espessuras das zonas mais alteradas. A zona de permeabilidade > 10 U.L. atinge profundidades de 10 – 55 m; a zona de 2 – 1 U.L. vai do intervalo 20 – 70 m ao intervalo 70 – 155 m, ficando no intervalo das duas a zona de 10 – 2 U.L.; a zona de permeabilidade < 1 U.L. inicia-se a 70-155 m, excepto em relação às sondagens S_4 e S_1 , em que tem início a profundidades menores (25 e 41 m, respectivamente).

Como casos singulares do maciço rochoso encontram-se falhas, a grande maioria com caixas < 0,40 m, mas algumas de possanças apreciáveis, como a falha da Botica (NE – SW) e a falha nº 39 com caixas > 10 m de possança. Frequentes são falhas que se associam ou entrecruzam, embora de caixas estreitas, que em profundidade levam o granito a ser localmente W_{4-3} , F_{5-3} , e no túnel têm de ter escavação cuidada e revestimento adequado.

4.2 – Permeabilidade

Trata-se de região pouco aquífera (presença de granitos e xistos) e circulação em profundidade por diaclases, falhas e filões. Superficialmente as rochas W_5 a W_4 são de permeabilidade intergranular, um pouco mais profundas as W_{4-3} de permeabilidade intersticial > fissural; e a maior profundidade as W_2 ou W_1 , em que as permeabilidade fissural é dominante. As numerosas nascentes da região estão associadas a estruturas de falhas e de filões de quartzo e de pegmatito, fazendo-se a maioria das captações na zona alterada e na passagem da W_3 a W_2 .

Os níveis piezométricos são subsuperficiais. Contudo, entre as sondagens S_5 e S_{11} , principalmente entre S_5 e S_7 , há níveis piezométricos com algumas depressões relacionadas com zonas de maior transmissividade do maciço e relacionadas com maior fraturação deste. A oxidação das superfícies das diaclases ou, mais frequentemente, a precipitação ou floculação de hidróxidos de ferro atinge profundidade apreciável, como na sondagem S_9 até cerca de 180 m.

Quando da execução dos furos das sondagens, a Tecnasol, Lda. efectuou ensaios de permeabilidade em tramos de 5 m, às pressões estabilizadas de 0,25 – 0,5 – 1,0 – 0,5 – 0,25 MPa. Da análise dos resultados das sondagens S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , CH, FA, FD, FS6, FS7, FS8, FS4, FS3, FS1, S_{16} , coincidentes ou mais próximas do corte geológico segundo o eixo do túnel, conclui-se: a) dominam os tramos de permeabilidade < 1 U.L. (61%) que, genericamente, coincidem principalmente com rochas W_2 , F_{1-2} a W_1 , F_1 ; b) acima encontra-se uma zona estreita de permeabilidade de 2-1 U.L. (7%), que é mais estreita ainda nas rochas bem conservadas; c) a permeabilidade de 10 – 2 U.L. (19%) domina em rochas W_3 , F_4 a W_2 , F_{1-2} , já mais descomprimidas; d) a permeabilidade > 10 U.L. (13%) encontra-se na zona francamente descomprimida do granito, com rochas W_5 , F_5 a W_{2-3} , F_4 . No Quadro 6, do zonamento do maciço, pode ver-se, para as zonas ZG3, ZG2 e ZG1, as variações da permeabilidade.

Quanto ao comportamento das secções dos furos ensaiados (Quadro 2), verificou-se um elevado nº de casos (39%) em que foi registada variação da secção de escoamento, associada principalmente a arrastamento de material de recheio das descontinuidades.

Em relação às falhas, o contacto do espelho com o recheio da caixa tem tendência para aumento da secção de escoamento por lavagem ou expulsão desse recheio. A zona conturbada que acompanha a falha é no geral permeável, com valores superiores a 1 U.L.

Quadro 2 – Comportamento das secções dos furos nos ensaios de permeabilidade.

Aumento	Diminuição	Constância			Casos especiais
		Regime laminar	Regime turbulento	Regime intermédio	
36%	3%	37%	3%	10%	11%

5 – PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

Foi efectuada pelo LNEC (1983). Elaboraram uma carta de resistividades eléctricas aparentes e definiram duas estruturas geoelectricas principais, correspondentes a baixos valores da resistividade, aproximadamente paralelas ao eixo do túnel de um traçado estudado em 1970, confirmando as falhas NNW – SSE da cartografia geológica (Neiva, 1983). Como prospecção sísmica, realizaram: 11 perfis de refração sísmica, no geral de 120 m de comprimento; ensaios sísmicos para determinações da velocidade de propagação das ondas sísmicas ao longo dos furos das sondagens; e leques sísmicos entre estes furos e a superfície do terreno e vice-versa. A interpretação dos resultados da prospecção por refração sísmica permitiu ao LNEC (1983) estabelecer, em função da velocidade das ondas longitudinais (V_p), um zonamento do maciço: a) a zona superficial, de solo e rochas decompostas a muito alteradas (W_{5-4}), com $V_p = 800 - 1200$ m/s; b) a zona média, medianamente alterada (W_{4-3} , F_{5-4}), com $V_p = 1200 - 2500$ m/s; c) a zona pouco alterada a sã (W_{2-1} , F_{3-1}), com $V_p > 3000$ m/s. Em 1997, o LNEC realizou, ainda, tomografias sísmicas entre os furos FA, FB, FC, e FD localizados nas proximidades da central hidro-eléctrica subterrânea, desde a superfície até 350 m de profundidade, não havendo encontrado velocidades inferiores a 4200 m/s das ondas longitudinais.

6 – ENSAIOS GEOTÉCNICOS E RELAÇÕES GEOLÓGICAS

6.1 – Ensaios de campo

Ensaio de deformabilidade com dilatómetro foram efectuados pelo LNEC (1983) em 9 furos no granito e 2 furos no xisto. Realizaram 58 ensaios, 5 a 6 por furo, excepto no S13 onde houve 3 ensaios, atingindo as pressões máximas, em quase todos de 8 a 10 MPa, excepto nos furos S6A e S13 e num ensaio no S15, atingindo 4 a 6 MPa devido à elevada deformabilidade local do maciço. Abstraindo os resultados no furo S1 devido à alteração do maciço, os muito baixos no furo S6A e os baixos dos furos S13 e S15, os valores médios dos módulos de deformabilidade dilatométrica dos restantes (furos S2, S3, S8, S10, S16, S20 e S21) foram > 10 GPa. Houve no geral melhoria do módulo dilatométrico com a profundidade, embora, em diversos furos, isso não se verificasse em tramos onde havia caixas de falhas e, por vezes, zonas conturbadas nas suas paredes.

6.2 – Ensaios de laboratório

Em 37 amostras de tarolos de sondagens no granito porfiróide grosseiro a médio, com predomínio de W_1 , 7 de granito fino biotítico-moscovítico, 2 de aplito, 8 de pegmatito e 5 de migmatito leito por leito a corneana migmatizada, o LNEC (1983) fez ensaios de compressão uniaxial, com ciclos de carga e descarga, determinando o módulo de deformabilidade (E) e em cerca de metade o coeficiente de Poisson (ν). Também efectuou ensaios de compressão uniaxial a cargas sucessivamente crescentes para determinação da tensão de rotura (σ_c). No Quadro 3 apresenta-se uma síntese dos resultados. Do

exame deste Quadro, nota-se que as rochas W_3 do mesmo tipo petrográfico distinguem-se bem pelos valores do módulo de deformabilidade e da tensão de rotura das W_2 e W_1 . Mas entre as W_2 e W_1 há, em cada parâmetro, alguma sobreposição de valores, embora nas W_1 dominem os valores mais elevados, resultando isso de, em diversas amostras, ser difícil distinguir macroscopicamente o limite entre as W_2 e as W_1 . O que também acontece em relação a outros ensaios (Quadro 4).

Quadro 3 - Módulos de deformabilidade, coeficiente de Poisson e tensão de rotura das rochas

	GRANITO PORFIRÓIDE MÉDIO A GROSSEIRO			GRANITO FINO BIOTÍTICO-MOSCOVÍTICO			APLITO	PEGMATITO			MIGMATITO /CORNEANA
Estado de alteração	W3	W2	W1	W3	W2	W1	W1	W3	W2	W1	W1
Módulo de Deformabil. (E) GPa	5,1–15,2	15,4–22,4	20,7–59,9	5,4	20,7–30,9	24,6–44,7	12,6–18,5	2,6	11,5	11,9–49,7	44,4–78,8
Coeficiente Poisson (ν)	0,06–0,16	0,10–0,16	0,08–0,19	0,064	0,10–0,16	0,12–0,16	0,10	-	0,16	0,09–0,20	0,09–0,29
Tensão de rotura (σ_c) MPa	24,5–33,8	74,1–87,9	70,7–169,2	27,7	67,9–121,9	66,2–168,3	116,6–117,9	19,5	56,0	28,5–90,3	67,3–134,0

Para caracterização da resistência das rochas, o LNEC (1983) fez ensaios de carga pontual em amostras dos tarolos das sondagens, que permitem definir o índice de resistência das rochas, o qual, relacionado com o grau de alteração, foi considerado no zonamento do maciço. Ensaios de deslizamento de diaclases foram efectuados pelo LNEC em 21 provetes, extraídos dos tarolos de sondagens. Os resultados obtidos vão sumariados no Quadro 4, para o mesmo tipo de rocha há, tanto para a coesão como para o ângulo de atrito, parcial sobreposição dos respectivos resultados das rochas W_2 e W_1 , embora com valores mais elevados para a maioria das W_1 .

Em laboratório, o LNEC (1983), sobre tarolos das sondagens do granito porfiróide médio a grosseiro, determinou a porosidade, a massa volúmica real (ρ_g) e aparente seca (ρ_d) e a velocidade de propagação das ondas longitudinais (V_p) e transversais (V_s) de ultrassons. Os resultados vão sumariados no Quadro 5.

Quadro 4 – Resultados dos ensaios de deslizamento em diaclases de granitos e migmatito

	ESTADO DE ALTERAÇÃO	GRANITO PORFIRÓIDE MÉDIO A GROSSEIRO	GRANITO FINO BIOTÍTICO-MOSCOVÍTICO	PEGMATITO	MIGMATITO
COESÃO MPa	W2	0,08 – 0,21	-	0,08	-
ÂNGULO DE ATRITO (°)		36,5 – 42,7	-	41,8	-
COESÃO MPa	W1	0,07 – 0,27	0,05 – 0,15	-	0,12 – 0,18
ÂNGULO DE ATRITO (°)		34,9 – 57,3	24,6 – 46,9	-	39,1 – 41,7

Em rochas W_3 , a porosidade de poro sobrepõe-se à porosidade de fissura; nas W_{2-1} domina a porosidade de fissura. A variação da massa volúmica real (ρ_g) dos dois graus de alteração é praticamente a mesma, mas isso não acontece quanto à massa volúmica aparente seca (ρ_d), que aumentou de W_3 para W_{2-1} . A velocidade de propagação das ondas longitudinais (V_p) de ultrassons é maior nas rochas W_{2-1} do que nas W_3 ; foi também utilizada para o zonamento do maciço rochoso.

Quadro 5 – Valores de porosidade, massa volúmica e velocidade de propagação de ultra-sons no granito porfiróide médio a grosseiro.

ALTERAÇÃO	POROSIDADE	MASSA VOLÚMICA		VELOCIDADE PROPAGAÇÃO ULTRASSONS	
		Real (ρ_g) g/cm ³	Aparente (ρ_d) g/cm ³	Ondas longitudinais (V_p) m/s	Ondas transversais (V_s) m/s
W_3	3,90 – 8,00	2,65 – 2,69	2,45 – 2,56	2 335 – 3 060	1 627 – 2 060
W_{2-1}	0,47 – 2,12	2,63 – 2,70	2,59 – 2,67	3 260 – 5 400	2 153 – 3 742

7 – ZONAMENTO DO MACIÇO ROCHOSO

Este zonamento foi inicialmente estabelecido em função dos graus de alteração e fissuração do granito dominante, e do filádio, migmatito e corneana migmatizada que afloram a norte (Fig.1) e do corte geológico segundo o desenvolvimento do circuito hidráulico (Fig. 2). Depois relacionaram-se o RQD e os ensaios de permeabilidade, do tipo Lugeon, com essas zonas e reinterpretaram-se os resultados obtidos pelo LNEC (1983) quanto a prospecção sísmica do maciço, velocidade de propagação das ondas longitudinais, módulo de deformabilidade e índice de resistência das rochas, principalmente do granito, cujos parâmetros determinados nos diversos ensaios geotécnicos, melhor se correlacionam com aquele zonamento. O Quadro 6 sintetiza o zonamento a que se chegou e cuja leitura e interpretação é esclarecedora e permite caracterizar a Fig. 2.

Quadro 6 – Zonamento do maciço rochoso

ZONA	ROCHA	ALTERAÇÃO e FRACTURAÇÃO	RQD (%)	VEL.PROPAG.ONDAS SÍSMICAS (Vp) (m/s)	MÓDUL.DEFORMAB. (GPa)	UCS (MPa)	PERMEABILIDADE (Lugeons)			
							<10	10-2	2-1	<1
ZG3	Granito	W5, F5 a W2-3, F4	8 - 64	800 - 2 800	< 15	-	36%	29%	9%	26%
ZG2	Granito	W2-3, F3-4 a W2, F1-2	72 - 97	3 000 - 4 600	15,5 - 25,4	25,7 - 47,8	1%	27%	9%	63%
ZG1	Granito	W1-2, F2-3 a W1, F1	94-100	> 4 800	24,6 - 78,8	54,0 - 89,0	2%	2%	4%	92%
	Migmatito	W1-2, F2-3 a W1, F1	94-100	> 4 800	26,6 - 78,8	43,2 - 66,1	-	-	25%	75%

8 – CONSIDERAÇÕES GEOTÉCNICAS

O circuito hidráulico intersectará mais de 92% de granito porfiróide grosseiro a médio e o restante de rochas xistentas de metamorfismo regional a que se sobrepõem metamorfismo de contacto. Esse traçado foi condicionado pelas localizações da tomada de água, da boca da restituição e da central hidroeléctrica, pela intenção do circuito cortar as estruturas tectónicas segundo o melhor ângulo possível mas de forma a não lhe aumentar demasiado a extensão. O traçado previsto tem boa cobertura, permitindo, na grande maioria, ser escavado na zona 1, de rochas W_{1-2}, F_{2-3} a W_1, F_1 e de permeabilidade, no geral, muito baixa.

Do cuidadoso estudo do maciço, prevê-se que, no circuito hidráulico, os tramos cortados por falhas e os seus contactos conturbados correspondam a 600 m de comprimento e os tramos alterados a 370 m, perfazendo 970 m que se podem incluir em características de zona ZG3; os tramos razoáveis, correspondentes à zona ZG2, terão cerca de 400 m de comprimento; e os tramos bons a muito bons (zona ZG1) aproximadamente a 3150 m.

Em todo o caso, dada a grande profundidade da obra e o facto de o zonamento ser muito influenciado pelo observado à superfície e por ensaios sub-superficiais, é recomendável que a abertura do túnel, na proximidade de falhas importantes ou feixes de falhas previstos, seja antecedida pela realização de sondagens de prospecção em avanço.

Em função das características geotécnicas das diferentes zonas identificadas e das características geométricas da secção do túnel, foram definidos os tipos de contenção e revestimento a realizar. Posteriormente e com base no zonamento efectuado e nos tipos de secção previstos, foi, então, possível proceder a uma orçamentação mais precisa da obra, base essencial para analisar a sua viabilidade económica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabral, J. e Ribeiro, A., (1988) – Carta Neotectónica de Portugal Continental e respectiva notícia explicativa. Serviços Geológicos de Portugal.

Hidrorumo, Projecto e Gestão S.A. (1997) – Reforço de Potência do Aproveitamento Hidroeléctrico de Venda Nova , Volumes I-XI - Relatório não publicado.

Hidrorumo, Projecto e Gestão S.A. (1997) – Reforço de Potência do Aproveitamento Hidroeléctrico de Venda Nova , Volume VI - Estudos geológicos e geotécnicos. Geologia e Geotecnia. Relatório não publicado.

Neiva, A.M.R. (1994) – Dating and geochemistry of tin bearing granitic rocks and their minerals from ENE Gerês mountain, Northern Portugal. BM. Soc.Esp. Mineralogia, 17,65-82

Neiva, J.M.C. (1983) – Geologia e geotecnia do circuito hidráulico de Venda Nova II. Relatório não publicado.

LNEC (1983) – Colaboração do LNEC nos estudos geológicos e geotécnicos relativos ao circuito hidráulico de Venda Nova II. Relatório não publicado.

Noronha, F. (1982) – Folha 6A-MONTALEGRE da Carta Geológica de Portugal 1/50000. Serviços Geológicos de Portugal.

Noronha, F. (1983) – Notícia explicativa da folha 6^A-MONTALEGRE da Carta Geológica de Portugal 1/50000. Serviços Geológicos de Portugal.

Oliveira, C.S., 1977 – Sismologia, Sismicidade e Risco Sísmico. Aplicações em Portugal. Relatório, Proc. 36/11/4394, LNEC.

Tecnasol, Lda. (1982) – Relatório do reconhecimento geológico. Relatório não publicado.

Tecnasol-FGE (1996) – Empreendimento de Venda Nova II – Prospeção Geológico-Geotécnica. Relatório não publicado.