

SOLO GRAMPEADO – EXECUÇÃO

ENG ALBERTO CASATI ZIRLIS – DIR. SOLOTRAT ENG. GEOTECNICA LTDA

- Mesa redonda em evento no I.E. promovido pela ABMS para 23/11/99 às 18h.

1 – RESUMO

2 – BIBLIOGRAFIA

3 – DEFINIÇÃO DE SOLO GRAMPEADO

4 – MÉTODO CONSTRUTIVO

4.1 – Seqüência Geral dos Trabalhos

4.2 – O Chumbador

4.2.1 – Definição

4.2.2 – Perfuração

4.2.3 – Montagem

4.2.4 – Injeção

4.2.5 – Boletim de Execução

4.3 – Concreto Projetado

4.3.1 – Definição

4.3.2 – Equipamentos

4.3.3 – O Concreto: Agregados, Cimento, Água, Resistência – Controle

4.3.4 – Aplicação / Mangoteiro

4.3.5 – Armação

4.4 – Drenagem

4.4.1 – Definição

4.4.2 – Dreno Profundo

4.4.3 – Dreno de Paramento

4.5 – Controle Executivo

4.5.1 – Chumbador

4.5.2 – Concreto Projetado

4.5.3 – Drenagem

4.5.4 – Geral

5 – CONCLUSÕES

1 – RESUMO

Tem-se a seguir, dados sobre Solo Grampeado, resumo da nossa experiência acumulada desde a época da construção da Rodovia dos Imigrantes. Esta vivência não é exclusiva da execução de Solo Grampeado, advém também da execução de tirantes, injeções de consolidação, rebaixamento de lençol freático, estacas raiz, túnel NATM, enfim serviços de engenharia geotécnica.

2 – BIBLIOGRAFIA

Consideramos muito importante apresentar alguns dos documentos bibliográficos que nos estimularam ao contínuo desenvolvimento da aplicação deste método de contenção. Em sua totalidade são artigos ou catálogos estrangeiros:

- Artigo publicado no JSMFD, da ASCE, por Shen C. K. e outros, em dezembro de 1981, “Ground Movement Analysis / Field Measurements of Earth Support System”;
- Catálogo da Bauer – Soil Nailing – The Bauer System. Schrobhausen (1988). A Bauer é empreiteira Alemã de serviços, talvez uma das maiores do mundo. Deverá ser lido em conjunto com o artigo de Gassler G. e Gudehus G., publicado nos anais do 10º CIMSEF (Estocolmo 1981), volume 3: “Soil Nailing Some Aspects of a New Technique”;
- Artigo publicado na revista Ground Engineering por Bruce D. A. e Jewell R. A., em novembro de 1986 e Janeiro de 1987 – “Soil Nailing: Applications and Practice”;
- “Projet National Clouterre”, desenvolvido na ENPC de Paris, resultando livro publicado pela ENPC em 1991.

Grande parte da experiência nacional, foi apresentada no capítulo 18, “Reforço do Terreno”, sub item “18.3 Solo Grampeado do livro “ Fundações Teoria e Prática da PINI / ABMS / ABEF de novembro de 1996. Ao longo deste período temos documentado cerca de 55.000 m² de obras que acreditamos seja menos da metade das obras executadas no Brasil.

3 - DEFINIÇÃO DE SOLO GRAMPEADO

É o resultado da execução de chumbadores, concreto projetado e drenagem visando estabilizar determinado talude. Os chumbadores promovem a estabilização geral do maciço, o concreto projetado a estabilidade local junto ao paramento e a drenagem age em ambos os casos.

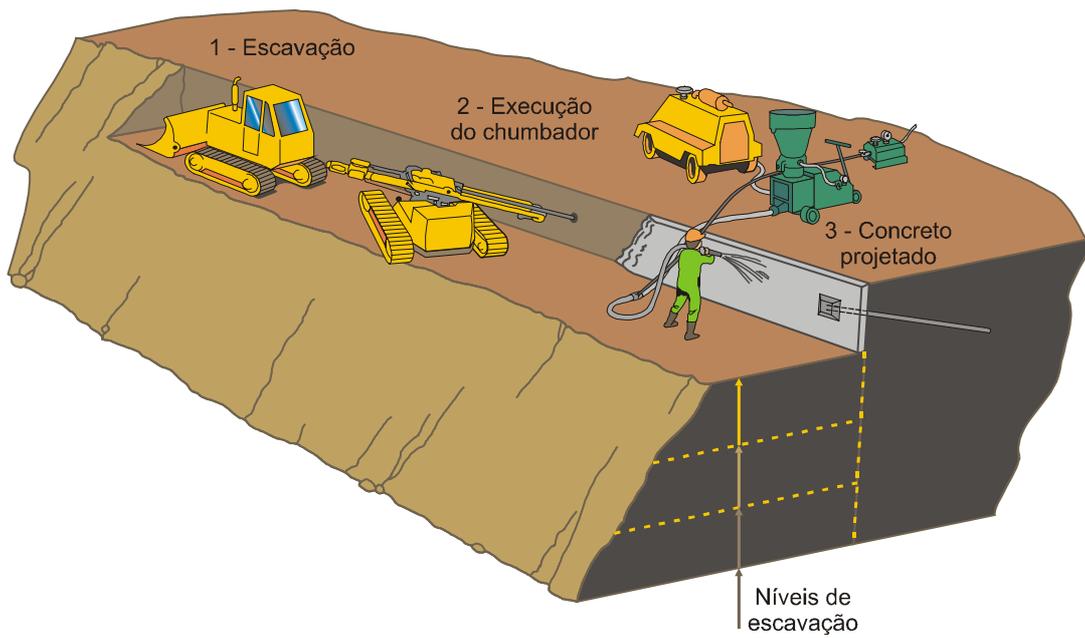
O conjunto visa estabilizar taludes nas condições de instabilidade de:

- Maciços a serem cortados, cuja geometria resultante não é estável;
- Taludes existentes que não tem a estabilidade satisfatória;
- Taludes rompidos.

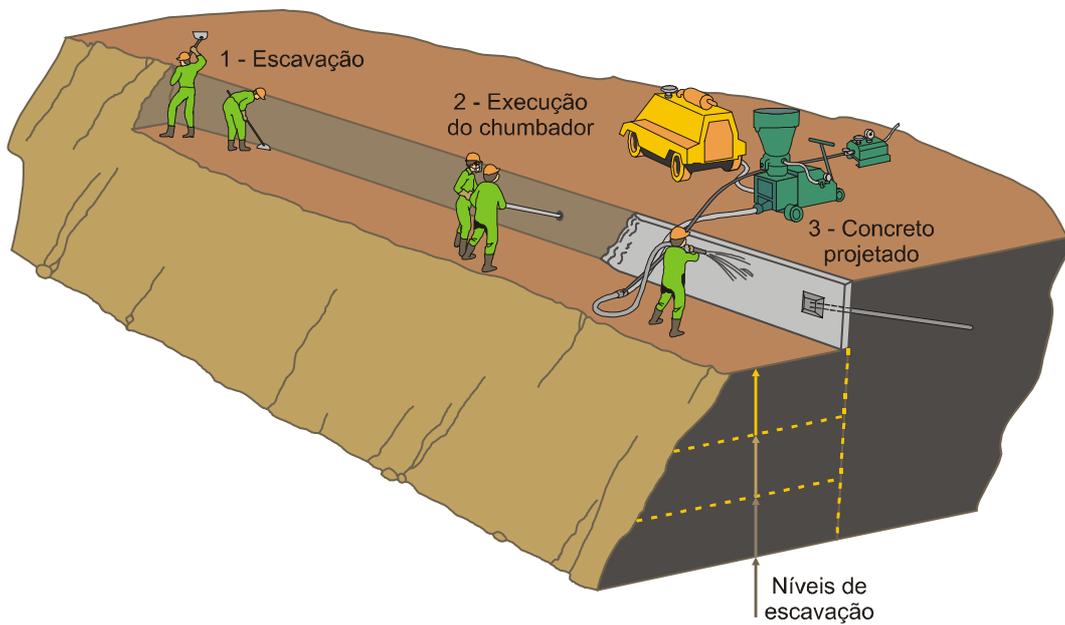
4 - MÉTODO CONSTRUTIVO

4.1 - Seqüência Geral dos Chumbadores

Inicia-se com o corte do solo na geometria de projeto, ou não se o caso for reforçar taludes. Segue-se com a execução da primeira linha de chumbadores e aplicação do revestimento de concreto projetado. Caso o talude já se encontre cortado pode-se trabalhar de forma descendente ou ascendente, conforme a conveniência. Simultaneamente ao avanço dos trabalhos executam-se os drenos profundos, de paramento e as canaletas ou descidas d'água, conforme projeto.



Fases construtivas de solo grampeado em corte com equipamentos pesados



Fases construtivas de solo grampeado em corte com equipamentos manuais

4.2 - O Chumbador

4.2.1 – Definição

Chumbadores são peças moldadas “in loco”, por meio das operações de perfuração com equipamento mecânico ou manual, instalação e fixação de armação metálica, com injeção de calda de cimento sob pressão.

4.2.2 – Perfuração

As perfurações são executadas por equipamentos, pesando entre 25 e 500 Kg, portanto leves, de fácil manuseio, instalação e trabalho sobre qualquer talude. Como fluido de perfuração e limpeza do furo, poderá ser utilizada água, ar, lama, ou nenhum deles em se optando por trados helicoidais contínuos. O sistema usual é aquele por lavagem com água, por meio de hastes dotadas de elementos cortantes na extremidade, do tipo tricônes com vídea, no diâmetro de 3”. A depender da profundidade do furo, diâmetro, área de trabalho, pode-se optar por perfuratrizes tipo sonda, crawlair, wagon drill, ou até perfuratrizes manuais. Quando a condição de trabalho permite alta produtividade, são utilizadas esteiras de perfuração, cujo peso varia entre 2000 e 4000 Kg. Os chumbadores tem sempre inclinação abaixo da horizontal variando de 5° a 30°.

A escolha do método de perfuração deve ser tal que a cavidade perfurada permaneça estável até que a injeção seja concluída.

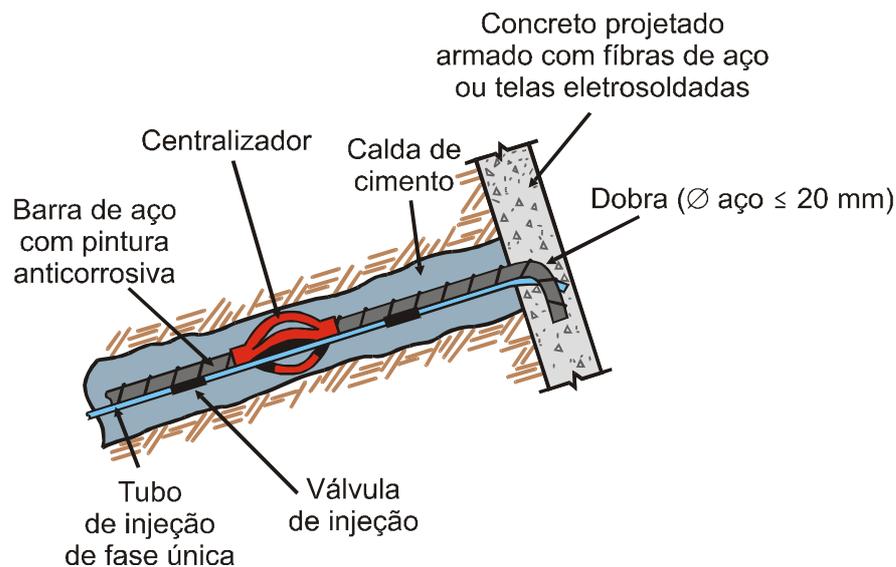
4.2.3 - Montagem

Concluída a perfuração, segue-se a instalação e fixação de nervuras. Estas são metálicas e não devem perder suas características de resistência ao longo do tempo, devendo receber tratamento anticorrosivo usualmente por meio de resinas poliméricas e calda de cimento. Ao longo destes elementos deverão ser instalados dispositivos centralizadores, que garantam seu contínuo e constante recobrimento com a calda de cimento.

A barra de aço usualmente tem diâmetro de 10 a 25mm. É dobrada na extremidade (para diâmetros até 20mm), com cerca de 20cm, e centralizadores a cada 2,0m. A aplicação de placa e porca ocorre

para diâmetros da barra iguais ou superiores a 22mm quando não é possível dobrá-la, é comum também a solda de pedaço de barra de aço.

Adjacente a barra instala-se um ou mais tubos de injeção perdidos, com diâmetro de 10 a 15mm provido de válvulas a cada 0,5m, até 1,5m da boca do furo.



Partes constitutivas de um Chumbador

4.2.4 - Injeção

Injeta-se a bainha pelo tubo auxiliar removível, de forma ascendente, com calda de cimento fator água/cimento próximo de 0,5 (em peso), proveniente de misturador de alta turbulência até o seu extravasamento na boca do furo. Como uma boa alternativa, pode-se preencher o furo com calda e então introduzir a estrutura metálica. A bainha é a fase inicial de injeção em que se pretende recompor a cavidade escavada.

Após um mínimo de 12 horas, reinjetar o chumbador por meio do tubo de injeção perdido, anotando-se a pressão máxima de injeção e o volume de calda absorvida. Não se executa a reinjeção, a não ser que hajam dois ou mais tubos de injeção perdidos.

4.2.5 - Boletim de Execução

Conforme boletim ilustrativo abaixo, são anotados todos os dados de execução do chumbador, “única fase”:

OBRA -		N.º									
BOLETIM DE CONTROLE DE EXECUÇÃO DE CHUMBADOR											
CARACTERÍSTICAS CHUMBADOR	PERFURAÇÃO	∅(mm)	comprimento (m)		ang. c/ horiz.						
	PARTE METÁLICA	Aço	∅ (mm)	comprimento (m)							
	PROTEÇÃO ANTICORROSIVA										
	TIPO	Espaçador ∅		a cada (m)							
	INJEÇÃO	Traço da Bainha	Fator A/C =								
Traço da Fase		1sc cimento +		litros água +		litros solo =		litros calda			
Vol - Volume Injetado em sacos		Pa - Pressão de Abertura (Kg/cm ²)				Pi - Pressão de Injeção (Kg/cm ²)					
DATA	N.º CHUMBADOR	INJEÇÃO				DATA	N.º CHUMBADOR	INJEÇÃO			
		Bainha	FASE ÚNICA					Bainha	FASE ÚNICA		
		Vol	Pa	Pi	Vol			Vol	Pa	Pi	Vol
OBS.:											

4.3 - Concreto Projetado

4.3.1 – Definição

“Concreto Projetado” é a denominação que se dá à condição em que são construídas peças de concreto sem a utilização de forma, por meio de condução de ar comprimido.

Estas podem receber ferragens convencionais, telas eletrosoldadas ou fibras conforme necessidade de projeto.

Existem duas maneiras de se obter o Concreto Projetado: “via seca” ou “via úmida”.

A diferença básica entre eles está no preparo e condução dos componentes do concreto:

- Via Seca: preparado a seco. A adição de água dá-se, junto ao bico de projeção instantes antes da aplicação;
- Via Úmida: preparado com água e desta forma conduzido até o local de aplicação.

Ambos utilizam traços e equipamentos com características especiais.

O equipamento utilizado para Solo Grampeado é o Via Seca, a que nos referimos nos itens a seguir, não havendo entretanto qualquer objeção na utilização do Via Úmida.

4.3.2 – Equipamentos

Para via seca são necessários pelo menos os seguintes equipamentos e acessórios:

- a) Bomba de Projeção: recebe adequadamente misturado o concreto seco e o disponibiliza para aplicação;
- b) Compressor de Ar: acoplado à bomba de projeção fornece energia em vazão e pressão correta, para conduzir o concreto até o local da aplicação;
- c) Bomba D'água: fornece água em vazão e pressão junto ao bico de projeção. Pode ser substituído pela rede pública de fornecimento de água;
- d) Mangote: é o duto por onde o concreto é conduzido da bomba ao ponto de aplicação, podendo ser de borracha ou metálico;
- e) Bico de Projeção: peça instalada na extremidade de saída do mangote junto à aplicação;
- f) Anel D'água: acoplado entre o final do mangote e o bico de projeção adiciona água ao concreto;
- g) Pré umidificador: instalado cerca de 3,0m do bico de projeção, visa fornecer água ao concreto seco, previamente à aplicação.

O concreto poderá ser fornecido usinado, em caminhões betoneiras, ou preparado no canteiro de obras.

Detalhes importantes dos equipamentos:

- Bomba de projeção. É necessário que os equipamentos tenham perfeitas condições de trabalho, estando as peças de consumo com desgaste aceitável e a máquina sempre bem ajustada;
- Compressor. Para as condições geométricas e de produção pretendidas, há um único conjunto de valores para vazão e pressão de ar. Como ilustração apresenta-se a seguir tabela de valores da norma americana, ACI 506-66:

Vazão do Compressor (pcm)	Diâmetro do condutor (mangote ou tubulação)	Pressão de Ar necessária (MPa)
365	1 ½"	0,40
600	1 ¾"	0,50
750	2"	0,60

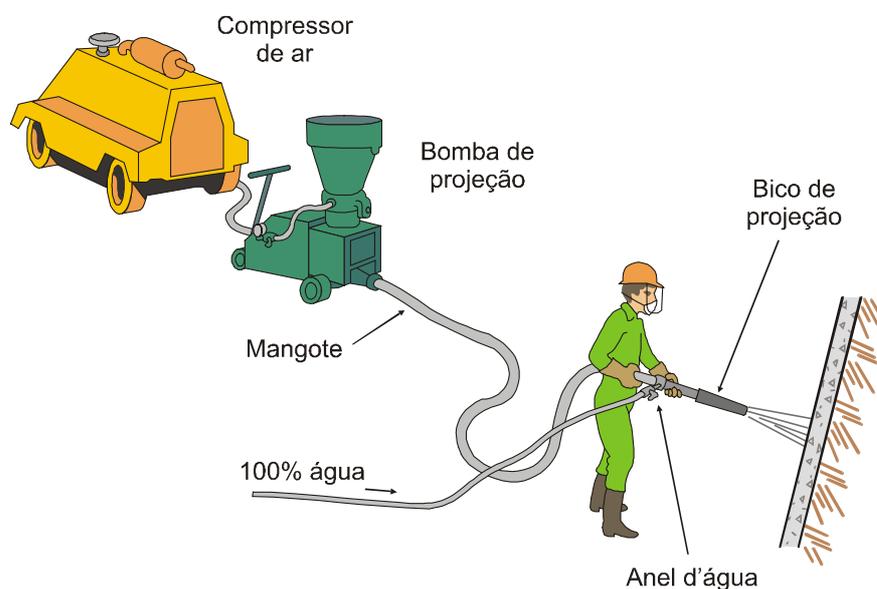
A prática brasileira entretanto, diz que para qualquer diâmetro de mangueira ou vazão de trabalho, a pressão característica do compressor deve ser de 0,7 MPa. Este valor quando da projeção do concreto, lido no compressor, não pode ser inferior a 0,3 MPa. Desta forma para distância de até 50,0 m teríamos, como condição mínima:

Vazão do Compressor (pcm)	Diâmetro do condutor (mangote ou tubulação)
350	1 ½"
600	2"
700	2 ½"

- Bomba d'água. Deverá fornecer água com pressão pelo menos 0,1 MPa superior, àquela dos materiais em fluxo, junto ao bico de projeção.

Os acessórios como mangotes, bicos, anéis d'água, pré umidificadores e discos deverão ter as condições conforme especificação dos fabricantes e fornecedores.

A montagem está ilustrada a seguir:



Montagem da aplicação convencional do concreto projetado

4.3.3 - O Concreto: Agregados, Cimento, Água, Resistência – Controle

Normalmente, a resistência solicitada em projeto é de 15 MPa.

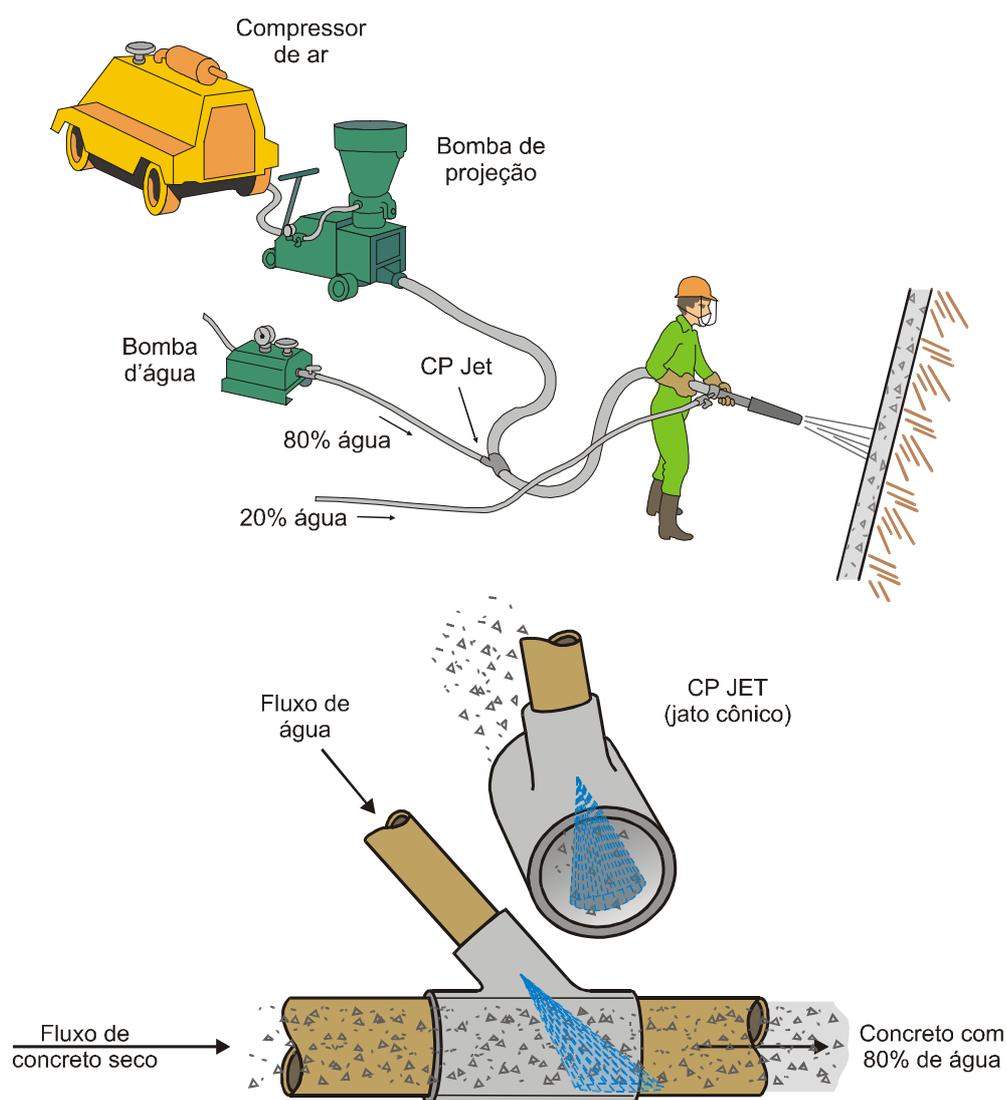
Como agregados temos o pedrisco ou pedra zero e a areia média. É necessário que ambos tenham uma umidade mínima. A areia em torno de 5%, nunca inferior a 3%, pois causaria muita poeira, nem superior a 7% causando entupimentos de mangote e início de hidratação do cimento. Para o pedrisco a umidade de 2% é suficiente. A areia média não poderá ter acima de 5% de grãos finos, podendo compor-se por 60% de grãos médios e até 35% de grãos grossos.

O cimento poderá ser qualquer, Comum, Composto, Pozolanico, Alto Forno, ARI ou ARI-RS, dependendo das especificações de projeto. Pode-se utilizar aditivos acelerador de pega, secos ou líquidos conforme necessidade da obra.

A água deverá ser conforme recomenda a tecnologia do concreto. Sua dosagem é feita pelo mangoteiro por meio de registro junto ao anel d'água. Advém de sensibilidade e experiência

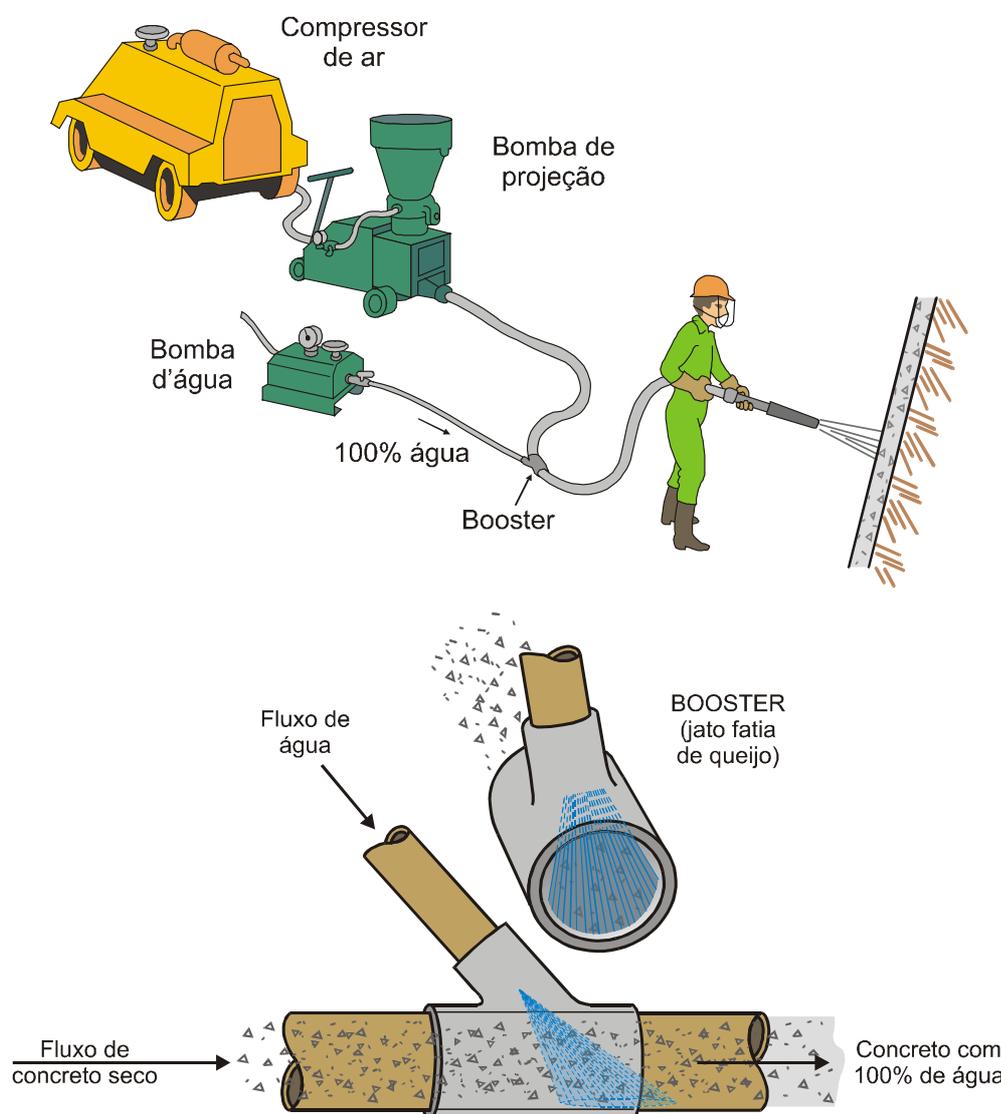
adquirida noutras obras pelo operador. Existem várias práticas de pré umidificação da via seca, conforme se ilustra abaixo, em duas condições:

CPJET – Neste caso 80% da água é fornecida ao concreto cerca de 3,0m antes da aplicação e o restante, 20%, adicionado pelo mangoteiro.



Montagem da aplicação com pré-umidificador de linha tipo CP-JET e detalhe do pré-umidificador CP JET

BOOSTER – Nesta situação 100% da água é aplicada 3,0m antes da aplicação.



Montagem da aplicação com pré-umidificador de linha tipo BOOSTER e detalhe do pré-umidificador BOOSTER

O controle da qualidade do concreto se dá pela extração de corpos de prova de placas moldadas em obra. Existem algumas normas brasileiras da ABNT para este controle. Estas tiveram seu desenvolvimento impulsionado pelos serviços de execução Túneis NATM:

NBR 13044 – Concreto Projetado – Reconstituição da mistura recém projetada

NBR 13069 – Concreto Projetado – Determinação dos tempos de pega em pasta de cimento Portland, com ou sem a utilização de aditivo acelerador de pega.

NBR 13070 – Moldagem de placas para ensaio de argamassa de concreto projetados.

NBR 13371 – Concreto Projetado – Determinação do índice de reflexão por medição direta.

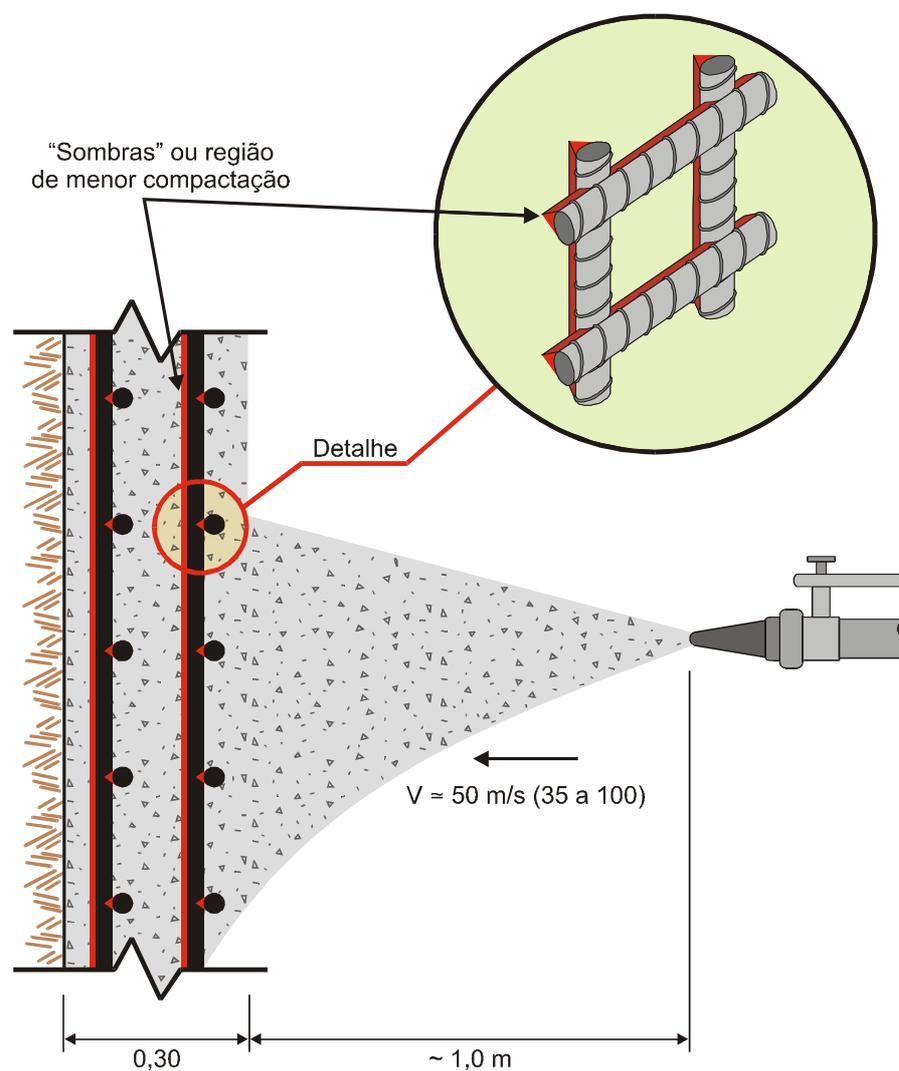
NBR 13354 – Concreto Projetado – Determinação do índice de reflexão em placas.

4.3.4 - Aplicação / Mangoteiro

De igual importância aos itens de agregados e equipamentos, temos os aplicadores do concreto. É usual termos dois especialistas: o mangoteiro e o bombeiro. O bombeiro está sempre junto a bomba de projeção, ajustando-a conforme os desgastes ocorrem, e verificando o correto fornecimento do compressor. O mangoteiro é aquele que aplica o concreto, em movimentos contínuos usualmente circulares, dirigidos ortogonalmente à superfície, dela distando 1,0m. Além disso regula a água, e tem sensibilidade para perceber uma oscilação nas características de vazão e pressão do ar. É o elemento fundamental neste serviço, já havendo inclusive norma da ABNT, “NBR 13597 – Procedimento para Qualificação de Mangoteiro de Concreto Projetado aplicado por Via Seca”, para qualificação deste profissional. Não está sendo aplicada, mas é o caminho para uso em futuro próximo.

4.3.5 - Armação

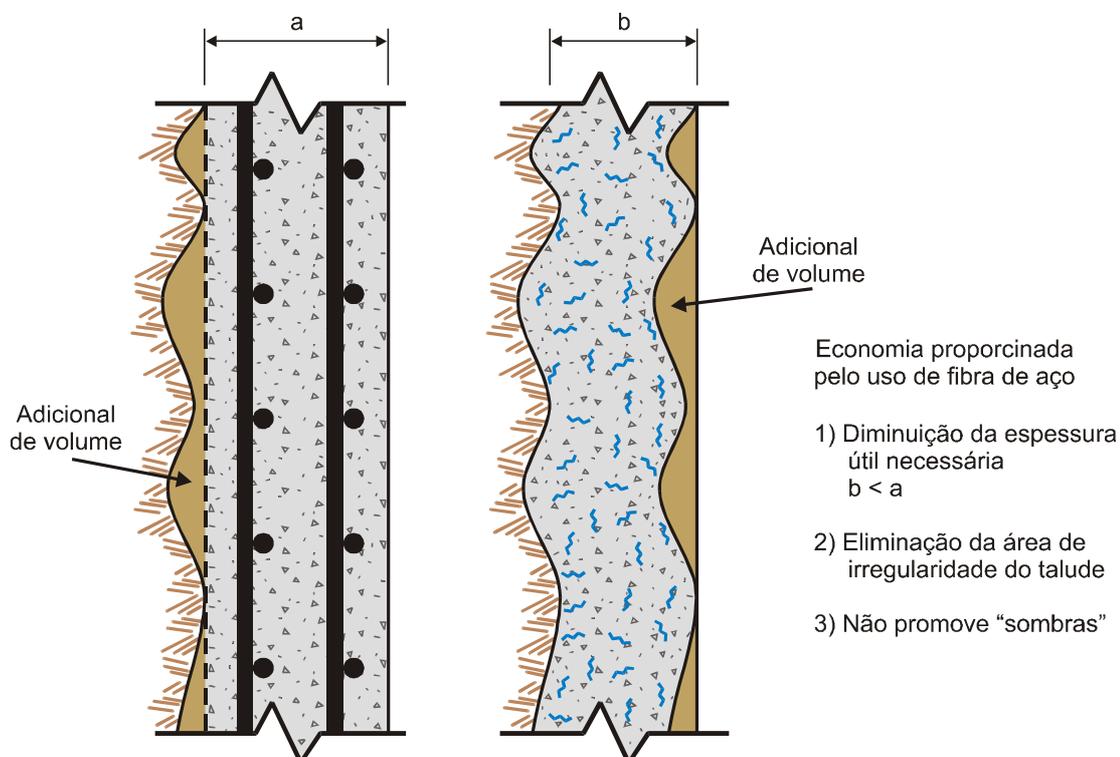
As telas eletrosoldadas tem sido a armação convencional do concreto projetado. Sua instalação ocorre em uma ou duas camadas, conforme especifica o projeto. Aplica-se a primeira camada com a primeira tela, a segunda camada do projetado, segunda tela e concreto final. Pode-se instalar previamente ao concreto as telas. Entretanto, especial cuidado deve ser tomado para evitar que a tela funcione como anteparo e cause vazios atrás da mesma.



Detalhe das "sombras" na projeção do concreto

Desde 1992 temos utilizado alternativamente às telas, fibras metálicas de aço. São adicionadas diretamente na betoneira ou caminhão betoneira, resultando numa mistura perfeitamente homogênea.

Não obriga qualquer mudança em equipamento. Promove redução da equipe de trabalho, visto que não há necessidade de mão de obra para preparo e instalação das telas. Tem ajuste perfeito ao corte realizado no talude aceitando superfícies irregulares, com espessura constante.



Detalhe fibra e tela

Resulta num concreto extremamente tenaz. A presença das fibras, produz concreto de baixa permeabilidade, uma vez que age no combate às tensões de tração durante o início da cura, homogeneamente em todas regiões da peça. Não há cuidado especial com cobrimento de armadura, pois a corrosão eventual se limita aquela fibra que estava em contato com a atmosfera, não prosseguindo para as outras imersas no concreto. Apesar de seu custo, cerca de 20% superior às telas, a economia do produto final é de 20 a 40% por metro quadrado aplicado. A tendência atual é a total substituição das telas por fibras de aço.

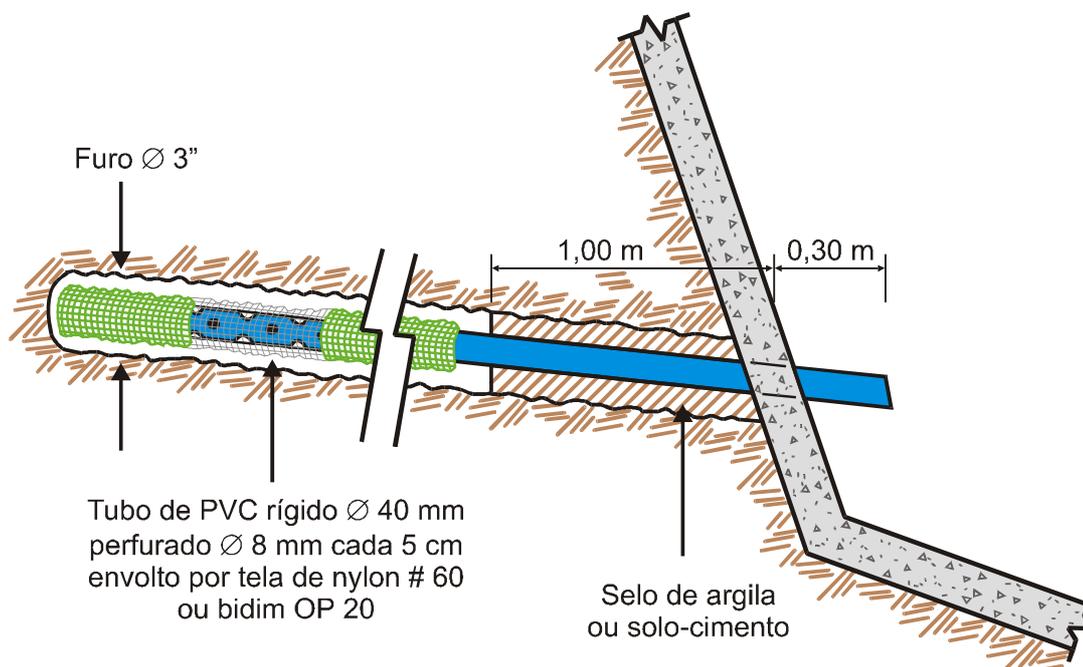
4.4 - Drenagem

4.4.1 - Definição

A prática usual recomenda sempre a execução de serviços de drenagem profunda e de superfície. Como drenagem profunda, tem-se o DHP – Dreno Subhorizontal Profundo. Os drenos de superfície são os barbacãs, drenos de paramento e canaletas.

4.4.2 - Dreno Profundo

São elementos que captam as águas distantes da face do talude antes que nela aflorem. Ao captá-las, as conduzem ao paramento e despejam em canaletas. Os drenos subhorizontais profundos, DHP, resultam da instalação de tubos plásticos drenantes de 1¼” a 2” em perfurações no solo de 2½” a 4”. Os tubos são perfurados e recobertos por manta geotêxtil ou telas de nylon. São drenos lineares embutidos no maciço, cujos comprimentos se situam normalmente entre 6,0 e 18,0m.

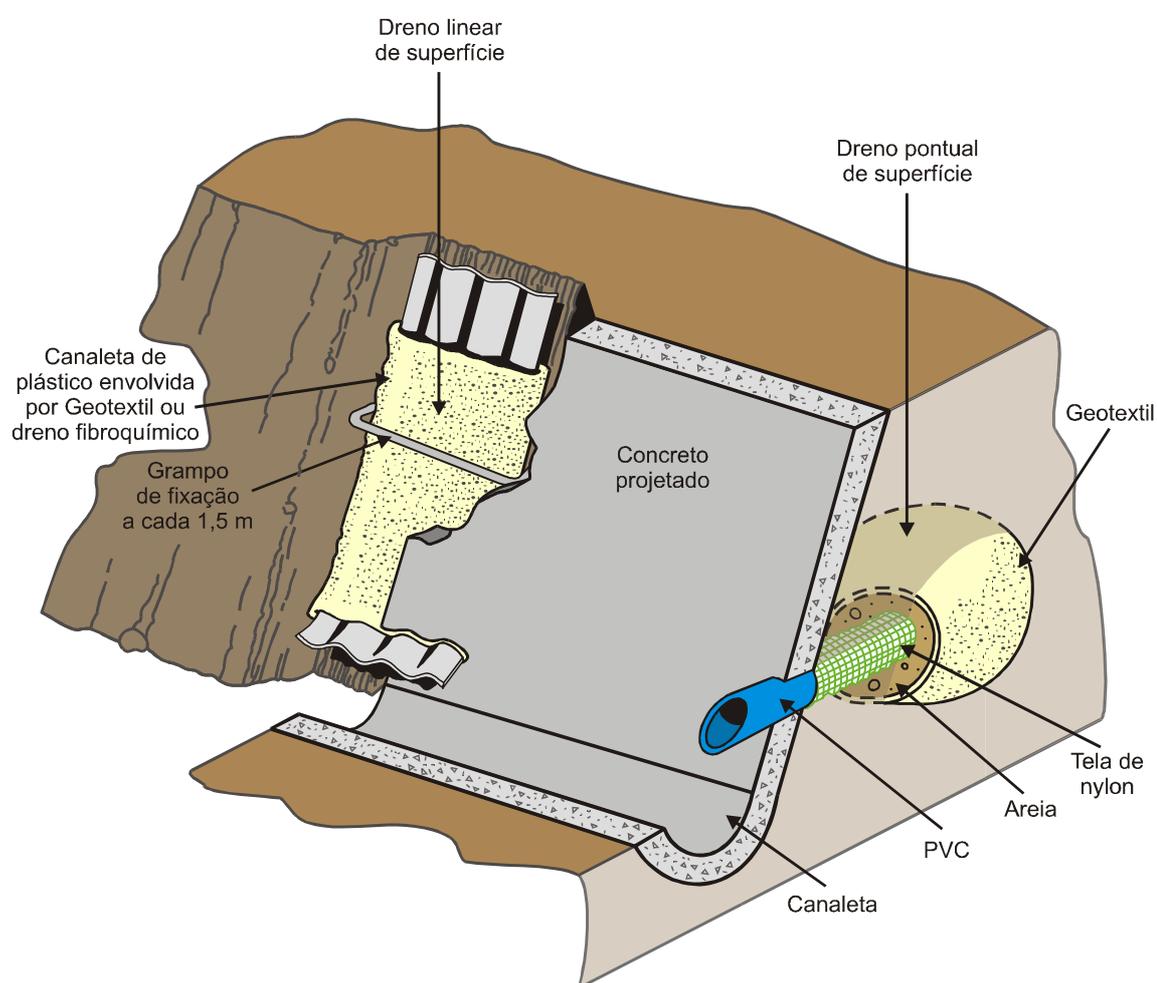


Dreno profundo – DHP

4.4.3 - Dreno de Paramento

São peças que pretendem promover um adequado fluxo às águas que chegam no paramento do talude.

Para os drenos de sub superfície, ou aqueles atrás e adjacentes ao revestimento de concreto, tem-se os barbacãs e o dreno de paramento. O dreno tipo barbacã é o resultado da escavação de uma cavidade com cerca de 40 x 40 x 40 cm preenchida com material arenoso e tendo como saída tubo de PVC drenante, partindo de seu interior para fora do revestimento com inclinação descendente. Trata-se de uma drenagem pontual.



Dreno de Paramento e Barbacã

O dreno de paramento é o resultado da instalação numa escavação de calha plástica drenante revestida por manta geotêxtil, dreno fibroquímico, na direção vertical da crista até o pé do talude.

Aflora na canaleta de pé, sendo considerado um dreno linear. Considera-se este último como a opção eficiente recomendável para projeto.

As canaletas de crista e pé, bem como as de descida d'água são moldadas "in loco" e revestidas por concreto projetado.

4.5 - Controle Executivo

Não existe até o presente momento, normalização brasileira que regulamente os controles de execução.

4.5.1 - Chumbador

A ferragem deve estar centrada e com recobrimento totalmente seguro, certificando-se portanto de que a armação não será corroída. Garantir-se que não tenha havido perda de calda ou resina, observando-se minutos após a injeção junto à boca do chumbador se não houve decantação.

Aceita-se um erro de deslocamento local de até 15% da distância horizontal ou vertical, no posicionamento do chumbador. Porém deverá ser mantida a quantidade de chumbadores prevista no projeto para a área contida. Não há necessidade de qualquer controle rigoroso quanto a tolerância de inclinação podendo-se aceitar uma variação em torno de 5 graus.

A calda de injeção deverá atender ao projeto, não contendo cimentos agressivos à armação do chumbador. O fator água / cimento é ajustado em campo, em função das condições da estabilidade da cavidade perfurada e sua permeabilidade. Sugere-se que todo chumbador receba pelo menos uma fase de injeção além da bainha.

A proteção anticorrosiva com tinta polimérica, pintura eletrolítica ou qualquer processo de inibição da corrosão, deverá ser eficiente, mesmo com o manejo das barras.

Como sugestão de proteção anticorrosiva, poderíamos adotar a proposta da "NBR5629 Tirantes Ancorados no Terreno", publicada em 1996, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, considerando o grampo como sendo o trecho ancorado de um tirante.

Classe	Tipo de Chumbador	Proteção
1	Permanentes em meio agressivo, ou provisórios em meio muito agressivo	Dupla com emprego de pintura anticorrosiva e calda de cimento
2	Permanentes em meio não agressivo, ou provisórios em meio medianamente agressivo	Proteção simples através de calda de cimento injetada
3	Provisórios em meio não agressivo	
A definição de agressividade é subjetiva e pode-se adotar aquela proposta na NBR5629.		

O ensaio de tracionamento do chumbador deve ser realizado, para que se obtenham dados para projeto. Não há entretanto normalização para tal. Sugere-se a execução de ensaios num mínimo de 10% das ancoragens, ou quantidade tal que permita haver representatividade do resultado.

Durante a perfuração devem ser observadas as posições estruturais das camadas de solo em função do corte, ajustando se necessário o posicionamento dos chumbadores.

4.5.2 - Concreto Projetado

O concreto projetado deverá ter na sua espessura controlada por meio de marcos aplicados a cada 4,0m². Deverão ser seguidas as Normas Brasileiras de concreto projetado, naquilo que couber. Ressalta-se principalmente, atentar-se para a utilização do equipamento de via seca em condições corretas de pressão e vazão, o cálculo correto do volume de aplicação da água e a cura. Como a exposição atmosférica do concreto é muito grande, cuidados especiais de umidificação durante a cura devem ser tomados.

A utilização do pré umidificador de linha, deve ser objetivada, obtendo-se um concreto com menor reflexão, maior resistência, menor permeabilidade, e menor poeira.

4.5.3 - Drenagem

Durante a execução devem ser avaliadas e determinadas as posições e fluxos do lençol freático, que dificilmente o são na fase do projeto. Desta forma haverá um correto ajuste no sistema de drenagem.

4.5.4 - Geral

Para que se possa avançar com a aplicação desta técnica, bem como sua otimização, é fundamental a medida de deformação do maciço. Não há quem o faça até o momento, exceto em caráter acadêmico. Sugere-se que sejam tomadas deformações, da forma mais simples e prática possível. Considera-se no mínimo, leitura de deformações de pinos tomados com teodolitos, em 3 faixas verticais do muro, de tal forma que sejam representativas da obra. As propostas acima visam a compilação de informações, quando não há recomendações específicas do projeto em execução.

5 - CONCLUSÕES

O Solo Grampeado é uma técnica eficiente e economicamente viável para nossos solos sedimentares ou residuais.

Deve ser tecnicamente desenvolvido para nossas condições propondo-se para tal um trabalho semelhante ao “CLOUTERRE”, francês, num consórcio entre:

- Empreiteiros Geotécnicos;
- Projetistas, Consultores;
- Escola, Associações Nacionais;
- Empresas Públicas / Privadas.