

## 2

## **Solo Grampeado: definições, desenvolvimento e aplicações**

### 2.1.

#### **Histórico e desenvolvimento**

##### 2.1.1.

#### **Origens do solo grampeado**

A técnica de solo grampeado tem origem na técnica de execução de suportes de galerias e túneis denominada NATM (“New Austrian Tunneling Method”), aplicada na engenharia de minas. Esta técnica foi desenvolvida pelo professor Landislau Von Rabcewicz, a partir de 1945, para avanço de escavações em túneis rochosos (Figura 1). O método NATM (Figura 1b) consiste na aplicação de um suporte flexível para permitir que o terreno se deforme, ocorrendo uma formação de uma região plastificada no entorno da escavação, que pode ser reforçada através de chumbadores. Logo após a escavação, a cavidade que está submetida ao efeito do peso de terras e tensões confinantes, é estabilizada com um revestimento flexível de concreto projetado (espessura entre 10 e 30 cm), tela metálica, cambotas e chumbadores curtos radiais introduzidos na zona plástica. Em geral, os chumbadores são dispostos a cada 3 a 6m ao longo da galeria (Clouterre, 1991) e são inseridos no maciço por percussão ou perfuração com posterior injeção de nata de cimento. Ao contrário, no método convencional de execução de túneis (Figura 1a), os deslocamentos do terreno são impedidos por um revestimento rígido que, por sua vez, mobiliza no maciço, esforços muito maiores, sendo portanto, uma solução mais onerosa. Pode-se afirmar, então, que uma escavação de solo grampeado está para a execução de túneis com revestimento flexível da mesma forma que a solução convencional de túneis se compara a uma cortina ancorada (Ortigão e Sayão, 2000).

Após as aplicações da técnica NATM em rochas duras, novas experiências foram efetuadas em materiais menos resistentes, tais como rochas brandas e posteriormente em solos (siltes, pedregulhos e areia) com o nome de solo grampeado ou pregado (“soil nailing”, em inglês; “clouage du sol”, em francês).

A técnica de solo grampeado passou a se desenvolver então a partir do início dos anos 70. Países como França, Alemanha e Estados Unidos lideraram pesquisas no sentido de se obter conhecimentos deste método de estabilização.

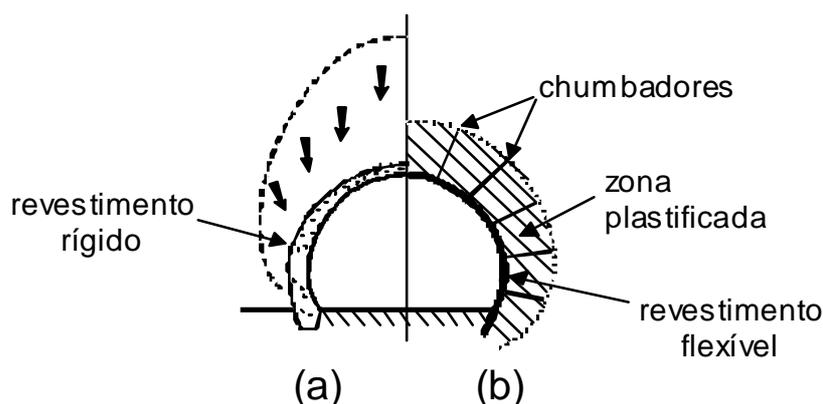


Figura 1. Técnicas de execução de túneis com revestimento rígido (a) e flexível (b) (Ortigão e Sayão, 2000).

### 2.1.2. Definição da técnica

O solo grampeado é uma técnica bastante eficaz no que diz respeito ao reforço do solo “in situ” em taludes naturais ou taludes resultantes de processo de escavação. O grampeamento do solo é obtido através da inclusão de elementos lineares passivos, semi-rígidos, resistentes à flexão composta, denominados grampos. Os grampos podem ser barras ou tubos de aço ou ainda, barras sintéticas de seção cilíndrica ou retangular. Estes elementos de reforço são posicionados horizontalmente ou inclinados no maciço, de forma a introduzir esforços resistentes de tração e cisalhamento (Ortigão et al., 1993). Sua função é minorar os deslocamentos do maciço terroso pelo acréscimo de forças internas contrárias ao sistema natural de acomodação de massa (Silva et al., 2001). A descompressão progressiva do solo, em função das sucessivas fases de escavação ou de uma configuração de ruptura do maciço, gera deslocamentos laterais no solo. Estes deslocamentos, então, induzem ao surgimento de forças internas aplicadas no sistema solo-reforço. Resultados de instrumentação de campo realizada por Unterreiner et al. (1995) confirmam este mecanismo.

Geralmente, o comportamento de um sistema de reforço de solo depende da mobilização dos esforços nas inclusões. A Tabela 1 indica os esforços considerados em cada sistema de reforço (Schlosser, 1982). A aplicação e objetivo de alguns métodos são sumariados na Tabela 2 (Gässler, 1990) e ilustrados pela Figura 2 (Byrne et al., 1998).

Tabela 1. Tipo de solicitação em reforço de solo (Schlosser, 1982)

Solicitação	Sistema de reforço			
	Terra Armada	Solo Grampeado	Micro-Estacas	Colunas de Brita
Tração	(X)	(X)	(X)	
Compressão			(X)	(X)
Cisalhamento		(X)		(X)
Flexão		(X)	(X)	

Tabela 2. Aplicações e objetivos de um sistema de reforço (Gässler, 1990)

Aplicações e objetivos	Eficácia do reforço		
	Grampos	Micro-estacas	Colunas de brita
Aumentar a capacidade de suporte do solo da fundação	---	grande	grande
Estabilização (natural) de taludes	média	média	pequena
Estabilização durante escavações	grande	pequena	---
Redução de recalques	---	média	grande

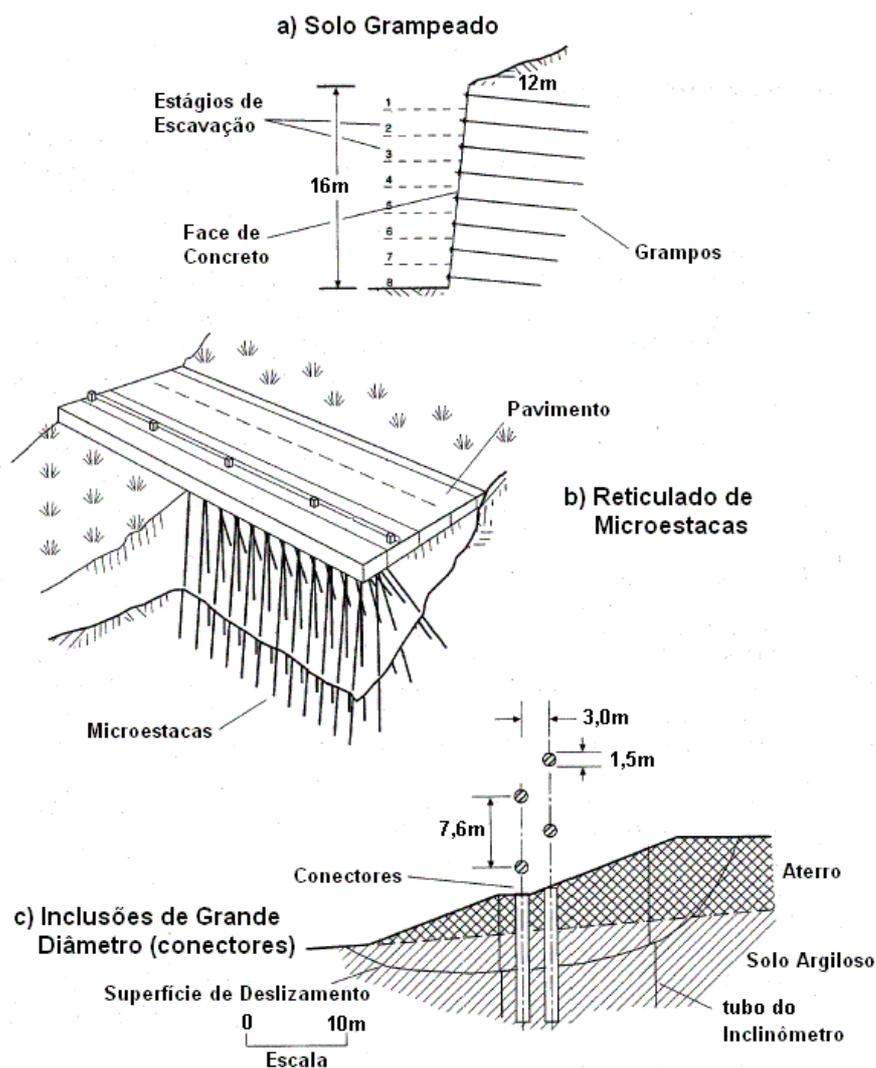


Figura 2. Aplicações de sistemas de reforço de solo (Byrne et al., 1998).

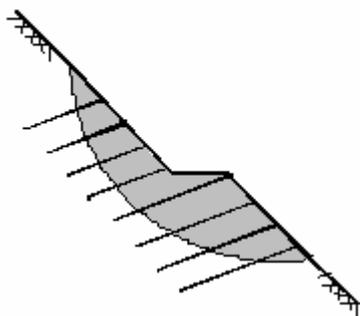
As principais metodologias para melhoria e reforço do solo, enfatizando-se as técnicas aplicadas à realidade brasileira são discutidas em Palmeira (1994).

### **2.1.3. Critérios de aplicação**

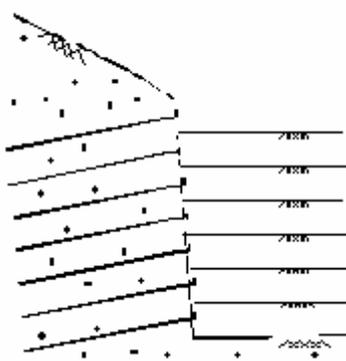
Dentre as diversas aplicações da técnica de solo grampeado, deve-se citar:

1. Estabilização de taludes naturais (Figura 3a) → inclusão de reforços em taludes, possivelmente instáveis, com inclinações da ordem de 45° a 70° (Lima Filho, 2000);
2. Contenção de escavações temporárias ou permanentes (Figura 3b) associadas às fundações de edifícios, escavações para vias subterrâneas (estacionamentos ou metrô), cortes para implantação de sistemas viários e escavações para portais de túneis;
3. Recuperação de estruturas de contenção tais como, cortinas de terra armada (substituição de tiras ou conexões danificadas por sobrecarga), muros de concreto armado (antes ou logo após as rupturas causadas pela deterioração do muro ou de movimentos a montante) e cortinas atirantadas (após o colapso de ancoragens protendidas, por carregamento excessivo ou por corrosão dos tirantes). Gässler (1990 e 1991) reporta o uso da técnica na recuperação de estruturas antigas na Alemanha que apresentavam uma condição de possível ruptura. Outros exemplos da aplicação em obras de recuperação podem ser vistos em Ingold (2000) e Steenberg-Kajabová et al. (2005).

Quando a técnica é utilizada como estrutura de contenção ou em estabilização de escavações, os grampos são geralmente posicionados horizontalmente e os esforços são principalmente de tração. Ao contrário, quando esta técnica é utilizada para a estabilização de taludes naturais, os elementos de reforço podem ser verticais ou perpendiculares à superfície potencial de ruptura e os esforços de cisalhamento e momentos fletores não devem ser desprezados (Schlosser, 1982).



(a) taludes naturais



(b) escavações

Figura 3. Aplicações usuais de solo grampeado (adaptado de Byrne et al., 1998; Ortigão e Sayão, 2000).

#### 2.1.4.

#### Metodologia executiva, equipamentos e materiais de construção

A construção de uma estrutura de solo grampeado em taludes resultantes de escavações mecânicas ou manuais é realizada em fases sucessivas de cima para baixo, conforme ilustra a Figura 4.

Em taludes naturais ou previamente cortados, o grampeamento pode ser efetuado de forma descendente ou ascendente, conforme a conveniência. Neste caso, a construção da estrutura em solo grampeado consistirá apenas na introdução dos grampos e execução da face de concreto projetado.

Em taludes resultantes de corte, o processo construtivo é constituído por três etapas principais sucessivas: a escavação, a instalação dos grampos e a estabilização do paramento (Figura 5). Em virtude das condições do terreno, a ordem da instalação dos grampos e da estabilização do paramento pode ser invertida.

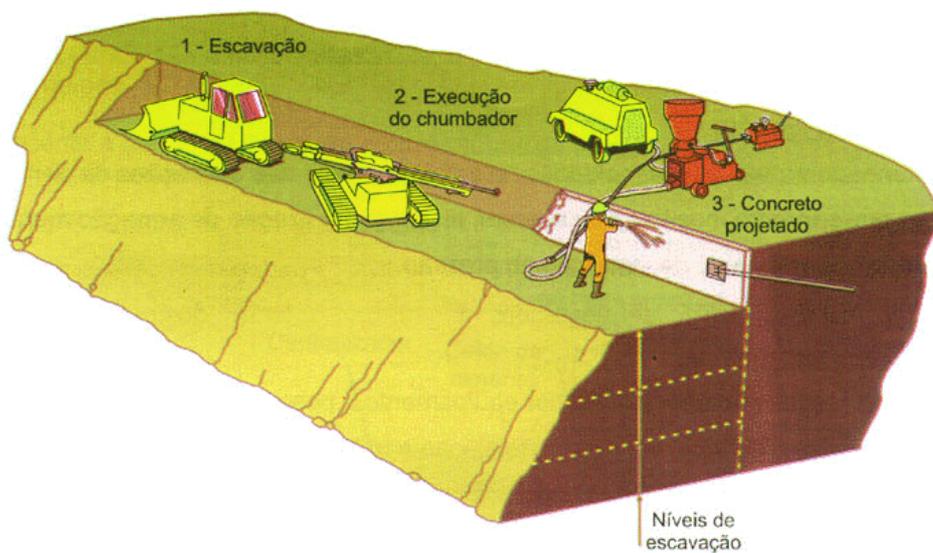


Figura 4. Construção de estrutura em solo grampeado em escavações com equipamentos mecânicos (Zirlis et al., 1999).



(a) Escavação



(b) Execução do furo e injeção do grampo



(c) Execução da parede em concreto projetado

Figura 5. Principais etapas construtivas em escavações grampeadas.

### 1. Escavação:

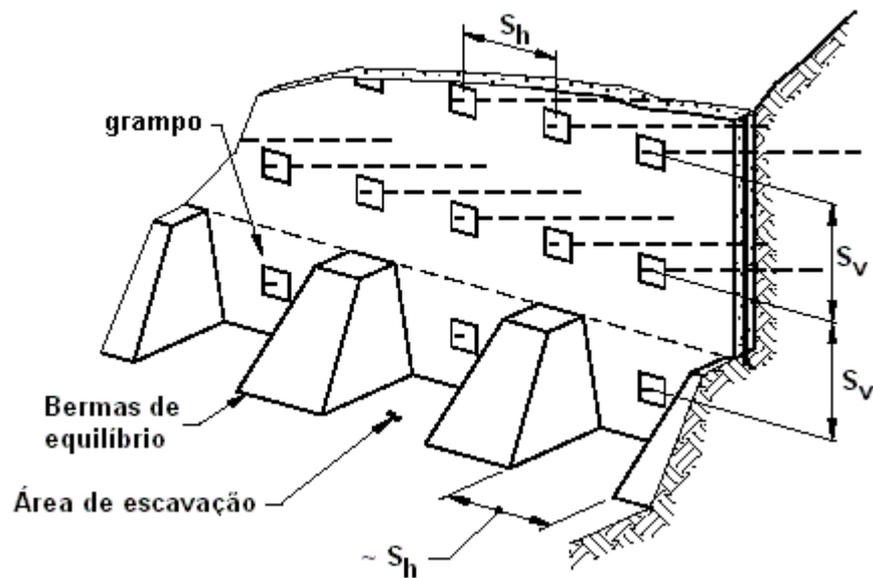
Inicia-se o corte do solo na geometria de projeto. As escavações são geralmente realizadas em bancadas, com profundidades variando entre 1 a 2m, em função do tipo de solo. Em geral, os solos capazes de serem grampeados são areias consolidadas, areias úmidas com coesão capilar, argilas adensadas e rochas brandas. No caso de solos arenosos, alturas superiores a 2,0m ou inferiores a 0,5m são raras. Em argilas sobreadensadas, pode-se alcançar profundidades superiores a 2m (Bruce e Jewell, 1987). Para cortes verticais, Gässler (1990), indicou profundidades de cada estágio de escavação em função do tipo de solo (Tabela 3).

Tabela 3. Altura das etapas de escavação (Gässler, 1990)

Tipo de solo	Incremento de escavação ( $H_{escav}$ )		
Pedregulho	0,5m (com coesão aparente)		1,5m (solo com cimentação)
Areia	1,2m (medianamente compacta, com coesão aparente)	1,5m (compacta, com coesão aparente)	2,0m (com cimentação)
Silte	1,2m	2,0m (função do teor de umidade)	
Argila	1,5m (normalmente consolidada)	2,5m (sobreadensada)	

Durante as etapas de escavação, o solo deve se manter estável. Assim como em outras técnicas de solo reforçado, a execução de uma estrutura em solo grampeado envolve uma fase crítica durante o processo executivo que corresponde a uma instabilidade local (função da altura de solo a ser escavada). Se o solo não se sustentar pelo período de tempo necessário, sua face recém escavada deve ser estabilizada imediatamente.

Onde possível, é recomendado inclinar a face do talude. Isto reduz consideravelmente a armadura do reforço (Dringenberg e Craizer, 1992). Lima Filho (2000) recomenda uma inclinação de  $5^\circ$  a  $10^\circ$  do paramento, em relação à vertical, para obter-se um ganho na estabilidade geral do conjunto na fase construtiva. Outro procedimento que pode ser realizado para minorar os deslocamentos do talude em solo grampeado, durante as etapas construtivas, é a realização da escavação em bermas ou nichos (Figura 6).



(a) Processo de escavação em bancadas (Lazarte et al., 2003)



(b) Execução de escavação central com 2 bermas de equilíbrio

Figura 6. Escavações em bancadas.

## 2. Colocação dos grampos:

A introdução de grampos no solo a ser reforçado pode ser feita na direção horizontal ou com uma pequena inclinação (em geral de  $5^\circ$  a  $15^\circ$  com a horizontal). A Figura 7 mostra diferentes configurações para a extremidade dos grampos.

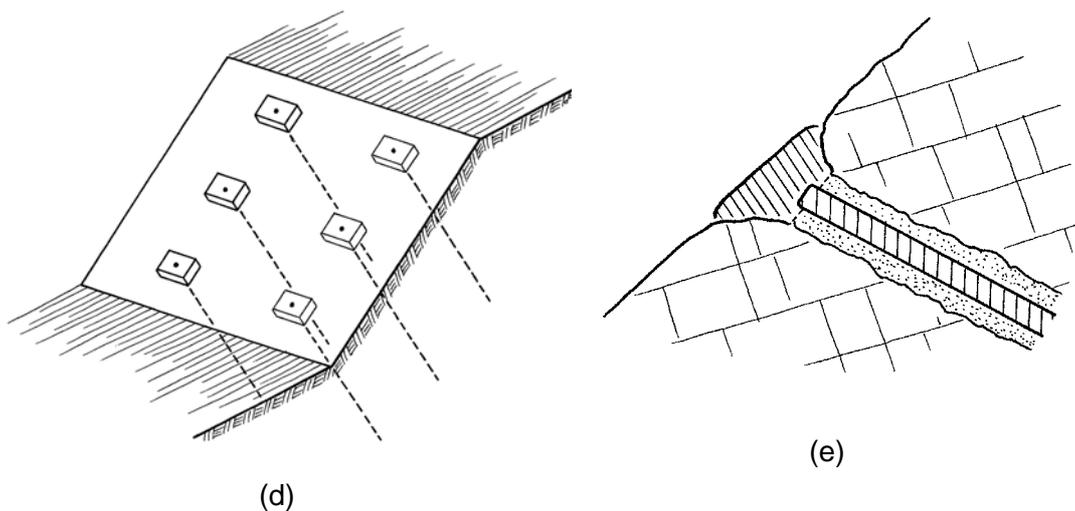
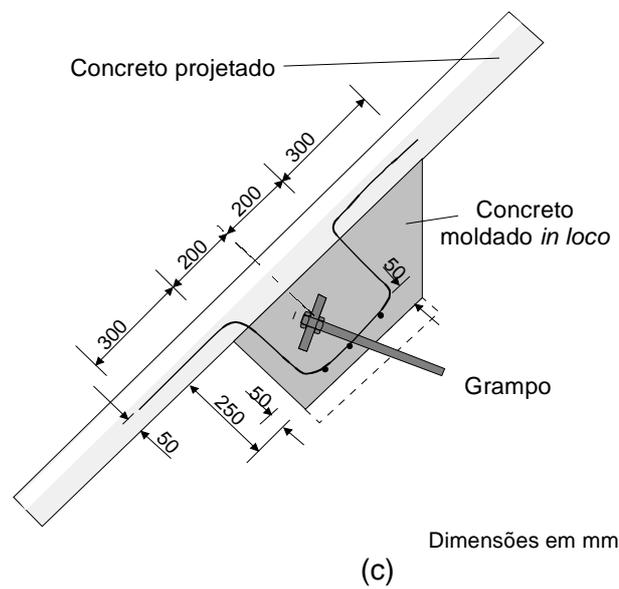
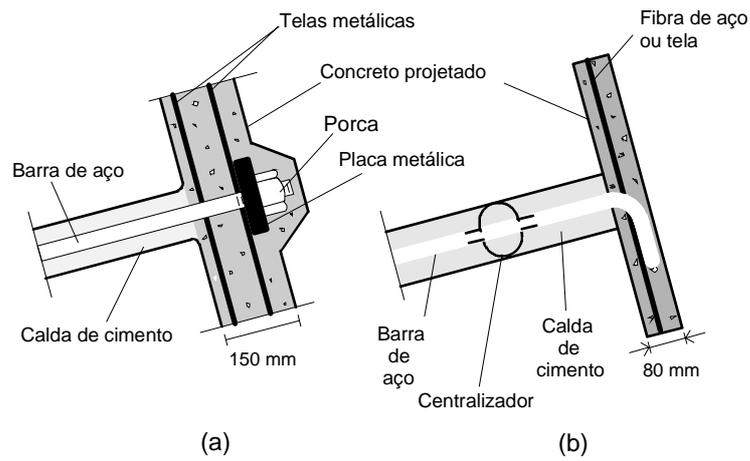


Figura 7. Tipos de cabeça dos grampos: (a)  $\phi_{aço} \geq 20\text{mm}$ ; (b)  $\phi_{aço} < 20\text{mm}$ ; (c) extremidade embutida no terreno (Ortigão e Sayão, 2000); (d) com bloco de proteção; (e) extremidade embutida sem placa metálica (Ingold, 2000).

No Brasil, os grampos são geralmente feitos de aço, do tipo CA-50, DYWIDAG, Incotep ou Rocsolo de 12,5mm a 41mm (Tabela 4). Na Europa, os grampos mais utilizados são feitos de aço tipo DYWIDAG ou GEWI (Tabela 5). Grampos com numeração comercial são usados na América do Norte (Tabela 6).

Tabela 4. Tipos de grampos utilizados no Brasil (adaptado de Ortigão e Sayão, 2000)

Tipo de aço	Tipo de seção	Diâmetro da barra (mm)	Diâmetro mínimo recomendado do furo (mm)	Carga máxima de ensaio ( $T_{\text{ensaio}}$ ) kN	Carga de trabalho ( $T_{\text{trabalho}}$ ) kN
Dywidag Gewi ST 50/55	Plena	32	100	350	200
Dywidag ST 85/105				600	350
CA 50 A	Plena	12,5	75	55	30
		20	100	140	80
		25	100	230	130
		32		360	200
	Reduzida com rosca	25	100	190	110
		32		260	160
Incotep-13-D	Reduzida com rosca	22	100	220	125
Incotep-22-D	Reduzida com rosca	30	100	380	215
Rocsolo ST 75/85	Plena	22	100	210	125
		25		280	165
		28		360	200
		38	125	660	375
		41		890	510

Tabela 5. Dimensões e propriedades típicas de grampos injetados em obras na Europa (Bruce e Jewell, 1987)

Tipo de aço	Diâmetro da barra (mm)	Tensão mínima de escoamento (N/mm <sup>2</sup> )	Tensão limite de escoamento (N/mm <sup>2</sup> )
DYWIDAG	26,5 32,0 36,0	835	1030
DYWIDAG	26,5 32,0 36,0	1080	1230
GEWI	22,0 25,0 28,0 40,0	420	500

Tabela 6. Dimensões de grampos injetados em obras na América do Norte (Bruce e Jewell, 1987)

Número de designação da barra	Diâmetro da barra (mm)		Peso em kg/m
	Polegadas	mm	
5	0,63	15,9	1,55
6	0,75	19,1	2,24
7	0,88	22,2	3,05
8*	1,00	25,4	3,98
9*	1,13	28,7	5,07
10*	1,25	31,8	6,41
11*	1,38	35,0	7,92
14*	1,75	44,5	11,4
18*	2,26	57,2	20,3

Tensão mínima de escoamento=415N/mm<sup>2</sup>

\* Mais utilizados

As técnicas mais utilizadas para a instalação dos grampos são:

➤ **Grampos Injetados:**

As barras são posicionadas no maciço após a execução de um pré-furo (em geral de 70 a 120mm de diâmetro) e segue-se a injeção da calda do grampo. É prática comum, instalar próximo à barra um ou mais tubos de injeção, perdidos, de polietileno ou similar, com diâmetros de 8 a 15mm, providos de válvulas a cada 0,5m, a até 1,5m da boca do furo. A quantidade de tubos depende das fases de injeção previstas, e deve-se considerar um tubo para cada fase. O material constituinte da injeção (na perfuração preexistente) é nata de cimento (relação água-cimento em torno de 0,5 em peso) ou argamassa. Em alguns casos, após um mínimo de 12 horas, faz-se uma reinjeção do 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 haja dois ou mais tubos de injeção perdidos.

A calda de injeção deverá atender ao projeto, não contendo cimentos agressivos aos grampos. Como fluido de perfuração e limpeza do furo, poderá ser utilizado água ou ar. Alternadamente, pode-se optar por trados helicoidais. O sistema mais comum é aquele com a utilização de ar comprimido, também utilizado para o concreto projetado. A depender da profundidade do furo, diâmetro e área de trabalho, pode-se optar por perfuratrizes tipo sonda, “crawlair”, “wagon drill”, ou até martelos manuais (Zirlis e Pitta, 1992).

Se as barras dos grampos forem de aço, estas devem receber tratamento anticorrosivo (resinas epóxicas ou pintura eletrolítica). No caso da utilização de barras de plástico reforçadas por fibras, não há necessidade de tal procedimento, pois este material é imune à corrosão. Ao longo das barras, devem ser dispostos elementos centralizadores, tipicamente a cada 2 ou 3m, para evitar o contato do elemento de reforço com o solo. O elemento de reforço deve estar centrado e com recobrimento de nata totalmente assegurado.

É possível o uso de grampos de diversos comprimentos e em praticamente qualquer tipo de solo. De fato, esta é uma técnica possível para grampos longos e em solos onde os grampos cravados (descritos a seguir) não podem ser executados.

A instalação por grampos injetados é o tipo mais comum no Brasil. Na França, até a década de 90, mais da metade das obras em solo grampeado foram realizadas desta forma (Clouterre, 1991).

#### ➤ **Grampos Cravados:**

Consiste na cravação por percussão de barras ou tubos metálicos ou perfis metálicos esbeltos com auxílio de martetele, o que leva a um processo de execução mais rápido, porém com menor resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo (valores típicos da ordem de 30 a 40kPa). Em alguns casos pode ser empregado martetele manual no processo de cravação.

O tipo de instalação por cravação não é recomendado quando há ocorrência de pedregulhos, nem no caso das argilas porosas, como as de São Paulo e de Brasília, onde a resistência mobilizada é reduzida. Há também limitações no comprimento máximo, da ordem de 6m, condicionado à eficiência de cravação do grampo (Ortigão et al., 1993).

Os grampos apresentam usualmente rigidez, tal que os esforços cisalhantes e momentos fletores não devem ser desprezados (Schlosser, 1982). Determinados cuidados devem ser considerados no aspecto de proteção contra a corrosão. Em

geral, nos elementos cravados, a prevenção é feita adotando-se uma espessura adicional de recobrimento com resina ou pintura anticorrosiva.

A escolha de qualquer uma das duas técnicas supracitadas envolve não só critérios econômicos, mas também outros fatores técnicos, particularmente, o tipo de solo envolvido no problema, a eficiência dos grampos para os tipos de terrenos envolvidos (ensaios de arrancamento) e a altura de escavação.

Uma técnica alternativa de execução dos grampos foi desenvolvida na França, consistindo na cravação por percussão de um tubo de aço à medida que se injeta nata de cimento através da ponta sob pressão elevada. Os muros assim executados são denominados de “Hurpinoise”, em reconhecimento ao técnico Hurpin que desenvolveu o método (Ortigão e Palmeira, 1992). Este processo é mais eficiente para solos arenosos (Gässler, 1990).

➤ **Novas tecnologias:**

Um processo semelhante aos grampos cravados foi desenvolvido pela firma Dywidag, tendo a denominação comercial de “Titan”, ainda não disponível no Brasil (Figura 8). Trata-se de um tubo de aço ranhurado dispendo de coroa que é introduzido por rotopercussão. Água e ar são empregados como fluido de perfuração. Ao final injeta-se calda de cimento (Ortigão e Palmeira, 1992).

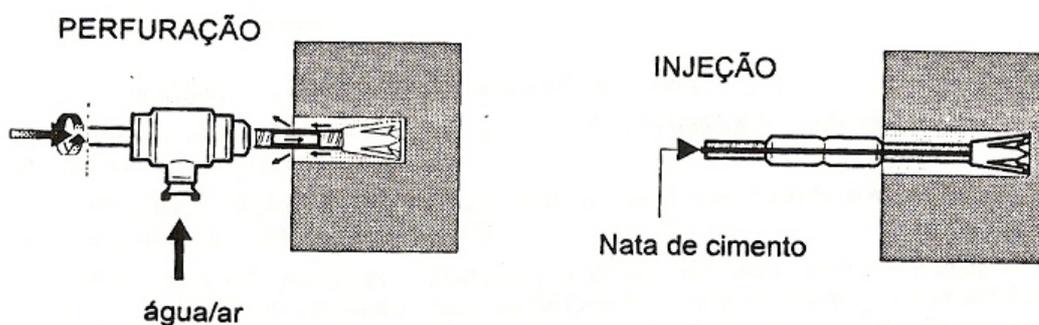


Figura 8. Processo Titan (Dywidag) de instalação do reforço (Ortigão e Palmeira, 1992).

Outras tecnologias estão em desenvolvimento, tais como a execução de grampos tipo parafusos, feitos com barras de aço de alta resistência, introduzidas no maciço com o auxílio de uma perfuratriz rotativa ou roto percussiva (Figura 9).

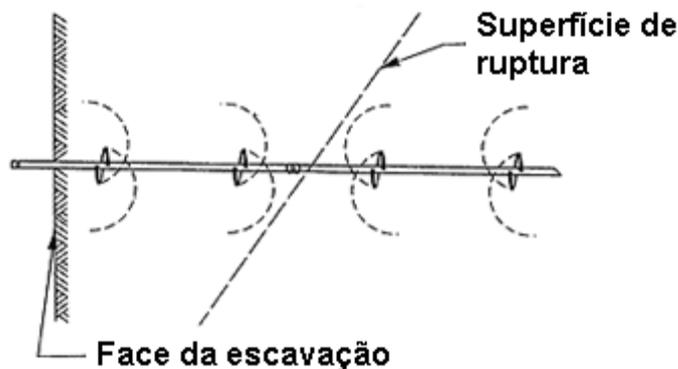
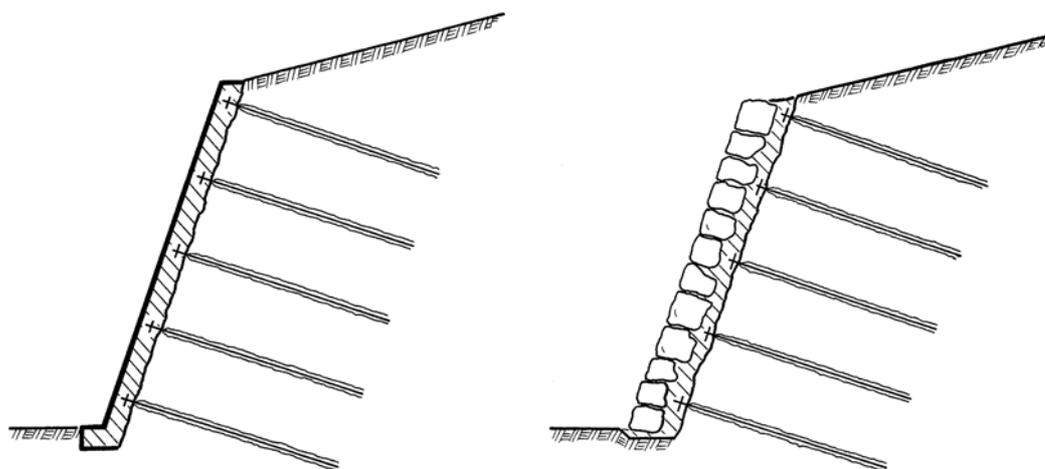


Figura 9. Grampos aparafusados (Chance, 2005).

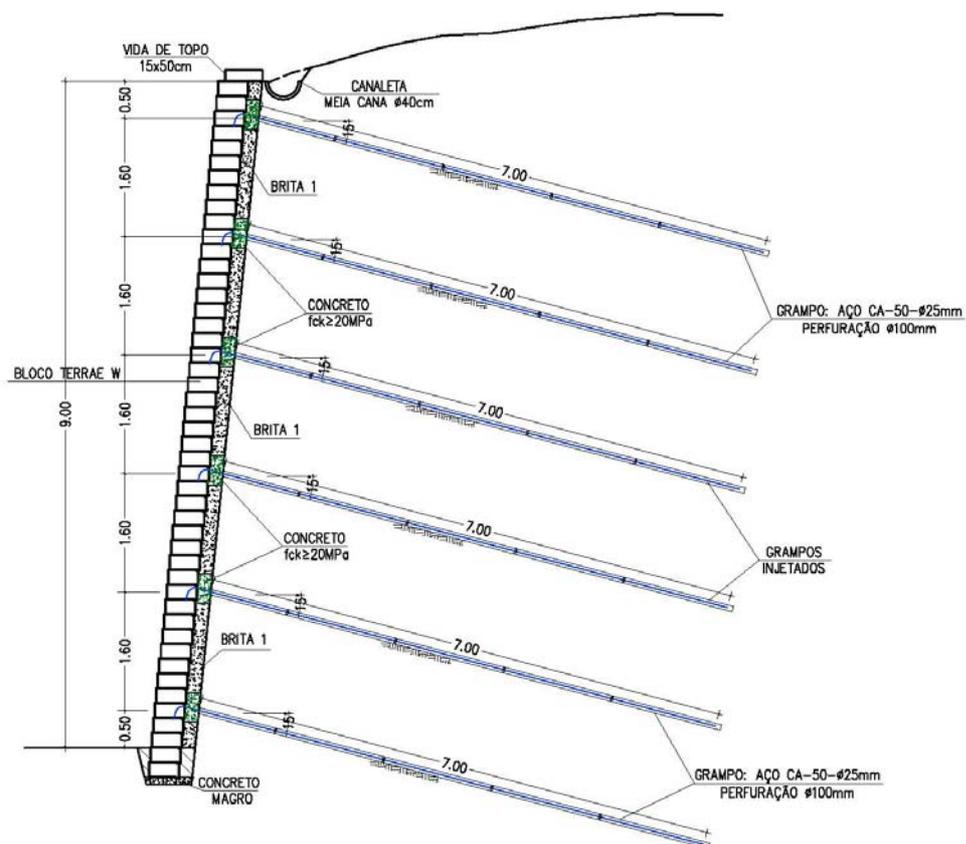
### 3. Construção de parede no local:

Em geral o revestimento da parede é de concreto projetado com uma malha de tela soldada (Figura 10a). Podem ser utilizados painéis pré-fabricados, em função de aspectos arquitetônicos (Figura 10b). Uma boa alternativa de execução da face, para taludes em corte, é a utilização de blocos pré-fabricados do tipo Terrae (Figura 10c). Estes dão um bom acabamento para a obra, facilitam a execução e garantem a drenagem (Saramago et al., 2005; Ferreira Jr. et al., 2006). Flum e Rügger (2004) e Flum et al. (2005) reportaram outra solução alternativa para a execução da face com a utilização de uma malha de arame de aço de alta resistência, combinada com o adequado grampeamento do talude. Em taludes com inclinação mais suave (da ordem de  $45^\circ$ ), é possível adotar revestimento vegetal (Pinto e Silveira, 2001) ou grama armada (Alonso, 2005).

A primeira atenção dada à industrialização com o desenvolvimento de componentes pré-fabricados da face foi na França (Clouterre, 1991). Mitchell e Villet (1987) apresentaram uma solução interessante de suporte para abertura de poços circulares, escavados de cima para baixo, através de painéis metálicos com grampos ancorados (Figura 11). Casos de utilização de estruturas em solo grampeado com painéis pré-fabricados também foram descritos por Alston e Crowe (1993). Aplicação de placas pré-moldadas de concreto em taludes de solo residual pode ser vista no trabalho de Sigourney (1996), conforme ilustra a Figura 12, e em Pokharel (2004).



(a) Revestimento de concreto projetado (b) Revestimento de concreto projetado com painéis pré-fabricados



(c) Revestimento da face com blocos pré-fabricados do tipo Terraê

Figura 10. Revestimento da parede de solo grampeado (Ingold, 2000; Saramago et al., 2005).

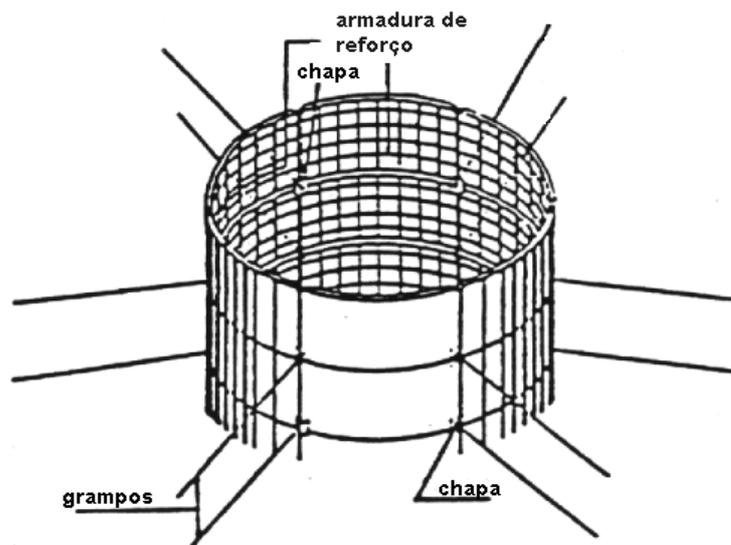


Figura 11. Suporte circular usando a técnica de solo grampeado (Mitchell e Villet, 1987).

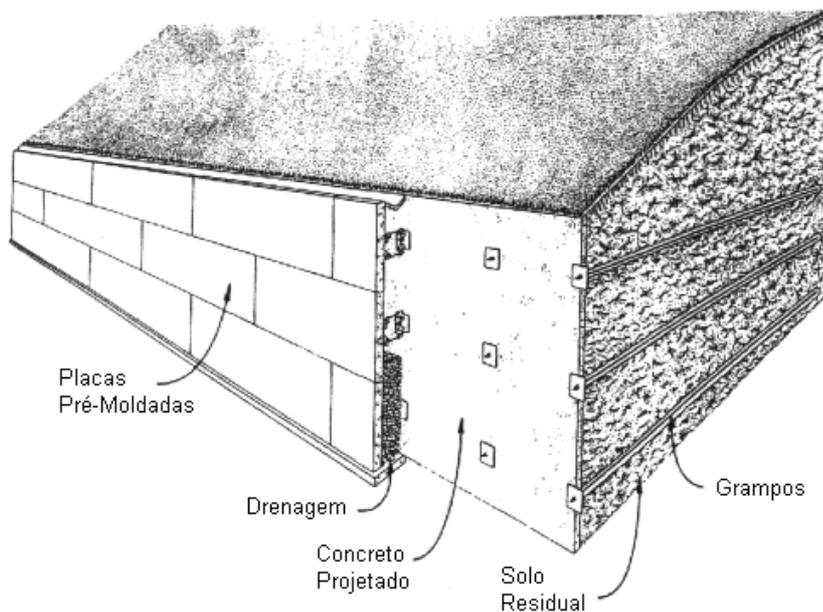


Figura 12. Placas pré-moldadas em talude de solo residual (Sigourney, 1996).

As telas eletrosoldadas têm servido como armação do concreto projetado. A partir de 1992, têm-se utilizado alternativamente, concreto com fibras metálicas de aço. Estas promovem uma redução da equipe de trabalho e espessura da parede e uma conseqüente economia de 20 a 40% por metro quadrado aplicado (Zirlis et al., 1999). A parede é destinada a evitar a desagregação do solo superficial local e, conseqüentemente, deslocamentos indesejados. A espessura da parede da estrutura depende principalmente do "layout" dos grampos. Em alguns casos uma camada

dupla de concreto pode ser aplicada. No Brasil, o revestimento comumente utilizado é o concreto projetado com espessura de 10cm sobre tela metálica (tela soldada de aço CA-60) do tipo Q196 ou similar (Lima Filho, 2000).

No caso do revestimento em concreto projetado, sua aplicação depende do correto dimensionamento das redes de condução de ar, vazão e pressão do compressor e principalmente do ajuste da bomba e da projeção manual (Zirlis e Pitta, 1992). A aplicação do concreto projetado pode ser feita por via úmida ou seca. O usual é por via seca por ser mais prático. O trabalho pode ser interrompido e reiniciado sem perdas de material e de tempo para limpeza do equipamento. A elevada energia de projeção produz uma compactação adequada do concreto que colabora para garantir uma alta resistência, bem como o adensamento da capa superficial do solo com uma eficiente colagem. A resistência à compressão do concreto projetado, associada ao tempo de cura é apresentada na Figura 13. Mais detalhes sobre a aplicação do concreto projetado por via úmida e via seca podem ser vistos em Zirlis e Pitta (1992), Byrne et al. (1998) e Hachich et al. (1999).

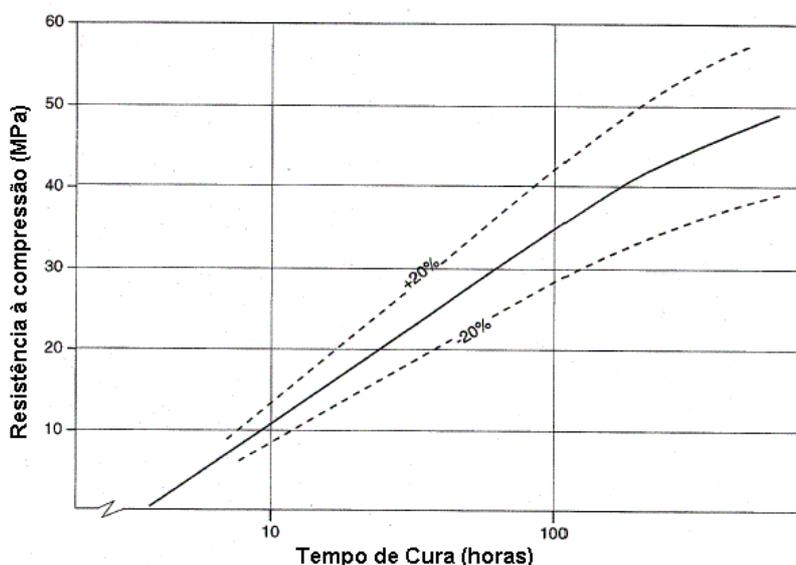


Figura 13. Resistência à compressão simples do concreto projetado (Byrne et al., 1998).

As fases de escavação, instalação dos grampos e estabilização da face são repetidas até completar a escavação projetada.

Sistemas de drenagem devem ser previstos quando se utiliza a técnica de solo grampeado. A prática usual recomenda a execução dos dispositivos convencionais de drenagem profunda e de superfície. Estes dispositivos devem ser considerados na fase de projeto, de forma a evitar o fluxo interno de água e devem ser instalados antes da construção da parede de concreto.

Como drenagem profunda há drenos subhorizontais profundos de tubos de plásticos drenantes de 38 a 50mm (1½" a 2") de diâmetro. Estes tubos são envoltos por tela de nylon #60 ou por BIDIM OP20 que devem ser especificadas em função do tipo de solo (para se evitar a colmatação dos drenos em solos argilosos). São drenos lineares embutidos no maciço em perfurações no solo de 63 a 100mm (2½" a 4") e seus comprimentos se situam normalmente entre 6 e 18m (Figura 14).

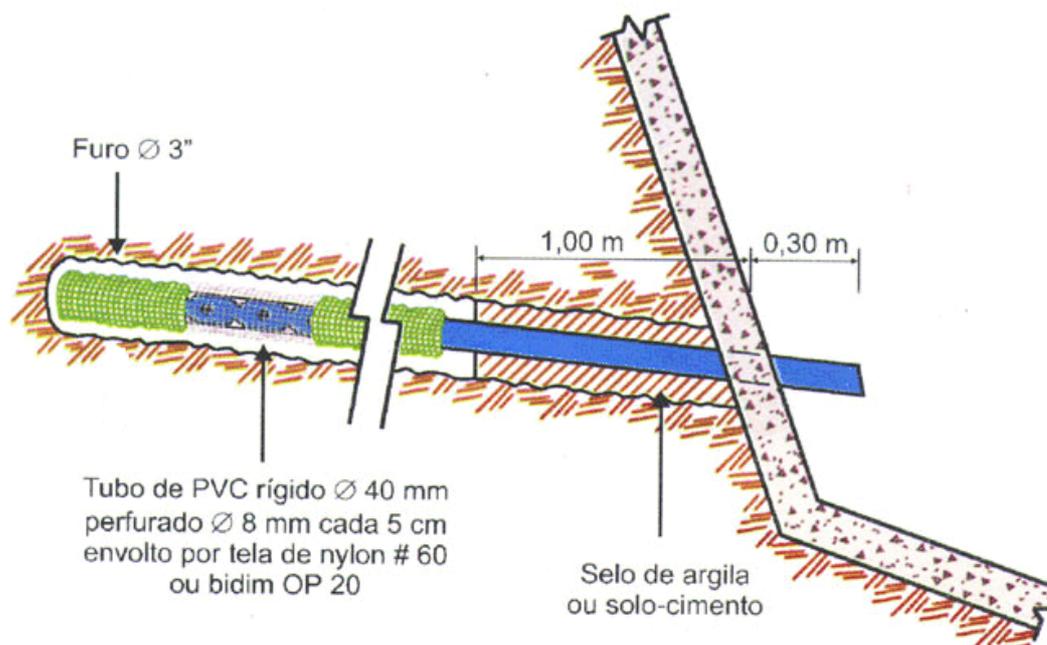


Figura 14. Drenos subhorizontais profundos (Zirlis et al., 1999).

A drenagem superficial pode ser realizada por drenos atrás e adjacentes ao revestimento de concreto. Podem ser utilizados drenos tipo barbacãs e drenos de paramento. O dreno tipo barbacã é ilustrado na Figura 15. Compreende uma escavação de uma cavidade com cerca de 40x40x40cm, preenchida com material arenoso ou brita, ligada a um tubo de PVC drenante, partindo de seu interior para fora do revestimento com inclinação descendente. Trata-se de uma drenagem pontual.

O dreno de paramento é formado por uma calha plástica ondulada revestida por manta geotêxtil numa escavação de 10x30cm, na direção vertical da crista até o pé do talude. Aflora na canaleta do pé, sendo considerado um dreno linear eficiente e recomendável para projeto (Figura 16).

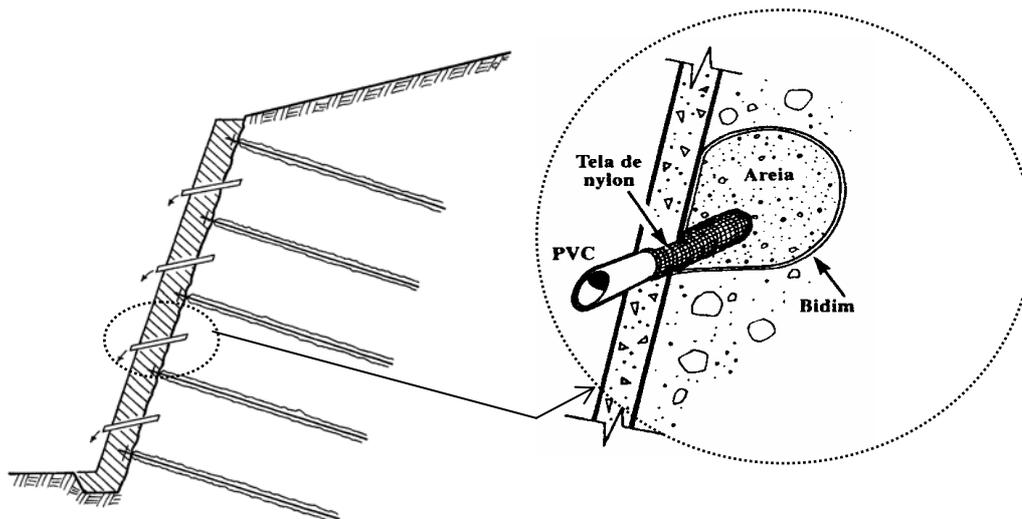


Figura 15. Drenagem superficial com barbacã (adaptado de Hachich et al., 1999).

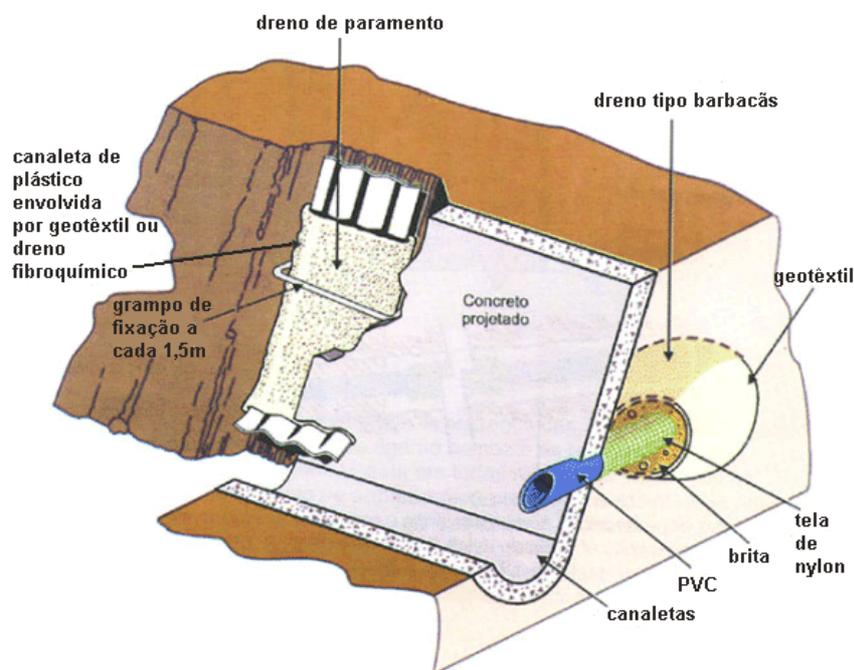


Figura 16. Drenagem superficial com dreno do paramento (Zirlis et al., 1999).

As canaletas de crista (Figura 17) e pé, bem como as escadas de descida d'água são moldadas "in loco" e revestidas por concreto projetado.

Quanto aos aspectos executivos, ressalta-se que boa parte dos problemas verificados em obras de contenção está relacionada com deficiências de drenagem. Tidas geralmente como intervenções auxiliares, as obras de drenagem são tão importantes quanto a estrutura em si. Recomenda-se, durante a fase de projeto, a determinação das posições e fluxos do lençol freático para o correto ajuste do sistema de drenagem. Snow e Cotton (2000) apresentaram uma discussão sobre as

considerações técnicas no projeto de sistemas de drenagens, em escavações grampeadas.

Outro problema comum das obras de contenção consiste na falta de manutenção. É preciso checar, por exemplo, se as canaletas do sistema de drenagem estão trincadas, se a água está correndo por ali, se há muito sujeira e se os barbacãs estão em bom estado e/ou desobstruídos. Cuidar da proteção natural ou artificial é outro item importante de manutenção. A vegetação, por exemplo, protege a superfície do terreno contra a erosão e dificulta a penetração de águas pluviais no solo.

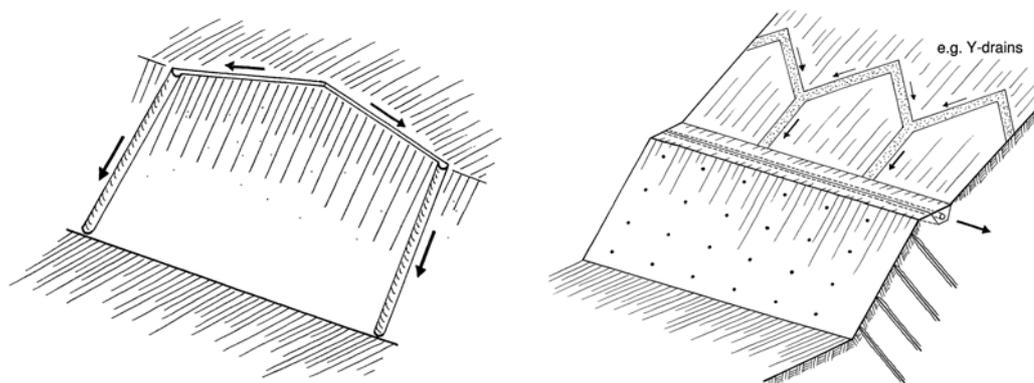


Figura 17. Canaletas de crista em estruturas de solo grampeado (Ingold, 2000).

É também conveniente executar uma pequena ficha, com o próprio paramento, abaixo do nível final da escavação, evitando a possibilidade de carreamento de finos por ação de infiltração de água, além de manter o solo confinado atrás do paramento. Garante-se assim a estabilidade no pé do talude em solo grampeado. A profundidade da ficha ( $f$ ) depende essencialmente da qualidade do terreno, bem como da geometria do paramento. Para efeito de projeto, pode-se adotar  $f=0,20\text{m}$  para alteração de rocha e  $f=0,40\text{m}$  para solos em geral (Lima Filho, 2000).

Não existe até o presente momento normalização brasileira que regulamente a execução de estruturas em solo grampeado. Dias (1992) apresenta uma sugestão de procedimentos básicos para a execução de estabilização de taludes com solo grampeado, estruturado nos moldes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a finalidade de subsidiar a elaboração de uma futura norma sobre o assunto. O manual técnico publicado pela GeoRio (Ortigão e Sayão, 2000) sugere inúmeras recomendações para projetos em solo grampeado. Outras recomendações foram publicadas em Clouterre (1991 e 2002), Byrne et al. (1998), Gerscovich et al. (2002), Pitta et al. (2003), Lazarte et al. (2003) e Tan e Chow (2004).

### 2.1.5. Aplicação da técnica no exterior

A primeira construção na França foi realizada em Versalhes em 1972. Consistiu numa estrutura temporária com alta densidade de grampos curtos, com comprimentos de 4 a 6m. O solo era constituído de arenito de Fontainbleau ( $\phi'=33^\circ$  a  $40^\circ$  e  $c'=20\text{kPa}$ ). O espaçamento entre grampos foi de 70cm. Os reforços foram injetados em furos de cerca de 100mm de diâmetro em talude de  $70^\circ$  de inclinação (Figura 18). Grandes estruturas em solo grampeado na França foram realizadas em Montpellier (1985) e na construção da linha do trem de grande velocidade TGV (em 1990) (Clouterre, 1991). As Figuras 19a e 19b ilustram estas obras.

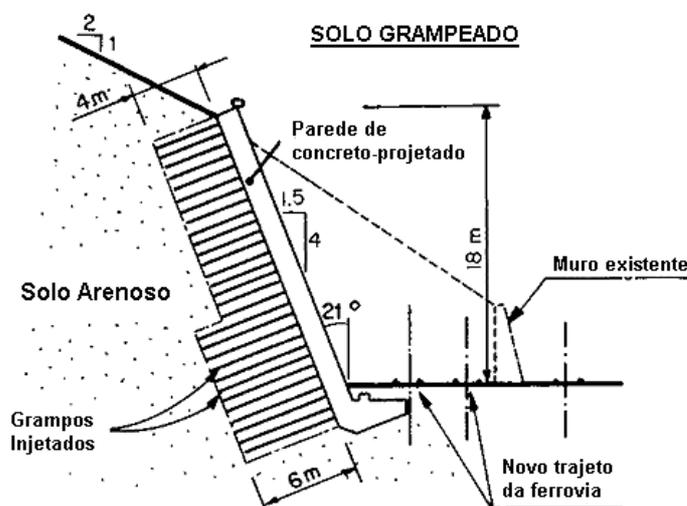


Figura 18. Primeira estrutura em solo grampeado na França (Clouterre, 1991).

Em 1972, nos Estados Unidos, foi realizada uma escavação de 13,7m de profundidade, gerando  $2.140\text{m}^2$  de talude vertical a ser contido. O solo era caracterizado por sedimentos medianamente compactos a compactos de areia fina e silte ( $\phi'=36^\circ$  a  $40^\circ$  e  $c'=20\text{kPa}$ ). Sendo uma obra pioneira, um grande número de instrumentos e estudos foram executados (Zirlis e Pitta, 1992). Mais recentemente, Armour e Cotton (2003) fizeram um relato dos avanços e da experiência americana em solo grampeado nos últimos 15 anos, descrevendo aspectos interessantes, tais como a utilização de grampos subverticais em áreas densamente construídas.

O primeiro experimento em grande escala na Alemanha (Stocker et al., 1979) foi uma construção usando grampos injetados que foram carregados até a ruptura por uma sobrecarga no topo da parede da estrutura. O desenvolvimento da técnica neste país tem sido liderado pelo especialista Karl Bauer em associação com o "Institut fur Bodenmechanik und Felsmechanik" (IBF), da Universidade de Karlsruhe,

com o suporte financeiro do Ministério de Pesquisa e Tecnologia. Em quatro anos de programa, com início em 1975, oito programas de instrumentação de obras em solo grampeado foram realizados e analisados (Stocker et al., 1979). Em 1981, mais de 20 projetos foram desenvolvidos com sucesso, confirmando a viabilidade técnica e econômica de estruturas em solo grampeado (Gässler e Gudehus, 1981). Gässler (1990) relatou a execução de obras em solo grampeado com 23m de altura.

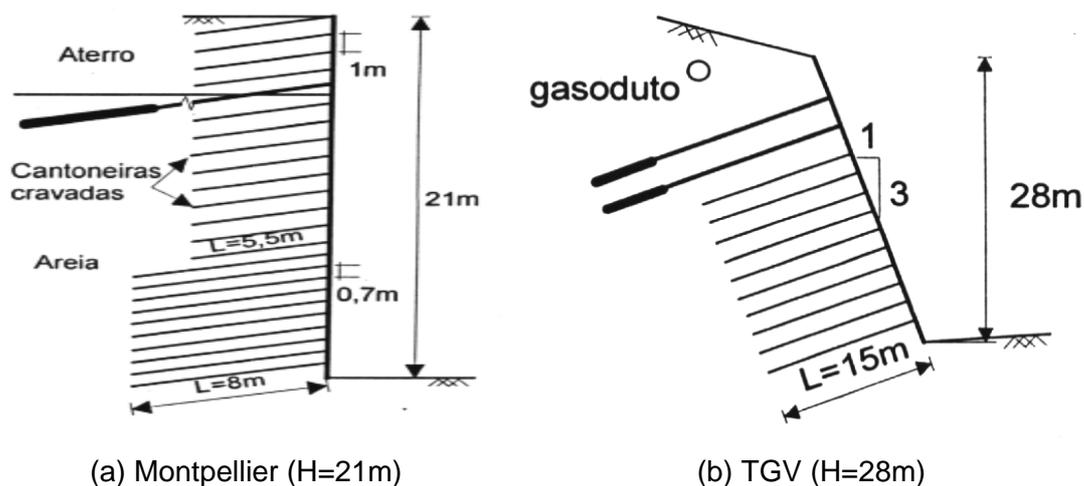


Figura 19. Estruturas grampeadas na França (Ortigão e Palmeira, 1992).

Shen et al. (1981) relataram a execução de inúmeras obras em solo grampeado, a partir de 1976, em diversas condições de solo no oeste do Canadá. Resultados da pesquisa e monitoramento de uma estrutura em solo grampeado, incluindo ensaios em centrífuga, modelagem numérica e instrumentação de campo foram publicados no seu trabalho. Outros resultados experimentais com a realização de ensaios em centrífuga podem ser vistos nos trabalhos de Vucetic et al. (1993), Zornberg et al. (1997) e Allersma e Bartsch (2004).

O solo grampeado é atualmente, uma técnica também bastante difundida no continente Asiático, especialmente no Japão. Powell e Watkins (1990) demonstraram a eficiência da técnica de solo grampeado em diversas obras em Hong Kong. Os casos estudados comprovaram a viabilidade econômica da técnica para estabilização de taludes naturais, nos quais os grampos podem ser instalados sem grandes perturbações do maciço de solo. O emprego freqüente desta técnica, em Hong Kong, está documentado em HKIE (2003).

Barley (1993) reportou sete casos de obras em solo grampeado realizadas na Grã-Bretanha, entre os anos de 1985 e 1991. A técnica foi utilizada para a estabilização de taludes naturais ou resultantes de processo de escavação. Hall

(1995) relatou aspectos positivos nas construções de estruturas em solo grampeado no que diz respeito ao prazo e ao custo da obra.

Uma coletânea com os parâmetros de projetos utilizados em obras internacionais de estruturas em solo grampeado é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros típicos de maciços grampeados em obras internacionais (Ortigão e Palmeira, 1992; Unterreiner et al., 1995; Bruce e Jewell, 1986 e 1987; Shiu et al., 1997; Abramson et al., 1996)

Tipo de material	Talude		Grampo						$h_{\text{parede}}$
	$\beta$	altura	L	$\phi_{\text{aço}}$	$\phi_{\text{furo}}$	$\alpha$	$s_h$	$s_v$	
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m	
Silte arenoso	80	13,0	6 e 8	25 e 28	-	-	1,00	2,00	100
Areia siltosa	80	8,0	12	20	75	-	1,50	1,00	150
Arenoso	90	5,6 a 11,6	5,5 a 7	25,2 e 30,3	64 e 76	-	0,70	0,70	50 a 100
	90	7	6 a 8	30 a 40	-	-	1,15	1,00	100
	90	12	6	25,2	64	-	0,70	0,70	250
	70	21,6	6	14	100	20	0,70	0,70	80
Aterro/areia aluvionar/argila	90	12	6	28	crav.	20	0,70	0,70	-
Sedimentos de areia fina e silte	90	11,6	7 e 8,5	25 e 38	100	-	1,22	1,53	50
Xisto intemperizado	80	16,5	9	32	56	-	2,00	1,00	100
Silte aluvionar/arenoso /blocos de rocha	90	9,1	7	30	127	-	1,22	1,22	200
Areia Aluvionar	90	12	6	28	49	-	0,70	0,70	-
	90	11	6	25,2	64	-	0,70	0,70	-
Residual	80	13,5	6 a 11	32	100	10	1,00	1,50	100
Xisto intemperizado/ Siltito	75	12,3	9	30	114	-	1,52	1,52	150

Onde:  $\beta$ =ângulo de inclinação do talude; L=comprimento do grampo;  $\phi_{\text{aço}}$ =diâmetro da barra de aço;  $\phi_{\text{furo}}$ =diâmetro do furo do grampo;  $\alpha$ =inclinação do grampo com a horizontal;  $s_v$ =espaçamento vertical entre grampos;  $s_h$ =espaçamento horizontal entre grampos e  $h_{\text{parede}}$ =espessura da parede de concreto projetado.

### 2.1.6. Aplicação da técnica no Brasil

Obras de solo grampeado têm sido freqüentes no Brasil devido à adequação dos solos tropicais. Em 1966, a empresa Ródio Perfurações e Consolidações aplicou

concreto projetado com tela metálica para a estabilização de taludes na barragem de Xavantes. Em 1970, a SABESP utilizou o método NATM na construção do túnel de adução do Sistema Cantareira em São Paulo (Figura 20). Na estabilização do talude do emboque, empregaram-se chumbadores curtos, tela metálica e concreto projetado, aproveitando o sistema utilizado na construção de túneis (Zirlis et al., 1999). A partir de 1972, nos túneis e taludes da Rodovia dos Imigrantes foram executadas contenções com chumbadores (perfurados e injetados com calda ou somente cravados a percussão) além de reticulados de micro-estacas.

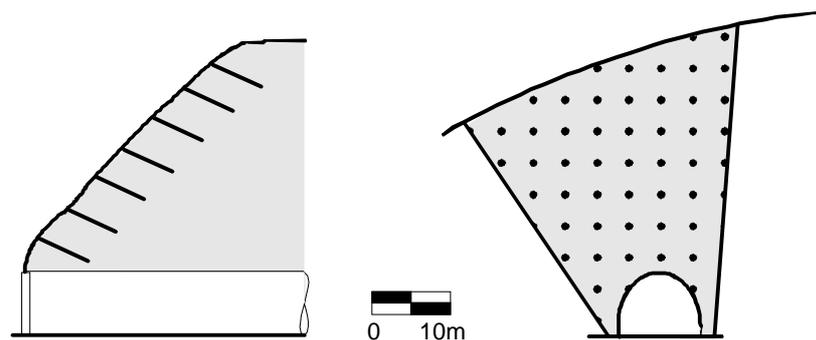


Figura 20. Contenção de taludes de emboques em 1970; (a) corte; (b) vista (Ortigão e Sayão, 2000).

Desde 1976, estruturas de solo grampeado de até 12m vêm sendo construídas em São Paulo, com grampos executados em concreto moldado “in loco” e a face de elementos pré-moldados, com denominação comercial de Rimobloco (Ortigão e Palmeira, 1992). Algumas estruturas em solo grampeado, com face em blocos pré-moldados tipo Terrae e cerca de 7m de altura, são apresentadas por Saramago et al. (2005).

Em Niterói, RJ, foi executado em 1984 um corte de 35m de altura (Figura 21) em solo saprolítico de gnaiss, para a implantação de um edifício. A parte inferior do corte, com cerca de 18m, foi estabilizada com tirantes. A parte superior, com altura de 17m e inclinação de  $75^\circ$ , foi grampeada com barras de 6 e 9m de comprimento e 25mm de diâmetro, injetadas com calda de cimento em furos de 90mm (Ortigão et al., 1992a; Ortigão e Sayão, 2000).

Ortigão et al. (1992a) relataram a estabilização de talude de filito bastante alterado, com 26m de altura e  $75^\circ$  de inclinação, sob a fundação de viaduto ferroviário. Foram adotados grampos de 75mm de diâmetro, armados com barra de aço de 25mm e injetados com calda de cimento sem pressão. A parede de concreto projetado teve espessura de 50mm (Figura 22).

Zirlis e Pitta (1992) descreveram 8 casos de obras permanentes em solo grampeado em taludes resultantes de processo de escavação e em taludes naturais. Em todos os casos foram previstos sistemas de drenagem superficial (canaletas, caixas de passagem e barbacãs) e, eventualmente, drenos subhorizontais profundos.

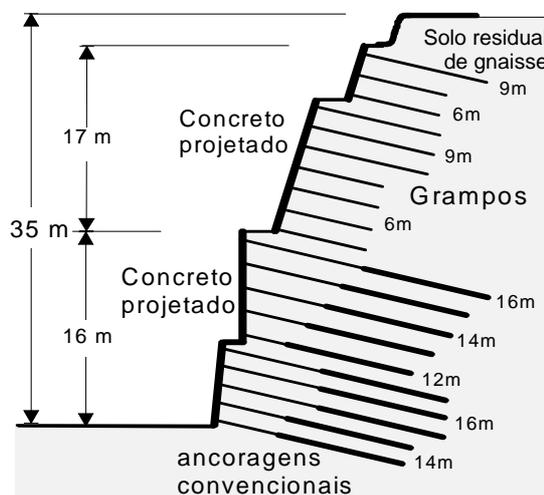


Figura 21. Escavação estabilizada com grampos e tirantes em Niterói - RJ (Ortigão e Sayão, 2000).

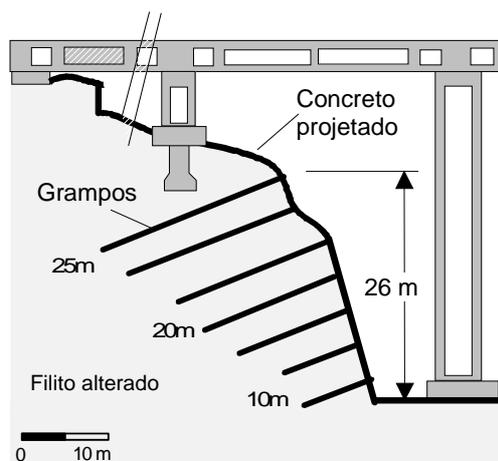


Figura 22. Talude grampeado sob a fundação de viaduto ferroviário (Ortigão et al., 1992a).

Ainda em 1992 foi realizada a primeira experiência em solo grampeado da GeoRio de caráter exclusivamente experimental, representada por uma contenção em solo grampeado com 5m de altura no Morro da Formiga (Figura 23), conforme relatado por Ortigão et al. (1992a) e Ortigão e Sayão (2000).

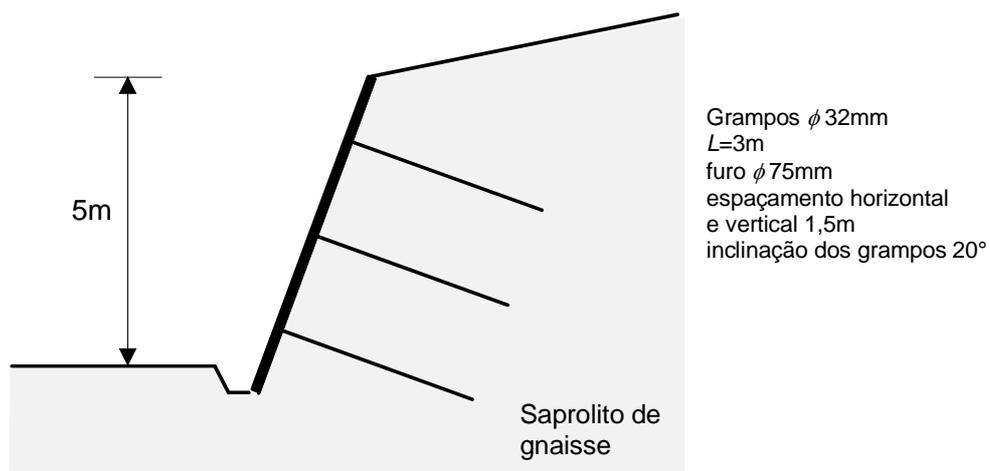


Figura 23. Muro experimental no Morro da Formiga (Ortigão e Sayão, 2000).

A Figura 24 ilustra, em planta e seção, a primeira obra projetada e executada pela Fundação GeoRio. A obra, realizada em 1996, constituiu-se em  $2.500\text{m}^2$  de estabilização com solo grampeado em uma encosta da avenida Automóvel Clube. Os grampos tiveram comprimentos de 4 e 6m, com barras de aço de 25mm de diâmetro.

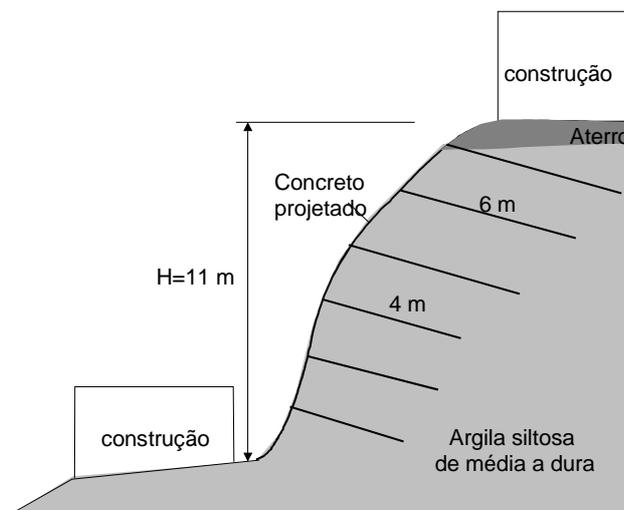


Figura 24. Talude grampeado, Av. Automóvel Clube (Ortigão e Sayão, 2000).

Várias obras de contenção com solo grampeado foram executadas em encostas da Linha Amarela (RJ), construída entre 1995 e 1997. Pinto e Silveira (2001) relataram as contenções aplicadas no Lote 2, que incluíram  $9.380\text{m}^2$  de construção em solo grampeado. Neste caso, a solução foi utilizada para a contenção de taludes de corte, que atingiram até 20m de altura em solo residual e rocha alterada (Figura 25). Em muitos casos, esta solução substituiu a cortina atirantada, sobretudo quando não havia restrições quanto à deformação na crista do talude. O

solo grampeado, por não ter barras protendidas, não inibe as deformações do terreno do mesmo modo que as cortinas atirantadas.

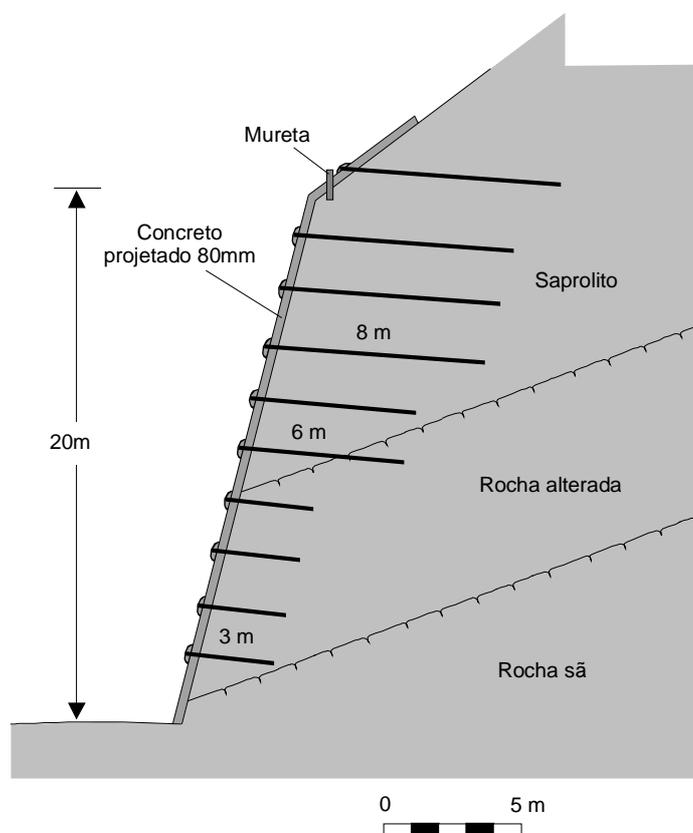


Figura 25. Solo grampeado, Linha Amarela - RJ (Ortigão e Sayão, 2000).

Reis e Costa (2001) aplicaram a técnica de solo grampeado para contenção no pé de alguns taludes, devido a algumas instabilizações localizadas, na obra de implantação do metrô de Brasília, DF.

Azambuja et al. (2001 e 2003) relataram o desenvolvimento de dois projetos de contenção em solo grampeado em Porto Alegre, RS. O primeiro caso descrito apresentou uma escavação tipo caixão com 350m de extensão e alturas variando entre 3,5m a 11m. O segundo caso apresentou soluções com solo grampeado em vários taludes de até 4m de altura, totalizando 70m de extensão.

Diversos projetos em solo grampeado com revestimento vegetal foram publicados por Gotlieb e Alonso (1997) e Alonso e Falconi (2003). Nesses trabalhos, foram apresentadas soluções de estabilização economicamente mais competitivas, substituindo o revestimento de concreto projetado por vegetação rasteira.

Algumas aplicações da técnica de solo grampeado em restaurações e reparações de muros de arrimos rompidos podem ser vistas em Hosken (2003).

Pitta et al. (2003), Décourt et al. (2003a), Lozano e de Castro (2003) e Souza et al. (2005) relataram diversos casos de obras em solo grampeado no estado de São Paulo. Nessas obras, a altura do talude em solo grampeado variou entre 2 a 14m e o comprimento dos grampos de 3 a 16m. Foram descritos os procedimentos de injeção e reinjeção dos grampos, assim como, os aspectos da instrumentação dos taludes (com marcos superficiais e inclinômetros), investigações de campo (ensaios de arrancamento dos grampos, SPT e SPT-T) e ensaios de laboratório (cisalhamento direto e triaxiais).

O histórico do desenvolvimento de solo grampeado no Brasil no período 1970 a 1994 foi publicado por Ortigão et al. (1993 e 1995). Grande parte da experiência nacional em solo grampeado no período entre 1983 e 1996 foi publicada em Hachich et al. (1999). Este trabalho apresenta um banco de dados de parâmetros geotécnicos utilizados em 60 obras de estruturas permanentes em solo grampeado. Em 18 casos, foi utilizada uma rotina de cálculo. Somente um caso foi instrumentado.

Mais recentemente, em 2003, foi realizado em São Paulo um “workshop” sobre projeto, execução, instrumentação e comportamento de obras em solo grampeado. Naquela ocasião foram descritos cerca de 38 casos de obras de solo grampeado (ABMS-NRSP; SINDUSCON-SP, 2003). Em algumas obras, foram executados ensaios de arrancamento dos grampos e controle dos deslocamentos da face da escavação com inclinômetros ou marcos superficiais.

Em Junho de 2004, no Rio de Janeiro, ocorreu um evento técnico sobre o uso da técnica de contenção em solo grampeado. O objetivo do evento foi discutir os aspectos relacionados a metodologias de investigação e de projeto, além de apresentar relatos de casos, avaliação de desempenho e patologias (ABMS-NRRJ e CLUBE DE ENGENHARIA-DTG, 2004).

Finalmente, Sandroni e da Silva (2005) apresentaram, na IV COBRAE, um relato sobre considerações de projetos em solo grampeado. Adicionalmente, os autores detalharam um caso recente de obra, em Niterói (RJ), onde foram utilizados “muros” de terreno reforçados com grampos, tanto em caráter provisório como definitivo. Trata-se de uma escavação a meia-encosta, para implantação de um edifício. O terreno da encosta é constituído por solo residual gnáissico, silto-argiloso (com N(SPT) de 25 a 35 golpes nos 20 metros superiores) e, por solo residual jovem, feldspático, silto-argiloso (N(SPT) entre 30 e 40 golpes, na parte mais profunda). O nível de água não foi encontrado pelas sondagens. Na parte dos fundos, o talude tem altura máxima da ordem de 35 metros. A Figura 26 apresenta a seção típica do talude. Detalhes da concepção da instrumentação e monitoramento desta obra são

descritos por Saré (2007). Resultados de ensaios de arrancamento dos grampos encontram-se publicados nos trabalhos de Proto Silva (2005) e Springer (2006).

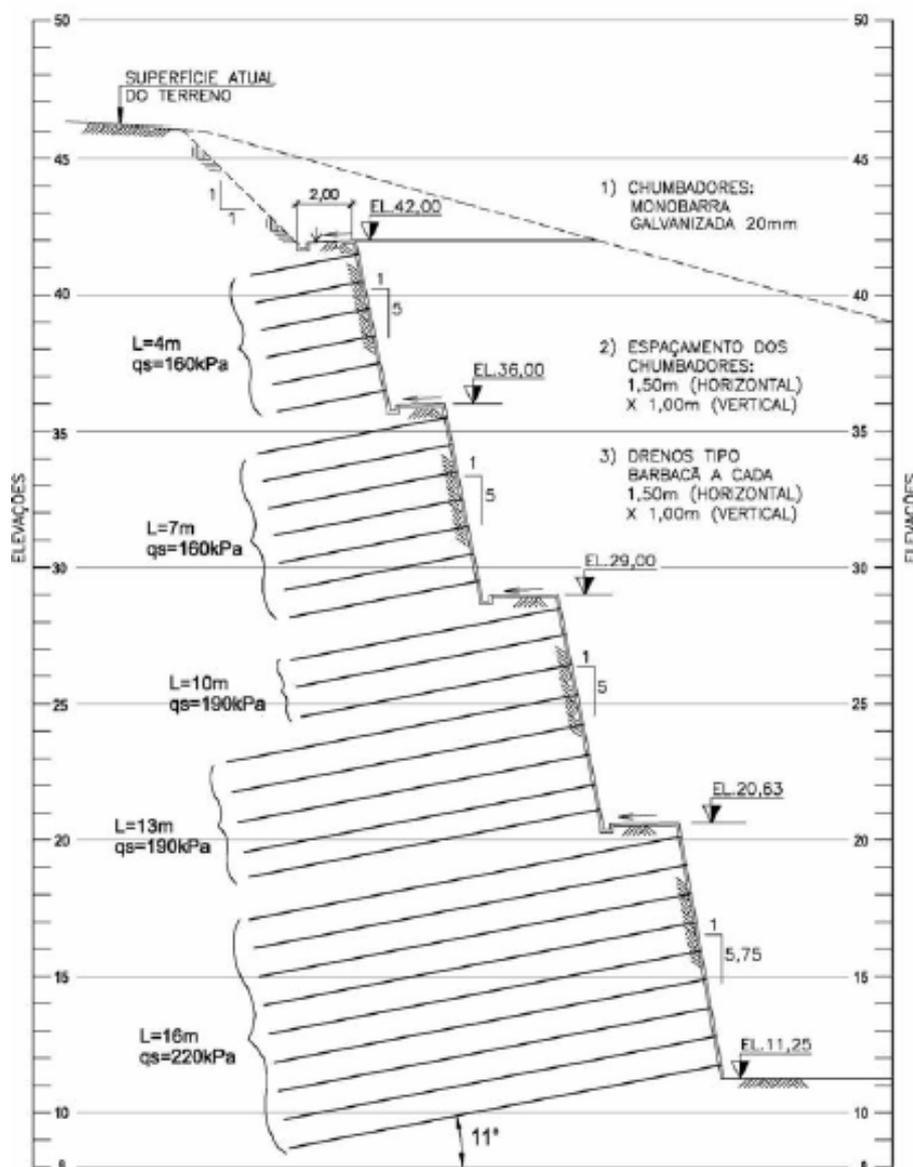


Figura 26. Solo grampeado em Niterói - RJ (Sandroni e da Silva, 2005).

Um resumo com os parâmetros de projetos utilizados em obras nacionais, para diversos tipos de solos, está ilustrado nas Tabelas 8 a 11. Vale ressaltar que, de todas as obras reportadas nestas tabelas, em menos de 10% houve algum tipo de instrumentação implementada.

Tabela 8. Parâmetros típicos de maciços grampeados (solos diversos) em obras nacionais (Hachich et al., 1999; Azambuja et al., 2001 e 2003; Pinto e Silveira, 2001; Pitta et al., 2003; Hosken, 2003; Soares e Gomes, 2003; Décourt et al., 2003a e 2003b; Moraes e Arduino, 2003; Lozano e de Castro, 2003, Alonso e Falconi, 2003; Oliveira et al., 2005; Lima Filho et al., 2005; Sandroni e da Silva, 2005)

Tipo de Material	Talude		Grampo						h <sub>parede</sub>
	$\beta$	altura	L	$\phi_{\text{aço}}$	$\phi_{\text{furo}}$	$\alpha$	S <sub>h</sub>	S <sub>v</sub>	
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m	
Areia Argilosa	90	9,7	5,0	20	-	-	1,5	1,5	150
	90	6,0	4,0	20	-	-	1,4	1,0	70
	90	12,0	8,0	20	-	-	1,2	1,2	-
Areia Siltosa	90	14,0	8,0	-	-	-	1,3	1,3	80
<b>Média</b>	<b>90</b>	<b>10,4</b>	<b>6,3</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>100</b>
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>14,0</b>	<b>8,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>150</b>
<b>Mínimo</b>	<b>90</b>	<b>6,0</b>	<b>4,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>	<b>70</b>
Argila Arenosa	83	6,5	8,0	20	-	-	-	-	70
	90	4,7	4,0	20	-	-	-	-	70
	-	-	3,5 a 6	20	-	-	-	-	-
<b>Média</b>	<b>86</b>	<b>5,5</b>	<b>6,0</b>	<b>20</b>	-	-	-	-	-
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>6,5</b>	<b>8,0</b>	<b>20</b>	-	-	-	-	-
<b>Mínimo</b>	<b>83</b>	<b>4,7</b>	<b>4,0</b>	<b>20</b>	-	-	-	-	-
Argila Orgânica Siltosa	90	4,8	3,0 a 6,0	20	-	-	1,2	1,0	150
Argila Porosa	90	13,5	9,0 a 13,5	20	-	-	1,3	1,4	80
	90	12	3,8 a 10	20	-	-	1,3	1,4	80
	90	10,7	8,0	20	-	-	-	-	120
	90	4,2	8,0	20	-	-	-	-	100
	90	6,8 a 11,8	4,0 a 10,0	16 e 20	-	-	1,5	1,5	70
<b>Média</b>	<b>90</b>	<b>9,0</b>	<b>8,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>100</b>
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>13,5</b>	<b>8,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>150</b>
<b>Mínimo</b>	<b>90</b>	<b>4,2</b>	<b>8,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>	<b>70</b>
Silte Arenoso	75	12,5	3,6 a 7,0	20	75	15	2,0	1,5	100
	90	7,5	5,0	20	-	-	-	-	70
	90	6,0	4,0 a 6,0	13 a 20	-	-	1,3	1,3	80
	90	5,1	4,0	20	-	-	1,3	1,3	70
	90	11,0	7,0	20	-	-	-	-	70
	90	4,0	4,0	20	-	-	1,0	1,0	75
	90	7,0	6,0	25	-	-	1,0	1,0	80
Silte	90	6,0	4,0	20	-	-	1,0	2,1	100
	90	12,0	10,0	-	-	-	-	-	-
	60	7,0 a 16,0	6,0 a 10,0	25	75	30	1,5	1,5	100
<b>Média</b>	<b>85</b>	<b>7,9</b>	<b>5,7</b>	<b>20</b>	<b>75</b>	<b>22,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>82</b>
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>12,5</b>	<b>10,0</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>30</b>	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>100</b>
<b>Mínimo</b>	<b>60</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>20</b>	<b>75</b>	<b>15</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>70</b>

Tabela 9. Parâmetros típicos de maciços grampeados (solos diversos) em obras nacionais (Hachich et al., 1999; Azambuja et al., 2001 e 2003; Pinto e Silveira, 2001; Pitta et al., 2003; Hosken, 2003; Soares e Gomes, 2003; Décourt et al., 2003a e 2003b; Moraes e Arduino, 2003; Lozano e de Castro, 2003, Alonso e Falconi, 2003; Oliveira et al., 2005; Lima Filho et al., 2005; Sandroni e da Silva, 2005)

Tipo de Material	Talude		Grampo						h <sub>parede</sub>
	$\beta$	altura	L	$\phi_{aço}$	$\phi_{furo}$	$\alpha$	S <sub>h</sub>	S <sub>v</sub>	
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m	
Argila Silto-Arenosa	85	13,3	8,0	20	-	-	-	-	70
	74	13,0	8,0	20	-	-	-	-	90
	80	14,0	8,0	20	-	-	-	-	90
	90	4,0	10,0	20	-	-	-	-	-
	90	4,0	8,0	20	-	-	-	-	80
	74 e 90	7,5	8,0	20	-	-	-	-	100
	-	3,3	3,0	20	-	-	-	-	70
	90	7,4	8,0	20	-	-	-	-	100
	90	6,7	6,0	20	-	-	-	-	100
	90	5,9	5,0	16	-	-	-	-	70
	90	7,0	5,0	16	-	-	-	-	70
	90	6,0	5,0	16	-	-	-	-	70
	90	7,9	6,0	16	-	-	-	-	70
	90	7,0	5,0	16	-	-	-	-	70
	90	7,0	7,0	16	-	-	-	-	70
90	5,4 a 9,7	4,0 a 9,0	20	-	-	1,2	1,2	70	
<b>Média</b>	<b>88</b>	<b>7,6</b>	<b>6,7</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>80</b>
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>14,0</b>	<b>10,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>100</b>
<b>Mínimo</b>	<b>74</b>	<b>3,3</b>	<b>3,0</b>	<b>16</b>	-	-	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>70</b>
Argila Siltosa	90	7,0	5,0	20	-	-	1,5	1,5	80
	90	10,2	8,0	20	-	-	1,5	1,5	70
	90	8,0	6,0	20	-	-	1,2	1,1	70
	90	8,0	6,0	20	-	-	1,2	1,2	70
	90	6,0 a 9,5	4,0 a 6	20	-	-	1,3	1,1	70
	60	13,0	7,0	20	-	-	-	-	50 / 70 100
	35 a 65	14,2	8,0	20	-	-	-	-	70
	90	7,9	8,0	20	-	-	-	-	100
	90	5,6	4,0	20	-	-	-	-	70
	80	5,0	6,0	20	-	-	-	-	70
	90	7,1	6,0	20	-	-	-	-	100
	90	6,1	5,0	16	-	-	-	-	70
	90	7,6	4,0	16	-	-	-	-	70
	90	6,0	5,0	20	-	-	1,2	1,2	70
	90	10,7	8,0	20	-	-	-	-	70
84	9,8	4,0	20	-	-	-	-	70	
70 e 90	8,3	8,0	20	-	-	-	-	100	
<b>Média</b>	<b>87</b>	<b>8,4</b>	<b>6,1</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>76</b>
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>14,2</b>	<b>8,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>100</b>
<b>Mínimo</b>	<b>60</b>	<b>5,0</b>	<b>4,0</b>	<b>16</b>	-	-	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>70</b>

Tabela 10. Parâmetros típicos de maciços grampeados (solos diversos) em obras nacionais (Hachich et al., 1999; Azambuja et al., 2001 e 2003; Pinto e Silveira, 2001; Pitta et al., 2003; Hosken, 2003; Soares e Gomes, 2003; Décourt et al., 2003a e 2003b; Moraes e Arduino, 2003; Lozano e de Castro, 2003, Alonso e Falconi, 2003; Oliveira et al., 2005; Lima Filho et al., 2005; Sandroni e da Silva, 2005)

Tipo de Material	Talude		Grampo						h <sub>parede</sub>
	$\beta$	altura	L	$\phi_{aço}$	$\phi_{furo}$	$\alpha$	S <sub>h</sub>	S <sub>v</sub>	
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m	
Colúvio	90	4,5	6,0	20	-	-	1,1	1,1	70
	90	10,0	8,0	20	-	-	1,0	1,4	100
	75	11,0	5,5 a 9,0	20	-	-	1,5	1,3	100
	90	6,0	4,0	20	-	-	1,5	1,5	70
	90	4,2	6,0	20	-	-	1,4	1,3	100
	70-90	2,0 a 7,5	6,0	20	-	-	1,5	1,5	80
	90	5,0	5,0	20	-	-	1,2	1,3	70
	75	7,0	6,0	20	-	-	1,2	1,5	70
	60	6,4	5,0	20	-	-	1,2	1,3	70
<b>Média</b>	<b>83</b>	<b>6,8</b>	<b>5,8</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>80</b>
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>11,0</b>	<b>8,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>100</b>
<b>Mínimo</b>	<b>60</b>	<b>4,2</b>	<b>4,0</b>	<b>20</b>	-	-	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>70</b>

Tabela 11. Parâmetros típicos de maciços grampeados (solos diversos) em obras nacionais (Hachich et al., 1999; Azambuja et al., 2001 e 2003; Pinto e Silveira, 2001; Pitta et al., 2003; Hosken, 2003; Soares e Gomes, 2003; Décourt et al., 2003a e 2003b; Moraes e Arduino, 2003; Lozano e de Castro, 2003, Alonso e Falconi, 2003; Oliveira et al., 2005; Lima Filho et al., 2005; Sandroni e da Silva, 2005)

Tipo de Material	Talude		Grampo						h <sub>parede</sub>
	$\beta$	altura	L	$\phi_{aço}$	$\phi_{furo}$	$\alpha$	S <sub>h</sub>	S <sub>v</sub>	
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m	
Solo Residual	90	11,0	3,0 a 12,0	20	100	-	1,3 a 2,0	1,3 a 2,0	120
	55	25,0	4,0	25	75	35	2,0	1,5	70
	75	17,0	6,0 e 9,0	25	90	15	1,5	1,5	150
	50	18,5	5,0	20	75	-	2,0	2,0	50
	60	12,4	5,0	20	75	30	2,0	2,0	50
	60	12,0	8,5	25	75	30	2,5	2,0	70
	60	15,0	7,0	20	75	30	2,5	2,5	50
	75	9,0	5,0	25	50	15	1,5	1,5	100
	70	10,7	4,0	25	75	20	1,5	0,8	100
	70	11,1	6,0	25	75	20	2,0	2,0	70
	75	10,0	4,0	16	75	15	2,0	1,5	60
	60	6,0	3,0	20	75	30	1,5	1,5	70
	80	10,0	5,5	20	75	10	2,0	1,5	50
	75	11,5	5,5	20	75	15	2,0	1,5	100
	90	8,5	6,0	20	75	-	1,5	1,5	100
	70	8,0	5,5	20	75	20	1,5	1,5	70
	70	8,0	4,0	20	75	20	2,0	1,5	70
	90	6,0	6,0	25	100	-	1,3	1,5	100
	90	4,0	3,0	20	100	-	1,5	2,0	70
	90	4,0	3,0	20	100	-	1,5	2,0	70

Tabela 11 (continuação). Parâmetros típicos de maciços grampeados (solos diversos) em obras nacionais (Hachich et al., 1999; Azambuja et al., 2001 e 2003; Pinto e Silveira, 2001; Pitta et al., 2003; Hosken, 2003; Soares e Gomes, 2003; Décourt et al., 2003a e 2003b; Moraes e Arduino, 2003; Lozano e de Castro, 2003, Alonso e Falconi, 2003; Oliveira et al., 2005; Lima Filho et al., 2005; Sandroni e da Silva, 2005)

Tipo de Material	Talude		Grampo						h <sub>parede</sub>
	$\beta$	altura	L	$\phi_{\text{aço}}$	$\phi_{\text{furo}}$	$\alpha$	S <sub>h</sub>	S <sub>v</sub>	
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m	
Solo Residual	65	6,0	7,0	20	100	25	1,2	1,2	100
	60	13,0	6,0	22	-	-	1,5	1,3	80
	70	15,0	5,0	13	-	-	2,0	2,0	100
	70	11,0	4,0	20	-	-	1,5	1,5	70
	90	5,2	3,0	20	-	-	1,0	1,0	70
	90	6,0 a 8,0	3 a 5,8	20	-	-	1 a 1,5	1 a 1,5	70 a 100
	70	15,0	6,0	20	-	-	1,5	1,5	100
	90	6,5	8,0	20	-	-	1,7	1,4	70
	90	6,0	6,0	20	-	-	1,5	1,5	70
	90	10,5	8,0	20	-	-	1,4	1,5	100
	60	6,0	-	-	-	-	-	-	70
	90	7,2	8,0	20	-	-	1,6	1,4	100
	60	8,0	9,0	20	-	-	2	2,2	70
	90	6,0	8,0	20	-	-	1,5	1,5	70
	75	11,4	3,0 a 4,0	20	-	-	1,5	1,5	100
	90	10,0	4,0	25	-	-	1,2	1,3	50
	90	7,0	4,0	25	-	-	1,2	1,3	50
	90	8,0	8,0	20	-	-	1,5	1,5	80
	90	10,0	6,0 a 10,0	20	-	-	1,5	1,5	80
	90	4,5	3,8	20	-	-	1,2	1,1	80
	90	5,5	4,0	20	-	-	1,2	1,2	100
	80	8,3	5,0 a 9,0	20	-	-	1,3	1,3	-
	90	6,0	4,0	20	-	-	1,5	1,5	50
	60	4,7	6,0	20	-	-	1,2	1,1	70
	60	23,0	10,0 a 16,0	20	-	-	1,5	1,3	-
	90	11,0	3 a 8	20	-	-	1,2	1,5	70
	90	4,5	5,0	20	-	-	1,3	1,5	100
	60	4,0	4,0	20	-	-	1,2	1,3	70
	80	2,5	4,0	16	-	-	1,1	1,5	80
	90	3 a 7	4,6	20	-	-	1,2	1,2	80
	90	6,0	4,0	20	-	-	2,0	2,0	70
	90	11,6	6,0	20	-	-	1,2	1,3	70
	70	3 a 6	5,0	20	-	-	1,3	1,3	100
80	5,8 a 9,3	6,0	20	-	-	1,2	1,5	70	
90	6,0	3,0	20	-	-	1,2	1,5	70	
90	18,8	9,0	20	-	-	1,2	1,2	70	
80	8,2	4,0	20	-	-	1,5	1,5	70	
90	8,4	6,0	20	-	-	1,2	1,2	70	
65	11,0	8,0	20	-	-	-	-	100	
90	10,5	4 a 11,7	20	100		1,7 a 1,2	1,7 a 1,2	80	

Tabela 11 (continuação). Parâmetros típicos de maciços grampeados (solos diversos) em obras nacionais (Hachich et al., 1999; Azambuja et al., 2001 e 2003; Pinto e Silveira, 2001; Pitta et al., 2003; Hosken, 2003; Soares e Gomes, 2003; Décourt et al., 2003a e 2003b; Moraes e Arduino, 2003; Lozano e de Castro, 2003, Alonso e Falconi, 2003; Oliveira et al., 2005; Lima Filho et al., 2005; Sandroni e da Silva, 2005)

Tipo de Material	Talude		Grampo						h <sub>parede</sub>
	$\beta$	altura	L	$\phi_{aço}$	$\phi_{furo}$	$\alpha$	S <sub>h</sub>	S <sub>v</sub>	
	graus	m	m	mm	mm	graus	m	m	
Solo Residual	85	4,0	2 a 3	20			1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	120
	70	8,5	5,5	20	-	-	-	-	100
	70	9,5	4,0	20	-	-	-	-	50 e 70
	80 e 90	8,3	8,0	20	-	-	-	-	100
	83	10,7	6,0	20	-	-	-	-	70
	85 e 90	7,2	10,0	20	-	-	-	-	100
	90	7,0	6,0	16					70
	78	9,4	5,5	20	81	22	1,5	1,5	80
	90	25,0	10,0	25	100	35	2,5	2,5	150
	50	2,5	3,0	13	50	10	1,0	0,8	50
80	30	4,0 a 16,0	20	75	11	1,5	1,0	120	
<b>Média</b>	<b>78</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>20</b>	<b>80</b>	<b>20</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>80</b>
<b>Máximo</b>	<b>90</b>	<b>30</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>100</b>	<b>35</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>150</b>
<b>Mínimo</b>	<b>50</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>12,5</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>50</b>

Onde:  $\beta$ =ângulo de inclinação do talude; L=comprimento do grampo;  $\phi_{aço}$ =diâmetro da barra de aço;  $\phi_{furo}$ =diâmetro do furo do grampo;  $\alpha$ =inclinação do grampo com a horizontal; S<sub>v</sub>=espaçamento vertical entre grampos; S<sub>h</sub>=espaçamento horizontal entre grampos e h<sub>parede</sub>=espessura da parede de concreto projetado.

### 2.1.7. Vantagens e limitações do solo grampeado

As principais vantagens da técnica em solo grampeado, que incentivaram o desenvolvimento nas últimas três décadas, são as seguintes:

1. Baixo custo. Em escavações de cerca de 10m de profundidade, atinge-se de 10% a 30% de economia em relação às cortinas atirantadas (Bruce e Jewell, 1986). Dringenberg e Craizer (1992) mostram uma redução, em torno de 20% nos custos, relativamente a outras modalidades de contenção. Estabilizações em solo grampeado demonstram serem bastante atraentes, principalmente como estruturas com limitação de altura ou onde é possível combinar a técnica com outro tipo de contenção (Myles, 1995). No desenvolvimento de projetos geotécnicos associados a programas de urbanização em favelas, a técnica de solo grampeado é bastante adotada, pois o menor custo possibilita para uma determinada verba, um maior número de intervenções (Lima Filho et al., 2005). Na Europa, reporta-se que o custo de execução de uma obra em solo grampeado é, em geral, 20% inferior ao custo de execução de cortinas

atirantadas. Nos Estados Unidos, grampos injetados podem custar de 10% a 30% menos que a técnica de cortina atirantada. A Tabela 12 apresenta uma faixa de valores para a execução de obras em solo grampeado nos Estados Unidos (Byrne et al., 1998). Vale ressaltar que o custo para a execução de uma contenção em solo grampeado é função de vários fatores, tais como o tipo de solo, a acessibilidade ao local, a altura da contenção, o tipo de material da face da escavação, o tratamento contra corrosão dos grampos e a vida útil da estrutura (temporária ou permanente).

Tabela 12. Custo médio para execução de solo grampeado nos EUA (Byrne et al., 1998)

Estruturas	Custo
temporárias	U\$200 – U\$300 / m <sup>2</sup>
permanentes	U\$300 – U\$600 / m <sup>2</sup>

Em comparação com a técnica de micro-estacas em solos homogêneos arenosos, a técnica de solo grampeado mostra-se mais econômica. Bruce e Jewell (1986) concluem que, para uma mesma geometria do talude, em solo arenoso, a densidade de inclusões horizontais (grampos horizontais) é bem mais reduzida que a de inclusões verticais (micro-estacas). Comparações com a técnica de solo reforçado mostram que estruturas em solo grampeado podem apresentar custos menores (Ingold, 1995).

Tozatto (2000), em estudos sobre 7 estruturas de contenção de baixa altura (H=3m), aponta a solução em solo grampeado, como sendo bastante atraente, com custo superior apenas ao da solução de muro de gravidade em solo-cimento (Figura 27);

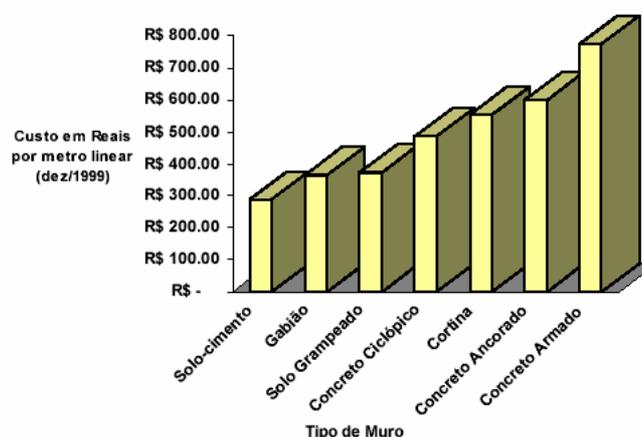


Figura 27. Classificação em ordem crescente de custos das estruturas de contenção estudadas (Tozatto, 2000).

2. Adaptabilidade às condições locais. Devida à utilização de equipamentos de pequeno e médio porte, que permitem a execução do solo grampeado em locais de difícil acesso (Moraes e Arduino, 2003; Soares e Gomes, 2003; Erlich, 2003; Lima Filho et al., 2005). Em grampos injetados, as perfurações são realizadas com equipamentos pesando entre 50 e 1000 kgf (Zirlis e Pitta, 1992);
3. Flexibilidade. Estruturas em solo grampeado são flexíveis e compactas, apresentando adequada resistência a esforços dinâmicos. Conseqüentemente, esta técnica mostra-se interessante em regiões sujeitas a terremotos (Shen et al., 1981);
4. Redução da quantidade de equipamentos e materiais de construção. A execução de solo grampeado requer apenas o uso de equipamentos leves de uma máquina para escavação de terra, uma máquina perfuradora e um equipamento de injeção. A bancada para o posicionamento do equipamento de perfuração/cravação deve ter pelo menos 6m de comprimento (Bruce e Jewell, 1987);
5. Rapidez de construção. Os trabalhos de escavação, perfuração e injeção podem ser realizados simultaneamente em posições diferentes da frente de trabalho;
6. Adaptabilidade a solos heterogêneos. Apesar da utilização dominante da técnica em solos homogêneos, uma estrutura em solo grampeado pode ser executada em solos heterogêneos, observando-se que a densidade, espaçamento, orientação e comprimento dos grampos variará conforme a resistência. Experiências bem sucedidas têm sido reportadas em taludes grampeados em solos residuais (Sigourney, 1996; Wong et al, 1997; Pinto e Silveira, 2001; Tozatto et al., 2001; Bernardes et al., 2004; Sayão et al., 2005);
7. Possibilidade de ajuste do projeto. Com o avanço das escavações e o conhecimento do material exposto durante a escavação, o sistema de solo grampeado permite adaptações do projeto. Essa dinâmica do projeto em meio à obra é, talvez, um dos grandes méritos do sistema de contenção em solo grampeado (Azambuja et al., 2001);

Por outro lado, a técnica de solo grampeado apresenta certas desvantagens, tais como :

1. Movimentações lateral e vertical inerentes à técnica. Deslocamentos laterais e verticais constituem uma limitação que é particularmente importante em áreas urbanas devido à presença de estruturas vizinhas. Em geral este limite é de 0,30% a 0,50%H, onde H é a altura da escavação. Em casos onde estas distorções são inaceitáveis, o projeto pode incluir ancoragens pré-tencionadas no topo do talude em solo grampeado. Devem-se medir os deslocamentos em todas as fases de construção e os manter dentro dos limites de tolerância pré-definidos;
2. Uso não recomendado em solos abaixo do nível d'água, tendo em vista a dificuldade de escavação. Neste tipo de situação pode-se manter o NA rebaixado, no entanto a presença do NA "a posteriori" poderia acarretar a problemas de instabilidade do talude, assim como, de durabilidade dos grampos;
3. Uso pode ser dificultado em certas condições de solo: areias sem coesão aparente, ou em solos contendo uma alta porcentagem de argila, onde o teor de umidade poderia aumentar depois da construção, devido ao possível ingresso de água que acarretaria uma perda da resistência do solo e, conseqüentemente, uma significativa redução da resistência ao cisalhamento solo/grampo (Bolton e Stewart, 1990; Davis e Morgan, 2005). Um decréscimo nos valores de resistência ao cisalhamento na interface solo-grampo pode se tornar evidente se, depois da construção, o solo se tornar saturado (Schlosser e Unterreiner, 1990). Em solos não-coesivos, não é possível garantir a estabilidade de escavações verticais (estas escavações, com cerca de 1 a 2m de altura, devem se manter estáveis por um ou dois dias, em média). A eficácia do solo grampeado pode não ser comprovada em solos argilosos de menor consistência, com N(SPT) inferior a 10 golpes, pela dificuldade de se manter a face da escavação estável antes da execução do concreto projetado (Clouterre, 1991);
4. Vida útil em ambientes agressivos ou sujeitos à fluência. Considerando tanto estruturas temporárias quanto permanentes, particular atenção deve ser dada ao tempo que os grampos serão utilizados em solos corrosivos (ambientes agressivos) e para movimentos a longo prazo na estrutura, particularmente associado ao fenômeno de "creep" nos solos. Em argilas moles, com LL maior que 20% e resistência não-drenada ( $S_u$ ) menor que 50kPa, não se

indica este tipo de solução por causa de possíveis movimentações associadas de fluência (Abramson et al., 1996). Entretanto, em estruturas temporárias, a aplicação da técnica de solo grampeado pode ser eficiente em solos moles (Oral e Sheahan, 1998; Sheahan, 2000).

### 2.1.8. Comparação com outros sistemas de estabilização

#### ➤ solo grampeado x micro-estacas

O sistema de reforço por micro-estacas consiste na criação de um bloco monolítico rígido de solo reforçado, o qual se estende até uma determinada profundidade abaixo da superfície de ruptura. O sistema é formado por um conjunto de estacas de pequeno diâmetro com inclinações variadas, introduzidas no solo a fim de produzir no terreno uma massa de solo reforçada, a qual suporta a zona sem reforço semelhante ao mecanismo do muro de peso (Bruce e Jewell, 1986).

A principal diferença entre os dois sistemas está no fato de que o comportamento das micro-estacas é significativamente influenciado pelo arranjo geométrico dos reforços (Figura 28).

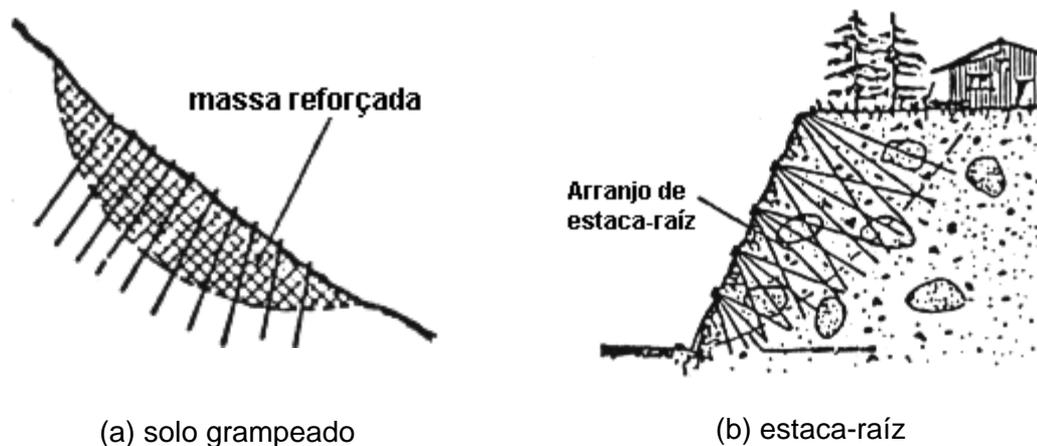


Figura 28. Comparação entre solo-grampeado e estaca-raíz (Mitchell e Villet, 1987).

#### ➤ solo grampeado x terra armada

Uma comparação entre as duas técnicas mostra grandes similaridades na geometria, no comportamento global e em algumas premissas de projeto, mas também indicam algumas importantes diferenças.

Solo grampeado é uma técnica de reforço “in situ” do solo, com escavações em sucessivas etapas. Terra armada é uma técnica de reforço de aterros, onde a estrutura reforçada é construída em sucessivas fases de baixo para cima. Desta

maneira, existem diferenças entre as duas técnicas no desenvolvimento dos deslocamentos e deformações, assim como nas tensões desenvolvidas no solo para a mesma geometria dos reforços.

Durante as sucessivas fases de escavação, o solo grampeado (atrás da parede) é sujeito à descompressão lateral e a recalques. Como resultado, no final da construção ocorre um leve desaprumo da face e os deslocamentos horizontais e verticais são, em geral, máximos no topo da escavação. Ao contrário, em paredes de terra armada, os deslocamentos laterais no pé da parede aumentam durante as sucessivas fases de reaterro devido à descompressão das camadas inferiores causada pelo peso do solo. O resultado é que, durante a construção, pequenas deformações ocorrem na base da estrutura onde os deslocamentos horizontais serão máximos. A Figura 29 ilustra a região das deformações máximas nas duas estruturas.

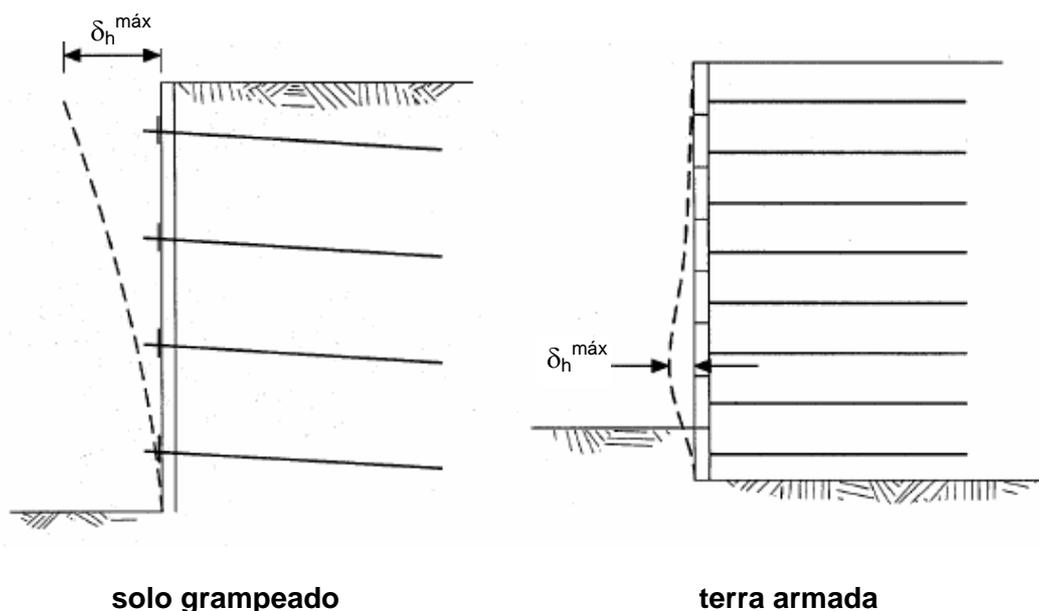


Figura 29. Deslocamentos horizontais máximos em estruturas de solo grampeado e terra armada (Byrne et al., 1998).

Com relação à rigidez dos reforços, em estruturas em solo grampeado, os elementos de reforço podem resistir a esforços de tração, assim como, a momentos fletores. A capacidade para resistir a momentos fletores dependerá da rigidez do grampo a qual geralmente é maior em grampos injetados do que em grampos cravados. A mobilização dos momentos fletores e esforços cisalhantes nas barras dependem de alguns parâmetros: rigidez do elemento de reforço (grampo), deformações e deslocamentos na massa de solo reforçada e orientação dos

grampos. Ao contrário, na terra armada, as tiras de reforço são completamente flexíveis e opõe-se apenas a esforços de tração (Schlosser, 1982; Bastick, 1990).

Com relação à natureza do solo, em reforços com terra armada, o tipo de solo do reaterro é um solo granular, homogêneo, com predominância de partículas de diâmetro reduzido. Seu teor de umidade é mantido controlado e com valores relativamente baixos. Ao contrário, em paredes de solo grampeado, o solo é aquele do terreno natural. Muitas vezes são heterogêneos, apresentando teor de umidade elevado (Schlosser, 1982).

Com relação às similaridades entre as duas técnicas, deve-se citar:

- O elemento de reforço é introduzido no solo sem pré-tensão; as forças desenvolvidas nos reforços surgem quando da ocorrência de deformações no solo;
- As forças desenvolvidas nos reforços são sustentadas pelo atrito entre o solo e o elemento de reforço;
- A face de ambas as estruturas (concreto projetado para solo grampeado e elementos pré-fabricados para terra armada) não apresentam função estrutural;
- As estruturas em solo grampeado e terra armada são sistemas consistentes e flexíveis. Por esta razão, elas oferecem vantagens em situações de terremotos. Em ambas as estruturas, verifica-se uma alta resistência das mesmas em relação a esforços dinâmicos (efeitos sísmicos) (Choukeir et al., 1997; Jones, 1998; Tufenkjian e Vucetic, 1992).

#### ➤ **solo grampeado x cortina atirantada**

Podem-se citar algumas comparações entre as duas técnicas, tais como:

- As ancoragens são tencionadas após a instalação no terreno e idealmente evitam os movimentos na estrutura. Em contraste, estruturas em solo grampeado não são pré-tensionadas e requerem uma pequena deformação no solo para trabalharem. Sendo assim, os mecanismos de transferência de carga também apresentam diferenças marcantes, conforme mostra a Figura 30. Basicamente, os grampos são intervenções com um trabalho inicial passivo, enquanto os tirantes começam a trabalhar ativamente. Ao contrário do preconizado na teoria clássica de empuxos de terra, os termos “ativo” e “passivo” referem-se à forma de mobilização dos esforços nos grampos.
- Os grampos estão em contato com o terreno em todo o seu comprimento (tipicamente de 3 a 10m) enquanto que as ancoragens transferem a carga ao longo do comprimento de ancoragem;

- A densidade de grampos é tipicamente mais elevada que a de tirantes (1 grampo a cada 0,5 a 5m<sup>2</sup>);
- As cargas elevadas aplicadas nos tirantes durante a execução exigem a instalação de placas de ancoragens para evitar o puncionamento. Nos grampos são colocados, eventualmente, pequenos suportes apenas (placas metálicas);
- Os tirantes são geralmente mais longos (15 a 45m) que os grampos e deste modo, necessitam de equipamentos mais pesados;
- A cortina atirantada apresenta um maior grau de confiabilidade em função da fixação de critérios para execução e controle através de ensaios aos quais os tirantes devem ser submetidos (NBR 5629/96). No caso de solo grampeado, raríssimas vezes os grampos são testados e, quando o são, o número de ensaios é insignificante em relação à área estabilizada (Falconi e Alonso, 1996);

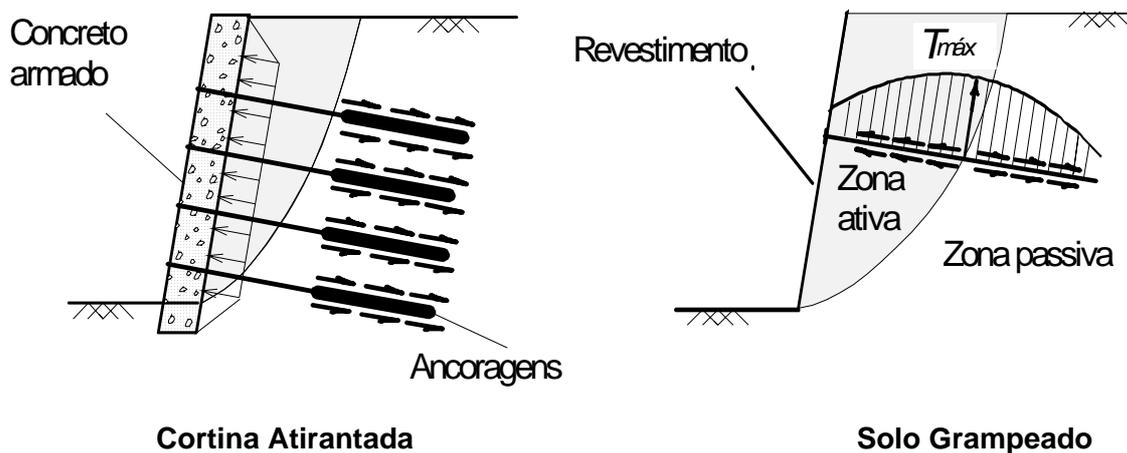


Figura 30. Mecanismos de transferência de carga (Ortigão e Sayão, 2000).

Maiores detalhes sobre as diferenças conceituais e a prática de execução de contenções de taludes com tirantes ou grampos, podem ser vistos no trabalho de Dias et al. (2006).

### ➤ Estruturas mistas

Estruturas mistas são estruturas de contenção nas quais o reforço do solo “in situ” combina a técnica de solo grampeado com outros métodos de contenção (cortina atirantada, muros de peso, terra armada, sistemas de contraventamento, etc.). A Figura 31 ilustra alguns exemplos típicos.

Em geral, o objetivo de uma estrutura mista é limitar os deslocamentos laterais do maciço reforçado ou a instabilidade em estruturas de altura elevada.

Podem ser utilizadas em casos de alturas de escavação elevadas ou quando se confronta com problemas de instabilidade devido à presença de fluxo d'água.

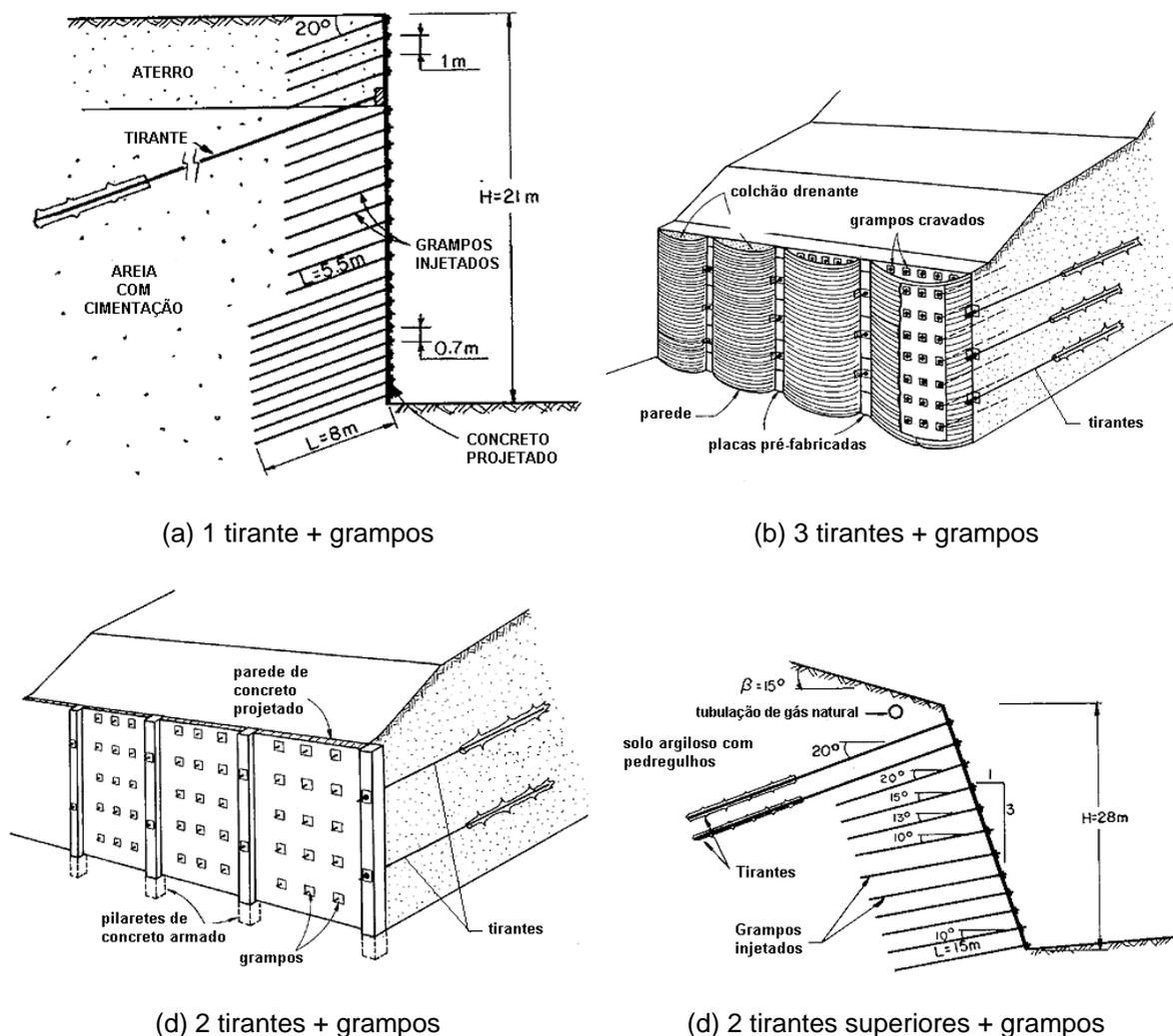


Figura 31. Estruturas mistas (Bastick, 1990; Clouterre, 1991).

### 2.1.9. Durabilidade de estruturas grampeadas

A corrosão é um dos mais importantes fenômenos associados à durabilidade de obras em solo grampeado. Em estruturas permanentes, a proteção contra o efeito de corrosão nos grampos deve ser considerada. Algumas medidas podem e devem ser tomadas para a proteção das barras de aço (grampos) da corrosão:

- Aumento da seção dos grampos;
- Proteção com pintura ou revestimentos especiais;
- Proteção com separadores/obstáculos de plásticos;

A técnica mais comum para combater o processo de corrosão nos grampos é o aumento da seção transversal dos mesmos. Esta técnica é eficiente apenas para os tipos de aços usados em grampos submetidos à corrosão uniforme e não num processo de corrosão concentrado (Turner, 1999). As recomendações do Projeto Clouterre (Schlosser et al., 1992) indicam as espessuras extras em função do tempo de vida útil da estrutura (Tabela 13). O projeto ressalta que outros aspectos devem ser considerados, tais como: tipo de solo, resistividade do solo, teor de umidade, etc. Outras recomendações para combater a corrosão de grampos podem são encontradas em Shiu e Cheung (2002).

Tabela 13. Espessuras extras em função do tempo de vida útil da estrutura (Schlosser et al., 1992)

Classe	Tempo de vida útil		
	≤ 18 meses	1,5 até 30 anos	30 a 100 anos
IV	0	2mm	4mm
III	0	4mm	8mm
II	2mm	8mm	proteção plástica
I	proteção plástica obrigatória		

Outro procedimento empregado para combater a corrosão é a utilização de materiais sintéticos e compostos, tais como plásticos reforçados por fibras (FRP – “Fibre reinforced plastics”), barras de plástico reciclável (Ortigão, 1996; Loehr et al., 2000; Sommers et al., 2002) ou a utilização de grampos com fibras de polipropileno (Magalhães, 2005; Leite, 2007). Estes materiais são imunes à corrosão por uma grande maioria de agentes agressivos.

As barras de FRP são produzidas por um processo denominado “pultrusão” e o produto final apresenta grande resistência à tração (até três vezes a do aço), baixo peso específico, mas o custo em geral é superior ao do aço. O uso do plástico reforçado só é recomendado em meio ambiente de extrema agressividade, o que não ocorre em geral no Rio de Janeiro (Ortigão e Sayão, 2000).

Os grampos executados com fibras de polipropileno são formados a partir de uma mistura de argamassa (cimento, água, areia e aditivo) reforçada com fibras de polipropileno. Estes elementos representam uma alternativa interessante do ponto de vista econômico, uma vez que apresentam resistências ao arrancamento da ordem de praticamente 50% das observadas para os grampos convencionais (Magalhães, 2005; Leite, 2007).