2.
Resistência da Interface Solo-Geossintético

2.1.
Considerações Iniciais

A técnica de inserção de materiais para a melhoria da capacidade do solo não é nova. Há cerca de três mil anos, os babilônicos já inseriam materiais fibrosos na construção de "ziggurates" (Figura 3). Para a construção de muros de contenção, os antigos romanos utilizavam troncos perpendiculares à face, imersos em diferentes tipos de solo. Algumas seções da Muralha da China foram construídas com argila e cascalho entremeados com fibras naturais.

Figura 3 - Ziggurates.

Modernamente, o primeiro uso de reforço em pavimentos de que se tem notícia foi realizado pelo departamento de estradas da Carolina do Sul (EUA), em 1926. No entanto, a utilização sistemática deste tipo de material só passou a ocorrer na década de 40, com o desenvolvimento das técnicas de fabricação.

Na década de 60, o arquiteto Henri Vidal desenvolveu e patenteou o sistema "Terra Armada", o qual utiliza tiras de aço galvanizado como reforço. A partir daí, o conceito de solo reforçado avançou rapidamente, com a criação e desenvolvimento de materiais poliméricos sintéticos.

No Brasil, no início da década de 80, foi executada a primeira obra de grande porte de solo reforçado, na rodovia que liga Taubaté a Campos de Jordão.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Apesar da crescente utilização, o comportamento de materiais poliméricos inseridos em solo é complexo e vem despertando o interesse de pesquisadores e fabricantes.

Dentre as aplicações de geossintéticos em geotecnia existem algumas que exigem o conhecimento das características de interação entre o solo e o geossintético. Estas características são expressas, em termos de resistência, pelos parâmetros de interface adesão (a) e ângulo de atrito de interface solo-geossintético (ϕ_{sg}), obtidos através de ensaios de campo ou de laboratório.

Dessa forma, este capítulo aborda inicialmente, as aplicações e os geossintéticos correspondentes, enfatizando aquelas que requerem o conhecimento dos parâmetros de interface solo geossintético. Em seguida são apresentadas as formas de mobilização da resistência da interface solo-geossintético e os ensaios de laboratório utilizados para avaliar o desempenho destes materiais, mantendo-se a ênfase nos ensaios para avaliação da resistência de interface.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

2.2. Utilização de Geossintéticos

A utilização dos diversos geossintéticos em obras geotécnicas tem sido crescente. Koerner (2000) reporta um consumo de 600 milhões de metros quadrados de geotêxteis em 1998, correspondendo a cerca de 500 milhões de dólares (Figuras 4 e 5). Eles vêm substituindo ou reforçando os materiais de construção tradicionais com vantagens econômicas.

A Tabela 1 resume as principais aplicações dos geossintéticos. Um mesmo geossintético pode desempenhar uma ou mais funções em uma mesma aplicação. Nestes casos, devem-se definir quais serão suas funções e hierarquizá-las. Desta forma, podem-se definir quais as características que o geossintético deve possuir para desempenhar as funções definidas (Vertematti, 2004).

A Tabela 2 resume as principais aplicações dos geossintéticos em função dos diferentes tipos.

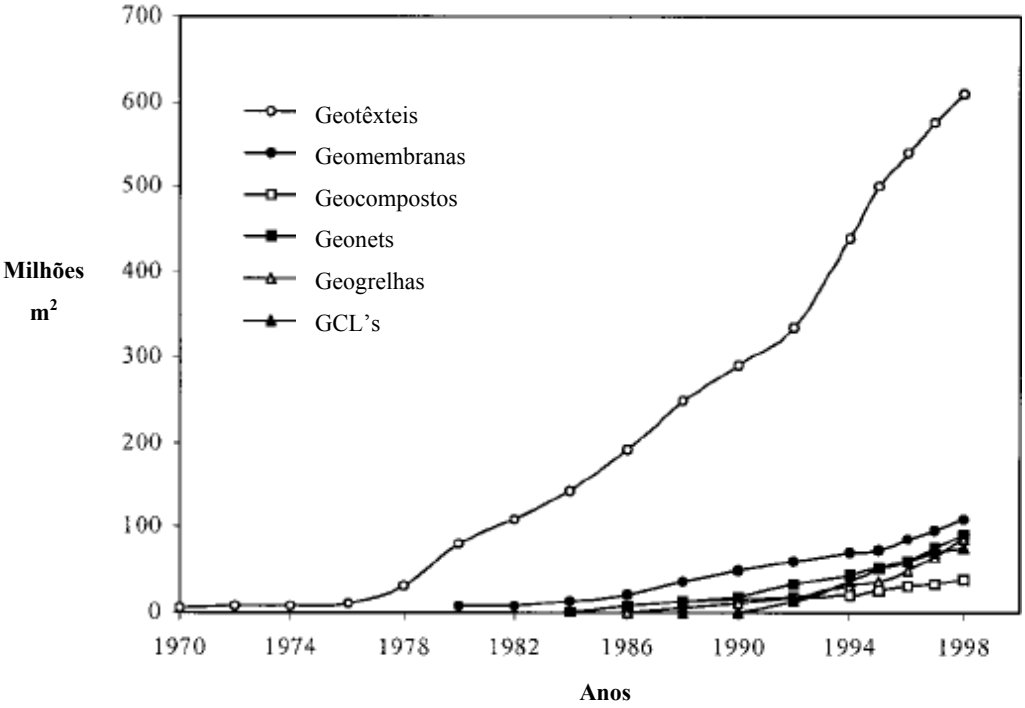


Figura 4 - Consumo de geossintéticos em milhões de metros quadrados por ano na América do Norte (Koerner, 2000).

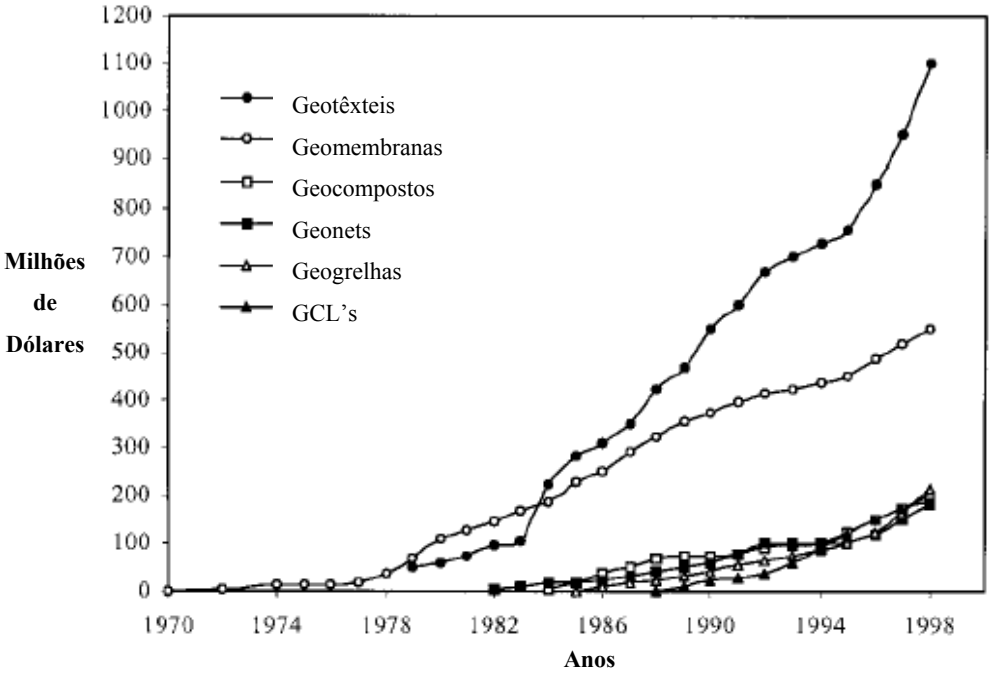


Figura 5 - Valor aproximado, em milhões de dólares, do consumo de geossintéticos na América do Norte (Koerner, 2000).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Tabela 1 - Principais aplicações dos geossintéticos (Vertematti, 2004)

Aplicação	Objetivo
Reforço	Restringir deformações e aumentar a resistência do maciço em obras geotécnicas, aproveitando a resistência à tração do material geossintético.
Filtração	Permitir a passagem e coleta de fluídos, sem a movimentação de partículas do maciço.
Drenagem	Coletar e/ou facilitar os movimentos de fluidos no interior do maciço.
Proteção	Reduzir solicitações localizadas, homogeneizando o nível das tensões que atingiriam determinada superfície ou camada
Separação	Evitar a mistura entre materiais granulares com características geotécnicas distintas.
Impermeabilização	Conter o avanço de uma pluma de contaminação, evitando a migração de líquidos ou gases em aplicações ambientais.
Controle de Erosão	Proteger a superfície do terreno contra o arraste de partículas pela ação de ventos e águas superficiais.

Tabela 2 - Tipos de geossintéticos e suas principais aplicações (Vertematti, 2004)

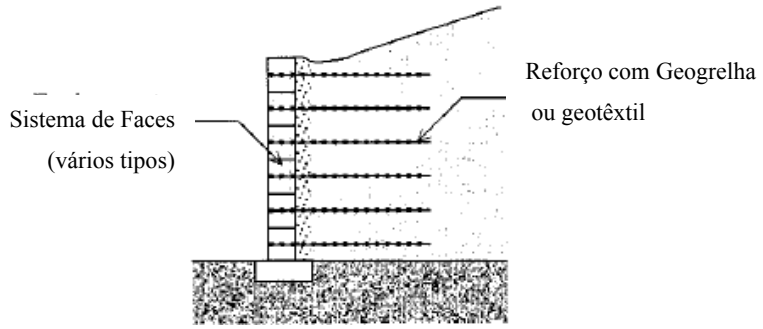
Geossintético	Aplicação						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Geogrelhas	x						
Geomembranas					x	x	
Geocompostos	x		x			x	
Geobarras	x						
Geoespaçadores			x				
Geotiras	x						
Georredes			x				
Geotubos			x				
Geomantas						x	x
Geocélulas	x						x
Geotêxtil	x	x	x	x	x		x

(1) Reforço; (2) Filtração; (3) Drenagem; (4) Proteção; (5) Separação; (6) Impermeabilização ; (7) Controle de Erosão

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

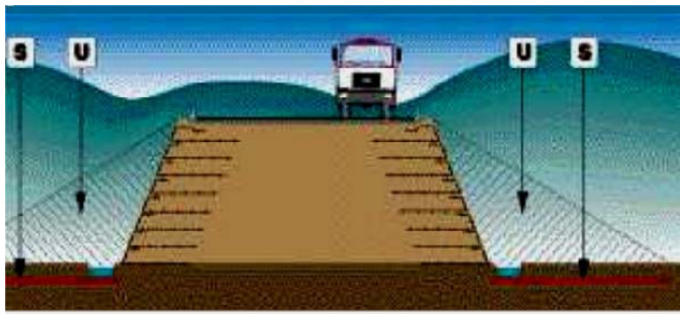
Dentre as aplicações citadas nas Tabelas 1 e 2, as que necessitam do conhecimento dos parâmetros de interface são as de reforço e impermeabilização.

Os geossintéticos com função de reforço podem ser usados em muros de solo reforçado, taludes reforçados, aterros reforçados, barragens e encontros de pontes (Figura 6 e 7), por exemplo.

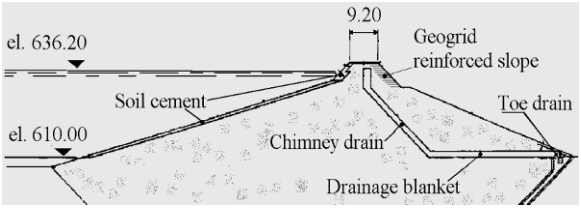


(a) Muro de Solo Reforçado (Koerner, 2000).

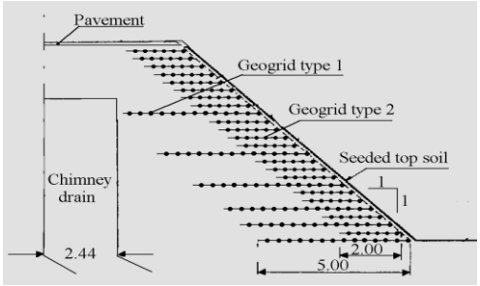
(b) Taludes reforçados



(c) Aterros reforçados



(d) utilização de solo reforçado em barragens - vista geral



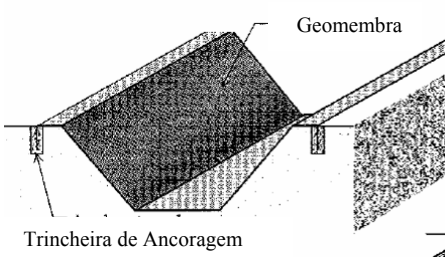
(e) utilização de solo reforçado em barragens - detalhe

Figura 6 - Exemplos de utilização de geossintéticos como reforçado.

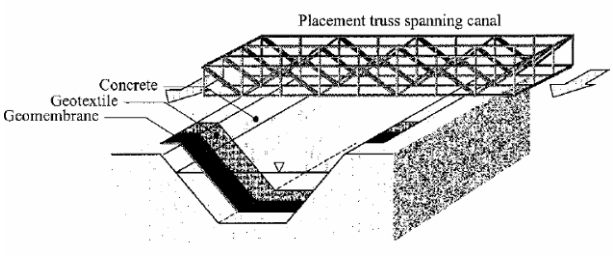
PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Figura 7 - Encontro de pontes.

Os geossintéticos com função de impermeabilização podem ser empregados em canais para transporte de líquidos, aterros de resíduos sólidos (Figura 8 e 9), entre outros.



(a) Canais para transporte de líquidos: cobertura simples - impermeabilização com uma camada de geomembrana (Koerner, 2000).



(b) Canais para transporte de líquidos: cobertura composta - impermeabilização utilizando um sanduíche de geomembrana, geotêxtil e concreto (Koerner, 2000).

(c) Lago para disposição de resíduos de bauxita - impermeabilização em construção - Poços de Caldas (MG).

Figura 8 - Exemplos de utilização de geossintéticos como material de impermeabilização.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

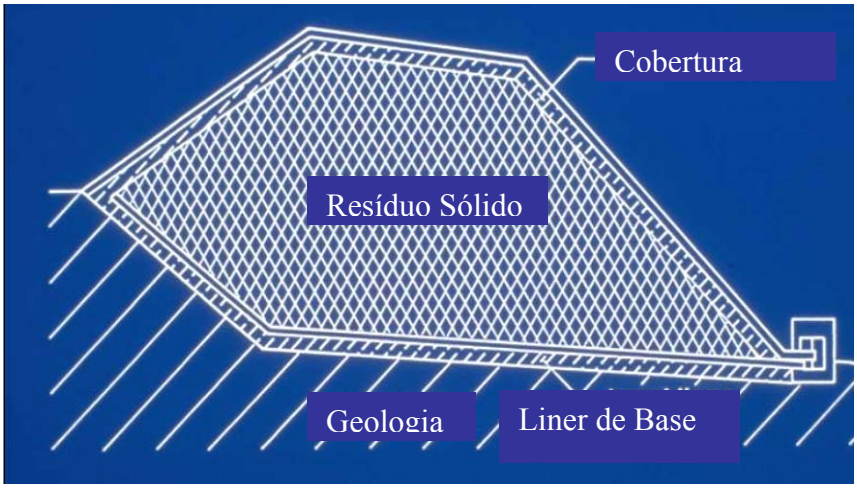


Figura 9 - Esquema de um sistema de cobertura e impermeabilização de um aterro de resíduos sólidos.

Nos casos citados, os parâmetros de interface são empregados no dimensionamento das estruturas de solo reforçado ou na verificação da estabilidade de um sistema de impermeabilização, por exemplo.

2.3. Mobilização da Resistência da Interface Solo-Geossintético

O parâmetro de interface adequado vai depender do tipo de movimento relativo entre o geossintético e a massa de solo. Para cada movimento existe um ensaio de laboratório, ou de campo, que pode ser mais adequado para representar a mobilização da interface (Figura 10).

Os modos possíveis de mobilização da resistência da interface solo-geossintético são: atrito na interface, tração do reforço e arrancamento do reforço.

2.3.1. Atrito na Interface Solo-Reforço

Neste tipo de solicitação o geossintético permanece solidário com parte do solo envolvente, sendo a resistência na interface mobilizada pelo deslizamento relativo entre o restante da massa de solo e o geossintético. Os ensaios utilizados para estes tipos de solicitação são o cisalhamento direto convencional (Figura 10a) e rampa (Figura 10d). As tensões desenvolvidas na interface são funções tanto das deformações no solo imediatamente adjacente ao reforço quanto do deslizamento que ocorre no contato entre o solo e o geossintético. Durante o deslizamento, nota-

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

se a ocorrência de planos de ruptura paralelos à direção do reforço, cuja localização dependerá das características de deformação e da geometria do geossintético (Castro, 1999).

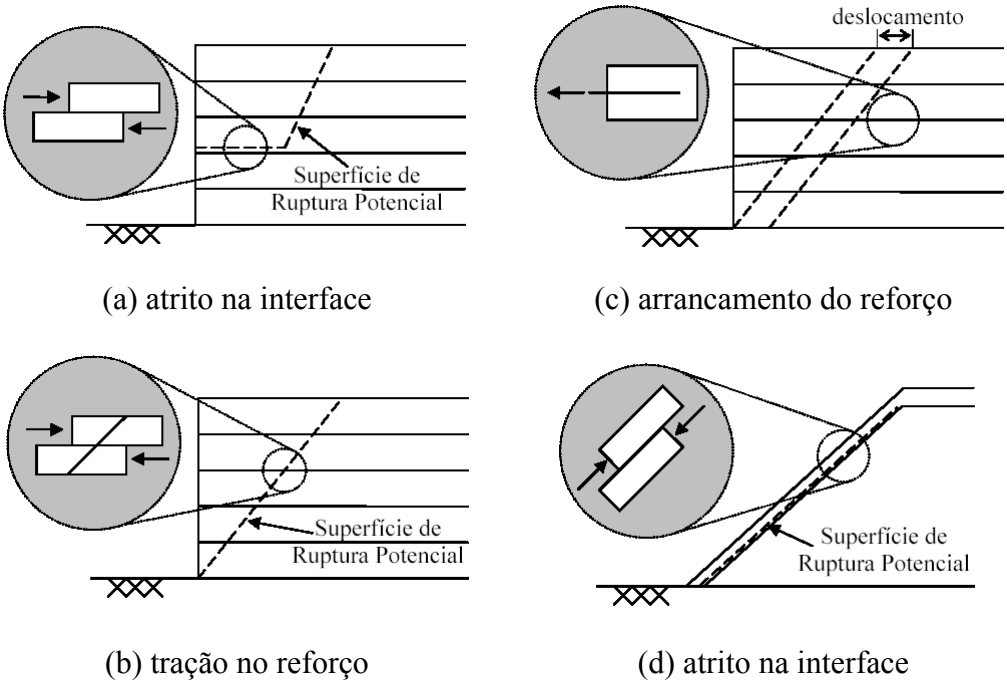


Figura 10 - Modos de interação e movimentos relativos solo-geossintético.

2.3.2.
Tração no Reforço

O ponto de tração máxima no reforço ocorre onde este intercepta a superfície potencial de ruptura (Figura 10b). Christopher *et al*. (1990) sugerem hipóteses para definição desta superfície. Para reforços extensíveis, como geotêxteis e geogrelhas de PET e PEAD, considera-se a posição da força de tração máxima ($T_{máx}$) coincidente com a superfície crítica proposta por Rankine (Figura 11a). Para reforços pouco extensíveis, como geogrelhas de poliamida ou geobarras, a superfície crítica apresenta-se mais vertical em virtude das restrições às deformações laterais do sistema solo-reforço (Figura 11b). Este modo de solicitação pode ser simulado em laboratório empregando-se o ensaio de cisalhamento direto com o reforço colocado na caixa de cisalhamento com inclinação específica mantida constante.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

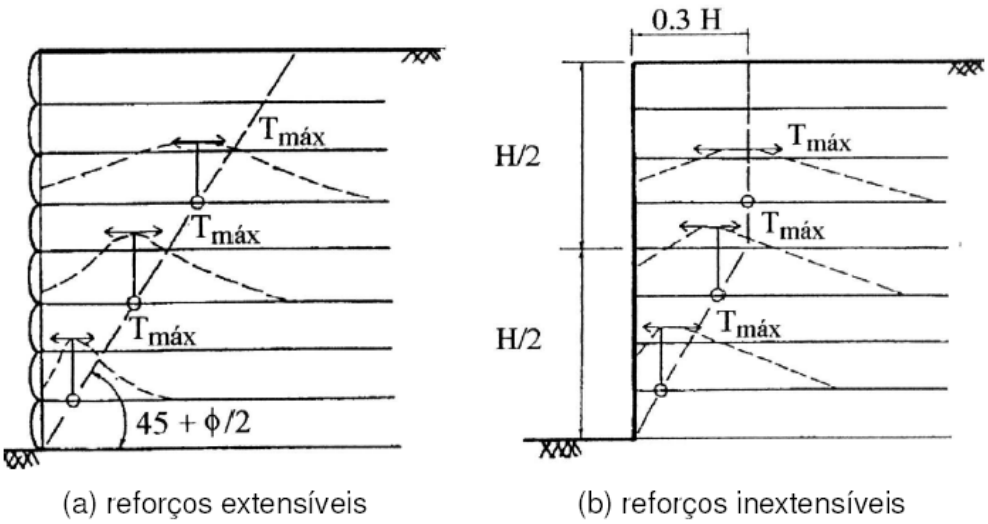


Figura 11 - Ponto de atuação de $T_{máx}$. para muros reforçados (Christopher *et al.*, 1990).

2.3.3.
Arrancamento do Reforço

Este tipo de solicitação ocorre quando os esforços de tração aplicados no geossintético são superiores à resistência que o solo envolvente oferece ao deslocamento relativo entre ambos (Figura 10c). No movimento de arrancamento, o geossintético se desloca em relação ao solo envolvente, sendo este movimento o responsável pela mobilização da resistência na interface. O ensaio adequado para representar esse tipo de solicitação é o de arrancamento.

2.4.
Avaliação da Resistência da Interface Solo-Geossintético

A resistência da interface entre o solo-geossintético é função da adesão (a) e do ângulo de atrito de interface (ϕ_{sg}), e é expressa por:

$$\tau_{sg} = a + \sigma \times \tan \phi_{sg} \qquad (1)$$

onde:

τ_{sg}= resistência ao cisalhamento entre solo e o geossintético;

a = adesão entre o solo e o geossintético;

σ = tensão normal atuante sobre o plano do geossintético;

ϕ_{sg} = ângulo de atrito entre o solo e o geossintético.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Os valores de a e ϕ_{sg} podem ser obtidos a partir de envoltórias de resistência, bastando-se utilizar, no mínimo, três tensões normais diferentes (Figura 12).

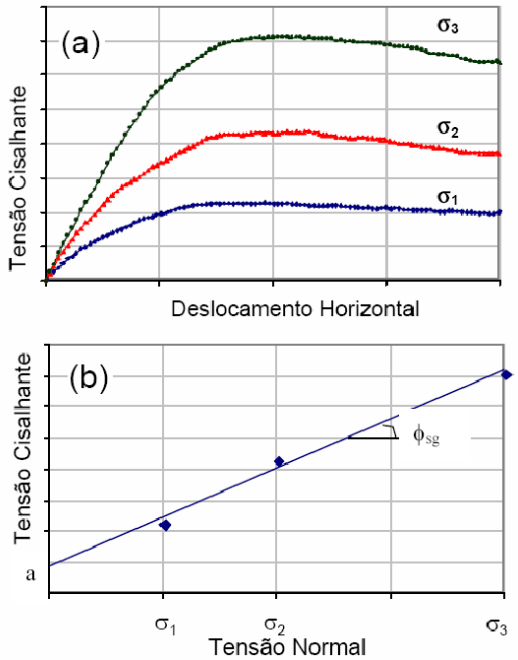


Figura 12 - Obtenção de parâmetros de resistência de interface. (a) curvas tensão cisalhante x deslocamento horizontal e (b) envoltória de resistência.

Estes valores podem ser expressos em função dos parâmetros de resistência do solo, c (coesão) e ϕ (ângulo de atrito), através dos coeficientes de aderência, λ e f, definidos como:

$$\lambda = \frac{a}{c} \tag{2}$$

$$f = \frac{\tan \phi_{sg}}{\tan \phi} \tag{3}$$

Substituindo as Equações (2) e (3) na Equação (1), a resistência da interface pode ser expressa da seguinte forma:

$$\tau_{sg} = \lambda \times c + \sigma \times (f \times \tan\phi) \tag{4}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Os coeficientes λ e f são também conhecidos como os parâmetros de eficiência de interface solo-geossintético E_c e E_ϕ, respectivamente (Koerner, 1986).

2.5. Ensaios Solo-Gossintético

Como qualquer material de construção, os geossintéticos devem ser ensaiados de modo a se avaliar as suas propriedades relevantes para o perfeito dimensionamento da obra (Palmeira, 1999). Os ensaios para geossintéticos são divididos em dois grupos: ensaios de caracterização e ensaios para avaliação de desempenho (Figura 13).

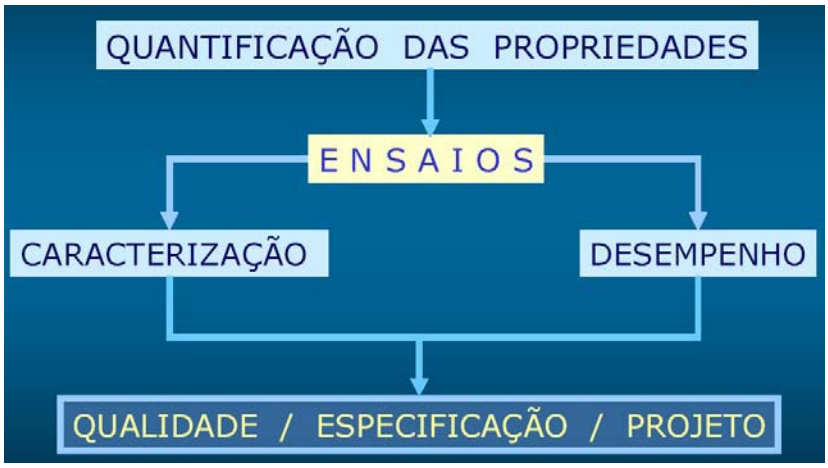


Figura 13 - Ensaios para geossintéticos (Sayão, 2004).

O ensaio de caracterização tem como objetivo a detecção de falhas de fabricação não sendo necessariamente fiéis à modelagem de situações sofridas pelo geossintético em condições de trabalho em obras geotécnicas ou de proteção ambiental.

Já os ensaios de avaliação de desempenho têm por objetivo simular o mecanismo de solicitação a que o geossintético possa estar submetido. A escolha do ensaio mais adequado está associada ao tipo de solicitação ou função a que o geossintético se propõe, que pode ser: reforço, separação, drenagem, filtração, proteção e impermeabilização.

De uma forma geral pode-se classificar os ensaios para geossintéticos conforme a Tabela 3.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Tabela 3 - Ensaios para Geossintéticos (Adaptado de Palmeira, 1999)

Ensaios para a Avaliação da Resistência e Deformabilidade à Tração	Ensaio de Tração Não-Confinada
	Ensaio de Tração Confinada
	Ensaio de Fluência
Ensaios para Drenagem e Filtração	Ensaio de Permeabilidade Normal ao Plano (1)
	Ensaio de Permeabilidade ao Longo do Plano (2)
	Ensaios de Razão entre Gradientes
	Ensaios de Filtração da Fração Fina
	Ensaios para Determinação da Abertura de Filtração de Geotêxteis
Ensaios para a Avaliação da Resistência da Interface Solo-Geossintético	Ensaio de Cisalhamento Direto e seus derivados
	Ensaio de Arrancamento
	Ensaio de Plano Inclinado ou Rampa

Nota: também denomindados de: (1) Ensaio de Permissividade; (2) Ensaio de Transmissividade

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

A ênfase da revisão será para os ensaios de avaliação da resistência de interfaces solo-geossintético, onde a escolha do ensaio mais representativo, para uma determinada situação de campo, vai ser função do tipo de movimento relativo entre o solo e o geossintético (Item 2.3).

2.5.1. Ensaio de Arrancamento

O ensaio de arrancamento (Figura 14) é considerado por muitos autores como o mais apropriado para a previsão das propriedades das interfaces solo-geossintético quando o movimento relativo entre o solo e geossintético corresponde ao arrancamento deste (Farrag *et al.*, 1993).

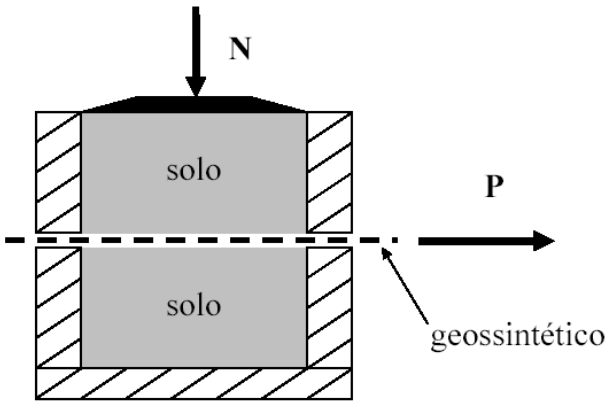
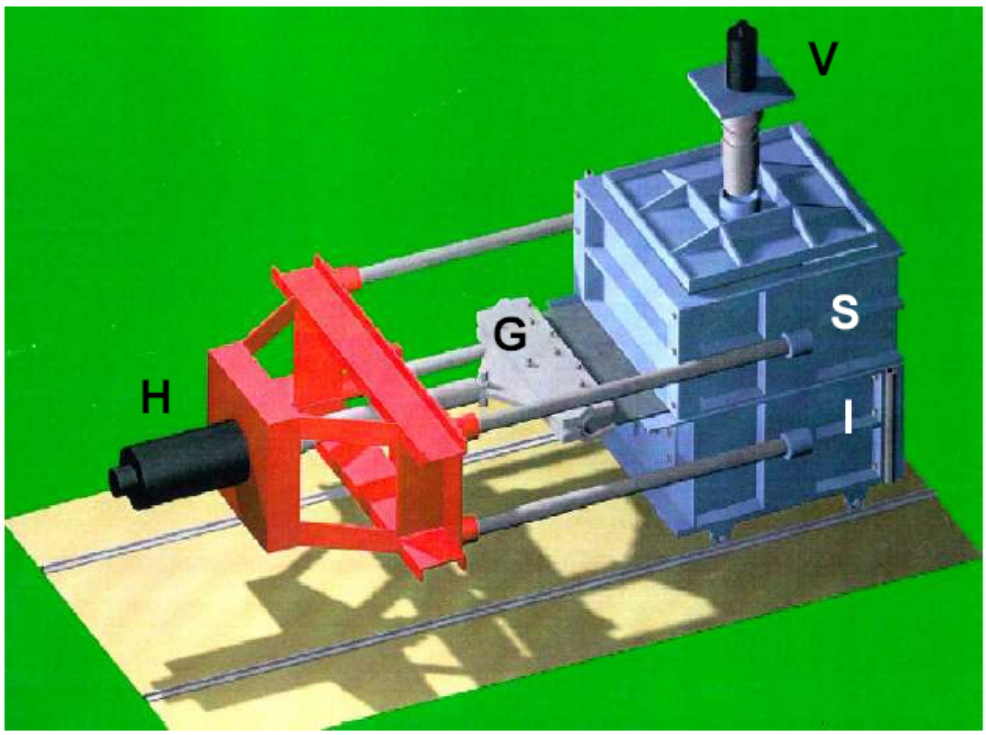


Figura 14 - Esquema de um ensaio de arrancamento.

Este ensaio é realizado em equipamentos de cisalhamento direto, modificados com a introdução de uma garra que impõe os movimentos de arranque ao geossintético. Este movimento relativo entre o geossintético e o solo origina forças de cisalhamento nas duas faces do geossintético, que se opõem ao movimento de arrancamento (Figura 15).



H = Macaco Hidráulico Horizontal S = Caixa Superior G = Garra
V = Macaco Hidráulico Vertical I = Caixa Inferior

Figura 15 - Equipamento para ensaios de arrancamento do CEDEX-Madri (Castro, 1999).

Esta tensão de cisalhamento é definida como a razão entre a força de arrancamento e a área da inclusão solicitada ao arrancamento:

$$\tau_{sg} = \frac{P}{2 \times B \times L} \tag{5}$$

onde:

P = força de arrancamento;

B = largura do geossintético;

L = comprimento enterrado do geossintético.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

O ensaio deve ser realizado para, no mínimo, três valores distintos de confinamento vertical. Desta forma, obtém-se a envoltória de resistência e, por consequência, os parâmetros de resistência da interface (a e ϕ_{sg}).

Porém, é importante ressaltar que os resultados podem ser afetados pelo uso de equipamentos diferentes, associados à diferentes condições de fronteiras, diferentes esquemas de colocação e compactação de solo e procedimentos de ensaios (Juran *et al*., 1988).

Diversos pesquisadores desenvolveram equipamentos capazes de realizar ensaios de arrancamento com geogrelhas e geotêxteis. Eles diferem quanto a dimensões, modos de aplicação de carregamento vertical e as grandezas monitoradas.

Palmeira e Milligan (1989) investigaram a influência da rugosidade da parede frontal nos resultados de ensaios de arrancamento. Eles constataram um aumento do coeficiente de interação solo-geossintético com o aumento da rugosidade. Para reduzir sua influência, sugerem a lubrificação da parede interna e a utilização de uma luva para proteger a extremidade frontal do geossintético.

Lopes e Ladeira (1996) estudaram a influência da presença da luva em ensaios de arrancamento. Para isto utilizaram uma luva de aço inoxidável de 200mm de comprimento. Seus resultados são apresentados na Figura 16. Além de um ganho de 10% na força de arrancamento máxima, verifica-se, também, que os deslocamentos para ensaios sem luva são menores, o que concorda com o aumento da resistência da interface. Diante destes resultados, é aconselhável a utilização de luva nos ensaios de arrancamento.

A influência das condições de contorno nos ensaios de arrancamento é particularmente relevante quando o solo encontra-se no estado denso. Neste estado, o solo tende a aumentar de volume durante o processo de cisalhamento, principalmente quando sujeito a baixas tensões confinantes. Esta tendência pode ser contrariada em laboratório devido à proximidade e às características de rigidez e rugosidade das fronteiras laterais do equipamento. O impedimento da dilatância traduz-se em um aumento da tensão normal atuante no reforço e da tensão cisalhante mobilizada na interface. Como conseqüência, obtém-se um ângulo de atrito da interface superior ao real (Sieira, 2003).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

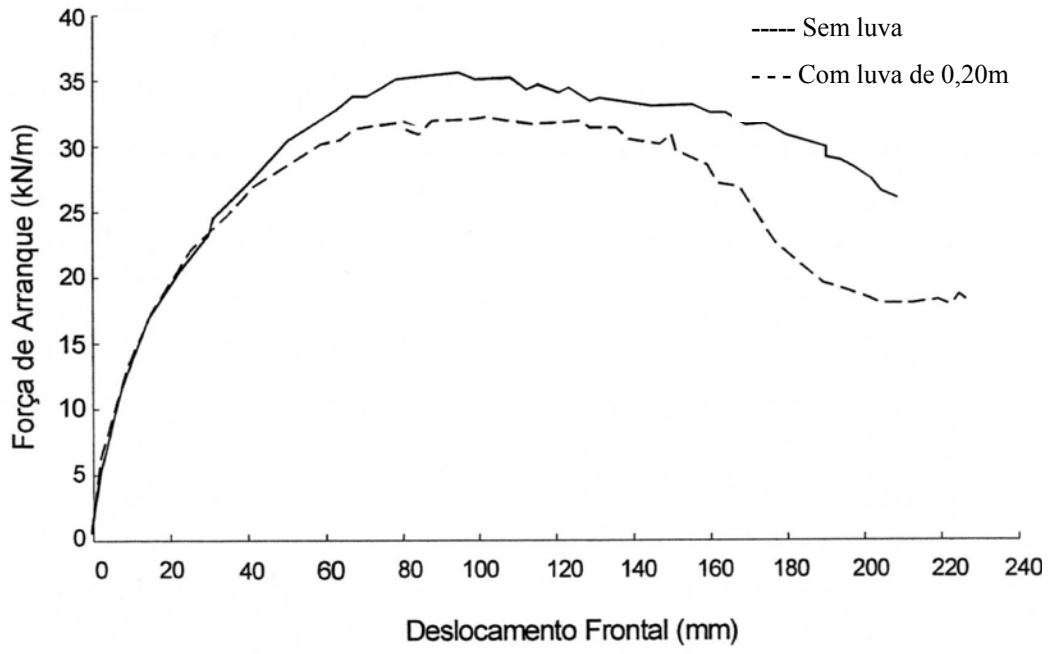


Figura 16 - Influência da manga nos ensaios de arrancamento (Lopes e Ladeira, 1996).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Alguns procedimentos de ensaios também podem influenciar os resultados de arrancamento, tais como, a velocidade de ensaio, a espessura de solo e o método de densificação da amostra.

Lopes e Ladeira (1996) e Rowe e Ho (1986) concluíram que um aumento de velocidade acarreta em um aumento de resistência, resultante da incapacidade do solo de se rearranjar com o aumento da velocidade.

A espessura do solo pode influenciar o valor da resistência da interface solo-geossintético. Esta influência traduz-se em um aumento da tensão confinante no geossintético, especialmente quando a altura de solo é pequena e a dilatância do solo é impedida.

Fannin e Raju (1993) e Farrag *et al*. (1993) sugerem a realização de ensaios de arrancamento com espessuras de solo superiores a 0,30m, acima e abaixo do geossintético. Para espessuras de solo acima deste valor, a influência da espessura na resistência ao arrancamento é praticamente desprezível.

Os diferentes procedimentos de densificação dos solos no interior da caixa de ensaios também influenciam o comportamento tensão x deformação da interface. Farrag *et al*. (1993) e Lopes e Moutinho (1997) ressaltam a importância de normalização do procedimento de densificação das amostras.

2.5.2.
Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional

Neste ensaio o geossintético fica posicionado entre as duas metades da caixa de cisalhamento, sendo a resistência mobilizada pelo deslocamento relativo de uma das metades da caixa em relação ao geossintético (Figura 17). A caixa inferior pode estar preenchida com solo ou por uma base rígida.

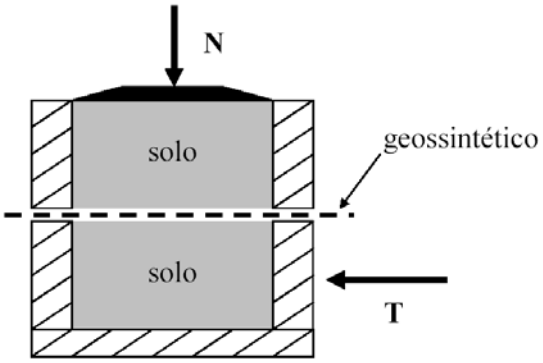


Figura 17 - Esquema de um ensaio de cisalhamento direto.

A utilização, ou não, da base rígida vai ser função do tipo de geossintético usado no ensaio. Na maioria dos ensaios que executados em geotêxteis e geomembranas, o geossintético é colado sobre a base rígida. A vantagem da sua utilização esta associada a fase inicial do adensamento, onde o solo sofre deformações e há uma mudança da posição do geossintético para o início do cisalhamento. No caso de geogrelhas é aconselhável que seja utilizada a caixa inferior preenchida com solo, pois neste tipo de geossintético a resistência de interface solo-geogrelha é composta pelas parcelas de atrito ao longo do geossintético e atrito solo-solo entre as aberturas (Figura 18). Esta última parcela não pode ser obtida quando o geossintético é colado sobre a base rígida.

O ensaio consiste da aplicação de uma tensão normal constante sob a caixa superior com solo. Em seguida mede-se a força horizontal necessária para deslocar a parte superior da caixa de cisalhamento. A tensão cisalhante na ruptura é dada pela razão entre a força horizontal máxima e a área de contato entre as duas caixas de cisalhamento.

Repete-se o ensaio para diferentes tensões normais, a fim de definir uma relação entre tensões cisalhantes e normais e assim obter a envoltória de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

resistência e, consequentemente, parâmetros de resistência da interface, adesão (a) e ângulo de atrito solo-geossintético (ϕ_{sg}).

Figura 18 - Preparação de um ensaio de cisalhamento direto para uma interface solo-geogrelha (Sieira, 2003).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto podem ser influenciados por diversos fatores, dentre eles: posição relativa solo-geossintético, dimensões do equipamento, rugosidade do plano rígido, dentre outros.

2.5.3.
Ensaios de Cisalhamento Direto com o Reforço Inclinado

Este ensaio, esquematizado na Figura 19, simula a situação "b" da Figura 10, onde as tensões cisalhantes na interface são absorvidas pelo reforço, que é então tracionado. Consiste numa derivação do ensaio de cisalhamento direto convencional.

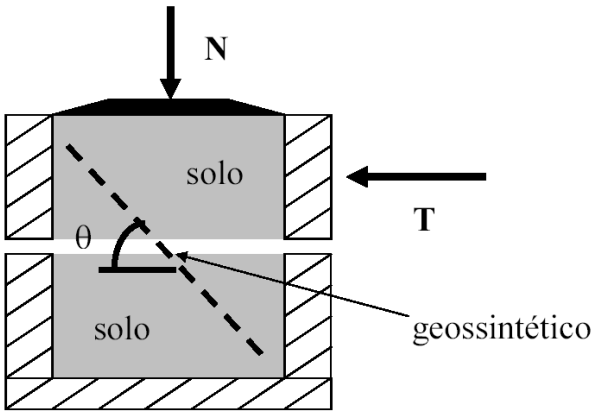


Figura 19 - Esquema de um ensaio de cisalhamento com reforço inclinado.

Jewell e Wroth (1987), Jewell (1990) e Athanasopoulos *et al*. (1990) sugerem que este ensaio seja realizado com amostras maiores que as convencionais, com reforço colocado na vertical ou inclinado de um ângulo θ em relação a esta direção e tendo um comprimento igual na parte superior e inferior da caixa de cisalhamento (Figura 20).

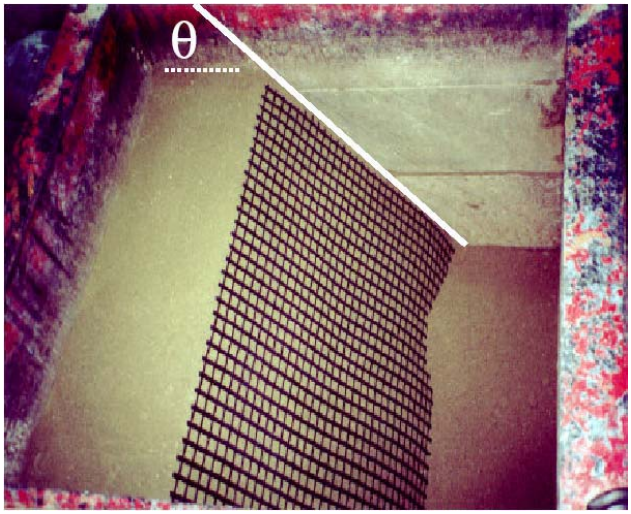


Figura 20 - Preparação de um ensaio de cisalhamento direto com reforço inclinado para uma interface solo-geogrelha (Sieira, 2003).

Jewell (1980), Ingold (1981), Palmeira (1999) e Sieira (2003), através de ensaios com geogrelhas inclinadas imersas em areia, concluiram que o maior ganho de resistência ocorre para a inclinação de 60º. Isto pode ser explicado pelo fato de que a orientação de 60º com a horizontal coincide com a direção de incrementos de deformação de tração na amostra de solo sem reforço. Esta é a orientação mais favorável para a instalação do elemento de reforço.

Athanasopoulos (1993) executou ensaios de cisalhamento direto com um geotêxtil posicionado verticalmente na caixa de cisalhamento. Os ensaios objetivaram o estudo da influência da tensão confinante e da dimensão das partículas de solo no comportamento mecânico da interface solo-geotêxtil. No estudo foram utilizados seis tipos de areia, com valores distintos de diâmetro médio das partículas. As tensões normais aplicadas nos ensaios variaram de 50 até 600kPa. O autor observou que a ruptura do material reforçado pode ocorrer de 2 formas distintas, deslizamento do reforço e deslizamento do conjunto solo-geotêxtil.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Athanasopoulos (1993) observou, também, que o ângulo de atrito da interface (ϕ_{sg}) diminui com o aumento da tensão de confinamento. Para baixos valores de tensão normal, o ângulo de atrito da interface era superior ao ângulo de atrito do solo (ϕ). No entanto, à medida que a tensão normal aumenta, o valor de ϕ_{sg} diminui, tornando-se ligeiramente inferior ao valor de ϕ.

Sayão e Teixeira (1995) executaram ensaios de cisalhamento direto com um geotêxtil inclinado para simular a situação de ruptura de um aterro sobre argila mole. Nestes ensaios, a camada de reforço era posicionada com uma inclinação de 45º, entre camadas de areia e argila. Os autores concluíram que os parâmetros de resistência da interface solo-geotêxtil dependem da inclinação do geotêxtil em relação à superfície de ruptura e que os ensaios de cisalhamento direto devem ser realizados de modo a reproduzir a situação de campo. Desta forma, obtêm-se parâmetros de resistência confiáveis.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

2.5.4. Ensaio de Rampa

Para situações de campo como sistemas de controle de erosão e sistemas de impermeabilização, a utilização de parâmetros de interfaces obtidos a partir de ensaios de cisalhamento direto pode conduzir a erros. Estes erros estão associados à utilização de baixos níveis de tensões no ensaio de cisalhamento direto, que pode levar a erros grosseiros e contrários à segurança. (Girard *et al*., 1990; Giroud *et al*.,1990 e Gourc *et al.,* 1996).

Desta forma, os ensaios de rampa (Figura 21) representam uma alternativa para modelar problemas de estabilidade de camadas superficiais de geossintéticos em taludes muito inclinados. É considerado um ensaio de qualificação onde é possível reproduzir, por exemplo, a estabilidade de um sistema multicamadas ou a fluência das interfaces, para tensões normais reduzidas (Gourc *et al*.,1996).

O ensaio consiste em uma caixa rígida que confina uma massa de solo sobre uma camada de geossintético, inicialmente posicionado na direção horizontal e preso ao equipamento. Sob o geossintético encontra-se outra caixa, geralmente maior que a superior, preenchida com solo.

O ensaio é realizado aumentando-se gradativamente a inclinação das caixas até ocorrer o deslizamento ao longo da interface solo-geossintético.

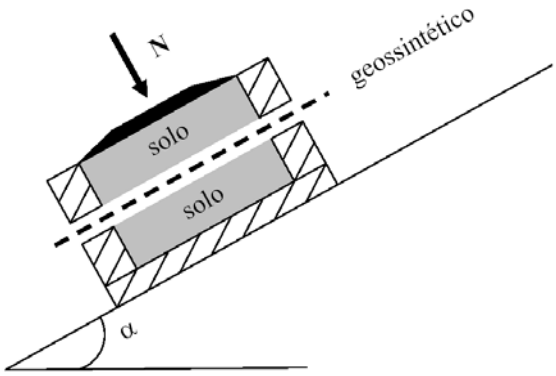


Figura 21 - Esquema de um ensaio de rampa.

O ensaio de rampa é simples, mas apresenta restrições. A primeira é associada à variação da tensão normal com a inclinação da rampa e a segunda corresponde à forma de distribuição da tensão normal. Em geral, assume-se que a distribuição da tensão normal é uniforme ao longo da superfície de contato solo-geossintético, o que não ocorre na prática. Palmeira *et al*. (2002) afirmam que a distribuição das tensões assume uma forma trapezoidal e apresentam valores máximo e mínimo.

2.5.5.
Ensaio de Cisalhamento Direto Inclinado

Segundo Mello (2001), para o estudo da eficiência de interfaces solo-geossintético é necessário conhecer as características de resistência do solo. Para a determinação dos parâmetros de interface solo-solo foi feita uma adaptação no ensaio de cisalhamento direto para que este ensaio fosse realizado em condições semelhantes a do ensaio de rampa, ou seja, baixas tensões normais (Figura 22).

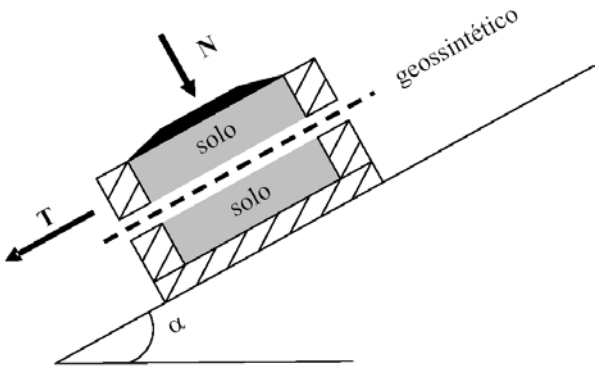


Figura 22 - Esquema de um ensaio de cisalhamento direto inclinado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Esta adaptação consistiu em fixar o ensaio de cisalhamento direto ao equipamento de ensaio de rampa (Figura 23). O equipamento é composto por duas caixas de aço, onde, permite-se o deslocamento da caixa superior, enquanto a caixa inferior é fixa na rampa de ensaio. A tensão normal é aplicada através de pesos de concreto ou aço. Já os deslocamentos da caixa superior são mensurados através de extensômetros.

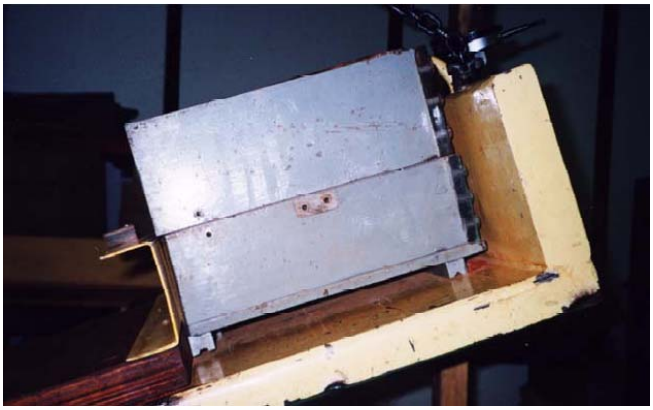


Figura 23 - Equipamento de cisalhamento direto adaptado ao ensaio de rampa (Mello, 2001).

2.6. Considerações Finais

O emprego de materiais geossintéticos em obras de engenharia civil tende a crescer cada vez mais. Devido à sua versatilidade, estes materiais são utilizados como reforço, sistemas de drenagem, sistemas de impermeabilização e controle de erosão. Porém, para uma utilização mais adequada, torna-se importante o conhecimento acurado dos parâmetros de projeto. Para isto podem ser utilizados ensaios de campo e laboratório. Os ensaios de laboratório têm sido os mais utilizados para a obtenção de parâmetros de resistência, dentre eles, destacando-se os ensaios de cisalhamento direto e de arrancamento. Também são utilizados ensaios de cisalhamento com o reforço inclinado e rampa, sendo ambos uma derivação do ensaio de cisalhamento direto. A escolha do ensaio mais representativo depende da forma de mobilização da resistência da interface, ou seja, do movimento relativo entre a massa de solo e o geossintético.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA

Os parâmetros de interfaces são obtidos através de envoltórias de resistência construídas utilizando-se, no mínimo, três ensaios com tensões confinantes diferentes.

Foram citados cinco tipos de ensaio para obtenção de parâmetros de interface: arrancamento, cisalhamento direto, cisalhamento direto com reforço inclinado, cisalhamento direto inclinado e rampa. Os ensaios de cisalhamento direto e rampa serão estudados em detalhes no Capítulo 3, sendo o objeto deste trabalho. Os outros, arrancamento, cisalhamento direto inclinado e cisalhamento direto com reforço inclinado, tiveram algumas de suas características e condições de contorno abordadas, com a finalidade de subsidiar as suas possíveis configurações de ensaio que serão apresentadas no Capítulo 4.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321284/CA