

5. Programa Experimental

5.1. Considerações Iniciais

A tese tem como objetivos a calibração e verificação do desempenho do equipamento desenvolvido, obtenção dos parâmetros de interfaces dos materiais ensaiados e complementação do banco de dados existente para comparações.

Para isso, foi organizado um programa experimental que compreende: materiais utilizados, preparação dos corpos de prova, procedimento de ensaio, programa de ensaios e metodologias de análise de resultados.

A seleção dos materiais da pesquisa privilegiou a utilização de solos e geossintéticos empregados em pesquisas anteriores. O solo, areia de Ipanema, é de fácil utilização no que concerne à estocagem, preparação e compactação. Os geossintéticos empregados foram a geomembrana CipaGeo (Cipatex), a geomembrana Polimanta (Engepol) e a geogrelha u8Fortrac 35/25-20/30 (Huesker).

A preparação dos corpos de prova foi igual para todos os ensaios e seguiu as recomendações técnicas correntes no que se refere à amostragem dos geossintéticos e compactação do solo. Cada um dos ensaios, rampa ou cisalhamento, tem metodologias de ensaio e de análise de resultados adaptadas as particularidades de cada um.

O programa de ensaios contemplou a realização de ensaios que são utilizados na verificação e calibração do equipamento e ensaios para obtenção dos parâmetros de interface dos materiais utilizados na pesquisa.

Além disso, utilizou-se o banco de dados acumulado até o momento para comparação e complementação do trabalho.

5.2. Materiais da Pesquisa

No programa experimental foram utilizados um solo (areia) e três tipos de materiais geossintéticos (uma geogrelha e duas geomembranas).

5.2.1. Solo

A areia é proveniente da praia de Ipanema (Figura 151). É uma areia uniforme de quartzo, com partículas de dimensões que variam entre 0,074 e 2,38mm (Figura 152). Os valores de peso específico mínimo e máximo são de 15,47 e 17,04kN/m³, respectivamente.

As densidades relativas utilizadas nos ensaios foram de 15, 45 e 90%. Nas Tabelas 23 e 24 encontram-se algumas das características do material, tais como os diâmetros máximo ($D_{m\acute{a}x}$) e mínimo ($D_{m\acute{i}n}$), os diâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , os coeficientes de uniformidade (C_u) e de curvatura (C_c) e os pesos específicos máximo ($\gamma_{m\acute{a}x}$) e mínimo ($\gamma_{m\acute{i}n}$).



Figura 151 - Areia de Ipanema.

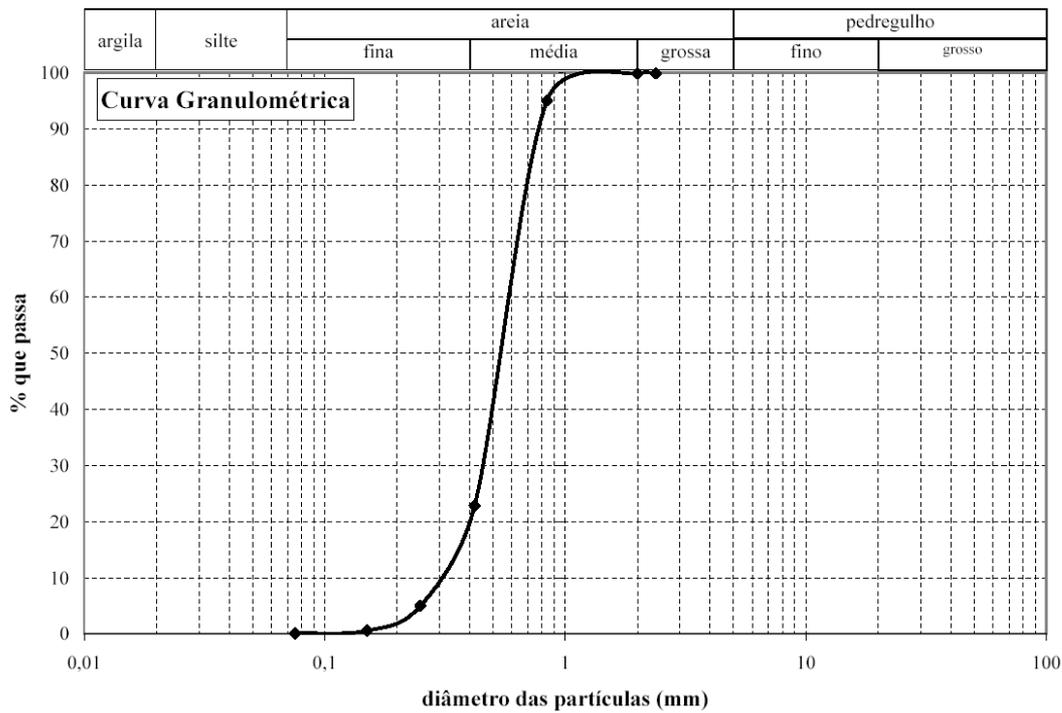


Figura 152 - Curva granulométrica da areia de Ipanema.

Tabela 23 - Características granulométricas da areia de Ipanema

Solo	D_{\min} (mm)	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{60} (mm)	D_{\max} (mm)	C_u	C_c
areia	0,08	0,31	0,45	0,60	2,38	1,94	1,09

Tabela 24 - Características físicas da areia de Ipanema

Areia	γ_s (kN/m ³)	γ_{\max} (kN/m ³)	γ_{Dr} (kN/m ³)	γ_{\min} (kN/m ³)	e_{\min}	e_{Dr}	e_{\max}
Dr 15%	26,09	17,04	15,69	15,47	0,53	0,66	0,69
Dr 45%	26,09	17,04	16,14	15,47	0,53	0,62	0,69
Dr 90%	26,09	17,04	16,87	15,47	0,53	0,55	0,69

5.2.2. Geossintéticos

A primeira geomembrana utilizada foi a CipaGeo, de PVC, texturizada em uma das faces, fabricada pela Cipatex (Figura 153). A Tabela 25 apresenta as principais características do material segundo o catálogo do fabricante.

Tabela 25 - Características da Geomembrana CipaGeo (Cipatex, 2003)

Propriedade	Valor	Método de Ensaio
Densidade	1200kg/m ³	ASTM D 792A
Gramatura	960g/m ²	NBR 12592
Espessura	0,8mm	ASTM D 1593
Resistência à Tração	10N/mm	ASTM D 882
Resistência ao Rasgo	35N	ASTM D 1004
Alongamento na Ruptura	200%	ASTM D 882
Módulo de Elasticidade	8MPa	ASTM D 882

A segunda geomembrana foi a Polimanta, de PEAD, fabricada pela Engepol (Figura 153), possuindo as duas faces lisas. A Tabela 26 apresenta as principais características do material fornecidas pelo o fabricante.

Tabela 26 - Características da Geomembrana Polimanta (Engepol, 2007)

Propriedade	Valor	Método de Ensaio
Espessura Nominal	1mm	ASTM D 5199
Densidade	≥ 0,94g/m ³	ASTM D 792
Resistência no Escoamento	≥ 15kN/m	ASTM D 6693
à Tração na Ruptura	≥ 27kN/m	
Alongamento no Escoamento	≥ 12%	
Alongamento na Ruptura	≥ 700%	
Resistência ao Rasgo	≥ 125N	ASTM D 1004
Resistência ao Puncionamento	≥ 320N	ASTM D 4833

A geogrelha empregada foi a Fortrac 35/25-20/30 fabricada pela Huesker (Figura 153c). Ela é constituída de poliálcool de vinila (PVA) e suas características, segundo o fabricante, são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Características da Geogrelha Fortrac 35/25-20/30 (Huesker, 2003)

Propriedade	Valor	Método de Ensaio
Massa por Unidade de Área	270g/m ²	ASTM D-5261
Abertura	20 x 30mm	~
Porcentagem de Área Aberta	70 %	~
Resistência à Tração	Longitudinal	35kN/m
	Transversal	25kN/m
Alongamento na Ruptura (longitudinal)	4-6%	ASTM D-6637

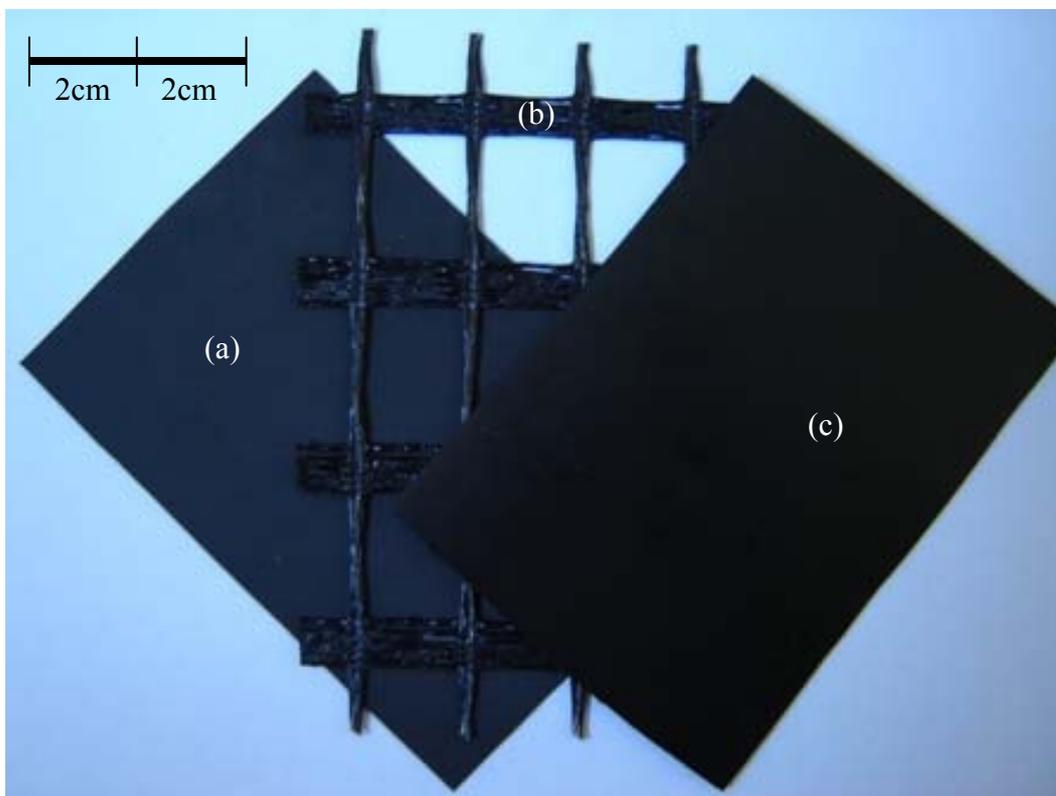


Figura 153 - Geossintéticos utilizados na pesquisa: (a) geomembrana Cipageo, (b) geogrelha Fortrac e (c) geomembrana Polimanta.

5.3. Preparação dos Corpos de Prova

A amostragem dos materiais geossintéticos seguiu as recomendações da norma DIN EN 963. Ela recomenda que, do rolo de origem das amostras, sejam desprezadas as duas primeiras voltas, assim como os 10cm das extremidades (Figura 154). A estocagem deve ser em local adequado, sem exposição à luz, umidade e poeira.

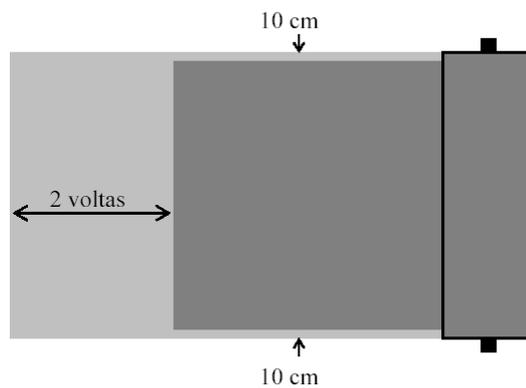


Figura 154 - Recomendação de descarte da Norma DIN EN 963.

Para a pesquisa, foram confeccionadas amostras com dimensões compatíveis a cada uma das configurações de ensaio, ou seja, largura igual a da caixa inferior e comprimento igual ao da caixa inferior mais 20cm para a ancoragem na garra (Figura 155).



Figura 155 - Amostra de geogrelha na caixa média quadrada (dimensões 0,70 x 0,90m).

A areia de Ipanema foi empregada nas densidades relativas de 15, 45 e 90%. Para obter a densidade 15% não houve necessidade de compactação, pois o material alcançava o índice de vazios desejado somente com o seu lançamento na caixa com o auxílio de uma concha metálica. Para se obter as densidades relativas de 45 e 90% empregou-se um peso metálico e um motovibrador, respectivamente. (Figura 156a e b).



(a) peso de compactação



(b) motovibrador

Figura 156 - Compactadores utilizados para as densidades relativas de 45 e 90%.

Independente do tipo de ensaio, rampa ou cisalhamento, o método de preparação dos corpos de prova foi sempre o mesmo. A seqüência inicia-se com a limpeza da caixa inferior removendo-se qualquer sobra de solo dos ensaios anteriores. Segue com disposição do solo na caixa com o volume necessário para a obtenção do peso específico desejado e nivelamento da superfície (Figura 157).



(a) Caixa inferior limpa e pronta para receber o solo.



(b) Lançamento do solo.



(c) Caixa inferior recebendo solo.

Figura 157 - Seqüência construtiva de preparação de um corpo de prova - caixa inferior.



(d) Colocação da gola.

(e) Superfície pronta.

Figura 157 (cont.) - Seqüência construtiva de preparação de um corpo de prova - caixa inferior.

Logo após, instala-se o geossintético sobre a superfície nivelada, esticando-o e ancorando uma das extremidades na garra metálica (Figura 158). Este procedimento só se aplica a interfaces solo-geossintético.



Figura 158 - Geogrelha na posição de ensaio.

Em seguida, instala-se a caixa superior de ensaio, prendendo-se os limitadores de deslocamento e a instrumentação (*tell-tale*). Lança-se o solo e regulariza-se a superfície da mesma forma que foi feito para a caixa inferior (Figuras 159).



(a) Colocação da caixa superior.



(b) Colocação do limitador.



(c) Instalação da instrumentação.



(d) Lançamento do solo.



(e) Nivelamento da superfície.



(f) Colocação da tampa de confinamento.

Figura 159 - Seqüência construtiva de preparação de um corpo de prova - caixa superior.

A seqüência de preparação dos corpos de prova segue com a colocação do das placas de confinamento (Figura 160) e do espaçamento das caixas de ensaio (Figura 161).



Figura 160 - Colocação das placas de confinamento.

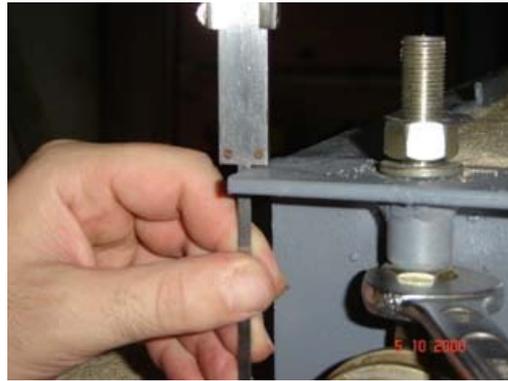


Figura 161 - Procedimento para espaçar a caixa de ensaio.

Porém, para a realização dos ensaios ainda são necessários a instalação de mais alguns acessórios. No caso dos ensaios de rampa é necessário instalar o medidor de ângulo de base magnética (Figura 162).



Figura 162 - Posição do medidor de ângulo de base magnética.

Para os ensaios de cisalhamento, seja o convencional ou inclinado, é necessário instalar a plataforma de aplicação de força cisalhante. O procedimento

consiste em bloquear o movimento da caixa superior com o auxílio de grampos tipo C, instalar os anéis de carga e os suportes das roldanas, fixar os cabos de aço e instalar e nivelar a plataforma de carga. As Figuras 163 a 166 exemplificam o procedimento.



Figura 163 - Bloqueio da caixa superior com grampos tipo C..



Figura 164 - Instalação dos anéis de carga.



Figura 165 - Instalação dos cabos de aço nos anéis de carga da caixa superior.



Figura 166 - Instalação dos suportes das roldanas e da plataforma.



Figura 167 - Nivelamento da plataforma.

5.4. Procedimento de Ensaio

5.4.1. Ensaio de Rampa

O procedimento do ensaio de rampa é muito simples. Consiste em acionar a talha de forma a inclinar gradualmente, aplicando-se na plataforma de ensaios incrementos de 1°/minuto, mensurados com o auxílio do medidor de ângulo de base magnética, até que a caixa superior deslize (Figura 168). Para cada incremento de ângulo monitoram-se os deslocamentos da caixa superior em relação à inferior até ocorrer à ruptura da interface.



Figura 168 - Ensaio de rampa finalizado - vista lateral.

Os resultados são apresentados na forma de gráficos de ângulo de inclinação de rampa α versus deslocamento da caixa δ , conforme ilustrado na Figura 169. O valor adotado para o deslocamento da caixa superior a cada estágio corresponde à média dos deslocamentos medidos nas duas extremidades da caixa, por meio dos *tell-tales*.

Como a caixa superior consegue atingir o deslocamento máximo de 200mm, para melhor apresentação dos resultados, os gráficos serão apresentados com valores de deslocamentos máximos de 50mm.

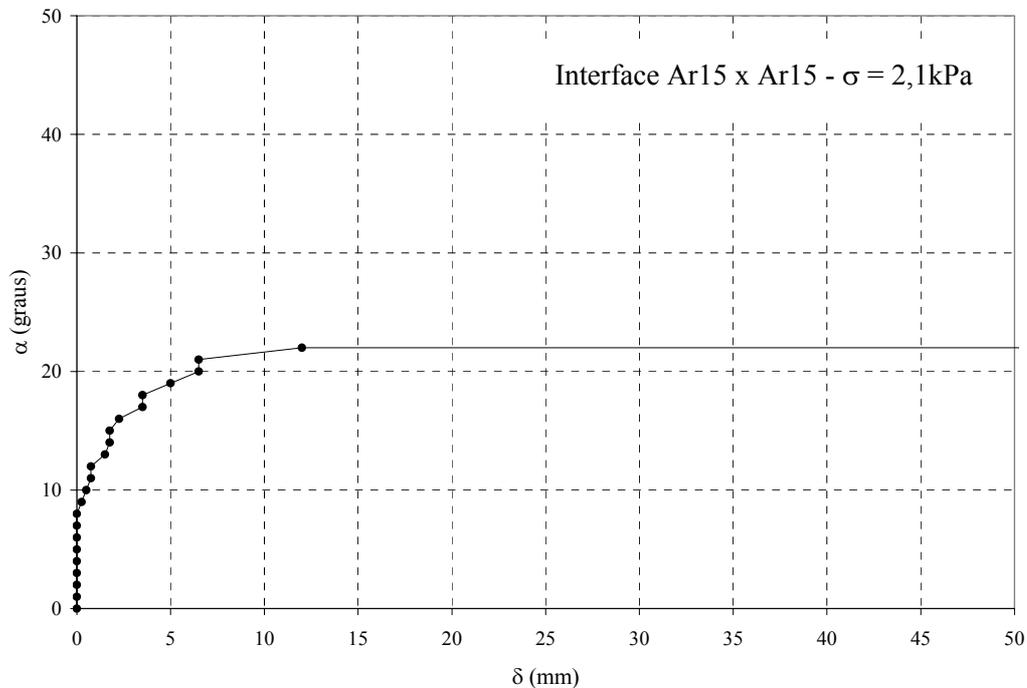


Figura 169 - Resultado típico de um ensaio de rampa.

5.4.2. Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional

O procedimento do ensaio de cisalhamento direto é igual ao ensaio de cisalhamento direto convencional de pequenas dimensões. Consiste em aplicar uma força normal sobre um corpo de prova contido por uma caixa bipartida empregando-se placas de aço (Figura 170). A força tangencial é aplicada na caixa superior, deslocando-a, até que ocorra a ruptura ao longo do plano horizontal (Figura 171). A aplicação desta força é feita através de pesos calibrados progressivamente depositados na plataforma de carga. São monitorados a força cisalhante e o deslocamento da caixa superior durante o ensaio.



Figura 170 - Aplicação de tensão normal em um ensaio de interface solo-geogrelha ($\sigma_c=8,4\text{kPa}$).



Figura 171 - Aplicação de tensão cisalhante.

Os resultados são apresentados na forma de gráficos força cisalhante, em (kN) vs deslocamento da caixa δ (mm) conforme indicado na Figura 172.

Adotado-se para o deslocamento da caixa superior à média dos deslocamentos medidos nas duas extremidades da caixa. Os gráficos serão apresentados com valores de deslocamentos máximos de 50mm, seguindo a metodologia do ensaio de rampa.

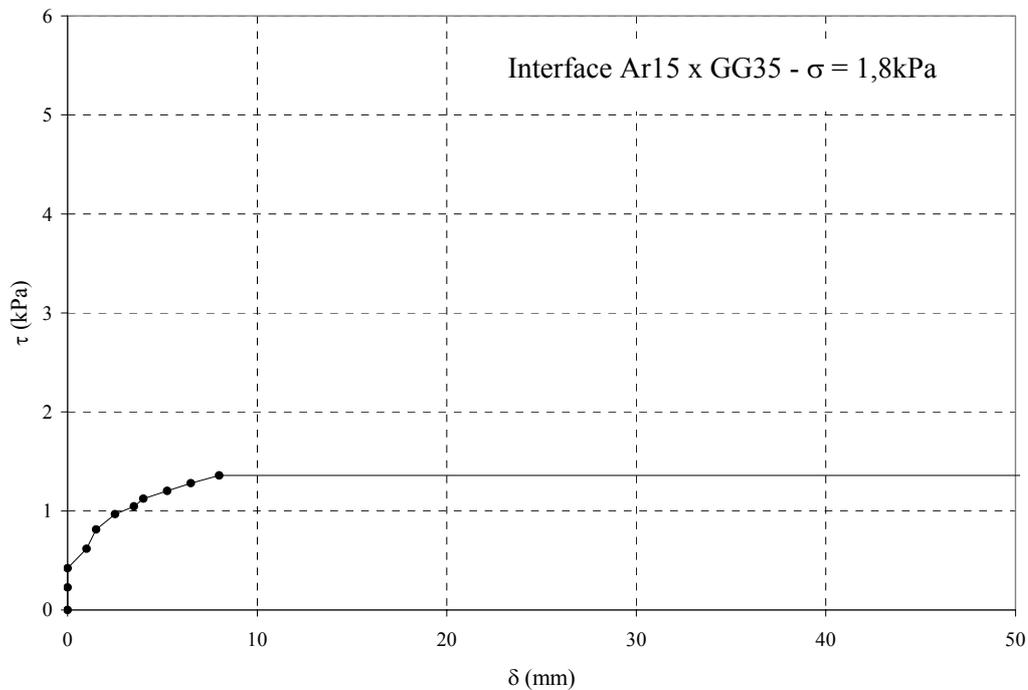


Figura 172 - Resultado típico de um ensaio de cisalhamento direto.

5.4.3. Ensaio de Cisalhamento Direto Inclinado

O procedimento do ensaio de cisalhamento direto inclinado também é relativamente simples. Consiste em inclinar a plataforma de ensaios até um ângulo pré-determinado, monitorado com o auxílio do medidor de ângulo de base magnética (Figura 173). Durante esta fase do ensaio, a caixa superior ainda é presa pelos grampos tipo C. O ensaio de cisalhamento direto inclinado se inicia com a remoção dos grampos e a colocação de pesos sobre a plataforma de aplicação de cargas da mesma forma que no ensaio de cisalhamento direto convencional. Para cada estágio (incremento de carga), monitoram-se os deslocamentos da caixa superior em relação à inferior até ocorrer à ruptura da interface.



Figura 173 - Inclinação da plataforma para ensaio de cisalhamento direto inclinado. Observa-se o grampo tipo C impedindo o movimento da caixa superior.

Os resultados são apresentados na forma de gráficos força cisalhante, em (kN) vs deslocamento da caixa δ (mm), conforme a Figura 174. O valor adotado para o deslocamento da caixa superior a cada estágio corresponde à média dos deslocamentos medidos nas duas extremidades da caixa. Os gráficos serão apresentados com valores de deslocamentos máximos de 50mm, seguindo a metodologia do ensaio de rampa.

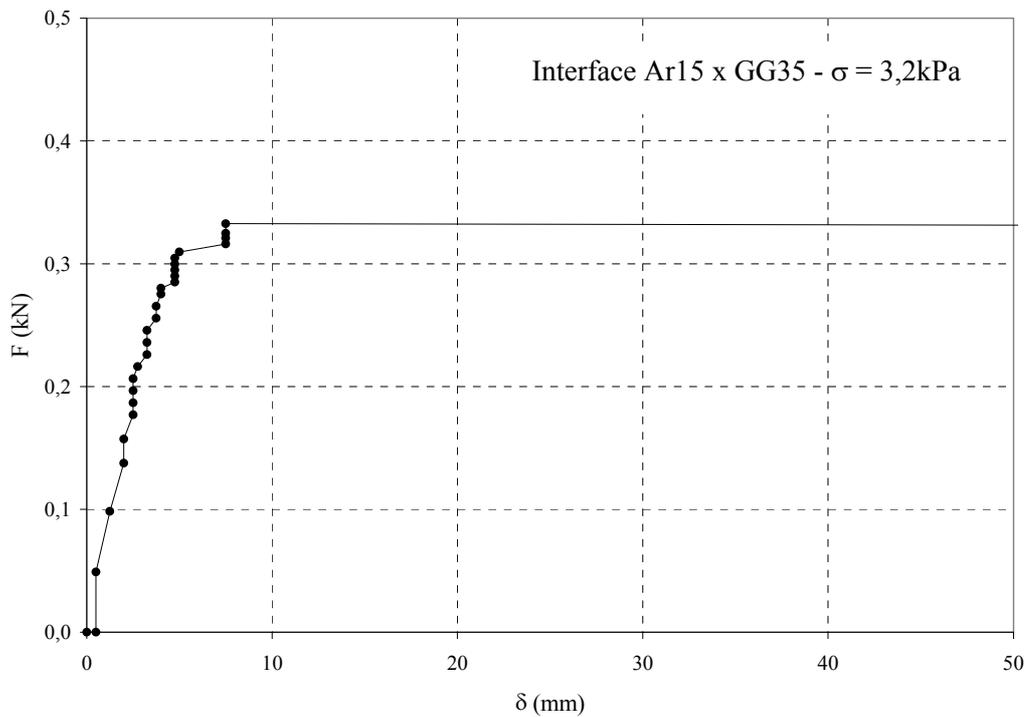


Figura 174 - Resultado típico de um ensaio de cisalhamento direto inclinado.

5.5. Metodologias de Análises de Resultados

Para se obter os parâmetros de interface (a e ϕ_{sg}), deve-se construir a envoltória de resistência a partir de uma série de ensaios com diferentes tensões de confinamento, conforme Equação (1) do Item 2.4.

As tensões atuantes em cada um dos ensaios de rampa, cisalhamento direto inclinado e convencional são as tensões normal (σ) e cisalhante (τ) no plano da interface solo-solo ou solo-geossintético.

Observa-se que as curvas típicas em termos de ângulo de rampa (ou força cisalhante) vs deslocamento podem ser transformadas em curvas tensão cisalhante vs deslocamento, possibilitando as comparações entre os diferentes tipos ensaios.

5.5.1. Ensaio de Rampa

No ensaio de rampa as tensões cisalhante e normal são oriundas do peso do conjunto solo-caixa superior. A Figura 175 esquematiza o conjunto de forças atuantes no ensaio de rampa, onde P é a força vertical confinante (soma do peso da camada de solo mais a tampa de confinamento e placas de aço), $P \cdot \cos\alpha$ a componente normal, $P \cdot \sin\alpha$ a componente cisalhante. A força Q é o peso da caixa de ensaio, $Q \cdot \cos\alpha$ a componente normal, $Q \cdot \sin\alpha$ a componente tangencial do peso da caixa superior. Entretanto, é importante mencionar que a componente do peso da caixa superior na direção normal ao plano é resistida pela caixa inferior de ensaio, não contribuindo na tensão normal. Denominou-se de F a componente tangencial $Q \cdot \sin\alpha$.

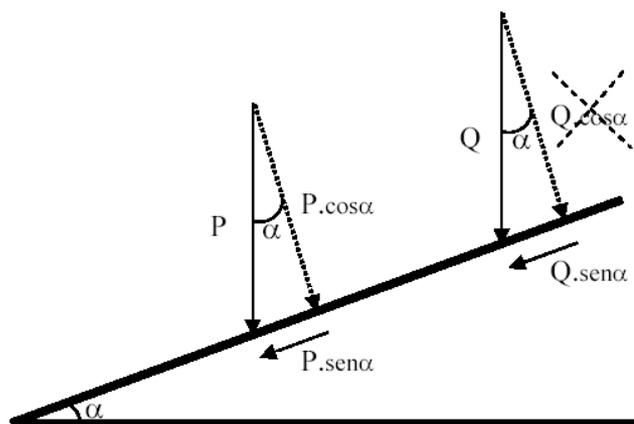


Figura 175 - Esquema de forças do ensaio de rampa.

Sabe-se que a tensão normal não é uniforme ao longo da superfície de contato solo-geossintético. Ela varia com a inclinação da rampa e apresenta uma distribuição trapezoidal. Porém, assume-se, para efeito de cálculo, que ela é uniformemente distribuída. Desta forma, tem-se:

$$\sigma = \frac{P \times \cos\alpha}{A} \quad (14)$$

$$\tau = \frac{P \times \sin\alpha + F}{A} \quad (15)$$

$$F = Q \times \sin\alpha \quad (16)$$

onde:

σ = tensão normal na interface;

τ = tensão cisalhante na interface solo-geossintético;

P = força vertical confinante;

A = área de contato solo-geossintético;

α = ângulo de inclinação da rampa;

F = componente tangencial do peso da caixa superior;

Q = peso da caixa superior.

5.5.2. Cisalhamento Direto Convencional e Inclinado

No ensaio de cisalhamento inclinado a tensão normal é oriunda do peso do conjunto solo, tampa de confinamento e placas de aço. Porém, a tensão cisalhante é devida à soma de duas parcelas: componente do peso do conjunto anteriormente citado e peso depositado na plataforma de aplicação de cargas. A Figura 176 esquematiza o conjunto de forças atuantes no ensaio de cisalhamento inclinado, onde além das forças atuantes no ensaio de rampa temos a força C, que é a componente devido aos pesos depositados na plataforma de cargas.

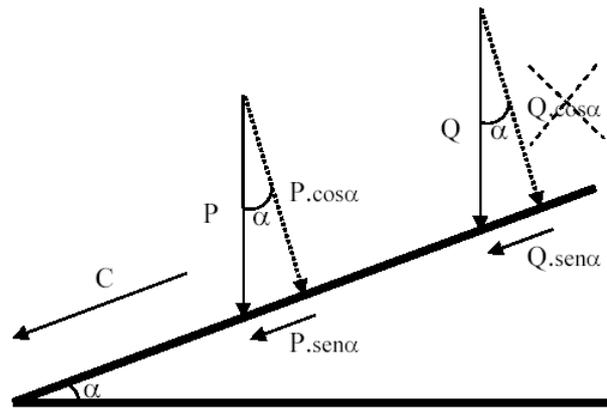


Figura 176 - Esquema de forças do ensaio de cisalhamento direto inclinado.

Desta forma, a tensão cisalhante pode ser expressa por:

$$\tau = \frac{P \times \text{sen}\alpha + F + C}{A} \quad (17)$$

onde:

C = peso depositado na plataforma de cargas.

O ensaio de cisalhamento direto pode ser visto como um caso particular do ensaio de cisalhamento direto inclinado, onde a plataforma de ensaios se encontra na posição 0 graus. Desta forma, a tensão normal é oriunda dos pesos de confinamento mais o peso da camada de solo. Já a tensão cisalhante deve-se, exclusivamente, aos pesos depositados na plataforma de aplicação de cargas. Assim, as equações que definem a resistência ao cisalhamento são:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (18)$$

$$\tau = \frac{C}{A} \quad (19)$$

5.6. Programa de Ensaio

O desenvolvimento desta pesquisa se constituiu da realização de um amplo programa de ensaios de rampa, cisalhamento direto convencional e inclinado, o

qual foi associado aos ensaios apresentados por Aguiar (2003) e Rezende (2005), executados na configuração original de ensaio de rampa (RP100Q-5) e por Tavares (2008) na configuração atual (RP50R-10 e CI50R-10).

5.6.1. Ensaio da Tese

O programa de ensaios desta pesquisa contempla a realização de ensaios de rampa, cisalhamento inclinado e cisalhamento direto, utilizando as configurações anteriormente descritas no Capítulo 4. As Tabelas 28, 29 e 30 resumem os programas de ensaios de rampa, cisalhamento direto convencional e cisalhamento direto inclinado.

Para os três tipos de ensaios foram utilizadas as diferentes caixas construídas. Os ensaios de rampa empregaram as quatro novas configurações disponíveis (RP25Q-10, RP50Q-10, RP50R-10 e RP100Q-10). Já os ensaios de cisalhamento direto convencional e inclinado utilizaram, somente, as configurações CI25Q-10 e CI50R-10.

Os ensaios de rampa foram executados variando-se a espessura da camada de solo. Utilizaram-se as espessuras de 2,5; 5,0 e 10,0cm. Os ensaios de cisalhamento direto convencional e inclinado foram realizados, somente, com espessura de 5,0cm.

Os ensaios de rampa foram executados variando-se a inclinação das faces frontal e de fundo das caixas, também. Consideraram-se duas metodologias: faces verticais (inclinação nula) e inclinadas de 30° com a vertical. Por sua vez, os ensaios de cisalhamento direto convencional e inclinado foram realizados com as faces, frontal e traseira, das caixas verticais.

Os três tipos de ensaios foram executados com areia (Ar) nas densidades relativas de 15, 45 e 90%. Os geossintéticos adotados foram geomembrana Polimanta (GMPL), geomembrana Cipageo (GMCP) e Geogrelha Fortrac 35 (GG35).

As tensões confinantes (σ_c) variaram entre 1,1 e 5,8kPa considerando a plataforma de ensaio na horizontal.

Tabela 28 - Programa de Ensaios de Rampa

Conf.	FF	Área (m ²)	FC	h (cm)	Interface	
					ensaio	σ_c (kPa)
	V	0,25	quadrada	2,50	Ar15xAr15	(1,4)(2,1)(2,8)(3,5)
					Ar15xGMPL	(1,4)(2,1)(2,8)(3,5)(4,6)
					Ar45xGMPL	(1,4)(2,1)(2,8)
					Ar90xGMPL	(1,4)(2,1)(2,8)
					Ar15xGG35	(1,4)(2,1)(2,8)(3,5)(4,6)
					Ar15xGMCP	(1,4)(2,1)(2,8)
					Ar15xAr15	(1,1)(1,8)(3,2)(5,0)
RP25Q-10	V	0,25	quadrada	5,00	Ar15xGMPL	(1,8)(3,2)(5,0)
					Ar15xGG35	(1,1)(1,8)(2,5)(3,3)(5,0)
					Ar15xAr15	(1,6)(2,6)(3,3)(4,0)(4,7)
	V	0,25	quadrada	10,0	Ar15xGMPL	(2,6)(4,0)(5,8)
					Ar15xGG35	(1,8)(3,3)(4,7)
					Ar15xAr15	(2,7)(4,3)
	I	0,22	retangular	10,0	Ar15xGMPL	(2,7)(3,5)(5,1)
					Ar15xGG35	(2,7)(3,5)(4,3)
RP50Q-10	V	0,50	quadrada	10,0	Ar15xAr15	(1,6)
					Ar15xGG35	(1,6)
RP50R-10	V	0,50	retangular	5,00	Ar15xAr15	(1,1)(1,8)(2,5)(3,6)
					Ar15xGMPL	(1,1)(1,8)(2,5)(3,6)
					Ar15xGG35	(1,1)(1,8)(2,5)(3,6)
	V	0,50	retangular	10,0	Ar15xAr15	(1,6)(2,6)(3,3)(4,5)
					Ar15xGG35	(1,6)(2,6)(3,3)
RP100Q-10	V	1,00	quadrada	10,0	Ar15xAr15	(1,6)
					Ar15xGG35	(1,6)

Conf.=configuração; FF=inclinação das faces frontal e de fundo da caixa superior - V para faces frontal e de fundo verticais e I para faces frontais e de fundo inclinadas de 30°; FC=forma da caixa; Ar15=areia na densidade relativa de 15%; Ar45=areia na densidade relativa de 45%; Ar90=areia na densidade relativa de 90%; GMPL=geomembrana Polimanta; GMCP=geomembrana Cipageo; GG35=geogrelha Fortrac 35kN/m; h=espessura de solo no interior das caixas de ensaio. Nota: Os valores da tensão normal são os iniciais com a plataforma de ensaios a ZERO graus.

Tabela 29 - Programa de Ensaios de Cisalhamento Direto

Conf.	FF	Área (m ²)	FC	α (°)	Interface	
					ensaio	σ_c (kPa)
CI25Q-10	V	0,25	quadrada	0,00	Ar15xAr15	(1,1)(1,8)(3,2)(4,6)(5,6)(7,0)(8,4)
					Ar15xGMPL	(1,1)(1,8)(3,2)(4,6)(5,6)(7,0)(8,4)
					Ar15xGG35	(1,1)(1,8)(3,2)(4,6)(5,6)(7,0)(8,4)
CI50R-10	V	0,50	retangular	0,00	Ar15xAr15	(1,8)(2,5)(3,6)(5,0)
					Ar15xGMPL	(1,8)(2,5)(3,6)(5,0)
					Ar15xGG35	(1,8)(2,5)(3,6)(5,0)

Conf.=configuração; FF=inclinação das faces frontal e de fundo da caixa superior - V para faces frontal e de fundo verticais e I para faces frontais e de fundo inclinadas de 30°; FC=forma da caixa; Ar15=areia na densidade relativa de 15%; Ar45=areia na densidade relativa de 45%; Ar90=areia na densidade relativa de 90%; GMPL=geomembrana Polimanta; GMCP=geomembrana Cipageo; GG35=geogrelha Fortrac 35kN/m; h=espessura de solo no interior das caixas de ensaio. Nota: Os valores da tensão normal são os iniciais com a plataforma de ensaios a ZERO graus.

Tabela 30 - Programa de Ensaios de Cisalhamento Direto Inclinado

Conf.	FF	Área (m ²)	FC	α (°)	Interface	
					ensaio	σ_c (kPa)
CI25R-10	V	0,25	quadrada	4,50	Ar15xAr15	(1,8)(3,2)(5,0)
					Ar15xGMPL	(1,8)(3,2)(5,0)
					Ar15xGG35	(1,8)(3,2)(5,0)
	V	0,25	quadrada	9,00	Ar15xAr15	(1,8)(3,2)(5,0)
					Ar15xGMPL	(1,8)(3,2)(5,0)
					Ar15xGG35	(1,8)(3,2)(5,0)
V	0,25	quadrada	18,0	Ar15xAr15	(1,8)(3,2)(5,0)	
				Ar15xGG35	(1,8)(3,2)(5,0)	

Conf.=configuração; FF=inclinação das faces frontal e de fundo da caixa superior - V para faces frontal e de fundo verticais e I para faces frontais e de fundo inclinadas de 30°; FC=forma da caixa; Ar15=areia na densidade relativa de 15%; Ar45=areia na densidade relativa de 45%; Ar90=areia na densidade relativa de 90%; GMPL=geomembrana Polimanta; GMCP=geomembrana Cipageo; GG35=geogrelha Fortrac 35kN/m; h=espessura de solo no interior das caixas de ensaio. Nota: Os valores da tensão normal são os iniciais com a plataforma de ensaios a ZERO graus.

Tabela 30 (cont.) - Programa de Ensaios de Cisalhamento Direto Inclinado

Conf.	FF	Área (m ²)	FC	α (°)	Interface	
					ensaio	σ_c (kPa)
CR50R-10	V	0,50	retangular	4,50	Ar15xGMPL	(1,8)(2,5)(3,6)
	V	0,50	retangular	9,00	Ar15xAr15	(1,8)(2,5)(3,6)
					Ar15xGG35	(1,8)(2,5)(3,6)
					Ar15xAr15	(1,8)(2,5)(3,6)
V	0,50	retangular	18,0	Ar15xGG35	(1,8)(2,5)(3,6)	

Conf.=configuração; FF=inclinação das faces frontal e de fundo da caixa superior - V para faces frontal e de fundo verticais e I para faces frontais e de fundo inclinadas de 30°; FC=forma da caixa; Ar15=areia na densidade relativa de 15%; Ar45=areia na densidade relativa de 45%; Ar90=areia na densidade relativa de 90%; GMPL=geomembrana Polimanta; GMCP=geomembrana Cipageo; GG35=geogrelha Fortrac 35kN/m; h=espessura de solo no interior das caixas de ensaio. Nota: Os valores da tensão normal são os iniciais com a plataforma de ensaios a ZERO graus.

As campanhas de ensaios procuram avaliar as seguintes influências: geometria das caixas de ensaio (tamanho, forma, altura de solo no interior das caixas de ensaio), ângulo de inclinação da rampa, materiais envolvidos (densidade relativa e tipo de geossintético) e tensão confinante.

Também são avaliadas as eficiências de cada interface em função dos parâmetros de resistência do solo sem reforço, de acordo com as seguintes expressões:

$$E_{\phi} = \frac{\tan \phi_{sg}}{\tan \phi} \quad (19)$$

$$E_c = \frac{a}{c} \quad (20)$$

onde:

E_{ϕ} = eficiência da interface em função de ângulo de atrito;

ϕ_{sg} = ângulo de atrito da interface solo-geossintético;

ϕ = ângulo de atrito do solo;

E_c = eficiência da interface em função de adesão;

a = adesão da interface solo-geossintético;

c = coesão do solo.

5.6.2. Ensaio Pré-existent

A configuração de ensaio de rampa RP100Q-5 já foi estudada por Aguiar (2003) e Rezende (2005). Nas suas campanhas de ensaios foram avaliados o desempenho da configuração e as influências dos tipos de solo, de geossintéticos, densidade relativa e tensão confinante.

Os autores empregaram nos seus trabalhos, três solos e quatro geossintéticos. Os solos foram um silte, um pedregulho (Brita nº1) e a mesma areia utilizada nesta pesquisa. Os geossintéticos foram o geotêxtil não-tecido Ober G300, a geomembrana Cipageo e as geogrelhas Fortrac 35 e 55. Os resultados obtidos pelos autores são apresentados nos Apêndices VI e VII.

As configurações de ensaio de rampa RP50R-10 e de cisalhamento inclinado CI50R-10, desenvolvidas neste trabalho, foram utilizadas por Castro (2008). Nos seus estudos foram empregados um pedregulho (Brita nº0) e dois dos geossintéticos utilizados nesta pesquisa (geogrelha Fortrac 35 e a geomembrana Polimanta).

A autora avaliou a influência do tipo de geossintético, do tipo de solo, da tensão confinante e do tipo de ensaio. O Apêndice VIII apresenta mais detalhes sobre a pesquisa de Tavares (2008).

Este banco de ensaios vai ser incorporado ao trabalho a fim de complementar a análise de resultados de ensaio de rampa, cisalhamento direto e cisalhamento direto inclinado.

5.7. Considerações Finais

Para a realização dos ensaios da tese foram escolhidos um solo e três tipos de geossintéticos. Os solos consistem de uma areia angulosa, areia da Praia de Ipanema, e os geossintéticos são duas geomembranas (uma de PVC e uma de PEAD) e uma geogrelha.

A metodologia de montagem dos corpos de prova é idêntica, independentemente do tipo de ensaio. Porém, as metodologias de ensaios e análise apresentam particularidades inerentes a cada um dos ensaios.

O programa de ensaios considera a utilização de algumas das configurações de ensaio descritas no Capítulo 4. Os objetivos são avaliar a influência das condições de contorno, obter os parâmetros de interface (adesão e ângulo de atrito de interface) e eficiências de interface.

Nas análises foram, também, incorporados os resultados de ensaios já realizados por Aguiar (2003), Rezende (2005) e Tavares (2008).