3.
Programa experimental de campo

O estudo experimental de campo constituiu na execução de 8 ensaios de arrancamento realizados ao longo do perfil da encosta. Os ensaios foram realizados com intuito de se obter a resistência lateral no contato solo/nata de cimento ao longo dos grampos. Para se avaliar o comportamento e a distribuição do carregamento durante o ensaio, 4 grampos foram instrumentados com extensômetros elétricos ao longo do trecho injetado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

3.1.
Área de estudo

O estudo experimental de campo foi realizado no morro do Palácio, bairro de Boa Viagem, município de Niterói. Trata-se de um projeto de contenção em solo grampeado de um talude de escavação com inclinação média de 79° e altura aproximada de 40m, em solo residual gnáissico silto-areno-argiloso, onde futuramente será implantado um edifício de apartamentos residenciais.

3.1.1.
Geologia local

Segundo Gomes Silva (2005), a área de estudo apresenta uma geologia marcada por grande diversidade de rochas, causada por um sistema de falhamentos de direção NE-SW, mergulho acentuado para SE, intercalando kinzigito, quartzito, granada-biotita gnaisse, gnaisse calcissilicático, além de veios de pegmatito e diques de diabásio alterados, sobrepostas às rochas pré-cambrianas que formam o embasamento da Baía de Guanabara. As rochas, na área do estudo, encontram-se alteradas, formando um espesso pacote de solo residual gnáissico silto-areno-argiloso.

O sistema de descontinuidades na área é formado pelo bandeamento metamórfico (F1) e por quatro famílias de fraturas. A foliação (F1) é verticalizada, com mergulhos suaves para NW. As principais famílias de fraturas (F2 e F3) são ambas subverticais. Há ainda outras duas famílias de fraturas subhorizontais (F4 e F5) que aparecem ocasionalmente em alguns setores. A caracterização das descontinuidades existentes no maciço rochoso foi realizada de acordo com as

sugestões da ISRM (1978) para a descrição quantitativa das descontinuidades considerando a atitude, persistência, espaçamento, abertura, preenchimento, percolação e rugosidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização das descontinuidades do maciço.

Características	**Descontinuidade**				
	Foliação F1	Fratura F1	Fratura F1	Fratura F1	Fratura F1
Direção/Mergulho (graus)	100/20	70/90	150/90	80/30	120/08
Espaçamento (cm)	<0,2	3	5	15	8,5
Persistência (m)	>20	7	8	5	8
Abertura (mm)	<0,5	0,3	0,5	0,1	0,2
Observações	Descontinuidades sem preenchimento e sem água				

A área pesquisada está inserida na Unidade Morfoestrutural Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas que representa os terrenos colinosos de baixa amplitude de relevo, localizados a leste da Baía de Guanabara e compreendidos entre as planícies costeiras e baixadas fluviomarinhas e a escarpa da Serra do Mar. A unidade é constituída por um relevo suave e uniforme de colinas amplas, baixas e niveladas, apresentando vertentes convexas, muito suaves, e topos arredondados. O relevo apresenta-se com padrão dendrítico e com uma densidade de drenagem baixa a média. Próximo à baixada da Baía de Guanabara, essa drenagem torna-se imperfeita, com padrão de canal divagante, devido ao lençol freático subaflorante.

3.1.2. Ensaios SPT

As sondagens de simples reconhecimento à percussão consistem basicamente na cravação de um amostrador padrão no solo, através da queda livre de um peso de 65kgf (martelo), caindo de uma altura pré-determinada (75cm). As características do amostrador, bem como os procedimentos de execução do ensaio estão especificados na NBR 6484/1980 (Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

Foram realizados 7 furos de sondagens (SP-01 a SP-07) que indicaram solo residual de gnaisse constituído por misturas silto-argilosas ou argilo-siltosas, às vezes com presença de pedregulhos, de coloração variável, desde o branco ao marrom escuro.

A camada de solo residual apresentou SPT praticamente crescente com a profundidade como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios SPT.

Cota (m)	N(SPT) SP-01	N(SPT) SP-02	N(SPT) SP-03	N(SPT) SP-04	N(SPT) SP-05	N(SPT) SP-06	N(SPT) SP-07
36,79	-	9	-	-	-	-	-
35,79	-	13	-	-	-	-	-
34,79	-	29	-	-	-	-	28
33,79	-	35	-	-	-	-	22
32,79	-	37	-	-	-	-	19
31,79	-	37	-	-	-	-	18
30,79	-	29	-	-	-	-	14
29,79	8	27	120	-	-	-	23
28,79	25	27	75	-	-	-	29
27,79	29	27	44	-	-	-	26
26,79	33	31	35	-	-	-	29
25,79	38	31	39	34	-	-	23
24,79	42	28	38	43	-	24	23
23,79	40	35	36	60	-	28	24
22,79	43	32	38	90	-	23	24
21,79	43	34	64	90	32	28	33
20,79	45	29	68	214	29	14	36
19,79	60	24	52	15	31	25	30
18,79	54	35	75	46	34	24	60
17,79	41	38	60	40	30	24	120
16,79	44	40	69	41	66	27	90
15,79	66	41	120	64	40	29	60
14,79	60	40	120	43	44	37	45
13,79	90	41	60	46	32	41	40
12,79	75	41	60	68	-	42	44
11,79	60	42	120	63	-	44	70

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

3.2.
Características dos grampos

Os ensaios de arrancamento foram executados em grampos injetados em furos de 75mm, realizados por uma sonda rotativa. O preenchimento do furo foi executado com nata de cimento com fator água/cimento igual a 0,6. A Figura 1 apresenta esquematicamente os componentes dos grampos.

As barras de aço utilizadas são do tipo INCO-13-D com diâmetro nominal de 22mm e tensão de escoamento de 750 MPa. São barras rosqueadas em toda a superfície lateral, com a finalidade de melhorar a aderência com a nata de cimento e facilitar a emenda em caso de grampos com comprimentos superiores a 6m (comprimento de fabricação das barras).

Na fase de instalação, o posicionamento correto das barras de aço no centro dos furos era garantido através da colocação de centralizadores ao longo das barras, espaçados de um metro, impedindo o contato da barra com as paredes do furo.

Os grampos ensaiados tinham comprimento total de 4m, sendo constituídos por um trecho livre de 1m, garantido por um obturador de espuma, e por um trecho injetado de 3m. Para se controlar o preenchimento total dos trechos injetados foram instaladas mangueiras de reinjeção e um tubo de retorno (Figura 2).

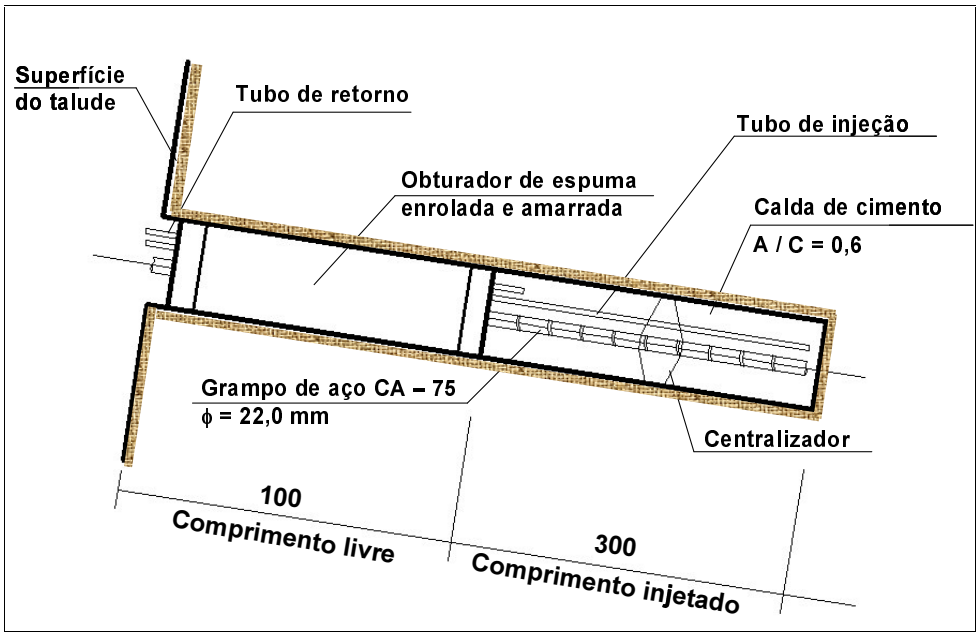


Figura 1 - Esquema dos componentes dos grampos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

Figura 2 – Detalhe da espuma para garantia do trecho livre e tubo de reinjeção.

3.3.
Instrumentação das barras de arrancamento

Partes dos grampos utilizados nos ensaios de arrancamento foram instrumentadas com extensômetros elétricos (*strain gages*) ao longo das barras de aço, a fim de se monitorar a distribuição das deformações e cargas ao longo dos grampos durante a execução dos ensaios.

O processo de instrumentação das barras seguiram as recomendações de Nunes et al. (2006). Cada barra foi instrumentada com 5 *strain gages* ao longo do trecho injetado distando de 50 cm entre si, a partir do de trecho livre de 1m.

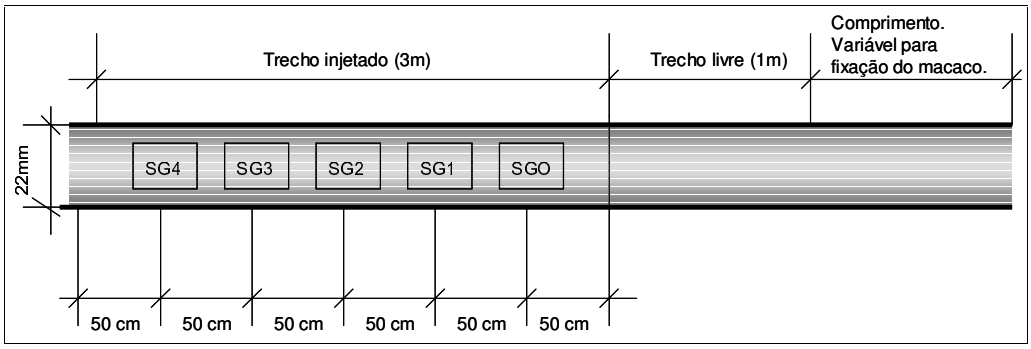


Figura 3 - Esquema da instrumentação das barras.

Foram utilizados extensômetros elétricos (*strain gages*) fabricados pela Excel sensores, específicos para aço com resistência de 120Ω, do tipo PA-06-125AA-120-LEN. Apresentam 6,35mm de comprimento e 3,18mm de largura. Estas dimensões foram escolhidas de forma a minimizar a área da barra de aço necessária para a colagem do *strain gage.*

Os *strain gages* apresentam um fator de sensibilidade (*gage factor*) de 2,1, conforme informação do fabricante.

Nas áreas de colagem dos *strain gages*, a barra de aço foi usinada a fim de eliminar as nervuras e proporcionar uma região plana e uniforme. Os *strain*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

gages e seus terminais foram fixados com cola do tipo cianoacrilato. Após a ligação dos *strain gages* aos terminais e destes ao cabo central de leituras, o conjunto foi isolado eletricamente e protegido com resina epóxi contra danos mecânicos e de umidade. A Figura 4 ilustra o conjunto *strain gage*-terminal-fios antes e após a aplicação da resina epóxi de proteção.

(a) (b)

Figura 4 – Detalhe da instalação do *strain gage* na seção usinada: (a) fios de ligação e cabo central de emissão de sinais; (b) proteção com cola plástica impermeável.

Os *strain gages* foram ligados em ponte de *Wheatstone* completa através do auxílio de caixa acessória externa a barra, contendo os circuitos de resistores das pontes.

A deformação (ε) dos extensômetros elétricos é dada pela seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R.FS} \tag{3.1}$$

onde: ε = deformação específica; ΔR = variação de resistência (Ohms); V = voltagem de alimentação; R = resistência nominal; FS = fator de sensibilidade.

Da Equação (3.1), as deformações específicas dos *strain gages* podem ser calculadas através de:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R.FS} = \frac{4.\Delta L}{(V + 2.\Delta L).FS} \tag{3.2}$$

onde: ε = deformação específica, ΔL = variação da leitura dos *strain gages* devido ao carregamento; R = resistência nominal; FS = fator de sensibilidade; V = voltagem de alimentação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

Os extensômetros elétricos são medidores de deformação que apresentam elevada precisão e resolução. Desta forma, o processo de instrumentação das barras exige uma serie de cuidados para garantir que as condições de instalação e de injeção dos grampos, bem como as condições naturais de campo, não interfiram nas medidas destes instrumentos.

Durante a instrumentação, um conjunto de detalhes pode modificar as condições ideais de trabalho dos *strain gages*, ressaltando-se:

- Ocorrência de bolhas de ar no contato extensômetro/barra;
- Interferência na corrente de alimentação devido ao contato entre os cabos de transmissão e a barra;
- Isolamento elétrico inadequado;
- Alinhamento incorreto dos *strain gages* durante o processo de colagem;
- Umidade gerada pelo contato do operador com o *strain gage*;
- Rugosidade da superfície de contato.

Para se colar os medidores de deformação nas barras é necessário fazer-se a usinagem dos locais de instrumentação (Figura 4a). Este processo altera a área da seção transversal da barra de aço, podendo variar de um *strain gage* para outro.

Com o objetivo de se minimizar estes efeitos, foram realizados ensaios de calibração em todas as barras instrumentadas, permitindo assim obter a curva carga versus deformação para cada extensômetro elétrico.

O sistema de aquisição de dados dos ensaios de arrancamento consiste em um sistema eletrônico de alimentação dos extensômetros elétricos e aquisição de dados gerados pelos instrumentos. A Figura 5 apresenta um esquema de funcionamento do sistema de aquisição de dados.

A caixa que contém a placa de aquisição de dados é alimentada pela energia elétrica da rede externa. A energia é transformada em 3 Volts que alimentam a caixa com as pontes de *Wheastone*, que por sua vez alimentam os *strain gages* das barras instrumentadas. A célula de carga é energizada por uma bateria de 10 Volts independente. Os sinais elétricos da barra instrumentada e da célula de carga são enviados para a placa de aquisição de dados que fazem a decodificação das leituras de voltagem e são armazenadas no computador.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

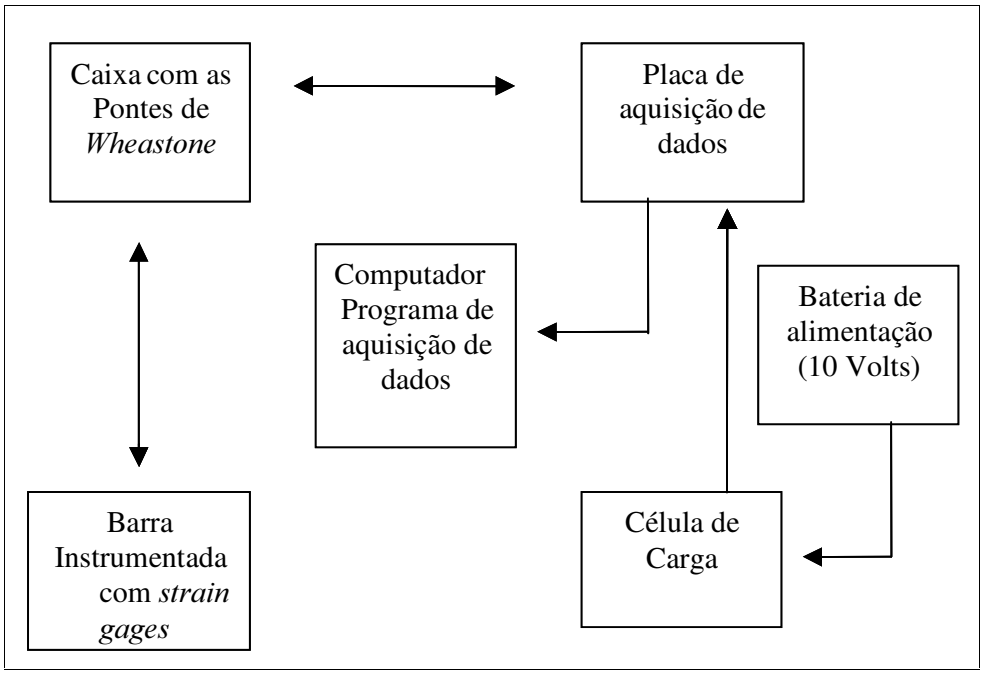


Figura 5 - Esquema de funcionamento do sistema de aquisição de dados da instrumentação.

O programa de aquisição de dados compila os dados de leitura da célula de carga e dos extensômetros elétricos no decorrer do tempo. Os dados são armazenados em unidades de voltagem e, posteriormente, transformados através das curvas de calibração.

3.4. Ensaios de calibração das barras

Os ensaios de calibração foram realizados em ciclos de carregamento e descarregamento das barras, onde através do sistema de aquisição de dados eram medidas as cargas e as leituras dos *strain gages*. Estes ensaios foram executados com as barras inseridas em um tubo semi-rígido que servia de base de reação do macaco de aplicação de carga (Figura 6).

As cargas eram aplicadas em incrementos de força de 8,5kN até a carga máxima de 120kN, a partir da qual eram realizados o descarregamento e recarregamento para se verificar o comportamento dos *strain gages* em função dos diferentes ciclos de carga. Entre cada estágio de carga, aguardava-se o período de tempo necessário para a estabilização das deformações ao longo da barra.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

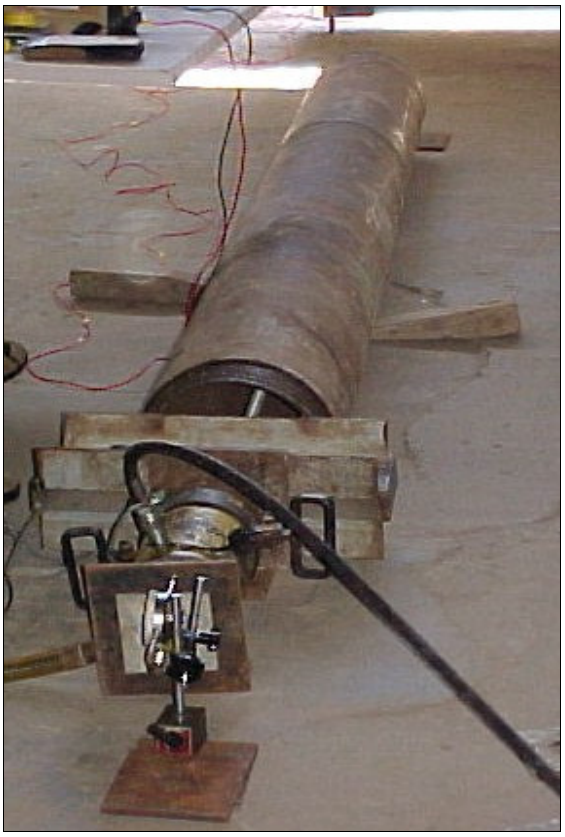


Figura 6 - Sistema dos ensaios de calibração das barras.

A Figura 7 apresenta as curvas carga-deformação de um extensômetro elétrico medidas durante o ensaio de carregamento cíclico. Para fins de comparação, observa-se na figura a curva correspondente às deformações calculadas utilizando a lei de Hooke, comsiderando o diâmetro nominal da bara de aço (22mm) e o diâmetro médio reduzido após a usinagem das áreas de colagem dos *strain gages* (cerca de 16mm).

Pode-se observar um comportamento linear do extensômetro elétrico durante os respectivos ensaios de carregamento e descarregamento. Nota-se ainda uma diferença significante quando se compara os valores experimentais com os calculados através da lei de Hooke com o diâmetro nominal de fabricação das barras (22mm). Isto não ocorre no caso da lei de Hooke com o diâmetro após a isinagem (16mm), cuja reta coincide com os resultados da calibração. Isto demonstra a importância de realizar a calibração prévia dos *strain gages*, uma vez que os reais parâmetros da barra e o processo de instalação da instrmentação são considerados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

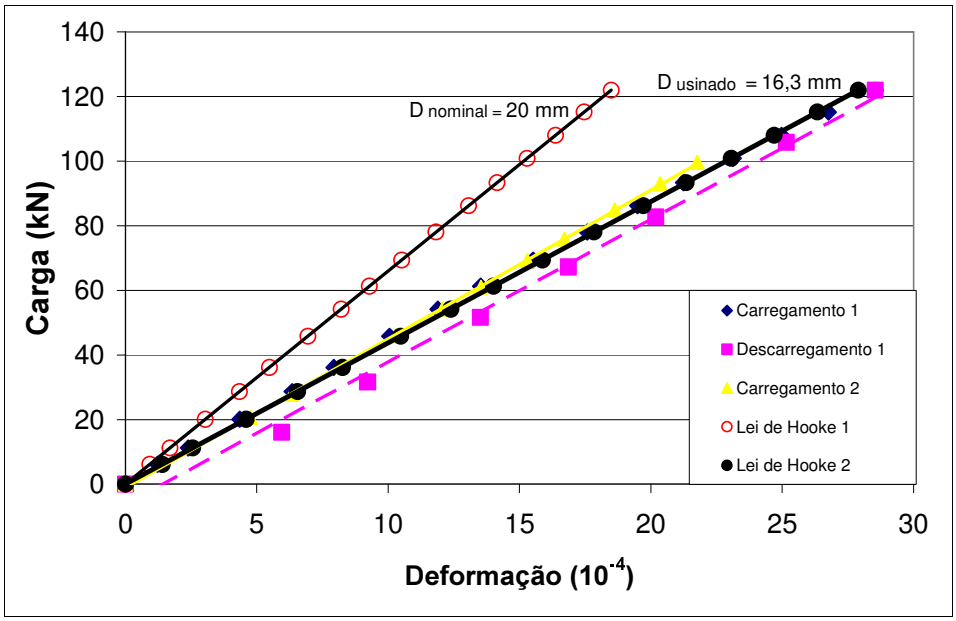


Figura 7 – Comportamento de um *strain gage* durante o ensaio de calibração.

Através dos ensaios de calibração pode-se definir a relação carga (kN) versus deformação específica para cada extensômetro elétrico e, desta forma, considerar os fatores intrínsecos aos processos de preparação, colagem e ligação dos *strain gages*.

A fim de se trabalhar com uma única constante de calibração para transformação das variações de leituras (mV) em deformação específica, fez-se necessário a utilização de um tratamento estatístico envolvendo todos extensômetros elétricos utilizados nesta campanha de ensaios e seus devidos ciclos de carregamento.

A carga de trabalho dos extensômetros pode ser definida através das equações seguintes:

$$F(kN) = 4,316.\varepsilon.10^{3} \tag{3.3}$$

$$F(kN) = 28,76.\Delta L \tag{3.4}$$

onde: ε = deformação específica; F = força em kN; ΔL = variação da leitura em (mV).

A Figura 8 mostra a dispersão das deformações calculadas a partir da reta de calibração média (Equação(3.3)) e da equação de Hooke com o diâmetro reduzido médio após usinagem, medido com o auxílio de um paquímetro (16,3mm). Quando comparado este valor com o diâmetro calculado através da

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

retro-análise da curva de calibração, pode-se estimar o erro do sistema de aquisição de dados. Este erro é atribuído às variações da corrente elétrica durante a execução dos ensaios e/ou à falhas no aterramento do sistema.

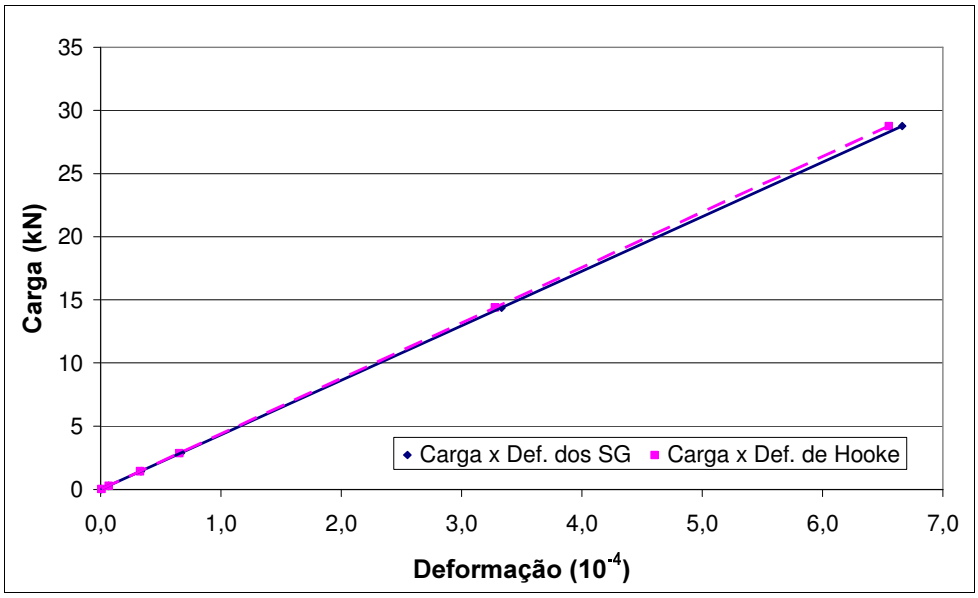


Figura 8 – Curvas carga versus deformações experimentais médias e calculadas.

O erro aproximado calculado foi de no máximo 0,66%, considerado desprezível para o cálculo das deformações resultantes dos ensaios de arrancamento.

3.5. Execução dos ensaios de arrancamento

Foram realizados 8 ensaios de arrancamento ao longo da escavação da encosta. Para cada cota selecionada, executaram-se 2 ensaios, um com grampo instrumentado para se observar à distribuição dos carregamentos, e outro com grampo não instrumentado para verificar o valor da resistência ao arrancamento obtido no primeiro ensaio.

Desta forma, a campanha de ensaios de campo se dividiu em 4 grupos realizados em etapas distintas da escavação. Em cada grupo eram realizados os 2 ensaios de arrancamento instrumentado e não instrumentado. Os grupos de ensaios de arrancamento foram denominados de AR01, AR02, AR03 e AR04 e ocorreram nas cotas 35m, 27m, 21m e 17,5m, respectivamente (Figura 9). Os grampos de sacrifício, a serem ensaiados, eram inseridos entre os grampos de projeto para não afetar o desempenho da estrutura de contenção. Os grampos

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

de arrancamento em cada cota de ensaio eram separados entre si por uma distância de 3m.

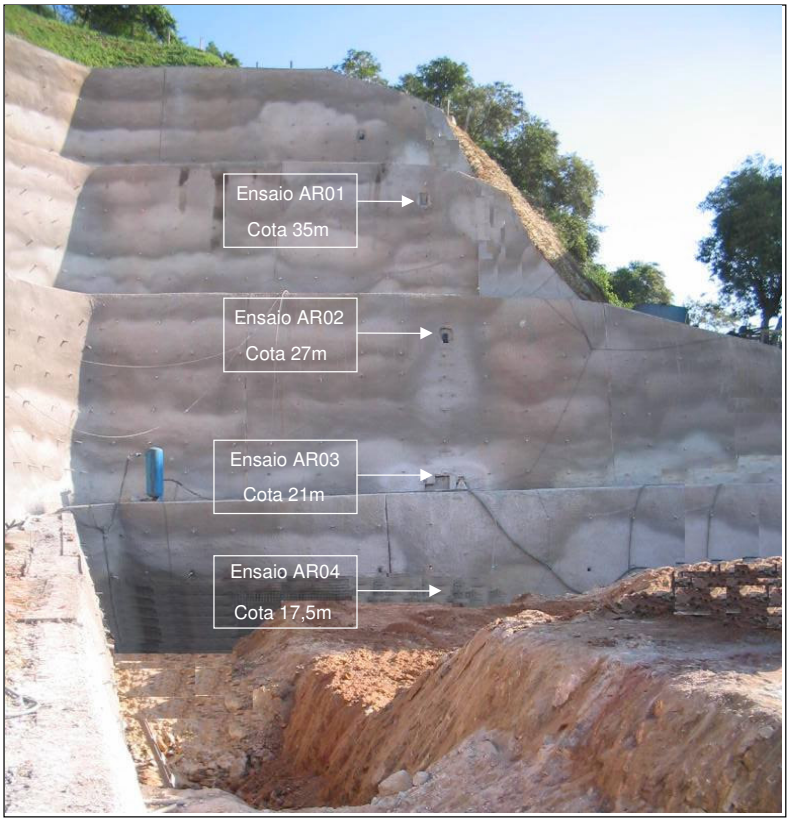


Figura 9 – Localização das cotas dos grampos de ensaios de arrancamento na escavação.

3.5.1. Procedimentos de ensaio

Os ensaios de arrancamento foram executados utilizando um macaco hidráulico com capacidade de 600kN e um extensômetro mecânico com curso de 20mm e precisão de 0,01mm, posicionado na placa de referência. As cargas foram medidas com uma célula de carga de capacidade de 200kN. Na Figura 10 pode-se ver o esquema de montagem dos ensaios de arrancamento.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

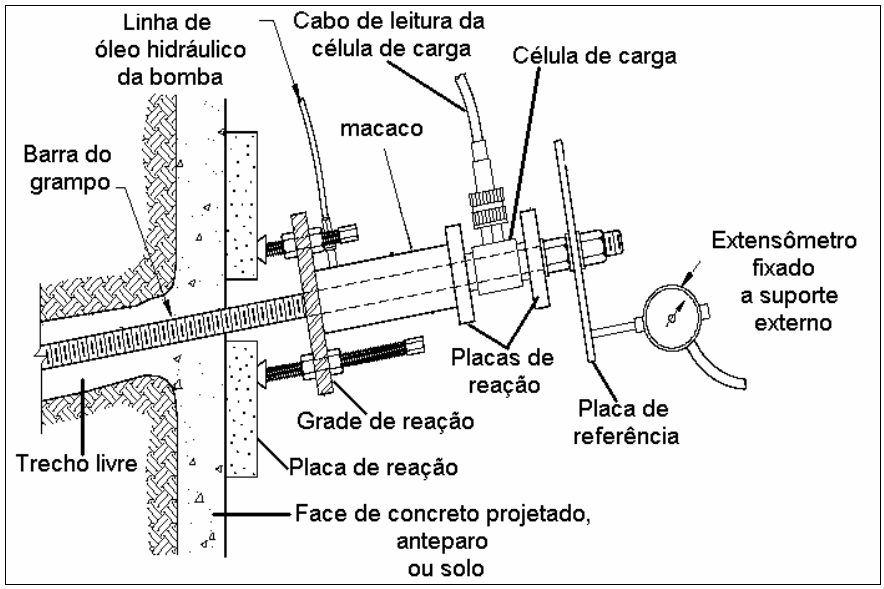


Figura 10 - Montagem do ensaio de arrancamento (adaptado de Ortigão e Sayão, 1999).

Os ensaios foram executados em estágios crescentes, com uma carga inicial de 20kN (pré-carga ou carga de aperto), carga necessária para acomodação do conjunto de placas, macaco hidráulico, célula de carga e extensômetro. Os incrementos de carga foram de 8,5kN e as medidas de deslocamentos na cabeça do grampo eram realizadas ao final de cada estágio de carregamento, até a sua estabilização.

Nos grampos instrumentados o intervalo de tempo entre os estágios eram mais longos, permitindo uma maior aquisição de dados. Este período era controlado pelo operador do sistema, através do monitoramento da curva tempo versus variação das leituras, até a estabilização dos extensômetros elétricos instalados nas barras.

Nos ensaios de arrancamento os grampos eram levados até a ruptura. Após este estágio, a carga era mantida constante para se determinar à ocorrência de um patamar de resistência residual (pós-pico). Em alguns casos, os ensaios foram interrompidos por limitações da célula de carga (200kN).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

3.5.2.
Resultados obtidos

Os resultados dos ensaios de arrancamento são apresentados relacionando-se a carga aplicada nos grampos com o deslocamento da cabeça. Para os grampos instrumentados com *strain gages* são também apresentados as curvas de distribuição das cargas ao longo dos grampos.

A resistência ao arrancamento máxima ocorrida na interface solo/grampo pode ser definida através da equação seguinte:

$$q_s = \frac{T_n}{\pi.D.L_a} \tag{3.5}$$

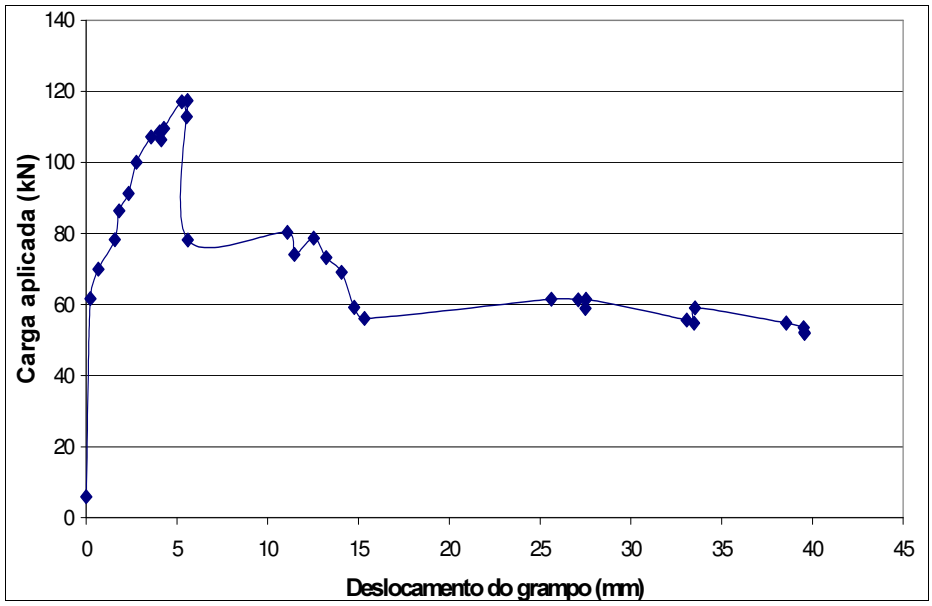
onde: q_s = atrito lateral unitário; T_n = carga máxima; D = diâmetro do furo; L_a = comprimento injetado.

As curvas de distribuição de cargas foram traçadas somente para o trecho injetado com nata de cimento, assumindo-se que as cargas aplicadas na extremidade externa do grampo (cabeça) se transmitem com a mesma intensidade no trecho livre de 1m.

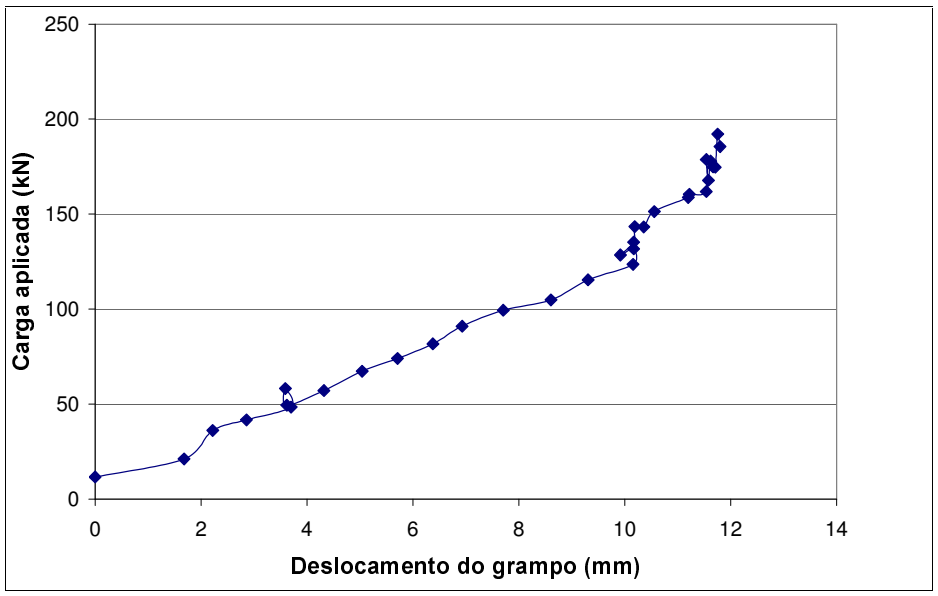
As Figuras 39 e 40 apresentam o conjunto de resultados referentes aos ensaios de arrancamento AR01 localizados na cota de 35m.

Observa-se da Figura 11 que as cargas máximas atingidas são iguais a 117,1 e 198,2kN para os grampos instrumentado e não instrumentado, respectivamente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA



(a) grampo instrumentado



(b) grampo não instrumentado

Figura 11 – Resultados dos ensaios de arrancamento AR01: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

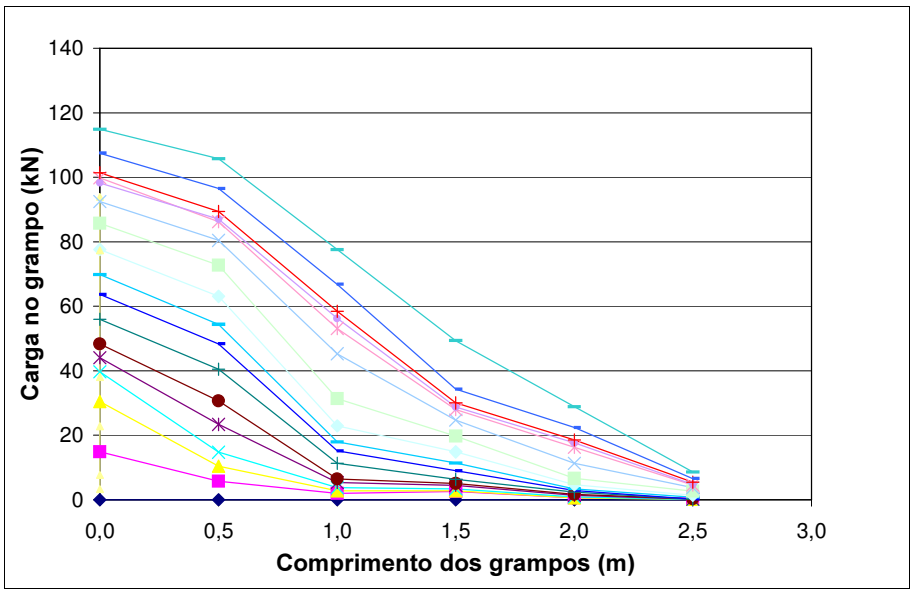


Figura 12 - Distribuição das cargas ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR01.

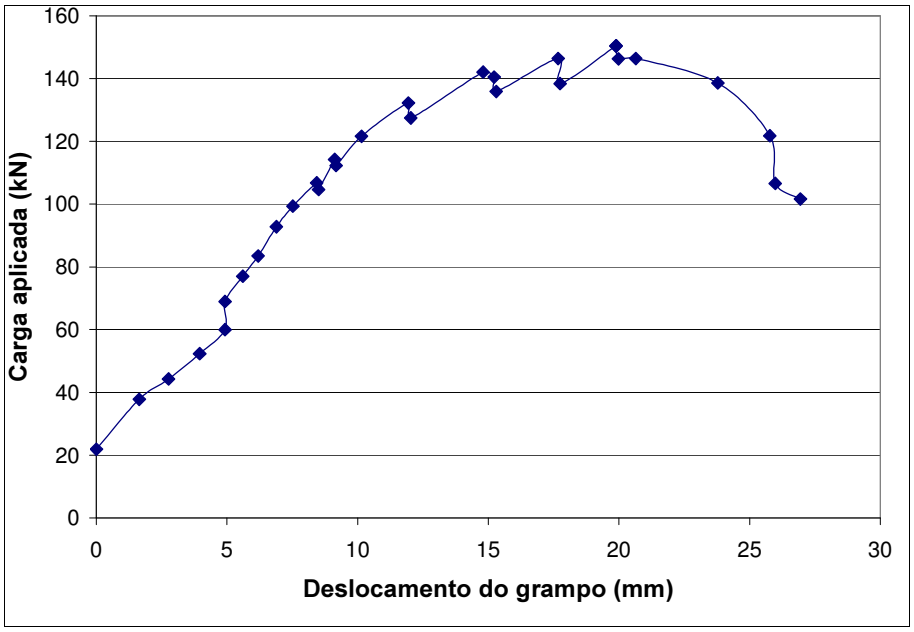
Na Figura 11 nota-se uma grande diferença na carga de arrancamento do ensaio instrumentado (117,4kN) e a carga máxima aplicada no grampo não instrumentado (198,2kN). Atribui-se este fato à ocorrência de um grande nicho de cupins na zona do ensaio não instrumentado. O cupinzeiro foi detectado durante a execução da obra e, por recomendação do projetista, foi injetada nata de cimento em toda a zona afetada para preenchimento dos vazios. A injeção de nata pode ter gerado uma zona de alta resistência na região deste grampo. Isto pode explicar a maior resistência ao arrancamento do grampo não instrumentado em relação ao instrumentado. Vale lembrar que os grampos de arrancamento em todas as cotas distam entre si de 3m.

De fato, o grampo não instrumentado AR01 não atingiu a ruptura (Figura 11b). A carga aplicada alcançou valores próximos do limite de trabalho da célula de carga, impedindo a determinação da real resistência ao arrancamento deste ensaio. Ao contrário do grampo instrumentado (Figura 11a), cuja resistência ao arrancamento é igual a 166 kPa, calculada através da Equação (3.5).

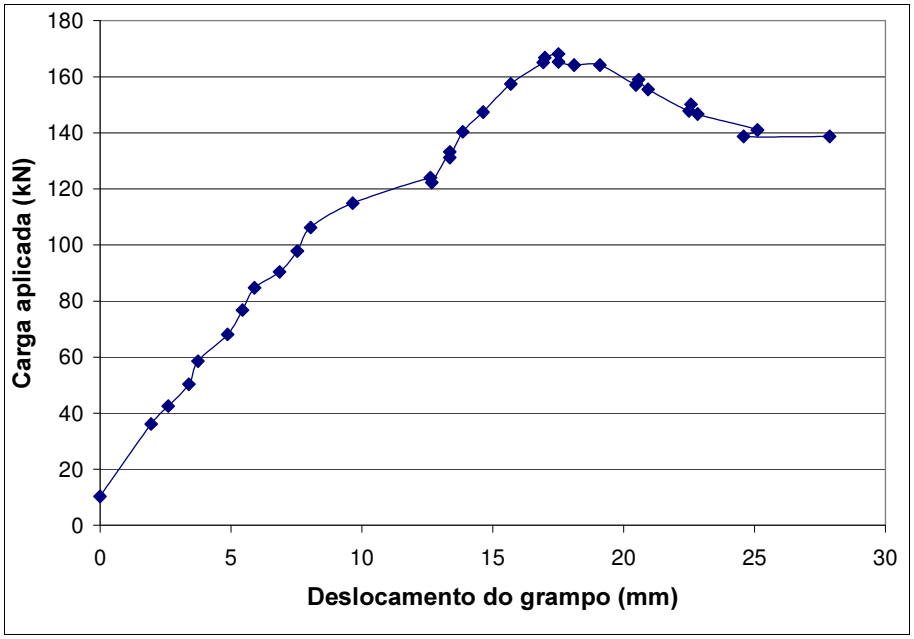
Na Figura 12 tem-se a distribuição das cargas ao longo do grampo instrumentado AR01, cujo comportamento é semelhante ao apresentado por Clouterre (1991).

As Figuras 41 e 42 apresentam os resultados referentes aos ensaios AR02 realizados na cota 27m.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA



(a) grampo instrumentado



(b) grampo não instrumentado

Figura 13 - Resultados dos ensaios de arrancamento AR02: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

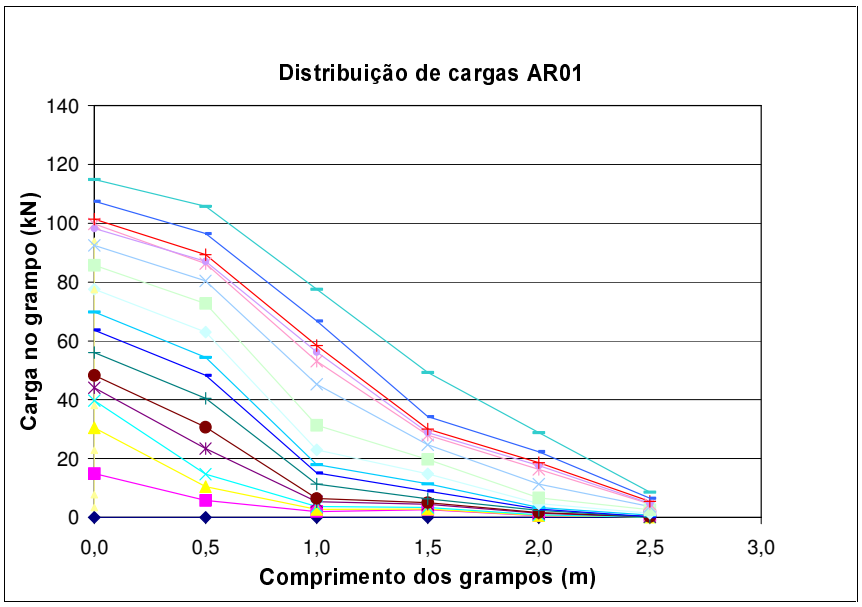


Figura 14 - Distribuição das cargas ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR02.

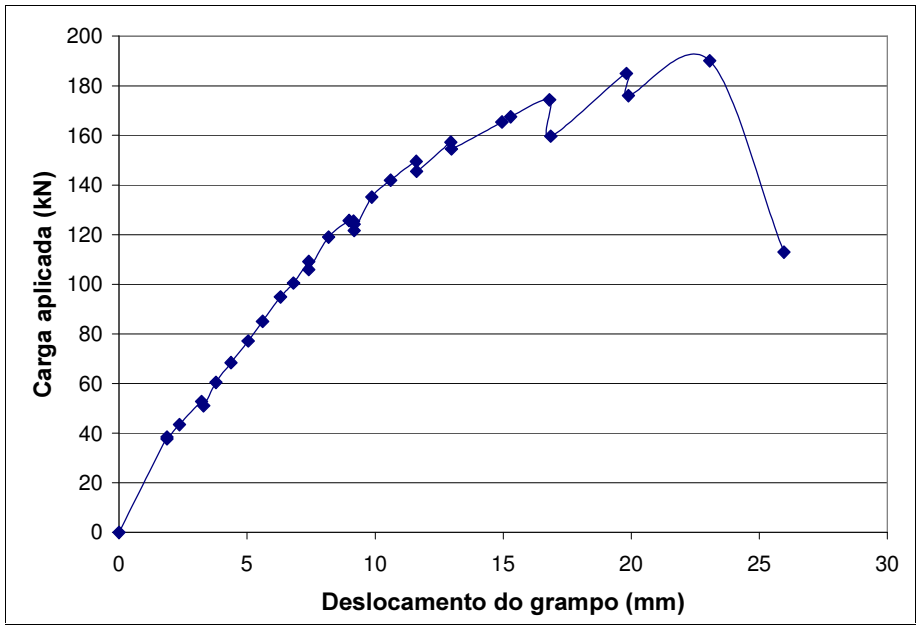
Da Figura 13a, observa-se que a carga máxima para o grampo instrumentado AR02 é de 150,4kN, com resistência ao arrancamento igual a 216kPa. Similarmente, obtem-se uma carga máxima de 168,2kN e uma resistência ao arrancamento de 249kPa para o grampo não instrumentado AR02.

Nos ensaios AR02, nota-se uma pequena diferença entre as resistências dos grampos instrumentado e não instrumentado. Quando comparadas, as cargas de ruptura apresentam uma variação de 13% e o comportamento carga versus deslocamento dos grampos foi muito similar para ambos os casos.

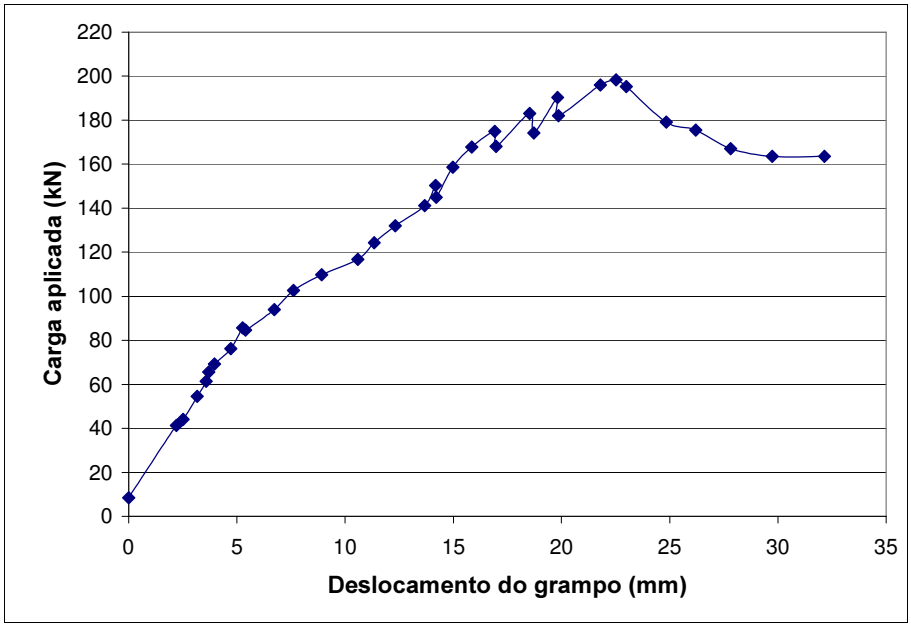
A Figura 14 apresenta a distribuição das cargas ao longo do grampo instrumentado AR02. Neste caso, observa-se que as cargas aferidas pelos *strain gages* posicionados a 0,5, 1,0 e 1,5m são muito parecidas ao longo dos estágios de carregamento. Admite-se ter ocorrido uma falha na injeção deste grampo, ou grande retração da nata, originando uma zona com pouco contato solo/nata de cimento. Assim, a transmissão de cargas se dá de forma constante neste trecho, tendo um comportamento similar ao do trecho livre. Isto poderia justificar a menor resistência lateral do grampo instrumentado quando comparada ao do grampo não-instrumentado.

As Figuras 43 e 44 apresentam os resultados dos ensaios de arrancamento do ensaio AR03.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA



(a) grampo instrumentado



(b) grampo não instrumentado

Figura 15 -. Resultados dos ensaios de arrancamento AR03: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

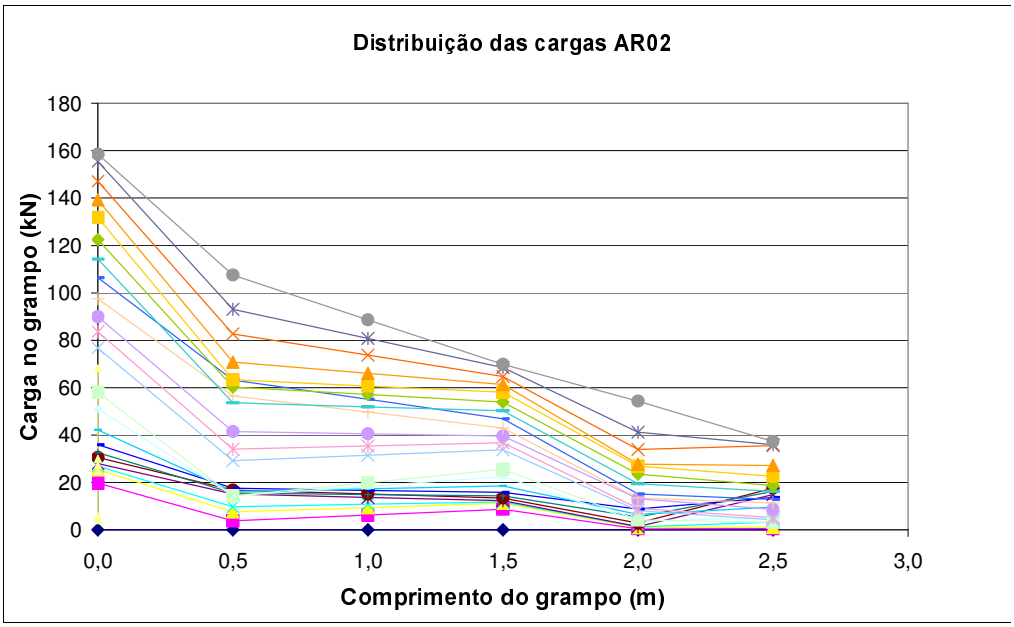


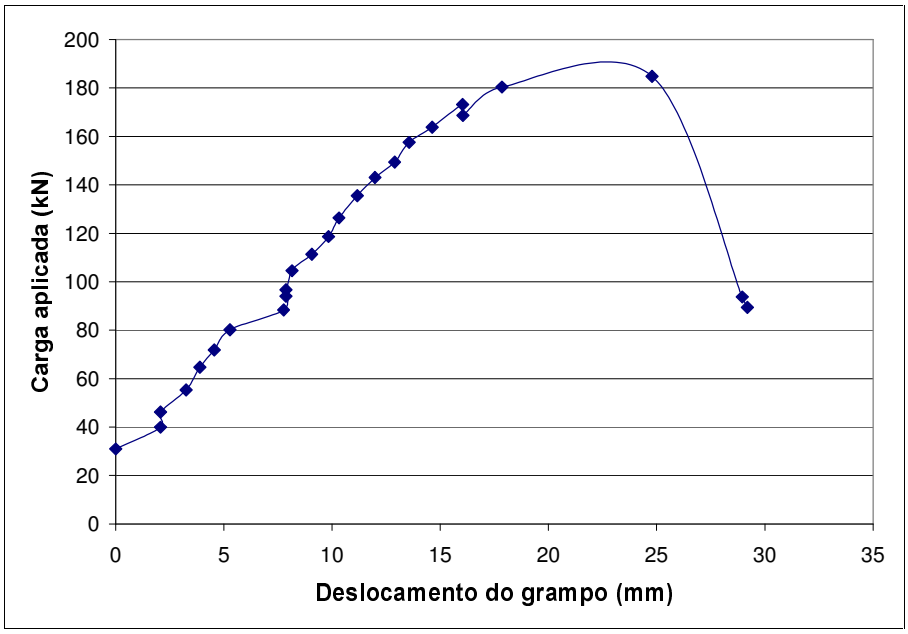
Figura 16 - Distribuição das cargas ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR03.

Na Figura 15 observa-se a semelhança entre os ensaios AR03 instrumentado e não instrumentado, considerando-se a carga de ruptura e o comportamento carga versus deslocamento da cabeça do grampo. Verifica-se que a carga de ruptura e a resistência ao arrancamento são iguais a 190,1kN e 269kPa para o grampo instrumentado e, 198,3kN e 280kPa para o não instrumentado.

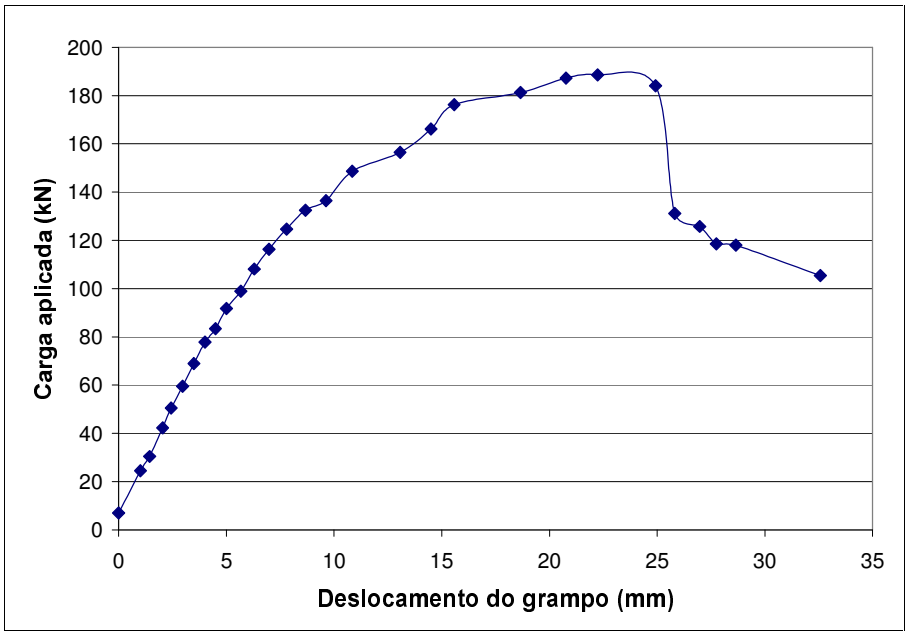
Observando-se a distribuição de cargas ao longo do grampo instrumentado AR03 (Figura 16), nota-se que, para os primeiros estágios de carregamento as cargas foram semelhantes nos *strain gages* localizados a 0,5m e 1m de comprimento injetado. Pode-se atribuir este comportamento aos mesmos motivos do ensaio do grampo AR02. Outra dificuldade foi encontrada neste ensaio. Quando a carga atingiu o nível de 125kN, foi perdido o contato do SG 0 (a 0,5m). Como o circuito de alimentação do sinal elétrico dos *strain gages* é em série, houve perda do zero de referência de carregamento dos outros extensômetros elétricos. Assim, não se conseguiu monitorar a distribuição de carga ao longo dos grampos para os estágios de carga subseqüentes.

As Figuras 45 e 46 apresentam os resultados referentes aos ensaios de arrancamento AR04.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA



(a) grampo instrumentado



(b) grampo não instrumentado

Figura 17 – Resultados dos ensaios de arrancamento da etapa AR04: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

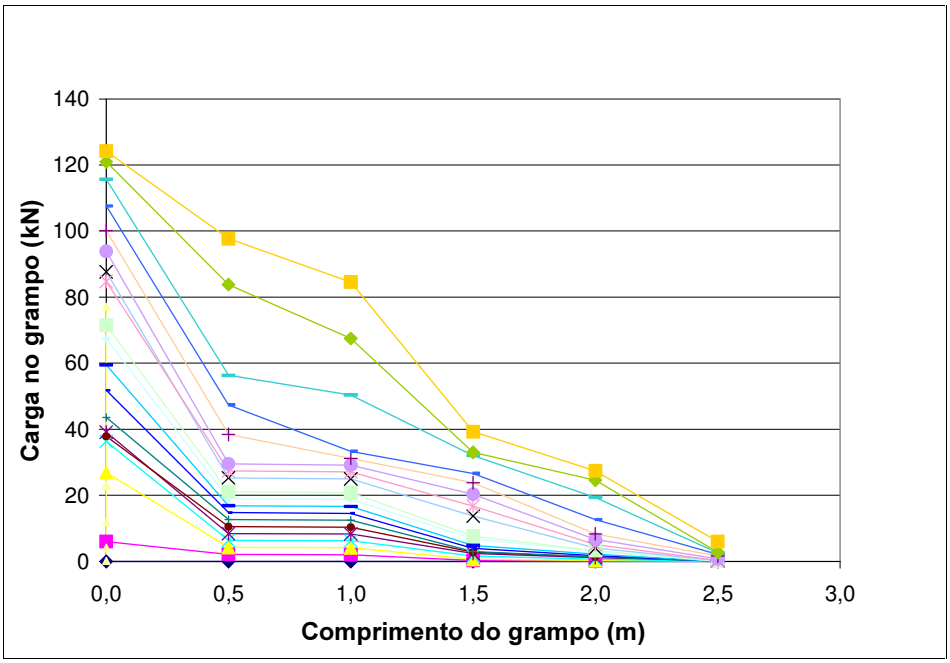


Figura 18 - Distribuição das cargas ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR04.

Os ensaios AR04 mostram comportamentos mecânicos semelhantes entre si. As cargas de ruptura e resistências ao arrancamento são iguais a 182,6kN e 258kPa para o grampo instrumentado e, 185,6kN e 263kPa para o grampo não instrumentado.

Na Figura 18 pode-se observar a distribuição de carga do grampo AR04 semelhante a apresentada por Clouterre (1991). Neste ensaio, o SG 4 (na posição de 2,5m) não funcionou durante a execução do ensaio. Este fato pode ser atribuído a algum problema durante o processo de instalação ou transporte do grampo até o local da obra, pois, quando realizada a calibração prévia da barra, observou-se que o *strain gage* funcionava adequadamente.

A Tabela 3 resume os resultados dos 8 ensaios de arrancamento realizados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

Tabela 3 – Resumo dos resultados dos ensaios de arrancamento.

Cota (m)	Ensaio	Tipo de grampo	Carga de ruptura (kN)	Resistência ao Arrancamento (kPa)	Média (kPa)
35,0	AR01	instrumentado	117,4	166	166
		não instrumentado	SR	SR	
27,0	AR02	instrumentado	150,4	216	227
		não instrumentado	168,2	249	
21,0	AR03	instrumentado	190,1	269	274
		não instrumentado	198,3	280	
17,5	AR04	instrumentado	182,8	258	260
		não instrumentado	185,6	263	
SR = Sem Ruptura					

A análise dos dados apresentados na Tabela 3 mostra uma semelhança entre as resistências obtidas nos ensaios AR02, AR03 e AR04. É importante ressaltar que os ensaios de caracterização das amostras respectivas a cada cota de ensaio (Capítulo 4) indicam que estes solos são classificados como uma areia argilosa, enquanto que o material correspondente ao ensaio AR01 é classificado como uma argila arenosa.

Observa-se um nítido aumento da resistência ao arrancamento (q_s) quando comparados os ensaios AR01 e AR02. Este aumento pode ser atribuído à variação do tipo de solo apresentado nestas cotas de escavação.

Quando comparados os ensaios AR02, AR03 e AR04, pode-se notar uma diferença não desprezível entre os valores de resistência ao arrancamento. Isto pode ser justificado pela maior resistência e menor deformabilidade da areia argilosa nas diferentes profundidades.

Outra observação importante refere-se à comparação entre os valores de resistência ao arrancamento dos grampos instrumentado e não instrumentado na mesma cota. Pode-se observar em todos os ensaios (exceto o AR01) que os valores de resistência ao arrancamento dos grampos não instrumentados são um pouco superiores quando comparados aos instrumentados. Isto sugere uma pequena interferência da instrumentação das barras no valor da carga portante dos grampos. De fato, a área da barra de aço em contacto com a nata de cimento é reduzida pela presença do cabo de proteção dos fios de ligação dos *strain gages.* Este cabo foi selecionado atentando-se para ocupar a menor área possível da barra e possibilitar a passagem de todos os fios. O efeito de redução

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA

da área de contacto cabo-barra foi considerado desprezível. Entretanto, os resultados dos ensaios sugerem uma possível influência.

Considerando os resultados dos ensaios de arrancamento executados, obtem-se dois valores de resistência ao arrancamento em função das características dos solos. O primeiro corresponde à região de ensaios AR01, onde o perfil de alteração do talude mostra um solo residual maduro, classificado como uma argila arenosa, conforme os ensaios de caracterização (Capítulo 4). O segundo corresponde ao solo residual jovem da região de ensaios AR02, AR03 e AR04, classificado como uma areia argilosa. A Tabela 4 resume os resultados da resistência ao arrancamento em função das características dos materiais.

Tabela 4 - Valores representativos de atrito lateral.

Cota (m)	**Ensaio**	**Tipo de solo**	**Atrito lateral (kPa)**
35,0	AR01	Argila arenosa	166
27,0	AR02	Areia argilosa	227
21,0	AR03		274
17,5	AR04		260

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321277/CA