

1

Introdução

1.1.

Considerações Iniciais

A técnica de estabilização de maciços através da introdução de elementos de reforço vem se desenvolvendo de forma acelerada, com destaque para aplicações em contenção de encostas e em aterros sobre solos moles. Os materiais geossintéticos, em particular, vêm sendo utilizados com crescente intensidade nestes tipos de obra geotécnica. A razão para tal crescimento pode ser creditada às seguintes principais vantagens: confiabilidade técnica, prazos reduzidos e custos competitivos.

Atualmente, as geogrelhas estão entre os geossintéticos mais utilizados para reforço de solos. Geogrelhas são elementos com estruturas regulares planas, em forma de grelha, que possuem orifícios de grandes dimensões, permitindo uma adequada interação com o solo em contato. As estruturas com geogrelhas são usualmente projetadas para uma vida útil de até 100 anos. Por este motivo, o desenvolvimento de métodos confiáveis de dimensionamento e a investigação detalhada do comportamento das geogrelhas são assuntos de grande relevância para o engenheiro geotécnico.

O mecanismo de interação desenvolvido entre o solo e a geogrelha depende basicamente das propriedades geomecânicas do solo (densidade, granulometria, etc) e das propriedades da geogrelha (geometria da malha, resistência à tração, etc). A compreensão do fenômeno de interação solo-reforço é um fator importante para o projeto de maciços de solo reforçado. O dimensionamento de uma obra de solo reforçado necessita do valor do coeficiente de interação solo-reforço, que pode ser definido a partir de ensaios de arrancamento e/ou de cisalhamento direto.

A compreensão dos mecanismos de interação solo-geogrelha tem encontrado obstáculos diante da grande variedade das características das geogrelhas disponíveis no mercado. Em consequência, existe uma grande diversidade de mecanismos possíveis para a interação na interface com os diversos tipos de solos. Com a obtenção de coeficientes de interação confiáveis

e de fatores de redução adequados, pode-se otimizar o projeto e adotar soluções econômicas. Para tanto, faz-se necessário um maior entendimento sobre o comportamento de geogrelhas através de estudos experimentais.

1.2.

Motivação e Objetivos da Tese

O presente trabalho visa investigar experimentalmente a utilização de geogrelhas como elementos de reforço de maciços de solos. A partir dos resultados de ensaios de laboratório, pretende-se ampliar a compreensão dos mecanismos de interação desenvolvidos na interface solo-geogrelha.

Este trabalho faz parte de um amplo projeto de pesquisa envolvendo a Maccaferri do Brasil e a PUC-Rio na área de reforço de solos. O projeto surgiu da necessidade de uma investigação detalhada sobre comportamento de geogrelhas embutidas em diferentes tipos de solo. Eventuais incertezas quanto ao comportamento de elementos de reforço em obras geotécnicas usualmente conduzem à adoção de fatores de segurança desnecessariamente elevados.

Um programa detalhado de ensaios de laboratório foi executado, objetivando a compreensão dos mecanismos de interação na interface solo-geogrelha. Estes ensaios foram executados em equipamentos de grandes dimensões disponíveis no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, em Madri, Espanha.

Os diferentes equipamentos e procedimentos de ensaios, bem como os diferentes métodos de interpretação utilizados para obtenção dos coeficientes de interação solo-reforço, ocasionam divergências nos resultados experimentais, em especial quando do uso de geogrelhas. Uma discussão detalhada sobre as razões de tais divergências faz parte do escopo do presente trabalho.

Dentre os principais objetivos do programa experimental, destacam-se:

- Análise da influência dos principais fatores na resposta ao arrancamento: tensão confinante, densidade relativa, tipo de solo e tipo de geogrelha;
- Análise da contribuição dos elementos transversais da geogrelha em solicitações de arrancamento;
- Obtenção da variação da resistência ao cisalhamento com a inclinação da geogrelha;
- Obtenção de fatores de interação entre diferentes geogrelhas e solos;

- Comparação entre os fatores de interação obtidos a partir de ensaios de arrancamento e de cisalhamento direto;
- Proposição de ábacos de dimensionamento para os materiais ensaiados;
- Análise da influência do dano mecânico de geogrelhas na interação com o solo e obtenção de fatores de redução;
- Análise da resistência e da deformabilidade do conjunto solo-geogrelha, através de ensaios triaxiais em corpos de prova reforçados.

Em síntese, a pesquisa teve por objetivo estudar os mecanismos de interação desenvolvidos na interface solo-geogrelha, a partir de ensaios de laboratório em equipamentos de dimensões adequadas. A pesquisa pretendeu ainda propor valores do coeficiente de interação para o projeto de maciços reforçados com geogrelhas, assim como valores do fator de redução devido ao dano mecânico da geogrelha.

1.3. Escopo da Tese

A tese está composta de 11 capítulos, apresentando-se neste capítulo inicial a introdução ao tema da pesquisa.

O Capítulo 2 aborda a utilização de geossintéticos como elementos de reforço de solos. Tal abordagem é feita através de uma revisão bibliográfica geral sobre geossintéticos, com ênfase nos tipos mais utilizados como elementos de reforço de solos (geotêxteis e geogrelhas). Uma breve discussão sobre as propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos é apresentada, assim como o comportamento dos principais polímeros constituintes. O comportamento de maciços reforçados com geossintéticos é analisado, apresentando-se critérios de dimensionamento e análises de estabilidade. Finalmente, ressaltam-se as principais vantagens da utilização da técnica.

O Capítulo 3 trata do mecanismo de interação solo-geogrelha. Uma revisão sobre os mecanismos de interação possíveis de ocorrer na interface solo-geogrelha é apresentada, juntamente com uma revisão sobre os principais ensaios de laboratório utilizados para a obtenção dos parâmetros da interface. Uma discussão detalhada sobre os fatores que influenciam a resposta dos diferentes ensaios é apresentada, assim como as diferentes metodologias de ensaio. As causas das divergências experimentais são discutidas e os diferentes métodos de interpretação são abordados.

O Capítulo 4 discute a questão do dano mecânico. Apresenta uma revisão sobre os fatores de redução a serem considerados no projeto de maciços reforçados, com ênfase no fator de redução por dano mecânico. Os conceitos de capacidade de sobrevivência dos geossintéticos e de severidade do meio de instalação são inseridos, juntamente com os principais critérios de classificação propostos na literatura. O Capítulo apresenta ainda, uma revisão sobre os programas experimentais desenvolvidos na tentativa de propor valores para o fator de redução por dano mecânico.

O Capítulo 5 apresenta uma descrição dos materiais envolvidos no estudo. As geogrelhas são caracterizadas a partir dos ensaios executados na presente campanha experimental e comparadas com os dados fornecidos pelo fabricante. Apresenta também, as principais características físicas, mecânicas e mineralógicas dos solos utilizados. Os efeitos das dimensões do equipamento (efeito de escala) e dos procedimentos de compactação nos parâmetros de resistência são também discutidos.

O Capítulo 6 apresenta o programa experimental e as principais características dos ensaios. Uma descrição detalhada do funcionamento dos diferentes equipamentos e dos procedimentos de ensaio é apresentada, destacando-se os equipamentos de grandes dimensões utilizados nos ensaios com geogrelhas.

O Capítulo 7 discute os resultados dos ensaios de arrancamento. É apresentada uma análise da influência da tensão confinante, da densidade relativa, do tipo de solo e do tipo de geogrelha na resistência ao arrancamento, juntamente com os fatores de interação propostos para o dimensionamento de maciços reforçados. O processo de mobilização de tensões e deformações ao longo das geogrelhas é analisado com base na instrumentação adotada. Um modelo simples é apresentado para a previsão da tensão cisalhante na ruptura e da rigidez ao cisalhamento, para qualquer nível de tensão confinante vertical. Finalmente, são propostos ábacos para o dimensionamento de maciços reforçados com base nos resultados dos ensaios de arrancamento.

O Capítulo 8 apresenta os resultados dos ensaios de cisalhamento direto. O programa de ensaios constou de ensaios de cisalhamento direto com reforço horizontal e com o reforço inclinado em relação à superfície de ruptura. A partir dos resultados, são propostos parâmetros de resistência da interface e avalia-se a variação da resistência ao cisalhamento com a inclinação da geogrelha. Uma análise da configuração deformada da geogrelha é apresentada, com base nas medições dos deslocamentos da grelha na caixa de cisalhamento, ao término

dos ensaios. Finalmente, apresenta-se uma comparação entre os parâmetros de resistência obtidos a partir de ensaios de arrancamento e de cisalhamento direto, apontando-se as principais razões para as divergências de resultados.

O Capítulo 9 apresenta os resultados dos ensaios triaxiais. Discute-se o efeito da introdução de camadas horizontais de reforço na resistência e deformabilidade do conjunto solo-geogrelha. Os diferentes mecanismos possíveis de ocorrer durante os ensaios triaxiais em corpos de prova reforçados são discutidos, com base na observação do estado das geogrelhas ao término dos ensaios.

O Capítulo 10 apresenta os resultados dos ensaios executados com amostras danificadas. Dois tipos distintos de dano foram induzidos: o dano natural, decorrente de processos de compactação, e o dano artificial, obtido a partir da ruptura física de elementos da malha. A perda de resistência é avaliada a partir de ensaios de tração simples, ensaios de arrancamento e ensaios de cisalhamento direto. São propostos fatores de redução com base no tipo de dano e no tipo de ensaio utilizado para quantificar a perda de resistência. Define-se um índice de susceptibilidade (S) para permitir a avaliação da influência do dano artificial na resposta ao arrancamento de geogrelhas.

Finalmente, o Capítulo 11 apresenta as principais conclusões deste trabalho e algumas sugestões para pesquisas futuras.

O trabalho compõe-se ainda de dois apêndices. O primeiro apresenta o programa geral de ensaios executados na presente campanha experimental. O Apêndice II apresenta uma análise numérica sobre os ensaios de cisalhamento direto com reforço inclinado.