

Estabilização de Talude com a Técnica de Solo Grampeado: Influência da Inclinação dos Grampos

Ana Carolina Carvalho de Menezes

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, a.carolcm@hotmail.com

Luiz Vinícius de Castro Rangel

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, lvc.rangel@hotmail.com

Paulo Sérgio de Almeida Barbosa

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, pbarbosa@ufv.br

RESUMO: Devido à frequência dos casos de instabilidade de maciços de solo ocasionados por fatores naturais ou intervenções antrópicas, fazem-se necessárias a elaboração e execução de técnicas construtivas eficazes e capazes de garantir a estabilidade dos maciços de maneira segura, com baixo custo e de rápida execução. Dessa forma, este trabalho procura enfatizar a análise feita dos fatores de segurança global para diferentes inclinações dos grampos, além de sintetizar as etapas de estudo e projeto de estabilização de um talude, utilizando a técnica de solo grampeado. A partir da análise de um talude urbano na iminência de ruptura situado na cidade de Senador Firmino-MG, foi verificado que a técnica de solo grampeado era a que mais se ajustava às condicionantes do local, dando-se início aos procedimentos de elaboração do projeto. Primeiramente, com o levantamento topográfico, obteve-se o perfil crítico com inclinação média de 48°. A sondagem de reconhecimento resultou em dois tipos de solo: arenoso, localizado na parte inferior, e siltoso, na parte superior. Através de ensaios de laboratório, foram verificados, para os solos nos estados natural e inundado, os valores de coesão e de ângulo de atrito, além do peso específico natural. Para conseguir os parâmetros no estado de iminência de ruptura, realizou-se uma retroanálise. Um estudo paramétrico realizado com o suporte de softwares possibilitou um melhor entendimento da influência exercida pela inclinação dos grampos em uma visão geral do talude. No software GEOSTUDIO-SLOPE/W foi analisado a influência da inclinação dos grampos para os diferentes parâmetros obtidos no estado natural, inundado e na iminência de ruptura. Já no SLIDE, essa influência foi analisada para o conjunto e para os diferentes solos separadamente com os parâmetros de iminência de ruptura. Em ambos os casos foram feitas variações do ângulo em relação a horizontal de 0 a 50° em intervalos de 5° e mantendo o mesmo comprimento para os grampos. Através dos gráficos, obteve-se que a inclinação ideal na análise do talude real feita no GEOSTUDIO-SLOPE/W é aproximadamente 30° nas três condições analisadas e no SLIDE percebe-se que a melhor inclinação do grampo varia para diferentes solos. Logo, a solução adotada em cada projeto deve ser dada após uma análise feita para a presente situação, levando-se sempre em conta as dificuldades de execução.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Grampeado, Projeto de estabilização, Inclinação dos grampos.

1 INTRODUÇÃO

Estabilização de talude, é o termo utilizado na geotecnia para os sistemas capazes de garantir que o maciço, seja ele à base de rocha, terra ou

misto, cesse sua movimentação. Então, ao se deparar com uma situação de risco de escorregamento ou um talude que necessite de uma rápida estabilização, o profissional em engenharia deve analisar qual técnica de

contenção é a ideal para cada caso específico.

O emprego de técnicas de reforço de solos para estabilização de taludes existentes ou formados por ação antrópica apresenta-se como alternativa técnico-econômica viável em expansão em todo mundo. Dentre as técnicas de estabilização de solos, a de solo grampeado tem sido cada vez mais aceita no âmbito da engenharia geotécnica brasileira. Tal técnica ganhou notoriedade a partir da década de 80.

O solo grampeado tem por objetivo conter movimentações de massa de solo, transferindo esforços de uma zona de potencial instabilidade para a zona estável do maciço e pode ser usado em taludes naturais ou escavados.

No Brasil, nota-se ainda em projetos de solo grampeado o dimensionamento desenvolvido através de conhecimentos práticos de obras já executadas. Isso ocorre por ainda não existir uma norma específica e uma metodologia padrão bem definida de dimensionamento estrutural, sendo o mais utilizado o método francês (Clouterre, 1991).

O presente trabalho apresenta uma revisão sobre o assunto e as etapas relevantes para análise e execução da técnica. Apresenta-se ainda o desenvolvimento de um projeto real, proposto para contenção de um talude na cidade de Senador Firmino – MG.

2 DESCRIÇÃO DO CASO DE OBRA

Durante uma visita técnica à Senador Firmino, cidade da zona da mata de Minas Gerais, observou-se alguns problemas de instabilidades de taludes, o que é muito comum em regiões montanhosas. Para a realização deste trabalho, escolheu-se o talude apresentado na Figura 1, que no ano de 2012 sofreu um deslizamento durante a época de chuvas, onde a massa de solo deslocada derrubou e soterrou algumas casas que se encontravam do lado oposto da via, impedindo também o trânsito durante muito tempo. Tendo em vista o ocorrido, e considerando as condições geográficas e geotécnicas do local de ruptura, foi feita uma proposta de estabilização do maciço, através da técnica do solo grampeado, procurando satisfazer as necessidades de segurança do local

e evitar futuros deslizamentos que possam ocorrer.



Figura 1. Talude em estudo.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização de Dimensionamento

Todo o processo de dimensionamento se desenvolveu a partir de um levantamento topográfico através de estação total. Com o perfil do talude em mãos, deu-se início à caracterização geotécnica. Foi realizado um furo de sondagem à trado para a identificação do perfil geológico e escolha dos pontos de amostragem. A partir da definição dos tipos de solo existentes, deu-se início à retirada de amostras indeformadas de cada material, para o estabelecimento dos parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento dos solos. O ensaio escolhido para isso foi o de cisalhamento direto, no qual foram empregados corpos de prova na umidade natural sendo que, após a ruptura, esses pontos foram inundados para que se obtivesse os parâmetros na condição mais crítica possível.

Através do auxílio do software Geostudio-Slope/W, foi feita uma retroanálise para a obtenção dos parâmetros na iminência de ruptura, ou seja, quando o Fator de Segurança se iguala à 1. De posse desses dados, foi realizado um pré-dimensionamento através dos ábacos de Gigan (1986). Para tal, foram utilizados grampos de 12m, por ser o valor máximo encontrado facilmente no mercado, e adotou-se um determinado valor para fator de segurança, encontrando-se o espaçamento necessário para a contenção. Conforme

prescrito na NBR 11682:2006, o fator de segurança adequado para a situação é de 1,5, visto que o projeto envolve área de preservação ambiental e risco à vida.

3.2 Análise Paramétrica

Para fins acadêmicos, foram realizadas análises paramétricas com a ajuda de dois diferentes softwares. A primeira análise consiste na verificação da influência da inclinação dos grampos no perfil obtido, com os parâmetros no estado natural, inundado e na iminência de ruptura. Nesse caso o ângulo formado entre o grampo e a horizontal foi variado de 0° à 50° , com intervalos de 5° , e para cada qual, foi obtido um fator de segurança através do método de Morgenstern & Price, por ser mais rigoroso.

De maneira análoga, a segunda análise foi feita para verificar a influência da inclinação quanto ao tipo de solo. Como o talude em estudo possui dois diferentes solos, um siltoso, e outro arenoso. Foram criados dois taludes hipotéticos com a mesma geometria do original, porém, cada um com unicamente um tipo de solo. Para cada um dos 3 cenários (solo siltoso, solo arenoso e ambos os solos), foi feita a mesma análise variando a inclinação dos grampos, contudo, mantendo os parâmetros obtidos na retroanálise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização de Dimensionamento

O levantamento topográfico realizado no talude estudado demonstra inclinações na ordem de 1:1 (48°). O perfil geológico do terreno apresentou além da ausência de um NA, a existência de dois principais tipos de solo, sendo o primeiro, da camada mais superior, de características siltsosas, e o segundo, da camada mais abaixo, de características arenosas. A Tabela 1 apresenta os respectivos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos para as condições natural e inundada. As figuras 2 e 3 ilustram os comparativos das envoltórias de ruptura.

Tabela 1. Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos identificados no talude.

Solo	Condição do solo	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)
Siltoso	Natural	67	34
	Inundado	2	13
Arenoso	Natural	1	44
	Inundado	0	35

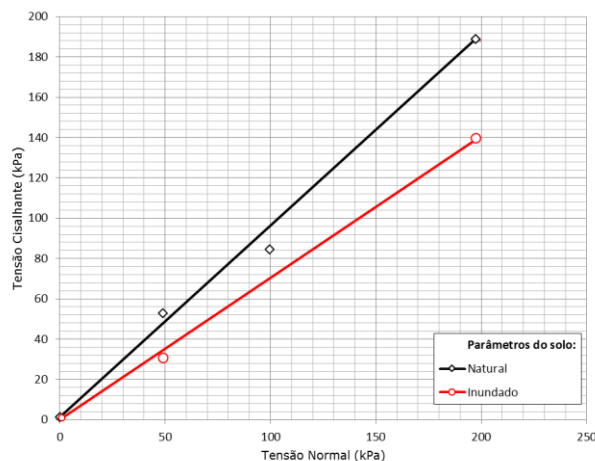


Figura 2. Envoltórias de ruptura do solo arenoso.

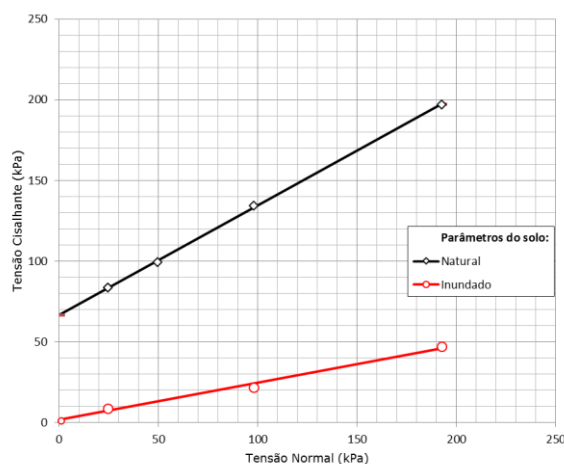


Figura 3. Envoltórias de ruptura do solo siltoso

Através da retroanálise ilustrada na Figura 4, os parâmetros encontrados para o solo siltoso foram 38 kPa de coesão e 25° de ângulo de atrito; já para o solo arenoso, foram encontrados 0 kPa de coesão e 43° de ângulo de atrito.

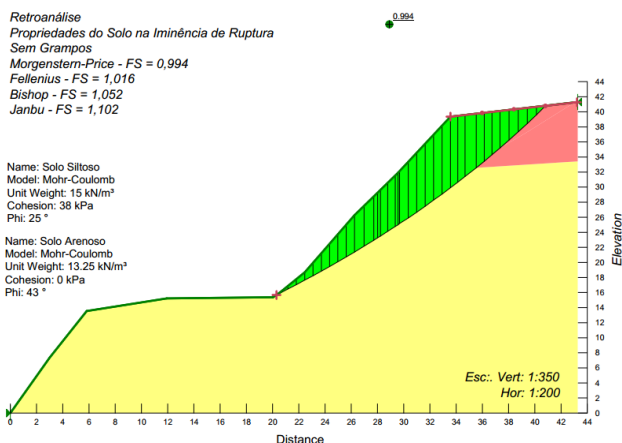


Figura 4. Retroanálise do talude em estudo.

Para o dimensionamento, adotou-se uma inclinação de 15°, usual em obras no Brasil, pela facilidade de execução. A partir do pré-dimensionamento pelos ábacos de Gigan (1986) obteve-se a malha de grampos necessária. Variou-se esse valor com o comprimento dos grampos através de um processo iterativo até que se encontrasse um fator de segurança bem próximo de 1,5.

Dentre os dados de entrada no programa, um elemento muito importante é o atrito lateral (qs), que corresponde à resistência ao cisalhamento de interface solo-reforço. Esse parâmetro depende intimamente da tensão de solo aplicada ao grampo, e consequentemente da inclinação do mesmo. Nas análises realizadas nesse trabalho o atrito lateral foi adotado como 125 kPa para areia siltosa e 67,5 kPa para silte, segundo a FHWA (2003).

Ao final desse processo, tomou-se como satisfatória, no aspecto de estabilidade e custo, a solução de se usar, para solo siltoso, uma malha de 2m x 2m, com comprimento de 6m. Já para o solo arenoso, utilizou-se um espaçamento horizontal de 1,5m e vertical de 1m. Para os primeiros 9 grampos, adotou-se um comprimento de 11m e para o restante dos grampos, 6m. Essa solução gerou um fator de segurança de 1,537, acima de 1,5 como exigido para o projeto. A imagem da análise final encontra-se na Figura 5.

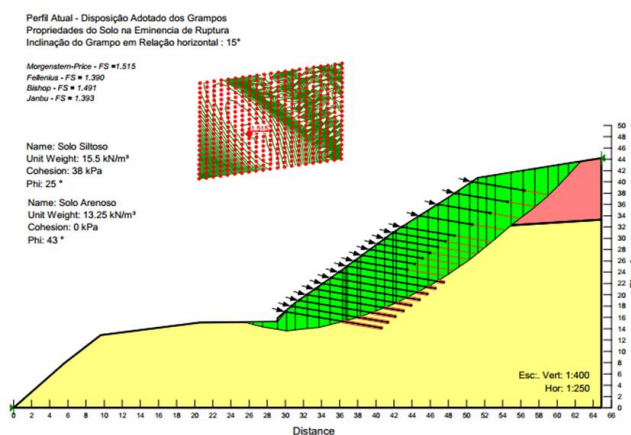


Figura 5. Resultado final de estabilidade do talude pelo programa GeoSlope.

4.2 Análise paramétrica

Após o dimensionamento apresentado acima, percebeu-se a necessidade de um estudo de como a inclinação do grampo influencia na estabilidade da estrutura pronta. É interessante notar que essa influência é capaz de variar o fator de segurança na ordem de décimos, podendo representar uma economia do sistema quando utilizada uma inclinação ótima.

A partir dessas informações decidiu-se realizar um estudo em que, para diferentes cenários, se variasse a inclinação dos grampos, e desse modo analisar o comportamento dos fatores de segurança obtidos.

4.2.1 Caso-1: Variação das condições de saturação do solo

Com os resultados das características do solo em mãos, foi possível fazer a análise nos três casos estudados: solo na iminência de ruptura, solo natural e solo inundado. O perfil adotado foi obtido pelo levantamento topográfico e a divisão dos solos foi definida pela análise tátil-visual realizada no início deste trabalho apresentado na Figura 6. Alguns dados foram estabelecidos para se tornar possível esse estudo.

Na região superior do talude, foram usados espaçamentos horizontal e vertical de 1m, enquanto na região inferior foram usados espaçamentos horizontal de 1m e vertical de 2m, ambos de acordo com recomendações de Clouterre (1991). Todos os grampos foram

adotados como barras de CA-50, de 20mm de diâmetro, sendo o furo de 75mm.

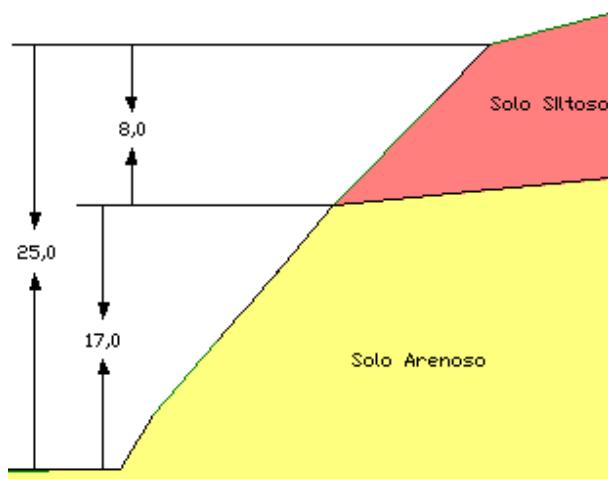


Figura 6. Perfil do talude estudado.

Os resultados obtidos pelo programa GeoSlope estão apresentados nos gráficos abaixo.

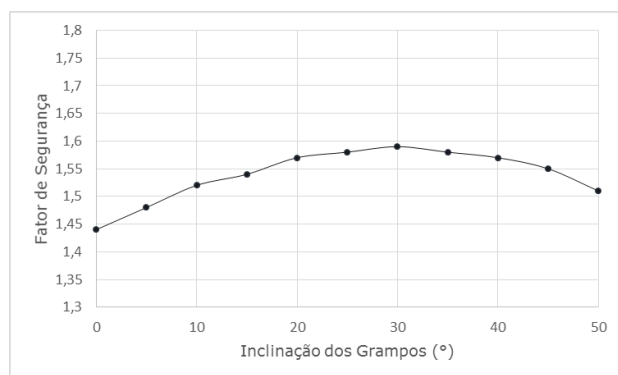


Figura 7. (a) Solo na iminência de ruptura.

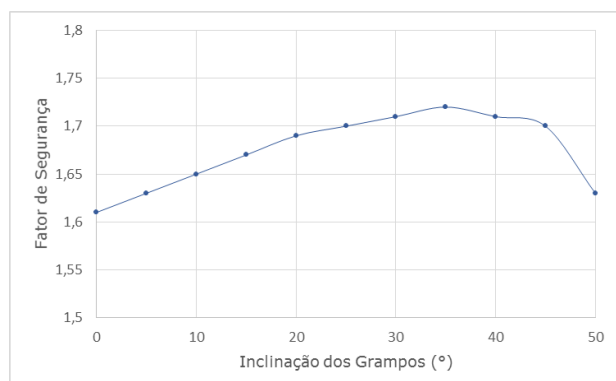


Figura 7. (b) Solo na natural.

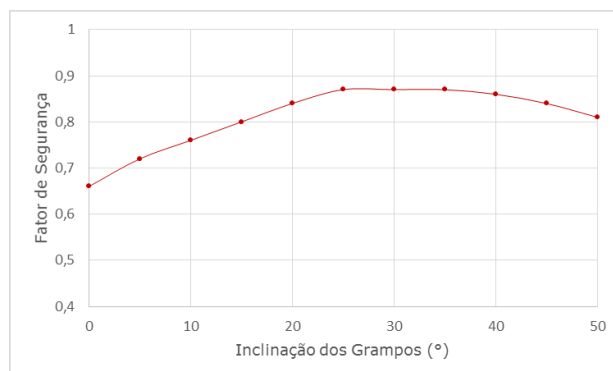


Figura 7. (c) Solo inundado.

Através dos resultados dessa análise, nota-se que a inclinação ideal do grampo para o talude em questão (aquela que gera o maior fator de segurança) é por volta de 30°. Vale ressaltar que esta inclinação é dita “ótima” para a situação analisada, qualquer modificação de valores adotados pode causar uma variação nesse ângulo. Contudo, é interessante notar que a condição de saturação do solo não exerceu uma influência significativa, sendo que em todos os três casos, a inclinação ideal não se distanciou de 30°.

4.2.2 Caso-2: Variação dos tipos de solo

Para verificar a influência da inclinação dos grampos quanto ao tipo de solo foram analisados dois perfis hipotéticos, além do real. O primeiro talude possui integralmente os parâmetros do solo siltoso, e o segundo talude, os parâmetros do solo arenoso, ambos na iminência de ruptura. A Geometria dos três perfis é a mesma e igual à obtida na primeira etapa deste trabalho. Foi utilizado o programa Slide (Rocscience) com os mesmos valores adotados no caso anterior, porém o espaçamento foi escolhido como único em todo o perfil, de 1,5m na horizontal e 1m na vertical. Os resultados estão ilustrados abaixo, na Figura 8.

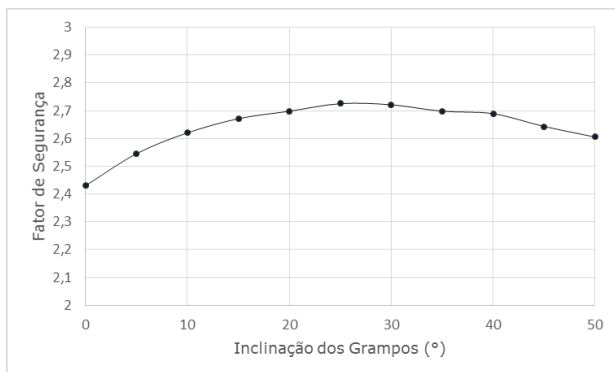


Figura 8. (a) Solo Completo.

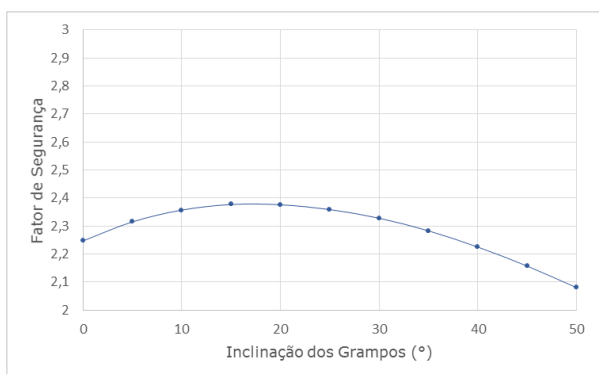


Figura 8. (b) Solo Siltoso.

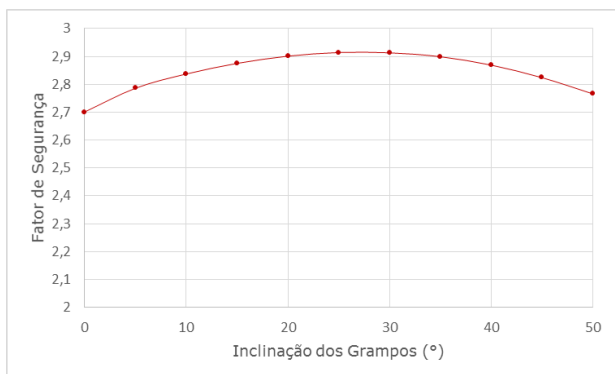


Figura 8. (c) Solo Arenoso.

A partir desses resultados pode-se perceber que nas situações (a) e (c), a inclinação ótima é cerca de 25°, já para o caso do solo siltoso esse numero cai para 15° aproximadamente. Devido à isso, nota-se o comportamento geomecânico de cada tipo de solo afeta a interação solo-reforço, inclusive quanto à sua inclinação. Sendo assim, é interessante avaliar, em campo, qual a melhor inclinação do grampo para o solo, e no caso de variados tipos como no exemplo (a), verificar se é válido utilizar-se de inclinações diferentes, no ponto de vista executivo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após as análises realizadas pode-se ressaltar que a inclinação dos grampos tem grande influência no valor do fator de segurança de uma obra de Solo Grampeado. Contudo, é muito importante verificar se a inclinação ideal encontrada é exequível. No Brasil, geralmente são utilizadas inclinações menores, pela facilidade de execução, desse modo, sugere-se ponderar o custo-benefício desse procedimento, para então tomar uma decisão de acordo com cada caso.

Dentre as variáveis de projeto vale destacar a importância do conhecimento mais apurado do atrito lateral (q_s), parâmetro importante de interação entre solo e grampo que depende de várias condições como tensão vertical do solo no grampo, tipo de solo, inclinação do grampo, umidade, entre tantas outras. Seria de grande valia para análise da obra e para conhecimento mais acurado da técnica que fossem feitos ensaios de arrancamento, onde se conheceria a real relação entre o solo existente e o grampo.

REFERÊNCIAS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2006, 18 p.
- Clouterre. (1991). *Recommandations Clouterre*. Paris, 269 p.
- Gigan, J.P. (1986) *Aplications du clouage en sotènement – Paramètres de conception et dimensionnement des ouvrages*. [S.l.]: Bulletin de Liaison des Laboratoires de Ponts et Chaussées, v. n°147, pp.51-64.
- FHWA (2003). *Soil Nail Walls. Geotechnical Engineering Circular No. 7*. Publication FHWA-IF-03-017, 314p.
- Menezes, A.C.C, Toniêto, F.P., Rangel, L.V.C., Pitanga, H.N., Barbosa, P.S.A (2015). *Estudo e Projeto de Estabilização de Talude Urbano Utilizando a Técnica de Solo Grampeado: Caso de Obra no Município de Senador Firmino-MG*. VII Congresso Brasileiro De Geossintéticos e VIII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental.