

9 Referências bibliográficas

ALA, AMERICAN LIFELINES ALLIANCE, 2001, **Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe.**

ARIAS, ARTURO, 1978, **Comportamiento Sísmico de Tuberías Enterradas XIX, Jornadas de Ingeniería Estructural**, Santiago de Chile.

ASSAN, ALOISIOS ERNESTO, 1999. **Método dos Elementos Finitos.** Campina, SP, Unicamp.

ASCE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 1984. **Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems.**

A. L. G. A. COUTINHO, M. A. D. MARTINS, R. M. SYDENTRICKER, J. L. D. ALVES L. LANDAU – (COPEE – UFRJ), 2003, **Simple Zero Thickness Kinematically Consistent Interface Elements**, 347 – 37.

ATKINSON, John, 1993, **An Introduction to The Mechanics of Soils and Foundations, Through Critical State Soil Mechanics.** Mcgraw-Hill International, London.

AZOUBEL, RICARDO DA MOTA SILVEIRA, 1995, **Análises de elementos estruturais esbeltos com restrições unilaterais de contato.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil.

BATHE, K. J., 1982, **Finite element procedures in engineering analysis.** New J.: Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs.

BIOT, M.A., 1956, **Theory of propagation of elastic waves in fluid-saturated porous solid. I. Low-Frequency range**, The Journal of the Acoustical Society of America, 28(2):161-178.

COOK, ROBERT D., MALKUS, DAVID S., & PLESHA, MICHAEL E., 1989, **Concepts and applications of finite element analysis**. 3ra ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.

CHAN, A. H. C., FAMIYESIN, O.O. and MUIR WOOD D., 1991, **A fully explicit u-w scheme for dynamic soil and pore fluid interactions**. APCOM Hong Kong, V 1, pp 881-887.

CHEN, W.F., 1982, **Plasticity in reinforced concrete**; New York: Mc-Graw Hill.

DOBRY R. & VUCETIC M., 1987, **State-of-the-art report: Dynamic properties and response of soft clay deposits**. Proceedings, Int. Symp. on Geot. Eng. of Soft Soils, Mexico City. 2: 51-87.

DOS ANJOS, ANA MARIA GODINHO, 1995, **Análise do comportamento não-linear e da instabilidade de elementos unidimensionais esbeltos**. Dissertação de mestrado; Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil.

DRUCKER, D.C., 1954, **A definition of stable inelastic material**, J. Applied Mechanics, Trans. ASME 26, 101-106.

GERE, J.M. e TIMOSHENKO, S.P., 1997, **Mecánica de Materiales**. 4ta ed. México: PWS-KENT Publishing Company.

GHABOUSSI, J. AND WILSON, E. L., 1973, **Flow of compressible fluid in porous elastic media**. Int. J. Numer. Methods Eng., V 5, pp 419-442.

GORDON GEIBLER, MICHAEL KALISKE, 2003, **Formulierung Und Implementierung Eines Interface Elements**, Institut für Statik und Dynamik der Tragstrukturen, Universität Leipzig.

HUGHES, THOMAS J. R., 1987, **The Finite Element Method**. New Jersey, Prentice-Hall.

IDRISS, I. M. AND SUN, J. I., 1992, **User's Manual for SHAKE91, A computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits Program Modified based on the Original SHAKE Program Published in December 1972 by Schnabel, Lysmer and Seed**.

ISHIHARA, K., 1996, **Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics**. Oxford Engineering Science Series; 46.

IIMURA, S., 2004, **Simplified mechanical model for evaluating stress in pipeline subject to settlement**. Computers & Structures, v. 18, p. 469-479.

INOUE NELSON, 2005, **Um modelo acoplado para fluxo bifásico em meios porosos elastoplásticos**, Tese de doutorado, Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio, Brasil.

JACOB, BRENO PINHEIRO, 1999, **Algoritmos de Integração no Tempo com propriedades Dissipativas**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, COPPE/UFRJ.

KAYSER JUNIOR, DARY LOTTMAR, 2003, **Análise Dinâmica De Linhas flexíveis Com Elemento De Pórtico Não Linear Geométrico Híbrido**, Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

KOKUSHU, T., YOSHIDA, Y. & ESASHI, Y., 1982, **Dynamic properties of soft clay for wide strain range**, Soils and Foundations, 22(4).

LADE, P. V., KIM, M. K., 1988a, **Single hardening constitutive modelo for frictional materials, II. Yield criterion and plastic worl contours**. Computers and Geotechnics 6, Elsevier Science Publishers Ltda, p. 13-29.

LADE, P. V., KIM, M. K., 1988b, **Single hardening constitutive modelo for frictional materials, III. Comparisons with experimental data.** Computers and Geotechnics 6, Elsevier Science Publishers Ltda, p. 31-47.

LÓPEZ QUEROL SUSANA, 2005, **Modelización Geomecánica De Los Procesos De Densificación, Licuefacción Y Movilidad Cíclica De Suelos Granulares Sometidos A Solicitaciones Dinámicas**, Tesis Doctoral Universidad De Castilla – La Mancha, Ciudad Real.

MENDONÇA H.M.X., 2005, **Sobre a modelagem de problemas da engenharia geotécnica pelo método dos elementos finitos**, Dissertação de mestrado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,

O'ROURKE, M. E EL HMADI, K., 1988, **Analysis of Continuos Buried Pipelines for Seismic Wave Effects, Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Vol. 16, pp. 917-929.

O'ROURKE, M.J. AND LIU, X., 1999, **Response of buried pipelines subject to earthquake effects.** Monograph No. 3, MCEER, Buffalo, NY: 248 p.

OTINIANO MEJIA IGOR E., 2003, **Modelo Numérico Para O Estudo Do Comportamento De Dutos Enterrados**, Dissertação de mestrado; Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil.

PASTOR, M., ZIENKIEWICZ, O.C., T. LI , L. XIAOQING, J. A. FERNANDEZ-MEREDO Y P. MIRA, 1999, **Modelización Del Comportamiento Sisimico De Geoestructuras**, International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 11:175-201.

RAZAQPUR, A. G. & WANG, D., 1996, **Frost-induced deformations and stresses in pipelines.** Int. J. Pres. Ves. & Piping, v. 69, p. 105-118.

RODRIGUEZ, P., 2003, **Consideraciones Sísmicas para el Diseño de Tuberías Enterradas**, Santiago de Chile.

ROEHL, DEANE DE MESQUITA, 1987, **Uma metodologia para a análise não-linear geométrica de pórticos espaciais com liberações de extremidade de barra de cargas distribuídas**. Dissertação de mestrado; Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil.

SEED H. B. AND MARTIN G. R., 1966, **The seismic coefficient in earth dam design**, J. Soil Mech. Found. Div. ASCE 92(3), 59-83.

SEED, H.B., IDRIS, I.M., 1970, **Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses**, Earthquake Engineering Research Center, Report No. EERC 70-10, University of California, Berkeley, California.

SEED, H.B., TOKIMATSU, K., HARDER, L.F., CHUNG, R.M., 1984, **The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations**, Report no. UCB/EERC-84/15. Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California.

OLLER SERGIO, CAR EDUARDO, 1999, **Respuesta Dinámica de las Estructuras**, Universidad Politécnica de Cataluña.

SHANDHU, R. S. and WILSON, E. L., 1969, **Finite element analysis of flow in saturated porous elastic media**, ASCE EM, V 95, pp 641-652.

SOARES JÚNIOR DELFIM, 2002, **Análise Dinâmica Nos Domínios Do Tempo E Da Frequência De Modelos Não Lineares Discretizados Por Elementos Finitos**, Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

SUN J. I., GOLESORKHI R. AND SEED H. B., 1988, **Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils**; Report No. EERC 88-15, University of California, Berkeley.

TIMOSHENKO, S. P. e GOODIER, J. N., 1980, **Teoria da Elasticidade**. 3ra ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A.

TRAUTMANN, C. H., O'ROURKE, T. D. & KULHAWY, F. H., 1985, **Uplift Force-Displacement Response of Buried Pipe**. Journal of Geotechnical Engineering, v. 111, n. 9, p. 1061-1076.

VUCETIC AND DOBRY, 1991, **Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response**, SCE, geotechnical Journal, Vol. 117.

WEGENER, A., 1912, **Die Entstehung der Kontinente**, Peterm. Mitt.: 185–195, 253–256, 305–309.

WHITTLE, A.J., 1991, **MIT-E3: A constitutive model for overconsolidated clays; Computer Methods and Advances in Geomechanics**, Balkema, Rotterdam.

WOOD, D.M., 1990, **Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics**. Cambridge, University.

WU, TIEN HSING, 1976, **Soil Mechanics**. 2nd Edition. Published by Allyn and Bacon, Inc.

YOUNG, RAIMOND N. WARKENTIN, BENNO P., 1975, **Soil Properties and Behaviour - Developments in Geotechnical Engineering**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

ZHOU ZHILONG AND MURRAY D.W., 1993 **Numerical Structural Analysis of Buried Pipelines**. Structural Engineering Report No. 181: Department of Civil Engineering University of Alberta.

ZHOU, Z. & MURRAY, D. W., 1996, **Pipeline Beam Models Using Stiffness Property Deformation Relations**. Journal of Transportation Engineering, ASCE, v. 122, n. 2, p. 164-172.

ZIENKIEWICZ, O. C., TAYLOR, R. L., 2000, **The Finite Element Method**. 5 ed. Oxford, Butterworth-Heinemann.

ZIENKIEWICZ, O. C. AND SHIOMI, T., 1984, **“Dynamic Behavior of Saturated Porous Media: The Generalized Biot Formulation and Its Numerical Solution.”** International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 8:71-96.

ZIENKIEWICZ, O.C., CHAN, A.H.C., PASTOR, M., SCHEREFLE, B.A., 2000, SHIOMI, T. **Computational Geomechanics With Special Reference To Earthquake Engineering**, John Wiley & Sons Ltd, England

10 Anexo

10.1 Perfil Geotécnico – Areias do setor de Camisea

O resumo apresenta os resultados dos parâmetros obtidos para as areias estudadas através de provas SPT, CPTU e DMT. A partir dessa informação e de ensaios em laboratório são encontrados vários perfis geotécnicos, os quais serão a base para a modelagem numérica.

De provas anteriores, podemos afirmar, sem dúvida, que os resultados obtidos com o CPTU e DMT são mais confiáveis que os obtidos mediante o SPT. Esse fato é verificado na etapa de campo, onde são realizados vários testes SPT nas proximidades do local de interesse, com resultados diferentes.

São estudadas as propriedades mecânicas básicas das areias de Camisea desde diferentes perspectivas, usando diversos ensaios de campo (SPT, DMT, CPTU) e ensaios de laboratório. Os resultados de todos os métodos são consistentes, mas atesta a grande dificuldade em representar corretamente um depósito de areia.

Para a obtenção dos parâmetros dinâmicos do solo na região de Camisea, utiliza-se, dentre outros equipamentos, um sismógrafo L4-3D, como o apresentado na figura a seguir.



Figura 10.74 - Sismógrafo Digital ORION 3S.

As principais características do sismógrafo L4-3D são as seguintes:

- Três sensores de velocidade ortogonais.
- Frequência natural de 1 Hz.
- Amortecimento de 70%.
- Resistência da bobina de 5500 Ohm.

O procedimento usado em cada um dos pontos analisados consiste em obter de 1 a 3 registros com duração média de 15 minutos. Para tal, o sismômetro deve ser colocado, orientado e nivelado em cada um dos pontos. Aguarda-se cerca de uma hora para que a massa do sensor se estabilize e se possa, através do registrador digital, visualizar o estado do sismômetro e programar a hora de início do registro da vibração ambiental do solo (registro de microtrepidações).

As medições não devem ser afetadas diretamente por fontes locais, como, por exemplo, veículos, usinas industriais e similares. Outro fator importante é locar o equipamento no momento da medição diretamente no solo natural.

É importante destacar que não é possível utilizar todas as correlações propostas pelas diferentes técnicas de campo, já que em alguns casos são obtidos dados incoerentes e, em outros, há a necessidade de grande quantidade de parâmetros, que as torna inviáveis.

Ensaio de Penetração Estandar (SPT)

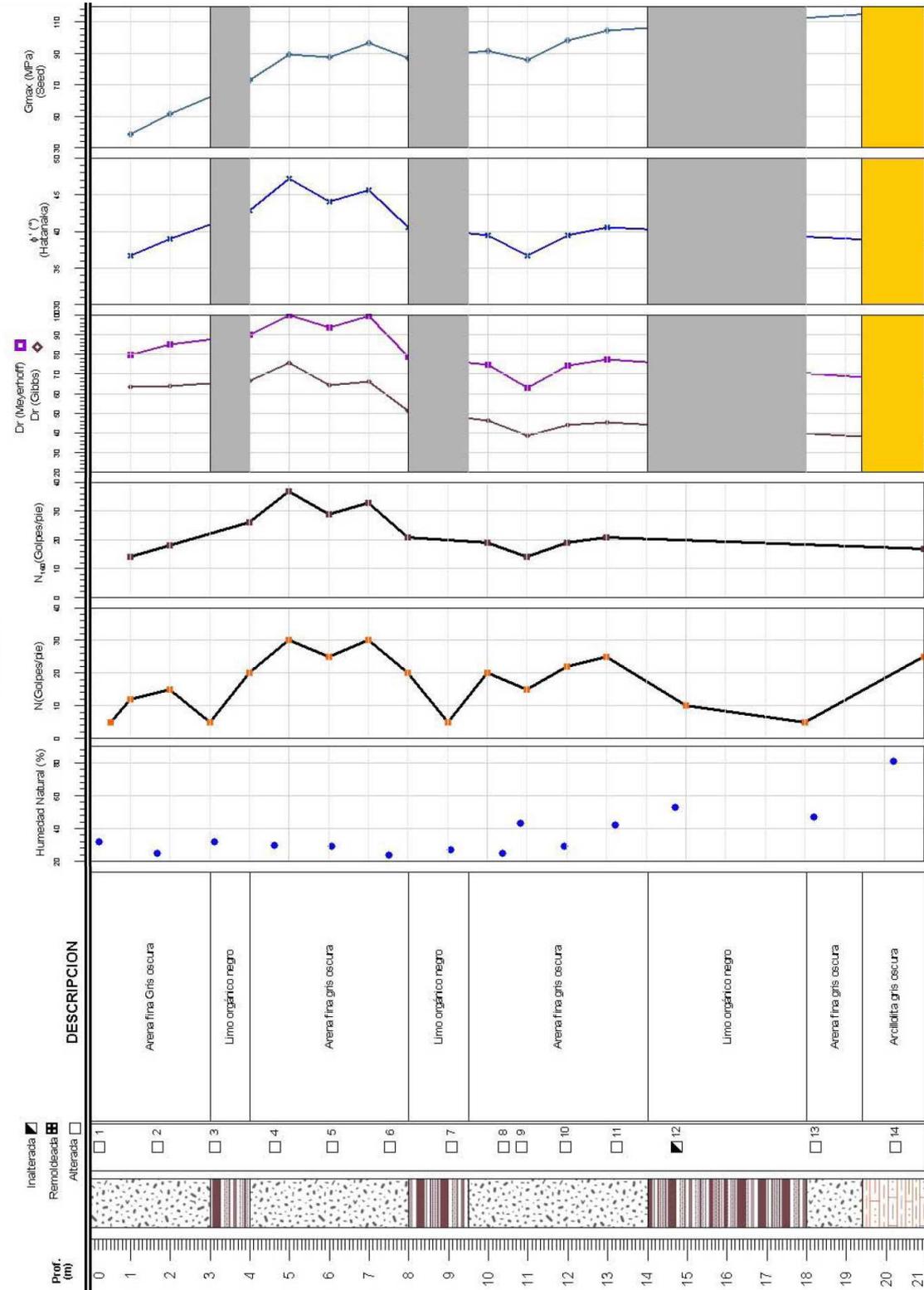


Figura 10.75 - Ensaio de Penetração Estandar (SPT).

Ensaio de Piezocone (CPTU)

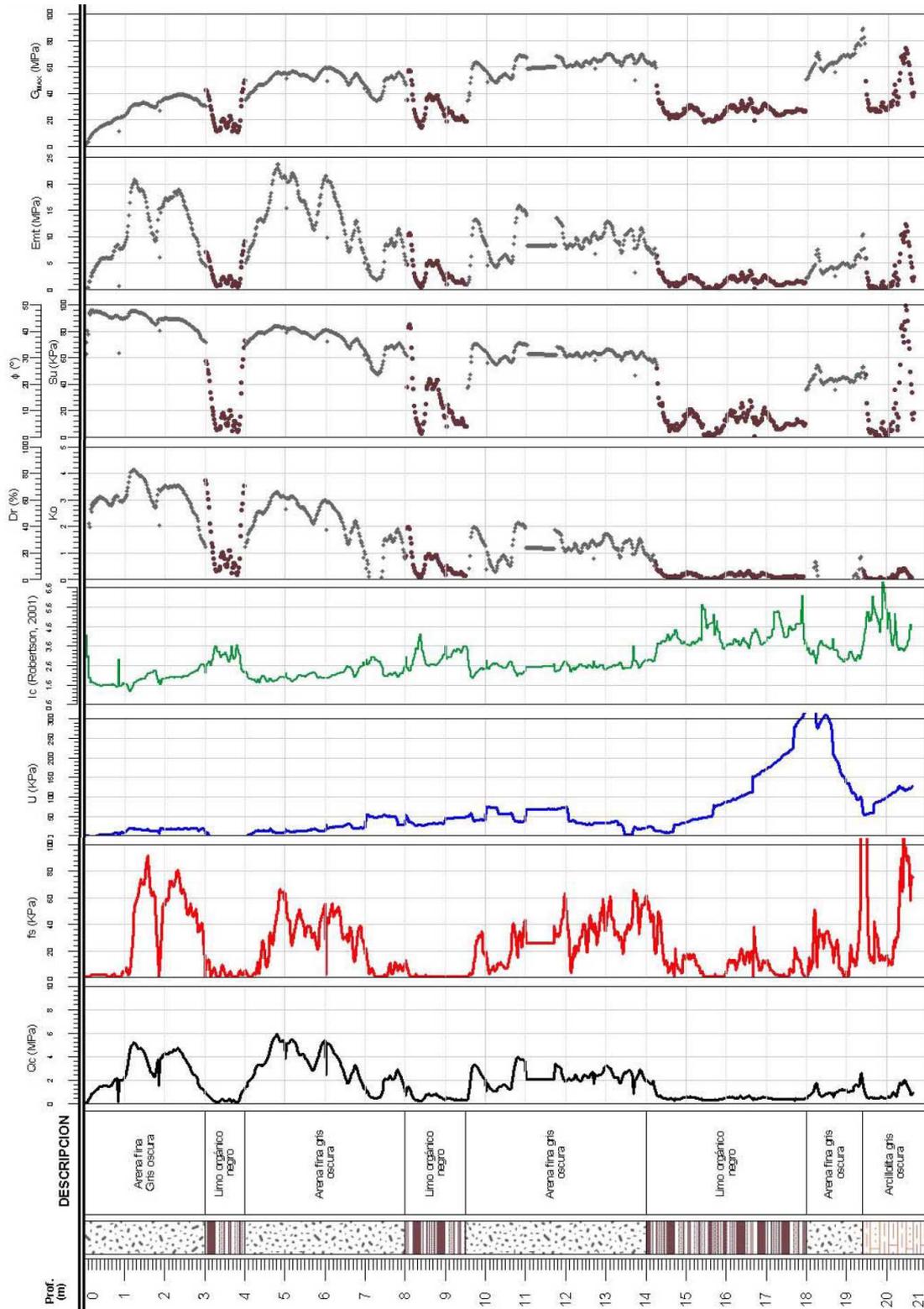


Figura 10.76 - Ensaio de Piezocone (CPTU).

Ensaio do Dilatômetro de Marchetti (DMT)

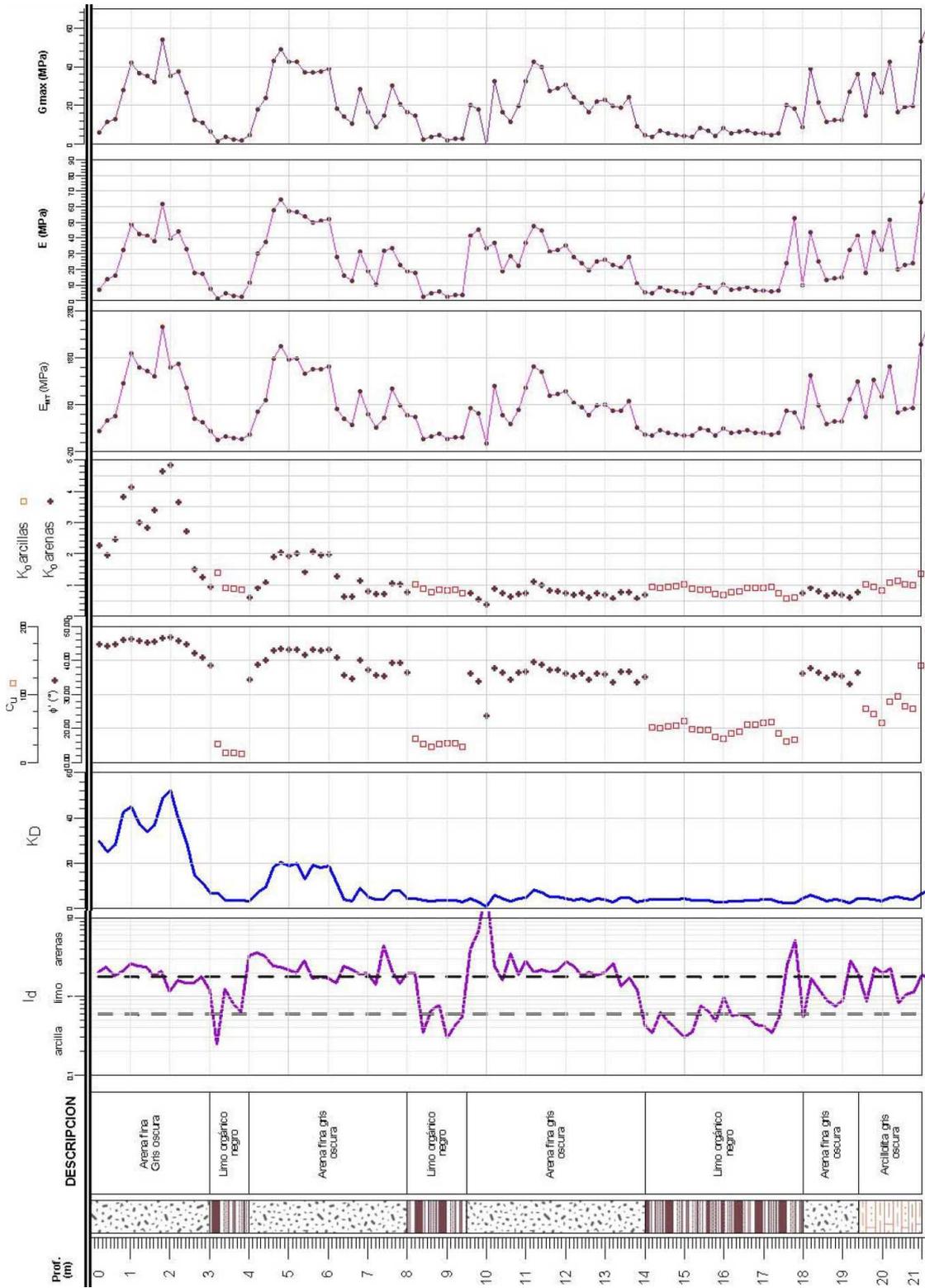


Figura 10.77 - Ensaio do Dilatômetro de Marchetti (DMT).

É estimado, a partir de ensaios triaxiais das areias da região de Camisea, um ângulo de atrito que varia entre 35° (solo não-drenado) e 35.7° (solo drenado).

A seguir, são apresentados os valores obtidos a partir das provas de laboratório para a velocidade das ondas de corte e os calculados com as correlações de Cho et al.(2002).

Método obtenção	$e_{\text{máx}}$	$e_{\text{mín}}$	$V_s(\text{m/s})$	λ
Laboratório	0.90	0.65	130-190	0.9
Cho et al., (2002)	1.06	0.67	155	0.88

Das provas de campo feitas, é indubitável que a mais confiável é o CPTU, seguido por DMT e SPT. Em geral, os parâmetros obtidos pelo CPTU e DMT tendem a ser similares, pois opta-se por adotar valores médios.

A figura a seguir mostra um dos perfis geotécnicos representativos da região.

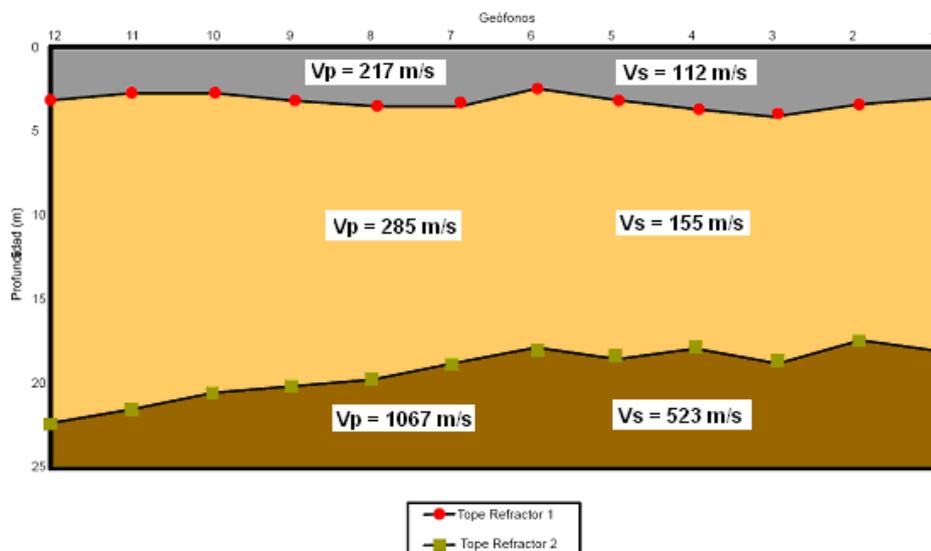


Figura 10.78 – Velocidades de ondas S e P nas areias da região de Camisea.

10.2 Efeito da forma das partículas – Areias do setor de Camisea

Estudos recentes de Ashmawy (2003) e Santamarina (2004) mostram que a forma das partículas tem grande influência no comportamento mecânico dos solos granulares. A forma caracteriza as areias mediante os seguintes parâmetros adimensionais: Esfericidade (S) e Redondez (R).

Baseados nos parâmetros anteriores, Cho (2002) e Santamarina (2004) propõem uma série de correlações obtidas a partir de provas de laboratório, realizadas em 33 amostras de areia (17 se obtêm triturando fragmentos de granito e as 16 restantes são areias naturais de diversas partes do mundo). Para poder utilizar a metodologia proposta por Santamarina, utiliza-se a seguinte figura, a qual é função da esfericidade e redondez das partículas.

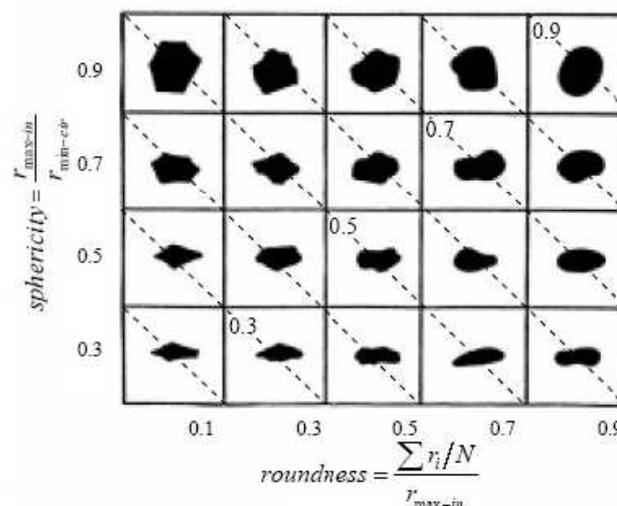


Figura 10.79 - Carta de esfericidade (S) e redondez (R).

As linhas diagonais correspondem a partículas de regularidade constante. ($\rho = cte$). Krumbein & Sloss (1963)

A partir dos coeficientes S e R, Cho (2002) propõe as seguintes correlações:

- Relação de vazios
 $e_{\text{máx}} = 1.5 - 0.82\rho$ e $e_{\text{mín}} = 0.9 - 0.44\rho$

onde $\rho = \text{Regularidad} = \frac{(R+S)}{2}$,

- Velocidade de ondas de corte

$$V_s = \alpha \left(\frac{\sigma_{media}}{1kPa} \right)^\beta$$

onde α é a velocidade de ondas de corte a 1kP;

α e β refletem a sensibilidade da velocidade de ondas de corte à tensão média.

- Parâmetros do estado crítico

$$\phi_{cs} = 42 - 17R \quad \text{e} \quad \Gamma = 1,2 - 0,4R$$

onde ϕ_{cs} é o ângulo de atrito no estado crítico;

Γ é a interseção da linha de estado crítico, para uma tensão média de 1 kPa.

Para o caso das areias de Camisea, são obtidos os seguintes parâmetros para o solo:

$$S = 0,7$$

$$R = 0,35$$

$$e_{m\acute{a}x} = 1,06$$

$$e_{m\acute{i}n} = 0,67$$

$$V_s = 150\text{m/s}$$

$$\phi_{cs} = 36$$

$$\Gamma = 1,0$$

$$\lambda = 0,88$$

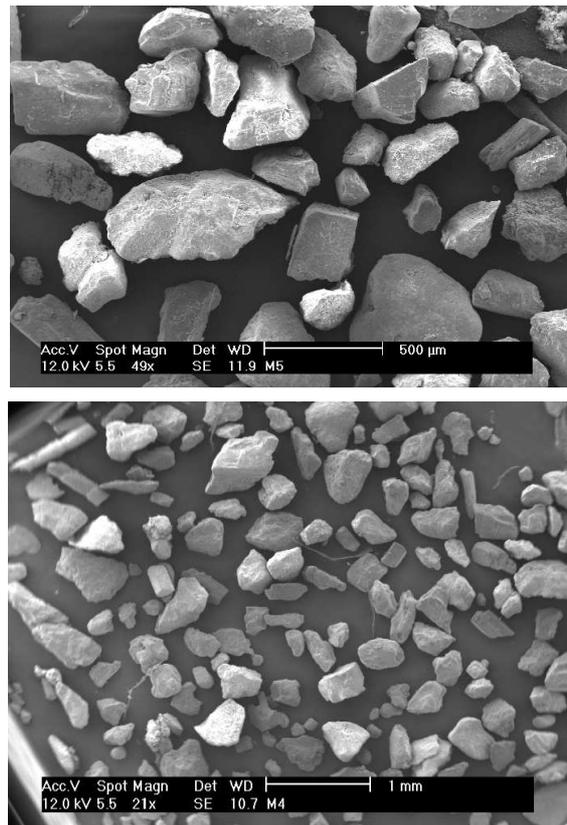


Figura 10.80 - Distribuição pelo tamanho do mineral, onde se nota o predomínio dos grãos angulares.