

SOLOS EXPANSIVOS* – COMPORTAMENTO, IDENTIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO DA INSTABILIDADE VOLUMÉTRICA E PROJECTOS DE FUNDAÇÕES (II PARTE)

Expansive Soils – Behavior, identification, volumetric instability quantification and foundation designs (Part II)

por

J. A. HORTA DA SILVA**

RESUMO – Discute-se o comportamento dos solos expansivos à base do princípio da tensão efectiva e da sua composição e história geológica; descrevem-se alguns métodos considerados de certa utilidade para identificar e quantificar a instabilidade volumétrica; analisam-se os condicionamentos geológico-geotécnicos a ter em conta nos projectos de fundações de edifícios para sistemas de fundações superficiais e profundas de estruturas semi-rígidas.

SYNOPSIS – The behaviour of expansive soils is discussed on the basis of the principle of effective stress, composition and geological history; some methods considered useful for identification and quantification of the volumetric variations are described; the geological and geotechnical factors to be taken into account in the design of deep and shallow building foundations of semi-rigid structures are analyzed.

4 – PROJECTOS DE FUNDAÇÕES

4.1 – O único meio pelo qual é possível projectar, conscienciosamente, fundações em solos expansivos, sem olvidar o aspecto económico, é ter em conta a

* Palestra patrocinada pela Associação dos Geólogos de Angola e levada a efeito na Universidade de Luanda no decurso das comemorações do 50.º aniversário da Missão Geológica de Angola.

** Geólogo-especialista, Chefe da Divisão de Solos e Rochas.

interacção solo-estrutura para as condições que prevalecem no terreno. Tal só é possível se forem tidos em conta os seguintes factos:

- a) – características geológicas do terreno de fundação;
- b) – características geotécnicas do terreno de fundação e mecanismo da variação volumétrica nas condições que prevalecem no terreno;
- c) – forças actuantes nos elementos da estrutura que estão em contacto com o solo;
- d) – tipo e comportamento estrutural da super-estrutura, como um todo, e individualmente em cada elemento da estrutura.

Para decidir sobre o aspecto económico do projecto final é ainda necessário ter em conta o tempo de uso previsto para a estrutura a edificar, tipo e quantidade de danos aceitáveis e custo das reparações para manutenção da estrutura em período funcional.

A escolha deve ser equacionada entre condições limite que definam o custo custo elevado de manutenção e o custo elevado da segurança integral. Pois está no critério da equipa projectista ponderar nos riscos a correr e nas despesas a realizar.

4.2 – Ao analisar as alternativas de um projecto é portanto necessário jogar com as condições geológico-geotécnicas do terreno, com o tipo de estrutura a edificar e com a interacção solo-estrutura.

É evidente que tal jogo carece de uma equipa de técnicos englobando, pelo menos, geólogos de engenharia, engenheiros de fundações e de estruturas.

Considerando, num sentido lato, três tipos básicos de estruturas (flexíveis, rígidas e semi-rígidas) vejamos a sua susceptibilidade ao fendilhamento.

As estruturas flexíveis de aço, madeira, cartão prensado, plástico, etc. para os elementos e paredes, suportam perfeitamente bem os movimentos diferenciais do terreno, sem fendilhar. No entanto, como referiu Marinho Falcão (1957), não é fácil projectarem-se construções deste tipo que satisfaçam as exigências dos arquitectos e sejam aprovadas pelas autoridades urbanísticas. Também parece difícil convencer um utente a viver entre paredes de madeira, cartão prensado, etc. Todavia, é possível dar certa flexibilidade a estruturas não-flexíveis utilizando numerosas juntas que permitam que cada unidade estrutural possa mover-se independentemente das outras.

As estruturas rígidas, projectadas todas em betão armado, também não são susceptíveis de fendilhar devido aos movimentos diferenciais do solo, mas podem estar sujeitas a distorções, como relatou Shraga *et al* (1973).

Finalmente, as estruturas semi-rígidas, construídas parte em betão e parte em tijolos ou blocos, são as mais vulneráveis, por vezes estranhamente sensíveis a qualquer tipo de movimento diferencial.

Os sistemas de fundações correntemente utilizados* podem dividir-se em dois grandes grupos: fundações superficiais (sapatas, vigas, ensoleiramento geral) e fundações profundas (estacas cravadas ou moldadas).

Em solos expansivos os sistemas de fundações profundas parecem “à priori” mais indicados do que os sistemas de fundações superficiais, pelo que são mais correntemente utilizados. Entre nós, é conceito usual considerar errada a utilização de fundações superficiais em solos expansivos. Esta ideia é ainda compartilhada por técnicos conceituados de outros países. Por exemplo, Collins (1973) engenheiro de fundações na África do Sul em debate com Chen, conceituado engenheiro consultor do Texas, referiu em Haifa que num solo expansivo ninguém vai arriscar a projectar vigas de fundação mas sim estacas.

Não há dúvida de que fundações superficiais na zona activa do solo estão usualmente condenadas a suportar a acção directa dos movimentos diferenciais. A redistribuição das cargas origina então tensões adicionais e novos momentos nos elementos estruturais, dando lugar em estruturas semi-rígidas ao fendilhamento. Contudo, também não existem dúvidas de que se a instabilidade volumétrica e as tensões de expansão forem bem calculadas, e se a interacção solo-estrutura for tida em conta, nem sempre será necessário ir para um sistema de estacaria, muito mais oneroso. Noutros casos, o solo expansivo é relativamente pouco espesso (1 a 2m) assentando numa formação geológica estável e portanto também não é necessário ir para um sistema de fundações por estacaria. Solos expansivos com cascalho misturado também dificultam a execução de boas estacas.

4.3 – *Planeamento Geotécnico de Fundações em Solos Expansivos*

4.3.1 – A primeira premissa a ter em conta é a determinação das condições geológicas do terreno.

Feita a prospecção e reconhecidas as características geológicas do terreno, sob o ponto de vista de geologia de engenharia, já é possível esboçar uma

* Considera-se o caso particular de edifícios relativamente leves.

directriz de trabalho. Como dados fundamentais interessa compartimentar o terreno de fundação em zonas ou camadas distintas e definir as características geológico-geotécnicas de cada uma das unidades a partir de propriedades simples, tais como composição granulométrica e mineralógica qualitativa, limites de consistência, variação do teor natural de humidade em profundidade, posição da toalha freática, se existir, fissuramento das camadas e grau de potencialidade de expansão.

Estes dados, corroborados com a experiência dos técnicos, permitem, normalmente, ter uma ideia dos problemas geotécnicos complexos que possam vir a surgir.

Em alguns casos os dados desta fase permitem, imediatamente, assegurar uma solução eficaz. Por exemplo muitos dos solos expansivos encontrados em Angola têm espessuras que em média não vão além dos 2 m.

Estão nestas condições grande número de solos pretos tropicais conhecidos na terminologia pedológica por “vertissolos” de acordo com a 7.^a aproximação da U.S.D.A. Estes solos são, de facto, expansivos, têm elevadas percentagens de montmorilonite, Fig. 3 e Quadro III e têm graus de potencial de expansão muito elevados, Fig. 6, mas quando dependentes de rochas lapidificadas, estas constituem um substrato de fundações estável e estão localizadas a profundidades relativamente pequenas.

Esta situação apresenta-se em Luanda na região da Cazenga onde as argilas expansivas resultam da meteorização de rochas calcárias situadas em muitos locais a profundidades acessíveis a fundações directas, Fig. 13. O mesmo sucede com os vertissolos resultantes da alteração do complexo grabro-anortosítico, a sul de Sá da Bandeira.

4.3.2 – A situação crítica surge quando os solos potencialmente expansivos se estendem até grandes profundidades, resultando do facto que as fundações terão de ser efectuadas no material instável. Neste caso surge um grande número de complexidades que têm de ser tidas em conta.

Encontram-se nesta situação os vertissolos dependentes de formações argilosas sedimentares (argilas e margas), como sejam alguns solos negros da região de Catete, ou as próprias formações sedimentares quando aflorantes e espessas (possanças que excedem os 15 m). Casos deste tipo aparecem ao longo da orla ceno-mesozóica do litoral angolano, em Luanda, Novo Redondo, Benguela, etc.

Então a fase preliminar de prospecção terá de ser alongada. Em primeiro é necessário determinar a zona activa do solo expansivo, isto é, até que profundidade

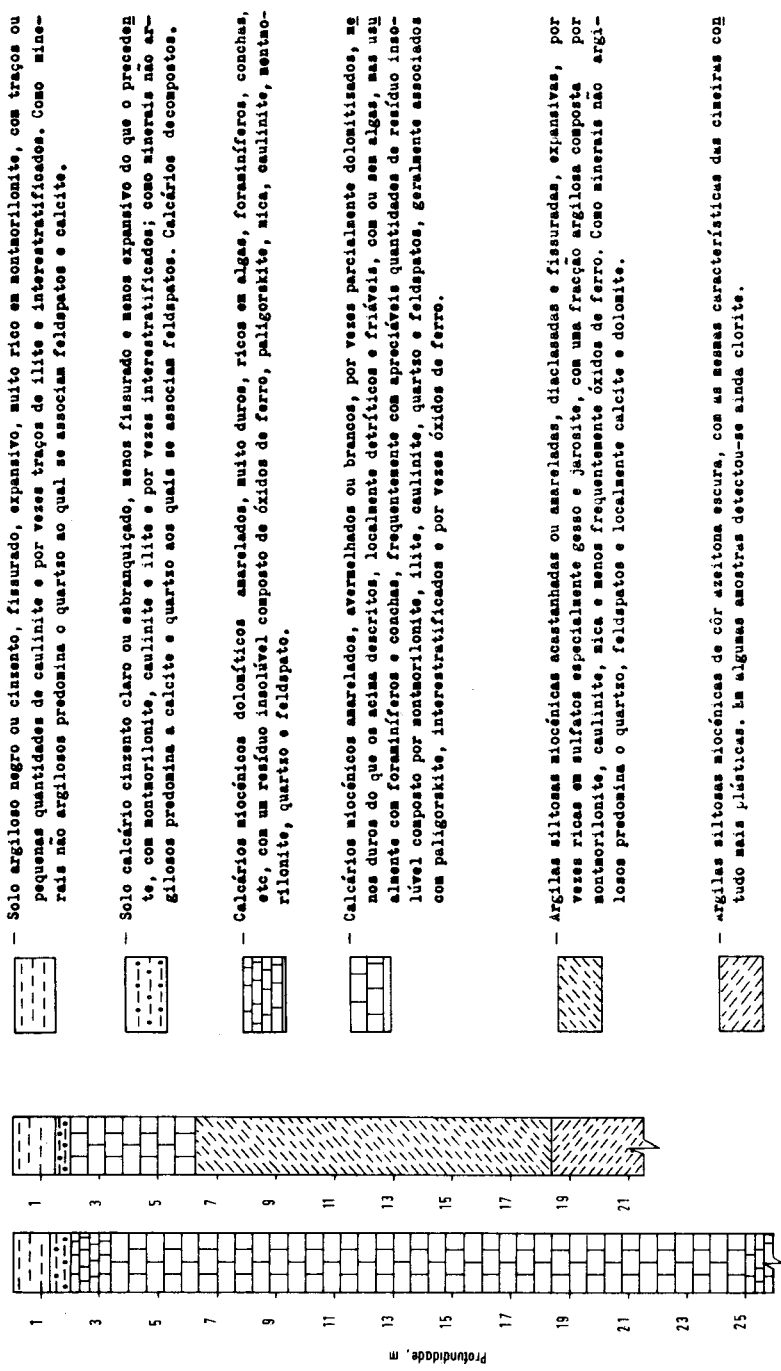


Fig. 13 - Perfis geológicos obtidos na área da Cazenga e Palanca por meio de sondagens

se vão dar as variações volumétricas do solo depois da construção. A profundidade da zona activa poder-se-á deduzir a partir dos perfis da variação do teor de humidade com a profundidade antes e depois do solo coberto e no final das estações seca e húmida ou, melhor ainda, por intermédio de perfis da variação da sucção ou, se possível, da tensão intersticial, obtidos nas mesmas condições. Os perfis de sucção podem ser obtidos directamente com psicrómetros Aitchison *et al* (1973), ou indirectamente por meio de ensaios laboratoriais em amostras intactas colhidas a várias profundidades. No L.E.A. utiliza-se o método das câmaras de pressão com membrana e exsicadores a vácuo, Horta da Silva e Lopes Pereira (1971) e Lopes Pereira (1971a, 1971b), para determinar curvas de sucção-teor de humidade, Fig. 14. A partir destas curvas e dos perfis de variação do teor de humidade, é possível extrapolar os perfis de sucção.*

Os limites de variação da sucção em profundidade dar-nos-á, além da definição da zona activa, os intervalos das sucções ou das tensões intersticiais a utilizar para prever a percentagem de expansão e as tensões de expansão, conforme se referiu em 3.4.3 e 3.4.4**

Na falta destes dados, usando os perfis de variação do teor de humidade pode aproximadamente definir-se a zona activa, utilizando o critério de Van der Merwe (1964) ou ensaios edométricos convencionais prever a variação volumétrica total do estrato de fundação e usando aparelhagem do tipo da descrita por Singh (1967) estimar as tensões máximas de expansão por encharcamento.

Com base nestes dados poder-se-á então fazer um estudo das alternativas a utilizar e escolher o sistema de fundações mais apropriado e económico.

Para fundações superficiais Lytton (1970), Lytton e Meyer (1971) e Lytton e Woodburn (1974) preconizam a utilização de vigas armadas. O processo de cálculo, relativamente complicado, baseia-se na interacção solo estrutura. A secção das vigas é estruturalmente dimensionada no sentido de suportar os momentos máximos e as tensões de rotura máximas, a que vão estar sujeitas, e fornecer-lhes rigidez e elasticidade capaz de suportar as deflexões diferenciais, em face da instabilidade volumétrica, tensões de expansão e distribuição das cargas computadas.

Este tipo de fundações tem sido utilizado com sucesso na Austrália.

Mais do nosso conhecimento são os sistemas de estacas ou pilares moldados no terreno. “À priori” é de admitir que movimentos diferenciais do solo não

* O L.E.A. espera, oportunamente, começar a utilizar psicrómetros já encomendados.

** Edómetro de membrana e aparelho de Escario.

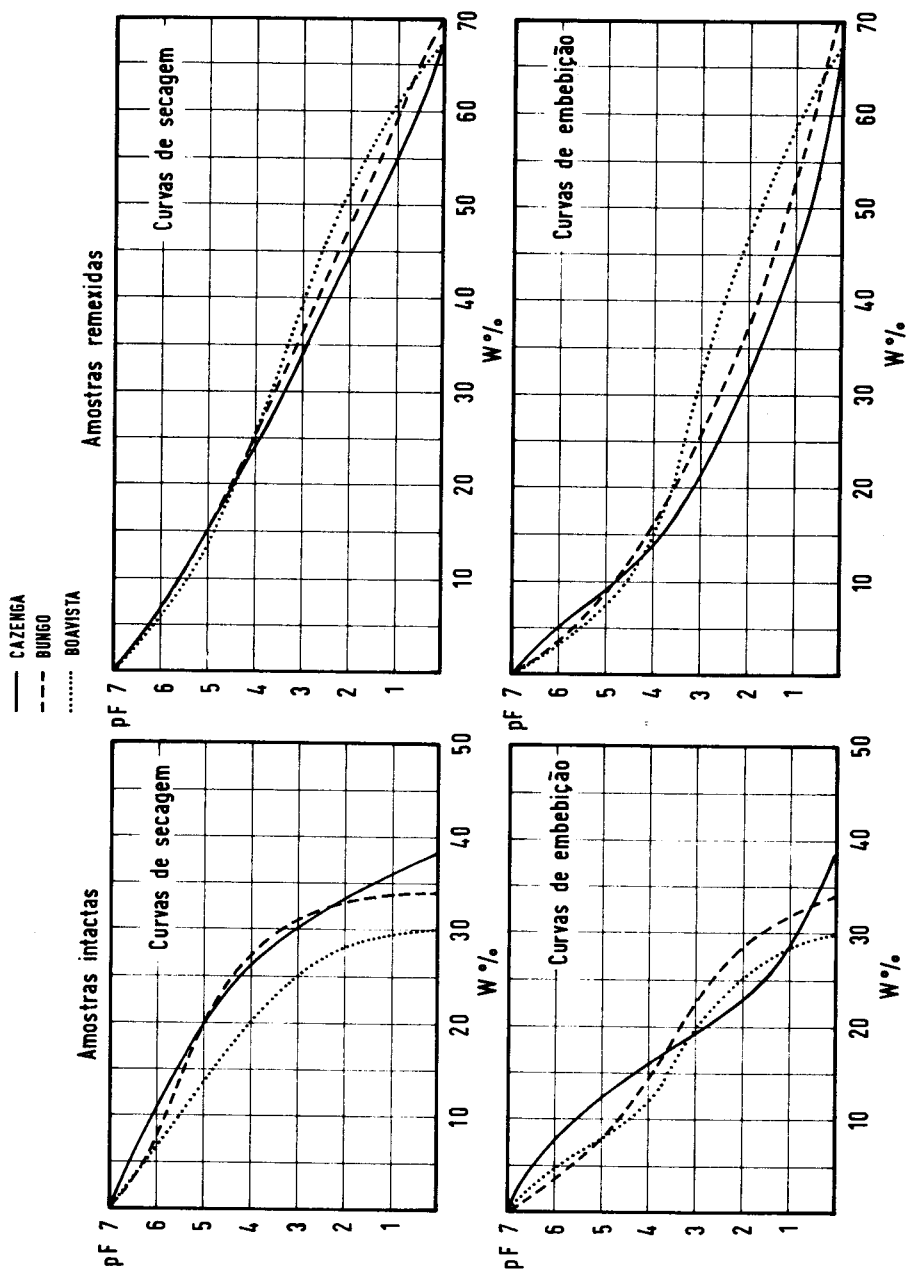


Fig. 14 – Curvas de sucção das argilas da Cazenga, Bungo e Boavista

sejam transmitidos à super-estrutura desde que as estacas atravessassem toda a zona activa do solo e sejam ancoradas numa zona estável, capaz de suportar as solicitações a que vai ficar sujeita.

Com base em resultados experimentais, vários autores [Collins (1953), Sorochan e Karasev (1971), Komornic *et al* (1973)] têm apresentado soluções para o cálculo de estacas em solos expansivos. Os métodos de cálculo de estacas baseiam-se, particularmente, em dois estados-limite (máxima carga por estaca e forças máximas actuantes na estaca devido às variações volumétricas do terreno) e tomam em conta os seguintes factos, a saber, segundo Sorochan e Karasev (1971):

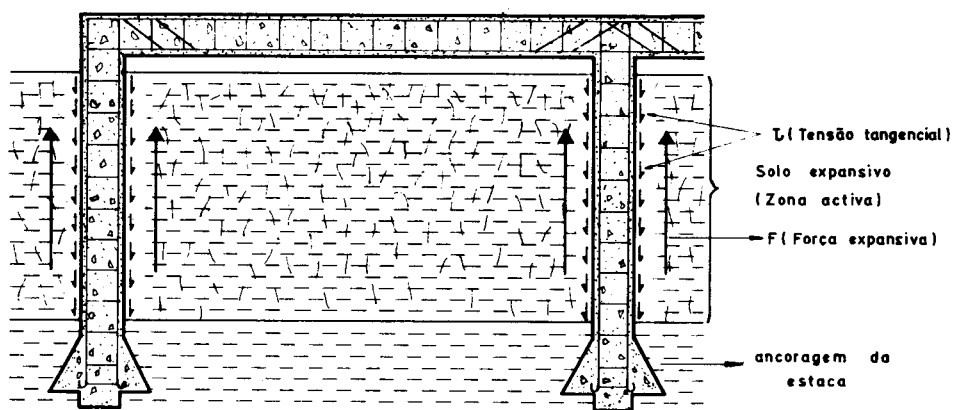
- a) – quando o solo expande, a carga a suportar pela estaca é influenciada pelo comprimento da mesma;
- b) – ao longo da estaca formam-se duas zonas com tensões de corte operantes em sentidos opostos que correspondem à da zona activa e à da zona de ancoragem;
- c) – a expansão do solo tende a originar o levantamento da estaca; a subida desta dependerá, essencialmente, do seu comprimento, da carga que a estaca suportar e* da adesão do solo à estaca na zona considerada activa;
- d) – as forças de corte à tracção que actuem na estaca aumentam durante o inchamento do solo até um valor máximo e, seguidamente, não obstante o solo poder continuar a expandir, diminuem até um valor constante;
- e) – as tensões de rotura variam ao longo do comprimento da estaca, em termos duma distribuição parabólica, atingindo valores máximos de 0,3 a 0,5 do comprimento da estaca, contados a partir da extremidade mais grossa.

A ancoragem da estaca poderá ser feita alargando, em cone, a parte terminal da mesma, ou por meio de bolbos múltiplos permitindo um aumento da área de atrito abaixo da zona activa, Fig. 15.

Dado que nem sempre existem meios para escarear os furos destinados a moldagem das estacas, alguns construtores preferem substituir o alargamento das estacas pelo seu alongamento.

* Comentário do autor.

**Estacas ancoradas do tipo clássico
com a base alargada em cone.**



**Estacas ancoradas com bolbos múltiplos
a fim de permitir uma maior área de
atrito abaixo da zona activa.**

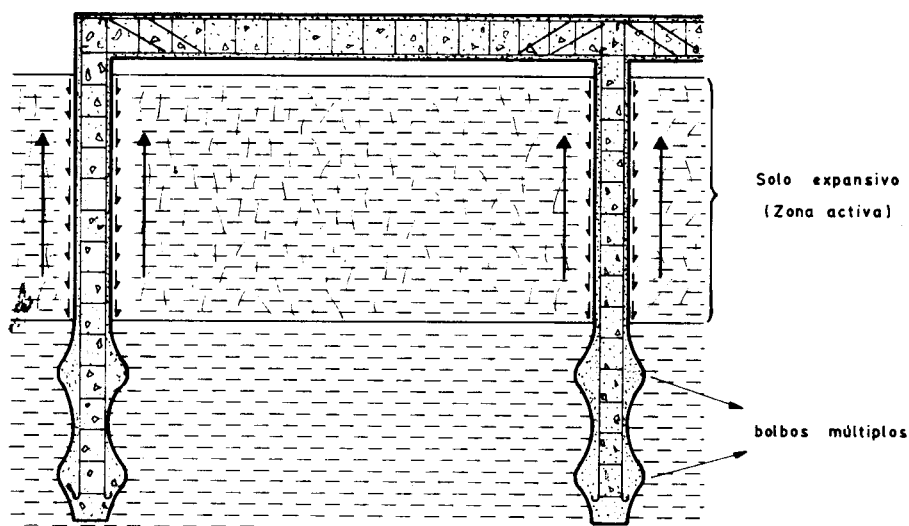


Fig. 15 – Esquemas de sistema de fundações de estacas ancoradas em argilas expansivas

No entanto, se a zona activa for mal definida e as estacas não forem ancoradas numa zona estável, se a capacidade de suporte da zona estável for mal determinada, ou se as forças actuantes nas estacas devido à instabilidade volumétrica não forem devidamente equacionadas, então poder-se-á afirmar que as fundações só por mero acaso não estarão votadas ao insucesso.

Na ausência de dados que definam as circunstâncias que envolvem a instabilidade do solo, da quantificação desta instabilidade, da profundidade da zona activa e da capacidade de suporte da zona não activa, como menciona Tokar (1973), não há vantagens em refinar os princípios em que se baseia o cálculo de fundações por estacas em argilas expansivas.

Os dispositivos tendentes a contrariar os efeitos da instabilidade volumétrica em solos expansivos e assegurar o bom comportamento das estruturas neles fundadas envolvem ainda problemas de estabilização, assunto que esperamos tratar noutra ocasião.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) - AITCHISON, G. D. (1967) - "The separate roles of site investigation, quantification of soil properties and selection of operational environment in the determination of foundation design on expansive clay". 3rd Asian Conf. Soil Mechanics Found., Eng., Haifa.
- 2) - AITCHISON, G. D. (1971) - "Tropical and subtropical unstable soils; discussion". 5th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Luanda".
- 3) - AITCHISON, G. D. (1973) - "Problems of soil mechanics and construction on structurally unstable soils (collapsible, expansive and others); general report". 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow.
- 4) - AITCHISON, G. D. e WOOD, C. C. (1965) - "Some interactions of compaction, permeability and post-construction deflocculation affecting the probability of piping failure in small earth dams". 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal.
- 5) - AITCHISON, G. C. e MARTIN, R. (1973) - "A membrane oedometer for complex stress-paths studies in expansive clays". 3rd International Conference on Expansive Clays, Haifa.
- 6) - AITCHISON, G. D. *et al.* (1973) - "The quantitative description of the stress deformation behaviour of expansive soils". Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Geomechanics, Victoria.
- 7) - ALPAN, I. (1957) - "An apparatus for measuring the swelling pressure in expansive soils". 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London.

- 8) – BISHOP, A. W. (1955) – “The principle of effective stress”. Lecture delivered to the Norwegian Geotechnical Society; Norwegian Geotechnical Institute, Publ. 32.
- 9) – BISHOP, A. W. e AITCHISON, G. D. (1960) – “Discussion”. Proceedings Conference Pore Pressure and Suctions in Soils, London.
- 10) – BLIGHT, G. E. (1965) – “The time-rate of heave of strutures on expansive clays”. Symposium Moisture Equilibria and Moisture Changes in Soils Beneath Covered Areas, Sidney.
- 11) – BLIGHT, G. E. (1967) – “Effective stress evaluation of unsaturated soils”. Proceedings, America Society of Civil Engineers Vol. 93.
- 12) – BREWER, R. (1964) – “Structure and mineral analysis of Soils”. Symposium on Soil Clay Mineralogy, the University of North Carolina Press, Chapel Hill.
- 13) – BRINDLEY, G. W. e MACEWAN, D. (1953) – “Structural aspects of the mineralogy of clays and related silicates”. Ceramics Symposium, British Ceramic Society.
- 14) – COLLINS, L. E. (1953) – “Preliminary theory for design of underreamed piles”. Transactions South African Institution of Civil Engineers, Vol. 3.
- 15) – COLLINS, L. E. (1973) – “Road and airfield pavements, pipe lines, floor slabs; dicussion”. 3rd International Conference on Expansive Soils, Haifa.
- 16) – DAVIDTZ, J. C. e LOW, P. F. (1970) – “Relation between crystal-lattice configuration and swelling of montmorillonite”. Clay and Clay Minerals, Vol. 18.
- 17) – ESCARIO, V. (1967) – “Measurement of the swelling characteristics of a soil fed with water under tension”. International Cooperative Reseaarch on the Prediction of Moisture Content Under Road Pavements; working group under the auspices of OCDE, Madrid.
- 18) – ESCARIO, V. (1969) – “Swelling of soils in contact with water at a negative pressure”. 2nd International Conference on Expansive Soils, Houston.
- 19) – ESCARIO, V. e SAEZ, J. (1973) – “Measurement of the properties of swelling and collapsing soils under controlled suction”. 3rd International Conference on Expansive Soils, Haifa.
- 20) – FINK, D. H. *et al.* (1971) – “Demixing of exchangeable cations in free swelling bentonite clay”. Soil Science Society America Proceedings, Vol. 35.
- 21) – FIRTH, R. A. (1971) – in “An Improved method for predicting heave using the oedometer test”. 3rd International Conference on Expansive Soils; Guest lecture by Prof. J. E. Jennings, Haifa.
- 22) – HORTA DA SILVA, J. A. (1969) – “Geology and engineering behaviour of expansive and collapsing soils of Angola”. Dissertation; Imperial College of Science and Technology, London.
- 23) – HORTA DA SILVA, J. A. (1970) – “Nota sobre as características geológico-geotécnicas dos terrenos do Muçequê Lixeira, Bungo e Boavista”. LEA, Bol. N.º 11 979.
- 24) – HORTA DA SILVA, J. A. (1971) – “Geology and engineering behaviour of expansive clays from Cazenga”. 5th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Luanda.

- 25) – HORTA DA SILVA, J. A. (1971) – “Tropical and subtropical unstable soils; dicussion”. 5th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Luanda.
- 26) – HORTA DA SILVA, J. A. (1973) – “Acerca de um solo areno-siltoso com hidrobiotite, vermiculite e montmorilonite”. LEA Bol. 15.147; publicado na revista Geotecnica 9.
- 27) – HORTA DA SILVA, J. A. (1974) – “Microscopia electrónica no estudo de argilas; casos de solos e sedimentos de Angola”. LEA Bol. N.º 15.872, aguarda publicação na revista da Associação dos Geólogos de Angola.
- 28) – HORTA DA SILVA, J. A. (1974) – “Influence of geological-geotechnical factors upon foundation design, building planning and slope stability in Luanda City”. 2nd International Congress on Engineering Geology, S. Paulo.
- 29) – HORTA DA SILVA, J. A. e LOPES PEREIRA, J. F. (1971) – “Potenciais de alguns solos coesivos de Luanda”. LEA, Bol. 12.146
- 30) – HORTA DA SILVA, J. A. e SANTOS NUNES, A. (1974) – “Nota sobre a influência da composição mineralógica e características de compactação no comportamento expansivo de um solo”. LEA, Bol. 15929; aguarda publicação na revista da Associação dos Geólogos de Angola.
- 31) – INGLES, O. G. e AITCHISON, G. D. (1969) – “Soil-water disequilibrium as a cause of subsidence in natural soils and earth embankments”, International Symposium on Land Subsidence, Tokyo.
- 32) – JENNINGS, J. E. (1973) – “An improved method for predicting heave using the oedometer test”. 3rd International Conference on Expansive Soils; Guest lecture, Haifa.
- 33) – JENNINGS, J. E. e KNIGHT, K. (1957) – “The prediction of total heave from the double oedometer test”. Transaction South African Institution of Civil Engineers, Vol. 7.
- 34) – JENNINGS, J. F. e KERRICH, J. E. (1962) – “The heaving of buildings and the associated economic consequences with particular reference to the orange Free State Goldfields”. Civil Engineering in South Africa, 4.
- 35) – KANTEY, B. A. (1971) – “Tropical and subtropical unstable soils; discussion”. 5th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Luanda.
- 36) – KANTEY, B. A. e BRINK, A. B. A. (1952) – “Laboratory criteria for recognition of expansive soils”. South Africa National Building Research Institute, Bull. 9.
- 37) – KASSIF, G. e BEN SHALOM, A. (1971) – “Experimental relationship between swelling pressure and suction”. Geotechnique, Vol. 21.
- 38) – KASSIF, G. *et al.* (1973) – “Swell-pressure relationships at constant suction changes”. 3rd International Conference on Expansive Soils, Haifa.
- 39) – KOMORNIK, A. *et al.* (1973) – “Effect of swelling clay on piles”. 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow.

- 40) - LOPES PEREIRA, J. F. (1971a) - "Influência da estrutura do solo nas curvas de sucção". LEA, Bol. 12.495.
- 41) - LOPES PEREIRA, J. F. (1971b) - "Curvas de pF". LEA, Bol. 12.129.
- 42) - LNEC (1967) - "Ensaio de expansão". Especificação E-200.
- 43) - LENC (1968) - "Prospecção de terrenos". Especificação E-219.
- 44) - LYTTON, R. L. (1970) - "Design criteria for residential slabs and grillage rafts on reactive clays". Report for the Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of applied Geomechanics, Victoria.
- 45) - LYTTON, R. L. e MEYER, K. T. (1971) - "Stiffened mats on expansive clay". Journal Soil Mechanics and Foundations Engineering, ASCE, Vol. 97.
- 46) - LYTTON, R. L. e WOODBURN, J. A. (1973) - "Design and performance of mat foundations on expansive clay". 3rd International Conference on Expansive Clays, Haifa.
- 47) - MARINHO FALCÃO, A. A. (1957) - "Argilas expansivas, sua ocorrência na região de Luanda". 1.^a Jornada de Estradas, Luanda.
- 48) - MATYAS, E. L. e RADHAKRISHNA, H. S. (1968) - "Volume change characteristics of partially saturated soils". Geotechnique, 18.
- 49) - MITCHELL, J. K. (1973) - "Influences of mineralogy and pore solution chemistry on the swelling and stability of clays". 3rd International Conference on Expansive Clays; Guest lecture, Haifa.
- 50) - NOVAIS-FERREIRA, H. (1973) - "The influence of compaction moisture content on oedometric deformation and swelling pressure". 3rd International Conference on Expansive Soils, Haifa.
- 51) - NOVAIS-FERREIRA, H. e HORTA DA SILVA, J. A. (1973) - "Luanda, expansive clays and laboratory appreciation criteria". 3rd International Conference on Expansive Soils, Haifa.
- 52) - RAVINA, I. e LOW, P. F. (1972) - "Relation between swelling, water properties and b-dimension in montmorillonite-water systems". Clays and Clay Minerals, Vol. 20.
- 53) - SALAS, J. (1971) - "Problemas geológicos de desenvolvimento; Discussão". 1.^o Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, Madrid.
- 54) - SHRAGA, S. *et al.* (1973) - "Review of foundation practice for a kibbutz dwelling in expansive clay". 3rd International Conference on Expansive Soils, Haifa.
- 55) - SINGH, A. (1967) - "Soil engineering in theory and practice". Asia Publishina House, London.
- 56) - SOROCHAN, E. A. e KARASEV, O. V. (1971) - "Designing of pile foundation in swelling soils". Industrial Construction and Engineering Structures, Kiev.
- 57) - TOKAR, R. A. (1973) - "Problems of soil mechanics and foundation on structurally soils (collapsing, expansive and others); general-report, comments by the co-reporter". 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow.

- 58) – VAN DER MERWE, D. H. (1964) – “The prediction of heave from the plasticity index and the percentage clay fraction”. The Civil Engineering in South Africa, Vol. 6.
- 59) – WILSON, L. C. (1973) – “Tropical and subtropical unstable soils; discussion”. 5th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Luanda.