

ESTUDOS PORTUGUESES SOBRE AS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DOS SOLOS LATERÍTICOS

Portuguese Studies on Engineering Properties of Lateritic Soils*

por

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE ANGOLA
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE MOÇAMBIQUE
JUNTA AUTÓNOMA DE ESTRADAS DE ANGOLA

RESUMO – A frequente ocorrência de materiais lateríticos nas Províncias Ultramarinas Portuguesas e a necessidade de os utilizar na construção rodoviária levaram a que se tenham feito estudos com o fim de, através do seu melhor conhecimento, melhorar as condições técnicas e económicas da sua utilização.

Estes estudos têm sido realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pelo Laboratório de Engenharia de Angola e pelo Laboratório de Engenharia de Moçambique, e o presente trabalho resume o seu estado actual e as principais conclusões obtidas, em especial no que respeita a especificações rodoviárias para materiais lateríticos. Nestas foi introduzido um novo parâmetro – a expansibilidade – e apresentada uma proposta de aceitação de materiais lateríticos com limites de Atterberg superiores, em certa medida, aos preconizados pelas especificações correntes (AASHO: M 145-49 e ASTM: D 1241-55 T) desde que a expansibilidade não exceda 10%.

Prevê-se que as especificações possam ainda ser alargadas, em face dos resultados práticos obtidos, e pensa-se que para isso poderá também contribuir o estudo da aptidão a petrificar por secagem, observada nestes materiais, e a análise da sua composição mineralógica.

SYNOPSIS – The frequent occurrence of lateritic materials in the Portuguese overseas provinces and the need to use them in road construction made it necessary to carry out studies in order to improve the technical and economical conditions of their use. This report gives an up to date account of the state of these studies and of the conclusions reached, particularly in so far as road

GEOTECNIA 6

* Comunicação apresentada na Sessão especial sobre “Engineering Properties of Lateritic Soils” da “VII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering”, México 1969.

specifications for the mechanical stabilisation of lateritic materials is concerned. A new parameter – swelling – was introduced in these specifications and a proposal presented for the acceptance of lateritic materials with consistency limits that are somewhat higher than those recommended in current specifications (AASHO: M 145-49 and ASTM: D 1241-55 T) as long as swelling does not exceed 10 per cent.

Considering the results obtained in the roads already constructed it is to be expected that the scope of the specifications be widened even further, studies being carried out to ground this widening, among which the study of the aptitude to petrify by drying observed in these materials and the analysis of their mineralogic composition.

INTRODUÇÃO

Os materiais lateríticos ocorrem frequentemente nas Províncias Ultramarinas Portuguesas e a necessidade de os utilizar na construção rodoviária levou a que, na última década, se tenham feito estudos com o fim de, através do seu melhor conhecimento, melhorar as condições técnicas e económicas da sua utilização.

Estes estudos têm sido realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pelo Laboratório de Engenharia de Angola e pelo Laboratório de Engenharia de Moçambique e deram lugar aos relatórios e às publicações referidos na lista bibliográfica.

AS LATERITES DO ULTRAMAR PORTUGUÊS – SUGESTÕES RELATIVAS A NORMAS DE ENSAIO E A ESPECIFICAÇÕES

Em 1959 foi publicado um trabalho – “As Laterites do Ultramar Português” – em que se apresentam os resultados dos estudos até então realizados pelos três laboratórios. Estes estudos incidiram em vários domínios (geologia e amostragem, físico-química, ensaios geotécnicos e aplicações) e levaram à apresentação de sugestões e alterações relativas às normas de ensaio e às especificações referentes ao emprego de materiais lateríticos na construção rodoviária.

Nas alterações propostas figura a associação aos limites de consistência de um novo parâmetro – a expansibilidade.

Com efeito, verifica-se, e é bem conhecido da literatura técnica, ser possível aplicar em estradas, com bons resultados, terrenos lateríticos com limites de consistência superiores aos recomendados pelas especificações habitualmente utilizadas (AASHO: M 145-49 e ASTM: D 1241-55 T).

Atribuiu-se esta possibilidade à fraca actividade das partículas finas dos

terrenos lateríticos (verificada nos estudos físico-químicos realizados) e, em particular, à pequena variação volumétrica que sofrem por absorção de água. Os tratamentos de amassadura infligidos ao solo nas determinações dos limites, forçando a absorção de água pelas partículas, podem levar, nos solos lateríticos (mais do que os outros sensíveis a este procedimento), à obtenção de valores altos e à consequente exclusão de solos cujo comportamento será, de facto, aceitável em obra.

Parecendo então ser insuficiente a utilização dos limites de consistência como parâmetro definidor do bom comportamento dos finos dos materiais lateríticos (o que aliás a experiência em obra tendia a comprovar), procurou-se associar-lhes um novo parâmetro que permitisse detectar melhor as suas características reais. O parâmetro escolhido foi a expansibilidade, ou seja, a gradual e contínua variação de volume causada por variações do teor em água.

Tendo em vista a determinação prática e expedita desta característica, foi estudado no LNEC um ensaio, realizado, tal como os limites de consistência, sobre a fracção que passa no pen. n.º 40 ASTM, e por meio dele determinada a expansibilidade dos solos incluídos no referido estudo. Verificou-se efectivamente que os solos lateríticos apresentam em geral baixa expansibilidade, mesmo quando têm limites de consistência elevados, e que o seu valor tende a aumentar com a relação molecular $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$.

Isto conduziu a uma primeira proposta de aceitação de solos com limites de

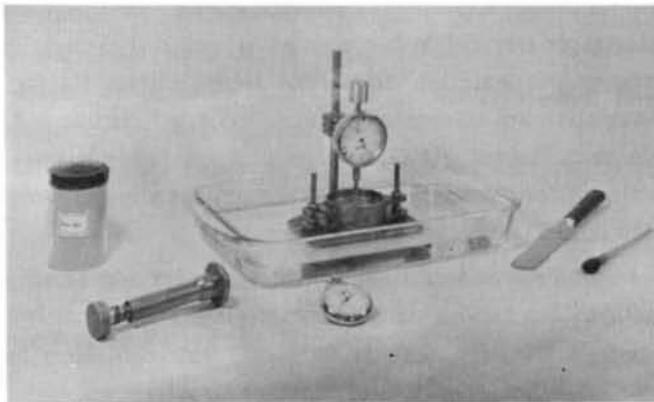


Fig. 1 – Ensaio de expansibilidade

consistência superiores em determinado grau aos das especificações AASHO, desde que a expansibilidade não excedesse um certo valor.

Posteriormente a técnica do ensaio de expansibilidade foi modificada e aperfeiçoada no LNEC (Castro 1962 e 1963) (Fig. 1), tendo em vista aumentar a sua precisão, e em face do novo ensaio foi proposto um novo valor limite para este parâmetro nas especificações rodoviárias para solos lateríticos (Nascimento, Castro e Rodrigues 1963, Castro 1963).

Do trabalho referido (LNEC, LEA e LEMMS 1959) citaremos as principais conclusões e as sugestões e alterações às normas e às especificações de ensaio, após terem sido modificados os limites relativos à expansibilidade.

Terminologia

No domínio da terminologia foram as seguintes:

Laterite – Material de estrutura vacuolar, muitas vezes matizado com cores variando do amarelo ao vermelho mais ou menos escuro e mesmo negro, constituindo *casões* contínuos de espessura e dureza variáveis tendo muitas vezes o aspecto duma escória, ou ainda *concreções pisolíticas* isoladas, de maior ou menor resistência.

Solo laterítico – Solo cuja fracção argilosa tem uma relação molecular $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3} < 2$ e apresenta baixa expansibilidade.

Terreno laterítico – Terreno com quantidade significativa de laterites e (ou) de solo laterítico. Considera-se quantidade significativa aquela que confere ao terreno um comportamento laterítico.

Laterites primárias – Resultam da desagregação e lixiviação das rochas ígneas expostas à meteorização tropical de que resulta um progressivo empobrecimento dos respectivos terrenos residuais em elementos solúveis (Na, K, Ca, etc.), e um enriquecimento relativo em elementos insolúveis (Fe, Al, Ti, etc.). A consequente concentração de sesquióxidos (Fe_2O_3 e Al_2O_3) dá aos terrenos uma coloração de tijolo e, em geral, um concrecionamento das respectivas partículas cuja intensidade e distribuição são muito variáveis.

Laterites secundárias – Resultam do concrecionamento de solos aluvionares devido à precipitação dos catiões Fe e Al transportados nas águas freáticas submetidas, na estiagem, a secagem, descida de nível, concentração e precipitação e, na época das chuvas, a infiltração ou alimentação subterrânea, subida de nível e diluição. Este processo cíclico, dada a quase irreversibilidade no solo da reacção

de precipitação dos hidróxidos de Fe e Al, conduz por desidratação a uma progressiva acumulação dos respectivos sesquióxidos da qual resulta a consequente aglutinação das partículas do solo.”

Características físicas e químicas

Pelo que respeita ao estudo físico-químico apurou-se resumidamente o seguinte:

“*Composição* – Os terrenos lateríticos são essencialmente constituídos por sílica e hidróxidos ou óxidos de alumínio e ferro, podendo conter outros elementos em quantidades consideravelmente menores.

Em todos os terrenos com laterites verificou-se que a relação molecular $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ da fracção argilosa era inferior a 2 e que o valor 1,33 dessa relação, proposto por alguns autores, não representava nenhuma divisão significativa, pelo que se considerou o limite 2 daquela relação como característica dos terrenos lateríticos (ver terminologia).

A distribuição da alumina e do ferro, pelas várias dimensões granulométricas dos terrenos lateríticos, não é uniforme. Notou-se tendência para a alumina se concentrar na fracção argilosa e o ferro nas concreções. A fracção intermédia é heterogénea predominando nela a sílica livre.

A argila, identificada pela análise térmica diferencial, é de natureza caulínica.

Actividade e características físico-químicas – A fracção fina dos terrenos lateríticos apresenta-se muito pouco activa pois que possui pequena capacidade de permuta catiónica, baixo calor de molhagem, pequena expansibilidade e uma capacidade de retenção de água não elevada.

A capacidade de permuta catiónica e a expansibilidade aumentam com a relação molecular $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ da fracção argilosa.

Estes terrenos têm tendência ácida, tendo-se encontrado para limites de variação de pH 5 a 7,7”.

Geotecnia

No domínio da geotecnia concluiu-se o seguinte:

“*Preparação das amostras* – A colheita e esquarteramento de amostras de terrenos lateríticos deve revestir-se, para que sejam representativas, de especiais

cuidados, dada a heterogeneidade, a eventual fragilidade do concrecionamento e a tendência para a segregação destes materiais.

A técnica de preparação das amostras para os ensaios de identificação influencia grandemente, segundo parece, os respectivos resultados.

Ensaio de identificação – O hexametáfosfato de sódio revelou-se o melhor antifloculante na análise mecânica por sedimentação dos solos lateríticos.

O limite de liquidez decresce quando a temperatura de secagem aumenta, à semelhança, aliás, do que acontece com outros tipos de solos. Não se verificou a mesma variação no limite de plasticidade. Verificou-se ainda, nalgumas amostras secas segundo as normas correntes, uma sensível influência da remoldagem nestes limites.

Expansibilidade – A baixa expansibilidade parece ser uma característica específica dos solos lateríticos, mesmo quando sejam elevados os limites de liquidez e de plasticidade.

O limite superior da expansibilidade dos solos lateríticos parece ser dado pela relação aproximada:

$$\text{Expansibilidade (\%)} = 8 \times \frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}^{(a)} \quad [1]$$

Compactação e CBR – A reutilização das tomas de solo no ensaio de compactação elevou a baridade máxima obtida.

Parece que, nalguns terrenos lateríticos, um excesso de compactação conduz à diminuição do CBR.

Resistência e dureza – Encontraram-se valores da resistência à compressão de cascões lateríticos extremamente variáveis e raras vezes excedendo 100 kgf.cm⁻².

O desgaste medido na máquina de Los Angeles excede com muita frequência 50%.

Solo-cimento – Nos ensaios laboratoriais de estabilização de solos lateríticos com cimento obtiveram-se boas resistências para baixas percentagens de cimento.

A quebra de resistência resultante da imersão em água de solo-cimento parece ser menor nos solos lateríticos”.

(a) – Expressão corrigida em face do aperfeiçoamento do ensaio de expansibilidade.

Sugestões e alterações relativas a normas de ensaio

As sugestões e alterações relativas às normas de ensaio foram as seguintes:

Preparação da amostra – Na preparação das amostras para os ensaios de identificação (AASHO: T 87-49) receia-se que a temperatura de 60°C indicada para a secagem seja excessiva. Na técnica de desagregação com o pilão de borracha é difícil obter reprodutibilidade dos resultados pela dificuldade de reconhecer quando se atinge a granulometria natural. Este problema vai ser objecto de novos estudos orientados em três caminhos: regulando o processo de desagregação pelo sentimento do experimentador adquirido por uma longa rotina de trabalho com solos normais; utilizando o método da via húmida preconizado pela AASHO: T 146-49; recorrendo a um método de prévia abrasão das amostras com uma máquina do tipo Deval, por exemplo.

Ensaio de compactação – No ensaio de compactação cada ponto da curva deve ser determinado com uma nova toma de solo.

Ensaio de expansibilidade – Propõe-se em anexo uma tentativa de norma para o ensaio de expansibilidade. Entretanto decorrerão estudos para o seu aperfeiçoamento”.

O aperfeiçoamento do ensaio de expansibilidade foi, como anteriormente se disse, efectuado (Castro 1962 e 1963) e as sugestões e alterações relativas às especificações foram as seguintes (após introduzida a modificação relativa ao valor máximo admissível para a expansibilidade):

Classificação – Aceita-se a norma AASHO: M 145-49. Quando no entanto se tratar de terrenos com concreções julga-se que a classificação não terá grande significado ou não deverá mesmo ser feita enquanto o método de preparação da amostra não for esclarecido.

Especificação para bases, sub-bases e camadas de desgaste em solos estabilizados – Aceita-se a especificação ASTM: D 1241-55 T com as seguintes reservas:

1 – Em bases e sub-bases aceitar-se-ão, a título provisório, desgastes na máquina de Los Angeles até 55%.

2 – Em bases e sub-bases os limites de $W_L = 25$ e $I_P = 6$ poderão ser ampliados para $W_L \leq 40$ e $I_P \leq 15$, desde que a expansibilidade não exceda 10%.

3 – Os limites de $W_L = 35$, $I_P = 4$ a 9 para as camadas de desgaste deverão ser substituídos por $W_L = 40$, $I_P = 6$ a 15, desde que a expansibilidade não exceda 10%.

4 – Poderão aceitar-se percentagens passadas no peneiro 200 superiores até 1,4 vezes as indicadas na tabela respectiva. Neste caso convirá que as percentagens especificadas para os peneiros de maiores dimensões sejam corrigidas por forma a manter a mesma orientação das curvas no troço acima do peneiro 200. Tudo isto desde que a expansibilidade não exceda 10%”.

CONTINUAÇÃO DOS ESTUDOS

Os estudos sobre materiais lateríticos continuaram quer no sentido de se conseguir o seu melhor conhecimento através de estudos físico-químicos e geotécnicos, quer no sentido do desenvolvimento de ensaios simples de índole prática destinados a facilitar a aplicação destes materiais e a alargar, se possível, as especificações anteriormente propostas.

Pelo que toca à terminologia foram apresentadas definições que completam e (ou) esclarecem as anteriormente referidas, tendo sido introduzida a noção de terreno de laterite (Novais-Ferreira 1963).

A permanente construção e observação de estradas com materiais lateríticos permitiu igualmente a acumulação de dados informativos sobre o seu comportamento em obra.

Era usual considerar utilizáveis para estradas e aeródromos as laterites pisolíticas. Estas apresentam-se efectivamente bastante melhores que as couraças; contudo verificou-se ser possível o emprego de couraças desde que haja certos cuidados na britagem e na aplicação em obra (Meireles 1968).

No domínio dos estudos físico-químicos citar-se-ão especialmente determinações da composição química de materiais lateríticos, quer no LNEC (Castro 1963), quer no LEM, quer especialmente no LEA, onde se executou, além de outros, um estudo abrangendo cerca de 70 amostras, concluindo-se que as frequências da perda ao rubro, Fe_2O_3 e Al_2O_3 , et al. apresentam uma distribuição muito próxima de log normal, não parecendo suceder o mesmo com o TiO_2 (Correia 1967).

Sob o ponto de vista mineralógico têm sido estudadas quer no LNEC (Castro 1963), quer no LEM (Serafino 1963), quer especialmente no LEA (Teixeira 1968) numerosas amostras, concluindo-se que a fracção menor que 2μ se revela essencialmente constituída por caulinite, goetite e hematite; ocorrem com menor frequência a gibsite e o quartzo; ainda com frequência se tem encontrado outros minerais (anatase, rútilo e ilite) em proporções pouco significativas (Teixeira 1968).

Com base nas informações prestadas pela análise química, pela ATD e pela difracção de raios X e utilizando uma termobalança Stanton fizeram-se, em 1968, as primeiras determinações quantitativas de minerais componentes da fracção menor que $2\ \mu$ (Antunes 1968).

Continuaram-se ainda, como anteriormente se disse, os estudos de índole prática.

É do conhecimento de todos quantos trabalham com laterites o endurecimento que estes materiais apresentam por secagem. Verificou-se também, em laboratório, que algumas pastilhas do limite de retracção não desagregavam quando imersas em água (LNEC, LEA e LEMMS 1959). Uma hipótese interpretativa deste comportamento será a criação, por secagem, de ligações resistentes à água. Para esclarecer o fenómeno desenvolveu-se no LNEC um ensaio (ensaio de absorção [Fig. 2]) que, nas suas linhas gerais, consiste em colocar pastilhas, preparadas como para o limite de retracção, sobre placas porosas imersas em água até à face superior em contacto com as pastilhas, e determinar, após 24 h, o seu teor em água (limite de absorção - AL) (Nascimento, Castro e Rodrigues 1963, Castro 1963).



Fig. 2 – Ensaio de absorção

Quando o limite de absorção de aproxima do limite de retracção a pastilha comporta-se, para efeitos de absorção de água, como se fosse uma pedra. Para tentar quantificar este fenómeno de petrificação nos trabalhos acima citados definiu-se:

$$\text{grau de petrificação} = \frac{W_S}{AL} \quad [2]$$

$$\text{grau de absorção} = \frac{AL}{W_S} \quad [3]$$

O grau de petrificação mede a aptidão de um solo a petrificar por secagem e considera-se que a petrificação da pastilha é total quando o grau de petrificação é igual à unidade.

Alguns solos lateríticos estudados apresentaram graus de petrificação elevados. Destes estudos salientam-se as seguintes conclusões:

“1 – Presume-se que os solos com elevado grau de petrificação sejam susceptíveis duma auto-estabilização resultante de sucessivas secagens sazonais.

2 – A utilização destes novos elementos para efeitos de especificações de solos para bases, sub-bases e camadas de desgaste poderá conduzir ao alargamento dos valores limites estabelecidos anteriormente para o W_L , I_p e expansibilidade”.

Foi também estudada no LEA a dureza das concreções lateríticas e a sua influência na execução dos ensaios mecânicos do solo (Novais-Ferreira e Correia 1965).

No LEA executaram-se ainda ciclos de molhagem e secagem de amostras a várias temperaturas em solos lateríticos com a finalidade de verificar a evolução dos limites de consistência e do CBR (Novais-Ferreira e Meireles 1968). Os resultados devem considerar-se preliminares e são os seguintes:

“1 – Poderá admitir-se que, no caso das laterites estudadas, a embebição seguida de secagem em estufa promove uma melhoria das qualidades geotécnicas das laterites tanto maior quanto maior for a temperatura de secagem.

2 – A secagem em estufa influenciou fundamentalmente no limite de liquidez, índice de plasticidade, índice de contracção e variação volumétrica, no sentido de diminuir os valores observados, e no CBR, aumentando o seu valor.

3 – A secagem em estufa pode já promover um aumento de CBR mesmo não havendo embebição prévia do provete.

4 – A melhoria do CBR deu-se logo após as primeiras secagens. A conti-

nuação dos ciclos de secagem e humedecimento não parece influir grandemente nos resultados”.

Pelo que respeita à construção de estradas com material laterítico, a Junta Autónoma de Estradas de Angola utilizou as especificações atrás referidas mas com as seguintes alterações (Martins e Silva 1968).

“1 – O valor do $I_p \leq 15$ foi substituído por $I_p \leq 18$.

2 – Não se executa o ensaio de expansibilidade, mas mede-se a expansão no ensaio de CBR, que não deverá ser superior a 0,5%”.

Têm-se, contudo, utilizado na construção solos em que os valores limites especificados para o I_p e para a granulometria têm sido francamente ultrapassados.

Pelo que diz respeito ao comportamento destes materiais em obra não tem havido uma observação sistemática que permita estabelecer uma relação segura entre as características dos materiais empregados e os resultados obtidos. Parece terem-se verificado bons e maus comportamentos quer em laterites que satisfazem quer nas que não satisfazem as especificações adoptadas (Martins e Silva 1968).

O facto de não se ter realizado o ensaio de expansibilidade e não ter sido ainda esclarecida a existência de correlação entre esta característica e a expansão medida no CBR torna impossível ajuizar por enquanto da justeza dos limites estabelecidos para a expansibilidade.

CONCLUSÕES

Resumidamente pode concluir-se o seguinte:

- 1 – Os limites de consistência revelaram-se insuficientes como parâmetros definidores do comportamento dos finos dos materiais lateríticos, pelo que lhes foi associada uma nova característica – a *expansibilidade* – e desenvolvido um ensaio para a sua determinação.
- 2 – Foi desenvolvido um ensaio para estudar a aptidão de um solo a petrificar por secagem e definidos os conceitos de *limite de absorção*, *grau de absorção* e *grau de petrificação*. Presume-se que os solos com elevado grau de petrificação sejam susceptíveis duma auto-estabilização resultante de sucessivas secagens sazonais.
- 3 – Consideram-se de manter os valores propostos provisoriamente para os limites de consistência ($W_L \leq 40$ e $I_p \leq 15$) e expansibilidade

($\leq 10\%$) até que a observação em obra permita a sua confirmação ou alteração. A realização sistemática do ensaio de absorção poderá ajudar a fundamentar o alargamento desses valores.

- 4 – Considera-se com interesse o estudo da possível generalização dum critério fundamentado na expansibilidade a outros solos pouco expansivos, mesmo não lateríticos, que apresentem limites de consistência superiores aos fixados pelas especificações correntes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, A. M. C. (1968), Análise Termogravimétrica de Quatro Amostras de Terrenos Lateríticos da Jamba, L. E. A., Relatório, Luanda.
- CARVALHO, G. S. de (1967), Aspectos da Evolução dos Produtos da Meteorização Inter-tropical de Rochas, L. E. A., Memória N.º 128, Luanda.
- CARVALHO, G. S. de (1967), The Genesis of Laterites from the Geological Point of View, Fourth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cape Town, L. E. A., Memória N.º 117, Luanda.
- CASTRO, E. de (1959), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L. N. E. C., 3.º Relatório, Lisboa.
- CASTRO, E. de (1962), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas – Ensaio de Expansibilidade de Solos, L. N. E. C., 6.º Relatório, Lisboa.
- CASTRO, E. de (1963), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas – Estudo Físico-Químico de Seis Terrenos Lateríticos, L. N. E. C., 9.º Relatório, Lisboa.
- CASTRO, E. de (1964), Soil Swelling Test, Third Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, L. N. E. C., Technical Paper No. 235, Lisbon.
- CORREIA, J. A. (1967), Análise Química Sumária de Laterites, L. E. A., 1.º Relatório, Luanda.
- CORREIA, J. A. (1967), Some Results of Chemical Analysis of Laterites, Fourth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cape Town, L. E. A., Memória N.º 120, Luanda.
- CORREIA, J. A. (1968), Análise Química Sumária de Laterites, L. E. A., 2.º Relatório, Luanda.
- CORREIA, J. A. (1968), Estudo da Fracção Argilosa de Dois Solos Lateríticos do Luso, L. E. A., Relatório, Luanda.
- CORREIA, J. A., ANTUNES, A. M. C. and TEIXEIRA, J. A. P. G. (1968), Some Results of the Laterites Study in Angola, L. E. A., Relatório, Luanda.
- FURTADO, V. (1957), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L. E. M. M. S., 1.º Relatório, Lourenço Marques.

- FURTADO, V. (1959), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L.E.M.M.S., 2.º Relatório, Lourenço Marques.
- LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE ANGOLA (1959), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, 2.º Relatório, Luanda.
- LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE ANGOLA (1959), Especificação CE 9-70, Luanda.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE ANGOLA e LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS E MECÂNICA DOSSOLOS (1959), As Laterites do Ultramar Português, L.N.E.C., Memória N.º 141, Lisboa.
- LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE ANGOLA (1962), Portaria N.º 1268, Boletim Oficial de Angola, I Série, 6, pp 147-149, Luanda.
- MARTINS, A. A. e SILVA, C. A. F. (1968), Utilização de Solos Especiais nos Pavimentos de Estradas em Angola, 2.ªs Jornadas de Engenharia e Arquitectura do Ultramar.
- MEIRELES, J. M. F. (1967), Trial Pavements of Laterites Base Course, Fourth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cape Town, L. E. A., Memória N.º 123, Luanda.
- MEIRELES, J. M. F. (1968), Couraça Laterítica como Camada Resistente de um Pavimento, L. E. A., Relatório, Luanda.
- NASCIMENTO, U., GONÇALVES, F. e CASTRO, E. de (1955), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L. N. E. C., 1.º Relatório, Lisboa.
- NASCIMENTO, U. e CASTRO, E. de (1957), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L. N. E. C., 2.º Relatório, Lisboa.
- NASCIMENTO, U. (1959), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L. N. E. C., 5.º Relatório, Lisboa.
- NASCIMENTO, U., CASTRO, E. de e RODRIGUES, M. (1963), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas - A Expansibilidade e a Petrificação dos Solos Lateríticos, L.N.E.C., 8.º Relatório, Lisboa.
- NASCIMENTO, U., CASTRO, E. de and RODRIGUES, M. (1964), Swelling and Petrification of Lateritic Soils, Third Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, L.N.E.C., Technical Paper No. 215, Lisbon.
- NOVAIS-FERREIRA, H. e CORREIA, J. A. (1958), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L.E.A., 1.º Relatório, Luanda.
- NOVAIS-FERREIRA, H. e MEIRELES, J.M.F. (1959), Troços Experimentais na Zona do Catofe, L.E.A., Relatório, Luanda.
- NOVAIS-FERREIRA, H. e MEIRELES, J. M. F. (1960), Aspectos Construtivos de Revestimentos Ligeiros sobre Base de Laterites, L.E.A., Relatório, Luanda.
- NOVAIS-FERREIRA, H. (1963), O Conceito de Laterite na Engenharia Civil, Fomento, vol. 1, N.º 1, pp. 35-51.
- NOVAIS-FERREIRA, H. and CORREIA, J. A. (1965), The Hardness of Lateritic Concretions and its Influence in the Performance of Soil Mechanics Tests, Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech. Foundation Eng., Montreal, L.E.A., Memória N.º 110, Luanda.

- NOVAIS-FERREIRA, H. and MEIRELES, J. M. F. (1968), The Influence of Temperature of Humidification on the Geotechnical Properties of Lateritic Soils, L.E.A., Luanda.
- NOVAIS-FERREIRA, H., CORREIA, J. A. and MEIRELES, J. M. F. (1968), Some Methods of Laterites Study in Order to its Application to Roads and Airfields, L.E.A., Luanda.
- PRATAS, M. J. (1963), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas – Estudo da Laterização na Baixa de Jangamo, L.E.M.M.S., 3.º Relatório, Lourenço Marques.
- RODRIGUES, M. (1959), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas, L.N.E.C., 4.º Relatório, Lisboa.
- RODRIGUES, M. (1962), Estudo das Laterites das Províncias Ultramarinas – Preparação das Amostras e alguns Ensaios Correntes, L.N.E.C., 7.º Relatório, Lisboa.
- RODRIGUES, M. (1963), Lateritic Soils, Preparation of Samples and Current Tests, Third Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- SERAFINO, J. F. C. (1963), Estudo das Laterites do Ultramar Português – Estudo Mineralógico de Terrenos Lateríticos de Nampula e António Enes, L.E.M.M.S., 4.º Relatório, Lourenço Marques.
- SILVA, C. M. X. A. (1967), Some Applications of Lateritic in Airfields, Fourth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cape Town, L.E.A., Memória No. 121, Luanda.
- TEIXEIRA, J. A. P. G. (1968), Estudo de uma Couraça Ferruginosa do Sopé do Monte-Bonga (Quilengues), L.E.A., Memória N.º 135, Luanda.
- TEIXEIRA, J. A. P. G. (1968), Mineralogia da Fração Argilosa de Alguns Solos Ferralíticos de Angola, L.E.A., Memória N.º 139, Luanda.
- TEIXEIRA, J. A. P. G. (1968), Estudo da Composição e Génese dos Minerais da Fração Argilosa dos Terrenos Lateríticos da Jamba, L.E.A., Memória N.º 140, Luanda.
- TEIXEIRA, J. A. P. G. (1968), Minerais de Ferro nos Terrenos Lateríticos da Pista da Jamba, L.E.A., Memória N.º 148, Luanda.