

Construção em Terra: Algumas Considerações sobre a Selecção de Solos

Fernando Pacheco Torgal*, Said Jalali**

* Unidade de Investigação C-TAC (Grupo de Construção Sustentável)

Universidade do Minho

Campus de Azurém – Guimarães

Telf: +351 253 510 200; fax: +351 253 510 213; e-mail: torgal@civil.uminho.pt

** Departamento de Engenharia Civil

Universidade do Minho

Campus de Azurém – Guimarães

Telf: +351 253 510 200; fax: +351 253 510 213; e-mail: said@civil.uminho.pt

Resumo — O comportamento de um determinado solo é função da quantidade de argilas, siltes e areias e também da quantidade de água presente no mesmo. Os solos mais indicados para a construção em terra, são aqueles que possuem determinadas percentagens de areia e argila na sua composição. O presente artigo, apresenta uma revisão da literatura sobre as recomendações de diversos autores, no que respeita às proporções recomendadas para a constituição dos solos utilizados na construção em terra e de que forma essas proporções se relacionam com o processo de estabilização utilizado.

1. Introdução

Caracterizada por baixos consumos de energia e de emissões de carbono, também por estar associada a baixos ou quase nulos níveis de poluição e ainda por ser responsável por níveis de humidade interior benéficos em termos da saúde humana, a construção em terra possui vantagens competitivas face à construção corrente que lhe auguram um futuro promissor. No que ao nosso país diz respeito, o futuro da construção em terra passa em primeiro lugar, pelo reconhecimento institucional da importância deste tipo de construção, traduzido em regulamentação própria que traduza uma adaptação do estado-da-arte que este tipo de construção em terra já logrou atingir noutros países, ainda que levando em linha de conta a especificidade dos solos disponíveis no país. Existem várias técnicas de construção em terra, as quais se podem no entanto subdividir em três sistemas fundamentais: monolítica *in situ*; por unidades (alvenaria); por enchimento e revestimento. Em princípio, a terra de qualquer jazida pode ser usado para a confecção de blocos ou de paredes de terra executadas *in situ*. Em termos gerais, os solos consistem em fases de matéria orgânica (plantas e animais em decomposição) e em fases que resultam da desagregação das rochas, em virtude da acção dos agentes físicos, químicos e biológicos. Contudo o material utilizado como matéria-prima na construção em terra, consiste somente na fase mineral dos solos. Esta fase é constituída por partículas minerais de tamanho variável nomeadamente argilas, siltes e material arenoso as quais se

encontram misturadas entre si também em proporções variáveis. O comportamento de um determinado solo é função da quantidade de argilas, siltes e areias, existentes nesse solo e também da quantidade de água presente no mesmo, não só da água livre existente abaixo do nível freático, mas também da água capilar retida nas vizinhanças dos pontos de contacto das partículas sólidas e da água adsorvida, que envolve as partículas com dimensões inferiores a 0,002mm [1]. Uma etapa fundamental no conhecimento das propriedades do solo, torna por isso necessário que previamente se proceda à sua caracterização com recurso a ensaios específicos para o efeito.

2. Testes de Caracterização

A caracterização da fase mineral de um determinado solo é levada a cabo através de uma série de ensaios que permitem quantificar diversos tipos de propriedades, nomeadamente a sua granulometria, o seu comportamento mecânico e o seu comportamento à deformação para um determinado nível de humidade. Esses ensaios podem ser subdivididos, em ensaios expeditos a realizar a nível de campo com um nível de fiabilidade pouco elevado e em ensaios de laboratório, segundo procedimentos normalizados.

A. Ensaios de campo

Este tipo de ensaios permite para determinadas situações, algumas conclusões iniciais sobre que tipo de solo existe disponível no local de trabalho, dispensando por isso a realização de ensaios de laboratório, os quais são sempre dispendiosos. Os ensaios que se seguem são uma adaptação de ensaios utilizados pelo grupo francês CRAterre e citados por Eusébio [2]:

a) Observação da cor

A matéria orgânica imprime usualmente aos solos uma cor escura, a qual costuma aparecer nas primeiras camadas de

solo. Os solos pálidos significam a presença de areias quartzosas ou feldspáticas. Já os solos com cor vermelha, podem dever essa cor à presença de óxidos de ferro.

b) Teste do cheiro

Um solo orgânico é identificado por um forte cheiro a húmus, o qual é potenciado pelo aquecimento ou humedecimento desse solo.

c) Teste do tacto

Ao esfregar-se uma amostra de solos entre as mãos, percebe-se a presença de um solo arenoso pelo facto de ser áspero. Solos plásticos ou viscosos quando húmidos, indicam elevada quantidade de argilas.

d) Teste do brilho

Uma bola de solo ligeiramente humedecida e recentemente cortada por uma faca, apresentará superfície opaca se houver predominância de silte ou uma superfície brilhante se houver predominância de argila.

e) Teste de aderência

Na bola de terra com que foi executado o teste do brilho, ensaia-se a penetração de uma espátula. Se a penetração é difícil e a terra adere à espátula, trata-se de um solo argiloso. Caso a espátula, entre e saia com facilidade o solo é eminentemente saibroso.

f) Teste de sedimentação

Com recurso a um frasco com um litro de volume, enche-se até $\frac{1}{4}$ da sua capacidade com solo e completa-se com água. Agita-se, deixa-se repousar uma hora, e repete-se o procedimento 2 vezes. Posteriormente mede-se a espessura das camadas, de areia, de silte e de argila.

g) Teste visual por peneiração expedita

Utilizando um solo seco, completamente solto e com recurso a dois peneiros da série ASTM, nº200 (0,074mm) e nº10 (2mm), passa-se o solo no peneiro nº200 e a parte retida neste é passada depois no peneiro nº10. Por comparação do tamanho dos montículos de solo que passam em cada peneiro é possível uma classificação grosseira do solo:

O solo será argiloso se o montículo que passou (areia e silte) no peneiro nº200, for maior que o montículo do solo retido. Se no entanto o montículo de material que ficou retido, for em maior quantidade que aquele que passou está-se em presença de um solo arenoso ou pedregoso. Para a utilização do peneiro nº10, estaremos em presença de solo pedregoso quando o montículo de solo passado for inferior ao retido e será um solo arenoso no caso contrário.

h) Teste de retenção de água

Faz-se um peneiração de solo por um peneiro com uma malha de 1mm. Com o material retido faz-se uma bola do tamanho de um ovo e junta-se água para a manter unida sem que ela se cole às mãos. Pressiona-se a bola na palma da mão e em seguida golpeia-se fortemente com a outra mão. Se forem necessários 5 a 10 golpes para a água aparecer à superfície e se a bola ficar esmigalhada, trata-se de um solo composto por areia fina ou silte grosso. Se o

mesmo resultado for obtido com 20 a 30 golpes e a bola não ficar esmigalhada, trata-se de um silte ligeiramente plástico ou de uma argila siltosa. Já se não houver nenhuma reacção, trata-se de um solo com elevada quantidade de argila.

i) Teste de resistência à secagem

Com solo retido num peneiro com malha de 1mm, tomam-se três porções, que são ligeiramente espalmadas de forma a ficarem com 1cm de espessura e 5cm de diâmetro. Em seguida colocam-se essas amostras ao sol para secar. Analisando a dureza do solo, através do seu aperto entre o polegar e o indicador podemos classificar o solo como argila se não se desfizer, como argila arenosa ou siltosa se a amostra se desfizer após alguma esforço e uma areia se o solo se desfizer facilmente.

A. Ensaios de laboratório

Teor de água

Ensaio no qual se compara a massa de uma amostra de solo antes e depois de seca numa estufa à temperatura de 105 °C.

Matéria orgânica

A quantificação da quantidade de matéria orgânica presente no solo, envolve o seu aquecimento a 400 °C, de forma a calcinar a matéria orgânica e por diferença de massas se conhecer a quantidade de material calcinado.

Análise granulométrica

O ensaio consiste na identificação das percentagens mássicas da fracção arenosa do solo acima de 0,074 mm (peneiro nº200 ASTM), obtidas por peneiração através de uma série de peneiros normalizados. A peneiração é efectuada por via húmida para se obter a desagregação das partículas mais finas (LNEC E239-1970). O solo retido em cada peneiro é posteriormente seco em estufa, para apurar a percentagem em relação à massa do provete. Para a identificação dos diferentes constituintes do solo abaixo de 0,074 mm (siltes e argilas), utiliza-se não a peneiração mas o ensaio de sedimentação (LNEC E 196-1966). O solo é colocado em suspensão num líquido, para determinar a velocidade de sedimentação a qual é por sua vez função do diâmetro das partículas, através da lei de Stokes. O ensaio passa pelo enchimento de um frasco até $\frac{1}{4}$ da sua altura com solo e os restantes $\frac{3}{4}$ com água, ao fim de várias horas mede-se a espessura das várias camadas, sabendo-se que a primeira camada a depositada foi a de saibros, a que se seguem as camadas de siltes e argilas.

Limites de consistência

Também conhecidos como limites de Atterberg, os limites de consistência são constantes físicas permitem inferir para a fracção de solo inferior a 0,4mm, o seu comportamento quando em presença de água. Os limites de consistência determinados pela NP 143-1969, compreendem o limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP), o índice de plasticidade (Ip) que se obtém da diferença numérica entre os dois anteriores limites (LL-LP) e ainda o limite de

retracção (LR). Houben [3] refere o parâmetro Retracção relativa obtido de acordo com a equação 1:

$$RR=(LL-LP) (\gamma_{seca}/\gamma_w) \quad (1)$$

Outros autores [4] sugerem um ensaio designado como “ensaio da caixa”, para avaliação da retracção linear dos solos, o qual utiliza uma caixa que permite a execução simultânea de 5 barras prismáticas de solo com $60 \times 8,5 \times 3,5$ cm³, sendo que não são aceites os solos com uma retracção superior a 20mm.

Limite de liquidez – teor em água obtido no aparelho de Casagrande, o qual consiste num prato côncavo preenchido com uma pasta de solo, no qual é traçado um rasgo que se volta a unir numa distância de 1 cm após 25 ressaltos.

Limite de plasticidade – teor de água de um rolo de terra o qual se separa para um diâmetro de 3mm. Se o rolo se partir com menos de 3mm, tem água a mais e a experiência deve repetir-se com menos água. Se o rolo se partir com um diâmetro superior a 3mm, a experiência deve repetir-se com um teor de água superior.

Compactação com ensaio Proctor

Ensaio utilizado para determinar o teor de água óptimo o qual corresponde à máxima compacidade do solo (E LNEC 197-1971). Este ensaio utiliza uma fracção de solo inferior a 4,76mm (peneiro n° 4) ao qual se adicionam teores de água crescentes com diferenças de 2%, a qual é compactada em 3 camadas com 25 pancadas por camada, de um aparelho manual (2,49kg e queda de 30,5 cm) ou mecânico (Figura 1).



Fig .1. Ensaio de compactação Proctor pesado: a) molde com solo; b) equipamento de compactação.

Regista-se a massa e o volume e num gráfico marca-se a massa volúmica seca versus teor de água, onde posteriormente se retira o teor de água óptimo que

corresponde à baridade máxima. Alguns autores defendem contudo que o ensaio Proctor, possui uma baixa energia de compactação o que faz com que o teor de água óptimo seja superior ao recomendado para a compactação de taipa com equipamentos pneumáticos. Maniatidis & Walker [5] referem um ensaio para a obtenção expedita do teor de água óptimo através de um “teste de queda”. Neste procedimento prepara-se com a mão uma bola de solo com um determinado teor de água, sendo que esta bola é deixada cair de um altura de 1,5m. Se após a queda a bola não quebrar, o teor de água é excessivo, se fracturar em vários pedaços o teor de água é baixo.

Ensaio de resistência à compressão simples

A análise da resistência à compressão de provetes de terra (não confinada), é feita de forma similar ao que acontece para o ensaio de betões, tijolos ou outros materiais. O ensaio que consiste em levar à rotura um provete, por aumento da carga axial. Alguns autores recomendam a utilização de um dispositivo mecânico (Figura 2), que permite a densificação do solo num provete que é depois ensaiado numa prensa corrente [6].



Fig .2. Preparação de um provete de 45x30mm para ensaio à compressão simples [7]

O ensaio acima referido, é um ensaio mais expedito e muito mais fácil de realizar do que o ensaio de compactação Proctor.

3. Propriedades e Classificação

O grupo CRAterre classifica o solo segundo a sua massa volúmica seca após o ensaio de compactação Proctor, em 4 intervalos que vão do medíocre ao excepcional (Tabela I).

TABELA I
MASSA VOLÚMICA SECA APÓS COMPACTAÇÃO [8]

Massa volúmica seca (kg/m ³)	Classificação
1650-1760	Medíocre
1760-2100	Muito satisfatório
2100-2200	Excelente
2200-2400	Excepcional

Os mesmos autores recomendam valores para os limites de consistência que devem ser respeitados pelos solos da construção em terra (Tabela II).

TABELA II
LIMITES DE CONSISTÊNCIA PARA SOLOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO EM TERRA [8]

	Recomendados	Máximos e mínimos
Índice de plasticidade	7-18	7-29
Limite de liquidez	30-35	25-50
Limite de plasticidade	12-22	10-25
Limite de retracção	<Teor água óptimo	8-18

Aqueles autores também apresentam uma classificação para as classes de plasticidade dos solos em função do parâmetro Ip (Tabela III).

TABELA III
CLASSIFICAÇÃO DA PLASTICIDADE DE UM SOLO [8]

Plasticidade	Ip
Fraca	5-10
Média	10-20
Forte	>20

Para outros autores, os solos com mais aptidão para serem estabilizados, apresentam baixos índices de plasticidade. A partir do índice de plasticidade das argilas, define-se uma índice de actividade das argilas (Ac) ou índice de Skempton, quanto maior a actividade de uma argila, maior a sua superfície específica e maior a sua expansibilidade e deformabilidade (Tabela IV).

TABELA IV
GRAU DE ACTIVIDADE DE UMA ARGILA [9]

Tipo de argila	Ac=IP/(% argila <0,002mm)
Pouco activa	Ac<0,75
Normalmente activa	0,75<Ac<1,25
Activa	1,25<Ac<2,0
Muito activa	Ac>2,0

Houben et al [3] classificam a retracção do solo em três classes como se apresenta na Tabela V.

TABELA V
CLASSIFICAÇÃO DA RETRACÇÃO DE UM SOLO

Classificação do solo	RR (%)
Susceptível a forte retracção	>70
Retráctil	50-70
Retracção fraca	<50

Motta [12] analisou a aptidão de solos da zona do Baixo Alentejo para a construção em terra. Na Tabela VI apresenta-se a sua distribuição granulométrica e na Tabela VII os limites de consistência desses solos.

TABELA VI
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

	% de argilas <0,002mm	% de siltes >0,002 <0,06 mm	% areias >0,06 <2 mm	% de seixos >2 <60 mm	% de finos argilas + siltes	% de grossos areias+seixos
Albergaria 1	8	10	81	1	18	82
Albergaria 2	8	6	71	15	14	86
S. Susana	14	21	31	34	35	65
Pulo do Lobo	9	39	40	12	48	52
S. Luis	7	7	75	11	14	86
S. Clara	17	11	55	17	28	72
Porto Covo	2	3	3	92	5	95
Barragem Roxo	6	22	23	49	28	72
Messejana	7	23	41	29	30	70

TABELA VII
LIMITES DE CONSISTÊNCIA

	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Limite de retracção (%)
Albergaria				
1				
Albergaria 1	19	14	5	14
2				
S. Susana	27	21	5	15
Pulo do Lobo	26	19	7	14
S. Luis				
S. Clara	27	18	9	23
Porto Covo	39	31	8	18
Barragem Roxo	22	17	5	6
Messejana	24	18	6	18

Os solos são bastante heterogéneos entre si, havendo solos com mais fracção argilosa (S. Clara e S.Susana) e outros

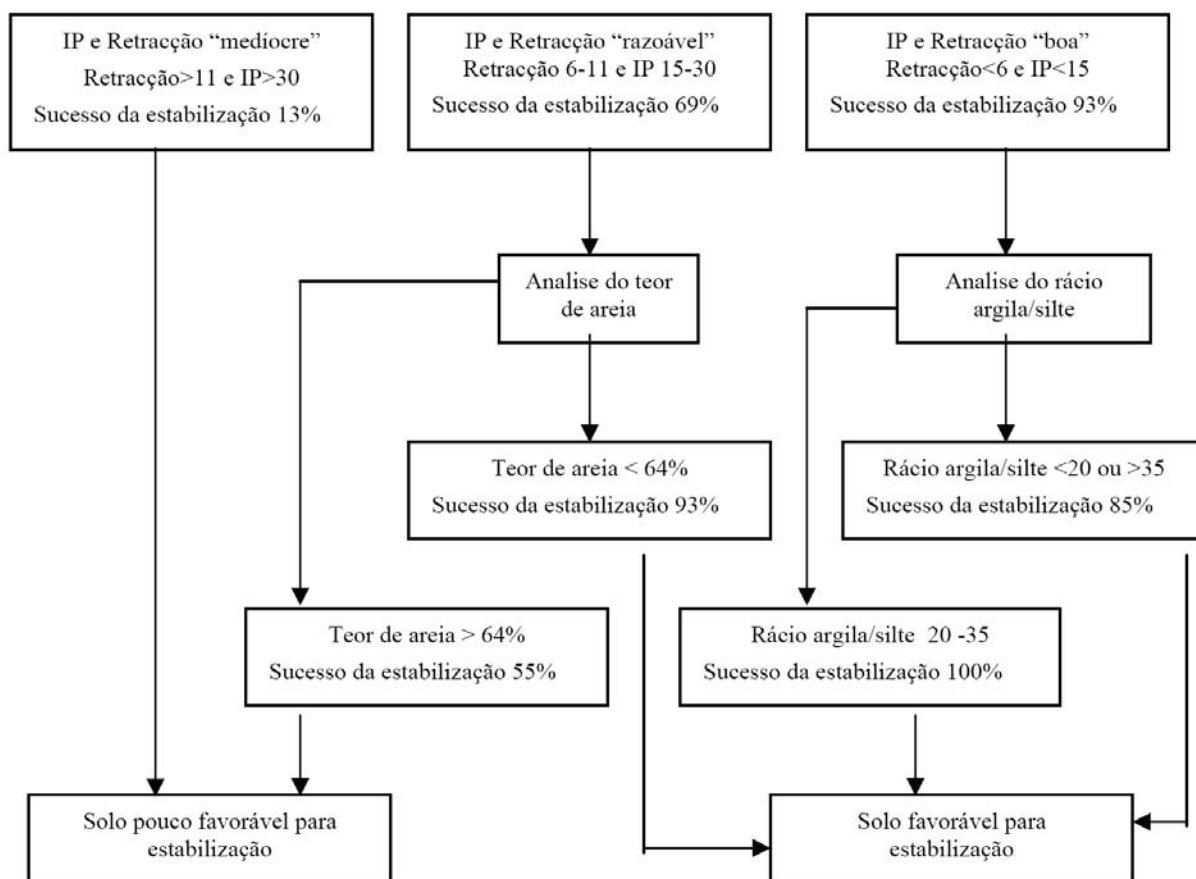


Fig. 3. Metodologia para aferir a aptidão de um solo para ser estabilizado [20]

com maior quantidade de areias (Porto Covo e S.Luis). O solo com mais fracção argilosa, é também o solo com o maior índice de plasticidade (9%), mas também aquele mais susceptível à retracção. Este autor classifica no entanto os solos analisados como pouco retrácteis, referindo que isso sucede para valores da retracção relativa abaixo de 50%, o que quer dizer que os solos aqui apresentados da zona do Baixo Alentejo não são do tipo retráctil. O solo de S. Clara que tem a maior percentagem de material argiloso, apresenta o maior índice de plasticidade. Segundo as Directivas da CRATERRE, os solos com teores de água óptimos entre 9-17% são os mais fáceis de estabilizar [13]. Já Bahar et al. [10] recomendam um intervalo mais restrito para o teor de água óptimo entre 9,5-11%. A norma NZS 4298 recomenda que na construção em taipa deve variar entre um mínimo de 3% abaixo do teor de água óptimo e um máximo de 5% acima [14]. Em princípio, a terra de qualquer jazida pode ser usado para a confecção de paredes, blocos e tijolos. Os mais indicados são os solos que possuem 50% a 70% de teor em areia na sua composição. A quantidade de água adicionada à mistura varia conforme o tipo de solo a usar, quanto mais argiloso for o solo, maior a necessidade de água. Para a construção em adobe, alguns autores recomendam os seguintes valores para a constituição do solo [8]:

55-75% de areia; 10-28% de silte; 15-18% de argila; <3% de matéria orgânica.

Barbosa [15] recomenda para os BTC, limites para a constituição do solo que não diferem muito dos anteriores:

50-70% de areia; 10-20% de silte; 1-20% de argila. Brito [16] cita o trabalho dos investigadores Maniatis & Walker, os quais analisaram as proporções recomendadas para a constituição do solo, utilizado para a construção em taipa. Os mesmos concluíram que para a estabilização com cimento os solos devem, ter mais de 50% (de preferência 75%) de areias e britas e baixas percentagens de argila, inferiores a 20%. Este autor refere que os elementos com dimensão acima de 5-10mm devem ser retirados e que deve haver um mínimo de 20-25% de argilas e siltes, suficientes para terem função colóide. Outros autores referem que independentemente da técnica construtiva utilizada os solos devem possuir um mínimo de 5% de argila [17]. Sendo que em termos gerais a revisão de literatura levada a cabo por aqueles autores refere um valor entre 10 a 20% para a execução de BTC e entre 10 a 15% para a construção em taipa. Já o teor de silte deve variar entre 10 a 25%. Jayasinghe & Kamaladasa [18] referem reduções substanciais da resistência a compressão de solos lateríticos estabilizados com cimento, quando a percentagem de finos (argilas e silte) é superior a 40%. Sugerindo que essa percentagem não deve exceder 30% [19]. Burroughs analisou 104 tipos de solo, os quais foram estabilizados com cal ou cimento num total de 219 tipos de estabilização. Este autor utilizou como critério de validação da aptidão do solo para ser estabilizado, a obtenção de uma resistência à compressão superior a 2MPa (Figura 3).

3. Conclusões

A construção em terra constitui uma opção a fomentar com vista à obtenção de uma construção mais sustentável. No presente artigo é feita uma retrospectiva de investigações de diversos autores, relativas à composição e às propriedades dos solos mais indicadas para este tipo de construção. Os resultados obtidos referem proporções e propriedades que variam consoante o processo de estabilização e o tipo de técnica construtiva utilizada.

Referências

- [1] Correia, A. G.C. (1995) *Mecânica dos Solos e Fundações I- Elementos Teóricos*, IST-UTL, Lisboa.
- [2] Eusébio, A.P.J. (2001) *Reabilitação e Melhoramento de Paredes de Terra Crua-Taipa*. Tese de Mestrado em Construção. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- [3] Houben, H.; Guillaud, H. (1989) *Traité de Construction en Terre*. Editions Parenthèses, Marseille.
- [4] Faria, O. (2002) *Utilização de Macrófitas Aquáticas na Produção de Adobe: Um Estudo no Reservatório de Salto Grande*. Tese De Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade De S.Paulo.
- [5] Maniatidis, V.; Walker, P. (2003) *A Review of Rammed Earth Construction*. University Of Bath.
- [6] Jalali, S. (1991) *A Study of Factors Affecting The Mechanical Behaviour of Lime-Fly Ash Mixtures*. A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements of the Council for National Academic Awards for the Degree Of Ph. D., Coventry Polytechnic.
- [7] Cristelo, N.M.C. (2001) *Estabilização de Solos Residuais Graníticos Através da Adição de Cal*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Estruturas, Geotecnia E Fundações. Universidade Do Minho.
- [8] Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F. (1979) *Construire en Terre*. France Craterre- École D'Architecture de Grenoble.
- [9] Michel, J. (1976) *Etude sur la Stabilisation et la Compression des Terres*. Pour leur utilisation dans la Construction. Annales de L'Institut Technique De Batiment et des Travaux Publics. Série Matériaux, pp.22-35.
- [10] Bahar, R.; Benazzoug, M.; Kenai, S. (2004) *Performance of Compacted Cement-Stabilised Soil*. *Cement & Concrete Composites* 26, Pp.811-820.
- [11] Guetala, A.; Abibsi, A.; Houari, H. (2006) *Durability Study of Stabilized Hearth Concrete under both Laboratory and Climatic Conditions Exposure*. *Construction And Building Materials* 20, pp.119-127.
- [12] Motta, M (1997) *Construções Rurais em Alvenaria de Terra Crua no Baixo Alentejo*. Tese De Mestrado, UTL-IST.
- [13] Lourenço, P.I. (2002) *Construções em Terra*. Tese de Mestrado em Construção. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- [14] Hall, M.; Djerbib, Y. (2004) *Moisture ingress in rammed earth: Part 1 – the effect of soil particle-size distribution on the rate of capillary suction*. *Construction and Building Materials* 18, pp.269-280.
- [15] Barbosa, N.; Mattone, R.; Mesbah, A. (2002) *Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante para a Sustentabilidade da Construção*. 44º Congresso Brasileiro Do Concreto. Belo Horizonte – Minas Gerais.
- [16] Brito, J. (2006) *Características do Solo para a Execução de Taipa*. Parte I. *Revista Construção Magazine* pp.42-45.
- [17] Delgado, M.C.; Guerrero, I.C. (2006) *Earth Building in Spain*. *Construction And Building Materials* 20, pp.679-690.
- [18] Jayasinghe, C.; Kamaladasa, N. (2007) *Compressive Strength of Cement Stabilized Rammed Earth Walls*. *Construction and Building Materials* 21, pp.1971-1976.
- [19] Perera, A.; Jayasinghe, C. (2003) *Strength Characteristics and Structural Design Methods for Compressed Earth Block Walls*. *Masonry International* 16, pp.34-38.
- [20] Burroughs, S. (2008) *Soil Property Criteria for Rammed Earth Stabilization*. *Journal of Materials In Civil Engineering*, pp.265-273.