



**ANDRÉA APARECIDA RIBEIRO CORRÊA**

**INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS  
LIGNOCELULÓSICAS E “BABA DE CUPIM  
SINTÉTICA” NO ADOBE**

**LAVRAS – MG**

**2013**

**ANDRÉA APARECIDA RIBEIRO CORRÊA**

**INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS LIGNOCELULÓSICAS  
E “BABA DE CUPIM SINTÉTICA” NO ADOBE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Lourival Marin Mendes

**LAVRAS - MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Corrêa, Andréa Aparecida Ribeiro.

Incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe / Andrea Aparecida Ribeiro Corrêa. – Lavras: UFLA, 2013.

201 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Estabilização química. 2. Estabilização por reforço. 3. Bambu. 4. Bagaço de cana. 5. Construção não convencional. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 676.14

**ANDRÉA APARECIDA RIBEIRO CORRÊA**

**INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS LIGNOCELULÓSICAS  
E “BABA DE CUPIM SINTÉTICA” NO ADOBE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA, em 30 de julho de 2013

Dr. Normando Perazzo Barbosa	UFPB
Dr. Francisco Carlos Gomes	UFLA
Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli	UFLA
Dra. Luciana Barbosa de Abreu	UFLA

Dr. Lourival Marin Mendes  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2013**

À  
Natureza, sábia e justa que nos aproxima de DEUS  
minha família, por ser sempre presente e pelo apoio constante.

**DEDICO**

“A história criou fraturas entre a teoria e a prática, a tecnologia e a expressão, o artesão e o artista, o fabricante e o utilizador; a sociedade moderna sofre desta herança histórica. Mas a vida passada dos ofícios e dos artesãos sugere modos de utilizar as ferramentas, de organizar os movimentos do corpo e de encarar os materiais que permanecem propostas alternativas e viáveis acerca do modo de conduzir a vida com competência.” Richard Sennett

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Lourival Mendes que me orientou com serenidade e acreditou no projeto de pesquisa. O resultado foi muito aprendizado, novas experiências e amizades inesquecíveis na UEPAM.

Aos professores Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli e Dr. José Tarcísio Lima, sempre solícitos para auxiliar com sugestões teóricas e práticas.

Ao Prof. Normando Perazzo Barbosa pela disponibilidade, amizade e contribuição científica, exemplo e estímulo fundamentais para dedicação à pesquisa.

Aos professores, colegas e funcionários do Programa de Ciência e Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da UFLA, pelos ensinamentos e eficiência para solucionar as diversas demandas da pesquisa.

À CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado.

À Usina Sucroalcooleira Monte Alegre S. A. pela doação do bagaço de cana, e ao engenheiro civil Hélio Rubens da FISTEC - Fiscalização Técnica e Engenharia Ltda., pela doação da “baba de cupim sintética” e consultoria.

À UFLA, principalmente aos professores e laboratoristas dos Departamentos de Ciência dos Solos, Engenharia e Fitopatologia por disponibilizarem o espaço, equipamentos e orientação técnica, fundamentais para a realização dos ensaios.

Ao Ikson, pela contribuição na produção dos adobes, ao Wilson pela disponibilidade e colaboração no preparo dos materiais para os ensaios, e ao Thiago, pelo auxílio nas análises estatísticas. Todos essenciais para o desenvolvimento do experimento nas várias etapas.

Aos “artesãos” da UFLA, aos colegas e amigos pelo convívio fraterno, e a todos que de alguma forma colaboraram para a realização da pesquisa.

## RESUMO

A alvenaria com adobe, muito utilizada na antiguidade e no Brasil Colônia, é revitalizada na atualidade devido ao contexto socioambiental e a sustentabilidade. Fatores como conforto térmico, consumo mínimo de energia e economia contribuem para sua crescente utilização. Entretanto, desafios como absorção de água e baixa resistência mecânica são parâmetros que merecem estudos, para a segurança da habitação e prevenção de patologias futuras. Portanto, a hipótese investigada na pesquisa foi a incorporação de materiais não convencionais no adobe e os efeitos nas suas propriedades físicas e mecânicas. Optou-se pelo reforço com partículas lignocelulósicas de bambu (*Bambusavulgarisvittata*), bagaço de cana (*Saccharum officinarum*), e estabilização química com a “*baba de cupim sintética*”. Entre os principais argumentos estão: a subutilização do bambu no setor construtivo; a valorização do bagaço de cana existente em grande quantidade no Brasil; e as propriedades de coesão e impermeabilidade da “*baba de cupim sintética*”. O solo da região de Lavras – MG foi classificado como Latossolo Vermelho cambissólico argiloso com presença de caulinita, com correção granulométrica de areia para 50%. Os materiais lignocelulósicos foram transformados em partículas tipo “sliver”, e lavados com água a 45<sup>0</sup>C aproveitando o processo de sua destilação. Após secagem ao ar foram determinados os tamanhos das partículas, a razão de aspecto, a densidade básica e a composição química. O plano experimental foi dividido em três etapas. Na ETAPA I foi avaliada a incorporação da “*baba de cupim sintética*” no adobe. Na ETAPA II foram incorporadas as partículas de bambu e bagaço de cana com 2, 4, e 6% em massa seca. E na ETAPA III as soluções 1:1500 e 1:500 foram incorporadas em cada porcentagem de bambu e bagaço de cana, separadamente. Todos os tratamentos foram comparados com o adobe sem estabilizante (controle). Os adobes foram produzidos na dimensão (30x15x8 cm) em moldes de madeira. A umidade ideal adotada foi determinada por testes de campo e comparada ao limite de plasticidade (LP). Os adobes foram submetidos a ensaios físicos de contração linear, capilaridade, e absorção de água, com cálculo de perda de massa e densidade aparente. As propriedades mecânicas avaliadas foram resistentes à compressão e flexão. Os resultados comprovaram que a interação solo-partículas-“*baba de cupim sintética*” reduziu a absorção de água, a contração, a capilaridade, e a perda de massa dos adobes. A densidade média diminuiu em 12% e a resistência à compressão dos adobes aumentou em até 90%.

Palavras-chave: Adobe. Partículas lignocelulósicas. “*Baba de cupim sintética*”. Propriedades físicas e mecânicas. Construções não convencionais.



## ABSTRACT

The adobe masonry, widely used in ancient and colonial Brazil is revitalized today due to socio-environmental context and sustainability. Factors such as thermal comfort, minimal power consumption, and saving contribute increasing use. However, challenges such as water absorption and low mechanical resistance are parameters which deserve studies for housing security and prevent future pathologies. Therefore, the hypothesis investigated in this research was the incorporation of unconventional materials in adobe and the effects of its physical and mechanical properties. It was chosen the strengthening with lignocellulosic particles of bamboo (*Bambusa vulgaris vittata*) and sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum*), and chemical stabilization with "synthetic termite saliva". Among the main arguments: underutilization of bamboo in the construction sector; valuation of sugarcane bagasse exists in large quantities in Brazil; and the cohesive and impermeability properties of "synthetic termite saliva". The soil from Lavras - MG was classified as Red Latosol Cambisol clayey with presence of kaolinite, with sand granulometric correction to 50%. The lignocellulosic material was processed to particles "sliver" and washed with water at 45<sup>0</sup>C tapped from its distillation process. After air drying was determined the particle size, aspect ratio, basic density, and chemical composition. The experimental plan was divided into three stages. In STAGE I was evaluated the incorporation of "baba synthetic termite" in adobe. In STAGE II were incorporated the particles of bamboo and sugar bagasse with 2, 4, and 6 % in dry mass. And in STAGE III solutions 1:1500 and 1:500 were incorporated in each percentage of bamboo and sugar bagasse, separately. All treatments were compared with adobe without stabilizer (control). The adobes were produced in the size (30x15x8cm) in wooden molds. The ideal humidity adopted was determined by field tests and compared to the plastic limit (PL). The adobes were subjected to physical tests of linear contraction, capillary, water absorption, with calculating the loss of mass and density. The mechanical properties evaluated were strength to compression and bending. The results showed that the interaction soil-particle-"baba synthetic termite" reduced water absorption, contraction, capillarity, and loss of adobes mass. The average density decreased in 12% and the compression strength of adobes increased in up to 90%.

Keywords: Adobe. Lignocellulosics particles. "Synthetic termite saliva"  
Physical and mechanical properties. Unconventional constructions.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 1

Figura 1	Imagens da cidade de Arg-éBam no Irã e da Mesquita de Djenné em Mali na África.....	22
Figura 2	Construções atuais em Tiradentes MG e parede com patologias.....	23
Figura 3	Adobes de diversas dimensões (a, c) e respectivas fôrmas de madeira (b, d).....	30
Figura 4	Equipamentos desenvolvidos para produção de adobe em Portugal (a) e no Novo México (b).....	33
Figura 5	Escolha de estabilizantes conforme o IP e fração de finos.....	39
Figura 6	Produtos e construções com bambu.....	59
Figura 7	Mapa de localização das espécies de bambu entre os trópicos assinalado em negrito.....	60
Figura 8	Mapa de localização das sedes mundiais da INBAR na China (Leste e Sudeste da Ásia), Equador (América Latina e Caribe), Ghana (Oeste da África), Etiópia (Leste da África) e Índia (Sul da Ásia).....	62

### CAPITULO 2

Figura 1	Testes de identificação visual e tátil. A-Cor. B- Sujar as mãos. C-Desagregação do solo submerso. D-Brilho.....	92
Figura 2	Separação e secagem da fração argila para a difratometria de raios-X.....	95
Figura 3	Agitação, sedimentação, argila seca em estufa e areia retida na peneira.....	96
Figura 4	Etapas do ensaio Proctor Normal para determinar a umidade correspondente à massa específica aparente seca máxima: umedecimento do solo (a); colocação no cilindro (b); compactação em três camadas (c); pesagem (d); retirada de amostra (e); determinação da umidade (f).....	98
Figura 5	Curva de compactação para o solo “ <i>in natura</i> ”.....	101
Figura 6	Difratograma obtido da amostra de solo Latossolo Vermelho cambissólico (LVc) <i>in natura</i> com Fld (feldspato), (Qtz) quartzo, Gtt (goethita), (Gbs) Gibsita e (Cln) caulinita.....	103
Figura 7	Curva de compactação para o solo corrigido com areia.....	104

Figura 8	Comparação do teste de contração: solo natural (a); solo corrigido (b).....	105
Figura 9	I Etapa do processamento das partículas de bambu: corte (a); “esmagamento” para facilitar o processo de transformação em partículas “sliver” (b, c); bambu triturado (d).....	108
Figura 10	Processamento do bagaço de cana: material natural (a); passagem no moinho (b); lavagem (c, d); amostras de água após lavagens; secagem (e).....	109
Figura 11	Imagens das partículas de bambu (a) e de bagaço de cana (b) feitas no microscópio estereoscópico com aumento de 7.5X.....	110
Figura 12	Imagens das partículas de bambu e de bagaço de cana (a, b), partículas saturadas (c) e colocadas nas provetas com água destilada (d, e).....	111
Figura 13	Imagens das partículas de bagaço de cana e bambu em tamanho real.....	113
<b>CAPITULO 3</b>		
Figura 1	ETAPA I - Fluxograma do plano experimental.....	121
Figura 2	(a) Reagente sulfato de alumínio em peso. (b) Solução de DS-328 <sup>®</sup> e do reagente.....	124
Figura 3	Vistas da “maromba manual” e produção dos adobes.	125
Figura 4	Teste de capilaridade e perda de massa.....	127
Figura 5	Preparo dos corpos de prova para o ensaio de compressão.....	128
Figura 6	Início e finalização do ensaio de flexão na ETAPA I..	128
Figura 7	Resultados da estabilização com DS-328 <sup>®</sup> na densidade do adobe.....	130
Figura 8	Contração longitudinal em cinco repetições para TSN(a), T1S(b), T2A(c), T2B(d), T2C(e),e T2D(f)....	132
Figura 9	Perda de massa (a,b) e absorção de água nos tratamentos T1S, T2A, T2B, T2C,e T2D em sequencia.....	133
Figura 10	Variação da absorção de água (AA) com o acréscimo de “baba de cupim sintética”.....	134
Figura 11	Redução da altura de capilaridade com o aumento da “baba de cupim sintética”.....	136
Figura 12	Resistência à compressão com a estabilização química.....	137
Figura 13	Comparação entre o módulo de elasticidade (MOE) para resistência à compressão e flexão.....	139

CAPITULO 4		
Figura 1	ETAPA II - Fluxograma do Plano experimental.....	146
Figura 2	Teste da bola e “Prueba de Vicat” com umidade determinada na estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .....	147
Figura 3	Homogeneização e retirada da mistura pronta da “maromba”.....	149
Figura 4	Mistura das partículas no solo, formas imersas na areia e adobes produzidos.....	150
Figura 5	Amostras no microscópio estereoscópio (a,b) e “stubs” preparados para o banho de ouro (c).....	154
Figura 6	Efeito da adição de partículas lignocelulósicas na densidade do adobe para 2%, 4% e 6%.....	157
Figura 7	Contração longitudinal com acréscimo de partículas de bagaço de cana.....	158
Figura 8	Tratamentos T4B com 2% e 4% desmanchando-se (a,b), e tratamento T4B com 6% de partículas (c).....	159
Figura 9	Efeito do teor das partículas lignocelulósicas na altura de capilaridade do adobe.....	161
Figura 10	Variação da $\sigma_{\text{max}}$ com o teor de partículas lignocelulósicas.....	163
Figura 11	Resistência à flexão com o aumento de partículas.....	164
Figura 12	Variação de MOE com o acréscimo de partículas lignocelulósicas.....	165
Figura 13	As imagens de microscopia estereoscópica para T3C e T4B a 6% demonstrou a interação solo-partículas..	165
Figura 14	Imagens em MEV das partículas de bagaço de cana (a) e bambu (b) e abaixo fragmentos do adobe T3C 4% com aumento de 1000X e T4B6% com aumento de 50X identificam a aderência do solo.....	166
CAPITULO 5		
Figura 1	ETAPA III - Fluxograma do plano experimental.....	172
Figura 2	Mistura dos materiais (a); aspecto da “baba de cupim sintética” sobre o solo (b); mistura na maromba; e secagem dos adobes.....	175
Figura 3	Efeito da estabilização química e por reforço na densidade aparente do adobe.....	180
Figura 4	Contração longitudinal na ETAPA III.....	182
Figura 5	Imagens das amostras de adobes com “baba de cupim sintética” e bagaço de cana T5C e T6C (a, b) e bambu T7B e T8B (c, d) com 2% de partículas.....	184
Figura 6	Resultados para capilaridade na ETAPA III.....	186

Figura 7	Amostras do ensaio de compressão (a,b) e do ensaio de flexão (c,d).....	187
Figura 8	Resultados de MOE na ETAPA III.....	189
Figura 9	Resultados de resistência à compressão na ETAPA III.....	190
Figura 10	Resultados de resistência à flexão para a ETAPA III..	192
Figura 11	Imagemem MEV dos tratamentos T6C4% com aumento de 300 vezes (a) e T7B 2% com aumento de 100 vezes ilustram a aderência do solo nas partículas. Em sequencia amostras do tratamento T7B 2% (b) e T82% (c) com aumento de 7,5 vezes que demonstram também a coesão entre os materiais.....	193
CAPITULO 6		
Figura 1	Comparação dos resultados médios de quantidade de água ideal para o tratamento controle (T1S), a maior concentração de “baba de cupim sintética” (T2D), e os tratamentos de partículas de bagaço de cana e bambu em 6% sem estabilizante (T3C e T4B) e com estabilizante (T5C, T6C e T7B, T8B).....	197
Figura 2	Resultados médios para densidade aparente do adobe.	198
Figura 3	Resultados de resistência à compressão para as ETAPAS I, II,e III.....	200

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO 1

Tabela 1	Massa média dos adobes em tamanhos variados.....	31
Tabela 2	Composição granulométrica do adobe.....	35
Tabela 3	Umidade ideal para diferentes compacidades e granulometria.....	37
Tabela 4	Resistência à compressão com acréscimo de “palha”.	42
Tabela 5	Resultados de resistência de paredes de adobe (2,60x0,14m).....	43
Tabela 6	Medidas de muros conforme o índice de esbeltez para zonas sísmicas pela NTE E. 080.....	44
Tabela 7	Comparação de custo entre elementos de alvenaria na região de Lavras em julho de 2013.....	52
Tabela 8	Safras e rejeitos de culturas no Brasil.....	55
Tabela 9	Comparação entre composição química média do bambu e conífera.....	64

### CAPITULO 2

Tabela 1	Testes de campo para caracterização do solo.....	89
Tabela 2	Ensaio de laboratório para caracterização do solo.....	94
Tabela 3	Identificação visual e tátil do solo.....	99
Tabela 4	Resultados do teste de lavagem do solo e do método da pipeta.....	99
Tabela 5	Argilo-minerais e intervalos respectivos dos limites de Atterberg comparados aos resultados do solo “ <i>in natura</i> ”.....	100
Tabela 6	Classificação Jenkins de plasticidade do solo.....	100
Tabela 7	Resultados médios de contração linear no solo “ <i>in natura</i> ”.....	102
Tabela 8	Resultados médios de contração linear do solo corrigido.....	104
Tabela 9	Comparação de contração linear média dos solos “ <i>in natura</i> ” e corrigido com areia.....	105
Tabela 10	Granulometria e limites de consistência do solo “ <i>in natura</i> ” e do solo corrigido com areia.....	106
Tabela 11	Ensaio para composição química.....	112
Tabela 12	Variação do tamanho de partículas em porcentagem...	112
Tabela 13	Resultados da densidade básica das partículas lignocelulósicas em seis repetições.....	113
Tabela 14	Caracterização química das partículas lignocelulósicas.....	114

### CAPITULO 3

Tabela 1	Quantidade total de estabilizante, solo e adobes por tratamento.....	123
Tabela 2	Comparação entre as umidades ideais para cada tratamento e o LP do solo corrigido com areia.....	129
Tabela 3	Dimensões médias para o cálculo da densidade dos adobes na ETAPA I.....	131
Tabela 4	Contração longitudinal média nos diferentes tratamentos da ETAPA I.....	131
Tabela 5	Resultados de perda de massa para a ETAPA I.....	133
Tabela 6	Resultados de absorção de água para a ETAPA I.....	134
Tabela 7	Resultados de perda de massa para capilaridade na ETAPA I.....	135
Tabela 8	Resultados para a altura de capilaridade na I ETAPA.	135
Tabela 9	Resultados do ensaio de compressão da ETAPA I.....	137
Tabela 10	Resultados de resistência à flexão na ETAPA I.....	138

### CAPITULO 4

Tabela 1	Relação entre massa e volume de partículas de bagaço de cana e bambu.....	148
Tabela 2	Tratamentos e quantidades de partículas e adobes.....	148
Tabela 3	Comparação entre as umidades ideais para cada tratamento e o LP do solo corrigido com areia.....	155
Tabela 4	Resultados médios para densidade dos adobes.....	156
Tabela 5	Resultados para contração linear na ETAPA II.....	158
Tabela 6	Resultados de perda de massa para a ETAPA II.....	159
Tabela 7	Resultados de absorção de água na ETAPA II.....	160
Tabela 8	Resultados de perda de massa para capilaridade na ETAPA II.....	160
Tabela 9	Resultados de altura de capilaridade na ETAPA II.....	161
Tabela 10	Resultados de resistência à compressão na ETAPA II.	163
Tabela 11	Resultados de resistência à flexão na ETAPA II.....	164

### CAPITULO 5

Tabela 1	Tratamentos com quantidades de partículas e adobes.	173
Tabela 2	Quantidade total de estabilizante, solo e adobes por tratamento.....	174
Tabela 3	Comparação entre as umidades ideais para cada tratamento e o LP do solo corrigido com areia.....	177
Tabela 4	Resultados médios de densidade para a ETAPA III..	178
Tabela 5	Resumo da análise de variância para densidade aparente do adobe.....	179
Tabela 6	Resultados da interação partícula aditivo para contração linear.....	181

Tabela 7	Resumo das análises de variância para a contração linear longitudinal e na altura.....	181
Tabela 8	Resultados para perda de massa em absorção de água.	182
Tabela 9	Resultados para perda de massa em capilaridade.....	183
Tabela 10	Resultados para perda de massa em capilaridade.....	185
Tabela 11	Resultados de altura de capilaridade na ETAPA III.....	185
Tabela 12	Resumo das análises de variância para o ensaio de compressão.....	188
Tabela 13	Resultados de MOE para resistência à flexão na ETAPA III.....	191
Tabela 14	Resumo das análises de variância para o ensaio de flexão.....	191
Tabela 15	Resultados de resistência à flexão na ETAPA III.....	192
CAPITULO 6		
Tabela 1	Resultados médios de perdas de massa nas ETAPAS I, II, e III.....	199



## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>21</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>O Adobe.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Dimensões e fôrmas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Produção e secagem.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Mineralogia.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Composição granulométrica ideal.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Umidade ideal.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Estabilização.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.7</b>	<b>Propriedades físicas.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.8</b>	<b>Propriedades mecânicas.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.9</b>	<b>Alvenaria de adobe.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.10</b>	<b>Revestimento.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.11</b>	<b>Patologias e proteção.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.12</b>	<b>Normatização.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1.13</b>	<b>Custo benefício.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2</b>	<b>Fibras e partículas lignocelulósicas.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.1</b>	<b>A cana de açúcar (<i>Saccharum spp.</i>).....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.1.1</b>	Características anatômicas e químicas.....	56
<b>3.2.1.2</b>	Propriedades físicas e mecânicas.....	57
<b>3.2.2</b>	<b>O bambu (<i>Bambusa spp.</i>).....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.2.1</b>	Características anatômicas e químicas.....	63
<b>3.2.2.2</b>	Propriedades físicas e mecânicas.....	64
<b>3.3</b>	<b>A “Baba de cupim sintética”.....</b>	<b>66</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Conceito e história.....</b>	<b>66</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Características físicas e químicas.....</b>	<b>67</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Aplicabilidade.....</b>	<b>72</b>
<b>4</b>	<b>Tijolos não convencionais.....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>
	<b>CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO DOS</b>	
	<b>MATERIAIS.....</b>	<b>87</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>88</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>88</b>
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....</b>	<b>88</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>89</b>

3.1.1	<b>Testes de campo</b> .....	89
3.1.1.1	Identificação visual e tátil.....	90
3.1.1.2	Lavagem de solo.....	92
3.1.1.3	Contração linear.....	93
3.1.2	<b>Ensaio de laboratório</b> .....	94
3.1.2.1	Mineralogia da argila por DRX.....	94
3.1.2.2	Granulometria.....	96
3.1.2.3	Limites de consistência.....	97
3.1.2.4	Compacidade.....	97
3.2	<b>Resultados</b> .....	98
3.2.1	<b>Textura</b> .....	98
3.2.2	<b>Plasticidade</b> .....	100
3.2.3	<b>Compacidade</b> .....	101
3.2.4	<b>Contração linear</b> .....	102
3.2.5	<b>Mineralogia – DRX</b> .....	102
3.3	<b>Correção granulométrica do solo</b> .....	103
3.4	<b>Caracterização do solo corrigido</b> .....	104
3.5	<b>Comparação entre os solos natural e corrigido</b> .....	105
3.6	<b>Conclusão</b> .....	106
4	<b>CARACTERIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS</b> .....	107
4.1	<b>Metodologia</b> .....	107
4.1.1	<b>Densidade</b> .....	109
4.1.2	<b>Composição química</b> .....	110
4.1.3	<b>Caracterização microestrutural</b> .....	111
4.2	<b>Resultados</b> .....	112
4.2.1	<b>Densidade</b> .....	112
4.2.2	<b>Composição química</b> .....	113
4.2.3	<b>Caracterização microestrutural</b> .....	113
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	115
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	116
	<b>CAPÍTULO 3 ETAPA I - INCORPORAÇÃO DE</b> <b>“BABA DE CUPIM SINTÉTICA” NO</b> <b>ADOBE</b> .....	119
1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	120
2	<b>OBJETIVO</b> .....	120
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	120
3.1	<b>Plano experimental</b> .....	121
3.2	<b>Determinação da umidade ideal</b> .....	122
3.3	<b>Soluções de “baba de cupim sintética”</b> .....	123
3.4.	<b>Produção e secagem</b> .....	124
3.5	<b>Propriedades Físicas</b> .....	125
3.5.1	<b>Contração linear</b> .....	125

3.5.2	Absorção de água (AA) e perda de massa.....	126
3.5.3	Capilaridade e perda de massa.....	126
3.6	Propriedades Mecânicas.....	127
3.6.1	Ensaio de compressão.....	127
3.6.2	Ensaio de flexão.....	128
3.7	Delineamento experimental.....	128
4	RESULTADOS.....	129
4.1	Umidade ideal.....	129
4.2	Propriedades físicas.....	129
4.2.1	Densidade dos adobes.....	130
4.2.2	Contração longitudinal.....	131
4.2.3	Absorção de água (AA) e perda de massa.....	132
4.2.4	Capilaridade e perda de massa.....	135
4.3	Propriedades mecânicas.....	136
4.3.1	Compressão.....	136
4.3.2	Flexão.....	138
5	CONCLUSÃO.....	140
	REFERÊNCIAS.....	141
<b>CAPÍTULO 4 ETAPA II - INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS LIGNOCELULÓSICAS NO ADOBE.....</b>		
		143
1	INTRODUÇÃO.....	144
2	OBJETIVO.....	144
3	METODOLOGIA.....	144
3.1	Plano experimental.....	145
3.2	Determinação da umidade ideal.....	146
3.3	Incorporação das partículas lignocelulósicas.....	147
3.4	A “maromba”.....	149
3.5	Produção e secagem.....	149
3.6	Propriedades Físicas.....	150
3.6.1	Contração linear.....	150
3.6.2	Absorção de água (AA) e perda de massa.....	151
3.6.3	Capilaridade e perda de massa.....	151
3.7	Propriedades Mecânicas.....	152
3.7.1	Ensaio de compressão.....	152
3.7.2	Ensaio de flexão.....	152
3.8	Delineamento experimental.....	153
3.9	Visualização microestrutural dos adobes.....	153
4	RESULTADOS.....	155
4.1	Umidade ideal.....	155
4.2	Propriedades físicas.....	156
4.2.1	Densidade dos adobes.....	156

4.2.2	Contração linear.....	157
4.2.3	Absorção de água (AA) e perda de massa.....	158
4.2.4	Capilaridade e perda de massa.....	160
4.3	Propriedades mecânicas.....	161
4.3.1	Compressão.....	162
4.3.2	Flexão.....	163
4.4	Visualização microestrutural dos adobes.....	165
5	CONCLUSÃO.....	167
	REFERÊNCIAS.....	168
	<b>CAPÍTULO 5 ETAPA III - INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS LIGNOCELULÓSICAS E “BABA DE CUPIM SINTÉTICA” NO ADOBE.....</b>	170
1	INTRODUÇÃO.....	171
2	OBJETIVO.....	171
3	METODOLOGIA.....	171
3.1	Plano experimental.....	172
3.2	Determinação da umidade ideal.....	173
3.3	Incorporação das partículas lignocelulósicas.....	173
3.4	Incorporação da “baba de cupim sintética”.....	174
3.5	Produção e secagem.....	174
3.6	Propriedades físicas.....	175
3.7	Propriedades mecânicas.....	176
3.8	Delineamento experimental.....	176
3.9	Visualização microestrutural dos adobes.....	176
4	RESULTADOS.....	177
4.1	Umidade ideal.....	177
4.2	Propriedades físicas.....	178
4.2.1	Densidade dos adobes.....	178
4.2.2	Contração linear.....	180
4.2.3	Absorção de água (AA) .....	182
4.2.4	Capilaridade e perda de massa.....	184
4.3	Propriedades mecânicas.....	186
4.3.1	Compressão.....	187
4.3.2	Flexão.....	190
5	CONCLUSÃO.....	194
	REFERÊNCIAS.....	195
	<b>CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	196
1	SINOPSE.....	197
2	CONCLUSÃO GERAL.....	201

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO

A construção com alvenaria de adobe foi utilizada desde o período Neolítico (Idade da Argila - de 14.600 a 4500 a.C.), no início da civilização pelos egípcios e romanos, expandindo-se pelo Oriente Médio, Ásia, África e Américas. Na Europa, diversos países adotam a terra em técnicas diversas, preferencialmente no meio rural. Na região da Calábria ao sul da Itália, nos centros históricos de Sambiase e Nicastro existem construções de terra de até cinco pavimentos. As edificações com argamassa de terra e cal têm adobe em sua alvenaria (FRATINI et al., 2011). Estima-se que 30% da habitação mundial são de terra, destacando-se os países do terceiro mundo que atingem 50% principalmente em áreas rurais (HOUBEN; GUILLAUD, 1989).

Mesmo com as guerras e terremotos, ainda existem diversas edificações consideradas patrimônio histórico mundial. Entre elas temos a cidade de Arg-éBam localizada no sul do Irã, que abrigou a rota da seda durante 2000 anos, e a Mesquita de Djenné República do Mali na África (Figura 1).



Figura 1 Imagens da cidade de Arg-éBam no Irã e da Mesquita de Djenné em Mali na África

No Brasil, construções remanescentes da colonização portuguesa podem ser apreciadas em vários Estados. Em regiões de clima seco como no norte de Minas Gerais, interior da Bahia, Goiás, e Nordeste, principalmente no meio rural, o adobe e outras tecnologias com terra crua ocorrem com frequência. A cidade de Tiradentes em Minas Gerais exhibe inúmeras edificações coloniais em perfeito estado de conservação (Figura2). Entretanto, problemas como fragilidade e insalubridade nas habitações podem ocorrer.

A produção e execução inadequadas originam patologias como: desgaste e fissuras nos adobes, descolamento de argamassa e umidade nas paredes, o que deprecia essa técnica (Figura 2). Portanto, o adobe requer estudos que contribuam para melhorar sua qualidade, desde a caracterização do solo, sua composição, produção até a execução da obra.



Figura 2 Construções atuais em Tiradentes MG e parede com patologias

A escolha por construções com terra tem diversos argumentos: sua disponibilidade; não polui; não é tóxica; a densidade é variável e programável ( $0,300-2,300 \text{ g/cm}^3$ ); menor gasto com transporte; permite a arquitetura bioclimática; tem melhor desempenho térmico, porque mantém a temperatura e a umidade relativa do ar estáveis ao longo do ano; isolamento acústico; estrutura e formas podem ser moldáveis e flexíveis; mínimo percentual de detritos ou lixo na construção e demolição; resistente ao fogo; existem diversas tecnologias

apropriadas; valoração histórica e patrimonial; e sustentabilidade. Diante da crise energética mundial, quando se compara o consumo de energia entre a produção de adobes (35x26x10cm) com blocos de concreto (41x21x21cm) tem-se 2.635 kJ e 30.595 kJ, respectivamente, o que equivale a um consumo doze vezes maior para o bloco de concreto (SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA - SIACOT, 1976).

A tentativa de solucionar o déficit habitacional brasileiro próximo de 6 milhões de domicílios (PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS- PNAD / INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013), ocorre muitas vezes de forma equivocada: moradias e materiais inadequados; qualidade questionável quanto à durabilidade, conforto térmico e salubridade. Programas como Minha Casa Minha Vida, recentemente extensivo ao meio rural podem beneficiar-se da tecnologia de construção com terra, como ocorre na Colômbia e em outros países. A investigação científica e a normatização são fundamentais para essa viabilidade. É prioridade então adequar a matriz curricular, abrangendo a construção com terra nas universidades e centros de pesquisa.

A preocupação atual com questões ambientais nas edificações estimula a pesquisa por materiais de construção não convencionais, e contribui para a maior aceitação desse conteúdo programático nas universidades. O preconceito ainda existe, mas com esclarecimento e respaldo científico a mudança de paradigma acontece.

Materiais ecologicamente corretos são disponíveis na natureza, renováveis e/ou recicláveis, e contribuem para livrar o ambiente do incômodo dos resíduos (BARBOSA, 2005). Um exemplo é a composição solo-fibras vegetais, que pode resultar em adobes de qualidade e econômicos. O bagaço de cana-de-açúcar e o bambu estão disponíveis em grande quantidade no Brasil, mas sua utilização na construção ainda sofre preconceitos culturais. A carência



de pesquisas e a matriz curricular acadêmica tradicional contribuem para essa constatação. Algumas instituições de ensino conscientes da importância do tema, já desenvolvem pesquisas e conteúdos, além de programas de extensão importantes nesse sentido. Fundações, associações e redes nacionais e internacionais têm papel fundamental na divulgação desses materiais não convencionais. Exemplificando temos: a PROTERRA, ABMTENC, Rede Nacional do Bambu, CRATerre, entre outros.

O “cupinzeiro”, hidrofóbico natural em propriedades coesivas e resistência mecânica. Sua construção é feita pelos cupins de montículo que pertencem à espécie *Cornitermes cumulans*. O material pastoso utilizado que funciona como “argamassa estrutural” é constituído, basicamente, por sua saliva, resíduo vegetal e solo. Em estradas vicinais observou-se que a deposição de solo de “cupinzeiro” melhorava a qualidade da base para pavimentação. Esse fenômeno despertou a curiosidade científica, que foi financiada por empresas brasileiras e culminou na produção da “baba de cupim sintética”. O arquiteto e professor Eduardo Salmar Nogueira e Taveira, da Universidade Metodista de Piracicaba-UNIMEP, e o arquiteto e pesquisador Sylvio Barros Sawaya da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, desenvolveram projetos e executaram construções em taipa com o produto e obtiveram bons resultados.

Estudos científicos sobre blocos de terra comprimida (BTC) com adição de “baba de cupim sintética” melhoraram suas propriedades mecânicas (FARIA; BATTISTELLE; NEVES, 2012). Entretanto, pesquisas sobre o comportamento do adobe com adição do produto, e em composição com partículas lignocelulósicas, não foram encontradas na literatura científica.

Portanto, os principais desafios para a pesquisa são: reduzir a absorção de água do adobe, melhorar suas propriedades mecânicas; diminuir o peso próprio; avaliar o comportamento da composição solo-partículas lignocelulósicas -“baba de cupim sintética”; e melhorar os procedimentos de

produção. Assim, pretende-se contribuir de forma efetiva para ampliar a utilização do adobe com garantias e certificação científica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar o efeito da incorporação de partículas de bagaço de cana (*Saccharum officinarum*) e de bambu (*Bambusa vulgaris vittata*), sem e com a “baba de cupim sintética” em propriedades físicas e mecânicas do adobe, e a interação entre os estabilizantes.

### 2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- a) caracterização do solo quanto à mineralogia, granulometria e plasticidade;
- b) caracterização química e física das partículas lignocelulósicas de bagaço de cana e bambu;
- c) determinar umidade ideal dos adobes nos tratamentos propostos;
- d) avaliar a interação entre a matriz solo e a “baba de cupim sintética”;
- e) avaliar a interação entre a matriz solo e as partículas lignocelulósicas de bambu e bagaço de cana;
- f) avaliar a interação entre a matriz solo, a “baba de cupim sintética” e as partículas lignocelulósicas de bambu e bagaço de cana;
- g) avaliar as propriedades físicas e mecânicas do adobe nos tratamentos propostos em testes de campo e ensaios de laboratório;
- h) valoração do solo, do bagaço de cana e do bambu como materiais de construção não convencionais;
- i) aprimoramento do processo de produção minimizando o esforço físico;

- j) verificação e comparação de metodologias para contribuir com a criação de normas técnicas brasileiras específicas para certificação do adobe.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A abordagem refere-se às considerações gerais e principais características do adobe, do bambu (*Bambusavulgarisvittata*), do bagaço de cana (*Saccharum officinarum*) e da “baba de cupim sintética”. Tijolos e outros produtos não convencionais para construção são apresentados para demonstrar a evolução e viabilidade desses materiais.

#### 3.1 O Adobe

O adobe é um tijolo maciço sem sinterização. Sua constituição básica é solo e água, desde que as propriedades físicas e mecânicas dessa composição, atendam aos critérios mínimos de segurança e habitabilidade de uma determinada edificação. A estabilização com outros materiais e produtos deve ser feita quando essa condição não é atingida.

O adobe estabilizado pode ser considerado como um compósito, porque é composto de dois ou mais materiais que melhoram suas propriedades em relação à condição inicial. O solo então é a matriz (fase contínua), que tem como principais funções envolver, suportar e proteger os outros componentes que agem como reforço (fase descontínua), mantendo os mesmos em uma determinada posição. A matriz transmite as ações externas ao reforço. A complexidade na escolha do reforço ou combinações ideais depende do objetivo a ser atingido (LEÃO, 2008; MOTA, 2010 apud MESQUITA, 2013).

##### 3.1.1 Dimensões e fôrmas

As fôrmas podem ser de madeira (Figura 3) ou metálicas em vários modelos e tamanhos (duplas, simples, com metade do tijolo), retangulares,

quadradas, ou trapezoidais (LENGEN, 2009) com “agarraderas” (apoios laterais para as mãos) nos extremos para facilitar sua retirada. Algumas são feitas com encaixe “macho-fêmea”, que melhoram a ligação entre os tijolos. Formas múltiplas retangulares e adobes cortados têm rendimento de 8.000 a 10.000 unidades/dia, com equipes de 5 a 6 trabalhadores. O carrinho de mão ou Dumper leva a mistura, a qual é derramada na forma, por isso a mistura deve ter uma consistência mais pastosa.

Para os adobes cortados a forma é de  $4\text{m}^2$ , e o corte é feito com serra ou fio estendido. Fôrmas desmontáveis diminuem o esforço manual para produzi-lo, e podem ser de chapa de ferro. As dimensões variam com a região e o clima. Em locais com maior variação climática e abalos sísmicos, devem ser mais robustos com largura mínima de 20 cm. O adobe para-sísmico tem formato diferenciado, que permite a integração de sistemas estruturais como cintas e estruturas na alvenaria. Adobes especiais e decorativos com grelhas para ventilação podem ser usados em cúpulas e abóbadas (CARVALHO, 2012).

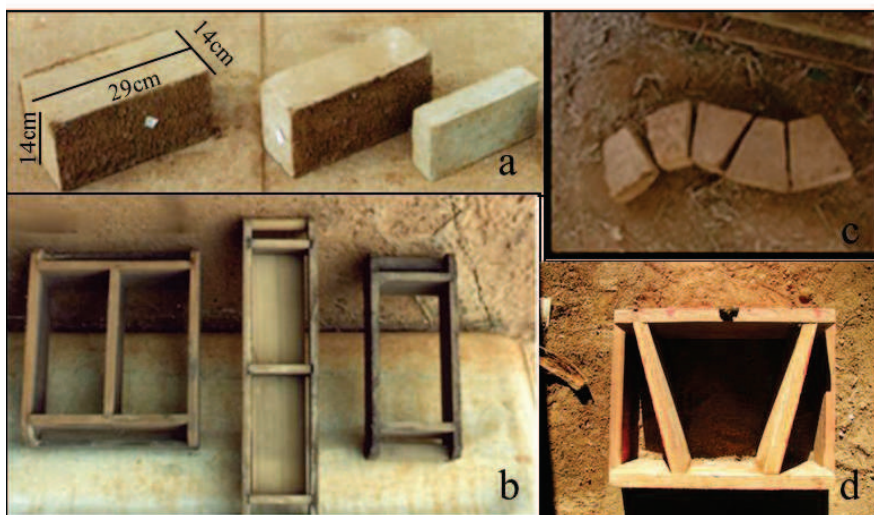


Figura 3 Adobes de diversas dimensões (a, c) e respectivas fôrmas de madeira (b, d)

Adobes sem estabilização com solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAd, de texturas média-m, argilosa-a, e muito argilosa-ma, foram produzidos na Universidade Federal de Lavras. A granulometria do solo foi corrigida com areia em 40 e 60%. A secagem foi feita em galpão coberto por 35 dias (CORRÊA et al., 2006). As três dimensões e as correções com areia demonstram a variação em massa (Tabela 1).

Tabela 1 Massa média dos adobes em tamanhos variados

Solos	Massa (kg)		
	Dimensão das fôrmas (cm)		
	23x11x5,5	29x14x10	29x14x14
LVAdm	2,191	6,143	8,760
LVAdm60	2,415	6,549	9,180
LVAdarg	1,814	5,416	8,995
LVAdarg60	2,041	6,235	9,144
LVAdmarg	1,563	4,945	6,669
LVAdmarg40	1,665	5,461	7,460
LVAdmarg60*	1,930	5,934	8,720

\* Latossolo Vermelho Amarelo distrófico muito argiloso com 60% de areia

### 3.1.2 Produção e secagem

Na produção do adobe em pequena e média escalas os componentes da mistura são amassados com os pés e podem ser homogeneizados com a “maromba”, que funciona com a ajuda de animal. A mistura então é jogada nas fôrmas untadas com óleo queimado e imersas em caixa de areia para facilitar o desmolde. O adobe fica no próprio local para a secagem inicial, aos três dias pode ser virado de lado, e com uma semana pode ser colocado em pé. O ideal é que a secagem seja gradativa, em local coberto, por 25 dias em média dependendo da época do ano (CORRÊA et al., 2006).

Na produção em grande escala podem ser utilizadas grelha de moldes ou de discos. A primeira tem molde metálico com compartimentos múltiplos, fixo sobre chassis com rodas. O sistema de alavanca eleva o molde após o preenchimento com terra, e os adobes ficam sobre o solo. O molde sobre rodas é movido para outra área e o processo recomeça. Para o corte com fio ou serra ou por disco, pode ser feita a automatização. Uma caixa/funil é colocada no topo de uma grelha retangular rolante que preenche uma área contínua com a pasta de terra. O corte é feito por um sistema de discos móveis nos dois sentidos, longitudinal e transversal. Os rendimentos são elevados, na ordem dos 15.000 adobes/dia, para um investimento de baixo custo. A área de produção deve ser completamente plana e devidamente preparada (CARVALHO, 2012).

Com o objetivo de otimizar o processo na fase de tamisação e mistura da massa foi desenvolvido equipamento em Mangualbe - Portugal pelo Sítio Cooperativa - Tecnologias Apropriáveis. A produção inicial próxima de 200 adobes/dia, com equipe de três pessoas em oito horas de trabalho passou a ser de 900 unidades (Figura 4a). Outros novos equipamentos são desenvolvidos para minimizar o esforço físico e melhorar a homogeneização na produção do adobe. Existem máquinas produzidas na Índia, China, Novo México (Figura 4b) e outros países. Nesta pesquisa foi desenvolvida “maromba” com eixo de palhetas vertical que será detalhado posteriormente.



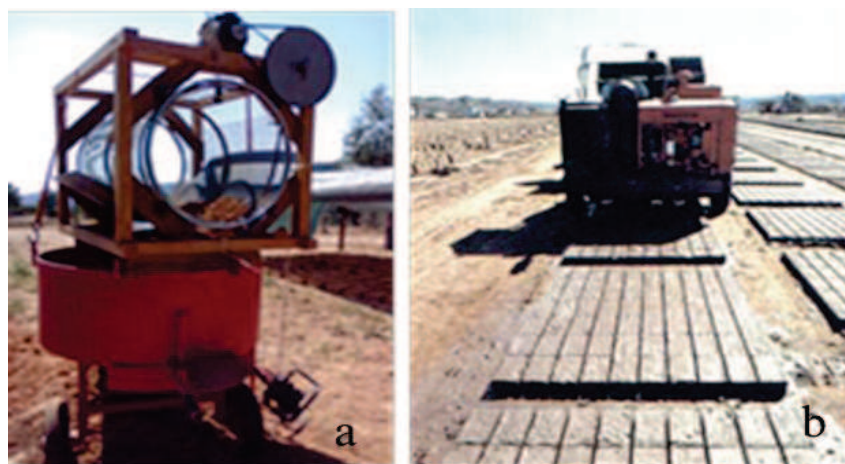


Figura 4 Equipamentos desenvolvidos para produção de adobe em Portugal (a) e no Novo México (b)

### 3.1.3 Mineralogia

A argila tem grande importância na composição do solo para construção. Sua estrutura cristalina é composta por lamelas cuja ligação tem variação de fraca à forte. O tipo de ligação irá permitir ou não a penetração de água. Classifica-se de acordo com a origem mineralógica em: caulinita que possui ligações fortes que impedem a adsorção de água, e não apresenta expansão significativa; ilita cuja força de ligação é inferior a que ocorre na caulinita, não é estável em contato com a água, e apresenta-se pouco expansiva; e montmorilonita que possui força de ligação fraca, com grande expansão em contato com a água, e variação acentuada no volume com presença de fissuras e trincas na secagem.

O ensaio de difratometria de raios-X (DRX) é o mais preciso para esta caracterização. A determinação dos componentes minerais (cristais) da argila define o grau de expansibilidade. A técnica consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção do feixe difratado. Ocorre um fenômeno de

interação entre o feixe de raios-X incidente e os elétrons dos átomos componentes da amostra. Os cristais crescem na direção das ligações químicas mais fortes - espectros característicos, e diminuem quando ocorre o contrário - espectros contínuos (RESENDE et al., 1985). Solos com argilas expansivas como a montmorilonita devem ser descartados para uso como material de construção.

### **3.1.4 Composição granulométrica ideal**

O solo, principal elemento do adobe e de grande complexidade, tem constituição conforme a composição química e mineralógica da rocha de origem. A formação de cada centímetro do solo ocorre entre 100 a 400 anos até atingir o equilíbrio, definindo a paisagem de um local. Os principais componentes químicos são: sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e outros óxidos com composição variável e predominância de sílica. Nos trópicos ocorre a predominância de solos lateríticos, de cor avermelhada, que têm alto teor de óxido de ferro. Com características físicas e mecânicas peculiares, é um meio descontínuo formado por grãos sólidos e vazios, cuja composição inclui material inerte e expansivo. Os grãos ou partículas são de diferentes tamanhos e propriedades distintas.

O solo estéril tem em sua composição a fase líquida, sólida e gasosa constituídas de água, ar, e partículas de argila, silte e areia. Os grãos ou partículas são de diferentes tamanhos e propriedades distintas. A areia (<2mm> 0,05mm) é material inerte cuja origem é a rocha fragmentada por erosão e sua composição básica é o dióxido de silício. Com formato granular arredondado não são coesivas e têm baixa compressibilidade. As estruturas são estáveis, permeáveis, e não são plásticas. A porosidade é menor, então são menos suscetíveis à variação volumétrica porque possuem menor índice de vazios. Há

grande variação entre solos seco e saturado. O silte ( $< 0,05\text{mm} > 0,005\text{mm}$ ) resulta da dissolução das rochas, tem baixa plasticidade e baixa resistência quando seco ao ar, e não tem coesão. A argila ou argilo-mineral ( $<0,005\text{mm}$ ) é formada pela erosão química das rochas, com maior plasticidade e resistência. Tem formato lamelar, estruturas instáveis, plasticidade, alta compressibilidade, e alta porosidade. Fratini et al. (2011) afirmam que existe uma relação direta entre a quantidade de argila e silte e resistência mecânica. Concluíram que essa soma não deve exceder a 55%. A argila deve atingir no máximo 30%, porque além dessa quantidade reduz a resistência mecânica, devido à contração na secagem e fissuração. O mínimo de 20% de argila promove coesão e melhores propriedades ao adobe. Os adobes de solos argilosos tendem à instabilidade e maior deformação e já com solos arenosos apresentam menor coesão, mas menor deformação. Sua composição granulométrica ideal varia com as características do solo, principalmente em relação às partículas finas, argila e silte, e a estabilização. Granulometrias ideais para o adobe com e sem estabilização são sugeridas por diversos pesquisadores (Tabela 2).

Tabela 2 Composição granulométrica do adobe

	Composição granulométrica (%)		
	Argila **	Silte	Areia
Martinez (1979)	20	25 a 40	40a 55
Alves (1985)	<20	-	>45
Ruiz e Luna (1983)	20	40	40
NTE E.080 (NTE, 2000)	10 a 20	15 a 25	55 a 70*
CRATerre (1979)	15 a 35	10 a 45	45 a 75*

\* para solos estabilizados com aglomerante

\*\* mínimo de 15%

### 3.1.5 Umidade ideal

O teor de umidade ideal para o adobe varia com a classificação textural do argilo-mineral componente do solo e do tipo de estabilização. A quantidade de água em excesso causa deformação e reduz a resistência mecânica. A mistura mais seca dificulta o manuseio e não preenche a forma adequadamente. Solos argilosos necessitam de mais água e arenosos atingem a umidade ideal com menor umidade. Esse teor está entre o limite de plasticidade e o limite de liquidez considerado estado plástico (NEVES et al., 2005), “adobeiros” práticos intuem essa quantidade. Utiliza-se então em laboratório a determinação dos limites de consistência (CAPUTO, 1998). Solos argilosos apresentam resultados de umidade ideal para o adobe, próximos ao limite de liquidez –LL, e solos arenosos próximos ao limite de plasticidade- LP. Teores ideais de umidade também variam em ordem crescente conforme a metodologia empregada. Barbosa e Ghavami (2007), e Huben e Guillaud (1989) adotam umidade entre 30% e 50%. Souza (1993) trabalhou com teor de 23,5% com excelentes resultados, “adobeiros” práticos intuem essa quantidade.

Adobes produzidos na prensa manual TECMOR (PICCHI; CINCOTTO; BARROS, 1986), com maior esforço de prensagem, têm menor umidade ideal que a encontrada no ensaio de Proctor Normal, NBR7182 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1986) e que na produção artesanal (RUIZ; LUNA, 1983). Os resultados encontrados por Corrêa et al. (2006) e Pacheco e Dias Júnior (1990) para Latossolo Vermelho Amarelo distrófico- LVAd, texturas média, argilosa e muito argilosa, ilustram a influência da compactação e da granulometria na determinação de umidade ideal (Tabela 3).

Tabela 3 Umidade ideal para diferentes compacidades e granulometria

Solos	Umidade ideal (%)					
	Prensa Proctor Produção			Limites de consistência		
	Manual	Normal	Artesanal	LP	LL	IP
LVAdm	12,00	19,88	27,10	31,94	34,40	2,46
LVAdarg	16,00	22,59	34,76	32,25	44,20	11,95
LVAdmarg	28,40	35,00	48,53	41,47	52,00	10,63

### 3.1.6 Estabilização

A correção granulométrica do solo para sua utilização como adobe pode ser feita com areia ou mistura de outros solos. Após esse procedimento, se o resultado não for eficiente é feita a estabilização.

A estabilização do solo para a construção tem como finalidade modificar e melhorar suas propriedades para obter qualidades permanentes. Atua na resistência mecânica, estabilidade volumétrica, ação da água, trabalhabilidade e ductilidade (BARBOSA; GHAVAMI, 2007). O ideal é a utilização de estabilizantes que não agridam o meio ambiente. A classificação da estabilização e características específicas são descritas a seguir (BARBOSA; GHAVAMI, 2007; BARDOU; ARZAMONIAN, 1979).

- **Estabilização por cimentação**

A principal função desse procedimento é solidificar os materiais. Como exemplo temos cimento, cal, cimento-cal, cal-cinzas. O cimento aumenta a estabilidade dimensional, melhora a impermeabilização e a resistência mecânica. Seus efeitos variam com o tipo de argila e a umidade do solo. A quantidade e o resultado variam com a classificação do solo, sendo que com 6% em massa aumenta a resistência mecânica em 2% para solos arenosos. Em solos argilosos taxas de cimento de 3% a 5% podem diminuir a resistência em relação ao material natural. A hidratação do cimento forma cristais resistentes que unem os

grãos de areia, formando assim uma estrutura sólida. As argilas menos expansivas (caulinitas e ilitas) com ligação interfoliar mais fraca reagem bem ao cimento. Quanto à matéria orgânica, quando superior a 1% é prejudicial a essa estabilização.

Na estabilização com a cal hidratada (hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ ) ocorrem três reações distintas: a carbonatação, a cristalização e a floculação.

A carbonatação é a reação do hidróxido de cálcio com o gás carbônico atmosférico ( $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ). Inicia-se quando a cal entra em contato com o ar, e resulta em ligações fracas devido à cristalização incompleta. Essa reação pode ser evitada protegendo-se a cal antes e durante a cura dos tijolos estabilizados com cal. A cristalização é uma reação lenta com ligações mais fortes, causada pelo contato de cal com os íons  $\text{Si}^{++}$  do interior das lamelas da argila. Amontimorilonita combina melhor com a cal porque tem ligação interfolicular mais frágil, possibilitando assim a penetração da cal. A floculação é uma reação rápida que resulta da alcalinidade do hidróxido de cálcio, esse em contato com as argilas provoca mudança no pH, troca de cátions e aglomeração dos finos. Em solo muito argiloso modifica os limites de Atterberg e facilita seu manuseio, portanto é adequada para esse tipo de solo. Os resultados são: aumento da estabilidade dimensional e da resistência à ação da água; o acréscimo na resistência mecânica é pouco significativo.

No gráfico da Figura 5 é possível definir o tipo de estabilização quando se compara o IP e fração de finos, Neves et al. (2005) adaptado de Houben e Guillaud (1995). Em solos argilosos mais plásticos o ideal é a utilização de cal e para solos arenosos as melhores opções são o betume e o cimento (Figura 5).

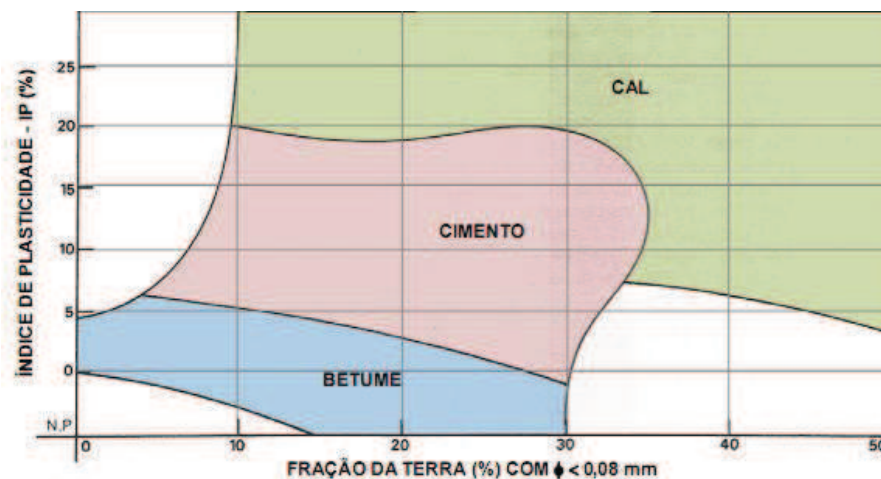


Figura 5 Escolha de estabilizantes conforme o IP e fração de finos  
 Fonte: Neves et al. (2005) adaptado de Houben e Guillaud (1995)

- **Estabilização por armação ou reforço**

A estabilização com fibras vegetais e resíduos lignocelulósicos é a mais antiga das estabilizações. Muito empregadas na Mesopotâmia e Egito Antigo e atualmente em produções industriais de adobe no Novo México EEUU. Utilizadas no solo em estado plástico promovem: maleabilidade; aumento da coesão e durabilidade; melhora da resistência à flexão; redução na propagação de fissuras durante a secagem; ductilidade; aumento da capacidade de absorver energia. A absorção de água pelas fibras pode necessitar da presença de outro estabilizante. Souza (1993) utilizou fibras de sisal e coco cortadas em tamanhos de 2 a 5 cm, com 0,5% a 2% em massa. A Norma Australiana AS 3700:2001 (STANDARDS AUSTRALIA, 2001) propõe que o solo ideal para estabilização com fibras vegetais deve ter um índice de plasticidade (IP) entre 15% e 35% e limite de liquidez (LL) entre 30% e 50%.

- **Estabilização por impermeabilização**

É o acréscimo de substâncias que protegem contra a umidade envolvendo o material de solo com uma camada protetora com obstrução dos vazios. Esse procedimento diminui a plasticidade. Ex.: emulsões betuminosas; óleo de coco; seivas de plantas oleaginosas; látex; e resíduos de azeite de oliva.

- **Estabilização química**

É o acréscimo de substâncias que contribuem para diminuir a expansão e retração da argila formando compostos pozolânicos estáveis. Ex.: cal; urina de gado; soda cáustica; “baba de cupim sintética”.

Pesquisadores do CINVESTAV- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN em Querétaro México, produziram manual de autoconstrução sobre estabilização com dois tipos de emulsões: branca- dodecilamina e negra - emulsão asfáltica. A incorporação dos aditivos promoveu o aumento na resistência à compressão de 1,2 para 2,2 MPa. Em argilas mais expansivas acrescentou-se também areia, “palha” e cal. A “palha” foi banhada em água de “cal” por 24 horas antes de ser misturada ao solo (PIÑON et al., 2007). Os autores observaram que:

- cal e cimento, em pequena quantidade, melhoram a impermeabilização;
- a partir dos 6% de incorporação de cimento ou cal a resistência à compressão aumenta;
- solos mais argilosos têm maior afinidade com a cal;
- solos mais arenosos reagem melhor com o cimento;
- a emulsão asfáltica, em taxas de 2%, interfere positivamente tanto na resistência à compressão como na proteção contra a ação da água.



### 3.1.7 Propriedades físicas

Construções feitas com adobe apresentam excelente conforto térmico com condutividade térmica entre 0,5 e 0,7W/m°C, enquanto o bloco de concreto tem de 1,4 a 1.6 W/m°C (HOLMAN,1989; KARKELAR, 1990 apud PIÑON et al., 2007). Outra qualidade é o consumo mínimo de energia que é inferior a 0,2 MJ / kg (GUPTA, 2000).

A umidade em construções com terra é um desafio para pesquisadores. A NBR 8492 (ABNT, 1984) recomenda  $AA\% \leq 18$  para tijolos de solo-cimento. A absorção de água em adobes foi estudada por Faria (2002) e Varum (2007), entre outros. O primeiro pesquisador encontrou aumento de peso de 17% e 26% após seis horas de imersão, para dois tipos de adobes utilizados em construções de Angola. Já Faria (2002) em investigação sobre a utilização de macrófitas aquáticas em diferentes quantidades obteve variação entre 24,88 e 31,76% na AA.

A densidade aparente do adobe tende a ser menor com a estabilização por armação (fibras vegetais e partículas lignocelulósicas) e o contrário ocorre com a estabilização química devido às propriedades de coesão.

Em solos argilosos, o teste de campo de sedimentação II com NaCl (cloreto de sódio) para identificar argila, silte e areia, não foi eficiente porque superestimou a porcentagem de areia (PACHECO; DIAS JÚNIOR,1990).

### 3.1.8 Propriedades mecânicas

A resistência à compressão é um dos principais critérios de qualidade dos adobes. A variação nos resultados obtidos é devida aos diversos fatores, como: características do solo; quantidade de água adicionada; tipo de estabilização; cuidados na produção; e método de cura.

Em média com valores de 0,6 a 2,0 MPa (BARBOSA; GHAVAMI, 2007). O valor mínimo aceitável para a resistência à compressão característica ( $f_{ck}$ ) é de 0,7 MPa. Já a resistência à flexão é um parâmetro que tem sido pouco investigado e apresenta resultados inferiores à compressão.

Os resultados do módulo de elasticidade indicam a ductilidade do adobe. Fratini et al. (2011) observaram que os adobes estudados apresentaram uma boa reserva de resistência após o pico de força, e o fim do comportamento elástico. Concluíram que os tijolos de terra possuem um comportamento dúctil.

As fibras melhoram a resistência à flexão e à tração. Minke (2005) contesta a afirmativa que as fibras aumentam a resistência à compressão (Tabela 4) e justifica que quando são acrescentadas fibras finas ou em pouca quantidade ocorre um aumento inexpressivo. Entretanto, quando a “palha” cortada em tamanhos de 5cm é adicionada, o efeito é contrário.

Tabela 4 Resistência à compressão com acréscimo de “palha”

“Palha” (% massa)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistência à compressão (MPa)
0	1882	2,2
1	1701	1,4
2	1571	1,3
4	1247	1,1
8	872	0,3

Fonte: Adaptado de Minke (2005)

### 3.1.9 Alvenaria de adobe

A NTE.E.080 (NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN - NTE, 2000) estabelece que a argamassa de assentamento para a alvenaria com adobe pode ser o solo com “palha” ou fibras secas de até 5 cm de comprimento, ou areia, ou outros componentes como asfalto, cimento, cal, gesso ou esterco. A proporção da “palha” em volume não deve ser menor que a quarta parte, isto é, com traço

1:3 (“palha”: solo). Recomenda-se deixar esse tipo de argamassa preparada com dois dias de antecedência, coberta por lonas, panos molhados ou quaisquer outros dispositivos que impeçam a saída da umidade, para se ter uma melhor homogeneização. As juntas horizontais e verticais não devem exceder 2 cm e devem ser preenchidas completamente. A quantidade de água deve permitir trabalhabilidade adequada.

Em ensaios estáticos de paredes realizados por Barbosa, Ghavami e Gonçalves (2005) para avaliar resistência à compressão o comportamento foi surpreendente. Embora as tensões médias no material sejam relativamente pequenas, a carga suportada foi considerável. Os resultados de ensaios de quatro paredes de adobes com uma relação altura/espessura de 18,5 vezes, foram superiores a 95 kN/m. Essa carga é cinco vezes maior à de uma parede central que dá apoio a duas lajes de concreto armado de 4 m de vão. Os adobes das paredes 3 e 4 tinham folhas de grama incorporadas, que apesar da baixa resistência, aumentaram a resistência à fissuração das paredes (Tabela 5). A ruptura ocorreu após os sinais de fissuração em zonas que ficaram submetidas a maiores tensões devidas à excentricidade do carregamento. Para maior capacidade de carga basta aumentar a largura dos adobes ou mesmo utilizar paredes duplas ou triplas. Considerou-se então, as paredes de adobe como estruturais.

Tabela 5 Resultados de resistência de paredes de adobe (2,60x0,14m)

<b>Paredes</b>	<b>Carga 1ªfissura (kN/m)</b>	<b>Carga Ruptura (kN/m)</b>	<b>Tensão Média (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão do adobe (MPa)</b>
1	79,1	96,2	0,69	
2	66,7	133,7	0,95	1,41
3	100,0	118,8	0,85	
4	100,0	129,5	0,92	1,21

Fonte: Barbosa, Ghavami e Gonçalves (2005)

A NTE.E.080 (NTE, 2000) estabelece alguns critérios relativos à muros para zonas sísmicas:

- o comprimento máximo deve ser 12 vezes a espessura;
- em geral os vão devem ser centrados;
- a borda vertical na estrutura de portas e janelas deverá ser considerada como borda livre;
- a largura máxima de portas e janelas deve ser 1/3 de seu comprimento e a distância entre a borda livre e o apoio mais próximo não deve ser menor que 3 e nem maior que 5 vezes a espessura do muro ou parede, exceto quando o muro for estruturado nos cantos;
- as paredes devem ser impermeabilizadas nas primeiras fiadas para evitar contato com a água;
- nos respaldos das paredes fazer amarração com cinta para receber a laje ou telhado.

Quanto menor o índice de esbeltez, maiores os cuidados estruturais de reforço nos muros (Tabela 6).

Tabela 6 Medidas de muros conforme o índice de esbeltez para zonas sísmicas pela NTE E. 080

<b>Índice de Esbeltez</b>	<b>Estruturas e reforços obrigatórios</b>	<b>Espessura mínima (m)</b>	<b>Altura mínima (m)</b>
$\lambda \leq 6$	baldrame	0,4 a 0,5	2,4 a 3,0
$6 \leq \lambda \leq 8$	baldrame + elementos de reforço horizontal e vertical nos encontros de muros	0,3 a 0,5	2,4 a 4,0
$8 \leq \lambda \leq 9$	baldrame + elementos de reforço horizontal e vertical em todo o comprimento dos muros	0,3 a 0,5	2,7 a 4,5

Fonte: Adaptado de NTE (2000)

### **3.1.10 Revestimento**

Para a primeira camada, o ideal é utilizar o solo como componente da mistura acrescentando cal no traço cal:solo de 1:3 até 1:8 conforme o solo. Rodrigues (2008) ressalta a importância da hidratação da cal, quando virgem no mínimo por três semanas. Inclusive alerta que a cal hidratada industrialmente inspira cuidados, como a reidratação e afirma: “antes da aplicação à superfície, as juntas devem ser cortadas a uma profundidade de pelo menos 1,6 cm, para se obter aderência suficiente. A superfície da alvenaria deve, então, ser umedecida para reduzir a sucção, em especial nos climas quentes e posteriormente aplicada a argamassa. Aplica-se primeiro uma camada de emboço de traço, em argamassa de cal e areia grossa, no traço 1:2 ou 2,5 que deve ser texturizada com uma desempenadeira dentada, para que haja melhor aderência do reboco de acabamento. O reboco será uma argamassa de cal e areia fina de traço 1:3”.

O uso da cal permite maior troca de ar entre o interior e o exterior. Quando houver necessidade de maior impermeabilização o cimento pode ser acrescentado no traço na proporção cimento: cal: solo 1:2:8, fazendo testes na parede devido à variação do solo. A palha também pode ser acrescentada à argamassa se a opção for um revestimento mais rústico (NTE, 2000).

### **3.1.11 Patologias e proteção**

Alguns cuidados na execução da obra devem ser adotados para prevenir a absorção de água devido às agressões externas e capilaridade. O contato direto da construção com o solo deve ser evitado, utilizando-se de cintas baldrame com produtos impermeabilizantes. A fundação deve ser resistente à umidade com profundidade mínima de 60 cm e largura mínima de 40 cm. Passeios externos

em todo o entorno e beiras mais largos, no mínimo de 80 cm são procedimentos importantes. O sistema de drenagem deve ser adequado (NTE, 2000).

### 3.1.12 Normatização

Walkere e Maniatidis (2003 apud GONÇALVES, 2005) investigaram as normas técnicas existentes para o projeto estrutural de tijolos de terra e solo compactado em diversos países: Austrália, Nova Zelândia, E.U.A. (Novo México), Zimbábue, Inglaterra Alemanha e Espanha. A estabilização com cimento é citação comum nos documentos da Nova Zelândia, Novo México e Austrália.

A Alemanha Ocidental foi um dos primeiros países no mundo a definir padrões de norma para construção com terra. Documentos foram publicados entre 1947 e 1956, mas desconsiderados em 1970. O moderno regulamento de construção com terra '*LehmbauRegeln*' foi publicado em 1999, sendo referência nos regulamentos de edificações de alguns governos regionais. Trata de procedimentos de projeto para paredes estruturais, dimensões de parede, aberturas e construção.

A Austrália foi o primeiro país a produzir normas de referência nacional em 1952 com última atualização em 1987, publicada pela *Common wealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO). O Boletim 5, referência para o Código de Edificação da Austrália, define as "exigências e as capacidades" da construção com terra. O Manual de Construções de Terra Australiano fixa os princípios e recomendação de diretrizes de projeto com carregamento leve, em edifícios de um e dois pavimentos com uso de estabilizante nas paredes e pisos (STANDARDS AUSTRALIA, 2002). Considera também o desempenho das paredes quanto à durabilidade e integridade estrutural, utilizando reforço ou não. Em 2001 a Associação dos

Construtores de Terra da Austrália publicou o documento com diretrizes para adobe e taipa (terra compactada) e orientação dos materiais apropriados e métodos para avaliação. Nesse documento incluem: fundamentos, teste de umidade, aberturas, limites de esbeltez de parede, juntas e detalhes para conexões (STANDARDS AUSTRÁLIA, 2001).

A Nova Zelândia possui três códigos publicados em 1998 - NZS 4297:1998 (STANDARDS NEW ZEALAND, 1998a) que abordam os projetos de engenharia de edificações de terra. A norma fixa, os métodos de projetos estruturais para paredes com altura máxima de 6,5m, e os critérios de desempenho para durabilidade, resistência aos esforços, retração e corrente térmica e dilatação calorífica dos elementos da terra. Considera até o último estado limite de utilização das flexões de projeto, com ou sem carga axial, e esforço cortante. Como exigências para o projeto de fundação, os reforços e ancoragem devem ser detalhados. A padronização de soluções para paredes, vãos estruturais, fundações, vigas de cintamento e vergas, controle de juntas e aberturas e complementos estão fixados em NZS 4298:1998 (STANDARDS NEW ZEALAND, 1998b). A extensão é limitada para as paredes com altura máxima de 3,3m ou menos e depende do fator de zona de terremoto, com limitações adicionais em área de piso, com carregamento vivo, e fundações construídas no plano.

Na Espanha em 1992, o Ministério dos Transportes e Serviços Públicos publicou um documento de orientação para o projeto e construção de estruturas com terra em cinco seções principais cujo foco principal é terra compactada (taipa), embora referências e comparações com técnicas de adobe também são determinadas. Detalha os critérios de projeto para paredes, principalmente por compressão, tensão e cintamento, incluindo orientação detalhada para cálculos estruturais baseada em projeto semelhante de paredes de tijolos.

O estado do Novo México nos EUA tem o seu próprio código de edificações para adobe e terra compactada. São definidos limites mínimos para espessura e esbeltez da parede e comprimento entre as cintas laterais. A força mínima de compressão de blocos de adobe é especificada. O código deve ser usado junto com todos os outros padrões de edificações aplicáveis, como o *Uniform Building Code* (Código de Construção Uniforme).

O Código Padrão de Prática para Estruturas de Terra Compactadas do Zimbábue foi publicado em 2001. O padrão tem seis seções e apêndices. O projeto da superestrutura tem como foco principal a resistência à compressão, absorção de água e erosão pelo tempo das paredes, inclusive com detalhes para a inspeção visual. Considera a estabilidade estrutural das paredes e orienta detalhes e acabamentos dos elementos de terra (STANDARDS ASSOCIATION OF ZIMBABWE, 2001).

Em 1995 a CRA Terre-EAG (*International Centre on Earthen Architecture*) em Grenoble na França, publicou um manual de projeto e construção para BTCs. Além de padrões e exemplos de edificações, o manual inclui breves diretrizes para projeto estrutural sob carregamento vertical, inclusive com a provisão para a excentricidade de carga. Padrões de normas regionais preveem produção, orientação de projeto e construção da alvenaria sob carga. A orientação para o projeto estrutural é limitada em grande parte de recomendações para espessuras mínimas de parede (140 mm) e a mínima força de compressão para o bloco seco (pelo menos dez vezes a força de compressão nominal do tijolo seco).

A NTE E.080-Adobe (NTE, 2000), que considera em seus parâmetros a resistência sísmica, integra o regulamento nacional de construções do Peru. Trata-se das características, comportamento e projeto das construções com adobe que resistam às ações sísmicas. Para essa condição os esforços admissíveis para resistência mínima do adobe à compressão é  $12 \text{ kg/cm}^2$  (1,2



MPa) e para a alvenaria é de  $2,0 \text{ kg/cm}^2$  . A seguir os principais parâmetros quanto às dimensões:

- para adobes retangulares o comprimento deverá ser próximo ao dobro da largura;
- a relação entre o comprimento e a altura deve ser de 4:1;
- o ideal é que a altura seja maior que 8 cm;
- deve ser maciço e pode ser perfurado desde que seja perpendicular ao seu assentamento e não ultrapasse 12% da área bruta de sua face;
- podem ser quadrados, retangulares, e em formatos especiais para cantos com ângulo diferentes de 90 graus.

A metodologia para construção com terra avançou bastante nos últimos anos, principalmente, como empenho da Rede PROTERRA (Rede Iberoamericana Proterra). Publicações de normas técnicas de outros países, e eventos como o SIACOT (Seminário Iberoamericano de Arquitetura e construção com Terra) e TERRABRASIL (Congresso Brasileiro de Construção com Terra), são entre outros, embasamento técnico-científico para a criação da norma brasileira ainda inexistente. Diante do exposto, mesmo com a complexidade e variabilidade de solos, é possível padronizar parâmetros físicos e mecânicos para a avaliação e seleção do solo, ensaios físicos e mecânicos. A primeira proposta normativa foi a iniciativa dos pesquisadores Barbosa, Ghavami e Gonçalves (2005) e está atualmente em discussão na rede PROTERRA. A criação da norma brasileira trará garantia técnica e legal, inclusive como contribuição essencial para a aprovação de projetos de moradia, em financiamentos governamentais e de outras fontes de recurso.

### 3.1.13 Custo benefício

Diversos fatores devem ser considerados para avaliar o custo de uma construção com adobe.

- a) O solo do local é adequado?
- b) Há necessidade de estabilização?
- c) Como será a produção?
- d) A que padrão econômico o projeto irá atender?
- e) A obra será feita em mutirão ou com contrato de mão de obra?

No Brasil, geralmente, o adobe é produzido no próprio local e em meio rural, mas a opção por construções no meio urbano, e comércio é crescente. O distrito de Vitoriano Veloso (Bichinho) em Prados, Minas Gerais apresenta uma situação atípica quando comparada aos outros municípios. Em levantamento sobre produção e construções com adobe nesse distrito, Vale (2013) verificou que nas 429 construções registradas, 20,51% foram com adobe aparente e 4,42% em adobe com argamassa de revestimento. Nas construções com tijolos cerâmicos furados e maciços (69,93%) apenas 5,12% apresentavam-se sem revestimento. Esse dado demonstra a preferência estética dos moradores pela técnica de adobe à vista, demonstrando sua valorização.

Em contrapartida no estado do Ceará, Carvalho (2012) constatou que as edificações de adobe não são consideradas como construção, por isso não tem identificação quanto à tipologia arquitetônica, sendo caracterizadas apenas pelos seus períodos históricos pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional-IPHAN. Em mapeamento dos dez municípios do norte do Estado o autor gerou um amplo banco de dados sobre construção em adobe, que incluiu processo construtivo e aspectos socioculturais. A pesquisa desenvolveu também

estudo comparativo de custos entre sistemas tradicionais de construção rural de 65m<sup>2</sup> financiados pelo INCRA- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, e uma unidade em adobe. Essa economizou 20% do custo total da obra, que segundo o autor poderia atingir 40%, considerando-se que as exigências do INCRA engessaram a aquisição de materiais não convencionais, entre outros produzidos na região. Considerando-se além do aspecto econômico, a questão ambiental é um forte argumento para a escolha do adobe (CARVALHO; VARUM; BERTINI, 2010).

A comercialização de adobes no Brasil ainda não é usual, devido principalmente ao alto custo do transporte. A demanda é para uso decorativo, muitas vezes com tijolos de demolição. O custo, as dimensões e composição são variáveis, mas é comum ser constituído apenas com solo e água.

É complexo comparar custos considerando apenas unidade e milheiro do adobe e outros elementos de alvenaria. Outros fatores devem ser considerados, como: dimensões; execução de paredes; argamassas de assentamento e revestimento; produção; conforto térmico; resistência física e mecânica; e impacto ambiental. A variação de custo/m<sup>2</sup> deve avaliar o emprego da mão de obra, contratada ou mutirão, e o tempo gasto na produção de paredes. O custo médio de elementos de alvenaria mais utilizados na região de Lavras foi comparado ao adobe produzido no distrito de Bichinho, MG (Tabela 7).

Tabela 7 Comparação de custo entre elementos de alvenaria na região de Lavras em julho de 2013

<b>Alvenarias</b>	<b>Medidas (cm)</b>	<b>Custo unitário R\$</b>	<b>Custo milheiro R\$</b>
Bloco de concreto	39x19x9	1,20	1.200,00
	39x19x14	1,60	1.600,00
	39x19x19	1,90	1.900,00
Tijolo cerâmico furado	30x20x10	1,10	900,00
	30x20x15	1,30	1.100,00
Tijolo maciço queimado	25x10x5	0,40	320,00
Adobe (Bichinho)*	31x16x14,5	0,85	850,00

\*Custo informado pelos produtores do distrito de Bichinho em Prados MG sem considerar o transporte

### 3.2 Fibras e partículas lignocelulósicas

As fibras lignocelulósicas constituem matéria-prima renovável e com aceitação internacional há mais de vinte anos, em países como a Austrália e EUA. Também nos países em desenvolvimento, as fibras naturais têm despertado interesse como reforço para matrizes frágeis devido ao custo reduzido; disponibilidade a partir de madeiras e também de plantas fibrosas; possibilidade de uso para aplicações diversas (cordoaria, indústria têxtil e de papel); economia de energia; e ainda por questões ambientais (TOLEDO FILHO; ENGLAND; GHAVAMI,1997).

As fibras em geral possuem menor condutividade térmica, maior absorção acústica e menor módulo de elasticidade, entretanto têm alta absorção de água. Podem resistir a temperaturas de até 200°C, sem perda significativa de suas principais propriedades, características que as tornam muito atraentes para a utilização como reforço e ancoragem em compósitos (MATTOSO et al., 1996). Existem em abundância em todo o território brasileiro. Exemplificando: bambu; cana-de-açúcar; rami; linho; coco; crotolária; kenaf; fórmio; juta; palha de cereais como trigo aveia, centeio, cevada, arroz e milho; pseudocaule da

bananeira. Estudos para utilização dos resíduos lignocelulósicos incorporados aos materiais de construção abrem novas perspectivas para aplicabilidade com melhor custo-benefício.

A tendência internacional no mercado de construção civil é a utilização de tecnologias limpas. A redução de custos deve considerar uso racional da mão de obra, aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas, e do mínimo consumo de energia. O fibrocimento vegetal é um componente construtivo que substitui o amianto em telhas, aumenta a capacidade de isolamento térmico, e a energia absorvida durante as solicitações mecânicas, evitando a ruptura frágil da telha. Essa característica é bem evidenciada para compósitos reforçados com fibras de coco, sisal, polpa de celulose de eucalipto e mistura sisal-polpa (INOVAÇÃO ..., 2004).

O desenvolvimento sustentável é prioridade nas grandes conferências mundiais, onde são revistas metas que priorizam novos paradigmas. Certificações como a AQUA- Alta Qualidade Ambiental e LEED do *US Green Building Council* (GBC) - Conselho Norte Americano de Prédios Verdes incluem aproveitamento de energia e resíduos, reuso da água e novos produtos menos agressivos ao meio ambiente. As construções não convencionais englobam procedimentos, materiais e produtos inovadores que visam qualidade, economia e sustentabilidade.

### **3.2.1 A cana-de-açúcar (*Saccharumofficinarum*)**

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil pelos portugueses no início do século XVI em duas regiões diferentes: no nordeste, no estado de Pernambuco, e no sudeste no estado de São Paulo. Sua importância é decorrente da múltipla utilidade que possui: pode ser empregada como forragem; para alimentação animal; e matéria-prima para a fabricação de rapadura, de melado,

de aguardente, de açúcar e de álcool. Seus resíduos também têm grande importância econômica, o vinhoto que é transformado em adubo, e o bagaço de cana, que é o resíduo da cana após a moagem. Com o processo de moagem, a fibra é separada do caldo, sendo o resíduo bagaço de cana constituído em média de 46% de fibras, 50% de água e 4% de sólidos dissolvidos. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com quase 25% da produção, responsável por mais da metade de todo o açúcar comercializado no mundo, e o maior exportador de etanol (IBGE, 2006). A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas da economia brasileira.

A melhoria do balanço energético das antigas usinas de cana-de-açúcar e o número cada vez maior de destilarias autônomas aumentaram a porcentagem de sobras, consideravelmente. Sem dúvida o resíduo agroindustrial obtido apresenta maior quantidade no Brasil, aproximadamente 280 kg/tonelada de cana moída (SILVA et al., 2007). O bagaço de cana-de-açúcar, proveniente da produção de diversos derivados, torna-se disponível cada vez em maior quantidade devido ao aumento das áreas plantadas e da industrialização da cana-de-açúcar para produção, principalmente de álcool e açúcar, decorrentes em sua maioria de investimentos públicos e privados (PEDRESCCHI, 2009). Na Tabela 8 estão quantificados a safra e os rejeitos da cana-de-açúcar em comparação com outras culturas no Brasil:

Tabela 8 Safras e rejeitos de culturas no Brasil

<b>Cultura</b>	<b>Safra 2007 (t)</b>	<b>Rejeito 2007 (t)</b>
Cana-de-açúcar	515.821.290	72.214.981 (palha seca) 72.214.981 (bagaço seco)
Arroz	11.047.937	2.430.546 (casca de arroz)
Mandioca	26.920.521	7.968.474 (casca)
Milho	51.830.670	51.830.670 (palha)
Soja	57.952.011	115.904.022 (resíduos)
<b>TOTAL</b>	<b>663.572.429</b>	<b>250.348.693</b>

Fonte: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS  
- FAO / THE STATISTICS DIVISION OF THE FAO - FAOSTAT (2007)

O bagaço de cana geralmente é queimado para produzir energia para uso industrial em reservatórios de vapor. Não sendo consumido totalmente dentro da própria indústria esse resíduo, devido as suas características físico-químicas é testado e analisado na produção de ração animal, na indústria química com a produção de plástico biodegradável, na produção de bicarbonato de sódio e cloreto de amônio, e também na manufatura de painéis aglomerados. Essa produção representa grande potencial, tanto na abordagem técnica como na econômica, revelando-se como alternativa viável de matéria-prima para as indústrias de painéis de madeira no Brasil (PEDRESCCHI, 2009).

Atualmente são produzidos 10 mil t de cinzas por dia, sendo 6 mil t só no estado de São Paulo. Por ano 3,8 milhões t de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar são descartados em aterros sanitários. O pó de carvão extraído da cinza pode ainda ser prensado, usando um aglutinante orgânico, em altas temperaturas para a produção de briquetes (aglomerados) de carvão vegetal. Para cada tonelada de cana é gerada 0,25 toneladas de bagaço, que queimado nas caldeiras produz 6 kilos (2,4 %) de cinza (pó de carvão e areia de quartzo). Esses resíduos das cinzas, normalmente, são descartados sobre o solo. A areia de quartzo misturada com argila e fundentes químicos (óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O) e óxido de potássio (K<sub>2</sub>O)), origina um compósito cerâmico que pode ser usado para a

fabricação de tijolos, telhas e placas cerâmicas (Faculdade de Ciências Tecnológicas - FCT da UNESP).

Freire e Ramirez-Sarmiento (1997) utilizaram fibras de bagaço de cana-de-açúcar desmeduladas mecanicamente *in natura* e tratadas quimicamente com silicato de sódio combinado com sulfato de alumínio, em misturas com argamassa de cimento e areia. Observaram que a resistência à compressão simples do compósito foi reduzida com o aumento do teor de fibras na mistura e que o tratamento químico aumentou significativamente a resistência mecânica do material obtido.

A utilização do bagaço de cana incorporado ao solo para fins construtivos como o adobe não foi encontrada na literatura.

#### 3.2.1.1 Características anatômicas e químicas

A composição química das partículas lignocelulósicas é de holocelulose constituída de celulose e hemicelulose, lignina e extrativos. A celulose é o material orgânico mais abundante na terra, com uma produção anual de mais de 50 bilhões de toneladas. O Brasil gera 17 mil toneladas por ano do resíduo. A celulose tem a formação de cristais que a tornam completamente insolúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos. O grau de cristalinidade varia com sua origem e processamento, no algodão 70%, e nas árvores apresenta índice de cristalinidade de 40%. A hemicelulose é hidrofílica e tem natureza amorfa, com ramificação entre suas cadeias. A lignina é um material hidrofóbico com estrutura tridimensional, altamente ramificada. Sua ação é cimentante. A força de adesão entre as fibras de celulose e a lignina é ampliada pela existência de ligações covalentes entre as cadeias de lignina e os constituintes da celulose e da hemicelulose.



A composição química da cana-de-açúcar depende de diversos fatores como o tipo de cana, de solo e as técnicas de colheita. Os resíduos têm em sua composição basicamente celulose, hemicelulose e lignina, na proporção aproximada de 40 a 50%, 20 a 30% e 25 a 30% respectivamente, variando em função do tipo de material (FAGGATTI, 2007). Esses compostos caracterizados por um conjunto de fibras emaranhadas de celulose formam uma estrutura complexa e compacta, cujas características também dependerão do tipo de material a ser processado (bagaço ou palha de cana e diferentes variedades de cana, entre outros).

Sua estrutura molecular apresenta grande dificuldade para degradação, como exemplo no processamento da madeira (SCRIBAN, 1985). Por esse motivo a procura por processos alternativos para reutilizar esses resíduos lignocelulósicos tem levado aos fungos comestíveis, particularmente aos da espécie que atacam a madeira, que degradam a fração da lignina do complexo e deixam os resíduos biotransformados, sem problemas toxicológicos. Exemplos de fungos lignocelulósicos são os fungos *Volvariellasp*, *Lentinula Edodese* *Pleurotussp* (NICOLLINI et al., 1993). Para a incorporação no adobe essa característica é favorável.

### 3.2.1.2 Propriedades físicas e mecânicas

A incorporação de fibras naturais ao solo foi pesquisada por Milanez (1958), que investigou a redução da resistência mecânica no adobe, devido à formação de canalículos ou poros com o apodrecimento desse material. Neumann, Bernales e Blondet (1984) em estudo da resistência à compressão comprovaram que o acréscimo de fibras no compósito com solos mais argilosos controla a microfissuração, contribuindo também para diminuir a plasticidade e retratibilidade. Segundo esses autores, suas principais propriedades são:

- impedir a fissuração durante a secagem;
- acelerar a secagem ;
- melhorar as propriedades mecânicas do adobe;
- melhorar a impermeabilização desde que combinada com estabilizantes como emulsões betuminosas, cal ou cimento.

Exemplificando, fibras de sisal e de coco são usadas no nordeste brasileiro em tamanhos de 2 a 5 cm em taxas de 0,5% a 2% em massa.

### **3.2.2 O bambu (*Bambusa spp.*)**

Sobre sua origem sabe-se que é uma planta ancestral, existente desde o início da civilização no período Cretáceo, antes da era Terciária na Ásia no ano de 1600 a.C. Tem denominação de “madeira dos pobres” na Índia, “amigo das pessoas” na China, e “irmão” no Vietnã. Tomas Edson utilizou o bambu com primeiro filamento em uma lâmpada e o modelo de avião *Demoiselle* de Santos Dumont foi estruturado com seus colmos. A cúpula de bambu do Taj Mahal é um exemplo de estrutura para cobertura em arco e abóboda (RIVERO et al., 2010). No Brasil os índios utilizavam como instrumentos manuais e em construções de habitações e estruturas, desenvolvendo técnicas específicas. Com a chegada dos portugueses, outras técnicas como a “taipa” foram introduzidas durante a colonização, sendo o bambu usado como reforço de estruturas (VASCONCELLOS, 2006).

O consumo mundial de bambu e seus produtos movimentam US\$ 10 bilhões atualmente, com previsão de duplicar até 2015. Equador e Colômbia são destaques no setor da construção, mas a difusão na América do Sul é desequilibrada (REVISTA BAMBU, 2010).

Ainda pouco utilizado no Ocidente, o bambu tem aplicação em todos os setores da cadeia produtiva, desde medicamentos, alimentação, vestuário, energia, papel e construção (Figura 8). Sua cultura é de rápido crescimento, sequestra carbono, é leve, resistente e versátil. Diante da oferta limitada de madeira certificada, e do novo modelo da construção civil, destaca-se por ser material não convencional, que atende plenamente aos requisitos ambientais e econômicos. Pode ser utilizado de várias formas desde escoramento, andaimes, estruturas, vedação, cobertura e até acabamento. Tem potencial para solucionar problemas como a habitação popular, e promove a geração de emprego e renda com responsabilidade social e sustentabilidade.



Figura 6 Produtos e construções com bambu  
Fonte: PRODUTOS ... (2013)

O bambu chega a fornecer 30 toneladas por hectare de fibras secas apropriadas para a produção de compósitos. A partir de suas fibras são produzidos desde suportes usados como estruturas na construção civil, compensados de várias espessuras, aglomerados para fabricação de móveis até misturas com concreto e argamassa. Sua utilização em larga escala no Brasil não acontece devido à falta de “cultura”, normatização e certificação.

A Ásia possui 62% das espécies nativas, as Américas 34% e os 4% restantes estão distribuídos na África e Oceania (figura9) (LOPES, 2003 apud PEREIRA; BERALDO, 2007). A Índia, Ceilão, Java, Colômbia, Equador e Venezuela produzem medicamentos, alimentação, casas e pontes. A China tem a maior produção mundial de bambu: 3,4 milhões de hectares plantados em 1997, onde é amplamente utilizado. O governo chinês prioriza desde 1970 as pesquisas em proteção, melhoramentos genéticos e processamento de painéis com bambu. Nesse país o bambu tem aproximadamente 4000 finalidades diferentes (HSIUNG, 1988 apud RIVERO et al., 2010).



Figura 7 Mapa de localização das espécies de bambu entre os trópicos assinalado em verde

Fonte: Lopez (2003).

Na América Latina vários países como Equador, Colômbia, e Costa Rica cultivam o bambu para vários usos e pesquisas, mas a Colômbia é o país que mais utiliza esse material em construções rurais e urbanas, sendo este o país que mais investe nesse setor, utilizando em pisos, estruturas e em paredes do tipo “taipa de mão”. A utilização de partículas de bambu incorporadas ao solo para fins construtivos como o adobe, não foi encontrada na literatura. O bambu é encontrado em quase todo território nacional, principalmente em Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e nas regiões Norte e Nordeste. O Brasil possui a maior diversidade de bambu das Américas, e o Acre ocupa papel estratégico nesse contexto, com mais de 600 mil hectares plantados, uma das maiores reservas nativas do mundo. O destino da produção brasileira limita-se à fabricação de “vara de pescar”, mobiliário, artesanato, brotos comestíveis, instrumentos e papéis de fibras longas. A empresa ITAPAGÉ S. A – Celulose, Papéis e Artefatos no estado do Maranhão, possui mais de 30.000 hectares, para a produção de celulose de fibra longa, de alta resistência, ideal para a fabricação de papel *kraft* (USOS..., 2013).

O mercado de painéis é pioneiro, mas falta ainda avançar em inovação tecnológica e políticas públicas de incentivo à cadeia produtiva e valorização dessa matéria-prima vegetal (REVISTA BAMBU, 2010).

Entre as instituições de pesquisa com bambu, no Brasil destaca-se a FAUUnB - Faculdade de Arquitura e Urbanismo da universidade de Brasília. O Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais - CPAB/UnB promoveu a criação da Rede Brasileira do Bambu - RBB em 2006. O III Seminário Nacional está previsto para 2014 em Campo Grande MS. Entre os seminários acontecem encontros regionais em todo o Brasil. Na PUC- Rio, o uso de bambu, resíduos agrícolas, minerais e industriais são investigados desde 1979, como alternativa de material de construção (GHAVAMI; CULZONI, 1987).

As pesquisas realizadas pela Embrapa, na Amazônia, são fundamentais para a utilização do bambu. Atualmente a Unidade coordena a Rede Acriana de Bambu, oficializada e cadastrada no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq. Em parceria com o governo do Estado e Embrapa, o órgão executa diversos projetos voltados para as indicações de uso, caracterização e identificação de espécies, ocorrência, manejo e conservação de bambuais.

No Peru aconteceu em novembro de 2012 o I Congresso de Bambu - *Intercambio de Experiencias en El uso del Bambú* (Norma técnica de *construcción sismo-resistente con bambu E-100*). Os temas abordados foram: mudanças climáticas; silvicultura; construções; e a Norma Técnica E-100.

O INBAR - *International Network for Bamboo and Rattan* é uma instituição internacional e intergovernamental que existe desde 1984, com possibilidades da participação do Brasil. Na Figura 8 são apontadas sedes representativas no mundo.

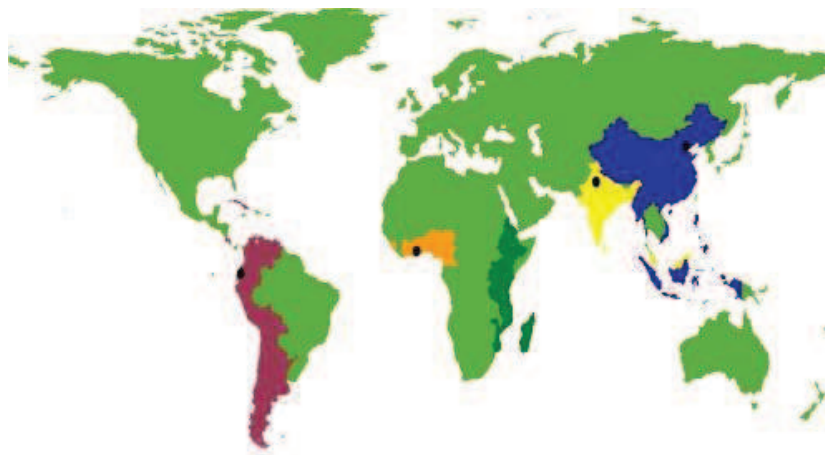


Figura 8 Mapa de localização das sedes mundiais da INBAR na China (Leste e Sudeste da Ásia), Equador (América Latina e Caribe), Ghana (Oeste da África), Etiópia (Leste da África) e Índia (Sul da Ásia)

Fonte: The International Network on Bamboo and Rattan - INBAR (2012).

### 3.2.2.1 Características anatômicas e químicas

A estrutura anatômica das espécies de bambu define suas propriedades. A região mais externa próxima à casca possui mais fibras, e a região mais interna possui parênquima com amido em suas células. Essas se orientam paralelas ao eixo de crescimento nos internós, e ocorrem em interconexões transversais nos nós. Por não possuir câmbio como a madeira não forma xilema e floema secundários, então não tem anel de crescimento, por isso o diâmetro não aumenta com a idade. É constituído de duas camadas de células epidérmicas que são protegidas por uma camada cutinizada e cera. Em seu interior possui uma camada espessa de lignina, e feixe de fibras (células esclerenquimáticas) que dificultam a movimentação de líquidos.

As fibras são aproximadamente 50% dos tecidos e ficam nos internós, sendo responsáveis pela resistência mecânica dos colmos. Representam 60% a 70% de sua massa. As partes mais altas dos colmos possuem a maior quantidade de fibras. O comprimento é intermediário entre pinus e eucalipto, entre 1,65 a 3,43mm (BERNSDEN, 2008). As dimensões das fibras variam em comprimento e largura dependendo da espécie.

A durabilidade é variável entre as espécies devido principalmente à concentração de amido. Vários pesquisadores relatam que, o “Bambu Brasil” ou “Bambu Imperial”- *Bambusavulgarisvittata* possui alta concentração de amido, portanto é mais susceptível ao ataque de insetos. Já o *Bambusa angustifolia*, com baixa concentração de amido, é o mais resistente a esses ataques.

O bambu é ortotrópico, heterogêneo e um composto polimérico, variando assim em estrutura, composição e características em todo seu volume e material orgânico (CRUZ, 2002 apud BERNSDEN, 2008). Sendo a celulose a principal responsável pelas propriedades mecânicas, forma em três planos ortogonais ligações distintas: hidrogênio, Van der Waals e covalentes. A lignina,

responsável pela rigidez e durabilidade, tem alta complexidade em sua composição química, por isso é pouco conhecida. Essas características trazem proteção contra o ataque de microrganismos. Os polissacarídeos de baixa resistência compostos de 150 a 200 moléculas de sacarose são encontrados na hemicelulose. Os tecidos do bambu são formados nas paredes das células por esses componentes orgânicos. A maior concentração de celulose biológica, hemiceluloses e lignina silícica estão na parte externa dos colmos. A composição química, em geral, comparando-se o bambu e as coníferas é semelhante (Tabela 9).

Tabela 9 Comparação entre composição química média do bambu e conífera

<b>Componente (%)</b>	<b>Bambu</b>	<b>Coníferas</b>
Celulose	55	50
Lignina	25	25
Hemicelulose	20	20
Peso/volume (kg/m <sup>3</sup> )	600	600

Fonte: Janssen (1981 apud NOGUEIRA, 2008).

### 3.2.2.2 Propriedades físicas e mecânicas

Em presença de água possui variações volumétricas e consequente perda de resistência e dificuldade de aderência com outros materiais. A espécie *Bambusa vulgaris schrad* proveniente do estado de Pernambuco tem densidade de  $0,552 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$  (FERNANDEZ, 2010). Azzini e Beraldo (2001) encontraram resultados entre 0,487 e  $0,619 \text{ g/cm}^3$  para a mesma espécie de bambu de dois anos de idade. Já Lee, Bai e Peralta (1994) e Wahab et al. (2009) encontraram para a mesma espécie e idade, valores entre 0,472 e  $0,565 \text{ g/cm}^3$  e 0,5 e  $0,79 \text{ g/cm}^3$ .



A resistência à compressão e à tração do bambu aumenta quando possui seis anos (BERALDO, 1987). Na curva de tensão x deformação no ensaio a compressão é quase linear e sua resistência à compressão situa-se na faixa de 20MPa com módulo de elasticidade entre 2,6 GPa e 20 GPa.

Partículas de *Bambus avulgaris* podem ser utilizadas na produção de chapas para uso interno empregando baixa dosagem de ureia-formaldeído (10%), quando comparada à quantidade necessária estabelecida na norma considerada (PAPADOPOULOS et al., 2004). Já Lee, Bai e Peralta (1996) produziram chapas aglomeradas de *Phyllostachys pubescens* utilizando diferentes alinhamentos de flocos e concluíram que o alinhamento proporcionou efeito significativo nas propriedades de flexão, quando comparadas às chapas produzidas com flocos dispostos aleatoriamente. A principal vantagem da inclusão de bambu em painéis é o aumento das propriedades relacionadas à flexão como os módulos de ruptura e elasticidade (HIZIROGLU et al., 2005; LEE; BAI; PERALTA, 1996). O uso da fibra de bambu como componente de fibrocimento foi estudado pelo pesquisador Prof. Holmer Savastano Jr. e colaboradores, que desenvolveram o processo “organossolve” cujo objetivo foi determinar a temperatura e o tempo ideais para a obtenção da fibra.

Portanto, apesar de alcançar alta resistência à tração e compressão o uso do bambu na construção apresenta alguns desafios. Os principais são: variação dimensional em função do teor de umidade e processos de secagem; susceptibilidade ao ataque de insetos; cura e tratamentos; aderência do bambu em composição com outros materiais; ligações entre peças de bambu; baixo módulo de elasticidade e fendilhamento. Outros aspectos que merecem atenção são: grande heterogeneidade dimensional; problemas de padronização da conicidade dos colmos; grandes deflexões das peças e alta variação nas propriedades físicas e mecânicas entre as espécies. O uso do bambu em partículas elimina muitos dos obstáculos citados acima.

### **3.3 A “Baba de Cupim Sintética”**

A “baba de cupim sintética” despertou interesse para a pesquisa devido principalmente a não toxicidade, ser coesiva e hidrofugante. A escolha da concentração do produto e do reagente depende da classificação do solo e da finalidade. Ensaio de laboratório definem as dosagens mais racionais e o reagente ideal. Segundo os fabricantes, o solo tratado com o produto torna-se estabilizado e dotado de maior capacidade de suporte para resistir às cargas, em decorrência da redução de sua expansão e sucção (capacidade de absorver água).

Quanto ao cisalhamento preconizado pelo ensaio de CBR- California Bearing Ratio, o aumento de resistência não é tão significativo, mas atende às exigências das normas técnicas vigentes. Na pavimentação as grandes vantagens são o grau de impermeabilização e a coesão, o controle da erodibilidade e da ascensão capilar, a possibilidade de estocar os solos tratados por longo período de tempo e a logística de transporte de materiais ativos a serem empregados pela obra. O DS-328<sup>®</sup> pode ser misturado em qualquer tipo de solo e no próprio local de produção, não deteriora com o tempo mantendo-se homogêneo e permite interrupção.

#### **3.3.1 Conceito e história**

O produto surgiu da necessidade de melhorar a qualidade de estradas de terra que ficavam intransitáveis na época das chuvas, e no período da seca pelo excesso de poeira. Na década de 50, para minimizar esses problemas utilizou-se o solo dos cupinzeiros, naturalmente estabilizado, que era esparramado nos pontos mais críticos. Foi criado e patenteado em 1972 pela empresa Dynasolo S. A. Indústria e Comércio. Foram necessários 12 anos de pesquisa, com 328 formulações em diversos tipos de solos, que culminaram no produto sintético.

A tecnologia da estabilização química de solos por via líquida é o único procedimento de pavimentação em que sua exposição é permitida sem nenhum revestimento, por longo período de tempo sem causar maiores danos. As transformações e interações das misturas de solos com esses aditivos estabilizantes são irreversíveis, devido aos compostos minerais que se formam na estrutura molecular dos solos tratados serem de caráter insolúvel e permanente. A denominação comercial do produto é DS-328<sup>®</sup>, e devido a suas características foi escolhido como estabilizante para incorporação na composição do adobe, com e sem partículas lignocelulósicas.

### **3.3.2 Características físicas e químicas**

De acordo com seus fabricantes é um produto químico de origem metal-orgânica (sal orgânico) derivado da composição de óleos vegetais (mamona, entre outros) não inflamável e não tóxico. Atua como impermeabilizante estável e permanente da fração fina do solo que são partículas coloidais como argila e óxidos, protegendo-os da ação da água tanto superficial quanto subterrânea. A “baba de cupim sintética” é um produto líquido de coloração verde, com densidade mínima a 25°C de 1,035g/cm<sup>3</sup>, e pH em solução a 1% de 10,5 mínimo. Tem total solubilidade em água, sendo insolúvel em álcool etílico (1% no máximo). Não turva, não precipita, e não muda de estado físico. Sua vida útil é de 15 anos desde que devidamente acondicionado.

A neutralização das cargas eletromagnéticas, pela troca de cátions estável e permanente, impede a formação da camada de água adsorvida, que provoca o afastamento entre as superfícies das partículas. Assim, o solo estabilizado terá reduzido ao mínimo sua absorção, tornando-se mais impermeável. Esse processo está associado à capacidade do solo em troca de base entre os cátions de carga mais forte e os íons de carga mais fraca na

superfície das partículas de argila, onde já ocorre agrupamento de cátions. Nessa superfície, então há predominância de cátions. Considerando que a ligação entre duas partículas de argila depende da carga e do tamanho dos íons na interface, ocorre uma atração maior que provoca floculação das partículas (MITCHELL; DIAMOND, 1961).

Nos pontos de contato dos grãos os filmes de água solidificada interpenetram-se, estabelecendo um vínculo rígido entre eles ocorrendo coesão verdadeira. Com menor intensidade uma segunda camada de água sujeita a pressões também contribui para essa coesão. Suas propriedades são as de líquido viscoso preso aos grãos. É a camada de água adsorvida atraída por forças moleculares suficientemente elevadas para imobilizá-la. O restante da água é livre e movimenta-se pela ação da gravidade nos canalículos do solo.

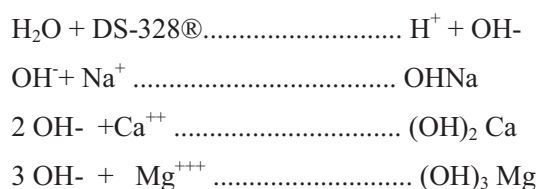
Portanto, a troca de base está relacionada à umidade do solo, que inclui águas drenáveis e não drenáveis. Ambas são reduzidas por evaporação ou compactação. As águas drenáveis são as águas livres ou intersticiais reduzidas por gravidade, evaporação e compactação. As águas não drenáveis ou higroscópicas (adsorvidas) formam-se pela ação das cargas elétricas negativas contidas nas superfícies dos argilo-minerais constituintes da argila, e são devidas à umidade ambiental e à capilaridade por efeito da tensão superficial em relação à porosidade do solo. Essas cargas criam ao redor dos argilo-minerais um campo elétrico, o qual atrai as moléculas bi-polares da água e dos cátions nela absorvidos. Essa água é constituinte do solo e determina sua estabilidade, sua redução é decisiva para a união das partículas do solo por coesão, mas como o enlace eletroquímico é muito forte ( $>20.000\text{atm}$ ) não pode ser retirada por procedimentos mecânicos.

O DS-328<sup>®</sup> (“baba de cupim sintética”) em contato com os reagentes e o solo, forma um composto metalo-orgânico insolúvel e permanente, cuja ação se exerce por uma coesão estável entre as partículas do solo. As partículas finas de

argila, devido à sua composição mineralógica, têm em sua superfície excesso de íons negativos (ânions), pelos quais são atraídos os íons positivos (cátions) da água, aderindo-os fortemente, formando a água absorvida. Quanto mais espessa a camada mais se distanciam as superfícies das partículas, diminuindo assim, a intensidade do campo elétrico e a energia térmica das moléculas de água faz com que essas partículas, que têm a forma lamelar, se movimentem e provoquem um desequilíbrio entre elas, promovendo uma expansão do solo e redução de resistência.

Portanto, a maneira de estabilizarmos um solo, será conseguir reduzir ou eliminar a adsorção devido à sua composição química ter um enorme potencial de troca iônica. O DS-328® atua então como um catalizador, promovendo e facilitando a troca iônica e permitindo maior coesão entre as partículas finas dos solos, impermeabilizando-as. Sua forte ação aglutinante é devido ao fenômeno da troca de base, ocorrendo uma atração maior entre as superfícies das partículas das argilas, com a conseqüente floculação e decantação das mesmas, não permitindo sua lixiviação da composição estrutural do solo tratado.

Quando se introduz pequenas quantidades do produto em água ativam-se os íons  $H^+$  e  $(OH)^-$  da água, que provoca um intercâmbio de suas cargas elétricas com as partículas de solo, provocando na água absorvida um rompimento do enlace eletroquímico, desprendendo-as e convertendo-as em água livre, a qual drena por gravidade, evaporação e compactação. Essa reação eletroquímica de troca iônica provoca a aproximação das partículas, é estável e permanente. A troca catiônica é uma reação estequiométrica, isto é, o aumento da concentração de um determinado cátion, no caso o  $H^+$ , faz com que ele substitua os demais.



Por outro lado, o oxidrilo em presença do estabilizante DS-328®, poderá se decompor em O e H.

$\text{OH} + \text{DS-328}^{\circledR} \dots\dots\dots \text{O}^- + \text{H}^+$  promovendo assim, a reação de oxidação da matéria orgânica.

Outras reações poderão ocorrer, como por exemplo, a formação do gás H e posterior formação de novas moléculas de água.



Assim sendo, através dessa troca catiônica consegue-se:

1. redução da espessura da camada de água adsorvida;
2. floculação e aglutinação das partículas finas dos solos;
3. pela combinação dos dois exemplos citados, ocorre uma redução na superfície específica do solo, portanto menos água poderá ser absorvida, diminuindo a expansão e a contração do solo, aumentando sua impermeabilidade, resistência ao cisalhamento, compressão e penetração.

Existem diversos estudos sobre a utilização da “baba de cupim sintética” (DS-328®) em pavimentação que, de acordo com as propriedades do solo determinam a solução do estabilizante e reagente adequados. Os ensaios de Proctore Capacidade de Suporte CBR (Índice de Suporte Califórnia- ISC) na energia intermediária com o solo “*in natura*”, CBR com energia intermediária, caracterização, CBR com adição do estabilizante e seus reagentes devem ser executados.

As concentrações são calculadas sempre em relação à massa de solo seco. Na pavimentação as concentrações utilizadas são de 1:1000 a 1:2000, com reagente sulfato de alumínio a 1:5000 para solos, predominantemente arenosos e argilo-arenosos. Para solos muito argilosos e siltosos as concentrações variam de 1:1500 a 1:2000 com reagente cal hidratada de 2 a 3% em peso. Os coeficientes estruturais estabilizados com DS-328® são:  $k=1,2$  ( $\text{CBR} \geq 80\%$ ) para base;  $k=1,0$  ( $\text{CBR} \geq 30\%$ ) para sub-base; e para reforço do subleito  $\text{CBR} \geq 15\%$ . O ideal é utilizar esse estabilizante para solos de granulometria intermediária. O ensaio de compressão não é realizado porque a tecnologia do produto tem por finalidade o tratamento químico do solo por coesão e não por cimentação. Observou-se que os solos estabilizados nos ensaios descritos apresentaram uma adequada resistência à ação da água e estrutural.

Os resultados da estabilização química com DS-328® variam com o solo utilizado, as dosagens aplicadas e as reações obtidas como troca de íons e floculação. Entre os resultados estão: redução substancial da plasticidade; modificações granulométricas devido aos fenômenos de coesão e impermeabilização; eliminação das características expansivas; aumento da resistência; controle da ação da água por gravidade, capilaridade e tensão de sucção; e durabilidade.

Outro aspecto interessante da utilização dessa tecnologia é o que diz respeito à sua possibilidade de utilização em solos locais, além de permitir maior facilidade para atingir a densidade desejada nos serviços de compactação e poder ser retrabalhada várias vezes, caso necessário, sem prejudicar as características da mistura e sem perda de materiais.

A reação do produto no solo é realizada de maneira lenta e progressiva, portanto para acelerar as reações entre os componentes do DS-328® e o solo ocorre formação de um composto metalo-orgânico insolúvel permanente e impermeável. As possibilidades de reagentes são: sulfato de alumínio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;

cal hidratada; e cimento Portland. O reagente sulfato de alumínio (sal químico metálico solúvel e mágua) é indicado para solos não plásticos, de predominâncias arenosas e/ou argilo-arenosas, dos tipos A.2-4, A.2.5 e A.2.6 (classificação HRB). Foi escolhido devido à granulometria arenosa do solo estudado após correção granulométrica.

### 3.3.3 Aplicabilidade

O produto foi desenvolvido para estabilização de solos utilizados na pavimentação de estradas, ruas, pátios de estacionamento e indústrias, aeroportos, taludes, lagoas e diversos ramos da construção civil. O fornecimento é em tambores lacrados com 200 kg. O custo atual por unidade é de R\$2.750,00. A dosagem do DS-328<sup>®</sup> para pavimentação é calculada em função da massa de solo seco a ser estabilizada. Usualmente é 1:1.000, ou seja, 1 kg de DS-328<sup>®</sup> para 1.000 kg de solo seco, mas pode variar de 1:1.000 a 1:2.000. Para pavimentação utiliza-se, normalmente, a dosagem 1:1000 na base, 1:2000 na sub-base e 1:2500 para reforço. O reagente é escolhido de acordo com a granulometria do solo:

- sulfato de alumínio para solos arenosos e argilo-arenosos: pó branco, fornecido em sacos de 40 kg e solúvel em água. Sua dosagem é sempre 1:5.000 que corresponde a 1 kg de sulfato de alumínio para 5.000 kg de solo seco. O sulfato de alumínio deve ter no mínimo um teor de 16% de alumina.
- cal hidratada ou cimento para solos muito argilosos e siltosos: na dosagem de 1% a 3% em relação à massa de solo seco. Esses reagentes são normalmente utilizados para solos que possuem muitas partículas finas. A cal hidratada deve ter no mínimo um teor de 65%



de óxido de cálcio. O reagente cal é um material resultante da calcinação de rochas carbonatadas em altas temperaturas e posterior pulverização, cujas matérias-primas utilizadas apresentam variação em suas propriedades químicas e físicas. Portanto, essas diferenças interferem no comportamento da cal, quando utilizadas para fins de estabilização de solos. A cal hidratada em quantidade adequada, com boa qualidade e de teor de óxido de cálcio ativo compatível, provoca principalmente nos solos plásticos, predominantemente argilosos e/ou siltosos as seguintes reações: troca iônica; ação pozolânica; carbonatação. Essas reações promovem profundas modificações nas características estruturais dos solos nos seguintes aspectos: redução na plasticidade do solo; redução da fração argila na granulometria do solo; redução na expansão e contração do solo; secagem aparente das argilas muito úmidas; aumento da capacidade de suporte do solo; redução da densidade e do teor da umidade ótima de compactação do solo; aumento do pH, fenômeno este que pode ser utilizado na determinação da aptidão do solo a ser estabilizado.

A “baba de cupim sintética” foi estudada em BTCs por Faria, Battistelle e Neves (2012) em 0,1% (1:1000) em peso de solo seco com o reagente CP V-ARI (cimento Portland de alta resistência inicial) em 1, 2, e 3%. A composição granulométrica do solo foi de 18,2% de argila, 5,3% de silte e 76,5% de areia. Para o cimento nas proporções de 1% e 2%, os resultados foram inferiores aos limites aceitáveis para os materiais de construção; para 3% de cimento, houve um ganho de 34,8% na resistência à compressão e a redução de 12,3% na absorção de água.

#### 4 Tijolos não convencionais

Os produtos fabricados com as fibras de celulose são mais leves, mais fáceis de transportar e manusear tem maior isolamento térmico e os produtos com fibras economizam com aquecimento, no Brasil e no mundo, inúmeras pesquisas utilizam fibras e resíduos vegetais. Grande parte dos estudos com compósitos utilizam o cimento como matriz. A redução do consumo do cimento ou até mesmo sua substituição pelo solo já apresenta alguns resultados promissores como exemplificado a seguir.

Em pesquisas com blocos de terra comprimida (BTCs) a utilização da vinhaça (resíduo da cana-de-açúcar) apresentou resultados de resistência à compressão de 1,92 MPa para solo arenoso, e 1,7 MPa para solos argilosos (FREIRE; ROLIM, 1998).

Ferreira e Freire (2005) estudaram estabilizantes químicos (solo-cal e solo-cimento) associados ao silicato de sódio, para tijolos moldados no formato de minipainéis em ensaios destrutivos e não destrutivos (acústico do ultrassom). Os melhores resultados de resistência à compressão, absorção de água e propriedades elásticas (módulo dinâmico), foram obtidos pelo solo arenoso com 10% de aglomerante associado ao silicato de sódio. Esse promove a melhoria das propriedades físico-mecânicas relacionadas à resistência e à durabilidade dos BTCs (FERREIRA, 2003).

A incorporação de serragem da madeira de *Eucalyptus* no processo de produção do tijolo maciço cerâmico reduziu o peso em 5%, mas houve perda na resistência à compressão (COVEZZI, 2003). A mistura argila-serragem foi considerada viável tecnicamente.

O biokreto, patenteado em 1995, é uma mistura de cimento com bambu moído e outras fibras vegetais que pode ser empregado na fabricação de blocos de concreto, tijolos, calçadas, telhas onduladas, muros, e bancos (PEREIRA;

BERALDO, 2007). Quando as partículas de vegetais são misturadas ao cimento ocorre a "incompatibilidade química madeira-cimento", devido à presença de açúcares. Ocorre então a perda de qualidade do produto. A fervura ou banho com solução de cal por 24 horas nas fibras reduz o problema. A resistência à compressão pode apresentar o dobro da resistência do tijolo cerâmico maciço, e no mínimo quatro vezes a de um tijolo cerâmico vazado "baiano". Há redução de peso e resistência aos agentes biológicos, aos choques e facilidade de moldagem.

Tijolos cerâmicos com resíduos das indústrias alimentícias de óleos, manteigas e margarinas foram desenvolvidos pela pesquisadora Raquel Valério de Souza Florêncio do Instituto de Geociências da USP. A incorporação de 1% dos resíduos reduz 5% em resistência mecânica devido à porosidade, mas atende à ABNT (2004). Esses resíduos são compostos por argilominerais, óleos, impurezas das sementes e de metais pesados. A proposta ecológica reduz as substâncias hoje descartadas em aterros sanitários que impermeabilizam e sujam o solo com contaminação de aquíferos por materiais de natureza orgânica e inorgânica. A fabricação de tijolos tem redução de custo, e a produção de uma olaria de porte médio é mais que suficiente para absorver o lixo derivado da agroindústria paulista. Uma fábrica média de cerâmica produz 12 mil toneladas de tijolos por mês. As 120 toneladas de resíduos são exatamente 1% desse total (TIJOLO..., 2000).

Tijolos e blocos cerâmicos sinterizados são fabricados com resíduos da fabricação de papel. A composição é de 10 a 30% de celulose e 70% de caulim, que resulta em melhor acabamento e maior resistência ao impacto (CAZZONATTO; ARMELIN; NOLASCO, 2004). Não há disposição desse resíduo sólido, reduzindo os custos e riscos ambientais para as indústrias de papel. Há redução em 10% no consumo de energia, e redução de custo em 12%. Desde 1999, a Votorantim Celulose e Papel supre a demanda de quatro cerâmicas de Piracicaba, interior de São Paulo, que utilizam 900 toneladas de

resíduos dessa indústria como insumo na fabricação de tijolos. O reaproveitamento dos resíduos evita gastos com a abertura de valas, a manutenção do terreno, dos efluentes e o trabalho de monitoramento do lençol freático. A economia para a empresa é de US\$13,5 mil por ano.

Battistelle (2002) verificou a degradação dos tijolos de adobe com a inserção de 20%, 25% e 30% de resíduo de papel e celulose em meio do intemperismo natural. Os traços com porcentagem de celulose (fibras) nas misturas permaneceram praticamente intactos, apresentando apenas alguns pontos de desgastes, enquanto que os tijolos fabricados apenas com o solo arenoso já estavam desagregados por completo no início do segundo mês.

Atualmente, o reaproveitamento de resíduos resultantes de atividades industriais vem se tornando um dos pontos mais importantes na melhoria dos aspectos produtivos, como também na minimização de problemas ambientais decorrentes da forma de produção e do descarte final do resíduo gerado no decorrer do processo de produção. Dessa maneira, as indústrias buscam implantar um sistema de gestão ambiental, para aproveitamento do resíduo como matéria-prima para a fabricação de novos materiais.

Tijolos de adobe com incorporação de lodo residual gerado pela produção de papel na indústria Votorantim Celulose e Papel (VCP), município de Jacareí, SP-Brasil, são desenvolvidos em parceria com universidades (UNESP - Bauru e USP - São Carlos). Após análises químicas e toxicológicas do lodo residual, obteve-se uma composição de aproximadamente 58,9% de fibras, sendo classificado como Classe II, segundo a NBR 10.004/04 (ABNT, 2004). Os tijolos de adobe foram produzidos com solo arenoso nos traços 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40% em volume de resíduo. Foram realizados diversos ensaios para caracterização dos tijolos: retração; absorção de água; e resistência à compressão; intemperismo; gotejamento; verificação da ação do fogo (perda de massa, propagação das chamas e ensaio de incombustibilidade).

As características térmicas e acústicas também foram avaliadas. O traço escolhido foi de 20% a 25% de resíduo. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso do resíduo em tijolos de adobe, com bons níveis de resistência, manuseio, leveza e durabilidade.

Tijolos de adobe produzidos com fibra de coco verde trazem um grande benefício ambiental, tanto pela redução da quantidade de terra extraída, quanto pela redução de resíduos nos aterros sanitários. O custo dos tijolos de adobe produzido com fibras de coco verde é superior aos tijolos sem fibras, mas as características físicas e ambientais são superiores (SOARES et al., 2008). Na avaliação dos tijolos de adobe produzidos com fibras de coco como alternativa ambiental considera-se que os mesmos são viáveis. Entre as vantagens temos: otimização da utilização da matéria-prima, eficiência no encapsulamento de um resíduo agroindustrial de difícil degradação, valor nulo de gasto energético (SILVA; JERÔNIMO, 2012).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: solo-ensaio de compactação: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo maciço de solo cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984c. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

AZZINI, A.; BERALDO, A. L. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Campinas: UNICAMP, 2001. 12p.

BARBOSA, N. P. **Considerações sobre materiais de construção industrializados e não convencionais**. João Pessoa: UFPB, 2005.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K.; GONÇALVES, J. S. Proposta de norma brasileira de adobe. In: SISMOADOBE, 1., 2005, Lima. **Anais...** Lima: Pontifícia Universidade Católica del Perú, 2005. 1 CD ROM.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. In: ISAIA, G.C. (Org.). **Terra crua**. São Paulo: Ibracon, 2007. v. 2, p. 1505-1557.

BARDOU, P.; ARZOUMANIAN, V. **Arquitetura de adobe**. 2. ed. Barcelona: G. Gilli, 1981. 165p.

BATTISTELLE, R. A. G. **Análise da viabilidade técnica da indústria de celulose e papel em tijolos de adobe**. 2002. 176 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BERALDO, A. L. Bambucreto: o uso do bambu com reforço do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1., 1987, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí: CONBEA, 1987. p. 521-530.

BERNDSSEN, R. S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachys pubescens*)**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998. 312 p.

CARVALHO, R. M. **Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados**. 2012. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

CARVALHO, R. M.; VARUM, H.; BERTINI, A. **Terra crua como sistema construtivo no estado do Ceará- levantamento das construções em adobe na região norte do estado**. 2010. Disponível em: <[http://ria.ua.pt/handle/10773/7758?mode=full&submit\\_simple=mostrar+registo+em+formato+completo](http://ria.ua.pt/handle/10773/7758?mode=full&submit_simple=mostrar+registo+em+formato+completo)>. Acesso em: 23 jan. 2013.

CAZZONATTO, A. C. ; ARMELIN, M. C.; NOLASCO, A. M. Aproveitamento de resíduo da indústria de papel na fabricação de tijolo compactado. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 12., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SIICUSP, 2004.1 CD ROM.

CENTRE INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCTION EN TERRE - CRATerre. **Construire en terre**. Paris, 1979. 270 p.

CORRÊA, A. A. R. et al. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n. 3, p. 503-515, 2006.

COVEZZI, M. M. **Utilização da serragem de Eucalyptus para a produção de tijolo maciço cerâmico**. 2003. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

FARIA, O. B.; BATTISTELLE, R. A. G.; NEVES, C. Avaliação preliminar da Influência da adição de "baba de cupim" em características físicas e mecânicas de solo-cimento compactado. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 4., 2012, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFCE, 2012. 1 CD ROM.

FARIA, O. B. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. 2002. 199 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

FERREIRA, R. C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos emini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. 2003. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

FERREIRA, R. C.; FREIRE, W. J. Desempenho físico-mecânico de minipainéis de terra crua tratada com aditivos químicos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, Sept./Dec. 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS / THE STATISTICS DIVISION OF THE FAO **Base de dados**. 2007. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 18 mar. 2012.

FRATINI, F. et al. The earth in the architecture of the historical centre of Lamezia Terme (Italy): characterization for restoration. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 53, p. 509–516, 2011.



FREIRE, W. J.; RAMIREZ SARMIENTO, C. Argamassa de cimento e areia combinada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 1-8, dez. 1997.

FREIRE, W. J.; ROLIM, M. M. Resistência à compressão de tijolos fabricados com solo-vinhaça concentrada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 3, p. 1-8, mar. 1998.

GHAVAMI, K.; CULZONI, R. A. M. Utilização do bambu como material em habitação de baixo custo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE HABITAÇÃO, 1., 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1987. p. 181-188.

GONÇALVES, J. S. **Contribuição para a normalização da alvenaria estrutural com o uso de tijolos de terra crua para construções urbanas**. 2005. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

GUPTA, T. N. Materials for the human habitat. **MRS Bulletin**, Pittsburgh, v. 25, n. 4, p. 60-63, Apr. 2000.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. *Traité de construction en terre CRATERRE*. In: *L'ENCYCLOPÉDIE de la construction en terre*. Paris: Parenthèses, 1989. v. 1, 300 p.

INOVAÇÃO tecnológica: USP solicita patente para produto alternativo ao amianto. 2004. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160040513>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; PERALTA, P. N. Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina. **Forest Products Journal**, Madison, v. 44, n. 9, p. 40-46, 1994.

LEÃO, M. A. **Fibras de licuri**: um reforço alternativo de compósitos poliméricos. 2008. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LENGEN, J. V. **Manual do arquiteto descalço**. São Paulo: Empório do livro, 2009.

LOPEZ, O. H. **Bamboo**: the gift of the Gods. Bogotá: D'vinni, 2003. 553 p.

MATTOSO, L. H. C. et al. Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, São Carlos, n. 3, p. 1-4, nov. 1996.

MESQUITA, R. G. A. **Inclusão de materiais lignocelulósicos na produção de compósitos plásticos**. 2013. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MILANEZ, A. **Casa de terra**: as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo. São Paulo: SESP, 1958. 122 p.

MINKE, G. **Manual de construcción en tierra**: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. 2. ed. Montevideo: Fin de Siglo, 2005.

MOTA, R. C. S. **Análise de viabilidade técnica de utilização da fibra de bananeira com resina sintética em compósitos**. 2010. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

NEVES, C. M. M. et al. **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra**: práticas de campo. 2005. Disponível em: <<http://www.redproterra.org>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

NEUMANN, J. V.; BERNALES, J. B.; BLONDET, M. **Resistência sísmica de lamamposteria de adobe**. Lima: Pontificia Universidade Católica del Peru, 1984. 19 p.

NOGUEIRA, C. L. **Painel laminado colado de bambu estrutural**. v. 1. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira).ESALQ/USP.Piracicaba. 2008. 94 p.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. **NTE E.080**: reglamento nacional de construcciones. Lima, 2000. p. 17.

PACHECO, A. A. R. C.; DIAS JÚNIOR, M. S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. **Revista Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 176-190, 1990.

PEDRESCCHI, R. **Aproveitamento do bagaço de cana da usina sucroalcoleira na produção de painéis aglomerados**. 2009. 49 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. 49 p.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2007. 239 p.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS / INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa\\_resultados.php?id\\_pesquisa=40](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40)>. Acesso em: 21 jan. 2013.

PICCHI, F. A.; CINCOTTO, M. A.; BARROS, J. M. C. Tijolos de solo cal. **A construção**, São Paulo, v. 2017, p. 25-30, 1986.

PIÑON, J. P. et al. Melhoramento das propriedades mecânicas e hidrofóbicas de adobes para indústria de edificio através da adição de agentes poliméricos. **Construção e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 42, p. 877-883, 2007.

PRODUTOS e construções com bambu. Disponível em: < <https://www.google.com.br/search?q=Produtos+e+constru%C3%A7%C3%B5es+com+bambu&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=Qq2XUpzEG4OzsATerICACw&ved=0CHEQsAQ&biw=1366&bih=666>>. Acesso em: 223 jan. 2013.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros**: interpretação e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192p.

REVISTA BAMBU. Brasília: CPABUnB, 2010.

RIVERO, L. **Laminado colado e contra-placado de bambu**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

RODRIGUES, R. **Caderno de conservação preventiva e preservação arquitetônica**. Rio de Janeiro: Instituto Cultural Cidade Viva, 2008. 60 p. (Inventário das Fazendas do Vale do Paraíba Fluminense).

RUIZ, L. E. H.; LUNA J. A. M. **Cartilla de pruebas de campo**. Conescal: [s. n.], 1983. 72 p.

SCRIBAN. **Biocologia**. São Paulo: Manole, 1985.

SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA, 13., 1976, New York. **O consumo de energia para a construção civil**. New York: Grupos de Pesquisa da Universidade de Illinois, e Richard G. Stein e Assoc, Arquitetos, 1976.

SOUZA, S. M. T. **Tijolos de terra crua reforçada com fibras vegetais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1993.

STANDARDS ASSOCIATION OF ZIMBABWE. **SAZS 724**: rammed earth structures. Harare, 2001.

STANDARDS AUSTRALIA. **AS 3700**: masonry structures. Sydney, 2001.

STANDARDS AUSTRALIA. **HB 195**: the Australian earth building handbook. Sydney, 2002. 151 p.

STANDARDS NEW ZEELAND. **NZS 4297**: engineering design of earth buildings. Wellington, 1998a.

STANDARDS NEW ZEELAND. **NZS 4298**: materials and workmanship for earth buildings. Wellington, 1998b.

THE INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATTAN. **International model building code for bamboo**. [S. l.], 1999.

TIJOLO de margarina. **Jornal do Brasil**. 2000. Disponível em: <<http://inventabrasilnet.t5.com.br/tijolo.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

TOLEDO FILHO, R. D.; ENGLAND, G. L.; GHAVAMI, K. “Comportamento e compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais: relação tensão-deformação experimental e processo de fratura”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 79-88, 1997.

USOS do Bambu. Disponível em: <<http://www.bambubrasilia.com.br/ usos.php>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

VALE, J. L. R. **Técnicas vernaculares, preservação e sustentabilidade: um estudo de caso da técnica de adobe no distrito de Vitoriano Veloso (Bichinho), Prados, Minas Gerais**. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013. 196 p.

VARUM, H. et al. **Caracterização dos solos e adobes usados na construção los Camabatela, Angola.** Lisboa: Argumentum, 2007. p. 94-96.

VASCONCELLOS, R. M. Bambúes en Brasil, una sión histórica y perspectivas futuras. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DEL BAMBÚ, 3., 2006, Guaiquil. **Anais...** Guaiquil: La Universidad Católica Santiago de Guaiquil, 2006. 1 CD ROM.

WALKER, P.; MANIATIDIS, V. **A review of rammed earth construction.** Bath: University of Bath, 2003. 108 p.

## **CAPÍTULO 2**

### **CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

## **1 INTRODUÇÃO**

O conhecimento dos materiais componentes do adobe é fundamental para determinar sua qualidade. Este capítulo trata então da caracterização do solo e das partículas lignocelulósicas escolhidas. O solo foi avaliado em testes de campo aferidos por ensaios de mineralogia (DRX), composição granulométrica, plasticidade e compactidade. Para as partículas lignocelulósicas de bambu (*Bambusa vulgaris vittata*) e bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foram feitos dimensionamento com razão de aspecto das partículas, análises de densidade básica, e composição química. A visualização das amostras no microscópio estereoscópico auxiliou a caracterização das partículas lignocelulósicas.

## **2 OBJETIVO**

Caracterizar o solo e as partículas lignocelulósicas utilizados para a produção dos adobes.

## **3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO**

A amostra de solo foi coletada no município de Lavras, que se localiza na região centro-sul de Minas Gerais, a uma latitude 21°45' S e longitude 45° 00'W com altitude média de 918 metros, e precipitação anual de 1493 mm. As análises de caracterização foram realizadas nos laboratórios de Física e Mineralogia do Solo, e Laboratório de Micromorfologia de Absorção Atômica do Departamento de Ciências do Solo (DCS), de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da Universidade Federal de Lavras - UFLA. A amostragem inicial foi de 30 kg, retirada em



diversos pontos do local escolhido, no horizonte BC - profundidade média de 1,20 metros, livre de matéria orgânica. Após serem reservados alguns torrões, a amostra passou pela peneira nº 4 (abertura de 4,75 mm) foi destorroada, homogeneizada e seca ao ar.

### 3.1 Metodologia

A metodologia apresentada abrange desde testes de campo de simples execução, até ensaios de laboratório com equipamentos de alta resolução. Demonstra que existem procedimentos simples para o conhecimento preliminar do solo, que auxiliam na identificação de suas principais características para a construção com terra.

#### 3.1.1 Testes de campo

A amostra de solo foi submetida aos testes de campo preliminares para sua identificação, classificação, granulometria, e contração linear. A execução é simples, mas requer conhecimento e prática para que as conclusões correspondam à classificação correta. Os testes descritos a seguir foram selecionados por apresentarem resultados bem próximos dos ensaios de laboratório (Tabela 1).

Tabela 1 Testes de campo para caracterização do solo

<b>Identificação e finalidade</b>	<b>Referencial</b>
Identificação visual e tátil	(NEVES et al., 2005; PACHECO; DIAS JÚNIOR, 1990)
Lavagem do Solo (% de areia)	(MILANEZ, 1958 apud PACHECO; DIAS JÚNIOR, 1996)
Teste da Caixa (contração linear)	(RUIZ; LUNA, 1983)

### 3.1.1.1 Identificação visual e tátil

O objetivo dos testes foi determinar a predominância granulométrica da amostra. Foram feitas anotações em planilha específica que inferem sobre a textura da amostra, observando-se a presença de argila, silte, e areia. Os testes executados são descritos a seguir (Figura 1).

- A. Dureza:** moldagem de uma pastilha de 5cm de diâmetro e 2cm de espessura com o solo e água, após secagem foi pressionada entre os três dedos na tentativa de rompê-la. A argila oferece mais resistência.
- B. Cor:** observou-se a coloração do solo seco, quando claro e brilhante inorgânico e castanho-escuro, verde-oliva ou negro solo orgânico.
- C. Odor:** umedeceu-se o solo e identificou-se a presença ou não de matéria orgânica pelo odor semelhante ao mofo.
- D. Identificação visual e tátil:** com a amostra de solo seco na palma da mão esfregou-se com o dedo indicador da outra e observou-se a rugosidade das partículas. Os solos arenosos são mais ásperos e os siltes e argilas pouco ásperos. Após umedecer a amostra observou-se pela fricção das mãos a presença de grãos (areias) e/ou a sensação de pasta escorregadia (silte e/ou argila).
- E. Sujar as mãos:** esfregou-se o solo úmido na palma da mão deixando sobre água corrente; se o material solta-se com facilidade é silte, se é de difícil limpeza, gruda nas mãos, é argila.
- F. Mobilidade da água intersticial:** apertou-se o solo úmido na palma das mãos com os dedos observando a absorção da água; nos solos arenosos a absorção é rápida e nos argilosos é média.

- G. Desagregação do solo submerso:** colocou-se uma amostra do solo (torrão) em estado natural em um recipiente com água; se ocorre desagregação rápida é mais arenoso; se a desagregação é média à lenta o solo é mais argiloso.
- H. Brilho:** adicionou-se água numa amostra de solo moldando uma bola do tamanho da mão, corta-se ao meio e observa-se quando as superfícies brilhantes são argilas, superfícies com pouco brilho são siltes, superfícies sem brilho são areias.
- I. Queda da bola:** umedeceu-se a amostra moldando uma bola de 3 cm de diâmetro, então essa foi solta a uma altura de 1 metro, em piso cimentado ou liso, quando desagrega é solo arenoso se coeso é argiloso.
- J. Presença de minerais:** foram analisados de acordo com a coloração, se brancos e cinzas são coral, calizas ou gesso, facilmente erosíveis; cinza-claro são limos e/ou carbonatos de cálcio, pouca coesão, corroem facilmente; amarelo e ocre são hidrato de carbono; vermelho a castanho-escuro óxido de ferro.



Figura 1 Testes de identificação visual e tátil. A-Cor. B- Sujar as mãos. C-Desagregação do solo submerso. D-Brilho

#### 3.1.1.2 Lavagem do solo

O método de lavagem de solo (MILANEZ, 1958 apud PACHECO; DIAS JÚNIOR, 1990) foi o teste de campo escolhido para determinar a porcentagem de areia. Como o próprio nome indica o procedimento desse teste foi lavar o solo até que todas as partículas finas fossem extraídas, restando apenas a porcentagem de areia da amostra.

- A. O solo peneirado em malha  $n^{\circ}4$  foi colocado a uma altura determinada (6 a 8 cm) em vidro cilíndrico transparente com tampa, de boca larga de aproximadamente 15 cm. O solo foi nivelado e medido a altura correspondente.

- B.** Colocou-se água até encher  $\frac{3}{4}$  do volume do vidro e agitou-se fortemente.
- C.** Após 2 a 3 minutos em repouso, a areia ficou depositada no fundo do vidro e a água turva que contém partículas finas foi derramada.
- D.** O processo foi repetido até que a água ficasse transparente.
- E.** Mediu-se a altura da areia contida no vidro.
- F.** Calculou-se a proporção entre a medida da areia e a medida inicial, encontrando-se a porcentagem de areia no solo.

#### 3.1.1.3 Contração linear

O teste proposto por Ruiz e Luna (1983) demonstra visualmente a variação no tamanho da amostra e outras características, como a presença de fissuras ou trincas, decorrentes da perda de umidade. Na impossibilidade de executar o ensaio de difração de raios-X, esse teste de campo infere se a amostra de solo pode ser utilizada para o adobe. Os procedimentos foram os seguintes:

- A.** confecção de caixa de madeira com fundo e 5 subdivisões (repetições) - com 10x2x2cm untada com óleo queimado;
- B.** a caixa foi preenchida pelo solo em estado plástico, iniciando-se pelos cantos e depois no interior, pressionando com os dedos até ficar bem adensado;
- C.** as amostras foram colocadas à sombra por sete dias até a secagem completa;
- D.** após o período de secagem foi medida a contração linear e o número de trincas e/ou fissuras.

### 3.1.2 Ensaios de laboratório

As metodologias adotadas para os ensaios com suas respectivas finalidades estão identificadas na Tabela 2.

Tabela 2 Ensaios de laboratório para caracterização do solo

<b>Identificação e finalidade</b>	<b>Referencial</b>
Difratometria de raios-X	(RESENDE et al., 1985)
Umidade higroscópica	Método da Estufa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1997)
Densidade de partículas	(BLAKE et al., 1986 apud EMBRAPA, 1997)
Densidade do solo	(LEAMER 1941 apud EMBRAPA, 1997)
Análise granulométrica	Método da Pipeta (ABNT, 1984c; DAY, 1965)
Classificação do solo	(EMBRAPA, 1997)
Limites de consistência do solo	(ABNT, 1984a; ABNT, 1984b; CAPUTO, 1998)
Limite de Contração (LC)	(DIAS JÚNIOR; MIRANDA, 1998)
Umidade ótima	(ABNT, 1986)

#### 3.1.2.1 Mineralogia da argila por DRX

No ensaio de difratometria de raios-X (DRX) foi identificada e caracterizada a estrutura cristalina do solo, de acordo com a periodicidade da distribuição atômica considerando tamanho, grau e substituintes isomorfos. Para o preparo da amostra da fração argila do solo, essa foi diluída em água destilada, e agitada antes do repouso por 12 horas. O material em suspensão (argila) foi pipetado e transferido para outro recipiente onde foi adicionado o floculante  $MgCl_2$  para decantação. O líquido em suspensão foi pipetado do recipiente. A argila decantada foi colocada em lâmina para secagem (Figura 2) e

posteriormente em difratômetro SIEMENS D-5000 com radiação cobalto. O movimento giratório dos feixes de raios-X incidiram na amostra com velocidade de registro de 10mm/min, e amplitude de varredura entre 5° e 45°. No difratograma foi relacionada a intensidade da radiação medida pelo detector com o ângulo de espalhamento  $2\theta$  (equação de Bragg (1)). Foi observada a representação da estrutura cristalina da amostra de argila com os picos e distâncias interatômicas. A distância  $d$  foi calculada pela fórmula de Bragg com os dados dos ângulos  $2\theta$  apresentados no difratograma. Com o resultado foi consultada a tabela (BRINDLEY et al., 1980) para determinar o argilo mineral presente no solo.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

onde:

$n$  - número inteiro referente à ordem de difração

$\lambda$  - comprimento de raios X

$d$  - distância entre planos atômicos

$\theta$  - ângulo de Bragg



Figura 2 Separação e secagem da fração argila para a difratometria de raios-X

### 3.1.2.2 Granulometria

A análise textural pelo método da pipeta (DAY, 1965) é muito utilizada devido à sua precisão. Esse ensaio é proposto pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, coordenado pela Embrapa Solos para publicações científicas em Ciências Agrárias (EMBRAPA, 1997). A metodologia corresponde à NBR7181/84 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984) e consistiu de dois procedimentos distintos: a tamisação para separar as partículas maiores retidas na peneira nº 270 com abertura de 0,053mm (areias e pedregulhos) e sedimentação para as partículas finas (silte e argila) que passaram nessa mesma peneira (Figura 3). Na tamisação as partículas retidas foram lavadas e secas em estufa. A areia total, então foi fracionada em conjunto de peneiras na ordem 1;0,5;0,2; e 0,1mm expressando-se o peso retido em porcentagem.

Na sedimentação o processo é relacionado à velocidade de queda das partículas finas do solo. A temperatura do material de solo em suspensão foi de 22°C que determinou um período de aproximadamente 03h40min para que 10mL da solução fosse pipetada (corresponde à fração argila). Em seguida foi levada à estufa para determinar o peso seco e a porcentagem. O silte foi calculado por diferença.



Figura 3 Agitação, sedimentação, argila seca em estufa e areia retida na peneira



### 3.1.2.3 Limites de consistência

A umidade ideal da mistura varia entre o limite de liquidez LL e o limite de plasticidade LP, dependendo da caracterização do solo. Para determinar o limite de liquidez e limite de plasticidade a metodologia foi a convencional já citada. Para determinar o Limite de Contração do solo foi feita a substituição do mercúrio pela parafina, devido à toxicidade desse elemento químico (DIAS JÚNIOR; MIRANDA, 1998).

### 3.1.2.4 Compacidade

A resistência mecânica do solo alcança o melhor resultado quando é compactado a uma determinada umidade que atinge a menor porosidade e o melhor adensamento. Essa condição ideal é determinada pelo ensaio Proctor Normal (ABNT, 1986) com a massa específica aparente seca máxima e sua umidade correspondente. A importância desse ensaio é a caracterização do solo quanto à compacidade e como parâmetro comparativo. Para a produção do adobe manual não ocorre compactação. Então, a quantidade de água é sempre maior porque na produção não é atingida a densidade máxima do solo. As etapas do ensaio foram: umedecimento gradual da amostra de solo; compactação em 3 camadas; pesagem; retirada da amostra para determinação de umidade (Figura 4).



Figura 4 Etapas do ensaio Proctor Normal para determinar a umidade correspondente à massa específica aparente seca máxima: umedecimento do solo (a); colocação no cilindro (b); compactação em três camadas (c); pesagem (d); retirada de amostra (e); determinação da umidade (f)

### 3.2 Resultados

Os resultados apresentados demonstram que os testes de campo podem ser executados para avaliação preliminar do solo. Com a composição granulométrica predominante do solo, o nível de plasticidade e contração linear a utilização ou não do solo já pode ser definida, assim como a necessidade de estabilização.

#### 3.2.1 Textura

A conclusão preliminar obtida nos testes de identificação visual e tátil do solo é que a composição granulométrica predominante foi de silte e argila (Tabela 3).

Tabela 3 Identificação visual e tátil do solo

Testes	Observações		Predominância
	Amostra seca	Amostra úmida	
1.Dureza	resistente	-	argila
2.Cor	Róseo	vermelho	silte/argila
3.Odor	sem cheiro	sem cheiro	sem matéria orgânica
4.Identificação Visual e Tátil	pouco áspero textura fina “talco”	escorregadio “sabão”	argila silte
5.Sujar as mãos	-	sai fácil e com leve fricção	Silte
6.Mobilidade água intersticial	-	média absorção de água	silte/argila
7. Desagregação do solo submerso	-	média	Argila
8.Brilho	Opaco	semibrilhante	silte/argila
9.Queda da bola	-	coesa	argila
CONCLUSÃO	SILTE E ARGILA		

Os resultados obtidos para densidade do solo, de partículas e volume total de poros foram respectivamente:  $D_s=1,42 \text{ kg/dm}^3$ ,  $D_p=2,62 \text{ kg/dm}^3$  e  $VTP=45,8\%$ . O método de lavagem de solo foi o teste de campo escolhido para determinar a porcentagem de areia (MILANEZ, 1958 apud PACHECO; DIAS JÚNIOR, 1990). O procedimento foi simples e o resultado de 14% foi muito próximo do encontrado no Método da Pipeta, que foi de 15% (Tabela 4).

Tabela 4 Resultados do teste de lavagem do solo e do método da pipeta

Partículas	Lavagem do solo		Método da Pipeta			
	Areia	Argila	Silte	Areia fina	Areia média	Areia grossa
Quant. (%)	14	40,0	45,0	11,7	2,1	1,2

### 3.2.2 Plasticidade

A plasticidade de um solo está relacionada ao seu componente argilo-mineral. O teor de umidade obtido para o Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Limite de Contração (LC) foram respectivamente 56,76%, 42,58% e 26,64%. Esses resultados foram comparados com os intervalos dos limites de Atterberg que correspondem à classificação dos argilo-minerais montmorilonita, ilita e caulinita (Tabela 5) adaptada de Mitchell (1976). Verificou-se então que os resultados dos limites de Atterberg correspondem à presença do argilo-mineral caulinita.

Tabela 5 Argilo-minerais e intervalos respectivos dos limites de Atterberg comparados aos resultados do solo “*in natura*”

Argilo-minerais	LL (%)	LP (%)	LC(%)
Montmorilonita	100-900	50-100	8,5-15
Ilita	60-120	35-60	15-17
Caulinita	30-110	25-40	25-29
Amostra de solo “ <i>in natura</i> ”	56,76	42,58	26,64

Fonte: Adaptado de Mitchell (1976).

A plasticidade do solo é mensurada pelo índice de plasticidade (IP). O solo “*in natura*” apresentou resultado de umidade para IP de 14,18%. Esse resultado, de acordo com a classificação Jenkins (CAPUTO, 1998), caracterizou o solo como medianamente plástico (Tabela 6).

Tabela 6 Classificação Jenkins de plasticidade do solo

Plasticidade	Índice de Plasticidade IP (%)
Fracamente plásticos	$1 < IP \leq 7$
Medianamente plásticos	$7 < IP \leq 15$
Altamente plásticos	$IP > 15$

Fonte: Caputo (1998).

A Craterre (*International Centre on Earthen Architecture*) é um laboratório de investigação em arquitetura de terra da Escola Nacional Superior de Arquitetura de Grenoble - ENSAG na França. O gráfico de plasticidade proposto pelo Craterre classifica a argila em inorgânica com os níveis de plasticidade, ou orgânica, quando o solo não é aceitável para a construção. A referência é o limite de liquidez LL do solo, e a reta limite do índice de plasticidade IP. De acordo com esse parâmetro, o solo foi classificado em inorgânico com argila de média plasticidade (CENTRE INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCTION EN TERRE - CRATerre, 1979).

### 3.2.3 Compacidade

O resultado do ensaio de compactação Proctor Normal para o solo “*in natura*” teve como massa específica aparente seca máxima de 1,445 g/cm<sup>3</sup> correspondente à umidade ótima de 25% (Figura 5).

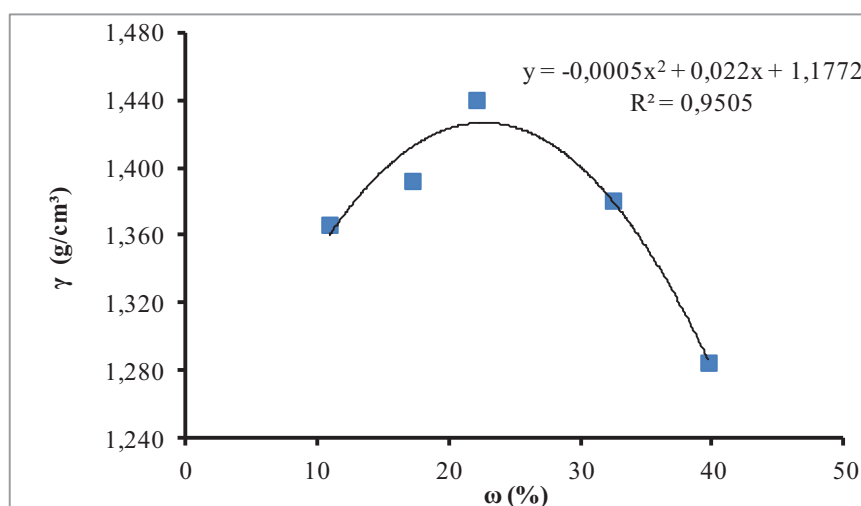


Figura 5 Curva de compactação para o solo “*in natura*”

### 3.2.4 Contração linear

No ensaio de contração linear observou-se que o solo “*in natura*” não apresentou fissuras. Considerando a grande quantidade de argila, a contração foi muito pequena. Pode-se inferir que a presença de silte também em grande porcentagem auxiliou na menor contração por ser material inerte. Esse resultado foi favorável, mas como o referencial teórico sugere solo arenoso para adobe optou-se pela estabilização granulométrica com areia. A maior contração ocorreu na altura com resultado médio de 16%, e menor contração na largura com 5% (Tabela 7).

Tabela 7 Resultados médios de contração linear no solo “*in natura*”

Amostras (repetições)	Contração linear (%)					Média
	1	2	3	4	5	
Comprimento (%)	7	9	8	8	9	8,2
Largura (%)	10	0	0	5	10	5,0
Altura (%)	15	20	15	15	15	16,0

### 3.2.5 Mineralogia–DRX

A mineralogia identificada por DRX na fração argila da amostra *in natura* sugeriu a predominância dos aluminosilicatos (Fld) e (Qtz), os oxihidróxidos de ferro e alumínio (Gtt) e (Gbs), respectivamente, e da caulinita (Cln) como principal argilomineral (Figura 6). A presença de feldspato é representativa de solo em evolução com teor de silte, e é origem da caulinita.

Assim sendo, a identificação de caulinita, argila não expansiva dominante no solo “*in natura*” sugere maior estabilidade e qualidade desse material para a preparação dos diversos tratamentos (misturas) na presente pesquisa. A caulinita (1-1) possui ligações fortes que impedem a adsorção de

água. Portanto, não apresenta expansão significativa em contato com água. Essa característica da amostra de solo é favorável para a produção de adobes.

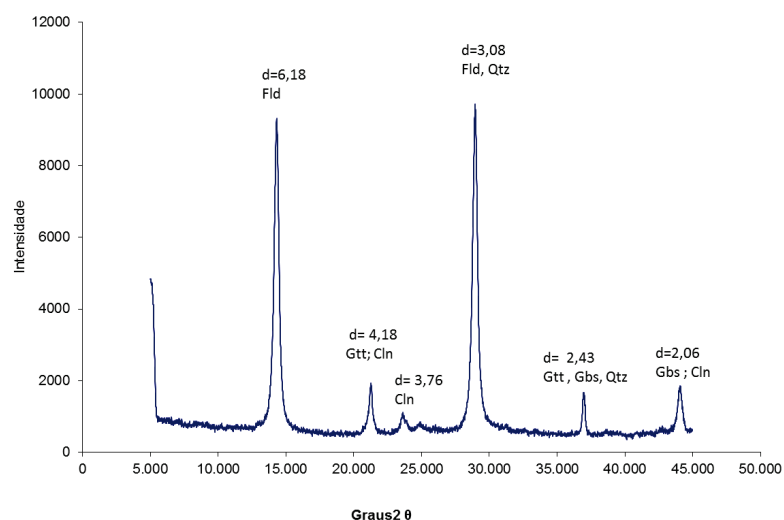


Figura 6 Difratograma obtido da amostra de solo Latossolo Vermelho cambissólico (LVc) *in natura* com Fld (fedspato), (Qtz) quartzo, Gtt (goethita), (Gbs) Gibbsita e (Cln) caulinita

### 3.3 Correção granulométrica

Após a caracterização do solo foi feita a correção granulométrica com areia fina. O objetivo desse procedimento foi adequar a granulometria do solo “*in natura*” à ideal para o adobe. A umidade higroscópica foi determinada pelo Método da Estufa a  $103 \pm 2$  °C (EMBRAPA, 1997). O cálculo foi feito em peso seco. A quantidade inicial de areia no solo “*in natura*” foi de 15%, e o objetivo foi corrigi-la para 50%. Para cada quilo de solo seco “*in natura*” foram acrescentadas 412 gramas de areia fina.

### 3.4 Caracterização do solo corrigido

Para a caracterização do solo corrigido foi seguida a mesma metodologia que para o solo “*in natura*”. Na Tabela 8 estão os resultados para contração linear. Os resultados para a granulometria foram 23% de argila, 27% de silte, e 50% de areia. Para os limites de Atterberg os resultados foram LL de 55,44%, LP de 34,58%, LC de 21,67 % e IP e 20,86%.

Tabela 8 Resultados médios de contração linear do solo corrigido

Amostras (repetições)	Contração linear (%)					Média
	1	2	3	4	5	
comprimento (%)	6	7	8	7	7	7,0
largura (%)	0	0	0	5	10	3,0
altura (%)	20	15	15	15	20	17,0

O resultado do ensaio de compactação Proctor Normal para o solo corrigido teve como umidade ótima 21% e massa específica aparente seca máxima de 1,638 g/cm<sup>3</sup> conforme a curva de compactação seguinte (Figura 7).

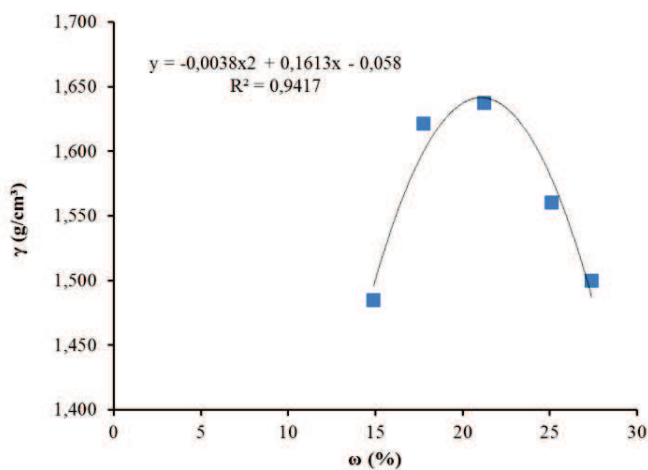


Figura 7 Curva de compactação para o solo corrigido com areia



### 3.5 Comparação entre os solos “*in natura*” e corrigido

Os resultados médios de contração linear dos solos “*in natura*” e corrigido com areia (Tabela 9; Figura 8) demonstram que não houve diferença significativa entre as amostras. Com comportamentos similares, pode-se inferir que a presença do silte no solo “*in natura*” contribuiu para a redução na contração. A altura apresentou maior contração linear. A determinação do limite na altura do adobe evita redução na resistência à compressão. A não compactação tende a aumentar a porosidade, fragilizando o tijolo.

Tabela 9 Comparação de contração linear média dos solos “*in natura*” e corrigido com areia

	Contração linear média	
	Solo “ <i>in natura</i> ”	Solo corrigido com areia
Comprimento (%)	8,2	7,0
Largura (%)	5,0	3,0
Altura (%)	16	17

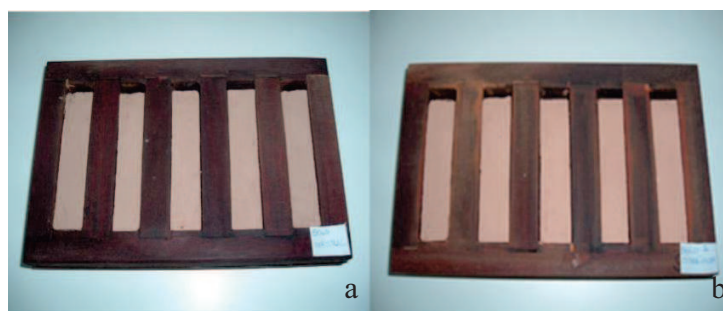


Figura 8 Comparação do teste de contração: solo natural (a); solo corrigido (b)

Após a correção granulométrica foi observado que não houve alteração significativa para os limites de consistência entre o solo “*in natura*” e corrigido (Tabela 10).

Tabela 10 Granulometria e limites de consistência do solo “*in natura*” e do solo corrigido com areia

	Solo “in natura”	(%)	Solo corrigido (%)
Granulometria	argila	40	23
	silte	45	27
	areias	15	50
Limites de consistência	LL	56,76	55,44
	LP	42,58	34,58
	LC	26,64	21,67

Quanto ao ensaio de Proctor Normal foi observado que a massa específica aparente máxima do solo natural é menor que para o solo corrigido ( $1,445 \text{ g/cm}^3$  e  $1,638 \text{ g/cm}^3$ ), o que é coerente com a literatura. Os resultados de umidade ótima de 25% e 21% para as amostras distintas dos solos foram inferiores aos limites de plasticidade LP de 42,58% e de 34,58% respectivamente. Para a produção do adobe a umidade inicial, considerada como a umidade do limite de plasticidade é sempre maior que a determinada no ensaio Proctor Normal devido a não compactação do solo na produção.

### 3.6 Conclusão

O solo caracterizado foi classificado como Latossolo Vermelho cambissólico (LVc) textura argilosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos coordenado pela EMBRAPA SOLOS. Foi verificada a presença de argilo-mineral caulinita, que evidenciou maior estabilidade do solo em contato com a água, justificando a pequena contração linear. O solo apresenta plasticidade mediana. A correção granulométrica com areia foi feita para reduzir a grande quantidade de argila e silte, e adequar o solo aos parâmetros estabelecidos no referencial teórico para adobes.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS

A caracterização das partículas de bambu e de bagaço de cana-de-açúcar foi feita no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM), e Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) do Departamento de Fitopatologia da UFLA – Universidade Federal de Lavras.

### 4.1 Metodologia

O bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foi doado pela Usina Sucroalcooleira Monte Alegre localizada na cidade de Areado, MG. O bambu da espécie *Bambusa vulgaris vittata* é nativo do campus da Universidade Federal de Lavras, com idade de 12 anos. O processamento das partículas foi feito para o bambu inicialmente com a trituradeira “TP 300 Pinheiro” (Figura 9).



Figura 9 I Etapa do processamento das partículas de bambu: corte (a); “esmagamento” para facilitar o processo de transformação em partículas “sliver” (b, c); bambu triturado (d)

O moinho martelo foi utilizado para a transformação das matérias-primas em partículas “sliver”. A seguir, as partículas foram lavadas com água à temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$  residual do processo de sua destilação até que a água perdesse a turbidez. O objetivo foi retirar impurezas do material. Após a lavagem foram secas ao ar (Figura 10).



Figura 10 Processamento do bagaço de cana: material natural (a); passagem no moinho (b); lavagem (c, d); amostras de água após lavagens (e); secagem (f)

#### 4.1.1 Dimensionamento e razão de aspecto

O dimensionamento das partículas foi feito com o auxílio do *software* “Image J”, com amostra representativa de 100 unidades para cada espécie. A razão de aspecto (comprimento/diâmetro) foi calculada para comparar a

capacidade de reforço das partículas no adobe. As imagens em microscópio estereoscópico MEIJI TECHNO RZ com aumento de 7.5 vezes mostram a distribuição randômica das partículas e a variedade de tamanhos e diâmetros (Figura 11a, b).

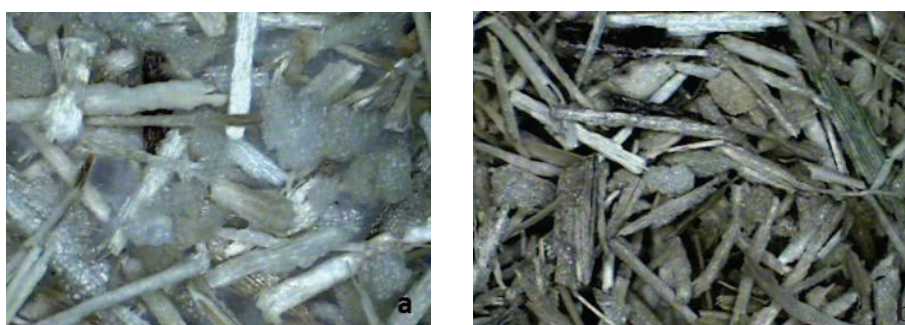


Figura 11 Imagens das partículas de bambu (a) e de bagaço de cana (b) feitas no microscópio estereoscópico com aumento de 7.5X

#### 4.1.2 Densidade

Para determinação da densidade básica das partículas após serem lavadas foi utilizado o método de Medição Direta do Volume por Cilindro Graduado, com amostras imersas em água em seis repetições. As amostras de partículas foram saturadas em *becker* com água destilada. Após a saturação foram pesados 10 g de cada amostra e colocados em proveta de 100 ml graduada de 1 em 1 ml e volume inicial de água de 80ml (Figura 12).

O volume das amostras foi a diferença entre o volume final e o inicial da proveta. Após essa determinação as amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçado à temperatura de  $103 \pm 2$  °C até peso constante. Para a determinação do peso seco utilizou-se balança eletrônica com precisão de 0,05 g e capacidade máxima de 3 kg. A densidade básica foi calculada pela fórmula:

$$DB = P_{AS} / (V_{AA} - V_A)$$

onde:

$DB$  = Densidade básica da amostra ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$P_{AS}$  = Massa da amostra absolutamente seca (g);

$V_{AA}$  = Volume da amostra imersa mais o conteúdo de água (mL);

$V_A$  = Volume de água (mL).

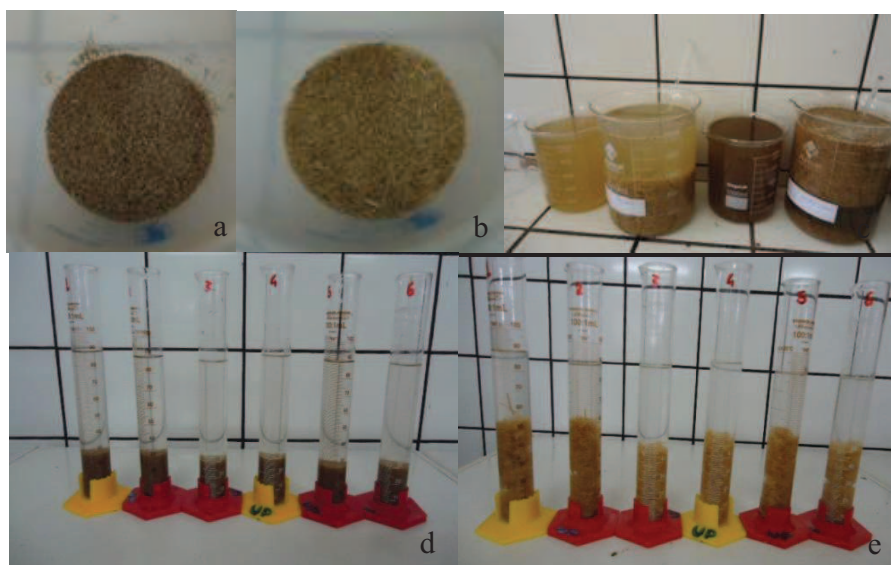


Figura 12 Imagens das partículas de bambu e de bagaço de cana (a, b), partículas saturadas (c) e colocadas nas provetas com água destilada (d, e)

#### 4.1.3 Composição química

As amostras das partículas para a análise química foram classificadas nas peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, utilizando-se a massa retida nessa última com três repetições. O material foi acondicionado em ambiente

climatizado com  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  de temperatura e  $60\pm 5\%$  de umidade relativa até massa constante. As análises seguiram as metodologias citadas na Tabela 11.

Tabela 11 Ensaio para composição química

<b>Ensaio</b>	<b>Normas</b>
Teor de extrativos totais	(ABNT, 2010b)
Teor de lignina insolúvel	(ABNT, 2010a)
Determinação dos componentes minerais (cinzas)	(ABNT, 2003)
Holocelulose	(BROWNING, 1963)
Celulose	(KENNEDY; HILLIPS; WILLIAMS, 1974)

## 4.2 Resultados

Os resultados apresentados a seguir irão influenciar os efeitos das partículas de bagaço de cana e bambu quando incorporadas ao adobe.

### 4.2.1 Dimensionamento e razão de aspecto

A maior razão de aspecto deve refletir a melhor propriedade de reforço das partículas no adobe (QUINTILIO; QUAGLIARINI; LENCI, 2011). O comprimento das partículas de bambu variou de 0,2 até 30mm e para bagaço de cana de 0,9 até 24mm. Os resultados para razão de aspecto foram 10 e 8 respectivamente, contribuindo assim para ancoragem e reforço em condições semelhantes e favoráveis (Tabela 12). As imagens em tamanho real (Figura 13) comprovam que as partículas de cana são menores.

Tabela 12 Variação do tamanho de partículas em porcentagem

<b>Partículas (%)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>			<b>Diâmetro (mm)</b>			<b>Razão de aspecto</b>
	<5	5<x<10	>10	<0.5	0.5<x<1	>1	
Bambu	34	50	16	13	47	40	10
Bagaço de cana	74	21	5	57	35	8	8



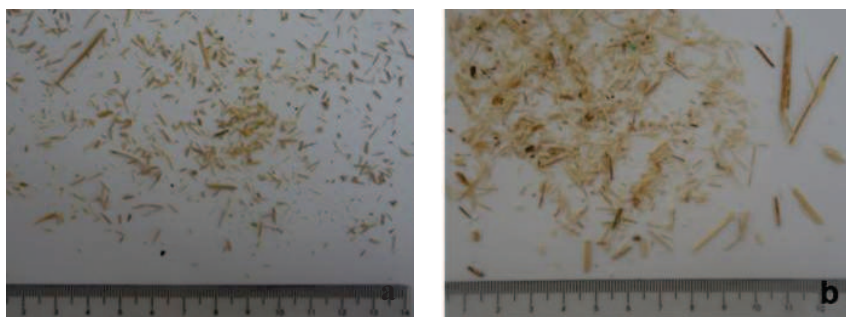


Figura 13 Imagens das partículas de bagaço de cana e bambu em tamanho real

#### 4.2.2 Densidade

O resultado da densidade básica para as partículas de bagaço de cana representa 52% quando comparado às partículas de bambu (Tabela 13). Essa característica irá determinar, para o mesmo peso de ambos os materiais, o dobro de quantidade de partículas de bagaço de cana. A variação em volume deverá influenciar as propriedades físicas e mecânicas no adobe.

Tabela 13 Resultados da densidade básica das partículas lignocelulósicas em seis repetições

Amostragem	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )						Média
	1	2	3	4	5	6	
Bagaço de cana	0,154	0,152	0,162	0,151	0,163	0,156	0,156
CV <sub>e</sub> (%)	9,50						
Bambu	0,326	0,305	0,277	0,292	0,298	0,291	0,298
CV <sub>e</sub> (%)	9,68						

#### 4.2.3 Caracterização química

A grande quantidade de amido no bambu *Bambusa vulgaris vittata* foi verificada pela coloração escura apresentada após gotejamento de lugol, e o aspecto pastoso no início da caracterização química. Quanto à holocelulose e lignina não houve variação significativa entre as partículas lignocelulósicas

escolhidas. As partículas de bagaço de cana apresentaram quantidade de cinza superior. Os resultados da caracterização química para extrativos que diminuíram em aproximadamente 50%. O tratamento então foi eficiente para o fim proposto que era de retirar impurezas e extrativos.

Tabela 14 Caracterização química das partículas lignocelulósicas

Partículas	Composição química das partículas lignocelulósicas (%)					
	Extrativos		lignina	holocelulose		cinzas
	natural	lavado		celulose	hemicelulose	
Bagaço de cana	6,28 <sub>0,29</sub>	3,86 <sub>0,001</sub>	21,20 <sub>0,77</sub>	81,46 <sub>1,19*</sub>		3,30 <sub>0,14</sub>
				52,38	29,08	
CV**(%)	4,57	0,002	0,42	1,84		1,30
Bambu	9,24 <sub>0,27</sub>	4,08 <sub>0,24</sub>	24,06 <sub>0,36</sub>	81,68 <sub>0,23</sub>		1,34 <sub>0,05</sub>
				52,83	28,85	
CV**(%)	2,95	5,65	1,52	0,29		4,01

\*desvio padrão\*\* coeficiente de variância calculado

## 5 CONCLUSÃO

As partículas lignocelulósicas apresentaram densidades distintas. Os resultados para o bagaço de cana e o bambu foram respectivamente  $0,156\text{g/cm}^3$  e  $0,298\text{g/cm}^3$ . O efeito da lavagem das partículas foi satisfatório para a função de retirar extrativos e impurezas do material. A composição química das duas espécies é semelhante diferindo apenas na quantidade maior de cinzas para o bagaço de cana. Os resultados para razão de aspecto das duas espécies de partículas devem favorecer a ancoragem e o reforço para o adobe.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6453**: ensaio de limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: ensaio de limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: análise granulométrica de solo. Rio de Janeiro, 1984c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: solo - ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010a. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010b. 3 p.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: Interscience, 1963.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998. 312 p.

CENTRE INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCTION EN TERRE.  
**Construire en terre.** Paris, 1979. 270 p.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soils analysis: physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 546-567.

DIAS JÚNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Metodologia para determinação do limite de contração modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22 n. 3. p. 503-515, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. p. 212.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, E. P. A. **Wood and cellulotics: industrial utilization, biotechnology, structure and properties,** ellishorwood. Chichester: E. Horwood, 1987. 1130 p.

MILANEZ, A. **Casa de terra: as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo.** São Paulo: SESP, 1958. 122 p.

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of soil behavior.** New York: J. Wiley, 1976.

NEVES, C. M. M. et al. **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra: práticas de campo.** 2005. Disponível em: <[http://www.redproterra.org/images/stories/pub\\_pdf/Selecao\\_de\\_solos\\_10.pdf](http://www.redproterra.org/images/stories/pub_pdf/Selecao_de_solos_10.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2012.

PACHECO, A. A. R. C.; DIAS JÚNIOR, M. S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 14, n. 2, p.176-190, 1990.

QUINTILIO, P.; QUAGLIARINI, E.; LENCI, S. Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 25, p. 2067–2075, 2011.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros**: interpretação e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192 p.

RUIZ, L. E. H.; LUNA, J. A. M. **Cartilla de pruebas de campo**. Conescal: [s. n.], 1983. p. 72.

### **CAPÍTULO 3**

#### **ETAPA I - INCORPORAÇÃO DE “BABA DE CUPIM SINTÉTICA” NO ADOBE**

## 1 INTRODUÇÃO

Na ETAPA I desenvolvida neste capítulo, a “baba de cupim sintética” (DS-328<sup>®</sup>) foi incorporada ao solo em quatro soluções. Dessas, três são adotadas pelos fabricantes do produto para uso em pavimentação. A quarta solução, com maior concentração não é utilizada em pavimentação. Como as concentrações do produto são mínimas, a decisão foi avaliar mais uma solução com maior concentração. É importante esclarecer que não foram encontradas referências bibliográficas sobre a utilização da “baba de cupim sintética” como estabilizante químico para o adobe.

## 2 OBJETIVO

O objetivo da ETAPA I foi avaliar os efeitos da incorporação do estabilizante químico “baba de cupim sintética” no desempenho físico-mecânico do adobe.

## 3 METODOLOGIA

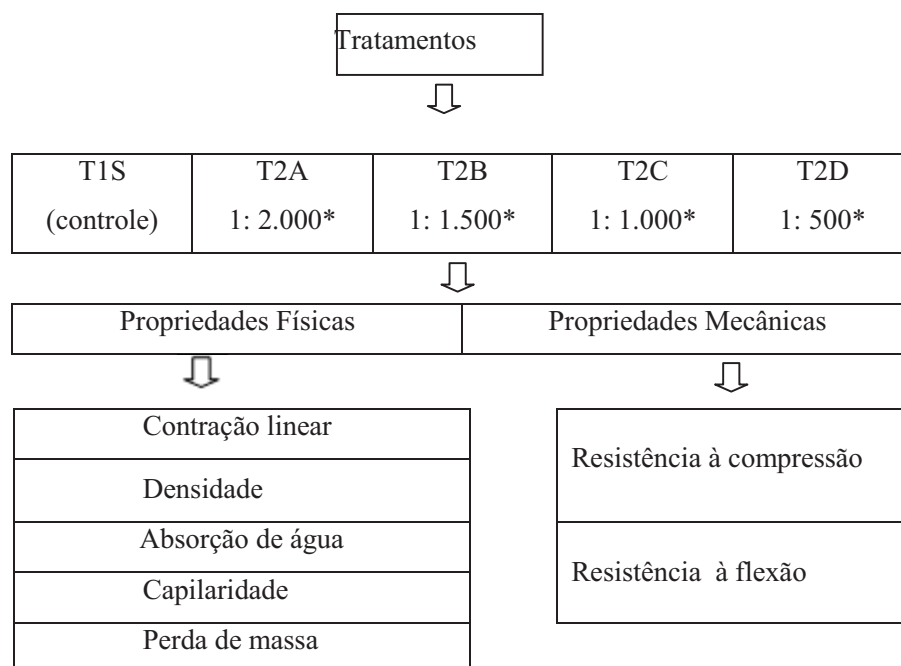
O experimento foi desenvolvido na Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM), laboratórios do Departamento de Ciências Florestais, e Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho cambissólico textura argilosa, com correção granulométrica de 50% de areia: para cada quilo de solo foram adicionadas 412 gramas de areia fina, ambos em massa seca. A umidade higroscópica do solo foi determinada em 10%. As soluções de “baba de cupim sintética” foram preparadas com as concentrações: 1:2.000 (0,05%); 1:1.500 (0,07%); 1:1.000 (0,10%) e 1:500 (0,20%). O reagente utilizado foi o sulfato de alumínio -  $Al_2(SO_4)_3$  na mesma



concentração de 1:5.000 para todas as soluções, conforme orientação do fabricante.

### 3.1 Plano experimental

O plano experimental desta etapa abrangeu cinco tratamentos: solo sem estabilização (T1S) e inclusão de quatro concentrações de “baba de cupim sintética”: solução 1:2.000 (T2A); solução 1:1.500 (T2B); solução 1:1.000 (T2C); e solução 1:500 (T2D). Os adobes foram avaliados nos seguintes parâmetros conforme fluxograma (Figura 1): contração linear; densidade; absorção de água; capilaridade; perda de massa; resistência à compressão; e resistência à flexão.



\* com reagente sulfato de alumínio na concentração 1:5.000

Figura 1 ETAPA I - Fluxograma do plano experimental

### 3.2 Determinação da umidade ideal

O parâmetro para comparação de umidade ideal adotado foi o limite de plasticidade (LP), com resultado de 34,58% para o solo corrigido. Para cada tratamento a quantidade de água na mistura foi definida por ensaios de campo denominados “Queda da bola” (BARBOSA; GHAVAMI, 2007) e “Prueba de Vicat” (RUIZ; LUNA, 1983). Amostras com três repetições foram colocadas em estufa a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Os resultados foram comparados com o LP do solo. Os procedimentos para o teste da Queda da Bola foram os seguintes:

- a) formou-se uma bola com  $\varnothing = 8\text{cm}$  da amostra da mistura do adobe;
- b) a bola foi solta a uma altura de 1,5 m em piso plano e cimentado;
- c) no choque contra o piso mede-se a relação entre diâmetro e a altura para verificar a quantidade de água na mistura: em altura menor que um terço do diâmetro a água foi excessiva; em altura igual a um terço do diâmetro a umidade está próxima da ideal; e em altura maior que um terço do diâmetro a água foi insuficiente.

Para a “Prueba de Vicat” os procedimentos foram:

- a) a amostra de solo com a umidade inicial foi colocada em recipiente cilíndrico;
- b) uma barra de ferro  $\varnothing 10\text{mm}$ , comprimento 50 cm e marcação de 2 cm na extremidade) foi apoiada sobre o centro da amostra;
- c) observou-se se a penetração da barra no material de solo atingiu 2cm de profundidade, que corresponde a umidade ideal para o adobe.

### 3.3 Soluções de “baba de cupim sintética”

A solução de DS-328® foi preparada a 10% e a solução do reagente sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  a 1%. A densidade do solo foi de  $1,420\text{g/cm}^3$ . O volume da unidade do adobe foi de  $3.600\text{ cm}^3$ . A massa por unidade foi de 5.112 g. A quantidade de solução de cada tratamento foi calculada e preparada de acordo com a massa de solo seco. No resumo das quantidades de solução, solo e a produção de adobes correspondentes, observa-se a quantidade mínima necessária do estabilizante (Tabela 1).

Tabela 1 Quantidade total de estabilizante, solo e adobes por tratamento

	<b>T1S</b>	<b>T2A</b>	<b>T2B</b>	<b>T2C</b>	<b>T2D</b>
<b>Tratamentos</b>	-	<b>1:2000</b>	<b>1:1500</b>	<b>1:1000</b>	<b>1:500</b>
Solo seco (kg)	143,136	122,688	122,688	143,136	143,136
Solução (mL) DS-328® a 10%	-	613,44	817,92	1.431	2.863
Reagente (mL) $Al_2(SO_4)_3$ a 1%	-	2454	2454	2863	2863
Produção calculada (unid.)	28	24	24	28	28
Produção real (unid.)	26	23	23	25	22

As soluções de DS-328® em volume e do reagente sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  em peso foram diluídas em água (Figura 2).



Figura 2 (a) Reagente sulfato de alumínio em peso. (b) Solução de DS-328<sup>®</sup> e do reagente

### 3.4 Produção e secagem

As dimensões das formas duplas de madeira foram 30x15x8cm. Essas foram imersas em água e em seguida em caixa de areia para facilitar o desmolde. Os procedimentos para produção foram: pesagem do solo corrigido; colocação do solo em estrado de madeira; adição da solução de “baba de cupim sintética”; homogeneização; adição da solução com reagente; homogeneização. A quantidade de água foi distribuída entre as soluções de DS-328<sup>®</sup> e reagente até atingir quantidade próxima ao LP. A umidade ideal então foi ajustada pelos testes de campo já citados.

Na ETAPA I foi desenvolvido equipamento manual denominado “maromba” para facilitar a homogeneização da mistura. O modelo com alavanca lateral e sem motorização foi testado e funcionou bem, mas com um terço do volume (Figura 3). O sistema de coroa e pinhão adotado para redução do esforço não foi suficiente para ter utilização manual com o volume completo do tambor. Então, optou-se pela homogeneização com os pés e novas adaptações no equipamento, que serão mostrados no próximo capítulo. Os adobes foram mantidos em superfície plana sobre uma fina camada de areia, em local coberto,

até completar a secagem. Aos três dias foram colocados em posição lateral e aos sete em posição vertical.



Figura 3 Vistas da “maromba manual” e produção dos adobes

### 3.5 Propriedades físicas

Para as propriedades físicas os testes de campo adotados foram de contração com cinco repetições (RUIZ; LUNA,1983), absorção de água com seis repetições e capilaridade com três repetições (VARUM et al., 2007), com cálculo de perda de massa. A densidade do adobe foi determinada com dez repetições, medindo-se o comprimento, largura e altura dos tijolos antes dos ensaios de compressão e flexão.

#### 3.5.1 Contração linear

No teste de contração, além dos tratamentos previstos foram acrescentados os resultados do solo “*in natura*” (TSN) considerado como controle e os demais T1S, T2A, B, C e D. As amostras foram retiradas da “maseira de adobe” e colocadas em formas de madeira com fundo nas dimensões 2x2x10cm. Após sete dias foi medida a contração linear longitudinal. Observou-se também a presença ou não de fissuras e/ou trincas.

### **3.5.2 Absorção de água (AA) e perda de massa**

No teste de absorção de água os adobes foram serrados ao meio. As seis amostras secas de cada tratamento foram pesadas e colocadas em bandeja (47x32x9cm). Em seguida colocou-se água até completar a imersão (3,6Ls). Após seis horas, as amostras foram retiradas da bandeja e pesadas novamente. A absorção de água (AA) foi calculada em porcentagem, considerando a perda de massa. Para o cálculo da perda de massa (%) foi retirado o material depositado no fundo da bandeja após seis horas, e determinada a massa seca em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Foi calculada então a porcentagem em relação à massa seca inicial.

### **3.5.3 Capilaridade e perda de massa**

No teste de capilaridade as três amostras de cada tratamento (adobes inteiros) foram colocadas na bandeja, e a água foi derramada na superfície em seguida. A quantidade de água foi de 400 mL/bandeja (47x32x9cm) correspondeu a 0,6cm de altura. Após uma hora, a altura atingida pela água foi medida em quatro repetições (duas larguras e dois comprimentos) para cada amostra. O resultado foi a média entre os dados obtidos. O material que ficou depositado no fundo da bandeja após uma hora foi retirado e seco em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  para determinar a perda de massa seca (Figura 4). Foi calculada então a porcentagem de perda de massa em relação à massa total inicial dos três adobes de cada tratamento.



Figura 4 Teste de capilaridade e perda de massa

### 3.6 Propriedades mecânicas

Devido à falta de normas técnicas brasileiras para o adobe, foram adotadas metodologias de outros países e adaptações de procedimentos já existentes para outros materiais. Para verificar as propriedades mecânicas foram feitos os ensaios de compressão, NTE.080 (NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN - NTE, 2000) e flexão em três pontos, ASTM D-790 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2000) aos 40 dias após a produção.

#### 3.6.1 Ensaio de compressão

Os ensaios de compressão foram realizados na Máquina Universal EMIC com seis repetições. Os adobes foram pesados e medidos antes do ensaio. Esses foram serrados ao meio com serra circular, e as metades foram unidas utilizando-se argamassa para assentamento solo:cal (1:4) e para regularização das superfícies de contato com a prensa. Após secagem da primeira camada de regularização foram aplicadas outras duas de mãos com traço 1:2 para acabamento sem fissuras (Figura 5). A célula de carga utilizada foi de 100kN com velocidade de 1,2mm/min.



Figura 5 Preparo dos corpos de prova para o ensaio de compressão

### 3.6.2 Ensaio de flexão

Os ensaios de flexão foram realizados na Máquina Universal EMIC com quatro repetições. Os adobes foram pesados e medidos antes do ensaio. A distância entre os dois cutelos inferiores foi de 240 mm para todos os adobes. A célula de carga utilizada foi de 20kN com velocidade de 1,2mm/min. Os corpos de prova foram submetidos à carga até a fratura (Figura 6).



Figura 6 Início e finalização do ensaio de flexão na ETAPA I

### 3.7 Delineamento experimental

Os dados do experimento foram analisados pela análise de variância, considerando delineamento inteiramente casualizado. O teste de Tukey foi aplicado para diferenças significativas ao nível de 5%. O *software* utilizado foi o SISVAR 4.2 (FERREIRA, 2011).



## 4 RESULTADOS

Foram comparados os resultados dos adobes produzidos com solo corrigido T1S (controle) e o mesmo solo com incorporação do estabilizante químico DS-328<sup>®</sup> nas quatro concentrações T2A, T2B, T2C, e T2D.

### 4.1 Umidade ideal

A umidade ideal foi reduzida com o aumento na concentração do produto. Essa característica comprova que a presença de “baba de cupim sintética” contribuiu para a redução da água adsorvida no argilo-mineral do solo. O aumento da coesão entre as partículas provocou menor permeabilidade e maior estabilidade. Os resultados foram próximos ao limite de plasticidade LP de 34,58%(Tabela 2).

Tabela 2 Comparação entre as umidades ideais para cada tratamento e o LP do solo corrigido com areia

Tratamentos	Quantidade de solo seco (kg)	Umidade ideal (w %)		
		Quantidade de Água+ Soluções (L)	Umidade na estufa (%)	Limite de Plasticidade (%)
T1S	143,136	50	34,93	34,58
T2A 1:2000	122,688	40	32,60	
T2B 1:1500	122,688	39	31,78	
T2C 1:1000	143,136	45	31,44	
T2D 1:500	143,136	38	26,55	

### 4.2 Propriedades físicas

Os resultados apresentados a seguir para as propriedades físicas do adobe refletem alguns benefícios com a estabilização química. Importante ressaltar que o produto utilizado não causa danos ambientais.

#### 4.2.1 Densidade dos adobes

O efeito do aditivo DS-328<sup>®</sup> foi significativo a 5% para a densidade do adobe. O modelo de regressão ajustou-se melhor ao modelo linear. Apesar de apresentar  $R^2$  inferior aos demais (60,12%), o desvio de regressão foi não significativo para as outras equações. Os resultados de densidade média do adobe para cada tratamento demonstraram que o aumento da quantidade de adobe para cada tratamento demonstraram que o aumento da quantidade de estabilizante tende a aumentar a densidade (Figura 7).

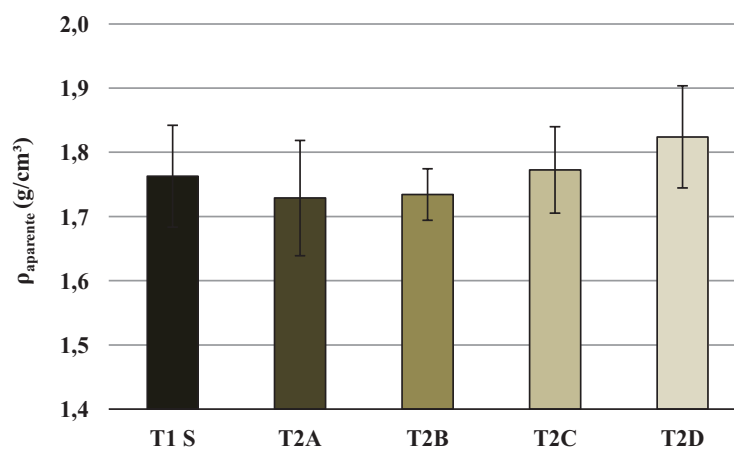


Figura 7 Resultados da estabilização com DS-328<sup>®</sup> na densidade do adobe

Pode-se inferir que o estabilizante promoveu maior coesão ao solo. A massa e a densidade do tratamento de maior concentração (T2D) aumentaram 10,59% e 3,06% respectivamente em relação ao T1S (Tabela 3).

Tabela 3 Dimensões médias para o cálculo da densidade dos adobes na ETAPA I

Tratamentos	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm)	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
T1S	27,2	13,6	7,4	2741	4826	1,763 <sub>(0,079)*</sub>
T2A	27,8	13,9	7,5	2892	4991	1,729 <sub>(0,090)*</sub>
T2B	27,6	13,9	7,7	2955	5121	1,734 <sub>(0,040)*</sub>
T2C	27,5	13,9	7,7	2958	5238	1,772 <sub>(0,067)*</sub>
T2D	27,6	14,2	7,5	2940	5337	1,824 <sub>(0,080)*</sub>
Média geral			1,764			
CV <sub>e</sub> (%)			4,15			

\*desvio padrão calculado.

#### 4.2.2 Contração longitudinal

Os resultados médios de contração longitudinal demonstraram que os tratamentos com DS-328<sup>®</sup> comparados ao T1S (solo corrigido) são estatisticamente iguais com valor médio de 6,5%. Quando comparados ao solo natural houve diferença significativa a 5% pelo teste Scott Knott (SCOTT, 1974) (Tabela 4). No tratamento T2D, três amostras apresentaram uma fissura (Figura 32f). Nos adobes correspondentes não houve essa constatação, inclusive visualmente tiveram o melhor aspecto.

Tabela 4 Contração longitudinal média nos diferentes tratamentos da ETAPA I

Resultados médios	Tratamentos					
	TSN*	T1S	T2A	T2B	T2C	T2D
Contração linear (%)	8,4b	7,0a	6,4a	6,6a	6,2a	6,4a
Desvio padrão (%)	0,5	0,4	0,5	0,5	1,1	0,5
Média geral (%)				6,83		
CV <sub>e</sub> (%)				9,26		

Médias seguidas por mesma letra em uma mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

\* solo “*in natura*”

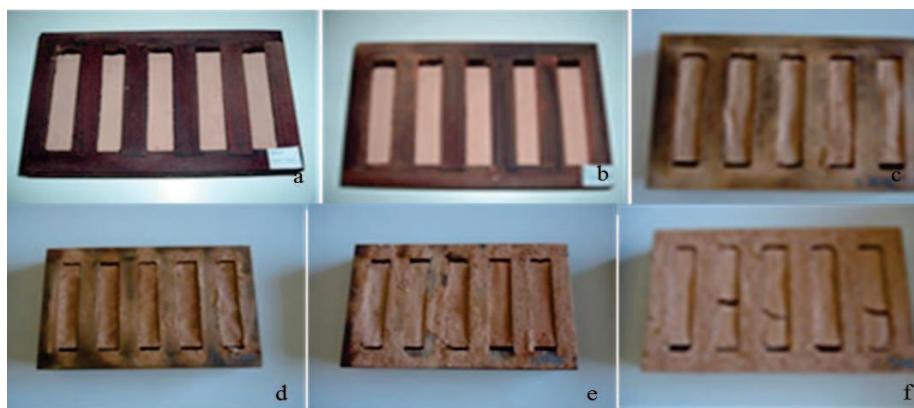


Figura 8 Contração longitudinal em cinco repetições para TSN(a), T1S(b), T2A(c), T2B(d), T2C(e),e T2D(f)

#### 4.2.3 Absorção de água (AA) e perda de massa

Inicialmente, na pesagem das amostras observou-se que a massa seca aumentou com a maior concentração de DS-328<sup>®</sup>. A perda de massa (Tabela 5, Figura 9) diminuiu com o acréscimo do estabilizante. Não foi possível pesar as amostras do T1S, porque desmancharam em contato com a água antes de uma hora de imersão (Figura 10). Esses resultados que comprovam a eficiência da estabilização química, a qual determinou o aumento de coesão, a menor porosidade, e redução na perda de massa.

Tabela 5 Resultados de perda de massa para a ETAPA I

Resultados	Tratamentos				
	T1S	T2A	T2B	T2C	T2D
	-	1:2000	1:1500	1:1000	1:500
Massa seca inicial * (kg)	13,600	13,000	13,250	13,750	14,200
Perda de massa seca (kg)	-	0,614	0,757	0,647	0,336
Perda de massa (%)	-	4,72	5,71	4,71	2,36

\* soma da massa inicial das seis amostras para cada tratamento



Figura 9 Perda de massa (a,b) e absorção de água nos tratamentos T1S, T2A, T2B, T2C,e T2D em sequencia

A absorção de água não teve efeito significativo a 5% entre os quatro tratamentos, mas houve redução com acréscimo de produto. Os resultados dos tratamentos T2A, B, C, D atenderam à NBR 8492 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984) que se refere aos tijolos de solo-cimento (BTCs) e recomenda  $AA\% \leq 18\%$  (Tabela 6, Figura 10). O aspecto visual demonstra claramente os efeitos da estabilização: as

amostras estabilizadas tem arestas bem definidas e pouca perda de massa (Figura 10).

Tabela 6 Resultados de absorção de água para a ETAPA I

Tratamentos DS-328 <sup>®</sup>	(%)	Absorção de água (%)	Desvio Padrão
T2A1:2.000	0,05	16,68	5,54
T2B1:1.500	0,07	15,10	1,89
T2C1:1.000	0,10	13,92	2,60
T2D1:500	0,20	12,78	1,28
Média geral		14,54	
CV <sub>e</sub> (%)	21,33		

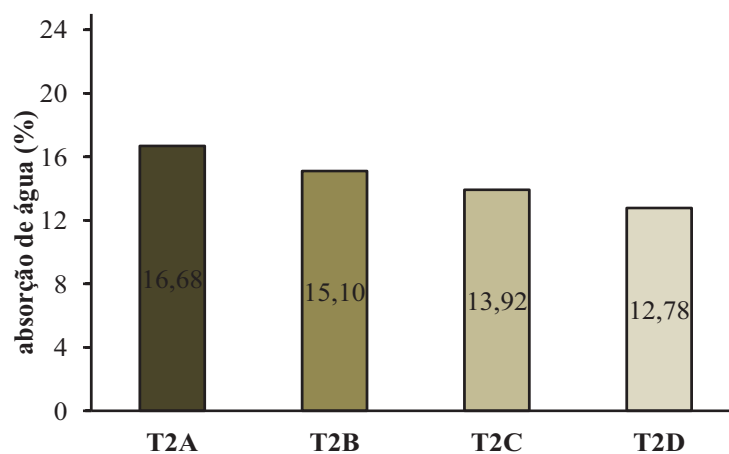


Figura 10 Variação da absorção de água (AA) com o acréscimo de “baba de cupim sintética”

#### 4.2.4 Capilaridade e perda de massa

Os resultados médios percentuais e em peso da perda de massa decresceram com o acréscimo do produto, como aconteceu no ensaio de absorção de água (Tabela 7).

Tabela 7 Resultados de perda de massa para capilaridade na ETAPA I

	<b>T1S</b>	<b>T2A</b>	<b>T2B</b>	<b>T2C</b>	<b>T2D</b>
	<b>-</b>	<b>1:2000</b>	<b>1:1500</b>	<b>1:1000</b>	<b>1:500</b>
Massa seca inicial (kg)*	15,311	15,549	15,156	15,869	15,990
Perda de massa (kg)	0,076	0,094	0,067	0,059	0,062
Perda de massa (%)	0,50	0,60	0,44	0,37	0,39

\* soma da massa inicial das três amostras para cada tratamento.

Os resultados demonstraram que a altura da água ascendente diminuiu com maior concentração na estabilização química. A variação de altura de capilaridade foi analisada estatisticamente com nível 5% e foi significativa (Tabela 8, Figura 11).

Tabela 8 Resultados para a altura de capilaridade na I ETAPA

<b>Tratamentos DS-328® (%)</b>	<b>Altura de capilaridade(cm)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
T1S (controle)	1,73	0,22
T2A1:2.000	1,37	0,14
T2B1:1.500	1,43	0,23
T2C1:1.000	1,23	0,17
T2D1:500	1,09	0,12
Média geral	1,37	
	CV <sub>e</sub> (%)= 13,15	

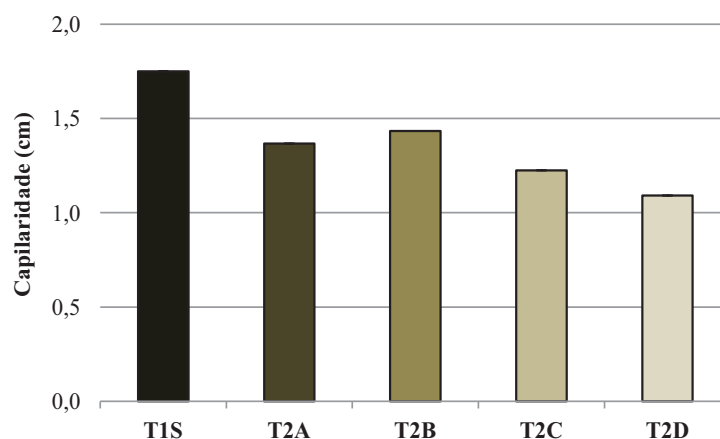


Figura 11 Redução da altura de capilaridade com o aumento da “baba de cupim sintética”

### 4.3 Propriedades mecânicas

A diversidade de procedimentos normativos existentes em outros países dificulta a análise dos resultados. Silveira, Varum e Costa (2013) verificaram a influência dos procedimentos de ensaio (WALKER; STANDARDS AUSTRALIA, 2002) para a caracterização mecânica dos adobes tradicionais no distrito de Aveiro, Portugal. Amostras cilíndricas e cúbicas foram submetidas a testes de compressão, e a correlação resultou em valores 6% menores para as amostras cilíndricas.

#### 4.3.1 Resistência à compressão

No ensaio de resistência à compressão a adição do estabilizante químico foi significativa ao nível de 5% para a força máxima - parâmetro auxiliar do ensaio. Os resultados obtidos para compressão foram superiores ao T1S (controle), mas



com aumento não significativo. A NTE E.080 (NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN, 2000) estabelece resistência à compressão  $\geq 0,7$  MPa, portanto os tratamentos T2A e T2B atenderam às especificações (Figura 12).

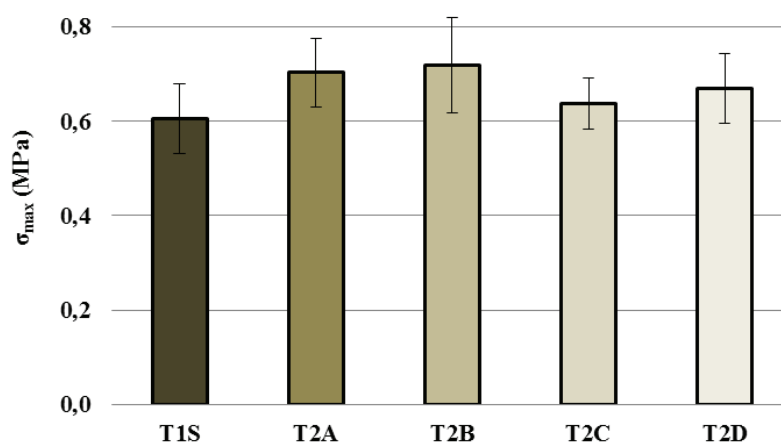


Figura 12 Resistência à compressão com a estabilização química

Os resultados apresentados demonstram que a estabilização química não representou mudanças significativas para o adobe (Tabela 9).

Tabela 9 Resultados do ensaio de compressão da ETAPA I

<b>Resistência à compressão</b>			
<b>Tratamentos</b>	<b>MOE (MPa)</b>	<b><math>\sigma_{max}</math> (MPa)</b>	<b><math>F_{max}</math> (N)</b>
T1S (controle)	43,42	0,60	11.256
T2A 1:2000	37,30	0,70	13.014
T2B 1:1500	58,06	0,72	13.005
T2C 1:1000	37,41	0,64	11.993
T2D 1:500	52,93	0,67	12.264
Média geral	45,83	0,67	12.307
$CV_e$ (%)	43,58	11,52	8,81

$CV_e$  é o coeficiente de variação experimental.

### 4.3.2 Resistência à flexão

No ensaio de resistência à flexão a adição do estabilizante não foi significativa para nenhum dos parâmetros analisados a 5%. A tendência do módulo de elasticidade foi aumentar com maior concentração de DS-328<sup>®</sup>. Os resultados foram três vezes superiores aos resultados para o ensaio de compressão. A variação foi de 111,89 a 164,25MPa e 43,42 a 52,93 MPa respectivamente. Os resultados de tensão máxima para flexão corresponderam a 67 até 78% dos obtidos para compressão (Tabela 10).

Tabela 10 Resultados de resistência à flexão na ETAPA I

Resistência à flexão			
Tratamentos	MOE (MPa)	$\sigma_{\max}$ (MPa)	F <sub>max</sub> (N)
T1S (controle)	111,89	0,47	977
T2A 1:2000	133,74	0,47	951
T2B 1:1500	148,13	0,47	1.034
T2C 1:1000	150,39	0,47	1.038
T2D 1:500	164,25	0,44	984
Média geral	141,68	0,46	997
CV <sub>e</sub> (%)	22,06	13,45	9,99

CV<sub>e</sub> é o coeficiente de variação experimental.

Essa correlação é superior ao estabelecido pela NZS 4298: 1998 (STANDARDS NEW ZEALAND, 1998) que determina 10 a 20%. Silveira et al. (2012) obtiveram resultados de resistência à flexão correspondente à 30%. Pode-se inferir que o estabilizante aumentou as propriedades de elasticidade e em

consequência a resiliência do adobe, quando expulsou a água adsorvida e preencheu esses vazios.

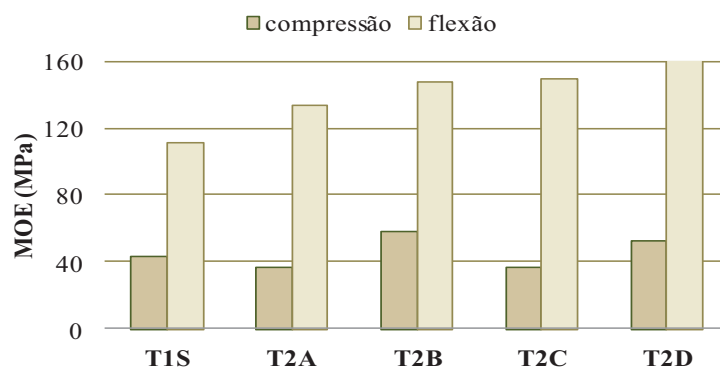


Figura 13 Comparação entre o módulo de elasticidade (MOE) para resistência à compressão e flexão

## 5 CONCLUSÃO

O estudo na ETAPA I, concluiu que a estabilização química com a incorporação da “baba de cupim sintética” contribuiu para o aumento da densidade dos adobes, proporcional ao aumento da concentração do produto, e reduziu a perda de massa. A absorção de água foi menor que 18% (ABNT, 1984) em todos os tratamentos. A altura de capilaridade teve um decréscimo significativo. O tratamento T2D, apesar do aparecimento de trincas no teste de contração foi o melhor resultado para os testes de absorção de água e capilaridade. A resistência à água comprovou sua ação coesiva, que reduziu a água adsorvida, aumentando a estabilidade do adobe. O tratamento T2B apresentou os melhores resultados em resistência à compressão e flexão.

Diante do exposto, foi decidido utilizar os tratamentos T2B e T2D incorporados às partículas lignocelulósicas para verificar a hipótese de melhorar as propriedades do adobe.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 790**: standart test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo maciço de solo cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Terra crua**. São Paulo: Ibracon, 2007. v. 2, p. 1505-1557.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de computador de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. **NTE E.080**: regulamento nacional de construcciones. Lima, 2000. p. 17.

RUIZ, L. E. H.; LUNA J. A. M. **Cartilla de pruebas de campo**. Conescal: [s. n.], 1983. 72 p.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analysis methods for grouping, means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 03, p. 507-512, 1974.

SILVEIRA, D.; VARUM, H.; COSTA, A. Influence of the testing procedures in the mechanical characterization of adobe bricks. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 40, p. 719–728, 2013.

SILVEIRA, S. et al. Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 28, p. 36–44, 2012.

STANDARDS NEW ZEALAND. **NZS 4298**: materials and workmanship for earth buildings. Wellington, 1998.

VARUM, H. et al. **Caracterização dos solos e adobes usados na construção los Camabatela, Angola**. Lisboa: Argumentum, 2007. p. 94-96.

WALKER, P.; STANDARDS AUSTRALIA. **The Australian earth building handbook, HB 195**. Sydney: Standards Australia, 2002. 152 p.

## **CAPÍTULO 4**

### **ETAPA II - INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS LIGNOCELULÓSICAS NO ADOBE**

## 1 INTRODUÇÃO

A substituição do cimento por materiais renováveis representa um imenso ganho ambiental. O bambu e o bagaço de cana-de-açúcar são espécies renováveis com grande quantidade no País. A utilização de suas partículas na construção civil pode ser uma excelente alternativa para o ambiente rural e urbano. Portanto, a incorporação dessas partículas no adobe justifica-se devido às propriedades de reforço das fibras na matriz solo, e a leveza do material. Desafios como a absorção de água, capilaridade e a interação solo-partícula são propriedades importantes a serem verificadas. A resistência mecânica deve atender aos parâmetros de segurança e qualidade do produto final.

A pesquisa prioriza então materiais não convencionais que contribuam para: redução do resíduo lignocelulósico do bagaço de cana-de-açúcar e sua valorização; desmistificação da utilização do bambu na construção; e promoção do adobe com garantia científica para sua crescente utilização. Os benefícios para o meio rural poderão estender-se aos mais variados padrões de habitação, contribuindo também para solucionar o déficit habitacional.

## 2 OBJETIVO

O objetivo da ETAPA II foi avaliar o desempenho físico-mecânico do adobe estabilizado por reforço com partículas lignocelulósicas de bagaço de cana (*Saccharum spp.*) e de bambu (*Bambusa vulgaris vittata*).

## 3 METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido na Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM), laboratórios do Departamento de Ciências Florestais, e



Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

Inicialmente foi feita a mistura do solo “*in natura*” e areia, seguindo os critérios estabelecidos pelo cálculo já determinado: para cada quilo de solo seco foram acrescentadas 412 gramas de areia fina em massa seca. A umidade higroscópica do solo foi determinada em 10%. O bagaço de cana (*Saccharum spp.*) foi fornecido por Usina Sucroalcooleira Monte Alegre localizada na cidade de Areado (MG), e o bambu (*Bambusa vulgaris vittata*), com doze anos de idade, cedido pela Universidade Federal de Lavras.

Fragmentos de adobes coletados após o ensaio de resistência à compressão foram observados em microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscópio estereoscópio para visualizar a interação solo- partículas lignocelulósicas.

### **3.1 Plano experimental**

O tratamento controle (T1S) foi o adobe em solo corrigido (412 g de areia fina para cada quilo de solo “*in natura*” em massa seca). Para os outros tratamentos, de acordo com o plano experimental (Figura 1) foram utilizadas partículas lignocelulósicas: de bagaço de cana (*Saccharum officinarum*) em 2% (T3C2), 4% (T3C4) e 6% (T3C6) em massa seca; e de bambu (*Bambusa vulgaris vittata*) em 2% (T4B2), 4% (T4B4) e 6% (T4B6) em massa seca. Para calcular as quantidades de partículas foi determinada a umidade higroscópica. As partículas foram lavadas com o descarte do processo de destilação de água à temperatura de 45<sup>0</sup>C até eliminar a turbidez da água. Após a lavagem as partículas foram expostas ao tempo para secagem completa. Os adobes produzidos em cada tratamento foram pesados e medidos para cálculo de densidade. Foram avaliados nos seguintes parâmetros conforme fluxograma

(Figura 1): contração linear; densidade; absorção de água; capilaridade; perda de massa; resistência à compressão; e resistência à flexão.

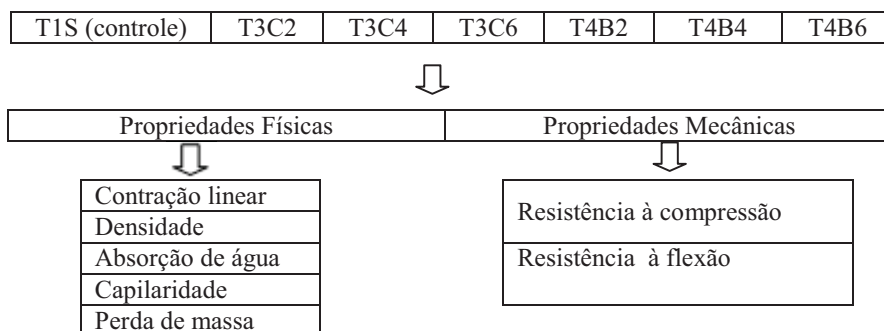


Figura 1 ETAPA II - Fluxograma do Plano experimental

### 3.2 Determinação da umidade ideal

O parâmetro para comparação de umidade ideal adotado foi o limite de plasticidade (LP), com resultado de 34,58% para o solo corrigido. Para cada tratamento a quantidade de água na mistura foi definida por ensaios de campo denominados “Queda da bola” (BARBOSA; GHAVAMI, 2007) e “Prueba de Vicat” (RUIZ; LUNA, 1983). Amostras com três repetições foram colocadas em estufa a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (Figura 2). Os resultados foram comparados com o LP do solo.



Figura 2 Teste da bola (a, b) e “Prueba de Vicat” com umidade determinada na estufa a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (c, d)

### 3.3 Incorporação das partículas lignocelulósicas

A densidade do solo foi de  $1,42\text{g}/\text{cm}^3$ . O volume da unidade do adobe foi de  $3.600\text{ cm}^3$ . A massa por unidade foi de  $5.112\text{ g}$ . A quantidade de partículas para cada tratamento foi calculada e preparada em porcentagem da massa de solo seco. A densidade do bagaço de cana e do bambu lavados, já determinados na caracterização dos materiais (Capítulo 2) foi de  $0,156\text{g}/\text{cm}^3$  e  $0,298\text{g}/\text{cm}^3$  respectivamente. O bagaço de cana representa quase o dobro do bambu em volume para a mesma massa de partículas (Tabela 1).

Tabela 1 Relação entre massa e volume de partículas de bagaço de cana e bambu

Tratamentos	Massa <sub>partículas</sub> /Massa <sub>solo</sub>		Volume <sub>partículas</sub> /Volume <sub>solo</sub>	
	(kg)	(%)	(cm <sup>3</sup> )	(%)
T1S*(controle)	-	-	-	-
T3C2	2,454	2	15.731	18
T3C4	4,908	4	31.462	38
T3C6	7,361	6	47.186	58
T4B2	2,658	2	8,919	9,7
T4B4	4,908	4	16.470	20
T4B6	7,361	6	24.701	30

\* produzido na ETAPA I.

A quantidade total de solo e partículas foi calculada em massa e volume para cada tratamento. Na Tabela 2 são relacionados: a massa total, quantidade calculada e produzida de adobes.

Tabela 2 Tratamentos e quantidades de partículas e adobes

T*	Bagaço de Cana	Bambu	Solo	Solo e Partículas	Produção (unid.)	
	(g)	(g)	(kg)	(kg)	calc.	real
T1S	-	-	143,136	143,136	28	26
T3C2	2.454	-	120,234	122,688	24	23
T3C4	4.908	-	117,780	122,688	24	25
T3C6	7.361	-	115,327	122,688	24	27
T4B2	-	2.658	130,254	132,904	26	20
T4B4	-	4.908	117,780	122,688	24	21
T4B6	-	7.361	115,327	122,688	24	22

\* Tratamentos.

### 3.4 A “maromba”

A "maromba manual" com alavanca lateral testada na primeira etapa foi aprimorada com introdução de um motor trifásico de 3CV. A mistura do adobe, então, foi revolvida até ficar homogênea, inicialmente com enxada e pés e posteriormente na maromba (Figura 3).

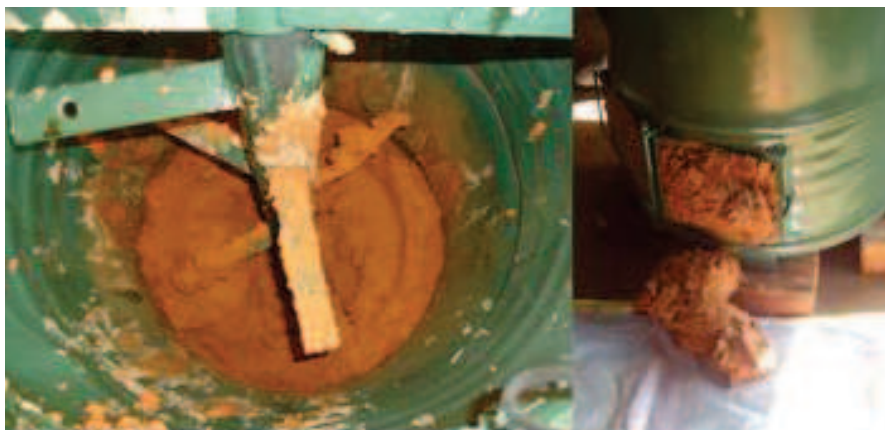


Figura 3 Homogeneização e retirada da mistura pronta da “maromba”

### 3.5 Produção e secagem

Na produção em galpão coberto foram utilizadas formas duplas de madeira nas dimensões 30x15x8cm. Essas foram imersas em água e em seguida em caixa de areia para facilitar o desmolde. Foram colocadas em superfície plana cimentada com fina camada de areia. Para cada tratamento os procedimentos para produção foram: pesagem do solo corrigido; colocação do solo em estrado de madeira; adição das partículas lignocelulósicas em 2%, 4%, e 6% em massa seca; homogeneização com enxada; colocação parcial da água; homogeneização com os pés; ajustes da quantidade de água com os testes de campo; homogeneização na “maromba”; retirada de três amostras da mistura para determinação da umidade final na estufa a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ; colocação das misturas nas formas de madeira; e desmolde. Os adobes foram mantidos no local do desmolde até estarem completamente secos (Figura 4). Aos três dias foram colocados em posição lateral e aos sete em posição vertical.



Figura 4 Mistura das partículas no solo, formas imersas na areia e adobes produzidos

### 3.6 Propriedades físicas

Para as propriedades físicas os testes de campo adotados foram de contração com cinco repetições (RUIZ; LUNA, 1983), absorção de água com seis repetições e capilaridade com três repetições (VARUM et al., 2007), com cálculo de perda de massa. A densidade do adobe foi determinada para as amostras utilizadas no ensaio de flexão com quatro repetições.

#### 3.6.1 Contração linear

No teste de contração, as formas de madeira com fundo nas dimensões 2x2x10cm foram preenchidas com amostras da mistura pronta. Após sete dias foi medida a contração linear longitudinal, largura e espessura das amostras. Observou-se também a presença ou não de fissuras e/ou trincas.

### **3.6.2 Absorção de água (AA) e perda de massa**

O teste de absorção de água com seis repetições seguiu metodologia modificada (VARUM et al., 2007). Os adobes de cada tratamento foram serrados ao meio com serra circular. As amostras foram pesadas antes do teste e seis horas após imersão em 3,6Ls de água em bandejas (47x32x9cm).

A absorção de água (AA) foi calculada em porcentagem, considerando a perda de massa. Para o cálculo da perda de massa (%), foi retirado o material depositado no fundo da bandeja após seis horas, e determinada a massa seca em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Foi calculada então, a porcentagem em relação à massa seca inicial.

### **3.6.3 Capilaridade e perda de massa**

O teste de capilaridade seguiu a metodologia modificada com três repetições (VARUM et al., 2007). A quantidade de água foi de 400 mL/bandeja (47x32x9cm) correspondeu a 0,6cm de altura. Os três adobes foram colocados na bandeja e a água foi derramada na superfície em seguida. Após uma hora, a altura atingida pela água foi medida em quatro repetições (duas larguras e dois comprimentos) de cada amostra. O resultado foi a média entre os dados obtidos. O material que ficou depositado no fundo da bandeja foi retirado e seco em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  para cálculo da perda de massa seca. Foi determinada então, a porcentagem de perda de massa em relação à massa total inicial para os três adobes de cada tratamento.

### **3.7 Propriedades Mecânicas**

Para as propriedades mecânicas foram feitos os ensaios de compressão, NTE. 080 (NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN - NTE, 2000) e flexão, ASTM D-790 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2000) aos 40 dias após a produção.

#### **3.7.1 Resistência à compressão**

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na Máquina Universal EMIC com seis repetições. Os adobes foram pesados e medidos antes do ensaio. Foram serrados ao meio e as metades foram unidas utilizando-se argamassa para assentamento solo:cal (1:4) e para regularização das superfícies de contato com a prensa. Após secagem da primeira camada de regularização foram aplicadas outras duas, com traço mais forte 1:2 para acabamento sem fissuras. A célula de carga utilizada foi de 100kN. Foram avaliados os seguintes parâmetros: módulo de elasticidade (MOE); resistência à compressão ( $\sigma_{\max}$ ); e força máxima ( $F_{\max}$ ).

#### **3.7.2 Resistência à flexão**

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados na Máquina Universal EMIC com quatro repetições. Os adobes foram pesados e medidos antes do ensaio. A distância entre os dois cutelos inferiores foi de 240 mm para todos os adobes. A célula de carga utilizada foi de 20kN com velocidade de 1,2mm/min. Os corpos de prova foram submetidos à carga até a fratura. Foram avaliados os seguintes parâmetros: módulo de elasticidade (MOE); resistência à flexão ( $\sigma_{\max}$ ); e força máxima ( $F_{\max}$ ).



### **3.8 Delineamento experimental**

Os dados do experimento foram analisados pela análise de variância, considerando-se um delineamento inteiramente casualizado. O teste de Tukey foi aplicado para diferenças significativas em nível de 5%. O *software* utilizado foi o SISVAR 4.2 (FERREIRA, 2011).

### **3.9 Visualização microestrutural dos adobes**

A visualização microestrutural dos fragmentos de adobes após o ensaio de resistência à compressão foi feita utilizando o microscópio eletrônico de varredura (MEV) LEO EVO 40 XVP, e o microscópio estereoscópico MEIJI TECHNO RZ com aumento de 7,5 a 75 vezes (Figura 5a,b). Para a MEV as amostras foram presas com fita dupla face em “*stubs*” de alumínio (Figura 5c), climatizadas e levadas ao Sputtering para o banho de ouro.

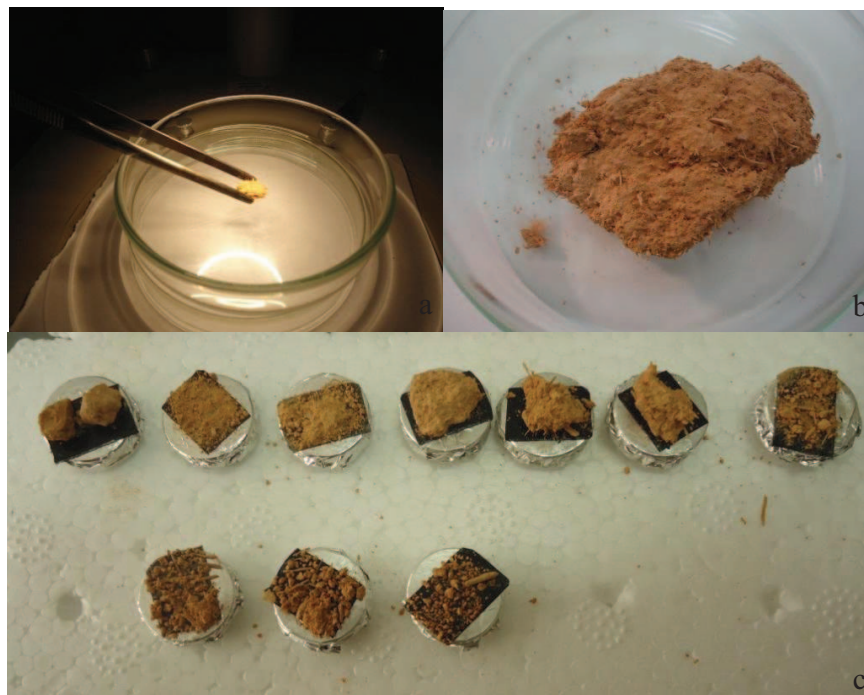


Figura 5 Amostras no microscópio estereoscópio (a,b) e “stubs” preparados para o banho de ouro (c)

## 4 RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir são comparativos entre os adobes produzidos com solo corrigido T1S (controle), e o mesmo com incorporação de partículas lignocelulósicas de bagaço de cana (*Saccharum officinarum*) e de bambu (*Bambusa vulgaris vittata*) em 2%, 4% e 6% em peso seco, para avaliar o comportamento entre os tratamentos.

### 4.1 Umidade ideal

Os resultados de umidade ideal com 2% de partículas foram próximos ao limite de plasticidade LP de 34,58%. Para acréscimo de 4% e 6% de partículas, a umidade ideal ficou entre o LP e o Limite de Liquidez de 55,44%. Essa constatação comprova a propriedade hidrofílica das partículas. A maior porosidade das partículas, resultando em menor densidade fez com que a interação solo-partículas absorvesse maior quantidade de água (Tabela 3).

Tabela 3 Comparação entre as umidades ideais para cada tratamento e o LP do solo corrigido com areia

Tratamentos	Quantidade de solo seco (kg)	Umidade ideal		
		Quantidade de Água+ Soluções (L)	Umidade na estufa (%)	Limite de Plasticidade (%)
T1S	143,136	50	34,93	34,58
T3C2	122,688	39,4	34,48	
T3C4	122,688	50	41,35	
T3C6	122,688	48	42,53	
T4B2	132,912	33	34,64	
T4B4	122,688	36	37,46	
T4B6	122,688	38	42,15	

## 4.2 Propriedades físicas

Os adobes foram avaliados quanto à densidade, contração linear, absorção de água, capilaridade e perda de massa.

### 4.2.1 Densidade dos adobes

O efeito da interação entre os tratamentos com partículas lignocelulósicas e sua quantidade não foi significativo a 5%, então foram avaliados os efeitos simples. O modelo de regressão ajustou-se melhor ao modelo linear. A incorporação de partículas lignocelulósicas reduziu a densidade do adobe, devido ao aumento dos espaços vazios na sua microestrutura. Os resultados demonstram que o acréscimo de partículas de bagaço de cana, com metade de densidade básica em relação ao bambu, correspondeu ao dobro de volume para mesmo peso. As densidades do adobe para o bagaço de cana então foram menores (Tabela 4, Figura 6).

Tabela 4 Resultados médios para densidade dos adobes

Trats.	Resultados médios					
	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm)	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
T1S	27,6	13,8	7,3	2755	4898	1,763 <sub>(0,115)*</sub>
T3C2	28,1	14,0	7,5	2953	4877	1,651 <sub>(0,051)</sub>
T3C4	28,2	14,0	7,35	2894	4342	1,501 <sub>(0,036)</sub>
T3C6	28,2	14,0	7,5	2958	4148	1,402 <sub>(0,004)</sub>
T4B2	28,35	14,0	7,5	2967	5179	1,746 <sub>(0,016)</sub>
T4B4	28,5	14,0	7,4	2943	4738	1,612 <sub>(0,079)</sub>
T4B6	28,1	14,0	7,4	2899	4484	1,548 <sub>(0,041)</sub>

\*desvio padrão

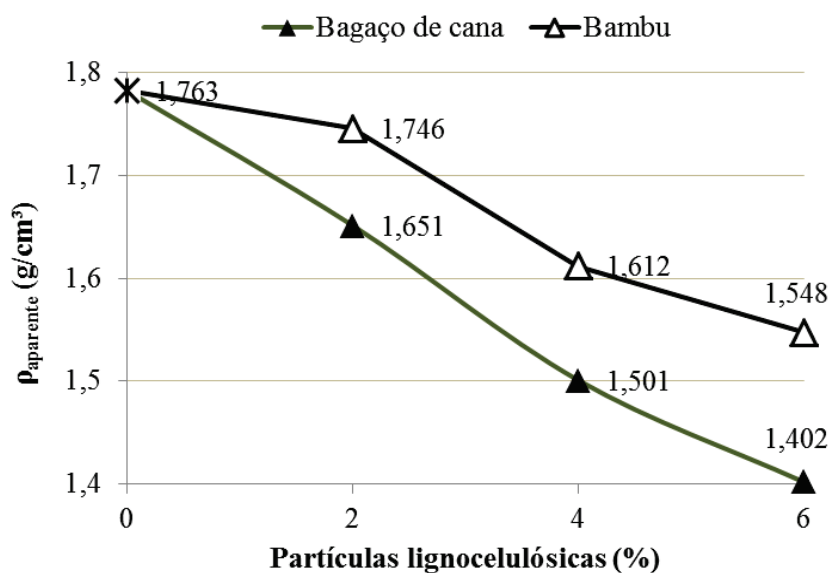


Figura 6 Efeito da adição de partículas lignocelulósicas na densidade do adobe para 2%, 4% e 6%

#### 4.2.2 Contração linear

Os resultados de contração longitudinal e altura foram analisados estatisticamente. Não houve contração expressiva na largura para a incorporação de ambas as partículas, com resultado médio de 2%. Houve interação entre a quantidade e o tipo de partícula. Os resultados demonstram que o acréscimo de partículas de bagaço de cana reduziu a contração longitudinal. Os resultados foram melhores devido ao volume utilizado ser o dobro. Quanto à altura, apresentou maior contração para o bagaço de cana, mas não houve variação significativa entre as quantidades (Tabela 6). Para o acréscimo de partículas de bambu não houve variação significativa no comprimento devido à quantidade ser menor, mas a contração foi menor em relação à altura. Pode-se afirmar que,

tanto as partículas de bagaço de cana como de bambu incorporadas ao adobe com solo corrigido (T1S), contribuíram para a redução na contração.

Tabela 5 Resultados para contração linear na ETAPA II

Contração (%)	Partícula	Quantidade (%)			C <sub>v</sub> (%)
		2	4	6	
Longitudinal	T3C	5,0aC	4,2aB	2,8aA	11,89
	T4B	4,8aA	6,6bB	5,0bA	
Altura	T3C	14aA	16bA	15bA	13,70
	T4B	15aB	6aA	8aA	

Médias seguidas por mesma letra minúscula no sentido vertical ou maiúscula no sentido horizontal são estatisticamente iguais pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.



Figura 7 Contração longitudinal com acréscimo de partículas de bagaço de cana

#### 4.2.3 Absorção de água (AA) e perda de massa

Inicialmente, na pesagem das amostras observou-se que a massa seca das amostras diminuiu com o acréscimo de partículas lignocelulósicas. A perda de massa foi menor com o aumento na porcentagem de partículas (Tabela 48). Não foi possível pesar as amostras dos tratamentos T4B em 2% e 4% porque desmancharam em contato com a água (Figura 8). O pequeno volume de partículas de bambu não foi suficiente para reter o solo no adobe.

Tabela 6 Resultados de perda de massa para a ETAPA II

Resultados	Tratamentos					
	T3C (%)			T4B (%)		
	2	4	6	2	4	6
Massa seca inicial * (kg)	14,027	12,849	12,374	14,870	14,101	12,860
Perda de massa seca (kg)	0,724	0,414	0,485	-	-	1,216
Perda de massa (%)	5,16	3,22	3,93	-	-	9,46

\* soma da massa total das seis amostras para cada tratamento

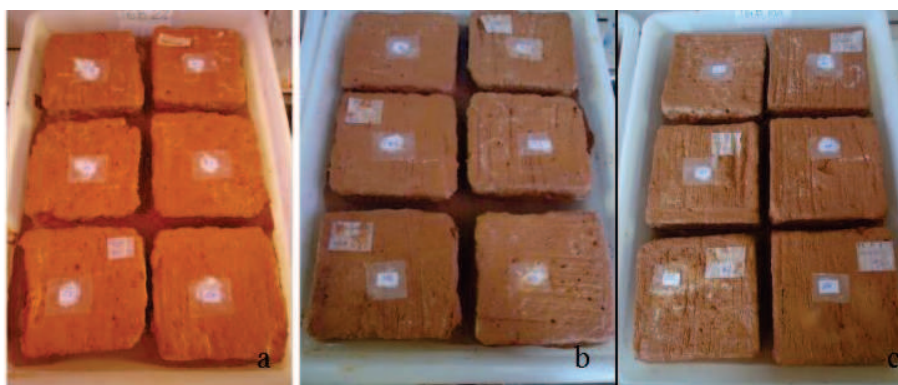


Figura 8 Tratamentos T4B com 2% e 4% desmanchando-se (a,b), e tratamento T4B com 6% de partículas (c)

O efeito dos tratamentos para absorção de água foi significativo a 5%. A presença das partículas contribuiu para maior absorção de água, entretanto a estabilização por reforço e armação conteve maior quantidade de solo e evitou que o adobe desmanchasse. Quanto às partículas de bambu as porcentagens em massa representaram pouco volume, sendo que o tratamento T4B com 6% foi o único que não desmanchou. Os tratamentos T3C com 2% e T4B com 6% atenderam à NBR 8492 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984) que trata de tijolos de solo-cimento e recomendam  $AA\% \leq 18\%$  (Tabela 7).

Visualmente, as amostras de partícula com bagaço de cana apresentaram as arestas bem definidas configurando melhor aspecto.

Tabela 7 Resultados de absorção de água na ETAPA II

Partículas	Quantidade (%)	Absorção de água (%)	CV <sub>e</sub> (%)
T3C	2	16,52 (0,89)	4,86
	4	18,20 (1,25)	
	6	20,06 (0,15)	
T4B	2	-	-
	4	-	
	6	17,22 (2,72)	

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental. Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. \*CV: coeficiente de variação calculado.

#### 4.2.4 Capilaridade e perda de massa

Os resultados médios da perda de massa decresceram com o acréscimo das partículas, demonstrando a função de reforço das fibras e a coesão com o solo (Tabela 8).

Tabela 8 Resultados de perda de massa para capilaridade na ETAPA II

	(%)	Massa seca inicial (kg)*	Perda de massa (kg)	Perda de massa (%)
T1S	-	15,311	0,076	0,50
T3C	2	14,718	0,056	0,38
	4	13,206	0,043	0,32
	6	12,824	0,024	0,19
T4B	2	15,295	0,145	0,95
	4	14,467	0,077	0,53
	6	13,687	0,070	0,51

\* soma da massa inicial das três amostras cada tratamento.

Os resultados demonstraram que a altura da água ascendente aumentou quando comparada com o tratamento T1S (controle) com a presença de



partículas lignocelulósicas. A variação de altura de capilaridade foi analisada estatisticamente com nível 5% e foi significativa (Tabela 9, Figura 9).

Tabela 9 Resultados de altura de capilaridade na ETAPA II

Partículas (%)	Altura de capilaridade (cm)			CV <sub>e</sub> (%)
	Bambu	Bagaço de cana	Média	
0		1,73		
2	3,9	3,6	3,8	6,29
4	4,0	3,5	3,7	
6	3,5	3,3	3,4	

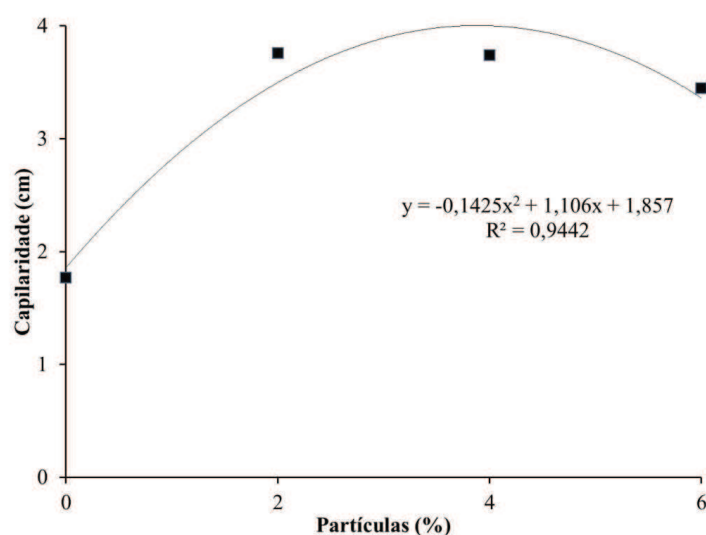


Figura 9 Efeito do teor das partículas lignocelulósicas na altura de capilaridade do adobe

### 4.3 Propriedades mecânicas

Piattoni, Quagliarini e Lenci (2011) fizeram uma correlação linear empírica entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade (MOE) experimental, para aplicar modelos de propriedades elásticas para adobes

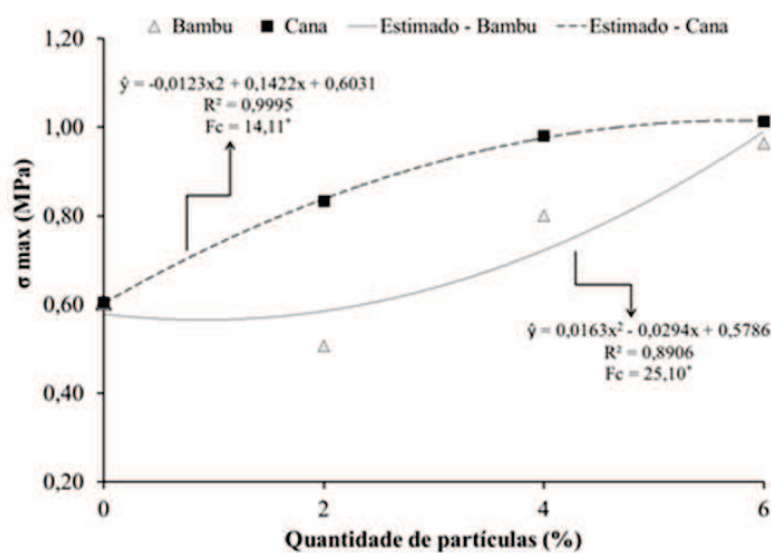
estruturais. Adotaram para os ensaios de compressão amostras de várias dimensões e composições (solo, areia, fibras de palha) com a finalidade de avaliar seus efeitos. A resistência à compressão experimental para as fibras de palha aumentou com a redução da relação de aspecto das amostras conforme constatado por Morel, Pkla e Walker (2007). Outra conclusão foi que o aumento de areia média no adobe aumentou o MOE, mas reduziu a resistência à compressão, constatado também por Corrêa et al. (2006). A correlação empírica linear entre os valores médios da resistência à compressão e o módulo elástico confirma a evidência experimental, que a resistência diminui com o aumento do MOE. Com o uso combinado dos modelos de previsão das propriedades elásticas é possível avaliar a resistência à compressão. A utilização do modelo de Hill nas composições investigadas permitiu uma boa previsão do MOE das amostras, e uma estimativa fiável da resistência à compressão.

#### **4.3.1 Resistência à compressão**

A incorporação de partículas lignocelulósicas foi significativa a 5% para a resistência à compressão. A média geral para as duas variáveis (tipos de partículas) foi superior ao T1S (controle). A NTE E.080 (NTE, 2000) estabelece resistência à compressão  $\geq 0,7$  MPa, portanto os tratamentos com partículas atenderam às especificações. Para o módulo de elasticidade (MOE) não houve interação entre quantidade e tipo de partículas. Os resultados foram para bagaço de cana e bambu 49,08 e 42,74 Mpa, respectivamente, com  $CV_e$  de 19,73%. Houve efeito simples para cada tipo de partícula.

Tabela 10 Resultados de resistência à compressão na ETAPA II

		Partículas (%)	MOE (MPa)	$\sigma_{\max}$ (MPa)	$F_{\max}$ (N)
<b>T1S (controle)</b>		<b>0</b>	<b>43,42</b>	<b>0,60</b>	<b>11.256</b>
Bagaço de cana	T3C	2	49,08	0,83	16.145
		4		0,98	19.240
		6		1,01	20.238
Bambu	T4B	2	42,74	0,51	10.406
		4		0,80	15.503
		6		0,96	18.577
Média geral			45,08	0,79	15.909
CVe (%)			19,74	8,11	7,80

Figura 10 Variação da  $\sigma_{\max}$  com o teor de partículas lignocelulósicas

#### 4.3.2 Resistência à flexão

A quantidade de partículas de bagaço de cana não interferiu na resistência à flexão, mas o acréscimo das partículas de bambu melhorou os resultados.

Quando comparados com T1S (controle) observou-se que a presença das partículas não representou alteração significativa para resistência à flexão.

Tabela 11 Resultados de resistência à flexão na ETAPA II

Tratamentos		Partículas (%)	MOE (MPa)	$\sigma_{\max}$ (MPa)	$F_{\max}$ (N)
		0	111,89	0,47	977
Bagaço de cana	T3C	2	132,73	0,56	1.222
		4	114,08	0,51	992
		6	83,65	0,49	1.076
Bambu	T4B	2	132,73	0,29	658
		4	114,08	0,39	1.005
		6	83,65	0,42	716
Média geral			111,31	0,45	949
CVe (%)			28,13	18,73	15,34

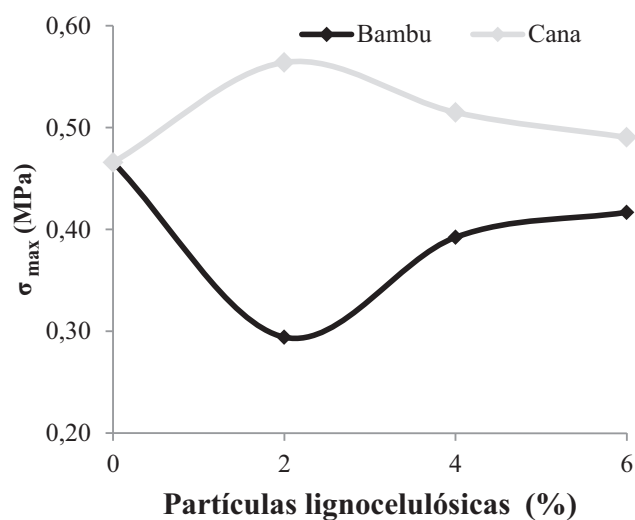


Figura 11 Resistência à flexão com o aumento de partículas

Para o módulo de elasticidade não houve variação significativa entre os dois tipos de partículas (tabela 12). Em relação à quantidade houve redução nos

resultados, mas o acréscimo de 2% foi superior ao controle T1S. A interação entre os fatores foi analisada pelo teste de Tukey.

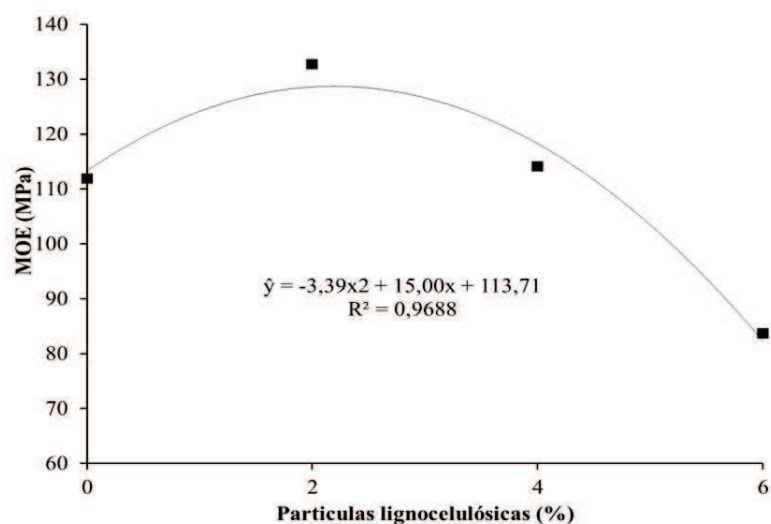


Figura 12 Variação de MOE com o acréscimo de partículas lignocelulósicas

#### 4.4 Visualização microestrutural dos adobes

O reforço com partículas lignocelulósicas no adobe foi observado com microscópio estereoscópico (Figura 13) e em MEV. Em ambas as imagens são visíveis a afinidade entre os materiais. O solo aderiu às duas espécies de partículas como é demonstrado na Figura 14.

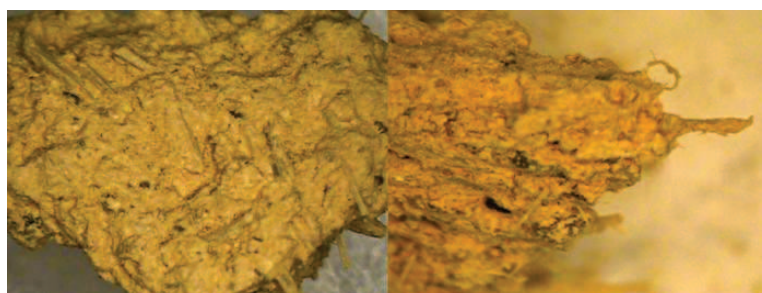


Figura 13 As imagens de microscopia estereoscópica para T3C e T4B a 6% demonstrou a interação solo-partículas

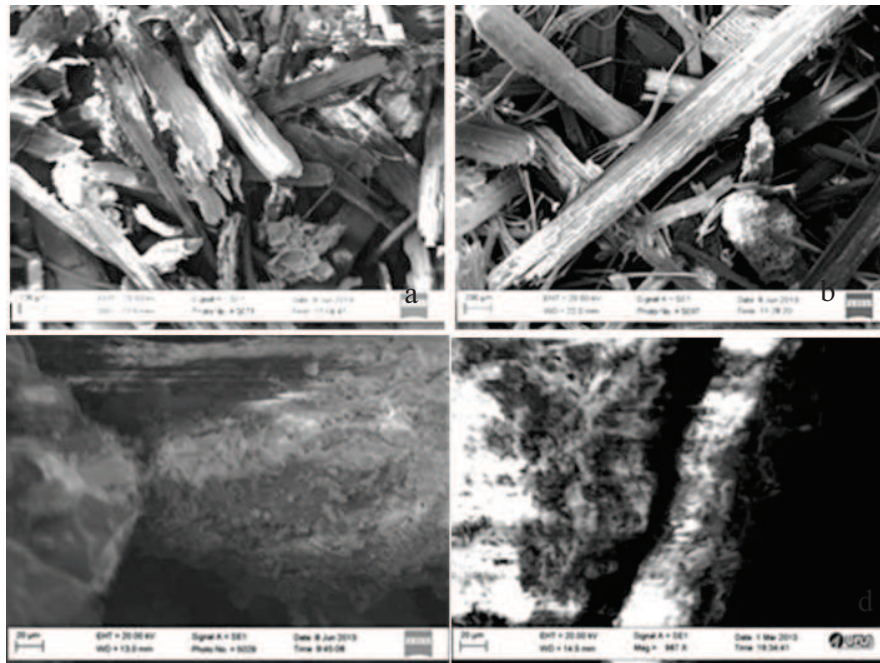


Figura 14 Imagens em MEV das partículas de bagaço de cana (a) e bambu (b) e abaixo fragmentos do adobe T3C 4% com aumento de 1000X e T4B6% com aumento de 50X identificam a aderência do solo

## 5 CONCLUSÃO

Para as propriedades físicas houve efeitos positivos com o acréscimo de partículas com redução de até 20% em massa. Apesar da perda de massa ter sido menor, a capilaridade aumentou devido às propriedades hidrofílicas das fibras. A absorção de água foi aceitável para o acréscimo de 6% de partículas de bambu e para 2% de bagaço de cana. O reforço com a incorporação de partículas lignocelulósicas de bagaço de cana (T3C) e bambu (T4B) melhorou a resistência à compressão e os resultados ficaram acima de 0,7MPa, com exceção para o acréscimo de 2% de bambu que representou um volume muito pequeno de partículas. Para flexão os resultados não foram significativos.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 790**: standart test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e absorção da água. Rio de Janeiro, 1984.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Terra crua**. São Paulo: Ibracon, 2007. v. 2, p. 1505-1557.

CORRÊA, A. A. R. et al. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua). In: **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n. 3, p. 503-515, 2006.

FERREIRA D. F. SISVAR: um sistema de computador de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

MOREL, J. C. ; PKLA, A.; WALKER, P. Compressive strength testing of compressed earth blocks. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 21, p. 303–309, 2007.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. **NTE E.080**: reglamento nacional construcciones. Lima, 2000. p. 17.

PIATTONI, Q.; QUAGLIARINI, E.; LENCI, S. Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 25, p. 2067–2075, 2011.



RUIZ, L. E. H.; LUNA J. A. M. **Cartilla de pruebas de campo**. Conescal: [s. n], 1983. p. 72.

VARUM, H. et al. **Caracterização dos solos e adobes usados na construção dos Camabatela, Angola**. Lisboa: Argumentum, 2007. p. 94-96.

## **CAPÍTULO 5**

### **ETAPA III - INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS LIGNOCELULÓSICAS E “BABA DE CUPIM SINTÉTICA” NO ADOBE**

## 1 INTRODUÇÃO

No capítulo 3 (ETAPA I) foi avaliada a inclusão de “baba de cupim sintética” ao solo e os melhores resultados foram T2B (1:1500) e T2D (1:500) para as propriedades mecânicas e físicas, respectivamente. A estabilização química promoveu aumento da densidade aparente dos adobes, redução da absorção de água, de capilaridade, e da perda de massa. A resistência à compressão teve aumento pouco significativo. No capítulo 4 (ETAPA II) foi avaliada a inclusão de partículas lignocelulósicas de bagaço de cana e bambu ao solo. O reforço com partículas promoveu melhor resistência à compressão, reduziu o peso e a perda de massa do adobe, mas houve aumento na absorção de água e capilaridade. Tanto a estabilização química do solo quanto o reforço, melhoraram a qualidade do adobe, mas em propriedades distintas. Neste capítulo (ETAPA III), o desafio foi unir os materiais e avaliar o efeito solo-partículas-“baba de cupim sintética” na estabilização do adobe.

## 2 OBJETIVO

O objetivo da ETAPA III foi avaliar o desempenho físico-mecânico do adobe com estabilização química “baba de cupim sintética” e por reforço com partículas de bagaço de cana (*Saccharum spp.*) e de bambu (*Bambusa vulgaris vittata*), simultaneamente.

## 3 METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido na Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM), laboratórios do Departamento de Ciências Florestais, e Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) do

Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Os procedimentos de preparo para o solo e para as partículas lignocelulósicas foi o mesmo descrito nos capítulos anteriores. As quantidades de “baba de cupim sintética” escolhidas foram as concentrações 1:1.500 (0,07%) e 1:500 (0,20%). Fragmentos de adobes coletados após o ensaio de resistência à compressão foram observados em microscópio estereoscópio para visualizar a interação solo-partículas lignocelulósicas-“baba de cupim sintética”.

### 3.1 Plano experimental

O controle (T1S) foi o adobe em solo corrigido, comparado aos outros tratamentos com partículas de bagaço de cana e bambu com 2%, 4%, e 6% em massa seca, e “baba de cupim sintética” nas concentrações T2B (1:1500) e T2D (1:500), conforme o plano experimental (Figura 1). Como o cálculo da dosagem foi feito considerando a massa de solo seco, foi determinada a umidade higroscópica inicialmente. Os adobes produzidos foram pesados e medidos para cálculo de densidade.

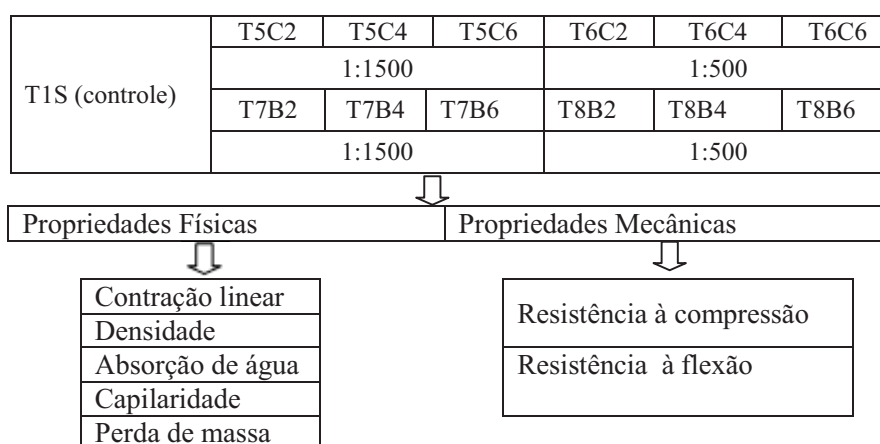


Figura 1 ETAPA III - Fluxograma do plano experimental

### 3.2 Determinação da umidade ideal

O parâmetro para comparação de umidade ideal adotado foi o limite de plasticidade (LP), com resultado de 34,58% para o solo corrigido. Para cada tratamento a quantidade de água na mistura foi definida por ensaios de campo denominados “Queda da bola” (BARBOSA; GHAVAMI, 2007) e “Prueba de Vicat” (RUIZ; LUNA, 1983). Amostras com três repetições foram colocadas em estufa a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Os resultados foram comparados com o LP do solo.

### 3.3 Incorporação de partículas lignocelulósicas

A quantidade de solo seco e de partícula para cada tratamento referente à produção calculada e real de adobe (Tabela 1) seguiram os procedimentos de cálculo da ETAPA II do capítulo 4. Para o cálculo das quantidades de partículas lignocelulósicas determinou-se a quantidade em massa seca.

Tabela 1 Tratamentos com quantidades de partículas e adobes

Trats.	Bagaço de Cana		Bambu		Solo seco	Produção (unid.)	
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(kg)	calc.	real
T1S	-	-	-	-	143,136	28	26
T5C2	2.658	15.731	-	-	130,254	26	26
T5C4	4.908	31.462	-	-	117,780	24	26
T5C6	7.361	47.186	-	-	115,327	24	28
T6C2	2.658	15.731	-	-	130,254	26	26
T6C4	4.908	31.462	-	-	117,780	24	26
T6C6	7.361	47.186	-	-	115,327	24	28
T7B2	-	-	2.658	8.919	130,254	26	24
T7B4	-	-	4.908	16.470	117,780	24	24
T7B6	-	-	7.361	24.701	115,327	24	24
T8B2	-	-	2.658	8.919	130,254	26	24
T8B4	-	-	4.908	16.470	117,780	24	22
T8B6	-	-	7.361	24.701	115,327	24	23

### 3.4 Incorporação da “baba de cupim sintética”

A solução de DS-328® foi preparada a 10% e a solução do reagente sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  a 1% conforme o capítulo 3 item 3.3. O cálculo da quantidade de “baba de cupim sintética” foi feito em função do peso seco do solo. Na Tabela 2 são representadas as quantidades de solução, solo e a produção de adobes correspondentes, observa-se a quantidade mínima necessária do estabilizante.

Tabela 2 Quantidade total de estabilizante, solo e adobes por tratamento

Tratamentos	Solo seco (kg)	Solução (mL) DS-328® a 10%	Reagente (mL) $Al_2(SO_4)_3$ a 1%
T1S	143,136	-	-
T2B1:1500	130,254	868,36	2.605
	117,780	785,20	2.355,60
	115.327	768,85	2.306,54
T2D 1:500	130,254	2.605,08	2.605
	117,780	2.355,60	2.355,60
	115.327	2.306,54	2.306,54

### 3.5 Produção e secagem

A produção teve os mesmos procedimentos descritos nos capítulos 3 e 4, com novos tratamentos. Em sequência: pesagem do solo corrigido; colocação do solo em estrado de madeira; adição das partículas de bambu e bagaço de cana separadamente com 2%, 4%, e 6% em massa seca; homogeneização com enxada; colocação da solução de “baba de cupim sintética” com metade da água; homogeneização com os pés; colocação da solução do reagente com a outra metade da água; homogeneização com os pés; ajustes da quantidade de água com os testes de campo; homogeneização na “maromba”; retirada de três amostras da mistura para determinação da umidade final na estufa a  $103 \pm 2^\circ C$ ;

colocação das misturas nas formas de madeira; e desmolde (Figura 2). Os adobes foram mantidos no local do desmolde até estarem completamente secos. Aos três dias foram colocados em posição lateral e aos sete em posição vertical.



Figura 2 Mistura dos materiais (a); aspecto da “baba de cupim sintética” sobre o solo (b); mistura na maromba (c); e secagem dos adobes (d)

### 3.6 Propriedades físicas

Para as propriedades físicas os testes de campo adotados foram de contração (RUIZ; LUNA, 1983), absorção de água e capilaridade (VARUM et al., 2007), com cálculo de perda de massa. A densidade foi determinada para as quatro amostras utilizadas antes do ensaio de flexão, medindo-se o volume e determinando-se o peso dos adobes.

### **3.7 Propriedades mecânicas**

Para verificar as propriedades mecânicas foram feitos os ensaios de compressão, NTE.080 (NORMAS TÉCNICAS DE EDIFICACIÓN - NTE, 2000) e flexão em três pontos, ASTM D-790 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2000) aos 40 dias após a produção.

### **3.8 Delineamento experimental**

O delineamento foi inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial triplo (tipo de partícula, quantidade de partícula e quantidade de aditivo) com tratamento adicional T1S (controle).

### **3.9 Visualização microestrutural dos adobes**

As amostras foram retiradas após os ensaios mecânicos. A visualização microestrutural dos adobes foi feita utilizando o microscópio eletrônico de varredura (MEV) LEO EVO 40 XVP, e o microscópio estereoscópico MEIJI TECHNO RZ com aumento de 7,5 a 75 vezes. Para a MEV as amostras foram presas com fita dupla face em “*stubs*” de alumínio, climatizadas e levadas ao *Sputtering* para o banho de ouro.



## 4 RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir são referentes aos adobes produzidos com solo corrigido T1S (controle), solo corrigido com incorporação de partículas lignocelulósicas de bagaço de cana (*Saccharum officinarum*) e de bambu (*Bambusa vulgaris vittata*) em 2%, 4%, e 6% e incorporação de “baba de cupim sintética” em 0,07% (1:1500) e 0,20% (1:500).

### 4.1 Umidade ideal

Os efeitos da adição da “baba de cupim sintética” nos adobes com bagaço de cana foram mais efetivos quanto à redução de umidade ideal, quando a quantidade de partículas era menor (T5C2 e T6C2). Pode-se inferir que a presença de maior quantidade de partículas inibiu parcialmente a propriedade hidrofugante do produto. Para os adobes com bambu o efeito da redução de quantidade de água foi verificado para menor quantidade do estabilizante químico. A absorção de água que aumenta o volume de partículas é maior, como pode ser observado para o bagaço de cana (Tabela 3).

Tabela 3 Comparação entre as umidades ideais para cada tratamento e o LP do solo corrigido com areia

Tratamentos	Quantidade de solo seco (kg)	Umidade ideal		
		Quantidade de Água+Soluções (L)	Umidade na estufa (%)	Limite de Plasticidade (%)
T1S*	143,136	50	34,93	
T5C2	130,254	40,82	35,18	
T5C4	117,780	42	37,89	
T5C6	115,327	52	48,76	34,58
T6C2	130,254	38,60	33,19	
T6C4	117,780	42	36,99	
T6C6	115,327	54	46,57	

“Tabela 3, conclusão”

T7B2		130,254	36,87	35,06
T7B4	1:1500	117,780	36,60	34,99
T7B6		115,327	38	32,31
T8B2		130,254	37	34,06
T8B4	1:500	117,780	40	37,84
T8B6		115,327	40	37,07

\*produzido na ETAPA I.

## 4.2 Propriedades físicas

Os adobes foram avaliados quanto à densidade, contração linear, absorção de água, capilaridade e perda de massa.

### 4.2.1 Densidade dos adobes

A redução da densidade com o aumento de partículas e presença de “baba de cupim sintética” foram verificadas para os adobes com bambu e com bagaço de cana (Tabela 4). Os resultados médios para as partículas de bambu foram  $1,655\text{g/cm}^3$  e para bagaço de cana,  $1,563\text{g/cm}^3$ , ambos inferiores ao T1S (controle) com  $1,763\text{g/cm}^3$ .

Tabela 4 Resultados médios de densidade para a ETAPA III

Resultados médios						
Trats.	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm)	Massa (g)	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )
T1S	27,6	13,8	7,3	2755	4898	1,763 <sub>(0,115)*</sub>
T5C2	27,9	13,8	7,5	2895	4812	1,662 <sub>(0,316)</sub>
T5C4	28,1	14,0	7,5	2957	4423	1,495 <sub>(0,354)</sub>
T5C6	28,1	14,0	7,4	2893	4083	1,411 <sub>(0,020)</sub>
T6C2	28,3	14,0	7,5	2969	4936	1,663 <sub>(0,024)</sub>
T6C4	28,5	14,0	7,4	2948	4534	1,539 <sub>(0,046)</sub>
T6C6	28,3	13,9	7,4	2877	4047	1,409 <sub>(0,059)</sub>
T7B2	28,0	14,0	7,5	2930	5068	1,729 <sub>(0,020)</sub>
T7B4	28,1	14,0	7,4	2917	4911	1,684 <sub>(0,037)</sub>
T7B6	28,2	14,0	7,5	2961	4976	1,680 <sub>(0,040)</sub>

“Tabela 4, conclusão”

T8B2	28,4	14,0	7,5	2979	5075	1,703 <sub>(0,012)</sub>
T8B4	28,1	14,0	7,3	2855	4617	1,619 <sub>(0,069)</sub>
T8B6	28,4	14,5	7,5	3085	4668	1,514 <sub>(0,058)</sub>

\*desvio padrão.

A análise de variância para densidade determinou que os três fatores analisados foram significativos a 5%. Houve interação entre o tipo de partículas e o aditivo. A análise fatorial comparada com o tratamento adicional (T1S) demonstrou que a redução da densidade foi significativa (Tabela 5).

Tabela 5 Resumo da análise de variância para densidade aparente do adobe

Fator de Variação	GL	Q M
Partícula (P)	1	0,18875*
Quantidade (Q)	2	0,13925 *
Aditivo (A)	1	0,01541 *
P*Q	2	0,01792*
P *A	1	0,030*
Q*A	2	0,00707 <sup>NS</sup>
P*Q*A	2	0,000155*
Controle*Fatorial	1	44,3477*
Resíduo	39	0,00301

\*Significativo a 1% pelo Teste F; NS: não significativo a 5% pelo teste Scott-Knott.

A menor concentração de “baba de cupim sintética” promoveu maior aumento de densidade para o bambu. Pode-se inferir que a presença de partículas no solo inibiu a ação de coesão do estabilizante químico (Figura 3).

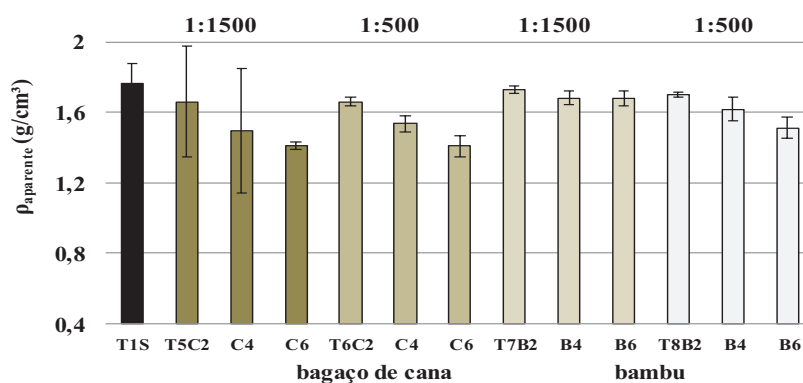


Figura 3 Efeito da estabilização química e por reforço na densidade aparente do adobe

#### 4.2.2 Contração linear

Os resultados de contração longitudinal e na altura foram analisados estatisticamente. Não houve variação expressiva para a largura que apresentou resultado médio de 2%. A contração longitudinal foi influenciada por todos os fatores. A menor contração ocorreu para as maiores porcentagens de partículas de bagaço de cana e bambu e maior quantidade do estabilizante. Para a variável altura houve interação entre os fatores tipo de partícula e quantidade de aditivo. Os resultados demonstram que a presença das partículas de bagaço de cana com menor quantidade do estabilizante teve menor contração em altura (Tabela 6).

Tabela 6 Resultados da interação partícula aditivo para contração linear

Contração (%)	DS328®	Partículas					
		Bambu			Bagaço de cana		
		2%	4%	6%	2%	4%	6%
Longitudinal	1:1500	4,20aB	4,0aB	3,2aA	6,80bC	5,20bB	2,80aA
	1:500	4,80aC	3,80aB	2,60aA	4,40aC	3,20aB	2,40aA
Altura	1:1500	9,67aB			5,33aA		
	1:500	8,67aA			8,67bA		

Médias seguidas por mesma letra maiúscula no sentido horizontal ou minúscula no sentido vertical são estatisticamente iguais pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Tabela 7 Resumo das análises de variância para a contração linear longitudinal e na altura

Fator de Variação	GL	Contração linear (%)	
		Quadrado Médio	
		Altura	Comprimento
Partícula (P)	1	70,42*	2,02*
Quantidade de partícula (Q)	2	32,92*	26,60*
Quantidade de aditivo (A)	1	20,42 <sup>ns</sup>	10,42*
P*Q	2	20,42 <sup>ns</sup>	2,46*
P*A	1	70,42*	8,82*
Q*A	2	20,42 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
P*Q*A	2	12,92 <sup>ns</sup>	3,27*
Resíduo	48	9,79	0,292
Média geral	-	8,08	3,95
CV <sub>e</sub> (%)	-	38,71	13,67

\*: significativo a 5% pelo Scott-Knott; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% pelo Teste Scott-Knott ; GL: graus de liberdade.

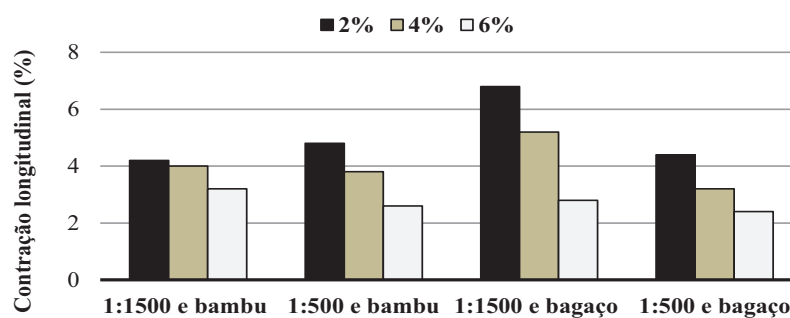


Figura 4 Contração longitudinal na ETAPA III

#### 4.2.3 Absorção de água (AA) e perda de massa

A massa seca inicial das seis amostras por tratamento teve redução com o acréscimo de partículas, com maior variação para o bagaço de cana. Entretanto, uma importante constatação é que as amostras com partículas de bambu com 2% e 4% não desmancharam com a presença do estabilizante químico. A perda de massa foi reduzida devido à ação de armação e reforço das partículas e de coesão do estabilizante químico. Os tratamentos com maior concentração de “baba de cupim sintética” tiveram menor perda de massa (Tabela 8).

Tabela 8 Resultados para perda de massa em absorção de água

Tratamentos	Partículas (%)	Massa seca inicial (kg)*	Perda de massa seca (kg)	Perda de massa (%)
T5C 1:1500	2	13,874	0,373	2,69
	4	13,398	0,455	3,40
	6	11,916	0,341	2,86
T6C 1:500	2	14,637	0,283	1,93
	4	12,971	0,174	1,34
	6	11,800	0,135	1,14

“Tabela 8, conclusão”

T7B 1:1500	2	14,979	0,490	3,27
	4	14,780	0,404	2,73
	6	14,830	0,297	2,01
T8B 1:500	2	15,063	0,177	1,18
	4	13,844	0,265	1,92
	6	13,915	0,206	1,48

\* soma da massa inicial dos seis amostras de adobes de cada tratamento.

A composição entre o solo-partícula- “baba de cupim sintética” foi eficaz porque reduziu a absorção de água com a ação da estabilização química, e promoveu menor interferência das propriedades hidrofílicas das partículas. Os melhores resultados com a solução mais concentrada do produto demonstraram a afinidade entre os materiais (Figura 7).

Tabela 9 Resultados para absorção de água na ETAPA III

<b>Partículas + “baba de cupim sintética”</b>	<b>Quantidade (%)</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>
T5C 1:1500	2	15,76 <sub>(0,42)*</sub>
	4	16,16 <sub>(0,88)</sub>
	6	18,26 <sub>(0,88)</sub>
T6C 1:500	2	12,19 <sub>(0,51)</sub>
	4	13,97 <sub>(0,45)</sub>
	6	15,72 <sub>(0,40)</sub>
T7B 1:1500	2	15,00 <sub>(0,56)</sub>
	4	15,88 <sub>(0,50)</sub>
	6	15,86 <sub>(0,38)</sub>
T8B 1:500	2	12,29 <sub>(0,22)</sub>
	4	14,21 <sub>(0,42)</sub>
	6	14,50 <sub>(0,48)</sub>
Média geral		14,95
CV <sub>e</sub> (%)		9,41

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental. Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. \*desvio padrão.



Figura 5 Imagens das amostras de adobes com “baba de cupim sintética” e bagaço de cana T5C e T6C (a, b) e bambu T7B e T8B (c, d) com 2% de partículas

#### 4.2.4 Capilaridade e perda de massa

Os resultados médios para a perda de massa demonstraram a eficiência do produto (Tabela 10) em relação às partículas. A presença da “baba de cupim sintética” inibiu a propriedade hidrofílica das partículas reduzindo a capilaridade. Ambos os tratamentos contribuíram para a redução da perda de massa, a maior porcentagem de partículas e a maior concentração de “baba de cupim sintética”. A maior porcentagem de partículas não interferiu na capilaridade.



Tabela 10 Resultados para perda de massa em capilaridade

Tratamentos		Partículas (%)	Massa seca inicial (kg)*	Perda de massa seca (kg)	Perda de massa (%)
T1S	-	-	15,311	0,076	0,50
		2	14,560	0,025	0,17
T5C	1:1500	4	13,621	0,031	0,23
		6	12,614	0,025	0,20
		2	14,824	0,045	0,30
T6C	1:500	4	13,313	0,038	0,28
		6	12,268	0,021	0,17
		2	15,045	0,068	0,45
T7B	1:1500	4	15,034	0,062	0,41
		6	14,835	0,046	0,31
		2	15,092	0,036	0,24
T8B	1:500	4	13,908	0,032	0,23
		6	13,922	0,024	0,17

\* soma da massa inicial dos três adobes de cada tratamento.

A variação de altura de capilaridade foi analisada estatisticamente com nível 5% e foi significativa. Houve interação entre a qualidade e quantidade de partículas e “baba de cupim sintética”. As médias do tratamento adicional (T1S) comparadas ao tratamento fatorial foram significativas, com resultados 1,77 cm e 2,0 cm, respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11 Resultados de altura de capilaridade na ETAPA III

Capilaridade (cm)		Partícula (%)			
		DS-328®	2	4	6
Bagaço de cana	T5C	1:1500	2,13bB	2,13bB	2,30bB
	T6C	1:500	2,23bB	2,36bB	2,20bB
	T7B	1:1500	1,47aA	1,80bA	1,87bA
Bambu	T8B	1:500	1,93bA	1,73bA	1,83bA

CV<sub>e</sub> (%) = 13,15

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey.

O aditivo contribuiu para redução de capilaridade mesmo com a presença das partículas lignocelulósicas. Nos adobes com partículas de bambu, em menor volume que com bagaço de cana, a capilaridade foi menor (Figura 6).

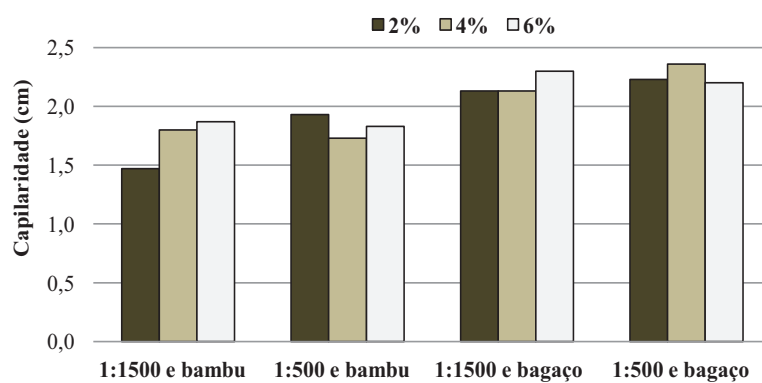


Figura 6 Resultados para capilaridade na ETAPA III

### 4.3 Propriedades mecânicas

Os adobes foram avaliados quanto à resistência à compressão e resistência à flexão em três pontos (Figura 7).



Figurs 7 Amostras do ensaio de compressão (a,b) e do ensaio de flexão (c,d)

#### 4.3.1 Resistência à compressão

Os resultados médios do tratamento fatorial e adicional (T1S) para módulo de elasticidade (MOE) foram estatisticamente iguais pelo teste F, mas houve interação entre os três fatores analisados: tipo e quantidade de partícula; e

quantidade de aditivo. No resumo das análises de variância observa-se que a influência dos três fatores analisados nos resultados obtidos (Tabela 12).

Tabela 12 Resumo das análises de variância para o ensaio de compressão

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio		
		MOE	F <sub>max</sub>	$\sigma_{max}$
Partícula (P)	1	6247,57*	10.609,38*	0,285*
Quantidade de partícula (Q)	2	481,53*	1491,04*	0,031*
Quantidade de aditivo (A)	1	1436,75*	10.492,20*	0,216*
P*Q	2	615,17 *	203,87 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>
P*A	1	200,77 <sup>ns</sup>	1924,06*	0,048*
Q*A	2	28,80 <sup>ns</sup>	2079,88*	0,050*
P*Q*A	2	685,10*	5499,07*	0,161*
Controle*Fatorial	1	91,63 <sup>ns</sup>	26.485,09*	0,524*
Resíduo	65	92,95	146,61	0,0042

\*: significativo a 5% pelo teste Scott-Knott; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% pelo teste Scott-Knott.

O aumento de porcentagem de partículas de bambu com menor quantidade de aditivo apresentou maior módulo de elasticidade (MOE), ocorrendo o contrário para os adobes com bagaço de cana. A maior concentração de “baba de cupim sintética” reage com as partículas reduzindo o MOE. Quando o volume de partículas foi maior (tratamentos com bagaço de cana), o módulo de elasticidade teve resultados menores (Figura 8).

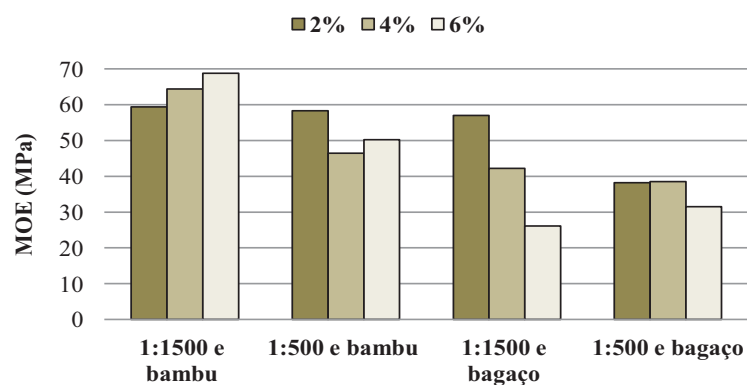


Figura 8 Resultados de MOE na ETAPA III

A resistência à compressão teve resultados médios do tratamento fatorial superiores ao adicional, representando a eficiência da interação partícula/aditivo em relação ao adobe com o solo corrigido (T1S) com resultado de 0,6 MPa. Os resultados atenderam à NTE E.080 (NTE, 2000) que estabelece resistência à compressão  $\geq 0,7$  MPa, exceto para os adobes com partículas de bagaço de cana a 2% (T6C2%) e maior concentração de aditivo. Não houve variação nos resultados para maior concentração de aditivo e partículas de bambu. Entretanto, com menor concentração e 6% de partículas de bambu os resultados foram melhores (Figura 9).

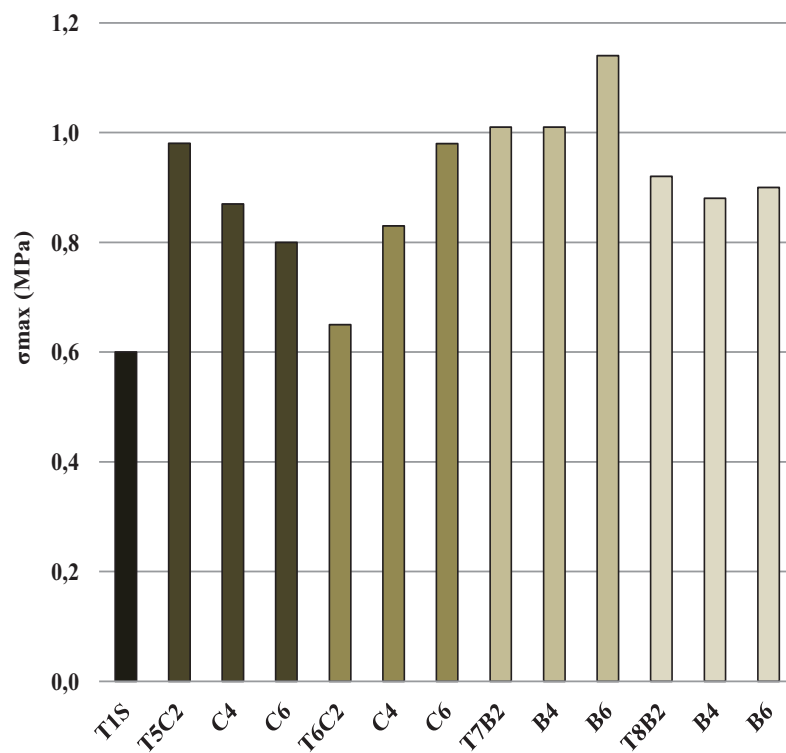


Figura 9 Resultados de resistência à compressão na ETAPA III

#### 4.3.2 Resistência à flexão

Nos resultados de módulo de elasticidade (MOE) houve interação entre os fatores tipo de partícula e quantidade de aditivo. Entretanto, as partículas de bambu com aditivo em 1:500 tiveram redução no MOE (Tabela 13). Os resultados médios quando comparados com o fator adicional foram iguais estatisticamente.

Tabela 13 Resultados de MOE para resistência à flexão na ETAPA III

Aditivo	MOE (MPa)	
	Partículas	
	Bambu	Cana
1:1500	112,17aA	113,46aA
1:500	80,89bB	114,62aA

Médias seguidas por mesma letra minúscula em uma mesma linha ou maiúscula numa mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste F a 5% de significância.

Observou-se efeito significativo da interação entre os fatores tipo (P) e quantidade (Q) de partícula, e quantidade de aditivo (A) para os resultados de resistência à flexão e força máxima pelo teste F (Tabela 14).

Tabela 14 Resumo das análises de variância para o ensaio de flexão

Fator de Variação	GL	Quadrado Médio		
		MOE	F <sub>max</sub>	$\sigma_{max}$
Partícula (P)	1	3680,95*	0,980 <sup>ns</sup>	0,0052 <sup>ns</sup>
Quantidade de partícula (Q)	2	4929,87*	1,427 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>
Quantidade de aditivo (A)	1	2722,85*	0,970 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>
P*Q	2	23,77 <sup>ns</sup>	4,115*	0,0189*
P*A	1	3156,74*	4,213 <sup>ns</sup>	0,0102 <sup>ns</sup>
Q*A	2	1352,64 <sup>ns</sup>	2,129 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>
P*Q*A	2	157,97 <sup>ns</sup>	19,864*	0,0377*
Controle*Fatorial	1	161,24 <sup>ns</sup>	5,029*	0,0175*
Resíduo	39	699,78	1,279	0,0031

\*: significativo a 5% pelo Teste F; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% pelo Teste F; GL: graus de liberdade.

Para a resistência à flexão os fatores isolados não foram significativos e o tratamento adicional teve melhores resultados que o fatorial, 0,47MPa e 0,39Mpa, respectivamente (Figura 10).

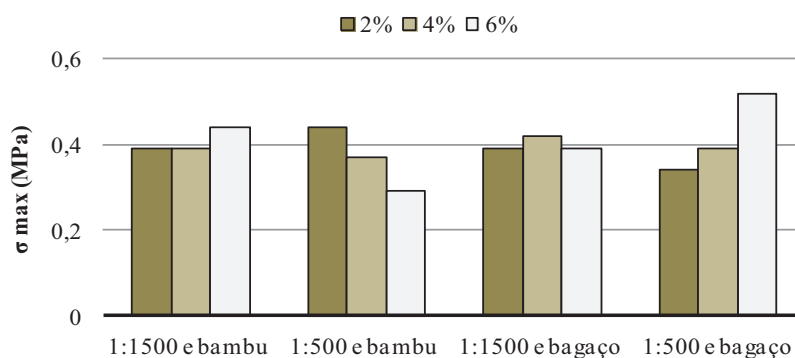


Figura 10 Resultados de resistência à flexão para a ETAPA III

As partículas de bambu e bagaço de cana tiveram comportamentos distintos em relação ao aditivo: a primeira teve melhores resultados com a concentração 1:1500 e a segunda com 1:500.

Tabela 15 Resultados de resistência à flexão na ETAPA III

Resistência à flexão (MPa)				
DS-328® (%)	Partícula	Quantidade (%)		
		2	4	6
1:1500	Bagaço de cana	0,39aA	0,42aA	0,39aA
	Bambu	0,39aA	0,39aA	0,44aA
1:500	Bagaço de cana	0,34bB	0,39bB	0,52aA
	Bambu	0,44aA	0,37bB	0,29cC

As imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscópio estereoscópio comprovam a aderência do solo nas partículas (Figura 11).



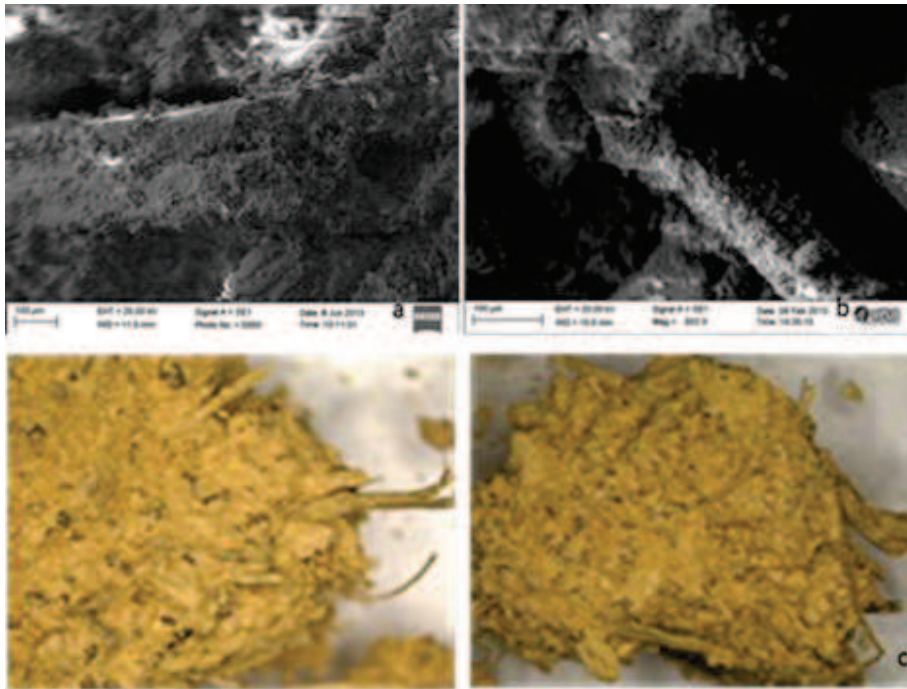


Figura 11 Imagemem MEV dos tratamentos T6C4% com aumento de 300 vezes (a) e T7B 2% com aumento de 100 vezes ilustram a aderência do solo nas partículas. Em sequencia amostras do tratamento T7B 2% (b) e T82% (c) com aumento de 7,5 vezes que demonstram também a coesão entre os materiais

## **5 CONCLUSÃO**

A estabilização química e o reforço promovido pela presença das partículas no adobe, contribuíram para a redução da absorção de água, capilaridade e perda de massa. A resistência à compressão em relação à média geral aumentou em 50%.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 790**. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, 2000.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Terra crua**. São Paulo: Ibracon, 2007. v. 2, p. 1505-1557.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. **NTE E.080**: reglamento Nacional de construcciones. Lima, 2000. p. 17.

RUIZ L. E. H.; LUNA J. A. M. **Cartilla de pruebas de campo**. Conescal: [s. n.], 1983. p. 72.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analysis methods for grouping, means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 03, p. 507-512, 1974.

VARUM, H. et al. **Caracterização dos solos e adobes usados na construção dos Camabatela**. Angola: Argumentum, 2007. p. 94-96.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## 1 SINOPSE

Os resultados médios da quantidade de água ideal para todos os tratamentos com 6% de partículas (Figura 1), comprovaram suas propriedades hidrofílicas (T3C6 e T4B6) quando comparadas com a estabilização química com maior concentração do produto (T2D). Pode-se inferir que a quantidade maior em volume de partículas de bagaço de cana nos adobes, aumentou a porosidade e a absorção de água, reduzindo a ação do estabilizante químico (T5C6 e T6C6). Para as partículas de bambu, devido ao volume ser aproximadamente a metade, a interferência foi menor.

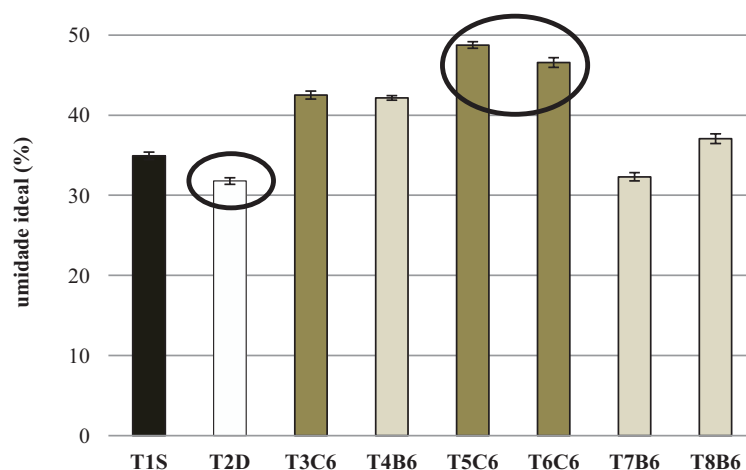


Figura 1 Comparação dos resultados médios de quantidade de água ideal para o tratamento controle (T1S), a maior concentração de “baba de cupim sintética” (T2D), e os tratamentos de partículas de bagaço de cana e bambu em 6% sem estabilizante (T3C e T4B) e com estabilizante (T5C, T6C e T7B, T8B)

Quanto à densidade aparente do adobe, para a ETAPA I houve acréscimo de 3,5% com a incorporação do estabilizante. Na ETAPA II houve uma redução de 20% com o acréscimo de partículas lignocelulósicas. Na ETAPA III a interação solo-aditivo-partículas promoveu um equilíbrio com redução de 12%. As médias encontradas fundamentam a afirmativa que o aditivo teve redução em sua ação coesiva devido à presença das partículas. A ação química da “baba de cupim sintética” foi maior, quando o volume de partículas foi menor (T7B e T8B). Os resultados médios das porcentagens 2%, 4% e 6% de partículas para densidade aparente do adobe, estão representados na Figura 2.

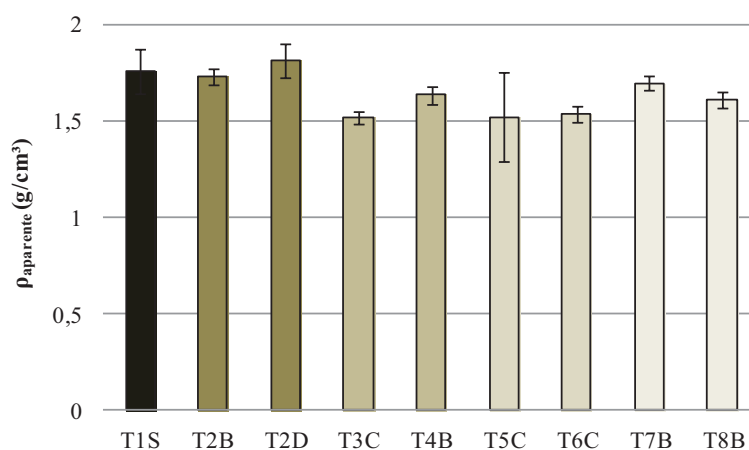


Figura 2 Resultados médios para densidade aparente do adobe

A menor contração longitudinal nos adobes ocorreu tanto para os tratamentos com partículas (ETAPA II) como para o acréscimo de partículas e aditivo (ETAPA III). Os resultados médios foram 4,73% e 3,95% respectivamente. Com relação à altura a menor contração foi para a combinação solo-partícula-aditivo, que em valores médios de 12,33% na ETAPA II foi para 8,08% (ETAPA III).

Os estabilizantes utilizados têm características opostas quando o parâmetro considerado é a absorção de água. As partículas são hidrofílicas e o aditivo é hidrofóbico. Na ETAPA II os adobes com menor teor de partículas (T6B2% e T6B4%) desmancharam, porque a quantidade das mesmas não foi suficiente para evitar a desagregação do solo. Os tratamentos T3C4%, T3C6% e T6B6%, com maior quantidade de partículas absorveram maior quantidade de água. Apenas o tratamento T3C2% ficou dentro dos padrões da Norma para solo-cimento. Na ETAPA III a presença da “baba de cupim sintética” proporcionou a redução da absorção de água em todos os tratamentos, que atenderam às especificações da Norma.

A altura de capilaridade na ETAPA I reduziu com o aumento na concentração do estabilizante. O resultado médio foi de 1,28cm. Na presença de partículas (ETAPA II) a altura de capilaridade passou a ser em média de 3,65cm, comparada com o T1S (controle) com 1,73cm. Na ETAPA III teve resultados que comprovaram a eficiência da estabilização química para impedir a capilaridade. Quanto à perda de massa, o efeito da presença de partículas e da estabilização química nos adobes foram mais eficientes (Tabela 1).

Tabela 1 Resultados médios de perdas de massa nas ETAPAS I, II, e III

<b>Perda de massa (%)</b>	<b>ETAPA I</b>	<b>ETAPA II</b>	<b>ETAPA III</b>
Em 6h para absorção de água	4,38	3,72	1,44
Em 1h para capilaridade	0,45	0,49	0,27

Para resistência à flexão os resultados não foram significativos. O módulo de elasticidade não apresentou diferenças significativas para ensaios de compressão e flexão, quando comparado ao T1S (controle). A resistência à compressão apresentou resultados superiores ao tratamento controle T1S (controle) para as ETAPAS II e III, atendendo às especificações da Norma

Peruana. A ETAPA III atingiu a melhor média (0,91 MPa). Os resultados de resistência à compressão estão na Figura 3.

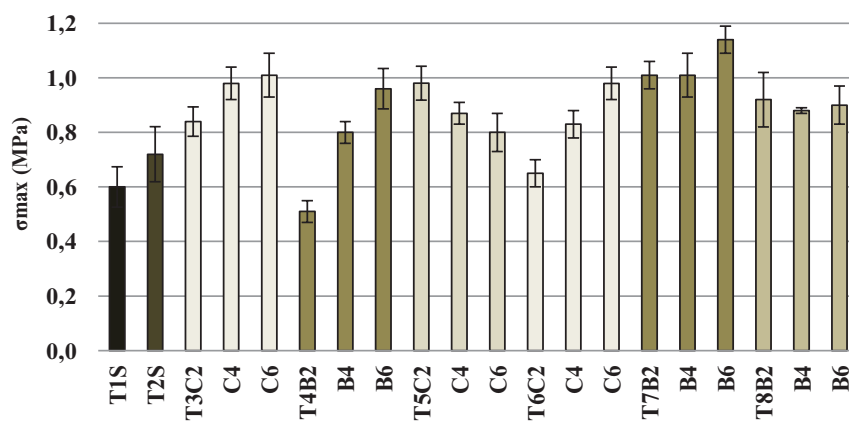


Figura 3 Resultados de resistência à compressão para as ETAPAS I, II, e III



## **2 CONCLUSÃO GERAL**

Os resultados da pesquisa comprovaram que a estabilização química com a “baba de cupim sintética”, e de reforço com a incorporação de partículas lignocelulósicas de bagaço de cana e bambu, melhoraram a qualidade do adobe em propriedades físicas e resistência à compressão. Os efeitos da interação solo-“baba de cupim sintética”- partículas lignocelulósicas foram a redução da contração, da absorção de água e de capilaridade, com menor perda de massa. A densidade aparente média diminuiu em 12% e a resistência à compressão dos adobes aumentou em até 90%.