

## 5 Considerações finais

### 5.1 Conclusões

Neste trabalho foram apresentados os resultados obtidos na análise macro-mecânica de revestimentos de terra fabricados com dois solos distintos: Tassin e Rochechinard. O primeiro solo é formado por ilita em maior quantidade, enquanto o segundo possui, na sua maior parte, a argila caulínica. Foram analisados diferentes teores de argila (17,5%, 12%, 9% e 6% em peso de solo seco) para ambos os solos. Buscou-se também estudar a influência da adição de fibras nos revestimentos, através da utilização de fibras curtas de sisal (*Agave sisalana*) e resíduos de fabricação de fibras curtas de cânhamo (*Cannabis sativa*), para dois dos teores de argila empregados nos revestimentos não estabilizados. As fibras foram adicionadas ao solo em uma porcentagem de 0,5% do peso do solo seco, com as mãos. Como material de referência, empregou-se uma argamassa de cal e areia, comumente utilizada como revestimento na prática. Todos os ensaios foram realizados na França e irão colaborar também para elaboração das Regras Profissionais de Alvenaria na França, projeto em andamento desde início de 2009, que busca criar uma normalização quanto ao uso da terra na construção civil naquele país.

Na literatura disponível, nacional e internacional, revisada não foram encontrados dados sobre as propriedades mecânicas de revestimentos de terra tratando-se então de um estudo pioneiro. A síntese dos resultados encontra-se a seguir:

#### 5.1.1 Quanto ao teor de água e o teor de argila

O fator  $w/clay$  aumentou com o decréscimo do teor de argila. A variação foi de 1,5 a 11,1 para Tassin e de 2,1 a 17,5 para Rochechinard. Para os corpos-de-prova com 6% de teor de argila em peso de solo seco,  $w/clay$  ultrapassou a faixa ideal sugerida por Azeredo e Morel (2009). De acordo com eles, a relação de água e argila deve variar entre 2 e 8. O teor de argila ideal obtido para os solos de Tassin e Rochechinard é de 9% de argila em peso de solo seco.

#### 5.1.2 Quanto à resistência ao cisalhamento

Ao se desconsiderar o modo de fabricação, a resistência ao cisalhamento diminui para espessuras de até 2,3 cm para Tassin e de até 2,4 cm para Rochechinard, e aumenta a partir destes valores para ambos os solos. Relativamente ao modo de fabricação, os corpos-de-prova cortados apresentaram

as menores resistências ao cisalhamento em função da sua maior espessura e da vibração a que eram submetidos no momento do corte.

Para um mesmo teor de argila, os corpos-de-prova em estado natural apresentaram resistências maiores do que os cortados. Alguns corpos de prova em estado natural chegaram a suportar mais de 10 kg de carga (o equivalente a 0,47 MPa), antes de romper. Rochechinard (caulinita em maior quantidade) apresentou resistências menores do que Tassin (ilita em maior quantidade).

Foi também evidente o aumento da resistência ao cisalhamento para os corpos-de-prova estabilizados, tanto com sisal quanto com cânhamo. O material de referência (argamassa de cal e areia) apresentou as maiores resistências ao cisalhamento.

### 5.1.3

#### Quanto à retração (*in situ* e restringida em 4 lados)

Em relação à retração *in situ*, os dois solos, não estabilizados, comportaram-se de maneira muito semelhante para cada uma das porcentagens de argila: aqueles com maior teor de argila (17,5% em peso de solo seco) tombaram do substrato enquanto aqueles com menor teor de argila (6% em peso de solo seco) não apresentaram boa trabalhabilidade. Os corpos-de-prova com 12% de argila em peso de solo seco não tombaram, mas apresentaram fissuras. A porcentagem ideal de argila foi 9% em peso de solo seco, tanto para Tassin (rico em ilita) quanto para Rochechinard (rico em caulinita). A adição de fibras de sisal ou de cânhamo foi benéfica, confirmando assim que a estabilização de fibras controla a propagação de fissuras. Os revestimentos estabilizados de Rochechinard com 17,5% de argila não tombaram e aqueles com 12% de argila não apresentaram fissuras. O revestimento de referência de cal e areia não apresentou fissuras.

Com relação à retração restringida em 4 lados, para um mesmo argilomineral, quanto maior o teor de argila no solo, maior a retração, conforme previsto na literatura por Walker e Stace (1997). Um aumento de 8% no teor de argila faz a retração aumentar 3,6% para Rochechinard e 3,3% para Tassin. Para um mesmo teor de argila, os corpos-de-prova de Rochechinard (ricos em caulinita) retraíram mais do que aqueles de Tassin (ricos em ilita). Barbosa e Ghavami (2007) já haviam exposto que se deve considerar não somente o tipo de argila existente no solo, mas também sua atividade ao azul de metileno. A adição das fibras diminui a retração dos corpos-de-prova para um mesmo teor de argila. A argamassa de cal e areia (material de referência) não apresentou nenhuma retração por secagem. Nenhum corpo-de-prova apresentou retração maior do que 20 mm, conforme sugerido por Neves *et al.* (2010).

### 5.1.4

#### Quanto à resistência à flexão 3 pontos

Para um mesmo argilomineral, a resistência à flexão e o teor de argila são diretamente proporcionais: com aumento de 8% no teor de argila, a resistência à flexão cresce 60% para Tassin e 56% para Rochechinard. O material de referência (argamassa de cal e areia) apresentou as resistências mais baixas, de aproximadamente 0,28 MPa.

A resistência à flexão diminui com o aumento do fator  $w/clay$ , demonstrando assim a influência do teor de água na resistência à flexão. Para  $w/clay$  menor do que 2,7, Tassin apresenta as maiores resistências à flexão. Essa situação se inverte para fatores  $w/clay$  maiores do que 2,7, quando Rochechinard mostra-se mais resistente.

Quando há estabilização, ocorre um aumento na resistência à flexão, que é mais evidente para os corpos-de-prova estabilizados com sisal em função da sua razão de aspecto elevada. Nestes casos, a ruptura do material é retardada pela presença de fibras.

### 5.1.5

#### **Conclusão geral: escolha do revestimento ideal**

Tomando-se como referência o conjunto de todos os resultados obtidos neste programa experimental, pode-se dizer que dentre os revestimentos testados, os resultados mais eficientes (baixa retração e elevadas resistências à flexão e ao cisalhamento) foram obtidos com 9% de argila em peso de solo seco e estabilizados com sisal (fibra com elevada razão de aspecto).

## 5.2

### **Sugestões para futuros trabalhos**

Em função dos resultados experimentais, seguem abaixo algumas sugestões para futuros trabalhos, com a intenção de desenvolver cada vez mais os conhecimentos do uso da terra para revestimentos:

- Verificar o efeito da inclusão de resíduos agrícolas, tais como a casca de arroz, no comportamento mecânico dos revestimentos de terra. Esses resíduos já foram empregados na fabricação de blocos de terra e apresentaram bom resultados;
- Avaliar a consequência da inclusão de polímeros na mistura de solo na impermeabilização dos revestimentos de terra;
- Realizar os experimentos do presente estudo para corpos-de-prova de Rochechinard com 9% e 6% de argila em peso de solo seco estabilizados com sisal e cânhamo. Avaliar também a estabilização para o solo de Tassin, com as mesmas porcentagens de argila e tipos de fibras;
- Realizar ensaios de retração com outros métodos de medição mais precisos, tais como deflectômetros e LVDT, e comparar os resultados com os ensaios de retração restringida em 4 lados;
- Avaliar a aderência dos revestimentos ao substrato e verificar a interferência deste parâmetro no cisalhamento;
- Criar um dispositivo que auxilie na padronização da espessura dos revestimentos, independentemente do tamanho do corpo-de-prova, e repetir o ensaio de cisalhamento;

- Realizar ensaios de cisalhamento com corpos-de-prova maiores (por exemplo, aproximadamente 10 cm de comprimento);
- Para o teor de argila ótimo (9% em peso de solo seco) obtido neste estudo, analisar a influência do teor de água, através do fator  $w/clay$  na resistência à flexão e na retração;
- Estabelecer uma metodologia para a dosagem da terra para uso na construção, em função das características do material empregado e do cálculo do fator  $w/clay$  ideal, a fim de se obter a resistência prevista em projeto;
- Avaliar o custo de produção e impacto ambiental de habitações de terra no Brasil e comparar com construções de aço ou concreto armado.