

## 5 Considerações Finais

### 5.1. Conclusões

A partir dos resultados apresentados e das análises realizadas foi possível chegar às conclusões abordadas neste Capítulo final.

A adição das cinzas de Resíduo Sólido Urbano (RSU), volante e de fundo, no solo coluvionar argiloso estudado, proporcionou a melhora em grande parte das propriedades mecânicas do solo, obtendo-se um novo material geotécnico com características próprias.

A seguir estão sumarizadas as principais conclusões relacionadas à adição de cinzas de RSU ao solo utilizado neste trabalho:

- Segundo o sistema de classificação SUCS e as análises realizadas, o solo foi classificado como do tipo CH (argila arenosa de media plasticidade), as cinzas (volante e de fundo) como SM (areias siltosas), que tem um melhor comportamento mecânico quando comparados ao solo puro, mas ao serem misturadas com o solo, com diferentes teores, melhoram seu comportamento apresentando, como por exemplo, uma classificação de SW-SC, que é uma areia bem graduada, para a mistura de SP70CV30;
- Os resultados da composição química da cinza volante e do solo apresentaram elevados teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , além de baixos teores matéria orgânica, que em conjunto são positivos para a ocorrência das reações pozolânicas, que integram o processo de estabilização química do solo e é refletido nos resultados nas misturas solo-cinza volante. As cinzas de fundo apresentam maiores teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e de matéria orgânica em comparação ao solo e a cinza volante pura, que em conjunto dificulta o processo de estabilização química do solo e é refletido nas misturas solo-cinza

de fundo. Destaca-se que as misturas solo-cinza apresentam uma diminuição dos teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com o aumento de teores de cinza na mistura, apresentando valores menores para as misturas solo-cinza volante;

- Os parâmetros de compactação ( $\gamma_{dmax}$  e  $w_{otm}$ ) das misturas solo-cinza são influenciados pelo teor e tipo de cinza. A adição das cinzas ao solo gera diminuição na máxima densidade seca, em diferentes proporções, de acordo com o tipo de cinza, apresentando uma maior diminuição com a cinza de fundo;
- As análises dos resultados dos ensaios triaxiais CID comprovaram a influência já conhecida dos seguintes fatores: tipo de cinza, teor de cinza e tempo de cura;
  1. Quanto ao tipo e teores de cinza, os resultados foram analisados nos ensaios sem tempo de cura: as misturas solo-cinza apresentaram ganhos nos valores dos parâmetros de resistência principalmente as misturas com cinza volante e para o teor de 20% de cinza. Entretanto, os resultados com as cinzas de fundo também foram satisfatórios apresentando melhor comportamento com 30% de cinza;
  2. Quanto ao teor de cinza, os resultados também foram analisados nos ensaios sem tempo de cura: todas as misturas solo-cinza apresentaram um comportamento melhor do que o solo. Nas misturas solo-cinza volante, o parâmetro de coesão diminui com o aumento de teor de cinza e o ângulo atrito aumenta 2 graus a cada 10% de cinza que é adicionado. Para as misturas solo-cinza de fundo, o parâmetro de coesão aumenta com o aumento do teor de cinza;
  3. Quanto ao tempo de cura: a cura foi um fator a ser estudado pois acredita-se que o aumento do tempo de cura melhora os parâmetros de resistência, porém não foi possível definir um padrão quanto aos parâmetros de resistência obtidos, pois algumas misturas aumentam seus parâmetros de resistência com o tempo e outros diminuem, por exemplo, o caso da mistura SP80CV20 que o parâmetro de coesão diminui com

o aumento do tempo de cura. Em todos os casos, o comportamento das misturas solo-cinza foi melhor do que o solo e os parâmetros de resistência das misturas com cinza volante foram melhores do que das misturas com cinza de fundo;

- Dos ensaios triaxiais CID, conclui-se que as misturas solo-cinza atingem sua resistência de pico em menores deformações axiais quando comparado ao solo. Este nível de deformação axial, para atingir a resistência de pico, aumenta para tensões confinantes maiores, mas diminui com o aumento de teor cinza, ocorrendo o mesmo para os dois tipos de cinza (volante e de fundo), sem apresentar variações deste tipo de comportamento com tempo de cura;
- O teor de cinza (seja volante ou de fundo), o tempo de cura e a tensão de confinamento influenciam na deformação volumétrica das misturas solo-cinza, apresentando menores deformações volumétricas (expansão ou compressão) para maiores teores de cinza e maiores tempos de cura;
- As misturas solo-cinza apresentaram um comportamento mais rígido em comparação ao solo em todos seus tempos de cura;
- Pelos resultados obtidos se recomendaria, para a utilização em obras geotécnicas, os seguintes teores para os dois tipos de cinzas: para as misturas solo-cinza volante, a mistura com 40% de cinza pelo melhor comportamento apresentado ao atingir o maior valor de coesão com o tempo e sem alteração significativa do ângulo de atrito, em comparação com as outras misturas com cinza volante, e para as misturas solo-cinza de fundo, a mistura com 30% de cinza pelo melhor comportamento apresentado ao atingir um valor quase igual ao maior valor de coesão apresentado pela mistura com 40% de cinza de fundo e não ter muita variação dos seus parâmetros de resistência com o tempo. Nota-se que não é escolhida a mistura com 40% de cinza de fundo porque sua coesão começa cair para tempo de cura com 60 dias o que poderia ser prejudicial numa obra geotécnica.

## 5.2. Sugestões para pesquisas futuras

A seguir citam-se algumas sugestões para ampliar o conhecimento e prosseguir com os estudos sobre o reforço de solos com a inserção de cinzas de RSU:

- Analisar o comportamento mecânico de outros teores de cinza volante e de fundo de RSU quando adicionadas a outros tipos de solos;
- Avaliar o comportamento ambiental das misturas de solo-cinza de RSU realizando ensaios de lixiviação e solubilização para as misturas que apresentaram melhores comportamentos mecânicos;
- Avaliar o comportamento das misturas solo-cinza de RSU com adição de cal, pelos resultados obtidos em outras pesquisas realizadas com cinza de carvão e cal;
- Desenvolver modelos de previsão de ruptura para análise numérica, que reproduzam o comportamento de solos misturados com cinzas de RSU;
- Avaliar a potencialidade da utilização das cinzas de RSU através de ensaios em campo em verdadeira grandeza, monitorando o seu comportamento mecânico e interações ambientais no decorrer do tempo.