

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados e analisados anteriormente, foi possível chegar às conclusões abordadas neste item.

A adição tanto de cinza volante, como de fundo, de Resíduo Sólido Urbano (RSU) ao solo arenoso estudado, proporcionou a geração de um novo material com características próprias e que se mostra aplicável para utilização em substituição ao solo puro.

A seguir estão apresentadas as principais conclusões relacionadas à adição de cinzas de RSU ao solo utilizado na presente pesquisa.

- Através do sistema de classificação SUCS o solo foi classificado como sendo do tipo SP (areia mal graduada), a cinza volante como ML (silte com areia) e a cinza de fundo como SM (areia siltosa). Ambas as misturas, com 30 e 40% de cinza volante foram classificadas como SM (areia siltosa), e as misturas com cinza de fundo nas mesmas porcentagens obtiveram a mesma classificação do solo puro, como SP (areia mal graduada);
- Os resultados da composição química da cinza volante apresentaram teores médios de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e elevado teor de CaO , além de baixos teores de matéria orgânica, que em conjunto são positivos para a ocorrência das reações pozolânicas, que integram o processo de estabilização química do solo e neste caso influencia nos resultados das misturas solo-cinza-cal. As cinzas de fundo apresentam maiores teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e de matéria orgânica em comparação com a cinza volante pura;
- Ambas as cinzas se classificam como materiais não perigosos através do ensaio de lixiviação. A cinza volante se classifica como *Resíduo*

Classe II A – Não inerte, devido à presença dos parâmetros Alumínio, Cloretos, Cromo Total, Sulfato (expresso como SO₄) e Fenóis Totais com concentrações acima dos valores máximo permitidos no ensaio de solubilização. A cinza de fundo também se classifica como *Resíduo Classe II A – Não Inerte*, devido a presença dos parâmetros Cloretos, Sódio, Sulfato (expresso como SO₄) e Fenóis Totais com valores acima dos permitidos por norma;

- 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 com misturas com cal. Para o solo arenoso utilizado na presente pesquisa, avaliaram-se também dois tipos de métodos de moldagem do corpo de prova, para ensaios com cura. Conclui-se que:

1. Quanto ao tipo e teores de cinza: comparando-se os dois tipos de cinza e as porcentagens utilizadas, a mistura com 40% de cinza de fundo (CF₄₀A₆₀) foi a que apresentou melhores resultados nos parâmetros de resistência, sendo praticamente igual ao solo puro e apresentando um ganho de coesão de 11,37 kPa. Contudo, todas as outras misturas também se apresentaram viáveis, uma vez que mantiveram os parâmetros de resistência muito próximos aos valores do solo puro;
2. Quanto ao teor de cinza: Tanto para as misturas com cinza volante, como cinza de fundo, pode-se considerar a porcentagem de 40% como a melhor porcentagem estudada, uma vez que os parâmetros de resistência apresentados por essas misturas foram quase iguais ao solo puro e um volume maior de resíduo é destinado;
3. Quanto às misturas com cal e tempo de cura: a cura foi um fator a ser estudado porque se acredita que o aumento do tempo de cura possibilita que as reações químicas ocorridas entre os materiais sejam completadas, contribuindo para uma maior cimentação do material e conseqüente ganho de resistência. Porém, não foi possível se estabelecer um padrão quanto aos parâmetros de resistência obtidos, porque se observou que a 0

dias de cura o material apresentou uma piora, melhorando novamente para 60 dias de cura, passando a perder resistência a 90 dias de cura. Assim, para as misturas solo-cinza volante-cal, o melhor resultado obtido foi para a mistura CV₂₇Cal₃A₇₀_T60, porém ainda se faz necessárias a realização de mais ensaios e análises para avaliação deste critério.

4. Quanto ao método de preparação do corpo de prova: Optou-se pela realização de ensaios com corpos de prova pré-moldados ao se observar a formação de grumos na massa de material preparada em sacos plásticos. Devido à disponibilidade de tempo e equipamentos, só foi possível a realização de ensaios com corpos de prova pré-moldados para o tempo de cura de 60 dias. Através dos resultados observa-se que o maior ganho de resistência foi apresentado por essa mistura, sendo superior à mesma realizada com corpo de prova sem ser pré-moldado.

- Dos ensaios triaxiais CID, conclui-se que a inserção de cinza ao solo arenoso ocasionou uma mudança de comportamento no material. A mistura solo-cinza passa a apresentar um comportamento semelhante ao de areias pouco compactas ou fofas, enquanto a areia pura seguiu um comportamento típico de areais mais compactas.
- As misturas solo-cinza quando submetidas a baixas tensões confinantes (50 kPa), possuem um crescimento de resistência até aproximadamente 2 a 3% de deformação axial, se mantendo praticamente constante após este ponto, assim como observado para o solo puro. Praticamente todas as misturas se igualam ao solo puro para esta tensão;
- Para as tensões confinantes de 150 e 250 kPa, observa-se em geral que as misturas solo-cinza apresentam uma resistência inferior ao solo puro para baixas a médias deformações axiais, tendendo à se igualar ao mesmo ou ultrapassar seu valor, comportamento explicado pela diferença entre os valores das massas específicas obtidos para as misturas. Por esse motivo, optou-se para a análise dos parâmetros de resistência de todos os materiais à deformação axial de 17%, uma vez

que estes também não apresentaram um pico de resistência bem definido;

- Analisando-se a variação volumétrica dos materiais durante o cisalhamento, não foi observado um padrão de comportamento para nenhuma mistura;
- Através dos resultados obtidos, foi possível concluir que a inserção de ambas as cinzas ao solo arenoso em estudo se mostra viável, uma vez que os parâmetros de resistência e deformabilidade do mesmo, não sofreram alterações significativas.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A seguir são citadas algumas sugestões para que o conhecimento do comportamento destes materiais possam ser ampliados e que se possa prosseguir com os estudos sobre estabilização de solos com a inserção de cinzas de RSU:

- Analisar o comportamento mecânico de misturas com outros teores de cinza volante e de fundo e para diversos tipos de solo;
- Avaliar o comportamento ambiental das misturas solo-cinza de RSU realizando ensaios de lixiviação e solubilização para as misturas que apresentam melhores resultados, uma vez que os resíduos foram classificados como não inertes;
- Avaliar misturas solo arenoso-cinza volante-cal para maiores tempos de cura, a fim de se estudar a potencialidade de aplicação desta cinza juntamente com a cal, uma vez que esta permite a ocorrência de reações pozolânicas também neste tipo de solo, disponibilizando os componentes químicos necessários para tais reações;
- Realizar ensaios adotando-se diferentes densidades relativas para o material, e quando aplicada a cura, monitorar a temperatura, para que esta seja constante durante o processo, uma vez que esta influencia nas reações químicas ocorridas entre os materiais;

- Desenvolver modelos de previsão de ruptura para análise numérica, que reproduzam o comportamento de solos misturados com cinzas de RSU;
- Realizar ensaios que permitam a análise do comportamento dos materiais à maiores deformações axiais, uma vez que se observa uma tendência de aumento de resistência para maiores deformações para algumas misturas;
- Avaliar a potencialidade da utilização das cinzas de RSU através de ensaios de campo em verdadeira grandeza, monitorando-se o seu comportamento mecânico e a ocorrência de eventuais interações dos rejeitos com o meio ambiente no decorrer do tempo.