

1 Introdução

Um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico de uma comunidade e/ou país consiste nas condições que seus habitantes têm de se locomover de um ponto ao outro, seja para deslocamento próprio, ou integração das áreas de produção e consumo no mercado interno e externo, dentre outras inúmeras atividades. Por este motivo, a disponibilidade de infra-estrutura com logística adequada dos diversos tipos de modais de transporte é extremamente relevante para a economia mundial.

De acordo com dados oficiais do governo (CNT, SEST, SENAT, 2009) o sistema logístico brasileiro de escoamento de produção, assim como a circulação de pessoas é fortemente dependente do modal rodoviário. Os principais motivos para a concentração excessiva da matriz de transportes nas rodovias podem ser apontados como a falta de investimentos na manutenção, conservação e ampliação das outras malhas dos modais (ferroviário, aquaviário e aeroportuário). Além disso, a malha rodoviária pavimentada, mesmo sendo a principal, ainda é pequena em relação à extensão do país.

Estes fatos destacam a importância dos estudos dos materiais e das técnicas de pavimentação como forma de auxiliar a diminuição do custo dos transportes. O pavimento é uma estrutura de engenharia imprescindível ao desenvolvimento sócio-econômico, e conseqüentemente há necessidade de pesquisas que busquem a viabilidade da utilização de novos materiais e tecnologias.

Por outro lado, o desenvolvimento industrial mundial é responsável por gerar grande quantidade e diversidade de resíduos, que requerem locais adequados para o descarte ou ainda inovadoras propostas de reutilização.

Atualmente a sociedade deixou de exigir somente um bom desempenho dos materiais importando-se também com as interações com o meio ambiente, optando por produtos e materiais que tenham “selo verde”, que, em outras palavras, impliquem em menores impactos ambientais e gastos de energia.

Pozzobon (1999) destaca que este posicionamento já foi colocado desde 1986 por Mehta, quando enfatizou que a escolha dos materiais de construção no

futuro deveria atender ao quádruplo enfoque iniciado pela letra E: engenharia, economia, energia e ecologia.

A construção civil deve ser citada como um dos principais setores que apresentam condições de aproveitamento de resíduos industriais, Pozzobon (1999) fundamenta esta afirmativa na necessidade de redução de custos da construção, no volume de recursos naturais consumidos e na grande diversidade de insumos usados na produção. Ao mesmo tempo, a própria construção civil ainda é grande geradora de resíduos que também podem e devem ser reutilizados (Fernandes, 2004).

Dentro da construção civil, a construção de rodovias é particularmente propícia a esta finalidade, de local de destinação de resíduos, tendo em vista a particularidade de permitir certo encapsulamento e mesmo a contenção dos produtos por combinação com outros materiais usuais de construção das camadas do pavimento. Citam-se como resíduos já empregados ou estudados em camadas de pavimentos os seguintes, entre outros (Ubaldo et al., 2010):

- resíduo de construção e demolição (RCD);
- escória de aciaria;
- borracha de pneu inservível;
- cinzas de carvão mineral oriundas de termelétricas;
- cinzas de cascas de arroz;
- resíduo de rochas ornamentais, e
- resíduos de exploração e produção de petróleo (cascalho de perfuração, escória de cobre, borra oleosa, dentre outros).

No entanto, como diz Ubaldo et al. (2010) para que o pavimento não seja usado somente como local de descarte de resíduos, resolvendo apenas questões ambientais, é preciso mostrar quais as vantagens de se usar o resíduo sob o ponto de vista da melhoria da pavimentação, e não somente a sua contribuição para a natureza.

As cinzas de carvão mineral encontram-se no grupo de rejeitos industriais, gerados em grande volume anualmente e que possuem diversas indicações de reutilização, sendo uma delas como agentes estabilizantes de solos tal como conhecido há bastante tempo (Pinto, 1971; Nardi, 1977, dentre outros). As cinzas são adicionadas ao solo quando estes não possuem parâmetros de resistência adequados para sua utilização na Engenharia Geotécnica ou mesmo quando se pretende melhoria radical dos mesmos acrescentando outro produto cimentante tal como cal ou cimento. Este tipo de resíduo será objeto da presente pesquisa.

1.1. Relevância da Pesquisa

O tema escolhido para este trabalho é a análise da utilização de cinzas de carvão, volante e pesada, provenientes de termelétricas em misturas com solo e cal para aplicação em base e sub-base de pavimentos. Foi motivado pela busca de práticas sustentáveis, na redução de impactos ambientais, na utilização de novos materiais para pavimentação e estabelecendo um fim mais nobre a materiais antes descartados na natureza.

As cinzas estudadas são derivadas do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, localizado no município de Capivari de Baixo, no estado do Rio Grande do Sul, região do território brasileiro que concentra a exploração de carvão mineral e uso do mesmo para geração de energia por usinas termelétricas.

Atualmente grande parte desses resíduos, principalmente as cinzas de fino, é descartada em grandes bacias de sedimentação, a céu aberto, como mostrado na Figura 1.1 podendo ocasionar diversos problemas de cunho ambiental. A partir do seu reaproveitamento torna-se possível a diminuição do consumo de recursos naturais e da necessidade de aumento de lagoas de decantação, consequentemente obtendo benefícios econômicos e ambientais.



Figura 1.1 - Bacia de sedimentação de Cinzas do Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda (Fonte: LEANDRO, 2005)

1.2. Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é: verificar a viabilidade do aproveitamento das cinzas de carvão mineral, volante e pesada, em misturas

com um solo regional do município do Rio de Janeiro, originalmente pouco adequado para fins de pavimentação. As misturas de solo-cinza serão testadas sem e com a adição de cal hidratada, para utilização em base e sub-base de pavimentos, por comparação entre resultados de ensaios laboratoriais, para períodos de cura distintos.

O estudo foi desenvolvido com base nas normas do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e na análise do comportamento físico, químico e mecânico conforme procedimentos correntes na Geotecnia e na Mecânica dos Pavimentos.

De acordo com o objetivo principal descrito, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar ensaios de caracterização física e química, do solo, das cinzas e das misturas, por meio de ensaios laboratoriais normatizados;
- Avaliar o comportamento mecânico do solo e das misturas estudadas através de ensaios de carga repetida;
- Analisar e comparar os parâmetros químicos e mecânicos e de deformabilidade do solo e das misturas para aplicação em base ou sub-bases de pavimentos;
- Analisar a influência do teor e tipo de cinzas, tempo de cura, e da cal no solo e nas misturas estudadas, com base nos resultados dos Ensaios de Módulo de Resiliência e de Deformação Permanente;
- Realizar o dimensionamento de base de pavimentos, com o objetivo de comparar os materiais estudados mediante análises mecanístico - empíricas;
- Pela análise dos resultados obtidos, concluir se há viabilidade técnica e ambiental de uma ou mais misturas estudadas que possam ser aproveitadas na construção de base ou sub-base de pavimentos.

1.3. Organização do Trabalho

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos, de acordo com as etapas realizadas na pesquisa, iniciando-se com este Capítulo 1, introdutório, seguido, pelo Capítulo 2, onde é feita a revisão bibliográfica dos principais

tópicos apresentados no trabalho e necessários para o entendimento dos resultados.

No Capítulo 3, é feita a apresentação do procedimento experimental adotado na pesquisa, além do detalhamento e descrição dos materiais, métodos e ensaios utilizados em acordo com as normas vigentes.

No Capítulo 4, os resultados encontrados nos ensaios de caracterização física, química e mecânica dos materiais e misturas, solo-cinza-cal e solo-cinza, são apresentados.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e recomendações para futuras pesquisas.