

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARTA PEREIRA DA LUZ

**APROVEITAMENTO DE FILER DE
PEDREIRAS DA REGIÃO
METROPOLITANA DE GOIÂNIA EM
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS URBANOS –
AVALIAÇÃO TÉCNICA E SÓCIO-
AMBIENTAL**

Goiânia
2008

MARTA PEREIRA DA LUZ

APROVEITAMENTO DE FILER DE PEDREIRAS DA REGIÃO
METROPOLITANA DE GOIÂNIA EM PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS URBANOS- AVALIAÇÃO TÉCNICA E SÓCIO-
AMBIENTAL

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Ciências Ambientais – Universidade Federal de Goiás, para obtenção de título de Doutora em Ciências do Ambiente.

Área de concentração: Conservação, Desenvolvimento e Sociedade.

Orientadora: Prof^a. Selma Simões de Castro, DSc.

Co-orientadora: Prof^a. Lilian Ribeiro de Rezende, DSc.

Goiânia
2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

Luz, Marta Pereira da.
L979a Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos [manuscrito]: avaliação técnica e sócio-ambiental / Marta Pereira da Luz. – 2008.
103 f.: il., figs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Selma Simões de Castro. Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. LÍlian Ribeiro de Rezende.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, 2008.

Bibliografia.

1. Resíduos industriais – Goiânia (GO) 2. Filer 3. Educação Ambiental 4. Resíduos Sólidos I. Castro, Selma Simões de II. Rezende, LÍlian Ribeiro III. Universidade Federal de Goiás. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. **Programa de Doutorado em Ciências Ambientais** IV. Título.

CDU: 628.4(817.3)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Membros da Banca Examinadora de Defesa Pública de Tese de
Doutorado em Ciências Ambientais, realizada em 27 de novembro de
2008, às 08 h e 30 min.

Prof.^a Dr.^a Selma Simões de Castro - UFG

Prof.^a Dr.^a Agustina Rosa Echeverría - UFG

Prof. Dr. Carlos Hiroo Saito - UnB

Prof.^a Dr.^a Liedí Légi Bariani Bernucci - USP

Prof. Dr. João Carlos de Oliveira - Cefet-GO

“Buscai em primeiro lugar o Reino de Deus e a sua justiça e todas estas coisas vos serão dadas em acréscimo”.
(Mateus 6:33)

*Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais: José e Antônia,
e a minha querida irmã Cláudia.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade da vida, da saúde e do conhecimento.

À professora Selma Simões de Castro pela dedicação, oportunidade da realização desta tese, pelas palavras de conforto nos momentos difíceis, pelo companheirismo, e por acreditar neste trabalho.

À professora Agustina Rosa Echeverría pela dedicação, pela amizade e por me proporcionar conhecimentos em uma nova área, uma pessoa que deveria ser pública pelos grandes conhecimentos que possui na área de ensino.

À professora Lilian Ribeiro de Rezende, pela dedicação e disposição em ajudar em todos os momentos, uma pessoa admirável. Lara, me desculpe por manter a sua mãe ocupada nesse momento inicial de sua vida!

À Professora Liedi Légi Bariani Bernucci pelo exemplo de profissionalismo que me inspira.

Quatro mulheres fortes!

Ao meu estimado padrinho Sr. Francisco Batista Nepomuceno e a querida Jú pelo carinho, apoio nos momentos difíceis de minha vida e pelo exemplo de caráter que representam.

Ao doce Bernardo pelo companheirismo, carinho e atenção.

Aos grandes amigos: José João, Gi, Rossi, Juliano Monteiro, Gilberto Labor, Lucas Céleri, Giovanni Batalione, Kátia, Kleber, meus queridos alunos da UCG e tantas outras pessoas queridas que me acompanham, mesmo que a distância nos separe geograficamente.

Ao aluno de mestrado Weliton pelo companheirismo, calma e força durante a execução do trecho experimental.

Ao Noé, secretário do Ciamb, pelo apoio, simpatia e agilidade, empregado em todos os momentos que o solicitei.

Ao laboratório de Tecnologia de Pavimentos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por nos conceder o uso do laboratório. Especiais agradecimentos aos técnicos Edson Moura e Erasmo.

À Furnas e todos os funcionários que viabilizaram parte da etapa laboratorial.

Ao Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia (DERMU), em nome de Leandro, Jonício e Mauro Miranda pelo apoio e patrocínio do trecho experimental.

Ao Sindicato das Indústrias de Mineração – SINDIBRITA, em nome de Flávio Rassi, Jorge, Wilson e Salim, pelo apoio durante o trabalho.

Aos alunos Saul, Márcia, Diego e Thiago, pelo empenho e dedicação na realização do trecho experimental.

RESUMO

A geração de resíduos industriais tem merecido destaque crescente na Ciência e Tecnologia devido à problemática causada pelo seu armazenamento ou descarte inadequado, que pode trazer conseqüências negativas para o trabalhador, interno a empresa, e à população circunvizinha, além de gerar passivo ambiental. Medidas que internalizem tais passivos para o sistema produtor são necessárias, mas não suficientes para a mudança em larga escala, no que se refere ao gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos. Para tanto, há a necessidade premente de soluções técnicas e participativas. Técnicas, de forma a permitir a viabilização do aproveitamento ou minimização da geração do resíduo, e participativas, de forma a minimizar as conseqüências negativas sobre as comunidades e entidades que direta ou indiretamente fazem parte desse processo. Neste contexto foi estudado o resíduo do setor de mineração de pedra britada da Região Metropolitana de Goiânia, importante provedor de recursos para o desenvolvimento econômico da região, além de grande gerador de resíduos oriundos de seu processo. A pesquisa iniciou-se pela caracterização físico-química de seu principal resíduo: o filer, ressaltando os efeitos na saúde em geral, e pela avaliação da forma como o trabalhador dessas empresas se relaciona com a questão ambiental nesse contexto em que vivem. Para tanto, foi aplicado formulário contendo questões que permitiram concluir que o perfil desta mão-de-obra é extremamente carente de informações que lhes garantam conhecimento para colaborar com aspectos legais diretamente relacionados com a sua atividade. Pôde-se observar ainda que metodologias específicas de Educação Ambiental precisam ser aplicadas para atender a esses casos. Foi ainda detectado que de fato o acúmulo do filer pode trazer prejuízos à sociedade sobre o aspecto da saúde, em função de suas características físico-químicas, dentre as quais se destaca a alta concentração de sílica. Com esses dados justificou-se a necessidade e a importância de se conseguir uma solução técnica para diminuir o quantitativo desse resíduo, optando-se então por testar diversas misturas de solo natural e filer, com base em análises laboratoriais embasadas em mecânica dos solos, com o objetivo de aplicar o filer em pavimentação rodoviária, pois esta atividade absorve altas quantidades de material em suas camadas constituintes e tem atraído diversos pesquisadores que tentam novas alternativas de uso para resíduos industriais de natureza diversa. Nesta fase foram feitos ensaios de: caracterização, CBR, triaxial dinâmico, permeabilidade e compressão simples com dosagens variadas de solo argiloso laterítico com o filer. A partir dos resultados desses ensaios foi possível estabelecer que as dosagens de 30 % de filer dosado ao solo compactado na energia modificada e 20% de filer dosado ao solo compactado na energia intermediária podem ser aplicados, respectivamente, em base e sub-base de pavimentos flexíveis urbanos sujeitos a baixo volume de tráfego. O resultado do módulo de resiliência sinaliza para a necessidade de prudência na aplicação do filer, pois as cargas repetidas do ensaio mostraram que as amostras que se apresentaram adequadas no ensaio estático de CBR podem sofrer processos que podem conduzir a perda de resistência mecânica. Após a determinação, em laboratório, das dosagens mais apropriadas para aplicação em pavimentação de solo-filer foi executado trecho experimental com este material. A análise de seu comportamento foi feita utilizando-se os seguintes ensaios de campo: frasco de areia, *speedy*, penetrômetro dinâmico de cone, prova de carga sobre placa e viga Benkelman. Os resultados desses ensaios foram comparados com os obtidos em trecho executado no mesmo local, com solo-brita e cascalho laterítico, ditos materiais convencionais. Pôde-se concluir que o comportamento mecânico do trecho experimental executado com misturas solo-filer adéquam-se às condições estabelecidas pelas normas técnicas vigentes de pavimentação até o momento em que foram monitoradas, sendo que o seu comportamento mecânico é comparável com o obtido utilizando materiais convencionais.

Palavras-chave: Filer. Educação Ambiental. Pavimentação. Resíduos sólidos. Meio ambiente.

ABSTRACT

The generation of industrial waste has been the object of increasing attention in the field of Science and Technology because of the problems which arise when it is stored and inadequately disposed of. This can have negative consequences for the worker, the company and for the neighboring population. In addition it can generate liabilities for the environment. Measures which internalize such liabilities for the productive system are necessary, but not sufficient to bring about large scale changes in what concerns the sustainable management of solid waste. Therefore, there is an urgent need for technical and participative solutions. Technical solutions would make it viable to reuse or reduce the generation of waste, while participative solutions would reduce the negative consequences for communities and bodies who directly or indirectly are part of this process. In this context, waste from the quarrying of crushed stone was studied in the metropolitan Region of Goiânia. Quarrying is an important source of resources for the economic development of the region but it is also a great generator of solid waste. The research began with the physical and chemical characterization of filler, which forms the greatest volume of solid waste, resulting from quarrying and focused on its general effects on health. It also evaluated how the workers in these companies relate to the environmental issue in this context in which they live. A survey with questions was distributed and from the answers it could be concluded that the profile of these workers is extremely lacking in information which would provide them with information to deal with legal aspects directly related to their activity. Furthermore, it could be seen that specific methodologies in Environmental Education are needed to attend to these cases. It was also detected that the accumulation of filler can be harmful to society in terms of health. This is because of its physical and chemical characteristics, and in particular its considerable concentration of silica. These facts justify the need to find a technical solution to reduce the quantity of this waste. Hence it was decided to test different blends of natural soil and filler, using laboratory tests based on soil mechanics, with a view to investigating the possibility of using filler in road pavement, as it absorbs enormous quantities of material in its constituent layers and has attracted the attention of researchers in an effort to find new alternative uses for the different types of industrial waste. At this phase, tests were carried out for characterization, CBR, dynamic triaxial tests, permeability, compressive strength using varied quantities of lateritic clay soil as filler. From the results of these tests it was possible to claim that proportions of 30% filler added to compacted soil with modified energy and 20% filler added to compacted soil with intermediate energy can be used for base and sub base purposes, respectively, in flexible urban pavements with light traffic. The result of the resilience module points to the need for prudence in the use of filler, as repeated loads of filler in the test showed that the samples which were most appropriate in the CBR Statistical Test can undergo processes leading to a loss of mechanical resistance. After deciding in the laboratory on the most appropriate proportions of soil-filler for use in pavements, an experimental track was built using this material. An analysis of its behavior was done using the following field tests: sand flagon test, speedy, dynamic cone penetration, loading plate and Benkelman beam. The results of these tests were compared with those obtained from a track built in the same location with soil-crushed rock and lateritic gravel, both considered conventional material. It could be concluded that the mechanical behavior of the experimental track built with soil-filler blends are adequate for the conditions established by the technical norm in force up until the moment they were monitored, since its mechanical behavior is comparable to that obtained when using conventional materials.

Keywords: Filler. Environmental Education. Pavement. Solid Wastes. Environment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 ARTIGOS	15
2.1 O TRABALHADOR DA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA E O SEU AMBIENTE PRODUTIVO: DIAGNÓSTICO PARA A SUGESTÃO DE METODOLOGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL.....	16
2.2 Laboratory Analysis of the viability of soil-filler blends in pavements.....	39
2.3 COMPORTAMENTO DE UM TRECHO EXPERIMENTAL EXECUTADO COM FILER DE PEDREIRA.....	69
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
4 ANEXOS	101

1 INTRODUÇÃO

O eixo Goiânia-Brasília constitui-se no terceiro mercado consumidor de produtos resultantes do processo de britagem no país. Goiânia, com uma população de cerca de 1,4 milhões de habitantes, consome atualmente aproximadamente 100.000 metros cúbicos de pedra britada por mês, embora tenha potencial para consumir até 250.000 metros cúbicos. Segundo dados da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil (ANEPAC, 2004) existem hoje nesta região 10 produtores de brita distribuídos na periferia de Goiânia, em Aparecida de Goiânia e Goianira.

Com esses dados fica evidente a necessidade de solucionar os problemas gerados pelo acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita, já que atualmente, dada a pouca incorporação desses resíduos em outros processos industriais, as empresas são obrigadas a manter o material armazenado em sua área, o que acarreta uma série de inconvenientes, tais como: poluição visual, poluição atmosférica, poluição hídrica e problemas de saúde ao trabalhador e população circunvizinha.

Considerando-se a problemática de busca de uma solução técnica alternativa para o aproveitamento de resíduo de pedra de brita, o filer, a presente tese partiu da hipótese de que sua mistura com solo laterítico local poderia ser viável e ao mesmo tempo importante para a questão da saúde da comunidade envolvida com o mesmo, acompanhando a tendência mundial atual de busca de novas alternativas sócio-ambientalmente sustentáveis para empreendimentos que geram passivos ambientais e afetam a segurança e a saúde da comunidade.

Testar o aproveitamento do resíduo de pedra e, por outro, sua aplicação à pavimentação rodoviária, é meta relevante na configuração tecnológica atual, visto que essa atividade absorve grandes quantidades de material para construção civil e pavimentação urbana, notadamente em regiões metropolitanas em franco crescimento como é o caso da Região Metropolitana de Goiânia (RMG). Além disso, esse aproveitamento do filer pode contribuir para que se reduza a poluição por resíduos sólidos antes considerados inúteis, relacionados a passivo ambiental, tornando-os uma espécie de “nova” matéria-prima, promovendo-os no status econômico e ambiental.

A busca das alternativas a essas questões do resíduo traduziram-se no objetivo geral deste trabalho que visa estabelecer uma nova alternativa técnica para o aproveitamento do filer em pavimentação urbana flexível de baixo volume de tráfego, como subsídio para um empreendimento sustentável.

Tendo-se em vista os aspectos de detalhe que envolve o estudo, algumas questões específicas se mostraram relevantes para ordenar as etapas da pesquisa, a saber: Quais são os danos que o filer causa à pessoa humana em especial ao trabalhador das pedreiras e comunidade do seu entorno imediato? Quanto ao seu aproveitamento, dentre várias opções a serem testadas, ele pode ser aproveitado como matéria-prima em pavimentação flexível urbana de baixo tráfego? Nesse sentido, o filer apresenta características que permitem sua mistura a solo local de modo a viabilizar essa aplicação? Qual é solo mais adequado? Quais são os parâmetros para a avaliação dessas misturas em laboratório? A mistura ideal em condições de laboratório, aplicada em pista experimental é durável? O pavimento suporta a carga planejada sem deformações comprometedoras? Se sim, essa nova alternativa apontaria na direção de sustentabilidade sócio-ambiental do empreendimento?

Tais questões se tornaram os objetivos específicos da pesquisa, a saber: a) caracterizar o filer e o solo para estabelecer alternativas de misturas possíveis a serem testadas quanto ao comportamento de estabilidade e resistência; b) obter os parâmetros de mistura ideal de solo-filer para a pavimentação proposta; c) construir trecho em pista experimental com a mistura ideal em seqüência de trechos convencionais (brita e cascalho) para fins de teste específico e comparado em condições de campo, mediante monitoramento de estabilidade e resistência dos trechos.

Em conseqüência, como estratégia metodológica, partiu-se da seleção de uma área apropriada para implantação da pista experimental e do princípio de parcerias para viabilizar técnica e operacionalmente a pesquisa em laboratório e em campo, e, subsequentemente, procedeu-se aos estudos técnicos relativos às misturas.

A seleção da área para construção de pista experimental baseou-se no critério de proximidade de pedreira que contivesse empilhamento significativo de filer e interesse em se tornar parceira da pesquisa, além de proximidade de jazida de solo laterítico em condições de exploração para o fornecimento de solo. Selecionou-se, assim, uma pedreira na Região Metropolitana de Goiânia após entendimentos de cooperação e procedeu-se a acordos com Furnas Centrais Elétricas para a realização de ensaios de mecânica de solos; com a CEASA (Centrais de Abastecimento de Goiás S/A), proprietário da área que contém a jazida do solo laterítico considerado ideal para a mistura, com base na literatura consultada; com a Prefeitura de Goiânia, através de sua divisão DERMU (Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia), como parceira na construção do pavimento experimental além de outros proprietários do local para cooperação.

Os trabalhos foram iniciados pela caracterização do perfil sócio-econômico-cultural do trabalhador do setor de produção das empresas mineradoras localizadas na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), com o fim de avaliar como estes trabalhadores se relacionam com as questões ambientais no contexto em que estão inseridos. A partir desse diagnóstico foram estabelecidas críticas e ponderações sobre os resultados dos processos de Educação Ambiental presentes ou ausentes nas empresas mineradoras da RMG e as suas conseqüências sobre os trabalhadores. Paralelamente, foram feitos estudos técnicos de avaliação do aproveitamento do filer através do conhecimento de sua composição e avaliação de dano potencial à saúde, com base em determinações laboratoriais e revisão de literatura. Essa fase resultou no primeiro artigo apresentado na presente tese.


Em seguida procedeu-se à continuidade dos estudos técnicos desta feita já com base na proposta de mistura de solo-filer para compor base e sub-base de pavimentos de capa asfáltica. Dois conjuntos de atividades foram desenvolvidas. O primeiro em laboratório geotécnico de mecânica de solos, onde diversas proporções de misturas solo x filer foram testadas, segundo parâmetros de caracterização e resistência tendo-se por referência as normas vigentes para pavimentação urbana flexível da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Para essa etapa da pesquisa procedeu-se a entendimentos com a Escola Politécnica da USP – Laboratório de Laboratório de Tecnologia da Pavimentação para realização dos ensaios sobre as amostras dosadas segundo a realidade implementada em campo. Os resultados dessa fase são apresentados e discutidos no segundo artigo desta tese.

Identificada a mistura ideal, nas condições de pesquisa, procedeu-se ao segundo e último conjunto de atividades, as quais envolveram a construção da pista experimental e seu monitoramento durante cerca de um ano (abrangendo uma estação chuvosa, momento em que as águas pluviais representam grande impacto ambiental em regiões tropicais subúmidas, como é o caso do cerrado). Foi construída uma pista, próxima à CEASA, contendo trecho (200m) com solo x filer seguido de outros trechos construídos segundo métodos convencionais para fins de comparação, totalizando cerca de 800 m de pista, sendo que tanto a construção como o monitoramento desse trechos convencionais foram feitos em equipe visando outros trabalhos acadêmicos. Os resultados desse conjunto de atividades estão apresentados e discutidos no terceiro artigo desta tese, onde os referidos trabalhos são também citados.

Optou-se por apresentar a tese na forma de artigos, que constituem a essência dos resultados obtidos na pesquisa, a saber:

- Artigo 1 – “O trabalhador da indústria da mineração da Região Metropolitana de Goiânia e o seu ambiente produtivo: diagnóstico para a sugestão de metodologias de Educação Ambiental”: Revista *Ambiente e Sociedade* *
- Artigo 2 – “Laboratory Analysis of the viability of soil-filler blends in pavements”: Revista *Soils and Rocks* .
- Artigo 3 – “Comportamento de um trecho experimental executado com filer de pedreira”: Revista *Geotecnia* *.

* todos periódicos Qualis Nacional A conforme avaliação feita pela CAPES/2007.

 Você encaminhou esta mensagem em 24/10/2008 14:56.

MARTA PEREIRA DA LUZ

De: marta@conscienciaambiental.com
[marta@conscienciaambiental.com]

Enviada: sex 24/10/2008 14:55

Para: MARTA PEREIRA DA LUZ

Cc:

Assunto: [Fwd: Artigo submetido]

Anexos:

----- Mensagem Original -----

Assunto: Artigo submetido

De: "Revista Geotecnia Auto Mail" <editor@revistageotecnia.com>

Data: Sex, Outubro 24, 2008 11:49 am

Para: "Marta Pereira da Luz" <marta@conscienciaambiental.com>

Exmo(a). Ms. Marta Pereira da Luz

O seu artigo com o titulo 'COMPORTAMENTO DE UM TRECHO EXPERIMENTAL EXECUTADO COM FILER DE PEDREIRA' e ID 001021 foi submetido com sucesso.

Com os melhores cumprimentos,

A Direcção da Revista Geotecnia
email gerado automaticamente em 24/10/08 @ 17:49 [GMT]