INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Patrick de Oliveira Conceição

Análise crítica de soluções técnicas aplicadas aos serviços de engenharia de infra-estrutura aeronáutica, no âmbito do sistema de engenharia da Aeronáutica

Trabalho de Graduação

2008

Civil

CDU 629.7.08:625.08

Patrick de Oliveira Conceição

Análise crítica de soluções técnicas aplicadas aos serviços de engenharia de infra-estrutura aeronáutica, no âmbito do sistema de engenharia da Aeronáutica

Orientador
Engº. Rodrigo Otávio Ribeiro

Co-orientador
Engº. MSc. Frank Cabral de Amaral

Divisão de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Conceição, Patrick de Oliveira
Análise Crítica de Soluções Técnicas Aplicadas aos Serviços de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica, no Âmbito do Sistema de Engenharia da Aeronáutica / Patrick de Oliveira Conceição.
São José dos Campos, 2008.
85f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil –
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2008. Orientadores: Engº. Rodrigo Otávio Ribeiro (ITA), Engº. MSc. Frank Cabral de Amaral (COMARA).

1. Pavimentação. 2. Serviços de engenharia. 3. COMARA. I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II.Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CONCEIÇÃO, Patrick de Oliveira. **Análise crítica de soluções técnicas aplicadas aos serviços de engenharia de infra-estrutura aeronáutica, no âmbito do sistema de engenharia da Aeronáutica**. 2008. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Patrick de Oliveira Conceição
TÍTULO DO TRABALHO: Análise crítica de soluções técnicas aplicadas aos serviços de engenharia de infra-estrutura aeronáutica, no âmbito do sistema de engenharia da Aeronáutica
TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2008

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

_____

Patrick de Oliveira Conceição
H8-A Apto 137 – CTA – Vl. Acácias
12228-460 – São José dos Campos – SP
patrick.ita.pa@gmail.com

ANÁLISE CRÍTICA DE SOLUÇÕES TÉCNICAS APLICADAS AOS SERVIÇOS DE ENGENHARIA DE INFRA-ESTRUTURA AERONÁUTICA, NO ÂMBITO DO SISTEMA DE ENGENHARIA DA AERONÁUTICA

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Patrick de Oliveira Conceição
Autor

Engº. Rodrigo Otávio Ribeiro (ITA)
Orientador

Engº. MSc. Frank Cabral de Amaral (COMARA)
Co-orientador

Prof. Drª. Íria Fernandes Vendrame
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 13 de novembro de 2008

Dedicatória

No início do primeiro semestre de 2006, à época da reconvocação dos optantes à ativa da Força, chegou as minhas mãos um aviso vindo da Divisão de Alunos, o qual me convidava a comparecer à sala da professora Elisabeth, então chefe da Divisão. Aproveitei o primeiro intervalo de aulas para atender ao pedido. Fui recepcionado pela docente, que me ofereceu assento e disse que precisávamos ter uma conversa importante. Foi quando a mesma me informou que o Magnífico Reitor do ITA havia vetado a minha volta como Aspirante-a-Oficial e pedira a ela para me comunicar o fato.

Fui pego completamente de surpresa pela notícia e procurei rapidamente saber os motivos que o levaram a tomar tal decisão. A professora me informou que o meu baixo desempenho escolar, com 3 conceitos "Insuficiente" no boletim, fora o alicerce para tal atitude. Não poderia aceitar aquilo de forma passiva, afinal, tinha entrado no ITA em parte pelo desejo de seguir uma carreira militar e, em uma fração de minuto, vi todo aquele sonho derretendo aos meus pés.

Não foram poucas as vezes que tentei falar pessoalmente com o Magnífico Reitor. Na verdade foram tantas que minha memória não me permite contar. Não esqueci, porém, a frase que o Dr. Reginaldo escreveu no final do último parágrafo da carta que pediu para que me entregassem: "...visto que o aluno apresenta baixa probabilidade de se graduar".

Não tive palavras diante da sapiência estatística apresentada pela ilustre figura. Preferi confiar nas palavras do Prof. Paulo André, que me citou o caso de um aluno que havia entrado no curso profissional já com 5 conceitos "Insuficiente" (o limite máximo) e conseguiu se formar sem receber nenhum "I" adicional.

Diante da descrença do Magnífico Reitor, não consegui vestir novamente a farda azul Aeronáutica, mas imitei meu veterano ao me formar com o mesmo número de "I´s" que entrei no profissional. O Reitor? Vi-o somente duas vezes ao longo de todo o curso, um pouco de longe, mas gostaria de agradecê-lo pela confiança e camaradagem que apresentou comigo. Típico de um verdadeiro iteano!

Em primeiro lugar, dedico e agradeço tudo que conquistei até hoje aos **meus pais**, Silvania e Edivaldo, por todo o amor com que me educaram e por tudo que me ensinaram; por todas as preocupações que dividiram comigo nos momentos mais difíceis dessa jornada e, acima de tudo, por terem feito de mim uma das razões de suas vidas. Com eles divido esta grande vitória. Amo vocês!

Aos **meus avós** Auxiliadora e Raimundo, exemplos de carinho e conselheiros de todas as horas. Pessoas que estiveram presentes em todas as etapas da minha vida, orientando-me com seus conselhos, dando-me lições com sua experiência e estando sempre prontos a ajudar nos momentos em que precisei.

Ao **meu irmão** Derick, pelo companheirismo e ajuda em vários momentos. Tenho enorme orgulho em ser seu irmão e fico felicíssimo por de alguma forma termos nos ajudado mutuamente a nos tornar as pessoas íntegras que somos.

Aos **meus tios** Aluízio e Edylamar, por todos os conselhos e palavras de conforto que me deram quando atravessava os momentos mais críticos do curso. Muito obrigado pelo carinho!

E por fim, porém não menos importante, à **minha namorada** Kelly, minha companheira ao longo de quase quatro anos, pelos cuidados, pelo amor, pelo carinho, pela imensa compreensão que teve ao longo de toda essa jornada em que estivemos, na maior parte do tempo, separados por milhares de quilômetros. Compartilhei com você os momentos mais tristes e mais felizes desse caminho e muitos assim ainda virão. Amo-te profundamente. "Valeu e sempre valerá a pena esperar por você".

Agradecimentos

Ao final de quase onze meses de trabalho dedicados à elaboração desta pesquisa, gostaria de ofertar meus sinceros agradecimentos:

Ao meu orientador Eng^{o}. Rodrigo Tavares Ribeiro (ITA) pelos ensinamentos, preocupações e contribuições fundamentais para a qualidade do trabalho ora apresentado;

Ao meu co-orientador Eng^{o}. MSc. Frank Cabral de Amaral (COMARA), por ter sido o idealizador e o maior viabilizador deste desafio, responsável por mobilizar todos os recursos que estavam a seu alcance para me fornecer subsídios sem os quais este trabalho tornar-se-ia impossível.

Ao Primeiro-Sargento Haroldo Bezerra Dias (COMARA), por todo o inestimável tempo que dedicou ao desenvolvimento desta pesquisa e cuja colaboração foi vital para o completo entendimento das soluções técnicas utilizadas pela COMARA. Meus sinceros agradecimentos a esse grande profissional e ser humano que conheci.

Ao Civil Raimundo Nonato Mendes de França (COMARA), pelo ativo acompanhamento prestado durante os primeiros momentos da pesquisa, permitindo-me a clara compreensão sobre o *Sand-Creet* e sobre outras técnicas.

Ao Suboficial Júlio Cézar Leão Lisboa (COMARA), cuja vasta experiência em obras me guiou em vários momentos no detalhamento e nas especificações das diversas técnicas pesquisadas, mesmo que em conversas informais.

Ao Capitão Lucindo Damálio (COMARA), por ter estado sempre à disposição para qualquer dúvida e pelos diversos relatos sobre sua experiência em obras na Amazônia.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."

JOSÉ DE ALENCAR

Resumo

Com mais de 5 milhões de quilômetros quadrados de área, a Amazônia Legal Brasileira cobre mais que 60% do território nacional. A região é sem dúvida um grande foco de preocupação do país, combinando uma população extremamente pobre com a falta de políticas mais agressivas de desenvolvimento por parte do poder público. É nesse cenário que atua a Comissão de Aeroportos da região Amazônica, órgão da Força Aérea Brasileira responsável pela construção e manutenção de aeródromos nas áreas mais remotas e inacessíveis do país.

Apesar dos mais de 50 anos de história, tal instituição ainda não possui uma gestão de conhecimento compatível com a sua grandeza. A razão de sua existência está focada em construir pistas de pouso, tarefa que realiza com extrema competência, mas não necessariamente da forma mais eficiente possível. A carência de padronizações formais para os métodos construtivos empregados tornam os serviços executados sujeitos a enormes variações, dependendo dos mais diversos fatores, tais como condições climáticas, equipamentos utilizados, ensaios realizados e até mesmo profissionais envolvidos.

No Brasil, há órgãos especializados em criar e divulgar normas de pavimentação em todo o país, porém, o que se nota é que os procedimentos muitas das vezes não são compatíveis à realidade amazônica, dadas as suas inúmeras peculiaridades e restrições existentes para executar obras na região.

O presente trabalho espera conseguir, mesmo que de forma mínima, preencher esta lacuna, lançando uma mini-coletânea que descreva as principais técnicas utilizadas pela COMARA na Amazônia.

Abstract

With an over 5 million square kilometers area Amazon rainforest covers more than 60% of Brazilian territory. The region is undoubtedly the most problematic zone in the country, mixing a highly poor population with the lack of development policies by the Government. Into this scenario acts the Comissão de Aeroportos da Região Amazônica, a Brazilian Air Force entity responsible for construction and maintenance of aerodromes in the most remote and inaccessible areas in the country.

Nevertheless, Although there are 50 years since its foundation, COMARA has not yet a knowledge management according to its importance. The reason for its existence is focused on building runways, task that has been accomplished with competence and successful, but not necessarily in the most efficient way. The lack of formal standardization in constructive methods used lets the execution subjected to enormous deviations, depending on several issues such as weather conditions, equipments, tests and even professionals involved.

In Brazil, there are specialized entities to create and disseminate norms for paving throughout the country. However, it´s notable that the procedures are not often compatible to Amazon reality, because its many existing specificities and constraints to construct in the region.

This paper hopes to - even a minimal form - fill this gap by releasing a mini-collection that describes the main procedures used by COMARA in Amazon.

Lista de Figuras

Figura 1 – Massas específicas aparentes máximas do Solo-Cimento

Figura 2 – Teor de cimento necessário para a estabilização do solo

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Faixas granulométricas para o Solo Melhorado com Cimento

Tabela 2 – Faixas granulométricas para o agregado graúdo

Tabela 3 – Faixas granulométricas para o material de enchimento

Tabela 4 – Faixas granulométricas para o material da camada de bloqueio

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CBR – California Bearing Ratio.

COMARA – Comissão de Aeroportos da Região Amazônica.

CP – Cimento Portland.

DER/PR – Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio.

GC – Grau de Compactação.

ISC – Índice de Suporte Califórnia.

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

Sumário

1. Introdução 17
1.1. Motivação 17
1.2. Revisão Bibliográfica 18
1.3. Objetivo do trabalho 21
2. Metodologia empregada 22
2.1. Estágio na COMARA 23
2.2. Dificuldades apresentadas 23
3. Técnicas abordadas 24
I. Sand-Creet 24
I.1. Definição 24
I.2. Referências 24
I.3. Aplicações 25
I.4. Materiais 25
I.5. Equipamentos 26
I.6. Recursos humanos 28
I.7. Preparação 28
I.8. Execução 31
I.9. Cuidados 39
I.10. Controle tecnológico 40
I.11. Vantagens e desvantagens 41
II. Solo-cimento 41
II.1. Definição 41
II.2. Referências 41
II.3. Aplicações 42
II.4. Materiais 42
II.5. Equipamentos 43
II.6. Recursos humanos 44
II.7. Preparação 44

II.8. Execução 46
II.9. Cuidados 49
II.10. Controle tecnológico 50
II.11. Vantagens e desvantagens 51
III. Solo Melhorado com Cimento 51
III.1. Definição 51
III.2. Referências 51
III.3. Aplicações 52
III.4. Materiais 52
III.5. Equipamentos 54
III.6. Recursos Humanos 55
III.7. Preparação 55
III.8. Execução 57
III.9. Cuidados 59
III.10. Controle tecnológico 61
III.11. Vantagens e desvantagens 63
IV. Solo-Cal 64
IV.1. Definição 64
IV.2. Referências 64
IV.3. Aplicações 65
IV.4. Materiais 65
IV.5. Equipamentos 65
IV.6. Recursos Humanos 66
IV.7. Preparação 66
IV.8. Execução 67
IV.9. Cuidados 71
IV.10. Controle tecnológico 71
IV.11. Vantagens e desvantagens 72
V. Macadame Hidráulico 72
V.1. Definições 72
V.2. Referências 73

V.3. Aplicações 74
V.4. Materiais 74
V.5. Equipamentos 75
V.6. Recursos humanos 76
V.7. Preparação 76
V.8. Execução 77
V.9. Cuidados 82
V.10. Controle tecnológico 82
4. Considerações finais 84
Referências Bibliográficas 85
Apêndice 1: Método de Ensaio *Sand-Creet* 87

1. Introdução

Este documento traz o registro do estudo desenvolvido sobre técnicas de pavimentação, que corresponde ao Trabalho de Graduação do autor no curso de Engenharia Civil-Aeronáutica do ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – e que, para sua realização, contou com o apoio da COMARA – Comissão de Aeroportos da Região Amazônica.

Inicialmente, segue uma abordagem sobre a motivação do trabalho, a revisão bibliográfica e os objetivos do estudo.

1.1. Motivação

No início da década de 50, dos 17 aeródromos existentes na Amazônia, somente os de Belém (PA) e Manaus (AM) eram asfaltados. Nesse cenário, em 12 de dezembro de 1956, foi criada a Comissão de Aeroportos da Região Amazônica – COMARA.

Ao longo de mais de 50 anos de história, a Comissão foi responsável pela construção e recuperação de mais de 150 pistas, além da viabilização de mais de 70 obras de reformas de instalações aeroportuárias e vias públicas.

A COMARA possui função estratégica na Região, contribuindo com diversos órgãos e entidades como o Exército Brasileiro, a Marinha do Brasil e a FUNAI, responsáveis pelo controle das fronteiras nacionais e por prestar assistência às comunidades indígenas e ribeirinhas da Região.

Para a construção de qualquer empreendimento desse tipo, existem três pilares fundamentais para garantir sua operacionalidade: homens, máquinas e materiais. Reunir tais elementos na Região Amazônica foi e continua sendo o maior dos obstáculos enfrentados pela Comissão.

Transportar equipamentos, materiais e até mesmo a equipe de trabalho para os canteiros de obra é uma tarefa árdua e, em alguns casos, pode ser um fator decisivo para a escolha da técnica de terraplenagem ou pavimentação a ser aplicada. Para exemplificar a afirmação anterior, suponhamos a execução de um pavimento, cuja camada de base seja tradicionalmente projetada com brita graduada. Se tal aeródromo estiver sendo feito na Amazônia e o local não dispuser de

rochas para serem transformadas em brita, a técnica passa a não ser viável, dados a dificuldade e o custo de transporte desse material até o local, que só é possível por balsa, ainda dependendo do volume necessário e da origem da brita.

Outro agente complicador para a execução das obras é o clima. Conhecida por seus longos e intensos períodos chuvosos, a Amazônia impõe severas restrições para os trabalhos nos canteiros, pois a grande maioria dos serviços de terraplenagem e pavimentação não podem ser realizados sob chuva, exigindo um planejamento apurado dos meses e dias de execução.

Por situações como essas, a COMARA passou a lançar mão das mais diversas técnicas para a execução de camadas de base e sub-base. Adversidades logísticas, climáticas e de escassez de material levaram também ao desenvolvimento de diversos estudos para adequar técnicas consagradas por normas à realidade amazônica.

Apesar das pesquisas acerca da adequação de procedimentos ao cenário da região, muitas outras técnicas foram desenvolvidas sem, no entanto, serem registradas em documentos, ficando a transmissão de seu conhecimento a cargo de troca de experiências durante a execução dos serviços.

É neste ponto que se encaixa a proposta deste trabalho, o qual visa a consolidar e documentar um conjunto de técnicas das mais utilizadas pela COMARA em suas obras, de modo a conseguir uma padronização do procedimento adotado dentro da Comissão, além de criar um registro que sirva de base para o desenvolvimento de novos métodos no futuro.

1.2. Revisão Bibliográfica

A realização de serviços de pavimentação no Brasil teve um enorme impulso com a criação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, em 1957, pelo Departamento nacional de Estradas de Rodagem. A partir daí, houve um substancial aumento nas pesquisas sobre materiais, métodos de ensaio e procedimentos, bem como no acervo normativo correspondente. Como conseqüência dessa atividade e de um grupo seleto de técnicos e profissionais do DNER, surgiu em 1960 a primeira edição do Manual de Pavimentação, visando normalizar e uniformizar , no âmbito da Autarquia, as especificações de serviços e as técnicas de construção referentes à pavimentação de

rodovias, estabelecendo conceitos e definido critérios a serem adotados para as diversas fases dos serviços (DNER,1996).

Os Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem – DER's –, criados na sua maioria nas décadas de 30 e 40, começaram a também criar normas e padronizações para os mais diversos procedimentos, a fim de divulgá-los em caráter mais regional. Hoje, destacam-se positivamente por seus trabalhos e publicações os DER's de São Paulo e do Paraná.

Contudo, o caráter regional dos Departamentos ainda hoje pára nos trabalhos de divulgação e orientação, não havendo grandes distinções nos procedimentos adotados devido a características particulares de um dado local, por exemplo. Em se tratando de estados da região norte, nos quais os DER's detêm um baixíssimo número de publicações, a adoção de medidas diferenciadas é praticamente inexistente, sendo as poucas normas praticamente cópias de publicações de outros Departamentos. Em se tratando de um ambiente que comporta a maior parte da floresta Amazônica, com todas as suas peculiaridades climáticas, ter normas de serviços de pavimentação customizadas e adaptadas àquela realidade seria algo de valor grandioso. Um ponto bastante falho, portanto, é a falta de foco, que só poderia ser resolvida com um amplo trabalho envolvendo ensaios, desenvolvimento de técnicas, estudos de materiais, etc., algo relativamente difícil de ser conseguido dado o baixo investimento que as entidades dessas regiões recebem.

Vários são os livros de pavimentação que trazem em seu conteúdo descrições bastante rigorosas sobre técnicas de pavimentação, contudo, um dos pontos fracos nesse tipo de obra é que geralmente a descrição dos procedimentos não constitui o foco da publicação, ficando geralmente como um "exemplo" ou uma "ilustração" de um tema mais central. Isso acaba impactando no número de técnicas abordadas, que geralmente é bastante reduzido. Outra conseqüência da falta de foco das publicações é a falta de simplicidade para manuseio do material, pois quando o objetivo da equipe é puramente aprender a execução, torna-se pouco prático ter que consultar todo o livro, selecionando as partes que são de seu interesse. Não se poder ir "direto ao ponto", acarretando demora desnecessária em sua leitura ou até mesmo falta de interesse pelo material. A terceira conseqüência relacionada à falta de foco é que seria preciso consultar vários livros se fosse necessária a adoção de mais de um tipo de técnica em um mesmo pavimento ou mesmo para se decidir qual poderia ser a melhor solução a ser empregada em uma obra. Novamente a pouca praticidade está intrinsecamente associada à questão, fazendo com que o conjunto de

técnicas a serem propostas neste trabalho ganhem importância e distinção frente a esse tipo de publicação, quando se estão buscando soluções confiáveis de forma rápida e prática.

O segundo fator negativo presente nos diversos livros que tratam do assunto é a região para a qual a técnica foi dimensionada. Para balizarem os seus trabalhos, os autores geralmente utilizam pesquisas, ensaios e testes feitos para fins acadêmicos ou mesmo dentro de empresas (estudos de caso). Como a maior parte das publicações científicas está concentrada nas regiões Sul e Sudeste, é natural que a imensa maioria dos estudos e análises tenha como objeto de trabalho pavimentos localizados nesses locais. Sendo assim, torna-se mínima a possibilidade de que publicações dessa natureza tenham suas descrições baseadas em características da região amazônica.

São encontrados na literatura casos de publicações em que primeiramente são definidos alguns conceitos gerais sobre pavimentação e bases de pavimentos, bem como descrições sobre técnicas de compactação, para em seguida mostrar um ou dois exemplos de técnicas de compactação (Baptista, 1974). Algumas outras obras dão enfoque maior ao dimensionamento de pavimentos, relatando primeiramente alguns conceitos básicos de mecânica dos solos e de projetos de pavimentos, para em seguida descrever, de forma bastante ampla, alguma técnica de estabilização de bases ou sub-bases, sempre buscando ilustrar o tema descrevendo um ou outro procedimento (De Castro, 1960; De Brito, 1963). A mais completa dentre as obras pesquisadas foi escrita por De Senço (2001); pois, apesar de destinar os capítulos iniciais a conceitos mais gerais de pavimentação, nela consta um verdadeiro manual – bastante completo e detalhado – de técnicas de terraplenagem e pavimentação, tornando-se uma excelente fonte de consulta, mas não possuindo a particularidade de aplicação na região amazônica.

Em todas as obras literárias supracitadas, o conteúdo de descrição das técnicas de melhoramento de solo é bastante exaustivo, chegando a níveis elevados de detalhes e cumprindo muito bem o papel de transmissão de conhecimento. Contudo, em todas elas também estão presentes as duas carências já apontadas: não são focadas em descrição de técnicas de melhoramento de solos e retratam empregos de técnicas que podem não ser condizentes com a realidade amazônica. Daí a importância deste Trabalho de Graduação para a COMARA, uma vez que provê conteúdo de modo focado, prático e eficiente, e leva fielmente em consideração a condição do ambiente amazônico.

1.3. Objetivo do trabalho

Em seu livro “Princípios de Administração Científica” (Taylor, 1911), Frederick W. Taylor relatou que um dos males dos quais as indústrias de sua época padeciam era a falta de uniformidade das técnicas ou dos métodos de trabalho. Para combater tal mal, sugeriu que houvesse a redução da variabilidade e da diversidade no processo produtivo, eliminando-se o desperdício e aumentando a eficiência por meio da simplificação. O objetivo geral do presente trabalho é contribuir, de alguma forma, com o aumento da padronização e da qualidade nos serviços executados pela COMARA.

Em termos mais específicos, o objetivo final é catalogar, padronizar, comparar e criticar alguns dos diversos serviços de engenharia de infra-estrutura aeronáutica utilizados pelo sistema de engenharia da Aeronáutica, oferecendo como resultado final um pequeno manual de técnicas de engenharia, com elevada importância e aplicação prática.

Dentro do escopo do objetivo proposto, foram selecionadas para abordagem as técnicas consideradas mais relevantes para o contexto operacional da COMARA. São elas: *Sand-Creet*, Solo-Cimento, Solo Melhorado com Cimento, Solo-Cal e Macadame Hidráulico.

2. Metodologia empregada

O emprego de técnicas para terraplenagem e pavimentação não podem ser tratadas como verdades absolutas ou como imutáveis, pois geralmente são concebidas por estudos e pesquisas feitas para uma realidade específica, realidade esta que é importante para quem a desenvolveu pois vai ser de alguma forma utilizada para seus interesses ou de outros que compartilhem da mesma realidade.

O presente trabalho se propõe justamente a identificar e relatar uma série de procedimentos para técnicas usualmente empregadas pela COMARA na realidade amazônica. Para lograr êxito, a pesquisa buscou entender como as técnicas abordadas são executadas num ambiente considerado "tradicional", aquele para o qual a maioria das normas sobre o assunto são voltadas.

Assim, o primeiro passo trilhado foi a seleção das técnicas mais relevantes e mais utilizadas pela Comissão, de forma que se pudesse atendê-la na maior parte de suas necessidades.

A partir de então, já com as técnicas escolhidas, tratou-se de buscar o maior número de informações possíveis sobre cada uma, principalmente através de normas de órgãos como DNIT e alguns departamentos de estrada regionais; livros que abordavam tais técnicas de maneira detalhada também foram alvos de pesquisas.

A particularidade do trabalho nasceu a partir da fase seguinte. Sua proposta foi a de montar um formato padrão de documento, com certas semelhanças com as normas mais tradicionais, porém abordando assuntos e detalhes poucas vezes (ou nunca) contemplados por estas; focando no modelo tradicionalmente utilizado pela COMARA, sempre. Para conseguir as informações com o rigor e os detalhes necessários, aproveitou-se o contato com experientes técnicos e engenheiros daquela organização, que passaram seu conhecimento e experiência e contribuíram decisivamente para o resultado alcançado pelo trabalho.

Montados os procedimentos, precisou-se confrontá-los com as práticas correntes levantadas no início, a fim de captar as principais divergências (quando havia) e posteriormente tentar explicar de modo sucinto o porquê da técnica apresentada mostrar-se discordante do conteúdo das normas.

O trabalho final correspondeu a um longo detalhamento do vários itens abordados em cada técnica, procurando colocar no papel um pouco da vivência em obras dos profissionais que auxiliaram a pesquisa, relatando, por exemplo, métodos alternativos utilizados em circunstâncias adversas, em que não seria possível fazer uso dos procedimentos "convencionais".

2.1. Estágio na COMARA

Um ponto de grande valor a ser destacado foi o "estágio" realizado durante dois meses na sede da COMARA, em Belém. O contato com um grande número de profissionais (engenheiros e técnicos) foi indispensável para a realização deste trabalho, dado que se trata da reunião, análise e interpretação de métodos oriundos das experiências acumuladas por cada profissional, não se encontrando em livros qualquer ensinamento que possa substituí-las, uma vez que se trata de um ambiente tão singular e pouco explorado cientificamente, como é o caso da Amazônia.

2.2. Dificuldades apresentadas

Foram dois os principais pontos onde houve as maiores dificuldades no decorrer do trabalho. O primeiro foi o momento inicial, no qual foi necessário catalogar um número considerável de normas relativas às técnicas escolhidas e entendê-las. A dificuldade ficou por conta, por exemplo, de entender em algumas delas qual a necessidade de se aplicarem determinados procedimentos quando estes pareciam desnecessários; ou de tentar deduzir por que a norma citava um equipamento "x" para realizar determinada tarefa, enquanto que no ITA foi ensinado que um equipamento "y" é que de fato deveria fazê-lo.

Um segundo momento com bastantes dificuldades foi o cruzamento das informações coletadas junto aos funcionários da COMARA com os coletados por meio de normas. Muitas das vezes encontraram-se divergências bem marcantes e conseguir entender o porquê das diferenças mostrou-se complicado, mas ao mesmo tempo enriquecedor, pois era nesse tipo de ocasiões que se conseguia verificar a real importância do trabalho.

3. Técnicas abordadas

A primeira das técnicas abordadas – e que serviu de modelo para todas as demais – foi o *Sand-Creet*, procedimento praticamente desconhecido pela literatura, utilizado regularmente pela COMARA. Em seguida, utilizando-se o mesmo modelo de apresentação, foram desenvolvidas as demais técnicas: Solo-Cimento, Solo Melhorado com Cimento, Solo-Cal e Macadame Hidráulico.

I. Sand-Creet

I.1. Definição

O *Sand-Creet* é uma camada areia-cimento que possui elevada porcentagem de areia e teor de cimento suficiente para concrecionar a mistura.

I.2. Referências

Uma busca exaustiva por normas referentes ao *Sand-Creet* foi feita, principalmente nos EUA, de onde saíram pessoas que fizeram os primeiros estudos e aplicações da técnica na Amazônia brasileira. Contudo, não se encontrou nenhum material que abordasse procedimento similar para emprego em camadas de base ou sub-base de pavimentos, com exceção de apenas dois documentos encontrados na COMARA. São os seguintes:

- RIBEIRO, Rodrigo Otávio. **Reparos rápidos em aeródromos utilizando *Sand-Creet***. Belém, PA: COMARA, 2004.

- COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base em *Sand-Creet* – especificações técnicas**. Belém, 2001

I.3. Aplicações

Sua utilização é bastante comum como camada de base em locais onde haja escassez de solos de boa qualidade e/ou rochas.

O *Sand-Creet* tem sido largamente empregado em camadas de base em aeródromos construídos pela COMARA na Amazônia Ocidental, devido à escassez de solos de boa qualidade aliada à grande disponibilidade de solos arenosos nessa região.

I.4. Materiais

O *Sand-Creet* é uma mistura de areia (ou solo arenoso), cimento Portland e água. As características desses componentes devem ser as seguintes:

I.4.1. Cimento Portland

Comumente utiliza-se o cimento Portland composto (CPII). Contudo, a depender da agressividade da região (altos teores de cloretos, sulfatos, etc.), podem ser utilizados outros tipos de cimentos, desde que obedecendo às exigências da DNER-EM 036 juntamente com as da ABNT-6118/03 nela contidas. Tais normas fixam os requisitos gerais e específicos exigíveis de cimento Portland destinado a obras rodoviárias.

O valor típico de teor de cimento varia entre 7% e 10% da massa total de solo seco, a depender da granulometria da areia utilizada.

I.4.2. Solo arenoso

A experiência do corpo técnico da COMARA tem mostrado que o solo arenoso componente da mistura deve apresentar, obrigatoriamente, valor de equivalente areia superior a 50%. No entanto, a prática tem revelado que, se possível, o solo deve apresentar valor de equivalente areia não inferior a 80% para apresentar resultados de qualidade.

I.5. Equipamentos

Os equipamentos utilizados na execução de reparos localizados com *Sand-Creet* diferem dos utilizados para execução de grandes trechos como camada de base de pavimento, pois aqueles têm pequena extensão e não permitem a entrada de equipamentos de grande porte.

I.5.1. Restauração de pequenos trechos

A restauração de pequenos trechos (localizados) tem o objetivo de recuperar a camada de base em trechos da pista (já pavimentada) que estejam danificados ou cujas condições interfiram negativamente no desempenho de aeronaves. Para tal, devem ser utilizados os seguintes equipamentos:

- Caminhão toco com caçamba basculante (capacidade de 6 m^3);
- Retro-escavadeira;
- Rolo liso. Podem ser utilizados rolos pequenos (3,5 toneladas) ou maiores (10 toneladas), dependendo do tamanho dos trechos a serem compactados e da possibilidade de transporte do rolo para o local da obra;
- Compactador vibratório manual ("sapo mecânico");
- Máquina de serrar asfalto;
- Pá mecânica;
- Caminhão pipa.

Obs. I.5.1.

A depender do número e das dimensões dos trechos a serem recuperados, pode ser desnecessário o uso do rolo liso para compactação, devendo-se utilizar nesse caso o equipamento vibratório manual.

I.5.2. Execução de grandes trechos

A execução de grandes trechos tem por objetivo a preparação de toda a camada de base de uma pista (ou parte considerável dela) utilizando o Sand-Creet.

Devem ser utilizados os seguintes equipamentos:

- Usina de solos
- Caminhão toco com caçamba basculante (capacidade de 6 m^3);
- Retro-escavadeira;
- Rolo pneumático;
- Pá mecânica;
- Grade de discos acoplada a um trator de rodas;
- Motoniveladora;
- Caminhão pipa.

Obs. I.5.2.a.

Pode-se também, quando possível, manter alocado na obra um "sapo mecânico", a fim de se corrigirem falhas localizadas que venham a ocorrer durante a compactação.

Obs. I.5.2.b.

É aconselhável que se utilize o rolo pneumático, dadas as experiências negativas obtidas em obras da COMARA ao se utilizar o rolo liso, havendo excessiva aderência da areia ao rolo, acarretando desperdício de materiais e irregularidades na camada executada. Entretanto, na ausência de rolos pneumáticos, pode-se utilizar o rolo liso.

Obs. I.5.2.c.

Ao se empregar o rolo liso, contudo, não se deve em hipótese alguma utilizar a vibração do rolo, pois esta pode prejudicar a formação de cristais resultantes das reações de hidratação do cimento.

Obs. I.5.2.d.

A experiência em obras da COMARA mostrou que a utilização de usinas de solo apresenta problemas de aderência da areia nos silos, devido à tensão superficial da água adsorvida. Por isso, deve ser dada preferência para a mistura *in loco*.

I.6. Recursos humanos

Para a execução do *Sand-Creet*, são necessários os seguintes profissionais:

- Operador de motoniveladora;
- Operador de trator com grade de disco;
- Operador de pá-mecânica;
- Operador de rolo;
- Operador de retro-escavadeira (somente para restauração de pequenos trechos);
- Motorista de caçamba;
- Motorista de caminhão-pipa;
- Laboratorista e
- Topógrafo.

I.7. Preparação

I.7.1. Técnica

Deve-se recorrer a ensaios de laboratório a fim de encontrar valores de umidade de compactação e de teor de cimento que satisfaçam à resistência mínima de projeto e minimizem os gastos com cimento. A experiência em execuções anteriores de engenheiros da COMARA mostra que o ponto ótimo da mistura é obtido com teor de cimento na faixa situada entre 7% e 10% e com teor de umidade entre 9% e 12%, de forma a atender os parâmetros de resistência típicos.

Tais valores correspondem a tensões de compressão entre 1,7 e 3,5 MPa (DE SENÇO, 2001, v. 2, p. 81).

Faz-se necessária a montagem de uma sistemática de ensaio que determine o teor mínimo de cimento e a umidade ótima que garantam o atendimento aos requisitos de projeto. Para tal, devem-se moldar, para cada teor de cimento-umidade, 6 corpos de prova (CP's), sendo 3 para rompimento à compressão simples aos 3 dias e 3 aos 7 dias. Determina-se, então, qual a mistura proporciona o menor custo e atende aos interesses de projeto (mistura ótima). Sugere-se que os ensaios sejam feitos variando-se o teor de cimento de 7 a 10%, com incremento de 0,5 ponto percentual, e variando-se a umidade de 9 a 14%, com incremento de 1 ponto percentual.

Deve-se atentar para que as misturas destinadas aos corpos para ensaios (contendo diferentes umidades e teores de cimento) sejam mantidas em sacos plásticos, a fim de se conservarem suas umidades.

Devem também ser obtidos pelo laboratório, além do teor de cimento e umidade ótima, os valores da massa específica aparente seca da mistura compactada (para verificação do Grau de Compactação) e o empolamento da mistura (para controle de espessura das camadas).

O procedimento de ensaio de resistência à compressão simples citado acima não existe em "normas oficiais" correntes, tendo sido desenvolvido por funcionários da COMARA. O Anexo 1 descreve o ensaio de resistência supracitado.

Obs. I.7.1.a.

É de extrema importância que se atenda ao teor ótimo de cimento (garantindo, obviamente, a resistência mínima requerida), dado que o excesso de cimento na mistura pode deixar a camada de *Sand-Creet* mais propensa a trincamentos e, por outro lado, sua falta pode causar desagregação, permitindo existência de areia solta na camada. Vale ressaltar que a correta dosagem de cimento e água deve ser acompanhada de um processo de homogeneização eficiente.

Obs. I.7.1.b.

Em locais onde não haja a possibilidade de execução dos ensaios supracitados, valores típicos como 10% de cimento e 10% de umidade podem ser adotados, além do valor de empolamento da mistura de 22%. Tais valores são o resultado de um histórico de execuções feitas pela COMARA utilizando-se *Sand-Creet*.

Obs. I.7.1.c.

A qualidade de todos os parâmetros fornecidos pelo laboratório tem função importantíssima na obra, dado que interferem diretamente nas estimativas de quantitativos de insumos e no auxílio aos cálculos de campo no momento da execução.

I.7.2. Logística

A preparação logística consiste no conjunto de providências a serem tomadas a fim de garantir o bom andamento da obra, evitando que haja atrasos ou interrupções não previstas.

Para a execução do *Sand-Creet*, os seguintes itens devem ser observados:

- Condição dos equipamentos: devem-se verificar as condições de utilização/operação de todos os equipamentos, checando peças, pneus, combustível e quaisquer outros fatores que possam impossibilitar seu uso;
- Disponibilidade de ferramentas manuais: verificar a disponibilidade de pás, enxadas, lonas, rastelos e outros equipamentos que auxiliem na execução da obra;
- Quantidade de materiais: verificar se todos os insumos que serão utilizados na obra estão disponíveis nas quantidades descritas em projeto;
- Trecho experimental: deve-se calcular a taxa de espalhamento do cimento (sacos/m^2), o fator de empolamento da mistura e o número de passadas que o rolo compactador deve dar para atingir a compactação de projeto;
- Estaqueamento: devido à grande resistência à penetração oferecida pelo *Sand-Creet*, as estacas utilizadas pela topografia não devem ser de madeira, mas de barras de aço.

Obs. I.7.2.a

Para o trecho experimental (e posteriormente para a execução), a densidade a ser obtida no campo deve corresponder a 100% da densidade seca obtida no ensaio de compactação realizado na energia Normal. Estudos e ensaios realizados pela COMARA apontaram que o ganho de resistência do material quando este é compactado na energia do Proctor intermediário é

pouco significativo, dada a natureza arenosa predominante na mistura, cuja compactação mais eficiente é obtido por vibração.

I.8. Execução

Apesar de o objetivo final ser o mesmo, o passo-a-passo para obras de restauração de pequenos trechos difere daquele para execução de grandes trechos. Sendo assim, serão explicados de modo independente nos subitens seguintes.

I.8.1. Restauração de pequenos trechos

Após escolhidos os trechos a serem reparados, as etapas de execução são as seguintes:

I.8.1.1. Marcação e corte

Primeiramente, devem-se marcar os locais a serem remendados com linhas paralelas e perpendiculares ao eixo da pista, formando áreas retangulares. Para fazer tais marcações, devem-se utilizar linhas de náilon para o balizamento e cal e pincel para a marcação propriamente dita.

Feitas as marcações, procedem-se os cortes, utilizando-se a máquina de serrar asfalto. Tais cortes devem ser feitos nos bordos das áreas marcadas e possuir profundidades variando de 3 cm a 5 cm. Tal procedimento facilita os trabalhos com escavação e garante um bom acabamento dos bordos.

Obs. I.8.1.1.a.

Não é aconselhável que todas as áreas marcadas sejam cortadas de uma só vez, pois tal procedimento facilita a infiltração de água no pavimento. Além disso, caso não haja um planejamento adequado, pode ocorrer o esgotamento dos insumos necessários para a obra antes de o serviço estar concluído para todas as áreas cortadas, causando exposição excessiva destas à ação de intempéries.

Obs. I.8.1.1.b.

O disco de corte deve ser constantemente refrigerado durante sua operação, a fim de evitar desgaste e inutilização prematuros. Em locais inóspitos como a Amazônia, a falta de um disco de corte pode provocar atrasos de semanas à obra ou mesmo exigir a utilização de equipamentos alternativos (picareta e ferro-de-cova), que por serem manuais, reduzem a qualidade do acabamento da obra executada.

I.8.1.2. Escavação

Feitos os cortes, deve-se proceder a retirada do material do pavimento a ser restaurado.

A escavação deve ser feita utilizando-se a retro-escavadeira, a qual lança o material diretamente sobre a caçamba e esta, quando completamente carregada, transporta o material até a área de bota-fora escolhida.

Logo em seguida, os serventes devem manualmente acertar os bordos e o fundo do "buraco", utilizando picaretas, enxadas, pás, ferros-de-cova e carrinhos-de-mão para o carregamento do material retirado. O trabalho deve ser feito de modo a deixar as paredes da escavação as mais verticais possíveis, pois isso evita que os bordos tornem-se pontos de fragilidade.

Cessada a escavação, deve-se compactar o fundo do "buraco" utilizando-se o compactador manual ou o rolo liso.

Obs. I.8.1.2.a.

A profundidade da escavação depende do tipo de aeródromo e da aeronave de projeto. Segundo Ribeiro (2004, p. 6), "para uma aeronave de médio porte (como o C-130), um valor típico de profundidade é de 25 cm."

Caso se encontre, a uma profundidade menor, uma camada de pavimento íntegra e de boa capacidade de suporte, pode-se diminuir a profundidade da escavação, desde que esta não fique abaixo de 15cm.

Obs. I.8.1.2.b.

Para a utilização do rolo liso, é necessária a colocação de uma "rampa" (calçamento) para não danificar os bordos. Esse calçamento pode ser feito com areia ou madeira.

I.8.1.3. Mistura

A mistura deve ser realizada *in loco*. O primeiro passo deve ser a cubagem dos trechos escavados. Para tal, deve-se calcular o volume de material compactado a ser executado e, em seguida, calcular o volume da mistura, multiplicando-se o volume compactado pelo fator de empolamento da mistura (encontrado em laboratório). Em seguida, calcula-se o volume da areia a ser utilizada, multiplicando-se o percentual de areia na mistura pelo volume total.

A areia deve ser cubada na caçamba e lançada na área de mistura. A cubagem é feita na caçamba, fazendo-se o "rasamento" com haste graduada ou marcação nas laterais da caçamba.

Em seguida, deve-se medir a umidade da areia utilizando-se o umidímetro "Speedy" calibrado (DNER-ME 052/94) ou secagem em frigideira (NBR-6467). Caso a umidade esteja abaixo da ótima, deve-se acrescentar água à areia durante a mistura com o cimento, de forma manual, utilizando-se baldes plásticos ou metálicos. Caso a areia esteja muito úmida, pode-se fazer nova cubagem, tomando-se agora areia da parte superior (mais seca) do monte da área de estocagem.

Deve-se, então, rasgar os sacos de cimento e lançá-los sobre a areia (conforme taxa já determinada no trecho experimental) para que em seguida faça-se a mistura entre cimento e areia utilizando a concha dianteira da retro-escavadeira. O procedimento deve prosseguir até que se tenha uma mistura com aspecto e cor homogêneos.

Obs. I.8.1.3.a.

A correta cubagem permite um cálculo preciso do volume de areia e de mistura a ser feita, evitando-se a falta de material (um transtorno à execução) e a mistura em excesso (desperdício de cimento).

Obs. I.8.1.3.b.

Utilizando-se uma pá mecânica, pode-se realizar a mistura ao mesmo tempo em que a retro-escavadeira faz a escavação, o que agiliza bastante os trabalhos.

Obs. I.8.1.3.c.

Durante a mistura, os serventes devem retirar gravetos, raízes, folhas, restos de sacos de cimento e quaisquer outros materiais prejudiciais que possam estar misturados à areia.

Obs. I.8.1.3.d.

Depois de rasgados os sacos de cimento e iniciada a mistura, é aconselhável que o fechamento e a compactação durem no máximo 6 horas, devido ao período de pega do cimento.

Obs. I.8.1.3.e.

A massa de cimento a ser utilizada é calculada pela expressão:

$$M_c = i \cdot (V_m \cdot \gamma_s)$$

Onde:

M_c é a massa de cimento na mistura

i é o teor de cimento utilizado

V_m é o volume compactado

γ_s é a massa específica aparente seca da camada compactada.

Obs. I.8.1.3.f.

Por motivos de praticidade, é possível fazer o controle de umidade da areia e não da mistura, como seria o mais correto, dada a maior facilidade de medição. Devido ao baixo teor de cimento frente à areia, para uma mesma quantidade de água, a umidade da areia é em média somente 1% superior à umidade da mistura. Sendo assim, uma medida alternativa seria considerar a umidade "ótima" para a areia como sendo a umidade ótima da mistura (obtida em laboratório) acrescida de 1%.

I.8.1.4. Lançamento e regularização

Após a homogeneização da mistura cimento-areia, deve-se lançá-la no trecho a ser restaurado, utilizando-se a caçamba ou a retro-escavadeira (se o trecho estiver próximo à área de mistura).

Antes do lançamento é aconselhável a umidificação dos bordos do trecho, para evitar problemas na cura do cimento nestes pontos.

A regularização é feira manualmente, utilizando-se pás e enxadas para espalhar o material lançado. Em seguida, este é "sarrafeado" utilizando-se réguas de alumínio. Duas réguas devem ser colocadas nas laterais dos trechos para que a superfície sarrafeada fique acima da cota final do pavimento, compensando assim a redução do volume devido à compactação. Uma terceira régua deve ser apoiada sobre as outras duas e puxada por um ou dois serventes, regularizando a superfície e deixando-a preparada para a compactação

Obs. I.8.1.4.a.

A execução pode ser feita em uma única camada, se houver disponível um rolo liso com mais de 10 toneladas e a espessura de camada compactada seja menor ou igual a 25 cm. Caso o rolo disponível seja leve (por exemplo, de 3,5 t), é aconselhável que o remendo seja feito em duas camadas, desde que cada uma tenha espessura mínima compactada de 10 cm.

Obs. I.8.1.4.b.

Quando a execução é em uma única camada, para evitar que a superfície compactada fique mais baixa que o pavimento do entorno, formando uma bacia, procede-se a uma "compactação prévia" da mistura, antes do sarrafeamento, utilizando-se o sapo mecânico sobre o material. Tal medida é necessária principalmente próximo aos bordos do trecho, pois nestes pontos há a tendência à formação de pontos baixos.

I.8.1.5. Compactação

Após a superfície estar toda sarrafeada, limpar os resíduos de mistura que estiverem sobre o pavimento, nas laterais das áreas remendadas, utilizando-se vassourões e carrinhos-de-mão para transporte de material para o bota-fora.

Inicia-se então a compactação, primeiramente passando-se o rolo sobre os bordos (mata-junta) e só depois sobre a parte interna, ou seja, dos bordos para o centro.

Obs. I.8.1.5.a.

Durante a compactação, caso sejam verificados locais onde a superfície tenha ficado muito alta, deve-se raspar o material em excesso com enxada, passando-se novamente o rolo liso. Nunca se deve, porém, reutilizar o material raspado após a compactação.

Obs. I.8.1.5.b.

Em locais que porventura estejam baixos, ou seja, faltando material, deve-se escarificar cerca de 5cm da superfície e acrescentar mais mistura.

Devido a essa possível necessidade de completar alguns pontos do trecho durante a compactação, é aconselhável que se reserve a mistura que porventura tenha sobrado após o lançamento e sarrafeamento, até que a compactação esteja concluída.

I.8.2. Execução de grandes trechos

Para a execução de grandes trechos, fazem-se necessárias as seguintes etapas:

I.8.2.1. Lançamento e espalhamento

Deve-se primeiramente, lançar areia sobre a faixa a ser executada, utilizando-se as caçambas. Em seguida, a areia deve ser espalhada nas alturas marcadas nas estacas, utilizando-se a motoniveladora.

Após espalhada a areia, devem-se distribuir os sacos de cimento ao longo da faixa e rasgá-los, da maneira mais uniforme possível, fazendo o uso de caçamba e com serventes

acostumados ao manuseio constante do cimento. Espalha-se todo o cimento utilizando-se a motoniveladora, procurando deixar uma película por toda a superfície.

Obs. I.8.2.1.

A massa de cimento a ser utilizada é calculada pelas expressões seguintes:

$$V = \frac{C \cdot E \cdot L}{e}$$

$$M_{mu} = \rho \cdot V$$

$$M_{ms} = \frac{M_{mu}}{(1+h)}$$

$$M_c = \frac{M_{ms} \cdot c}{100 \cdot (1+c)}$$

Sendo:

C o comprimento da faixa (m)

E a espessura média da camada de *Sand-Creet* (m)

L a largura da faixa (m)

e o empolamento da mistura

c o teor de cimento (%)

V o volume da mistura compactada (m^3)

M_{mu} a massa da mistura úmida (t)

M_{ms} a massa da mistura seca (t)

M_c a massa de cimento (t)

h a umidade da mistura (%)

ρ a massa específica aparente da camada

Transformando a massa para quantidade de sacos de cimento de 50 kg:

$$Q_c = \frac{M_c \cdot 1000}{50}$$

Sendo:

Q_c a quantidade de cimento (sacos de 50 kg)

I.8.2.2. Mistura e nivelamento

Feito o espalhamento da areia e do cimento, deve-se homogeneizar o material, executando o gradeamento com o uso de grade de discos (acoplada a um trator de rodas) e revirando o material com o canto de lâmina da motoniveladora.

Concomitantemente à homogeneização, deve-se verificar a umidade da mistura utilizando-se o umidímetro *Speedy* calibrado e acrescentar água com o caminhão pipa caso a umidade medida esteja abaixo da ótima calculada em laboratório. Tolera-se uma variação de 1% da umidade medida em relação à ótima.

Por fim, deve-se fazer o nivelamento da camada no greide de projeto, utilizando-se a motoniveladora.

Obs. I.8.2.2.a

Devido à rapidez com que o *Sand-Creet* costuma perder umidade, pode-se, em períodos muito quentes, adotar a alternativa de deixar de um dia para o outro a areia com umidade bem acima da ótima, a fim de agilizar os trabalhos no dia da execução.

Obs. I.8.2.2.b

Estando a mistura homogênea e dentro da umidade ótima (dentro da tolerância de 1%), coletar amostra para moldagem de 12 corpos de prova, antes do nivelamento da mistura, a fim de se realizarem os ensaios de compressão simples (para rompimentos em 1, 3 e 7 dias, com 4 CP's em cada ensaio).

I.8.2.3. Compactação e cura

Após a liberação pela equipe de topografia, deve-se compactar com rolo pneumático, com o número de passadas determinado a partir do trecho experimental. Conforme já comentado, na ausência deste pode-se utilizar o rolo liso sem vibração.

Depois de 24 horas do término da compactação e durante 7 dias, deve-se executar o processo da cura úmida com caminhão pipa.

I.9. Cuidados

Neste item, serão citados cuidados de forma generalizada, abordando várias etapas do processo de forma conjunta.

I.9.1. Homogeneização

A homogeneização é um dos grandes problemas encontrados na execução do *Sand-Creet*. Deve ser feita de forma contínua, sem interrupções, de modo a não ultrapassar o período de pega do cimento (informação verbal)[1].

Outro fato importantíssimo da homogeneização é que esta deve propiciar uma distribuição uniforme de umidade ao longo de toda a faixa homogeneizada.

Em trechos onde haja limitação de espaço para a homogeneização na própria faixa, pode-se optar por fazê-la em outro local.

I.9.2. Umidade da mistura

Outra preocupação fundamental é com a umidade da mistura. Recomenda-se, a depender da temperatura, a adição de água que promova umidade 1 a 2% acima da ótima encontrada em laboratório. Tal cuidado é devido ao processo construtivo (*in loco*), que gera perdas elevadas de umidade, principalmente a temperaturas elevadas.

Teores de umidade superiores aos citados levam à perda de resistência, uma vez que esta é função inversa da relação água-cimento.

[1] Informação passada pelo técnico Nonato, durante debate sobre o tema na COMARA

I.9.3. Coleta de material para ensaios

A fim de auxiliar o controle tecnológico da forma mais eficiente possível, recomenda-se que a retirada das amostras para ensaio seja feita em pontos com certo grau de afastamento de uns em relação aos outros. Tal medida visa à obtenção de uma melhor representatividade das amostras em relação ao material como um todo.

Para moldagem de corpos de prova visando aos ensaios de resistência à compressão, sugere-se a extração de 6 corpos de prova a cada 2.000 m^2 de área (COMARA, 2001) .

I.10. Controle tecnológico

A fim de garantir a qualidade de materiais e do processo executivo, para o controle tecnológico do *Sand-Creet* devem ser feitos os seguintes ensaios:

- Equivalente de areia (DNER-ME 054/97);
- Determinação da umidade pelo método expedito *Speedy* (DNER-ME 052/94);
- Determinação da massa específica aparente, *in situ*, com emprego do frasco de areia (DNER-ME 092/94) e
- Compressão axial de corpos de prova cilíndricos (baseado na DNER-ME 201/94).

O equivalente de areia deve atestar que o teor de areia do solo deve ser superior a um mínimo pré-determinado.

O controle de umidade é fator importantíssimo, pois deve garantir que a mistura espalhada esteja nas condições de umidade ótima (com tolerância de 1%) determinada em laboratório.

A densidade de campo da camada compactada deve ser tal que propicie Grau de Compactação superior ao especificado pela fiscalização comparada com a máxima densidade obtida com a mistura moldada em laboratório. Tal comparação visa à determinação da resistência da camada, dada a relação existente entre densidade (massa específica) e parâmetros de resistência.

I.11. Vantagens e desvantagens

Uma das grandes vantagens da utilização do *Sand-Creet* é sua rápida execução, acarretando que, uma vez concluído o serviço, a chuva é um fator que colabora com a cura, ao invés de atrapalhá-la, exceto as de forte intensidade.

Outra vantagem é o fato de que, havendo areia no local, elimina-se a necessidade de importação de insumos de outros locais, facilitando sobremaneira a logística.

Como ponto negativo, o alto custo inicial dessa alternativa, pelo alto consumo de cimento, é a principal desvantagem.

II. Solo-cimento

II.1. Definição

"É uma mistura devidamente compactada de solo, cimento Portland e água que deve satisfazer a certos requisitos de densidade, durabilidade e resistência, dando como resultado um material duro e de acentuada rigidez à flexão" (DNIT, 1996).

"É a mistura de um solo pulverizado com água e cimento, aumentando sua resistência e estabilidade e sendo muito mais durável que um solo sem tratamento" (Baptista, 1974).

II.2. Referências

Foram consultadas as seguintes referências:

- DE SENCO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**, v.2. São Paulo: PINI, 2001.
- DE CASTRO, Paulo Alvim Monteiro et al. **Curso de pavimentação**. Rio de Janeiro: Equipe, 1960.
- BAPTISTA, Cyro Nogueira. **Pavimentação**, v.2, Porto Alegre, 1974.

- DE CASTRO, Paulo Alvim Monteiro et al. **Pavimentos: dimensionamento, tecnologia e contrução**. Rio de Janeiro: ABP, 1963.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 11/05**: Pavimentação: Solo-cimento e solo tratado com cimento. Curitiba, PR, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 305/97**: Pavimentação – base de solo-cimento. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Solo-cimento na pavimentação. Website da Associação, 2008. Disponível em <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/solo_cimento.shtml>. Acesso em 3 out. 2008.

II.3. Aplicações

A mistura solo-cimento indicada para a execução de camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis e também para camadas de sub-base de pavimentos rígidos em situações onde se deseje um menor custo inicial e uma elevada resistência à flexão para a camada.

Seu uso tornou-se bastante difundido no Brasil, tendo essa solução sido aplicada a mais de 25.000 km de pavimentos em território todo o território nacional (ABCP, 2007).

II.4. Materiais

Conforme já citado, a mistura solo-cimento é composta por cimento Portland, solo e água, de acordo com as seguintes especificações:

Cimento Portland

Deverá obedecer às exigências da DNER-EM 036 juntamente com as da ABNT-6118/03 nela contidas.

Água

Deverá ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais.

Solo

É necessário que haja o controlo de três parâmetros básicos: granulometria, índice de plasticidade e limite de liquidez (conforme DNER-ME 080, DNER-ME 082 e DNER-ME 122).

Tais parâmetros devem apresentar os seguintes valores:

- Granulometria:
  - Passando na peneira de 6,5 cm (2 ½"): 100%;
  - Passando na peneira n° 4: 50 a 100% (± 5%);
  - Passando na peneira n° 40: 15 a 100% (±2%);
  - Passando na peneira n° 200: 5 a 35% (±2%).
- Índice de plasticidade máximo: 18%
- Limite de liquidez máximo: 40%

II.5. Equipamentos

Para a execução da base em solo-cimento, os seguintes equipamentos devem ser utilizados:

- Motoniveladora com escarificador;
- Pulvimisturador;
- Trator de esteiras ou pneumático;
- Caminhão-pipa;
- Rolos compactadores dos tipos liso, pé-de-carneiro e pneumático;
- Trator com grade de discos;

- Caminhões com caçamba basculante.

II.6. Recursos humanos

Para a execução do Solo-Cimento, são necessários os seguintes profissionais:

- Operador de motoniveladora;
- Operador de trator com grade de disco;
- Operador de rolos compactadores;
- Motorista de caçamba;
- Motorista de caminhão-pipa;
- Laboratorista e
- Topógrafo.

II.7. Preparação

II.7.1. Técnica

Para a preparação técnica devem, ser realizados o seguinte ensaio: "DNER-ME 216/94: Solo-cimento – Determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente".

Pode-se ainda determinar a estimativa máxima da mistura solo-cimento em função do teor silte + argila, utilizando-se o ábaco mostrado na Figura 1. O teor estimado de cimento, em peso, pode ser obtido utilizando-se o ábaco da Figura 2, em função do teor silte + argila e da massa específica aparente máxima encontrada pelo ábaco da Figura 1. O método de cálculo descrito acima foi apresentado por De Senço (2001) para "Solos do Grupo 1", que possuem teor de silte + argila inferior a 20% e cuja retenção na peneira n° 10 é inferior a 25% ou cujo teor de silte + argila esteja entre 20% e 25%.

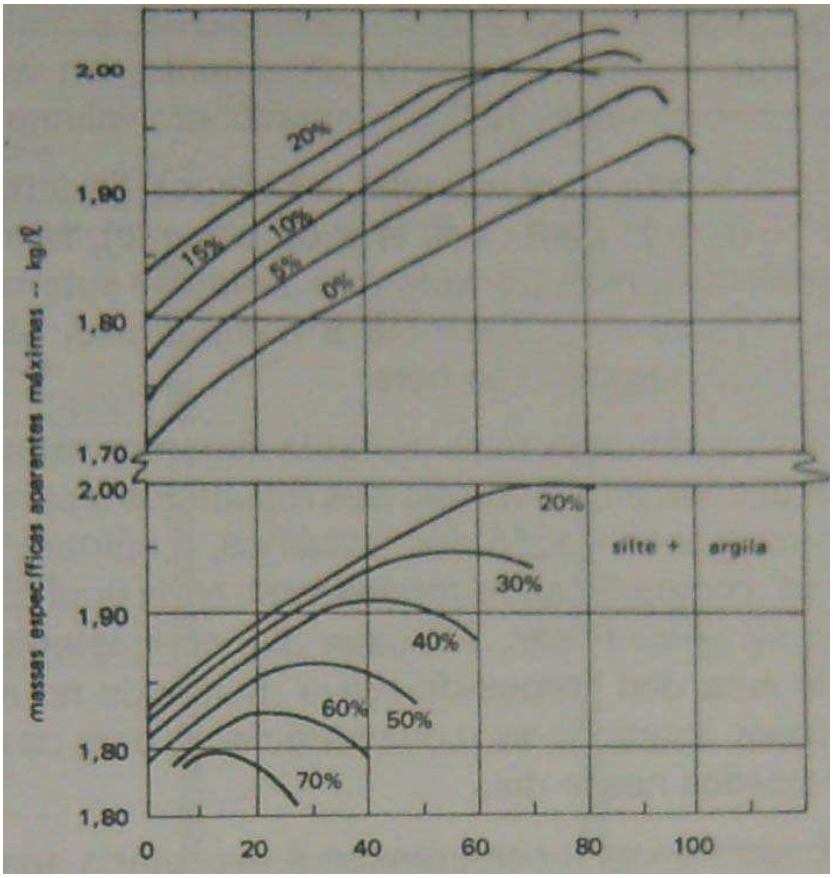

Figura 1 – Massas específicas aparentes máximas do Solo-Cimento

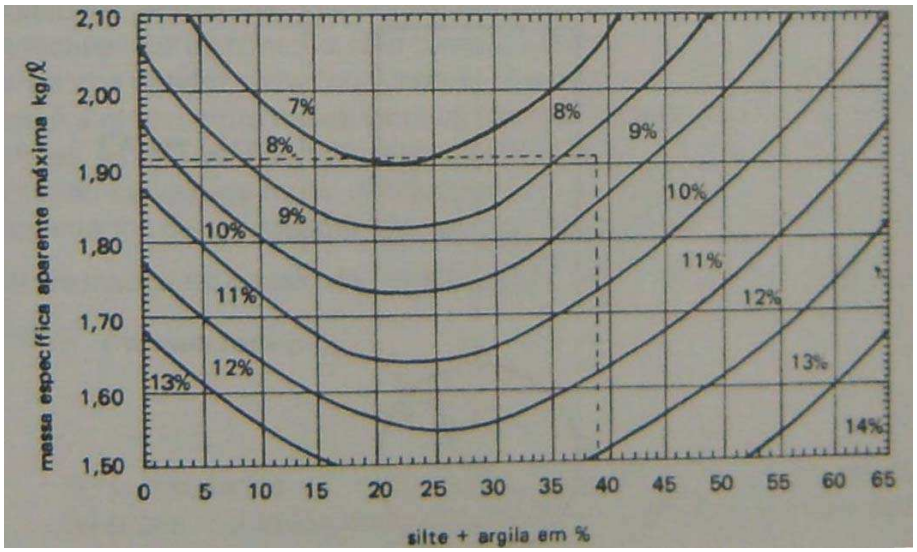

Figura 2 – Teor de cimento necessário para a estabilização do solo

II.7.2. Logística

Para a execução do Solo-Cimento, os seguintes itens devem ser observados:

- Condição dos equipamentos: devem-se verificar as condições de utilização/operação de todos os equipamentos, checando peças, pneus, combustível e quaisquer outros fatores que possam impossibilitar seu uso;
- Disponibilidade de ferramentas manuais: verificar a disponibilidade de pás, enxadas, lonas, rastelos e outros equipamentos que auxiliem na execução da obra;
- Quantidade de materiais: verificar se todos os insumos que serão utilizados na obra estão disponíveis nas quantidades descritas em projeto;
- Trecho experimental: deve-se calcular a taxa de espalhamento do cimento (sacos/m^2) e o número de passadas que o rolo compactador deve dar para atingir a compactação de projeto;

II.8. Execução

Os procedimentos doravante citados correspondem à execução de base de solo-cimento com mistura *in loco*, sendo o material utilizado importado de alguma jazida próxima. Contudo a utilização de material do próprio subleito também é possível, sendo necessário uma escarificação prévia deste solo. As etapas são as seguintes:

II.8.1. Pulverização e homogeneização do solo

Utilizando caçambas, o solo importado de outras jazidas deve ser jogado ao longo da faixa a ser executada. Em seguida, utilizando-se a motoniveladora, espalha-se o mesmo ao longo de toda a faixa. A grade de discos deve passar por toda a faixa, a fim de destorroar (pulverizar) e a homogeneizar o solo, de modo que, no mínimo, 80% do material miúdo seja reduzido a partículas de diâmetro inferior a 4,8 mm (peneira n° 4).

Após o revolvimento do solo, utiliza-se a motoniveladora para a regularização da faixa, de modo a deixá-la com seção transversal aproximadamente igual à seção de projeto.

II.8.2. Mistura e homogeneização

Regularizado o solo, deve-se lançar o cimento uniformemente, nas quantidades especificadas, sobre a superfície a ser executada. Deve-se fazê-lo distribuindo-se os sacos longitudinal e transversalmente, lançando mão do apoio de serventes, os quais retirarão os sacos dos caminhões e em seguida abrirão as embalagens para promover o espalhamento uniforme do cimento sobre a superfície do solo.

Imediatamente após a distribuição, o cimento deve ser misturado com o solo em toda a espessura da camada, com a motoniveladora. Tal mistura deve ser feita até o tempo necessário para garantir completa, uniforme e íntima mistura do solo com o cimento. Pode-se perceber tal condição quando a coloração da mistura estiver uniforme ao longo de toda a faixa e ao longo de toda a espessura.

Tão logo cessada a homogeneização, deve-se extrair a umidade da mistura de solo e cimento, utilizando-se o umidímetro "Speedy". Estando a umidade abaixo da ótima de projeto, deve-se incrementar água, tantas vezes quantas forem necessárias, utilizando-se o caminhão-pipa. Cada aplicação de água deve ser acompanhada de revolvimento do material, a fim de evitar acúmulo em pontos localizados.

A mistura então deve ser nivelada utilizando-se a motoniveladora, de modo a obedecer aproximadamente ao greide e à seção transversal de projeto.

Obs. II.8.2.a

A adição de água deve ser feita progressivamente, não sendo aconselhável que em cada passada o caminhão-pipa eleve a umidade da mistura em mais de 2%.

Obs. II.8.2.b

A incorporação completa da quantidade total de água deve ser feita em no máximo 3 horas.

Obs. II.8.2.c

Podem-se tolerar para a mistura valores de umidade compreendidos entre 0,9 e 1,1 vezes a umidade ótima.

II.8.3. Compactação

A compactação de solos arenosos ou pouco argilosos deve ser iniciada com o emprego de rolos pé-de-carneiro e terminada com rolos pneumáticos, de preferência. Na ausência destes, podem ser utilizados rolos lisos. O número de passadas de cada um deve ser determinado pela execução de trecho experimental.

O procedimento deve ser conduzido de modo que a espessura a ser compactada na fase final seja a maior possível, nunca menor que 5 cm, após compactação.

Após a compactação, deve ser feito o acerto final da superfície, de modo a satisfazer o projeto, eliminando-se as saliências, com o emprego da motoniveladora. Depressões não devem ser corrigidas pela adição de material. A superfície da base deve ser comprimida até que se apresente lisa e isenta de partes soltas ou sulcadas.

O grau de compactação deverá ser, no mínimo, 100% da massa específica aparente seca máxima, a qual deverá ser obtida pelo ensaio DNER-ME 216.

Obs. II.8.3.a

Durante as operações finais de compactação devem ser tomadas medidas para que a camada superficial seja mantida na umidade ótima, ou ligeiramente acima, recorrendo-a pequenas adições de água e procedendo nova homogeneização, quando preciso.

Obs. II.8.3.b

A mistura deve apresentar, aos 7 dias, valor mínimo de 21 kgf/cm^2 quando submetido ao ensaio de compressão axial, conforme o método DNER-ME 201, com corpos de prova moldados de acordo com o DNER-ME 202. Tal parâmetro é um valor mínimo, devendo-se obter na dosagem um valor médio dos resultados.

II.8.4. Cura úmida

Todo trecho, logo após sua execução, deve ser submetido a um processo de cura, a fim de protegê-lo da perda rápida de umidade durante um período mínimo de 7 dias. O processo consiste da aplicação de pintura asfáltica, com emulsão diluída em água. Para tanto, previamente à aplicação da pintura, a camada deve estar adequadamente umedecida.

A razão de diluição e a taxa de aplicação do ligante devem ser definidas na obra, durante o trecho experimental, objetivando-se a formação de uma película impermeável e homogênea.

O emprego de processos de cura alternativos, de comprovada eficiência, pode ser admitido a critério da fiscalização. (DER/PR, 2005)

Obs. II.8.4.

Os trechos terminados podem ser abertos ao tráfego transcorridos 7 dias de cura e uma vez verificado que a superfície endureceu suficientemente.

II.9. Cuidados

II.9.1. Excesso de cimento

Um pequeno excesso de cimento, da ordem de 1 a 2% em volume sobre o projetado nos ensaios de laboratório, acarreta uma maior resistência e estabilidade. No entanto, valores maiores do que 2% tornam o Solo-Cimento mais rígido, fazendo com que este se comporte como uma argamassa, possuindo elevada resistência à tração, mas podendo apresentar problemas com o aparecimento de trincas de retração em toda a espessura da camada (Baptista, 1974).

II.9.2. Espalhamento do cimento

É de grande importância o controle do espalhamento do cimento, de modo que se garanta a uniformidade do teor fixado em laboratório. O controle para espalhamento manual é feito pela

contagem dos sacos de cimento a serem espalhados e a verificação se a distância entre eles está correta e uniforme, com base nos cálculos realizados previamente.

II.10. Controle tecnológico

Para a execução, devem ser observados os seguintes itens:

II.10.1. Mistura solo-cimento

a) Antes da adição do cimento

- Determinação do grau de pulverização do solo através de peneiramento na peneira n° 4, com exclusão do material graúdo (acima da peneira de 3/8").

b) Após a adição do cimento

- Verificação da quantidade de cimento incorporada (por peso ou volume);
- Ensaio de compactação para a determinação da massa específica aparente máxima (DNER-ME 216);
- Determinação do teor de umidade higroscópica depois da adição de água e homogeneização da mistura (DNER-ME 052 e DNER-ME 088)

II.10.2. Compactação da mistura

a) Imediatamente antes da compactação

- Determinações adicionais da umidade higroscópica (DNER-ME 052 e DNER-ME 088), quando necessário;
- Ensaios de compactação e moldagem dos corpos de prova (DNER-ME 129 – Método B) para a determinação do Índice de Suporte Califórnia após 4 dias de embebição (DNER-ME 049).

b) Após a compactação

- Determinação da massa específica aparente *in situ* na pista compactada para o cálculo do Grau de Compactação (GC) (DNER-ME 092 ou DNER-ME 036).

II.11. Vantagens e desvantagens

A principal vantagem da utilização do solo-cimento é a elevada resistência obtida pelo processo, submetendo a camada a deformações bem menores que se o solo fosse somente compactado.

Devido o teor de cimento relativamente alto empregado no solo-cimento, uma das desvantagens desse tipo de aplicação é o elevado custo quando comparado a outras técnicas.

III. Solo Melhorado com Cimento

III.1. Definição

Solo Melhorado com Cimento é uma mistura íntima e compactada de solo, cimento e água, em proporções determinadas por ensaios em laboratório. As bases feitas com essa solução são consideradas flexíveis, devido à baixa cimentação.

III.2. Referências

Foram consultadas as seguintes referências:

- MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Estabilização dos solos para fins de pavimentação**. Juiz de Fora, 2006: UFJF. Disponível em: <http://www.pavimentacao.ufjf.br/Cap4.pdf>. Acesso em 14 jul. 2008.

- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 11/05**: Pavimentação: Solo-cimento e solo tratado com cimento. Curitiba, PR, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 304/97**: Pavimentação – base de solo melhorado com cimento. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base em solo melhorado com cimento 1 – especificações técnicas**. Belém, 2001.
- COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base em solo melhorado com cimento 2 – especificações técnicas**. Belém, 2001.

III.3. Aplicações

É amplamente utilizado na execução de camadas de base e sub-base em que se deseje obter um aumento de resistência mecânica do solo disponível. O custo inicial dessa solução é mais baixo que o do solo-cimento, dado que este possui teor de cimento superior.

III.4. Materiais

Conforme já citado, o Solo Melhorado com Cimento é composto por cimento Portland, solo e água, de acordo com as seguintes especificações:

III.4.1. Cimento Portland

Deverá obedecer às exigências da DNER-EM 036 juntamente com as da ABNT-6118/94 nela contidas.

III.4.2. Água

Deverá ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais.

III.4.3. Solo

É necessário que haja o controle de três parâmetros básicos: granulometria, índice de plasticidade e limite de liquidez (conforme DNER-ME 080, DNER-ME 082 e DNER-ME 122).

Tais parâmetros devem apresentar os seguintes valores:

- Granulometria: a composição granulométrica do solo deve estar enquadrada em uma das faixas mostradas na Tabela 1:

Tabela 1 – Faixas granulométricas para o Solo Melhorado com Cimento

Peneiras		Faixa			
Pol	mm	A	B	C	D
2	50,800	100	100	-	-
1	25,400	-	75 - 90	100	100
3/8	9,500	30-65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
nº 4	4,800	25-55	50 - 60	35 - 65	50 - 85
nº 10	2,000	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
nº 40	0,420	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
nº 200	0,074	2 - 8	5 - 15	5 - 15	5 - 20

- Limite de liquidez: a fração passante na peneira n° 40 deve apresentar limite de liquidez igual ou inferior a 40%;
- Índice de plasticidade: a fração passante na peneira n° 40 deve apresentar índice de plasticidade igual ou inferior a 18%;

O agregado retido na peneira n° 10 deve ser constituído de partículas duras e duráveis, isento de fragmentos moles, alongados ou achatados, de material vegetal ou outra substância prejudicial.

Obs. III.4.3

Antes das operações da adição e mistura do cimento ao solo, 80% deste deve passar na peneira 4 (4,8mm), excluindo-se os pedregulhos e pedras naturalmente maiores do que este tamanho. Este procedimento visa a evitar que o cimento apenas envolva externamente os torrões do solo ao invés ser distribuído homogeneamente ao volume aplicado.

III.5. Equipamentos

Para a execução da base em Solo Melhorado com Cimento com produção em centrais de mistura, os seguintes equipamentos devem ser utilizados:

- Motoniveladora com escarificador;
- Pulvi-misturador;
- Trator com grade de discos;
- Trator de esteiras ou de pneumáticos;
- Caminhão com caçamba basculante;
- Caminhão-pipa;
- Rolos compactadores dos tipos pé-de-carneiro e liso;
- Central de mistura.

As centrais de mistura deverão ser constituídas essencialmente do seguinte:

- Silos: geralmente para cimento e solo, providos de bocas de descarga e equipados com dispositivo que permita graduar o escoamento;
- Transportadores de esteiras: para transporte do solo e do cimento, já na proporção conveniente, até o equipamento misturador;
- Equipamento misturador ("Pug-Mill"): constituído, normalmente, de uma caixa metálica tendo no seu interior, como elementos misturadores, dois eixos que rodam em sentido contrário, providos de chapa em espiral ou de pequenas chapas fixadas em hastes, e que, devido ao seu movimento , forçam a mistura íntima dos materiais , ao mesmo tempo que os faz avançar até a saída do equipamento;
- Reservatório de água e canalizações: que permitem depositar e espargir a água sobre o solo, no processo de mistura;
- Equipamento de carga de caminhões: constituído de um silo, abastecido por transportadores de correias ou elevadores de canecas e colocado de modo que o caminhão transportador possa receber, por gravidade, a mistura

As centrais de mistura deverão ter capacidade de produção de 150 a 500 toneladas de Solo Melhorado com Cimento, por hora.

III.6. Recursos Humanos

Para a execução do Solo Melhorado com Cimento, são necessários os seguintes profissionais:

- Operador de motoniveladora;
- Operador de trator com grade de disco;
- Operador de rolo compactador (pé-de-carneiro e liso);
- Operadores para a usina;
- Motorista de caçamba;
- Motorista de caminhão-pipa;
- Laboratorista;
- Topógrafo e
- Serventes.

III.7. Preparação

III.7.1. Técnica

A fim de se determinar o teor de cimento a ser utilizado na mistura, devem-se levantar primeiramente as curvas de compactação (com umidade ótima e densidade máxima) para diversos teores de cimento. Em seguida, deve-se fazer a determinação do Índice de Suporte Califórnia (NBR 9895) – ISC – para cada uma das amostras. O teor de cimento a ser adotado deve ser o menor valor que conferir ao solo um Índice de Suporte Califórnia maior ou igual a 80%.

O ensaio para determinação do CBR[1)] deve ser realizado com corpos de prova preparados do seguinte modo:

a) Incorpora-se o cimento ao solo úmido, com posterior mistura entre eles, deixando-se a mistura solta, por um período mínimo de 72 horas;
b) Com a mistura preparada conforme o item "a", moldam-se os corpos de prova para o ensaio do Índice de Suporte Califórnia;
c) Deixam-se os corpos de prova do ensaio imersos em água durante um período de 4 dias, para em seguida serem penetrados;
d) O ensaio do Índice de Suporte Califórnia deverá ser realizado até a penetração de 0,5 polegadas, de modo ser possível o traçado, com precisão, da curva pressão-penetração. No caso de não ser possível atingir a penetração de 0,5 polegadas o corpo de prova deve ser destorroado, recomeçando-se o processo da determinação do Índice, como descrito;

III.7.2. Logística

Para a execução do Solo Melhorado com Cimento, os seguintes itens devem ser observados:

- Condição dos equipamentos: devem-se verificar as condições de utilização/operação de todos os equipamentos, checando peças, pneus, combustível e quaisquer outros fatores que possam impossibilitar seu uso;
- Disponibilidade de ferramentas manuais: verificar a disponibilidade de pás, enxadas, lonas e outros apetrechos que auxiliem na execução da obra;
- Quantidade de materiais: verificar se todos os insumos que serão utilizados na obra estão disponíveis nas quantidades descritas e projeto e
- Trecho experimental: no trecho experimental devem ser determinados empiricamente a taxa de espalhamento do cimento (sacos/m^2), o fator de empolamento da mistura e o número de passadas que o rolo compactador deve dar para atingir a grau de compactação estabelecido em projeto.

[1)] Califórnia Bearing Ratio ou Índice de Suporte Califórnia (ISC)

III.8. Execução

Para a execução do Solo Melhorado com Cimento, existem dois métodos para se fazer a mistura: em usina ou no local de aplicação. Os dois procedimentos serão descritos a seguir:

III.8.1. Mistura em usina

O Solo Melhorado com Cimento deverá ser preparado em centrais de mistura, empregando-se materiais de jazidas, objetivando as vantagens técnicas e econômicas da precisão na dosagem e da homogeneização da mistura solo, cimento e água.

O transporte da mistura pronta deve ser feito em caçamba ou outro veículo apropriado, tomando-se o cuidado para que a mistura não perca umidade nem receba água de chuva. Chegando ao local, o material deve ser descarregado, com os "montes" depositados sobre a faixa a ser executada.

O material solto deverá ser submetido à cura úmida por um período mínimo de 72 horas e máximo de 96 horas, ficando exposto de forma solta e com umidade mantida em torno da ótima ± 2%.

Caso este período de cura seja ultrapassado por motivo de chuvas ou por interrupção da produção, a Fiscalização poderá liberar o trecho compactado, desde que os resultados de controle tecnológico acusem o grau de compactação, o suporte a resistência à compressão, 100% satisfatórios. O número de ensaios a executar, neste caso, será apreciado entre as partes.

Após a cura úmida, deve-se proceder o espalhamento e homogeneização, utilizando-se a motoniveladora e a grade de discos, respectivamente.

Após a cura úmida, deve-se iniciar o processo de compactação da camada inferior da base, utilizando-se o rolo pé-de-carneiro, com o número de passadas determinado no trecho experimental. Terminada a compactação da camada inferior, será permitido um período máximo de 24 a 48 horas de exposição ao tempo desta camada. Passado este período, a mistura da camada superior deve ser espalhada, homogeneizada e submetida ao tempo de cura, sobre a camada inferior. Em seguida, deve-se fazer a compactação da camada superior, utilizando-se o rolo pé-de-carneiro.

Obs. III.8.1.

Solos contendo teores excessivos de umidade não se misturam facilmente com o cimento. Assim, no momento da adição do cimento, o teor da umidade do solo não deverá exceder a umidade ótima.

III.8.2. Mistura no local

III.8.2.1. Preparo da superfície

Primeiramente, deve-se limpar toda a superfície que vai receber a camada de Solo Melhorado com Cimento, deixando-a livre de pó ou outras substâncias prejudiciais.

Eventuais irregularidades na superfície também devem ser reparadas anteriormente à aplicação da mistura.

III.8.2.2. Transporte e distribuição do solo

Após o transporte do material da jazida ao local de aplicação, os caminhões basculantes devem descarregar as respectivas cargas em pilhas sobre a pista, com espaçamento adequado.

Posteriormente, deve-se proceder o espalhamento do solo utilizando-se a motoniveladora.

III.8.2.3. Distribuição do cimento

Concluído o espalhamento do solo, deve-se proceder a distribuição uniforme do cimento sobre a superfície, em toda a largura da faixa, segundo o teor especificado. Tal distribuição pode ser feita por meios mecânicos (distribuição a granel) ou manuais (rasgando-se os sacos de cimento, que devem estar devidamente espaçados ao longo da faixa).

Imediatamente após a distribuição do cimento, este deve ser misturado com o solo, utilizando-se a grade de discos e a motoniveladora, as quais promovem os devidos destorroamento, umidificação e homogeneização.

Com a ação da motoniveladora, deve-se em seguida fazer a conformação da camada em obediência à seção de projeto.

III.8.2.4. Compactação e acabamento

Imediatamente após o término da conformação da camada, deve-se iniciar o procedimento de compactação. Recomenda-se que se inicie o processo com rolos pé-de-carneiro, seguido de aplicação do rolo liso.

A compactação deve ser feita em faixas longitudinais, iniciando-se pelo ponto mais baixo da seção transversal e progredindo no sentido do ponto mais alto. E cada passada, o equipamento deve propiciar cobertura de, no mínimo, metade da faixa anteriormente coberta.

Após a compactação, deve ser feita a regularização da superfície, eliminando-se as saliências, com o emprego da motoniveladora. Não é permitida a correção de depressões pela adição de material.

Obs. III.8.2.4.

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compressão ou onde seu emprego não for recomendado, a compactação deve ser feita com compactadores manuais.

III.8.2.5. Proteção e cura

A camada acabada deve ser submetida a imediato processo de cura, a fim de que se evite a rápida perda de umidade, por período mínimo de 7 dias.

Deve-se também proceder a aplicação de pintura asfáltica, com emulsão diluída em água.

III.9. Cuidados

III.9.1. Lançamento

Antes do lançamento da mistura na faixa, a superfície já deve estar com a drenagem, o nivelamento e a seção transversal fixados em projeto. Todo material impróprio deve ser removido e substituído por outro adequado, previamente aprovado pela Fiscalização.

III.9.2. Geometria e Equipamentos

O trecho a ser executado diariamente, deve ter comprimento de pista de no mínimo 50 metros e largura correspondente à da pista.

O equipamento de compactação deve ter dimensões, forma e peso adequados, de modo a se obterem as massas específicas aparentes máximas previstas para a mistura. O andamento das operações deverá ser estabelecido de modo que a faixa em execução seja uniformemente compactada em toda a largura.

III.9.3. Compactação da camada

Atualmente, a COMARA utiliza um procedimento para compactação diferente do que foi mostrado no item "Execução". O processo corriqueiramente empregado pela Comissão é o de executar a compactação da camada logo após sua homogeneização e pulverização, sem nenhum tempo de intervalo.

Tal procedimento se dá devido ao alto índice pluviométrico da Região Amazônica, o que impossibilita o tempo gasto com o processo de cura da mistura.

Ensaios realizados pelo corpo técnico da COMARA evidenciaram não haver qualquer prejuízo da qualidade da mistura no que diz respeito à resistência verificada por meio de ensaio CBR.

Preferencialmente, a camada deve ser compactada com umidade um pouco abaixo da ótima, diminuindo, dessa forma, a possibilidade de trincamento.

Deve-se, preferencialmente, iniciar a compactação durante as primeiras horas da manhã ou no final da tarde, a fim de reduzir a perda de água por evaporação, diminuindo, assim, a ocorrência de fissuras.

III.9.4. Controle tecnológico

Estudos realizados em laboratório pela COMARA revelaram que os valores de resistência verificados nos corpos de prova rompidos imediatamente após sua confecção são menores do que os valores encontrados após imersão em água após 96 horas. Por esse motivo, a COMARA utiliza

para fins de controle de resistência do solo (CBR) o rompimento de corpos de provas logo após a sua compactação. Tal medida está a favor da segurança.

III.9.5. Controle de umidade

Pode-se, dependendo da orientação do consultor da obra, fazer a compactação do trecho com teor de umidade 2% abaixo da ótima, com a finalidade de diminuir a ocorrência de fissuras e trincas. Tal medida foi adotada em obra da COMARA em Rio Branco-AC.

III.9.6. Execução

Faz-se importante a existência de um rolo liso no local da obra para o caso de eventuais chuvas. Se a precipitação ocorrer estando o material já espalhado, pode-se utilizar o rolo para selar a camada por meio de uma passada. Tal selagem visa a evitar a infiltração de água na faixa.

III.9.7. Armazenamento do cimento

Deve-se atentar para o correto armazenamento do cimento, utilizando-se locais cobertos; devendo os sacos serem colocados sobre estrados de madeira, completamente acondicionados sob lona e respeitando-se o empilhamento máximo de 10 sacos.

III.10. Controle tecnológico

III.10.1. Mistura solo-cimento

a) Antes da adição do cimento

- Determinação do grau de pulverização do solo através de peneiramento na peneira n° 4, com exclusão do material graúdo (acima da peneira de 3/8”).

- Ensaios de caracterização (granulometria, índice de plasticidade e limite de liquidez, respectivamente segundo os métodos DNER-ME 080, DNER-ME 082 e DNER-ME 122).

b) Após a adição do cimento

- Verificação da quantidade de cimento incorporada (por peso ou volume);
- Ensaio de compactação após 72 horas de cura da mistura, para a determinação da massa específica aparente máxima (DNER-ME 216 – Método B);
- Determinação do teor de umidade higroscópica depois da adição de água e homogeneização da mistura curada (DNER-ME 052 e DNER-ME 088).

III.10.2. Compactação da mistura

III.10.2.1. Imediatamente antes da compactação

- Determinações adicionais da umidade higroscópica (DNER-ME 052 e DNER-ME 088), quando necessário;
- Ensaios de compactação e moldagem dos corpos de prova cilíndricos para a determinação da resistência à compressão simples aos 7 dias de cura (DNER-ME 201 e DNER-ME 202) com material coletado da pista.

III.10.2.2. Após a compactação

- Determinação da massa específica aparente *in situ* na pista compactada para o cálculo do Grau de Compactação (GC) (DNER-ME 092 ou DNER-ME 036);
- Determinação do Índice de Suporte Califórnia (NBR 9895).

O grau de compactação deverá ser, no mínimo, 100%, em relação à massa especifica aparente seca máxima, obtida no ensaio DNER-ME 216/94 e o teor de umidade deverá ser a umidade ótima do ensaio citado ± 2%.

A base de Solo Melhorado com Cimento deverá apresentar um Índice de Suporte Califórnia mínimo de 80% e uma expansão máxima de 0,5%, bem como um limite de liquidez inferior ou igual a 25% e um índice de plasticidade inferior ou igual a 6%, determinados com a fração que passa na peneira n° 40.

Obs. III.10.2.

Para o trecho experimental (e posteriormente para a execução), a energia de compactação geralmente utilizada em aeroportos é a que produz no campo compactação igual à que o Proctor Modificado produz nos corpos de prova.

III.11. Vantagens e desvantagens

Como vantagens na utilização do Solo Melhorado com Cimento, dois itens podem ser citados:

- Representa uma ótima opção para a Amazônia, devido à escassez de material de bom suporte naquela região;
- A base de Solo Melhorado com Cimento apresenta excelentes resultados de suporte;
- Para algumas aplicações de pavimentação, pode ser uma solução quando a estabilização de um solo com Solo-Cimento mostrar-se economicamente inviável;
- É uma excelente técnica para alterar algumas propriedades físicas do solo, como por exemplo baixar o Índice de Plasticidade através do aumento do LP (Limite de Plasticidade) e da diminuição do LL (Limite de Liquidez).

As principais desvantagens do Solo Melhorado com Cimento são:

- Dificuldade do transporte de cimento para os canteiros de obra da COMARA devido ao período de navegabilidade dos rios ser curto (3 meses por ano). Tal fator também é preocupante devido ao curto prazo de validade do cimento (90 dias);

- Se durante o processo de homogeneização e pulverização da mistura ocorrer chuva, "perde-se" o trecho, ocasionando grandes prejuízos financeiros devido ao alto valor do cimento.

IV. Solo-Cal

IV.1. Definição

É uma mistura de solo, cal e água. Também pode ser acrescido a esta mistura uma pozolana artificial, chamada *fly-ash*, que é uma cinza volante. A adição de cal a solos de determinada granulometria podem produzir ganhos em sua trabalhabilidade, plasticidade e propriedades de caráter expansivo (MARQUES, 2006).

IV.2. Referências

Foram consultadas as seguintes referências:

- DE SENCO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**, v.2. São Paulo: PINI, 2001.
- BAPTISTA, Cyro Nogueira. **Pavimentação**, v.2, Porto Alegre, 1974.
- ANGELIM, Renato Resende. Influência do procedimento de mistura de cal hidratada ao solo no comportamento do solo estabilizado para fins de pavimentação rodoviária. In: II SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS NO CENTRO-OESTE, 2005, Goiânia: UEG, 2005.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 14/05**: Pavimentação: Solo-cal-cimento. Curitiba, PR, 2005.

IV.3. Aplicações

O uso de cal na estabilização de solos visa essencialmente a atender duas situações distintas. A primeira é quando se deseja melhorar a qualidade do solo, propiciando-lhe a estabilização com outro agente. Trata-se de um processo de recuperação de um solo que não apresenta condições tecnológicas ou econômicas para ser estabilizado, adicionando-se cal para melhorar as características desse solo e permitir que ele seja posteriormente estabilizado, por exemplo, com cimento.

O segundo caso é a estabilização direta do solo com o uso da cal. Trata-se da aplicação da cal a solos de boa qualidade, de modo que a mistura possa atender às condições exigidas em um projeto para uma das camadas inferiores do pavimento (De Senço, 2001).

IV.4. Materiais

Os seguintes materiais devem ser utilizados para a execução de bases de solo-cal:

- Cal: recomenda-se que seja utilizada cal virgem ou cal hidratada;
- Água: deve ser isenta de materiais estranhos prejudiciais ao comportamento da mistura;
- Solo: prioritariamente devem ser utilizados solos granulares, que via de regra apresentam maior capacidade de suporte; porém, na ausência desses, podem ser utilizados solos finos, que vêm apresentando bons resultados quando misturados com cal. O material não deve conter matéria orgânica ou outras impurezas nocivas.

IV.5. Equipamentos

Para a execução do solo-cal, devem ser utilizados os seguintes equipamentos:

- Pá-carregadeira;
- Caçamba;
- Motoniveladora pesada, com escarificador;
- Trator com grade de discos;

- Caminhão-pipa;
- Rolos compactadores dos tipos pé-de-carneiro e pneumático;
- Compactadores portáteis, manuais ou mecânicos;
- Ferramentas manuais diversas (pás, garfos, enxadas, rastelos e outros)

IV.6. Recursos Humanos

Para a execução do Solo-Cal, são necessários os seguintes profissionais:

- Operador de pá-carregadeira
- Operador de motoniveladora;
- Operador de trator com grade de discos;
- Operador de rolo compactador dos tipos pé-de-carneiro e pneumático;
- Operadores de compactadores portáteis;
- Motorista de caçamba;
- Motorista de caminhão-pipa;
- Laboratorista;
- Topógrafo e
- Serventes.

IV.7. Preparação

IV.7.1. Técnica

A fim de se determinar o teor de cal a ser utilizado na mistura, devem-se levantar primeiramente as curvas de compactação (com umidade ótima e densidade máxima) para diversos teores de cal. Em seguida, deve-se fazer a determinação do Índice de Suporte Califórnia (NBR 9895) para cada uma das amostras. O teor de cal a ser adotado deve ser o menor valor que conferir ao solo um Índice de Suporte Califórnia maior ou igual ao especificado em projeto.

IV.7.2. Logística

Para a execução do solo-cal, os seguintes itens devem ser observados:

- Condição dos equipamentos: devem-se verificar as condições de utilização/operação de todos os equipamentos, checando peças, pneus, combustível e quaisquer outros fatores que possam impossibilitar seu uso;
- Disponibilidade de ferramentas manuais: verificar a disponibilidade de pás, enxadas, lonas e outros apetrechos que auxiliem na execução da obra;
- Quantidade de materiais: verificar se todos os insumos que serão utilizados na obra estão disponíveis nas quantidades descritas e projeto e
- Trecho experimental: no trecho experimental devem ser determinados empiricamente a taxa de espalhamento da cal, o fator de empolamento da mistura e o número de passadas que o rolo compactador deve dar para atingir a compactação de projeto.

Obs. IV.7.2

Para o trecho experimental (e posteriormente para a execução), a energia de compactação geralmente utilizada em aeroportos é a do Proctor Modificado.

IV.8. Execução

IV.8.1. Extração dos materiais na jazida

A(s) jazida(s) indicada(s) no projeto deve(m) ser objeto de criterioso zoneamento, com vistas à seleção de materiais que atendam às características especificadas.

Durante a operação de carga, devem ser tomadas as precauções necessárias para evitar a contaminação por materiais estranhos.

Obs. IV.8.1

Não é permitido o transporte do material para a pista quando o subleito ou a camada subjacente estiverem molhados, não sendo capaz de suportar, sem deformação, a movimentação do equipamento.

IV.8.2. Transporte e distribuição do solo

As caçambas devem descarregar o material em pilhas sobre a pista, com espaçamento adequado. Em seguida, com a utilização da motoniveladora, efetua-se o espalhamento desse material.

Obs. IV.8.2

Deve-se definir, por meio de execução de trecho experimental, a espessura de material solto que, após compressão, permita a obtenção da espessura de projeto. A espessura de cada camada acabada deve estar situada entre 10 e 17 cm. A espessura máxima deve ser tal que não prejudique a uniformidade da mistura e da compactação da camada.

IV.8.3. Pulverização e homogeneização do solo

A pulverização e a homogeneização do solo devem ser efetuadas pela ação da grade de discos e da motoniveladora.

Ao final da pulverização, a camada resultante deve estar completamente solta, o mais homogênea possível e conformada de acordo com as características geométricas adequadas para o atendimento do projeto.

Obs. IV.8.3.a

A pulverização pode ser considerada satisfatória quando pelo menos 50% do material, em peso, passar na peneira n° 4.

Obs. IV.8.3.b

Deve-se tomar cuidado para que a ação dos equipamentos de pulverização não atinja a camada de sub-base, a ponto de prejudicá-la.

IV.8.4. Distribuição e mistura

Concluída a pulverização do solo, deve ser verificada a conformação geométrica da camada e, se necessário for, devem ser efetuadas eventuais correções com a motoniveladora.

A cal deve ser distribuída uniformemente na superfície, em toda a largura da faixa, segundo o teor especificado, por processo manual (com emprego de sacos de sal) ou mecânico (a granel).

Imediatamente após a distribuição da cal, deve ser procedida a mistura desta com o solo, utilizando-se a grade de discos e a motoniveladora.

Estando o material completamente homogeneizado, deve-se medir a umidade da mistura, cabendo a adição de água caso esteja abaixo da ótima ou a continuação do gradeamento caso esteja acima da umidade ótima.

Obs. IV.8.4.a

Quando se empregar a distribuição em sacos, estes devem ser rasgados e distribuídos manualmente, com o auxílio de rodos de madeira.

Obs. IV.8.4.b

Deve-se depositar especial atenção à distribuição da cal, com o intuito de evitar perdas decorrentes da ação do vento e do tráfego de equipamentos.

IV.8.5. Compactação

As operações de compactação devem ser iniciadas imediatamente após o término da mistura úmida.

A compactação deve ser iniciada com o emprego de rolos pé-de-carneiro e concluída com rolos pneumáticos de pressão regulável.

A compressão deve ser executada em faixas longitudinais, iniciando sempre pelo ponto mais baixo da seção transversal, progredindo no sentido do ponto mais alto. Em cada passada, o equipamento deve propiciar cobertura de, no mínimo, metade da faixa anteriormente coberta.

Terminada a compactação, deve ser feito o acerto de saliências, de modo a satisfazer o projeto, com o emprego da lâmina da motoniveladora. Em seguida, o material solto deve ser comprimido por rolo pneumático ou liso, a fim de proporcionar à base camada selante e um melhor acabamento. Não é permitida a correção de depressões pela adição de material.

Obs. IV.8.5.a

O grau de compactação deve ser 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, adotando-se a energia do Proctor Modificado.

Obs. IV.8.5.b

O tempo decorrido entre o início da compactação e o acabamento final da camada não deve exceder duas horas.

Obs. IV.8.5.c

Eventuais manobras com mudança de direção do equipamento compactação (que sejam prejudiciais à camada) devem ser feitas fora da área de compressão.

Obs. IV.8.5.d

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compressão, ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação deve ser feita utilizando-se compactadores portáteis manuais ou mecânicos (“sapo mecânico”)

IV.8.6. Proteção e cura

A camada acabada deve ser submetida imediatamente a processo de cura, sendo protegida da perda rápida de umidade por no mínimo sete dias. O processo de cura consiste na aplicação de pintura asfáltica, com emulsão diluída em água.

Obs. IV.8.6

Antes da aplicação da pintura asfáltica, a superfície deve ser perfeitamente limpa, mediante emprego de processos e equipamentos adequados; devendo também ser umedecida.

IV.9. Cuidados

a) Liberação ao tráfego

Não deve ser permitido o tráfego diretamente sobre os trechos recém-concluídos. A liberação deve ser feita desde que a superfície tenha endurecido suficientemente, de modo a evitar estragos, o que normalmente ocorre depois de sete dias.

IV.10. Controle tecnológico

Devem ser procedidos:

- Determinação do grau de pulverização, antes de iniciar a compactação;
- Determinação do teor de umidade, imediatamente antes da compactação;
- Determinação da massa específica aparente seca *in situ*, após compactação;
- Ensaio de compactação, na energia do Proctor Modificado, com amostras coletadas na pista imediatamente antes da compactação;.

Obs. IV.10

Para qualquer tipo de camada deve ser verificado seu bom desempenho através da medida de deflexão (DNER-ME 024), após 7 dias de cura, em locais aleatórios, espaçados no máximo a cada 100 m.

IV.11. Vantagens e desvantagens

Como principais vantagens na utilização do solo-cal, podem ser citadas:

- Dada a escassez de material de bom suporte na Região Amazônica, tal solução se mostra uma ótima alternativa para execução de camadas de base nessa região;
- A base de solo-cal apresenta resultados de suporte muito bons;
- Comparativamente ao solo melhorado com cimento, o solo-cal possui a vantagem de ter o custo inicial mais baixo, atendendo às mesmas necessidades no que diz respeito ao ISC.

As principais desvantagens do solo-cal são:

- Dificuldade do transporte da cal para os canteiros de obra da COMARA devido ao período de navegabilidade dos rios ser curto (3 meses por ano);
- Se durante o processo de homogeneização e pulverização da mistura ocorrer chuva, "perde-se" o trecho, ocasionando grandes prejuízos financeiros devido ao alto valor do cimento.

V. Macadame Hidráulico

V.1. Definições

V.1.1. Macadame hidráulico

Consiste e uma camada de agregado britado (pedra, escória ou cascalho), compactada mecanicamente, cuja estabilidade é fornecida principalmente pelo entrosamento da brita em

conseqüência da compressão, o qual é seguido pelo enchimento dos vazios, utilizando-se material com partículas menores – que pode ser saibro ou pó de pedra, além da água de irrigação (De Castro, 1963).

É a camada granular composta por agregados graúdos, naturais ou britados, preenchidos por agregados miúdos e aglutinados pela água, cuja estabilidade é obtida pela ação enérgica da compactação (COMARA, 2000).

V.1.2. Camada de bloqueio ou isolamento

É a porção inferior da camada de macadame hidráulico, limitada à espessura final compactada entre 3 e 5 cm, aplicada nos casos em que o macadame hidráulico é assentado diretamente sobre solos com mais de 35% passando na peneira n° 200 (DER-PR, 2005).

V.2. Referências

Foram consultadas as seguintes referências:

- DE CASTRO, Paulo Alvim Monteiro et al. **Pavimentos: dimensionamento, tecnologia e contrução**. Rio de Janeiro: ABP, 1963.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 04/05**: Pavimentação: Macadame hidráulico. Curitiba, PR, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 316/97**: Pavimentação – base de macadame hidráulico. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base de macadame hidráulico – especificações técnicas**. Belém, 2001.

V.3. Aplicações

Surgida a partir de uma variação do macadame original, criado pelo engenheiro escocês John McAdam, é bastante utilizado para a execução de camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis.

V.4. Materiais

Os materiais utilizados na execução de camadas de macadame hidráulico são: agregado graúdo, material de enchimento e material da camada de bloqueio, os quais devem satisfazer às seguintes condições:

V.4.1. Agregado graúdo

O agregado graúdo deve ser constituído por pedra britada (pedregulho ou cascalho), satisfazendo a uma das faixas granulométricas mostradas na Tabela 1:

Tabela 2 – Faixas granulométricas para o agregado graúdo

Peneiras		% passa (peso)		
mm	pol.	A	B	C
101,6	4	100	-	-
88,9	3 1/2	90-100	-	-
76,2	3	-	100	-
63,5	2 1/2	25-60	90-100	100
50,8	2	-	30-70	90-100
38,1	1 1/2	0-15	0-15	25-70
25,4	1	-	-	0-15
19,1	3/4	0-5	0-5	-
12,7	1/2	-	-	0-5

O agregado graúdo deve ter diâmetro máximo compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final da camada executada, e deve ser constituído de fragmentos duros, limpos e duráveis, sem excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, ou outra qualquer substância prejudicial.

V.4.2. Material de enchimento

Deve ser constituído pelos finos resultantes de britagem (pó-de-pedra) ou por materiais naturais (beneficiados ou não) – brita, por exemplo – que satisfaçam às faixas granulométricas mostradas na Tabela 2:

Tabela 3 – Faixas granulométricas para o material de enchimento

Peneiras		% passa (peso)	
mm	pol.	A	B
19,1	3/4	100	-
12,7	1/2	85-100	-
9,5	3/8	-	100
4,8	Nº 4	-	85-100
0,15	Nº 100	10-30	10-30

V.4.3. Material da camada de bloqueio

Havendo necessidade da camada de bloqueio ou isolamento, o agregado a ser utilizado deve ser constituído de finos de britagem e apresentar uma das faixas granulométricas indicadas na Tabela 3:

Tabela 4 – Faixas granulométricas para o material da camada de bloqueio

Peneiras		% passa (peso)	
mm	pol.	A	B
19,1	3/4	100	-
12,7	1/2	80-100	-
9,5	3/8	70-100	-
4,8	Nº 4	45-100	100
2	Nº 10	25-65	55-100
0,42	Nº 40	-	25-100
0,074	Nº 100	-	0-12

V.5. Equipamentos

Para a execução da camada de macadame hidráulico, devem ser utilizados os seguintes equipamentos:

- Caminhão com caçamba basculante;
- Rolo compactador liso e/ou liso-vibratório de 10 a 12 t;
- Caminhão-pipa distribuidor de água com capacidade mínima de 2.000 litros;
- Motoniveladora;
- Distribuidor de agregados;
- Vassoura mecânica;
- Pá carregadeira;
- Vassourões, soquetes mecânicos, pequenas ferramentas e outros aceitos pela Fiscalização.

V.6. Recursos humanos

Para a execução do macadame hidráulico, são necessários os seguintes profissionais:

- Motorista de caminhão;
- Operador de rolo;
- Operador de pá-mecânica;
- Operador de motoniveladora;
- Motorista de caminhão-pipa;
- Operador de trator com vassoura mecânica;
- Laboratorista e
- Topógrafo.

V.7. Preparação

V.7.1. Técnica

A fim de se obter melhor qualidade na execução final da obra, faz-se necessário um controle eficiente dos materiais envolvidos no processo. Para tal, devem ser realizados os testes descritos abaixo:

V.7.1.1. Agregado graúdo

Ao ser submetido a 5 ciclos no ensaio de durabilidade (DNER-ME 089/94) (*Soundness Test*), deve apresentar perda máxima de 20% com Sulfato de Sódio e 30% com Sulfato de Magnésio. A porcentagem máxima de desgaste no Ensaio de Abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98) deve ser inferior a 50%.

Pedregulho ou cascalho britado devem apresentar, no mínimo, 75% em peso de partículas com duas faces obtidas na britagem.

V.7.1.2. Material de enchimento

A fração que passa na peneira n° 40 deve apresentar Limite de Liquidez inferior ou igual a 25% e um Índice de Plasticidade inferior ou igual a 6%.

O equivalente de areia mínimo deve ser de 55%.

V.7.1.3. Material da camada de bloqueio

O Índice de Plasticidade da fração que passa na peneira n° 40 deve ser inferior a 2% (COMARA, 2000).

O equivalente de areia mínimo deve ser superior a 55%.

V.8. Execução

V.8.1. Camada de bloqueio

Quando indicada, essa camada deve ser executada na largura da plataforma de projeto, com espessura máxima de 0,03 m, após compressão.

Após a operação de carregamento, o transporte de material britado da fonte produtora (central de britagem) até o canteiro da obra deve ser feito por caçambas com capacidade mínima de 9 m^3, devidamente cobertos e "enlonados", no caso de transporte por vias públicas em operação.

Em seguida, deve ser executado o espalhamento do material, com a utilização de uma motoniveladora.

A acomodação da camada por compressão deve ser feita com a utilização do rolo liso estático, em uma ou no máximo duas passadas.

V.8.2. Camada de base

V.8.2.1. Distribuição do agregado graúdo

A execução da camada de agregado graúdo inicia-se pelo carregamento do material nos depósitos ou pátios de estocagem da instalação de britagem. A operação de carga de material deve ser feita de forma criteriosa, evitando-se a utilização de agregados graúdos lamelares ou com excesso de finos.

Após a operação de carregamento e o transporte por caçambas, deve-se fazer o espalhamento do material em uma camada de espessura uniforme e homogênea. O espalhamento deve ser feito com motoniveladora pesada ou distribuidor de agregados, a depender do diâmetro máximo do agregado utilizado[2].

Após o espalhamento do agregado graúdo, podem ser necessárias as seguintes intervenções:

- Remoção de fragmentos alongados, lamelares ou de tamanho excessivo, visíveis na superfície e, substituição destes por agregado graúdo representativo e de boa qualidade;
- Correção de pontos com excesso ou deficiência de material, após verificação do greide e seção transversal com cordéis, gabaritos e outros instrumentos. No caso de existir deficiência de material, utilizar sempre agregado graúdo representativo e de boa qualidade, sendo vetado o uso de agregado miúdo.

Obs. V.8.2.1.a

Caso o espalhamento seja feito por motoniveladora, não deve ser permitida a descarga do agregado em pilhas ou cordões, e o espalhamento deve ser feito diretamente dos caminhões

[2] Para diâmetros máximos maiores é preferível a utilização de motoniveladora.

basculantes em espessura tão uniforme quanto possível, seguido de acerto definitivo com a lâmina da motoniveladora.

Obs. V.8.2.1.b

A superfície sobre a qual será construída a base de macadame hidráulico deve estar perfeitamente regularizada e consolidada, obedecendo às condições do projeto.

Obs. V.8.2.1.c

O espalhamento deve ser feito de modo a que não haja segregação das partículas do agregado.

V.8.2.2. Nivelamento do agregado graúdo (motoniveladora)

Com o agregado graúdo já distribuído na área a ser trabalhada, inicia-se um primeiro nivelamento utilizando a motoniveladora para regularizar toda a superfície do agregado graúdo deixando-o no greide previsto.

A próxima etapa é o nivelamento manual, no qual deve ser confeccionado um gabarito e, manualmente, com pás e enxadas, nivelado no greide final.

V.8.2.3. Compactação do agregado graúdo

Com a base totalmente nivelada, inicia-se a compactação do agregado graúdo com rolo liso, a fim de obter um bom entrosamento e diminuir os vazios entre esses agregados.

Após essa primeira compactação, deve-se verificar o greide, para conferir a espessura da camada e fazer as correções que se fizerem necessárias.

A operação de compressão deve então prosseguir até que se consiga um bom entrosamento do agregado graúdo, o que deve ocorrer com duas ou três coberturas completas.

Obs. V.8.2.3

Como em toda área deve ser passado o rolo liso, o empolamento de aproximadamente 15% sofrido pelo agregado graúdo deve ser levado em conta na determinação da espessura da camada.

V.8.2.4. Distribuição do material de enchimento

Utilizando-se preferencialmente o distribuidor de agregados, deve-se lançar o material fino, regulando a abertura do distribuidor para que haja distribuição do material em camadas finas e uniformes. Pode-se também fazer a distribuição por meios manuais

Em seguida, utilizando vassourões para revolver o pó, visando a uniformizar a camada de pó e iniciar a penetração do agregado fino; repete-se o processo quantas vezes quantas forem necessárias.

V.8.2.5. Compactação com distribuição do material de enchimento

Após a uniformização da superfície, inicia-se a rolagem utilizando-se rolo liso simples, com vibração. Conforme o pó for penetrando, devem ser repetidos os seguintes procedimentos:

- Distribuição do material fino utilizando-se o distribuidor de agregados;
- Uniformização com vassourões e
- Compactação utilizando rolo liso simples, com vibração.

Tal procedimento é realizado até que se observe que o pó não mais penetra somente com a ação do rolo.

Obs. V.8.2.5

A execução da base de macadame hidráulico deve até essa fase ser feita utilizando-se pó totalmente seco, a fim de evitar a formação de placas que obstruam a penetração do pó.

V.8.2.6. Compactação com distribuição do material de enchimento e água

Utilizando o caminhão pipa, inicia-se o processo de injeção de água em área pré-determinada do macadame. Devem-se observar dois detalhes importantes nesse serviço:

- Dimensionar área de trabalho que seja possível concluir no mesmo dia e
- Iniciar o serviço sempre pela área mais alta, a fim de permitir o processo de escoamento da água para a parte mais baixa.

A injeção de água deve ser realizada em conjunto com as operações de compactação e distribuição do material de enchimento.

Observa-se que conforme a água vai sendo injetada, o agregado fino vai penetrando, chegando inclusive a aparecer brita; nesses casos é necessário continuar a distribuir o pó.

A irrigação e aplicação do material de enchimento devem prosseguir até que se forme na frente do rolo uma pasta de material de enchimento e água.

A compressão deve ser feita até que desapareçam as ondulações na frente do rolo e a base se apresente completamente firme.

Obs. V.8.2.6.a

A injeção de água possui dois objetivos: auxiliar a penetração do agregado fino nos vazios e gerar uma associação (água + agregado) para formar argamassa de relativo poder ligante

Obs. V.8.2.6.b

Em cada deslocamento do rolo compressor, a faixa anteriormente comprimida deve ser recoberta de, pelo menos, metade da largura da roda traseira do rolo.

Obs. V.8.2.6.c

Quando a construção da base de macadame hidráulico for feita em várias camadas, a camada inferior deverá estar completamente seca antes de iniciar-se a execução da superior.

Obs. V.8.2.6.d

A espessura geral da base de macadame hidráulico deve ser de, no mínimo, 0,10 m. Quando se tratar de espessuras superiores a 0,15 m, a construção será feita em duas ou mais fases sucessivas. Nestes casos, a 1ª camada deverá ter sua largura acrescida de, pelo menos, duas vezes a espessura da 2ª camada e assim sucessivamente.

V.9. Cuidados

V.9.1. Drenagem

É muito importante que a execução do macadame hidráulico seja feito sobre uma sub-base que contenha pelo menos uma das declividades acentuada (cerca de 1%), a fim de permitir que a água utilizada na construção possa escoar com facilidade. Tal medida visa a evitar que a permanência prolongada de água possa danificar ou prejudicar a compactação da sub-base.

Outro fator importante é que o local de execução do macadame não deve ser confinado, ou seja, em formato de caixão; deve existir certo espaço livre nas bordas do macadame, para permitir que a água proveniente do processo construtivo tenha livre escoamento.

V.9.2. Camada de bloqueio

Algumas obras realizadas pela COMARA não contemplaram a camada de bloqueio, optando-se, em vez disso, pela impermeabilização da sub-base por imprimação com asfalto diluído de cura média (informação verbal).

V.10. Controle tecnológico

Todo o material utilizado na execução do macadame hidráulico deve ser verificado antes do seu espalhamento e/ou aplicação na pista. Devem ser realizadas verificações de qualidade de materiais da camada de bloqueio, do agregado graúdo e do material de enchimento na sua origem, com amostras coletadas de maneira aleatória.

Devem ser realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria do agregado;
- Abrasão Los Angeles do agregado;
- Durabilidade do agregado;
- Caracterização (granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade) do material de enchimento;
- Caracterização (granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade) do material de bloqueio e
- Equivalente de areia para o material de enchimento e para o material de bloqueio.

4. Considerações finais

Ao final deste trabalho, restou a sensação de que a missão foi cumprida com êxito. O Trabalho de Graduação cumpriu o seu objetivo primário, o de catalogar, padronizar, comparar e criticar alguns dos serviços de infra-estrutura aeronáutica utilizados pelo Sistema de Engenharia da Aeronáutica, apresentando como resultado um pequeno manual, que aborda as técnicas julgadas mais importantes para o âmbito dos trabalhos da COMARA.

Sendo assim, tem-se a certeza de que o presente trabalho poderá contribuir com o melhoramento da atividade fim daquela Comissão, treinando pessoas, padronizando procedimentos e, acima de tudo, deixando a possibilidade de se transmitir conhecimento de forma mais eficiente, para que as próximas gerações de gestores, engenheiros e técnicos possam manter e aperfeiçoar o legado de informações doravante documentadas.

Fica a sugestão para que mais trabalhos dessa natureza possam ser feitos no futuro, de modo a ampliar o leque de serviços apresentados, ou mesmo aperfeiçoar as técnicas catalogadas neste trabalho, por meio de busca mais exaustiva de informações.

Referências Bibliográficas

ANGELIM, Renato Resende. Influência do procedimento de mistura de cal hidratada ao solo no comportamento do solo estabilizado para fins de pavimentação rodoviária. In: II SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS NO CENTRO-OESTE, 2005, Goiânia: UEG, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Solo-cimento na pavimentação. Website da Associação, 2008. Disponível em <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/solo_cimento.shtml>. Acesso em 3 out. 2008.

BAPTISTA, Cyro Nogueira. **Pavimentação**, v.2, Porto Alegre, 1974.

COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base em *Sand-Creet* – especificações técnicas**. Belém, 2001

COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base em solo melhorado com cimento 1 – especificações técnicas**. Belém, 2001.

COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base em solo melhorado com cimento 2 – especificações técnicas**. Belém, 2001.

COMISSÃO DE AEROPORTOS DA REGIÃO AMAZÔNICA. **Base de macadame hidráulico – especificações técnicas**. Belém, 2001.

DE CASTRO, Paulo Alvim Monteiro et al. **Curso de pavimentação**. Rio de Janeiro: Equipe, 1960.

DE CASTRO, Paulo Alvim Monteiro et al. **Pavimentos: dimensionamento, tecnologia e contrução**. Rio de Janeiro: ABP, 1963.

DE SENCO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**, v.2. São Paulo: PINI, 2001.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 04/05**: Pavimentação: Macadame hidráulico. Curitiba, PR, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 11/05**: Pavimentação: Solo-cimento e solo tratado com cimento. Curitiba, PR, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 14/05**: Pavimentação: Solo-cal-cimento. Curitiba, PR, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 304/97**: Pavimentação – base de solo melhorado com cimento. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 305/97**: Pavimentação – base de solo-cimento. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 316/97**: Pavimentação – base de macadame hidráulico. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 1996.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Estabilização dos solos para fins de pavimentação**. Juiz de Fora, 2006: UFJF. Disponível em: <http://www.pavimentacao.ufjf.br/Cap4.pdf>. Acesso em 14 jul. 2008.

RIBEIRO, Rodrigo Otávio. **Reparos rápidos em aeródromos utilizando *Sand-Creet***. Belém, PA: COMARA, 2004.

RODRIGUES, Régis Martins. **Apostila GEO-46 Engenharia de Pavimentos**, v.1. São José dos Campos, ITA, 2007.

TAYLOR, Frederick Winslow. **Princípios de administração científica**. São Paulo, Atlas, 1990.

Apêndice 1: Método de Ensaio *Sand-Creet*

Objetivo:

Determinação do teor ótimo de cimento e da porcentagem de água que devem ser adicionados ao solo arenoso de modo a garantir que a camada de *Sand-Creet* atenda a resistência mínima de projeto.

Materiais:

Devem ser utilizadas no ensaio 18 formas metálicas de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, soquete, espátula e régua para raspagem.

Procedimento:

Primeiramente, deve-se proceder dentro de um recipiente (tacho) a mistura íntima da areia e do cimento secos, deixando a massa em forma de coroa, para em seguida lançar-se a água no interior da cratera formada. Em seguida, misturam-se os componentes por cerca de 1 minuto a fim de homogeneizá-la e completa-se com mistura enérgica durante 5 minutos.

Feita a mistura, são moldados 18 corpos de prova. Deve-se colocar a mistura nos CP's com auxílio da espátula, em quatro camadas aproximadamente iguais, cada uma recebendo trinta golpes moderados com o soquete normal, distribuídos uniformemente pela superfície. Após a compactação da última camada, procede-se a raspagem dos topos dos corpos de prova.

Decorridas 24 horas da moldagem, os CP's são desmoldados e colocados submersos em tanque com água potável. Devem ser divididos em 3 grupos de 6, para idades de 3, 7 e 28 dias, quando serão submetidos a ensaios de resistência à compressão simples.

O ensaio deve ser feito para diferentes pares de valores de umidade e teor de cimento, montando-se uma tabela com os resultados obtidos. O par ótimo a ser utilizado é o que possuir o menor custo de implementação, atendendo à resistência mínima determinada em projeto.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO	2. DATA	3. REGISTRO N°	4. N° DE PÁGINAS
TC	17 de novembro de 2008	CTA/ITA/TC-071/2008	85

5. TÍTULO E SUBTÍTULO:

Análise crítica de soluções técnicas aplicadas aos serviços de engenharia de infra-estrutura aeronáutica, no âmbito do sistema de engenharia da Aeronáutica

6. AUTOR(ES):

Patrick de Oliveira Conceição

7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:

Pavimentação, Serviços de engenharia, COMARA

9.PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:

Pavimentação; Pistas (de pouso e decolagem); Região Amazônica; Infra-estrutura (transportes); Força Aérea Brasileira; Gestão do conhecimento; Engenharia civil; Administração

10. APRESENTAÇÃO: **X Nacional** **Internacional**

ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Engº. Rodrigo Tavares Ribeiro; co-orientador: MSc. Frank Cabral de Amaral. Publicado em 2008.

11. RESUMO:

Com mais de 5 milhões de quilômetros quadrados de área, a Amazônia Legal Brasileira cobre mais que 60% do território nacional. A região é sem dúvida um grande foco de preocupação do país, combinando uma população extremamente pobre com a falta de políticas mais agressivas de desenvolvimento por parte do poder público. É nesse cenário que atua a Comissão de Aeroportos da região Amazônica, órgão da Força Aérea Brasileira responsável pela construção e manutenção de aeródromos nas áreas mais remotas e inacessíveis do país.

Apesar dos mais de 50 anos de história, tal instituição ainda não possui uma gestão de conhecimento compatível com a sua grandeza. A razão de sua existência está focada em construir pistas de pouso, tarefa que realiza com extrema competência, mas não necessariamente da forma mais eficiente possível. A carência de padronizações formais para os métodos construtivos empregados tornam os serviços executados sujeitos a enormes variações, dependendo dos mais diversos fatores, tais como condições climáticas, equipamentos utilizados, ensaios realizados e até mesmo profissionais envolvidos.

No Brasil, há órgãos especializados em criar e divulgar normas de pavimentação em todo o país, porém, o que se nota é que os procedimentos muitas das vezes não são compatíveis realidade amazônica, dadas as suas inúmeras peculiaridades e restrições existentes para executar obras na região.

O presente trabalho espera conseguir, mesmo que de forma mínima, preencher esta lacuna, lançando uma mini-coletânea que descreva as principais técnicas utilizadas pela COMARA na Amazônia.

12. GRAU DE SIGILO:

(X) OSTENSIVO( ) RESERVADO ( ) CONFIDENCIAL ( ) SECRETO