

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO PATROCÍNIO
UNICERP
Graduação em Engenharia Civil

**ESTUDO DE VIABILIDADE DO LAUQ (LATERITA ASFÁLTICA
USINADA A QUENTE)**

Diego da Silva Carvalho

PATROCÍNIO - MG
2018

DIEGO DA SILVA CARVALHO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DO LAUQ (LATERITA ASFÁLTICA
USINADA A QUENTE)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do grau
de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo
Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes.

**PATROCÍNIO - MG
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

624
C321e

Carvalho, Diego da Silva.

Estudo de viabilidade do LAUQ (Laterita Asfáltica Usinada a Quente) /Diego da Silva Carvalho. – Patrocínio: Centro Universitário do Cerrado, 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.
Curso de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes.

1. Laterita asfáltica usinada a quente - LAUQ. Pavimento. Dosagem Marshall.

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

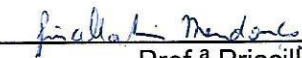
Aos 6 dias do mês de julho de 2018, às 19:00 horas, em sessão pública na sala 701-05 deste Campus Universitário, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Dr. Gilberto Fernandes e composta pelos examinadores:

1. Prof.^a Priscilla Assis Mendonça
2. Prof. João Emílio Tozetti Franco,

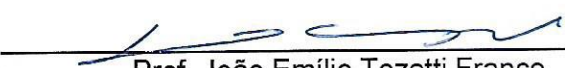
o aluno Diego da Silva Carvalho apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Estudo de viabilidade do LAUQ (laterita asfáltica usinada à quente) como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Engenharia Civil. Após reunião em sessão reservada, os professores decidiram da seguinte forma: A Avaliadora 01 decidiu pela Aprovado e o Avaliador 02 decidiu pela Aprovado, sendo resultado final da Banca Examinadora, a decisão final pela Aprovado do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.



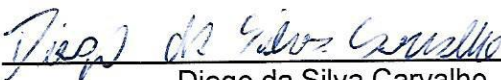
Prof. Dr. Gilberto Fernandes
Presidente da Banca Examinadora



Prof.^a Priscilla Assis Mendonça
Examinadora 01



Prof. João Emílio Tozetti Franco
Examinador 02



Diego da Silva Carvalho
Aluno

DEDICO este estudo ao meu pai, João Batista de Carvalho, a minha mãe, Ilda Maria da Silva Carvalho, ao meu irmão, Guilherme da Silva Carvalho que são as pessoas mais importantes da minha vida, que fizeram o possível e o impossível para que eu aqui chegasse.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de estar aqui, e por ele estar do meu lado em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais João Batista de Carvalho, Ilda Maria da Silva Carvalho e ao meu irmão Guilherme da Silva Carvalho, que me apoiaram e estiveram próximos de mim em todos os momentos, sempre com uma palavra amiga, indicando tudo que passei foi para me preparar para chegar cada vez mais longe.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gilberto Fernandes, pelo apoio, colaboração e pelas sugestões feitas no trabalho.

Aos meus parceiros de laboratório que me ajudaram no decorrer do desenvolvimento do estudo.

Enfim, agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuirão para que esse trabalho fosse realizado com êxito, me dando apoio, puxões de orelhas e incentivos.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

Introdução: O presente estudo tem como objetivo desenvolver e avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas tipo LAUQ (Laterita Asfáltica Usinada a Quente) pela metodologia Marshall. **Material e métodos:** O estudo foi desenvolvido com adição de laterita lavada utilizada como agregado graúdo em diferentes teores. O agregado miúdo e o filler foram substituídos por um colúvio amarelo arenoso. Ambos provenientes do Complexo Mineral de Patrocínio/MG. Em Patrocínio/MG e no estado de Minas Gerais, convencionalmente é empregado rocha britada como agregado nas misturas asfálticas. Nas proximidades da região de Patrocínio/MG, temos uma disponibilidade deste material a 93 km de distância. Com os ensaios de caracterização físicos e mecânicos da laterita, buscou-se um material de reaproveitamento de extração mineral como agregado não-convencional, cascalho laterítico e o colúvio amarelo que são resíduos da mina de fosfato. **Resultados:** O trabalho consistiu na realização: de ensaios de caracterização do material empregado na mistura asfáltica para pavimento, execução da dosagem Marshall com adição do ligante asfáltico CAP 50/70 para obtenção da fluência, estabilidade Marshall e do teor ótimo de ligante de uma faixa granulométrica enquadrada na (faixa C do DNIT). **Conclusão:** Os resultados adquiridos apontam um bom desempenho da mistura que apresentou um teor ótimo de ligante de 7,0%, o que torna sua viabilidade do ponto de vista experimental adequado.

Palavras-chave: Laterita asfáltica usinada a quente - LAUQ. Pavimento. Dosagem Marshall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Camadas do pavimento asfáltico.....	19
Figura 2 -	Agregados utilizados na pesquisa.....	22
Figura 3 -	Ensaio de adesividade do agregado lavado.....	24
Figura 4 -	Composição granulométrica – faixa de trabalho- faixa C.....	25
Figura 5 -	Curvas dos parâmetros determinados na dosagem Marshall.....	29
Figura 6 -	Gráfico Vv e RBV vs Teor de ligante, com os limites da Tabela 4.5.1 de Vv e RBV, para encontrar o teor de ligante.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Ensaio de caracterização dos agregados efetuadas no laboratório de solos do UNICERP e a análise química foi realizada na SGS GEOSOL laboratórios LTDA.....	23
Tabela 2 -	Composição granulométrica das misturas.....	25
Tabela 3 -	Valores limites para as características especificadas.....	26
Tabela 4 -	Caracterização dos agregados utilizados na pesquisa.....	22
Tabela 5 -	Análise Química da laterita.....	27
Tabela 6 -	Parâmetros Marshall.....	28

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
AL ₂ O ₃	Dióxido de Alumínio;
ATR	Afundamento em Trilha de Roda;
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo;
CaO	Óxido de cálcio;
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente;
CMP	Complexo Mineral de Patrocínio;
CNT	Confederação Nacional do Transporte;
cm ³	Centímetro cubico;
CPN°	Corpo de Prova Número;
DMT	Densidade Máxima Teórica;
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem;
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte;
ES	Especificação de Serviço;
Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro;
g	Gramas;
GMB	Massa Específica Aparente;
Kgf	Quilograma força;
Km	Quilômetro;
KN	Quilo Newton;
K ₂ O	Óxido de potássio
LAUQ	Laterita Asfáltica Usinada a Quente;
LOI	Índice limite de oxigênio;
ME	Método de Ensaio;
MG	Minas Gerais;
mm	Milímetro;
MnO	Dióxido de manganês;
N	Newton;
NBR	Norma Brasileira;
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo;

RBV	Relação Betume Vazios;
RV	Resíduo a Vácuo;
s	Segundos;
SiO ₂	Dióxido de silício;
TiO ₂	Dióxido de titânio;
VAM	Volume de Agregado Mineral;
VCB	Vazios Cheios com Betume;
Vv	Volume de Vazios;
°C	Grau Celsius.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
3.	OBJETIVO.....	15
3.1	Objetivo Geral.....	15
3.2	Objetivo Específico.....	15
4	JUSTIFICATIVA.....	15
5	DESENVOLVIMENTO.....	17
5.1	INTRODUÇÃO.....	18
5.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
5.2.1	Pavimentos asfálticos flexíveis.....	19
5.2.2	Utilização de solos lateríticos em pavimentos.....	19
5.2.3	Concreto Betuminoso Usinado a Quente.....	20
5.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
5.3.1	Identificação dos agregados utilizados na pesquisa.....	21
5.3.1.1	Agregados minerais.....	21
5.3.1.2	Ligante asfáltico.....	22
5.3.2	Caracterização dos agregados.....	23
5.3.3	Avaliação visual de adesividade.....	24
5.3.4	Dosagem Marshall.....	24
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.4.1	Caracterização dos agregados.....	26
5.4.2	Dosagem Marshall.....	27
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
5.6	REFERÊNCIAS.....	31
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35
	ANEXOS.....	39

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho desenvolveu-se o estudo de aplicação de agregado natural, para produção de pavimento asfáltico em LAUQ (Laterita Asfáltica Usinada a Quente), fazendo a substituição de todos os agregados granulares utilizados em misturas asfálticas convencionais. O processamento de misturas asfálticas envolve convencionalmente o emprego de rocha britada como agregado, mas em muitas regiões não há disponibilidade desta matéria prima, o que eleva muito o custo devido ao transporte deste material.

Segundo Rezende (2003), as propriedades e características de agregados utilizados para a construção de pavimentos no Brasil são determinadas por normas e especificações, podendo estes tipos de matérias serem de diversos tipos. No início da implantação de rodovias no país, as especificações e metodologias adotadas para criação de projetos de pavimentação foram fundamentadas em cima da vivente em outros países. O que levou a utilização de material granulares em grades escalas na execução de base e sub-base de pavimentos, como consequência nos dias atuais esses materiais não são encontrados tão facilmente. No entanto, com o passar do tempo e a experiência adquirida pelos profissionais, levou ao conhecimento de materiais que apresentam comportamento satisfatórios na pratica, esses materiais são característicos de algumas regiões brasileiras e podem ser utilizados na pavimentação.

Junto com a escassez de matérias granulares que enquadrem nas normas vigentes e que são indicados para pavimentação, as barreiras ambientalistas para a exploração de jazidas são muito abrangentes, já que estes muitas vezes estão localizados dentro de áreas de proteção ambiental. E quando são concedidas a explorações destes materiais o custo imposto devido a distância de transporte, muitas vezes inviabiliza o empreendimento. Com isso surge a necessidade de desenvolver novas técnicas para a implantação de pavimentos. O estudo de materiais alternativos vem ganhando força mesmo que não atendam as especificações normativas, muitos apresentam desempenho estrutural satisfatórios. A utilização desses materiais está sendo desenvolvidas em pavimentos rodoviários e urbanos, e estão adquirindo grande êxito especialmente para vias com volume baixo de tráfego, de acordo com REZENDE (2003).

A forma estudada para reduzir o custo foi à troca da brita granítica, areia e filler, por outro material que apresente resultados similar na fabricação do concreto betuminoso, para isso, foram executados ensaios físicos e ensaios mecânicos com laterita lavada utilizada na confecção de pavimento, analisando a viabilidade do uso do agregado em misturas LAUQ destinado a

pavimentação rodoviária, tornando agregados lateríticos uma alternativa para revestimentos asfálticos.

2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Neste trabalho foi desenvolvido o estudo da viabilidade da LAUQ (Laterita Asfáltica Usinada a Quente) em laboratório, na região de patrocínio-MG, para definição do teor de ligante ótimo para mistura asfáltica com utilização de agregado laterítico pela metodologia de dosagem Marshall.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi a realização de uma ampla campanha de ensaios de laboratório com intuito de conhecer o comportamento mecânico da laterita asfalto usinado a quente – LAUQ com o uso da metodologia Marshall na dosagem na faixa C do DNIT utilizando a laterita no lugar do agregado graúdo, miúdo e material de enchimento.

3.2 Objetivo específico

Para isso foi necessário a realização de pesquisas bibliográficas aprofundadas na área de aplicação de lateritas em pavimentos efetuando um levantamento de informações que possibilitam um melhor entendimento do assunto. Posteriormente foi desenvolvido em laboratório ensaios para um melhor conhecimento do material, mostrando a viabilidade técnica da utilização da laterita lavada como agregado graúdo para confecção do LAUQ e para compor a fração miúda e o filler foi utilizado o colúvio amarelo arenoso, analisando a viabilidade através dos resultados atingidos nos ensaios de dosagem pela metodologia Marshall, para desenvolver um traço que apresente uma resistência admissível para pavimentos e um consumo de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) mais adequado com desempenho satisfatório em resultados de ensaios de laboratório da mistura (LAUQ).

4. JUSTIFICATIVA

No estado de Minas Gerais, convencionalmente é empregado rocha britada como agregado nas misturas asfálticas. Nas proximidades da região de Patrocínio/MG, temos a

disponibilidade deste material a 93 km de distância. No processo de mineração de fosfato no Complexo Mineral de Patrocínio - CMP localizado a 20 km de Patrocínio, são gerados grandes volumes de resíduos, um destes é o estéril que não apresenta valor econômico. O estudo foi focado em um material de reaproveitamento de extração mineral como agregado não-convencional no caso a laterita para ser utilizado como agregado graúdo na produção de pavimento flexível.

A necessidade desse trabalho surgiu à fim de apresentar se o material estudado é viável em termos técnicos, para aplicação como agregado em pavimento.

5. DESENVOLVIMENTO

ESTUDO DE VIABILIDADE DO LAUQ (LATERITA ASFÁLTICA USINADA A QUENTE)

DIEGO DA SILVA CARVALHO¹
DR. GILBERTO FERNANDES²

RESUMO

Introdução: O presente estudo tem como objetivo desenvolver e avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas tipo LAUQ (Laterita Asfáltica Usinada a Quente) pela metodologia Marshall. **Material e métodos:** O estudo foi desenvolvido com adição de laterita lavada utilizada como agregado graúdo em diferentes teores. O agregado miúdo e o filler foram substituídos por um colúvio amarelo arenoso. Ambos provenientes do Complexo Mineral de Patrocínio/MG. Em Patrocínio/MG e no estado de Minas Gerais, convencionalmente é empregado rocha britada como agregado nas misturas asfálticas. Nas proximidades da região de Patrocínio/MG, temos uma disponibilidade deste material a 93 km de distância. Com os ensaios de caracterização físicos e mecânicos da laterita, buscou-se um material de reaproveitamento de extração mineral como agregado não-convencional, cascalho laterítico e o colúvio amarelo que são resíduos da mina de fosfato. **Resultados:** O trabalho consistiu na realização: de ensaios de caracterização do material empregado na mistura asfáltica para pavimento, execução da dosagem Marshall com adição do ligante asfáltico CAP 50/70 para obtenção da fluência, estabilidade Marshall e do teor ótimo de ligante de uma faixa granulométrica enquadrada na (faixa C do DNIT). **Conclusão:** Os resultados adquiridos apontam um bom desempenho da mistura que apresentou um teor ótimo de ligante de 7,0%, o que torna sua viabilidade do ponto de vista experimental adequado.

Palavras-chave: Laterita asfáltica usinada a quente - LAUQ. Pavimento. Dosagem Marshall.

ABSTRACT

Introduction: this study aims to develop and evaluate the mechanical behavior of LAUQ type asphalt mixtures (Laterite Machined hot Asphalt) by Marshall methodology. **Material and methods:** the study was carried out with addition of laterite washed used as coarse aggregate in different levels. The kid and the filler were replaced by a yellow Sandy colluvium. Both from the Mineral Complex for sponsorship/MG. In Sponsorship/MG and in the State of Minas Gerais, conventionally is crushed rock employee as aggregate in asphalt mixtures. In the vicinity of the Sponsorship/MG, we have an availability of this material to 93 km away. With the testing of physical and mechanical characterization of laterite, sought a reuse of material

1 Autor, Graduando em Engenharia Civil pelo UNICERP.

2 Orientador, Professor da Universidade Federal de Ouro Preto e da Graduação do UNICERP, Doutor em Infraestrutura de Transporte.

mineral extraction as unconventional household, laterite gravel and colluvium yellow that are phosphate mine waste. **Results:** The work consisted in carrying out the tests: material used in asphalt mixture for pavement, implementation of dosage Marshall with addition of the asphalt binder 50/70 CAP for obtaining the fluency, Marshall stability and great content a granulometric range framed ligand in (track C the DNIT). **Conclusion:** the results acquired point a good performance of the mixture which presented a great content of binder of 7.0%, which makes your viability of suitable experimental point of view.

Keywords: Laterite machined hot asphalt-LAUQ. Pavement. Marshall Dosage.

5.1 INTRODUÇÃO

As metodologias de dosagem para misturas asfálticas têm em suas concepções a finalidade preliminar de determinar a quantidade de ligante necessária para uma composição de agregados já enquadrados em uma determinada faixa granulométrica previamente definida. Deste modo a mistura asfáltica alcançada apresentará um desempenho estrutural satisfatório quando submetida em serviço.

A escolha do material utilizado para o estudo, se deu devido ao grande volume de material oriundo do processo de mineração realizado no Complexo Mineral de Patrocínio-CMP. Os agregados selecionados para o estudo são armazenados nos depósitos de estéreis, entretanto estes são materiais sem fins econômicos na comercialização.

Atividades de mineração são fundamentadas na extração e beneficiamento de minerais com fins econômicos. Neste processo ocorre modificação no meio ambiente, com isso são gerados resíduos, um destes resíduos é denominado de estéril. O estéril é um agregado natural que na sua composição pode apresentar um ou mais minerais, ele é extraído no processo de lavra do minério e não possui valor econômico.

A qualidade e as propriedades dos materiais que compõem as misturas asfálticas tanto no estado solto ou quando compactado, é de crucial importância para a boa performance da mistura, sendo assim, nos procedimentos de dosagem, mistura e aplicação é necessário ter um bom controle tecnológico para o enquadramento do material dentro das exigências do nível de qualidade, a fim de que seja produzido um material de engenharia que atenda aos requisitos técnicos de cada aplicação (MARQUES, 2004).

Segundo Moizinho (2007), se tem um volume considerável de estudos laboratoriais, que apresentam a viabilidade do emprego de agregados que são de origem laterítica em misturas de concreto betuminoso. Estes estudos evidenciam que misturas asfálticas com agregados graúdos

de origem laterítica apresentaram desempenho tão satisfatórios quanto as misturas preparadas com agregados pétreos.

5.2 REVISÃO DA LITERATURA

5.2.1 Pavimentos asfálticos flexíveis

Pavimentos flexíveis são elementos em que sua estrutura é constituída por camadas com variadas espessuras e o revestimento é composto por material betuminoso. As camadas que compõem o pavimento flexíveis são: revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito DNER (1996). Como demonstrado na Figura 1.

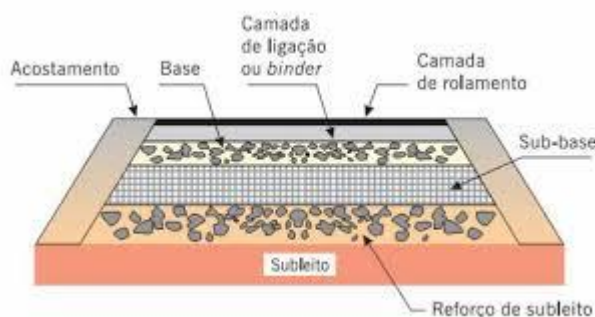


Figura 1 - Camadas do pavimento asfáltico

Fonte: BERNUCCI et al.,2008.

A camada de revestimento é aquela destinada a suportar as solicitações danosas ocasionados pelo tráfego de veículos, impermeabilização do pavimento e as degradações causadas pelo meio ambiente, transferindo as cargas de maneira atenuada para às camadas subjacentes de modo a assegurar maior conforto e segurança na pista de rolamento.

Segundo Senço (1997), pavimentos flexíveis são aqueles que quando sujeitos a sobrecarga permitem a deformação do material até um limite de sobrecarga sem que ocorra o rompimento da estrutura.

5.2.2 Utilização de solos lateríticos em pavimentos

Com a escassez de rocha granítica em algumas regiões do país, agregados lateríticos surgem como uma alternativa devido à grande ocorrência de depósitos residuais no Brasil.

Devido ao limitado índice de estudos, esses materiais são pouco utilizados na confecção de pavimentos rodoviários, trazendo como consequência elevados custos na construção de pavimentos ocasionados pelo transporte em grandes distâncias da matéria prima MOIZINHO (2007).

Segundo Moizinho (2007), o primeiro trabalho que se tem conhecimento do uso de agregados lateríticos utilizados em revestimentos desenvolvido no Brasil, foi uma pista de decolagem e pouso no aeroporto de São Luiz do Maranhão em 1943, realizado pelo departamento de Engenharia do Exército Americano, no decorrer da segunda guerra mundial. O concreto asfáltico usino a quente com agregado laterítico peneirado e lavado compondo a fração graúda da mistura apresentou vinte anos após sua construção um bom comportamento. Para Santana e Gontijo (1987), o uso deste agregado compondo a mistura foi devido a uma emergência, com os bons resultados obtidos durante este espaço de tempo percebe-se a excelência do material.

Os revestimentos asfálticos lateríticos vem sendo estudados por diversos pesquisadores Amaral (2004), Azevedo (1982), Bernucci (1995), Brasileiro (1983), Brito (1978), Castro e Salem (1994), Gidigas (1980), Guimarães e Motta (2000), Macêdo (1989), Moizinho (1994), Moizinho (2007), Santana e Gontijo (1987) e Tavares (1976), e a avaliação dos resultados indicam ser satisfatórios para a utilização em rodovias com volume de tráfego baixo.

Alguns agregados lateríticos apresentam menor resistência ao polimento, isso ocorre devido ao desgaste superficial excessivo nos revestimentos betuminosos, que são ocasionados pela atuação conjunta da água e do tráfego. De acordo com Brasileiro (1983), o desgaste sofrido pelo agregado é de fundamental relevância e precisa ser analisado com cuidado.

5.2.3 Concreto Betuminoso Usinado a Quente

No Brasil o tipo de ligante mais utilizado para pavimentos flexíveis é o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), que é o produto da mistura de agregados de variadas granulometrias com o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), ambos materiais aquecidos a temperaturas determinadas previamente, em função das propriedades de viscosidade e temperatura do ligante.

No Brasil, a produção de asfalto iniciou-se em 1944, na refinaria Ipiranga, com petróleo importado da Venezuela. Até então, utilizava-se nos serviços de pavimentação o asfalto importado de Trinidad, acondicionado em tambores de cerca de 200 litros. A partir daí o uso de

asfalto na construção de estradas é crescente e está presente em mais de 97% das rodovias pavimentadas no Brasil, segundo pesquisa da CNT (2013).

5.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho se deu com a necessidade de um maior conhecimento em relação ao comportamento da laterita utilizada como agregado em pavimento flexível. O trabalho foi montado a partir da caracterização do material juntamente com sua composição química mineralógica, a fim de avaliar o seu comportamento físico e mecânico de maneira a justificar o emprego do material como agregado. A abordagem sócio-técnica, adotada para a execução deste estudo, norteia a pesquisa tendo em vista o objetivo proposto, foram realizadas pesquisas bibliográficas existentes a respeito do tema. Nela foi dado maior ênfase a viabilidade do emprego de agregados lateríticos na confecção de pavimentos asfálticos, ressaltando suas principais características e descrevendo suas vantagens.

Numa segunda etapa, o estudo contou ainda com ensaios em laboratório no processo experimental de dosagem de uma mistura laterita asfáltica usinada a quente – LAUQ. No desenvolvimento deste trabalho os agregados utilizados foram: laterita lavada e colúvio amarelo, ambos provenientes do CMP, estado de Minas Gerais. O solo amarelo foi caracterizado como solo arenoso e foi utilizado como agregado miúdo no traço compondo a parte de material de enchimento e filler, e para compor a parcela de material granular foi utilizada a laterita lavada nas frações brita 1 e 0 na curva granulométrica montada seguindo especificações do DNIT 031/2006-ES. A dosagem de mistura asfáltica consiste na escolha realizada através de procedimentos experimentais indicando o teor de ligante, encontrado a partir da faixa C curva granulométrica.

5.3.1 Identificação dos Agregados utilizados na pesquisa

5.3.1.1 Agregados minerais

Como fase preliminar dos estudos, foi realizada a identificação dos agregados selecionados com potencial aplicação na composição da mistura asfáltica, abrangendo solos locais derivados dos resíduos de mineração. Os materiais escolhidos para o estudo são

provenientes dos estéreis são eles: a laterita e o coluvio amarelo, Figura 2, ambos provenientes do CMP. O coluvio amarelo foi caracterizado como solo arenoso e foi utilizado como agregado miúdo no traço compondo a parte de material de enchimento e filler, e para compor a parcela de material granular foi utilizada a laterita lavada nas frações brita 1 e 0.

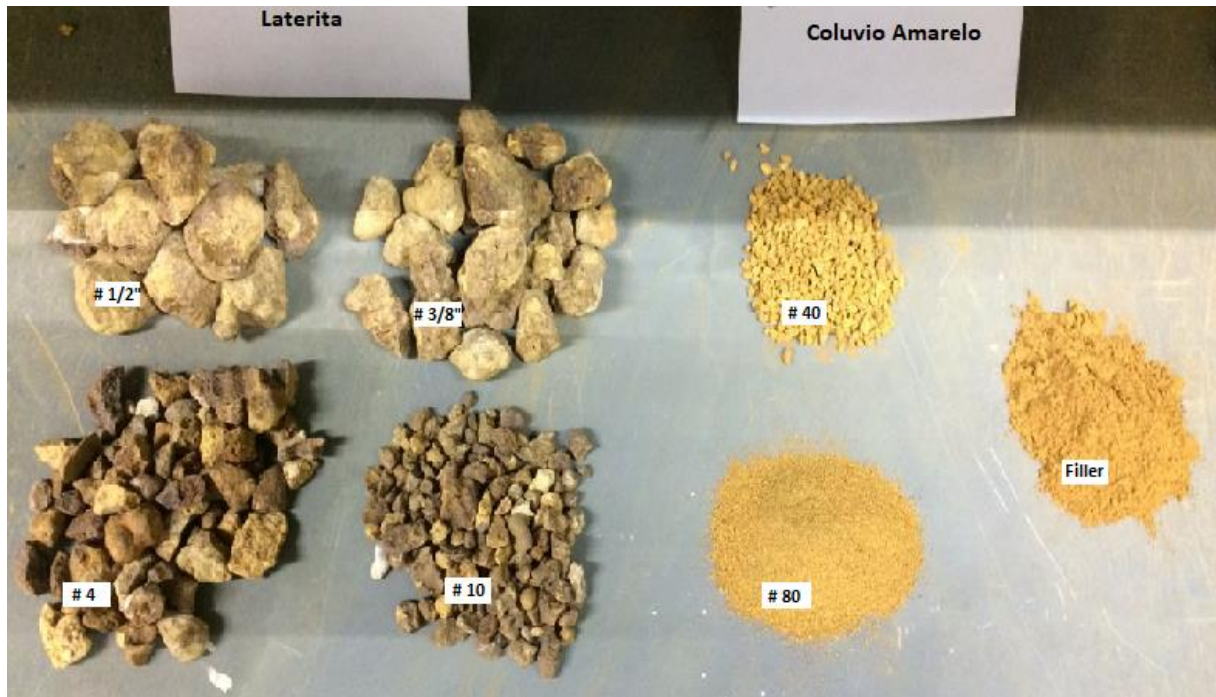


Figura 2- Agregados utilizados na pesquisa

Fonte: Dados da pesquisa.

5.3.1.2Ligante asfáltico

As propriedades do Cimento Asfáltico de Petróleo-CAP dependem do meio natural a qual o material é proveniente. Os principais processos para o refino do material no Brasil, são: desativação por solvente e o de destilação a vácuo processo que fornece como resíduo o RV (Resíduo de Vácuo), material este que ajustado a parâmetros de especificações, é designado de CAP. O cimento asfáltico de petróleo pode ser considerado viscoelastoplástico e termo sensível, sendo assim ele possui uma parcela elástica, viscosa e plástica. É um material sensível a mudança térmica. Em temperaturas elevadas acima de 100°C, o material se torna plástico e em temperaturas abaixo de 60°C ele se torna elástico, agindo como uma borracha quando solicitado pelo carregamento.

O ligante asfáltico empregado nesta pesquisa foi o CAP 50/70, proveniente da Ipiranga Asfaltos S/A, localizado em São Paulo SP, e certificado pelo laboratório da Petrobrás, distribuído pela empresa Stratura Asfalto S/A, e disponibilizado pela empresa FALK construtora, localizada em Patrocínio-MG.

5.3.2 Caracterização dos Agregados

Os agregados foram coletados e levados ao laboratório, onde foram secados em estufa e posteriormente foram caracterizados seguindo as especificações normativas vigentes, como apresentado na Tabela 1. A laterita estudada indica ser adequada para o uso em misturas asfálticas, uma vez que já foram obtidos resultados similares na caracterização de jazidas lateríticas por outros pesquisadores.

A laterita apresenta características diferentes das rochas graníticas, convencionalmente utilizadas como agregado graúdo na constituição de misturas asfálticas, devido a sua composição mineralógica. Características estas que podem afetar diretamente a ligação asfalto – agregado, pois a mesma apresenta angularidade e poros que elevam o consumo de ligante, ou seja para se ter um bom desenvolvimento da ligação adesiva o consumo de CAP é maior do que para misturas convencionais.

O material de enchimento é o filler. Ele é responsável por preencher uma parcela dos vazios presentes na mistura e proporcionar um gradual aumento de estabilidade, podendo melhorar também o desempenho térmico, mecânico e a sensibilidade à água na mistura asfáltica.

Tabela 1 - Ensaio de caracterização dos agregados efetuados no laboratório de solos do UNICERP e a análise química foi realizada na SGS GEOSOL laboratórios LTDA

ENSAIO	MÉTODO DE ENSAIO
Análise granulométrica	NBR 7182 (ABNT, 16)
Determinação da absorção	ME 081 (DNER, 98b)
Determinação da densidade dos agregados graúdo	ME 081 (DNER, 98d)
Determinação da densidade dos agregado miúdo	ME 194 (DNER, 98d)
Determinação da adesividade ao ligante betuminoso	ME 078 (DNER, 94b)
Análise Química do agregado	Norma específica

Fonte: Dados da pesquisa.

Passado a caracterização dos agregados, foi adotada a faixa de trabalho seguindo especificações do ES 031 (DNIT, 2006), a faixa escolhida para o trabalho foi a faixa C, a partir dela foi obtido os parâmetros para enquadramento do material na execução da dosagem Marshall para mistura asfáltica do tipo LAUQ.

5.3.3 Avaliação visual de adesividade

A adesividade da laterita com o material betuminoso pode ser definida como a propriedade em que o material betuminoso é aderido a laterita. Essa avaliação pode ser feita pelo não descolamento ligante asfáltico quando este recobre o agregado, em determinada fração de granulometria, na mistura agregado-asfalto (DNER-ME 078/94).



Figura 3 - Ensaio de adesividade do agregado lavado

Fonte: Autoria própria.

Levando em conta a porosidade do material ao mesmo tempo que ela se apresenta positiva com relação a adesividade, em contrapartida se tem o aumento do teor de ligante.

5.3.4 Dosagem Marshall

Para o estudo de confecções de misturas asfálticas a referência utilizada foi a metodologia Marshall de dosagem. As misturas selecionadas foram dosadas em laboratório segundo a metodologia e submetidas aos ensaios convencionais de Estabilidade Marshall utilizando-se a faixa C do DNIT, para a composição da granulométrica dos agregados. Para a mistura o ligante asfáltico selecionado foi o CAP 50/70, para a determinação dos parâmetros

de dosagem Marshall. O percentual de agregados utilizados para compor tal faixa está apresentado na Tabela 2, estando estas enquadradas dentro dos critérios estabelecidos pelo DNIT, conforme o método de ensaio ME 043 (DNER, 1995). Na Figura 4 foi exposto o ajuste granulométrico a qual as misturas foram moldadas.

O perfil da faixa granulométrica é de extrema influência na mistura asfáltica, pois afeta diretamente as propriedades mecânicas e a durabilidade do mesmo. Essa influência é maior nas características mecânicas da mistura, isso ocorre devido aos pontos de atrito do agregado no revestimento, fator este que interfere na resistência e em uma melhor distribuição das cargas ocasionados pelo tráfego nas camadas subjacentes da infraestrutura (ROBERTS et al., 1991).

Tabela 2 - Composição granulométrica das misturas

Peneiras	Teor						Limites Faixa de Trabalho		Limites Faixa C ES-031 (DNIT, 2006)	
	5,8%	6,3%	6,8%	7,3%	7,8%	8,3%	%MIN.	%MIN.	%MAX	%MAX.
1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	100	100	100	100	85	100	80	100
1/2"	87,9	87,9	87,7	87,7	87,7	87,6	75	89	70	90
Nº4	58,2	58,0	57,8	57,5	57,3	57,1	52	62	44	72
Nº10	33,0	32,6	32,3	31,9	31,5	31,2	31	41	22	50
Nº40	13,3	13,4	15,1	14,6	14,2	13,7	10	20	8	26
Nº80	7,5	7,5	8,7	8,2	7,7	7,7	7	13	4	16
Nº200	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3	8	2	10

Fonte: Dados da pesquisa.

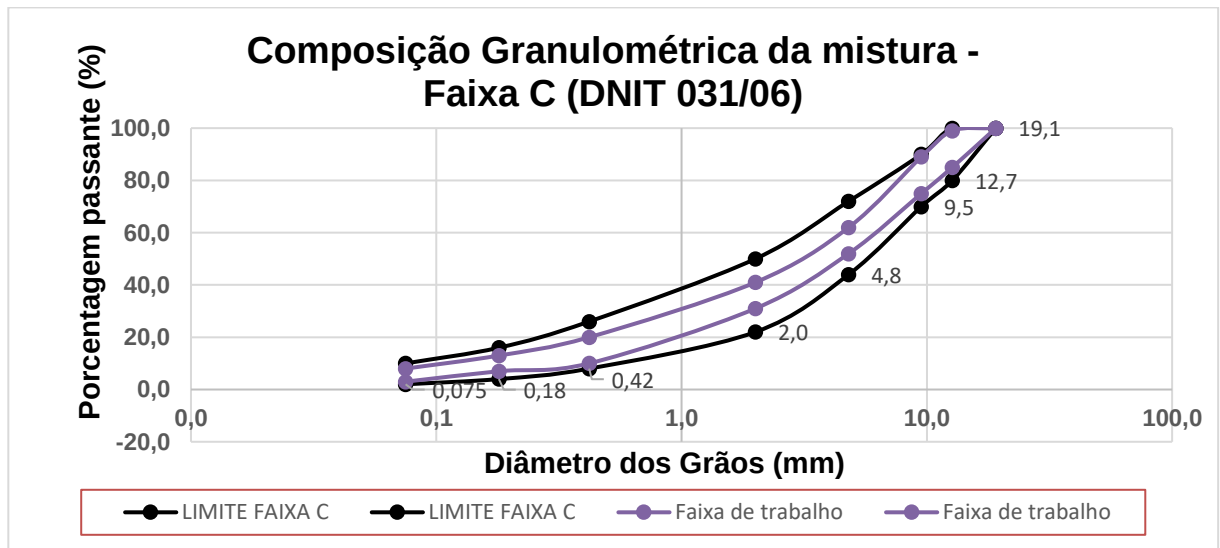


Figura 4 - Composição granulométrica-faixa de trabalho-faixa C

Fonte: Dados da pesquisa

A dosagem e a moldagem das amostras, juntamente com a obtenção dos parâmetros de dosagem Marshall da mistura foram realizados no laboratório de asfalto da FALK Construtora, seguindo o método de ensaio ME 043 (DNER,1995). Foram realizados no processo de dosagem de misturas asfálticas a composição de seis teores de ligante, para cada teor foram moldados três corpos de prova para análise de desempenho da mistura. Baseados nas referências bibliográficas foram escolhidos os teores de 5,8%, 6,3%, 6,8%, 7,3%, 7,8% e 8,3%. As misturas foram confeccionadas com ligante CAP 50/70 aquecido conforme estabelecido pelo método de ensaio ME 043 (DNER,1995), a 160°C e os agregados foram aquecidos a 175°C.

Após o aquecimento e mistura do agregado com o ligante asfáltico foi realizada a moldagem dos corpos de prova com o equipamento Marshall por compactação manual dinâmica de 75 golpes por face com frequência de 0,8s. A extração dos corpos de prova dos moldes foi realizada após 24 horas. Em seguida foram determinados os parâmetros volumétricos pesagem e cubagem para definição das características físicas da mistura, o material então foi imerso em banho maria, a 60°C, por 30 minutos e imediatamente submetidos a prensa Marshall.

Os valores obtidos são plotados em gráficos de análise da relação dos teores de ligante inseridos a mistura, o DNIT determina valores limites para características especificadas conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores limites para as características especificadas

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
Volume de vazios, %	DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação Betume-Vazios, %	DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72
Estabilidade, mínima, (KN), 75 golpes	DNER-ME 043	490	490
Fluência, (mm)	DNER-ME 043	2,0 a 4,6	2,0 a 4,6

Fonte: ES 031 DNIT, (2006).

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1 Caracterização dos agregados

Para um melhor conhecimento do potencial desempenho dos agregados, é necessário conhecer a caracterização deste material antes de serem utilizados em revestimento asfáltico. Na Tabela 4, está demonstrado os resultados da caracterização dos agregados.

Tabela 4 - Caracterização das agregados utilizados na pesquisa

ENSAIO	NORMA	RESULTADO OBTIDO
Adesividade dos agregados graúdos ao ligante betuminoso	ME 078 (DNER, 94b)	Satisfatório
Absorção - Brita 0	ME 081 (DNER, 98b)	5,14%
Massa específica real- Brita 0	ME 081 (DNER, 98d)	2,83 g/cm ³
Massa específica e aparente- Brita 0	ME 081 (DNER, 98d)	2,69 g/cm ³
Absorção - Brita 1	ME 081 (DNER, 98b)	5,14%
Massa específica real - Brita 1	ME 081 (DNER, 98d)	2,83 g/cm ³
Massa específica e aparente - Brita 1	ME 081 (DNER, 98d)	2,69 g/cm ³
Massa específica agregado miúdo	ME 194 (DNER, 98d)	2,68 g/cm ³
Análise granulométrica dos agregados	NBR 7182 (ABNT, 16)	Anexo I

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise de adesividade dos agregados evidenciam resultados satisfatórios. Os agregados lateríticos apresentam particularidades de porosidade e rugosidade que se mostraram positivos uma vez que, a adesão do ligante asfáltico é facilitada, pois o mesmo durante o recobrimento do agregado se encontra aquecido e com isso fica menos viscoso. Levando em conta a porosidade do material ao mesmo tempo que ela se apresenta positiva com relação a adesividade, em contrapartida se tem o aumento do consumo de ligante.

Na Tabela 5, a seguir está representada a análise da composição química da laterita, a realização do ensaio teve como o objetivo identificar os minerais que compõem a laterita. Os resultados obtidos apresentam uma parcela significativa de óxidos de alumínio e ferro. O que segundo Moizinho (2007), se justifica pela natureza concrecionária de solos lateríticos.

Tabela 5 - Análise Química da laterita

Análise	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	LOI
Método	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
Unidade	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Limite Detecção	0,10	0,10	0,01	0,01	0,10	0,01	0,010	0,10	0,01	0,01	-45,00
Laterita	8,74	16,40	42,90	0,61	0,57	10,00	4,83	<0,1	0,04	0,25	13,93

Fonte: laboratório SGS Geosol laboratórios LTDA.

5.4.2 Dosagem Marshall

A origem dos agregados e sua graduação, o ligante utilizado e o volume de vazios são variáveis de misturas, que geralmente são determinadas pelas metodologias de dosagem.

Podendo esses componentes afetar, de modo significativo o desempenho em campo da mistura e suas propriedades. A dosagem tem como proposta conseguir um balanço entre as propriedades da mistura visando uma específica aplicação. As propriedades volumétricas são de extrema importância pois elas condicionam o desempenho do pavimento na via (SPECHEIT, 2004b).

O processo de dosagem de mistura LAUQ consiste na escolha através de procedimentos experimentais, do teor de ligante considerado ótimo. As dosagens das misturas betuminosas confeccionadas foram enquadradas na faixa C do DNIT. A Tabela 6 apresenta a composição e as características volumétricas das misturas.

Tabela 6 – parâmetros Marshall

COMPOSIÇÃO (%)						
CAP	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3
Agregados Laterítico	81,60	81,10	79,10	79,10	79,10	79,10
Agregados Colúvio	12,60	12,60	14,10	13,60	13,10	12,60
ENSIDADE TEÓRICA DA MISTURA (g/cm ³)						
Densidade teórica DMT	2,5460	2,5254	2,5034	2,4841	2,4651	2,4464

ENSAIO MARSHALL									
CAP (%)	5,8			6,3			6,8		
C. P. N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso no Ar (g)	1204	1199	1207	1203	1198	1200	1207	1208	1208
Peso Imerso (g)	698,5	712,2	689,7	696,4	693,3	707,9	705,1	702,5	706
Volume (cm ³)	505,5	487,2	517,2	507	504,8	492,5	501,5	505	501,8
Densidade Aparente ((g/cm ³)	2,3818	2,4617	2,3334	2,3734	2,3732	2,4374	2,4069	2,3911	2,4069
Gmb Média	2,3923			2,3947			2,4013		

ENSAIO MARSHALL									
CAP (%)	7,3			7,8			8,3		
C. P. N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso no Ar (g)	1205	1207	1199	1202	1205	1200	1182	1193	1197
Peso Imerso (g)	700,6	702,2	709,6	700,7	703	699,1	690,4	696,7	689,1
Volume (cm ³)	504,5	504,5	489,6	501,1	502,2	500,9	492	496,5	507,6
Densidade Aparente ((g/cm ³)	2,3887	2,3919	2,4493	2,3983	2,3998	2,3957	2,4033	2,4032	2,3576
Gmb Média	2,4100			2,3980			2,3880		

PARÂMETROS VOLUMÉTRICOS						
Teores (%)	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3
V. v (%)	6,04	5,18	4,08	2,98	2,72	2,39
V. C. B	13,78	14,98	16,22	17,47	18,57	19,68
V. A. M	19,8	20,2	20,3	20,5	21,3	22,1
R. B. V	69,5	74,3	79,9	85,4	87,2	89,2
Estabilidade (KN)	11,3	10,8	11,3	12,1	13,2	12,4
Fluência (mm)	3,36	3,38	3,61	3,62	3,70	4,00

Fonte: Dados da pesquisa.

O volume de vazios (V_v) é a propriedade volumétrica de maior importância do concreto asfáltico; sempre são necessários vazios de ar no interior da mistura compactada a fim de permitir a expansão térmica dos ligantes e suportar a compactação causada pelo tráfego. Volumes de vazios abaixo de 3% comprometem o desempenho das misturas quanto ao ATR (Afundamento em Trilha de Rodas). Volumes de vazios acima 8% comprometem a durabilidade (SPECHT, 2004b). Com todos os valores dos parâmetros mecânicos e volumétricos calculados, é realizada a plotagem das curvas em função do teor de CAP. Os Gráficos apresentados na Figura 5 apresenta essas curvas com os dados obtidos.

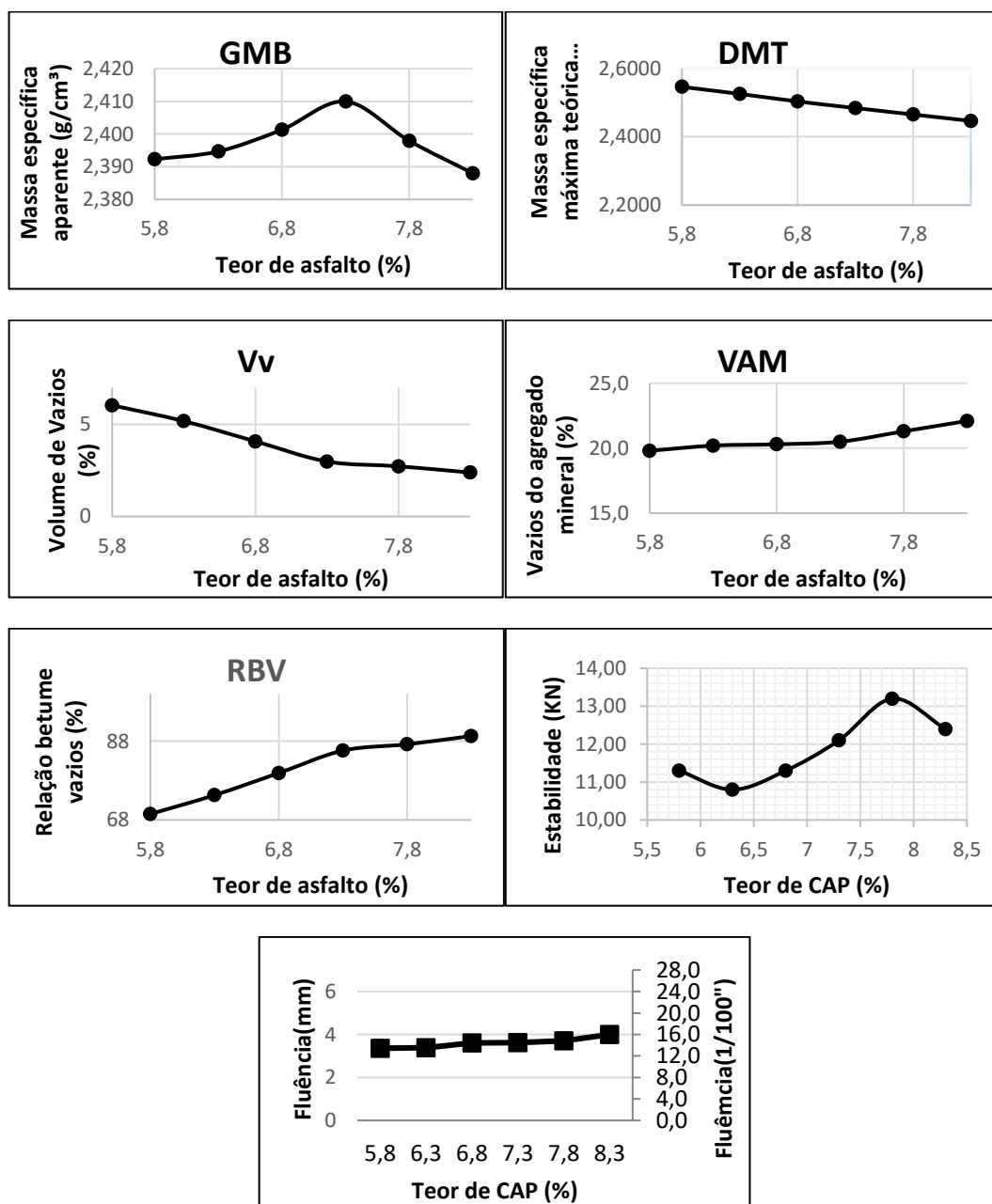


Figura 5 - curvas dos parâmetros determinados na dosagem Marshall

Fonte: Dados da pesquisa.

Teor de asfalto versus Vv e RBV

Volume de Vazios (%)

Relação Betume/Vazios (%)

Teor de CAP (%)

--- LIMITES Vv --- LIMITES Vv Vv --- LIMITES RBV

--- LIMITES RBV RBV Linear (Vv) Linear (RBV)

Teor de CAP (%)	Vv (%)	RBV (%)
5,8	6,2	3,3
6,3	5,2	4,0
6,8	4,0	4,8
7,3	3,0	5,5
7,8	2,5	6,0
8,3	2,2	6,5

Fonte: Dados da pesquisa.

Moizinho 2007, descreve que no estudo de misturas asfálticas tipo LAUQ realizado no estado de Roraima. Para misturas com teor de até 8% de CAP executadas com agregados lateríticos, em comparação com mistura realizadas com agregado convencionalmente, a mistura alternativa apresenta vantagem econômica em relação a tradicional.

30

3,61mm, volume de vazios de 4,08% e a relação betume vazios de 79,9% o que enquadra a laterita – LAUQ material dentro das especificações normativas, habilitando o seu uso pleno em revestimentos betuminoso usinado a quente sem nenhum prejuízo de qualidade.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou como resultado o credenciamento do emprego de materiais alternativos laterita (estéril do minério de fosfato) na composição de misturas asfálticas para pavimentos flexível. No decorrer do desenvolvimento deste estudo foi realizado em laboratório as misturas asfálticas pelo método Marshall, para determinação do teor de ligante ótimo para a mistura e os consequentes parâmetros de estabilidade e fluidez. A partir dos resultados foi possível verificar que o uso da laterita betuminosa usinada a quente tem um grande potencial de aplicação frente os parâmetros normativos.

Portanto foi possível obter o dimensionamento do revestimento usando a laterita como agregados na mistura viabilizando a reutilização destes resíduos e com isto mitigando o passivo ambiental gerado pela extração do minério de fosfato no Complexo Mineral de Patrocínio - CMP.

A partir da avaliação dos resultados obtidos campanha de ensaios é possível se ter uma correta elaboração da viabilidade do uso da laterita – LAUQ como agregado para mistura betuminosa usinada a quente.

5.6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: **Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

AMARAL, S. C. (2004). **Estudo de misturas laterita-asfalto da região metropolitana de Belém-PA para revestimentos de pavimentos**. São Paulo 2004.

AZEVEDO, A.B. (1982). **A laterita Acreana Utilizada como agregado graúdo no concreto**. São Carlos. 78p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BERNUCCI, L.B. (1995). **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego**. Tese Doutorado

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, SP, 237p.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B., **Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BRASILEIRO, F.E. (1983). **Estudo comparativo do comportamento de concretos betuminosos a quente, fabricados com agregado graúdos convencionais e não convencionais quando utilizado o ensaio de estabilidade Marshall**. Campina Grande. 110p. Dissertação (Mestrado), UFPB. Paraíba. Brasil.

BRITTO, W. J. (1978). **Uso da Laterita Pisolítica em Pavimentação**, W. J. Brito Consultoria Técnica. Pará. Brasil.

CASTRO, C.S.; SALEM, G.S. (1994), **Utilização de solos lateríticos em concreto betuminoso usinado a quente**. Belo Horizonte. 32p. Especialização – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE: **PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2013: Relatório Gerencial**. Brasília, 2013.

DNER-ME 078/94: **agregado graúdo: adesividade a ligante betuminoso**. Rio de Janeiro. 1994b.

DNER-ME 043/95 – **Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall para misturas betuminosas**. Rio de Janeiro. 1995.

DNER-ME 081/98: **agregados: determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**. Rio de Janeiro. 1998b.

DNER-ME 194/98 – **Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman**. Rio de Janeiro. 1998d.

DNIT-ES 031/2006 (2006). **Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Especificação de Serviço**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro (RJ).

GIDIGASU, M.D. (1980). **Some Contributions to Tropical Soils Engineering in Gana**, Seventh Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Accra.

GUIMARÃES, A.C.R.; MOTTA, L.M.G. (2000) **Execução de revestimentos asfáltico com agregado de laterita lavada no Acre**. Anais do 15º Encontro de Asfalto do IBP, Rio de Janeiro, p.85-95.

MACEDO, J.A.G. (1989) **Estudo comparativo das características físicas e mecânicas de agregados graúdos convencionais visando suas aplicações em concreto betuminoso usinado à quente**. Campina Grande. 216p. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal da Paraíba.

MOIZINHO, J.C. (1994). **Influência da Energia Térmica em Propriedades Mecânicas e Físicas de Agregados Lateríticos Utilizados em Concreto Betuminoso**. Dissertação de Mestrado, UFPB. Paraíba. Brasil. 107p.

MOIZINHO, J.C. (2007). **Caracterização e Uso de Agregados Lateríticos do Distrito Federal e do Estado de Roraima em CBUQ**. Tese de Doutorado, Publicação G.DM-043A/07, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 288 p.

ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S.; BROWN, E. R.; LEE, D. Y.; KENNEDY, T.W. (1991) **Hot asphalt material, mixture design and construction**. 1º ed. NAPA Research and Education Foundation, National Center for Asphalt Technology – NCAT. Lanham, Maryland, EUA.

SANTANA, H. e GONTIJO, P.R.A. (1987). **Os Materiais Lateríticos na Pavimentação de Baixo Custo no Brasil**, Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, 22ª Reunião Anual de Pavimentação, Maceió. Alagoas. Brasil.

SPECHT, Luciano Pivoto; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; PALUDO, Ilda. **Estudo laboratorial da adesividade e do desgaste de misturas asfálticas com borracha**. In: XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, 2004b.

TAVARES, A.W. (1979) **Laterita-betume pré-misturada à quente**. Publicação do DNER, Rio de Janeiro, 31p.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÃO

Este estudo apresentou como resultado o credenciamento do emprego de materiais alternativos laterita (estéril do minério de fosfato) na composição de misturas asfálticas para pavimentos flexível. No decorrer do desenvolvimento deste estudo foi realizado em laboratório as misturas asfálticas pelo método Marshall, para determinação do teor de ligante ótimo para a mistura e os consequentes parâmetros de estabilidade e fluidez. A partir dos resultados foi possível verificar que o uso da laterita betuminosa usinada a quente tem um grande potencial de aplicação frente os parâmetros normativos.

Portanto foi possível obter o dimensionamento do revestimento usando a laterita como agregados na mistura viabilizando a reutilização destes resíduos e com isto mitigando o passivo ambiental gerado pela extração do minério de fosfato no Complexo Mineral de Patrocínio - CMP.

A partir da avaliação dos resultados obtidos na campanha de ensaios é possível se ter uma correta elaboração da viabilidade do uso da laterita – LAUQ como agregado para mistura betuminosa usinada a quente.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6576: **Materiais Betuminosos – Determinação da Penetração**. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: **Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- ALVAREZ Neto, L. (1997). **Proposta de um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis para vias de baixo volume de tráfego com a utilização de solos lateríticos**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 288 p.
- AMARAL, S. C. (2004). **Estudo de misturas laterita-asfalto da região metropolitana de Belém-PA para revestimentos de pavimentos**. São Paulo 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993). ABNT NBR 12891- **Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall**. Rio de Janeiro, 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO (1976). **Utilização da laterita em pavimentação**. ABPv.- Relatório Técnico Nº 9, Editora Gráfica LUNA LTDA, Rio de Janeiro, 47p.
- AZEVEDO, A.B. (1982). **A laterita Acreana Utilizada como agregado graúdo no concreto**. São Carlos. 78p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BERNUCCI, L.B. (1995). **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego**. Tese Doutorado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, SP, 237p.
- BERNUCCI, L.B. (1997). **Módulo resiliente de solos lateríticos e sua aplicação ao dimensionamento de pavimentos de vias de baixo volume de tráfego**. I SINBATRA – I Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego, Rio de Janeiro, 2: 490-508.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B., **Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, PETROBRAS: ABEDA, 2008.
- BRASILEIRO, F.E. (1983). **Estudo comparativo do comportamento de concretos betuminosos a quente, fabricados com agregado graúdos convencionais e não convencionais quando utilizado o ensaio de estabilidade Marshall**. Campina Grande. 110p. Dissertação (Mestrado), UFPB. Paraíba. Brasil.
- BRASILEIRO, F.E. (1990). **Agregados lateríticos – Propriedades e uso em concretos betuminosos usinados a quente**. Anais do 10º Encontro de Asfalto do IBP, p.147-154.

BRITTO, W. J. (1978). **Uso da Laterita Pisolítica em Pavimentação**, W. J. Brito Consultoria Técnica. Pará. Brasil.

CASTRO, C.S.; SALEM, G.S. (1994), **Utilização de solos lateríticos em concreto betuminoso usinado a quente**. Belo Horizonte. 32p. Especialização – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE: **PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2013: Relatório Gerencial**. Brasília, 2013.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 320p. 1996.

DNER-ME 078/94: **agregado graúdo: adesividade a ligante betuminoso**. Rio de Janeiro. 1994b.

DNER-ME 043/95 – **Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall para misturas betuminosas**. Rio de Janeiro. 1995.

DNER-ME 081/98: **agregados: determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**. Rio de Janeiro. 1998b.

DNER-ME 083/98: **agregados: análise granulométrica**. Rio de Janeiro. 1998c.

DNER-ME 194/98 – **Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman**. Rio de Janeiro. 1998d.

DNIT-ES 031/2006 (2006). **Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - Especificação de Serviço**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro (RJ).

GIDIGASU, M.D. (1976). **Laterite Soil Engineering Elsevier**. Scientific Publishing Company, Amsterdam.

GIDIGASU, M.D. (1980). **Some Contributions to Tropical Soils Engineering in Gana**, Seventh Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Accra.

GUIMARÃES, A.C.R.; MOTTA, L.M.G. (2000) **Execução de revestimentos asfáltico com agregado de laterita lavada no Acre**. Anais do 15º Encontro de Asfalto do IBP, Rio de Janeiro, p.85-95.

FERNANDES, G. **Comportamento de Estruturas de Pavimentos Ferroviários com Utilização de Solos Finos e/ou Resíduos de Mineração de Ferro Associados a Geossintéticos**. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Minas Gerais 2005.

NBR 7207 **Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982.

MACEDO, J.A.G. (1989) **Estudo comparativo das características físicas e mecânicas de agregados graúdos convencionais visando suas aplicações em concreto betuminoso usinado à quente**. Campina Grande. 216p. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal da Paraíba.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **“Mecânica dos Pavimentos”**. Rio de Janeiro: 2º edição, 2005.

MOIZINHO, J.C. (1994). **Influência da Energia Térmica em Propriedades Mecânicas e Físicas de Agregados Lateríticos Utilizados em Concreto Betuminoso**. Dissertação de Mestrado, UFPB. Paraíba. Brasil. 107p.

MOIZINHO, J.C. (2007). **Caracterização e Uso de Agregados Lateríticos do Distrito Federal e do Estado de Roraima em CBUQ**. Tese de Doutorado, Publicação G.DM-043A/07, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 288 p.

MOIZINHO, J.C., CAMAPUM de Carvalho, J. & FARIA, M. M. (2005). **Agregado Laterítico do Estado de Roraima e seu Uso em Cbuq**. 36.^a Reunião Anual de Pavimentação – Rapv. Curitiba, PR.

REZENDE, L.R. (2003). **Estudo do Comportamento de Materiais Alternativos Utilizados em Estruturas de Pavimentos Flexíveis**. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-014A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 372p.

REZENDE, L. R. **Técnicas alternativas para construção de bases de pavimentos rodoviários**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia da Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília. 1999.

ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S.; BROWN, E. R.; LEE, D. Y.; KENNEDY, T.W. (1991) **Hot asphalt material, mixture design and constrution**. 1º ed. NAPA Research and Education Foundation, National Center for Asphalt Tecnology – NCAT. Lanham, Maryland, EUA.

SANTANA, H. e GONTIJO, P.R.A. (1987). **Os Materiais Lateríticos na Pavimentação de Baixo Custo no Brasil**, Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, 22ª Reunião Anual de Pavimentação, Maceió. Alagoas. Brasil.

SENÇO, Wlastermir de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Volume 1, Ed. Pini, São Paulo, 1997.

SENÇO, Wlastermir de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Volume 2, Ed. Pini, São Paulo, 2001.

SPECHT, Luciano Pivoto; CERATTI, Jorge Augusto Pereira. **Avaliação laboratorial do emprego do ligante asfalto-borracha em concreto asfáltico**. 17º Encontro do Asfalto. Rio de janeiro, 2004a.

SPECHT, Luciano Pivoto; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; PALUDO, Ilda. **Estudo laboratorial da adesividade e do desgaste de misturas asfálticas com borracha**. In: XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, 2004b.

TAVARES, A.W. (1979) **Laterita-betume pré-misturada à quente**. Publicação do DNER, Rio de Janeiro, 31p.

WESSELING, Diego Henrique. **Avaliação Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2002.

ANEXOS

ANEXO I – ANALISE GRANULOMETRICA DOS AGREGADOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Peneiras		Massa retida		Massa retida acumulado		% passante acumulada	
Serie ASTM	Abertura	Coluvio	Laterita				
(mm)	(mm)	(g)	(g)	coluvio	Laterita	Laterita	coluvio
2"	50,00	0,00	229,80	0,00	1,53	98,47	100,0
1 1/2"	38,00	0,00	662,80	0,00	6,0	94,05	100,0
1"	25,00	0,00	1933,10	0,00	18,8	81,16	100,0
3/4"	19,00	0,00	1873,70	0,00	31,3	68,67	100,0
1/2"	12,70	0,00	3283,70	0,00	43,6	56,44	100,0
3/8"	9,50	0,00	1833,90	0,00	64,8	35,22	100,0
Nº 4	4,80	16,60	3184,30	3,32	77,0	22,99	96,7
Nº 10	2,00	49,20	1833,90	13,16	78,1	21,89	86,8
Nº 16	1,20	67,10	164,80	26,58	100,0	0,00	73,4
Nº 30	0,60	109,90	0,00	48,56	100,0	0,00	51,4
Nº 40	0,42	48,50	0,00	58,26	100,0	0,00	41,7
Nº 50	0,25	40,10	0,00	66,28	100,0	0,00	33,7
Nº 80	0,15	74,10	0,00	81,10	100,0	0,00	18,9
Nº 200	0,075	42,20	0,00	89,54	100,0	0,00	10,5
FUNDOS		52,30	0,00	100,00	100,0	0,00	0,0
TOTAL		500	15000,00	-	-	-	-

