

ALTAIR CARRASCO DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E AMBIENTAL DE JAZIDAS DE
EMPRÉSTIMO DE MATERIAIS GRANULARES PARA FINS RODOVIÁRIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S729c Souza, Altair Carrasco de, 1989-
2016 Caracterização geotécnica e ambiental de jazidas de empréstimo
de materiais granulares para fins rodoviários / Altair Carrasco de
Souza. - Viçosa, MG, 2016.
xiii, 60f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Taciano Oliveira da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Mecânica do solo. 2. Pavimentos. 3. Jazidas. 4. Rodovias -
Projeto e construção. 5. Meio Ambiente. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia
Civil. II. Título.

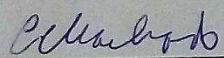
CDD 22 ed. 624.15136

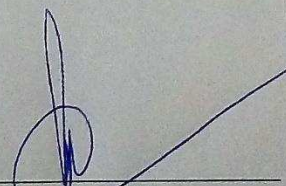
ALTAIR CARRASCO DE SOUZA

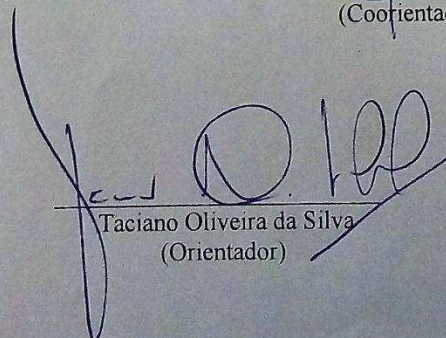
**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E AMBIENTAL DE JAZIDAS DE
EMPRÉSTIMO DE MATERIAIS GRANULARES PARA FINS RODOVIÁRIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de setembro de 2016.



Carlos Cardoso Machado

Heraldo Nunes Pitanga
(Coorientador)

Taciano Oliveira da Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Deus é maior que tudo que me acontece, Deus é grande, supremo rei. Pois tudo posso, naquele que me fortalece. Tudo posso, em Jesus Cristo.

Agradeço às mulheres da minha vida, que compreenderam e aceitaram as minhas ausências. A vocês, todo amor do mundo. Minha avô Isabel (*in memoriam*), minha mãe e minha tia Marina, simplesmente por terem me feito existir, por tanto amor, por tudo o que sou, por cada oração, por terem me proporcionado educação e amor pelos estudos, e, apesar das inúmeras dificuldades, por sempre me estimularem a continuar.

Ao professor Taciano, meu orientador, por sua ajuda no momento mais crítico, pela sua disponibilidade e incentivo nesse período, os quais foram fundamentais para realizar e prosseguir este estudo. Saliento o apoio incondicional prestado, a extraordinária e pertinente atenção com as quais acompanhou a realização deste trabalho. Não posso esquecer a sua grande contribuição para o meu crescimento profissional. Sou eternamente grato por todo o apoio.

Ao Professor Heraldo, meu co-orientador, só tenho a agradecer pelos ensinamentos (pessoais e acadêmicos), orientações, palavras de incentivo, puxões de orelha, paciência e dedicação. Você é uma pessoa ímpar, na qual busco inspirações para me tornar melhor em tudo que faço e que farei. Tenho orgulho em dizer que um dia fui co-orientado por você.

Ao Técnico Dedé, pelos auxílios nos ensaios de laboratório, quando iniciei o mestrado.

Ao Técnico Giovani, do laboratório de materiais asfálticos e misturas, muito obrigado pela ajuda, ensinamentos, orientações e contribuições, por me receber no laboratório de portas abertas e sempre estar à disposição, respondendo minhas dúvidas e me incentivando a acreditar que tudo daria certo. Realmente, deu certo, e você é parte essencial deste trabalho.

Aos estagiários do laboratório de materiais asfálticos e misturas Gêssica e Luis, agradeço pelo apoio e pelos momentos de descontração.

Aos meus amigos de Mestrado, Anselmo, Breno, Lilian e Nathalia, pelos momentos divididos que tornaram mais leve meu trabalho. Aos poucos nos tornamos mais que amigos, quase irmãos. Obrigado por dividirem comigo as angústias e as alegrias. Foi bom poder contar com vocês.

Aos meus amigos Daniel e Sinthia, obrigado pela amizade, pela atenção e por serem tão solícitos, não poupando esforços para me ajudar e tornar possível a concretização desta pesquisa, fazendo de tudo para que os meus ensaios de laboratório estivessem sempre em ordem e funcionando. Por isso e por muitas coisas, sou imensamente grato a vocês.

Aos proprietários das cascalheiras Nô da Silva e Gomide pela disponibilização das amostras de solo que foram utilizadas nesta pesquisa.

À Cilene, pelo atendimento sempre muito atencioso e prestativo na Secretaria da Pós-Graduação.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização desse sonho!

Enfim, todas as contribuições concedidas pelas pessoas supracitadas não teriam sido possíveis se não fossem da vontade de Deus. Por isso, agradeço a Ele por ter me dado a oportunidade de ingressar neste Mestrado e por ter me ajudado a superar as inúmeras dificuldades que surgiram ao longo desta jornada. Enfim, sou-lhe imensamente grato, pois diante das minhas várias limitações, Ele me conduziu até aqui.

A todos os que fizeram parte dessa “luta”, o meu MUITO OBRIGADO!!!

Sei estar abatido, e sei também ter abundância; em toda a maneira, e em todas as coisas estou instruído, tanto a ter fartura, como a ter fome; tanto a ter abundância, como a padecer necessidade. Posso todas as coisas em Cristo que me fortalece. (Filipenses 4: 12 e13)

“Em tempos de tempestade, diversas adversidades Eu me equilíbrio e requebro Nos bons momentos da vida, e nos maus tempos da vida Eu envergo, mas não quebro”. (Lenine)

Se você vier me perguntar por onde andei. No tempo em que você sonhava de olhos abertos, lhe direi: Amigo, eu me desesperava. (Belchior)

Não precisa medo não. Não precisa da timidez. Todo dia é dia de viver eu sou da América do Sul Eu sei, vocês não vão saber, mas agora sou cowboy Sou do ouro, eu sou eu Sou do mundo, sou Minas Gerais. (Milton Nascimento)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS.....	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificativas.....	3
1.4 Organização do trabalho	3
2 Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 Solos.....	5
2.2 Solos tropicais.....	5
2.2.1 Considerações iniciais.....	5
2.2.2 Solos lateríticos	7
2.2.3 Solos saprolíticos	8
2.2.4 Solos transportados	8
2.3 Classificação Geotécnica de Solos.....	9
2.3.1 Considerações iniciais.....	9
2.3.2 Sistema de Classificação Transportation Research Board (TRB).....	9
2.3.3 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).....	11
2.4 Mineração, sociedade e natureza	15
2.5 Legislação ambiental	16
2.5.1 Aspectos gerais do licenciamento ambiental	16
2.5.2 Licenciamento ambiental no Estado de Minas Gerais	17
2.5.3 Atividade de extração de cascalho sob o enfoque da legislação ambiental	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Considerações iniciais.....	20
3.2 Áreas de estudo	20
3.3 Coleta dos materiais.....	21
3.4 Métodos.....	22
3.4.1 Considerações iniciais.....	22

3.4.2 Ensaio de caracterização geotécnica.....	22
3.4.3 Ensaio de compactação e de Índice de Suporte Califórnia (CBR ou ISC).....	22
3.4.4 Normas para a utilização de materiais terrosos a serem empregados em camadas de pavimentos rodoviários flexíveis	22
3.4.5 Classificação MCT.....	23
3.4.6 Aspectos metodológicos da análise ambiental.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Considerações iniciais.....	25
4.2 Ensaio de caracterização geotécnica, equivalente de areia, compactação e CBR	25
4.3 Resultados das classificações USCS e TRB	32
4.4 Resultados da classificação MCT	32
4.5 Comparação entre os resultados das classificações TRB e USCS com os resultados da metodologia MCT	33
4.6 Análise ambiental das jazidas de empréstimos	35
4.6.1 Aspectos Gerais	35
4.6.2 Caracterização fisiográfica regional e local	35
4.6.3 Análises Ambientais	36
4.6.3.1 Introdução.....	36
4.6.3.2 Identificação e caracterização dos impactos ambientais da Jazida Nô da Silva.....	37
4.6.3.3 Identificação e caracterização dos impactos ambientais da Jazida Gomide.....	43
5. Recomendações.....	50
5.1 Considerações iniciais.....	50
5.2 Recomendações aos impactos no meio biológico	50
5.3 Recomendações aos impactos no meio físico	51
6. Conclusões	52
Referências Bibliográficas	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical	6
Figura 02. Ocorrência de solos lateríticos no território brasileiro	7
Figura 03. Tabela do sistema de Classificação TRB	10
Figura 04. Quadro do sistema de classificação SUCS	11
Figura 05. Gráfico de Plasticidade de Casagrande.....	12
Figura 06. Ábaco da classificação geotécnica pela metodologia MCT	14
Figura 07. Localização das Áreas de Estudo	20
Figura 08. Jazida de cascalho Nô da Silva.....	21
Figura 09. Jazida de cascalho Gomide.....	21
Figura 10. Curva granulométrica da amostra de solo da cascalheira Nô da Silva.....	25
Figura 11. Curva granulométrica da amostra do solo da cascalheira Gomide.....	26
Figura 12. Curvas de compactação nas energias Proctor Intermediário e Modificado das amostras Nô da Silva.....	28
Figura 13. Curvas de compactação nas energias Proctor Intermediário e Modificado das amostras Gomide.....	28
Figura 14. Ensaio CBR das amostras Nô da Silva na energia do Proctor Intermediário	33
Figura 15. Ensaio CBR das amostras Nô da Silva na energia do Proctor Modificado ...	29
Figura 16. Ensaio CBR das amostras Gomide na energia do Proctor Intermediário.	30
Figura 17. Ensaio CBR da amostra Gomide na energia do Proctor Modificado	30
Figura 18. Representação da amostra de solo da Jazida Nô da Silva e Gomide no Ábaco de classificação MCT	33
Figura 19. Degradação da flora na área da jazida Nô da Silva	38
Figura 20. Processo erosivo no talude Nô da Silva.....	39
Figura 21. Movimento gravitacional de massa na área da Jazida Nô da Silva	40
Figura 22. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da jazida Nô da Silva	41
Figura 23. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da jazida Nô da Silva	41
Figura 24. Impacto visual sobre a paisagem natural da atividade mineraria na Jazida Nô da Silva.....	42

Figura 25. Processos erosivos nas vias de acesso a área de extração na Jazida Nô da Silva	42
Figura 26. Degradação da flora na área da jazida Gomide	44
Figura 27. Presença de resíduos sólidos na área da Jazida Gomide(a)	45
Figura 28. Presença de resíduos sólidos na área da Jazida Gomide(b).....	46
Figura 29. Movimento gravitacional de massa na área da Jazida Gomide	47
Figura 30. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da Jazida Gomide(a)	47
Figura 31. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da Jazida Gomide(b)	48
Figura 32. Impacto visual sobre a paisagem natural da atividade mineraria na Jazida Gomide.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Composição granulométrica da amostra – Nô da Silva	26
Tabela 02. Composição Granulométrica da amostra – Gomide	26
Tabela 03. Resultados do Ensaio de equivalente de areia.....	27
Tabela 04. Limites de consistência e massa específica dos sólidos das amostras estudadas	27
Tabela 05. Resultados dos ensaios de compactação e de CBR nas energias Proctor Intermediário e Modificada – Nô da Silva.....	29
Tabela 06. Resultados dos ensaios de compactação e de CBR nas energias Proctor Intermediário e Modificado – Gomide.....	30
Tabela 07. Resultados das classificações MCT para os solos estudados	32
Tabela 08. Resultado das classificações USCS, TRB e da Metodologia MCT	33
Tabela 09. Agrupamento de solos entre a Metodologia MCT e os Sistemas USCS e TRB, conforme Nogami e Villibor (1995).....	34
Tabela 10. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio Biológico	37
Tabela 11. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio Físico	38
Tabela 12. Matriz de Identificação dos Impactos ambientais no meio socioeconômico	43

Tabela 13. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio Biológico	44
Tabela 14. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio Físico	46
Tabela 15. Matriz de Identificação dos Impactos ambientais no meio socioeconômico	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 01. Descrição das variáveis aplicadas na matriz de Leopold	24
---	----

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

#200	Peneira de número 200
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A.F	Areia Fina
A.G	Areia Grossa
Al	Alumínio
A.M	Areia Média
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
Bt	Horizonte B textural
c'	Coeficiente angular.
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental
CPRM	Companhia de Recursos Minerais
d'	Inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
e'	Índice de laterização
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
HRB	<i>Highway Research Board</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEF	Instituto Estadual de Floresta
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade.
ISC	Índice de Suporte Califórnia
ISSMFE	<i>International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering</i>
LL	Limite de Liquidez.
LP	Limite de Plasticidade
LP	Licença Prévia
LO	Licença de Operação
LVA	Latossolo Vermelho- Amarelo
MCT	Miniatura Compactado Tropical
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Mn	Manganês
MSC	<i>Master of Science</i>
NBR	Norma Brasileira
Pi	Perda de Massa por Imersão em Água

PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
RAD	Recuperação de Área Degradada
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEMAD	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
SUPRAM	Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
UFV	Universidade Federal de Viçosa
USCS	<i>Unified Soil Classification System</i>

RESUMO

SOUZA, Altair Carrasco, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2016. **Caracterização geotécnica e ambiental de jazidas de empréstimo de materiais granulares para fins rodoviários.** Orientador: Taciano Oliveira da Silva. Coorientadores: Eduardo Antônio Gomes Marques e Heraldo Nunes Pitanga.

Esta pesquisa avaliou o comportamento físico e mecânico de dois solos coletados em duas jazidas de cascalho localizadas no município de Cajuri/MG, com o intuito de avaliar a sua utilização como material de construção de camadas de pavimentos rodoviários flexíveis. Além disso, o trabalho realizou identificação, caracterização e proposição de minimização dos impactos ambientais observados nas áreas de extração. As jazidas investigadas são Jazida Nô da Silva e Jazida Gomide. A metodologia utilizada englobou a realização de ensaios tradicionais de caracterização geotécnica de: granulometria conjunta, conforme a NBR 7181 (ABNT, 1984a), limites de *Atterberg*, conforme a NBR 6459 (ABNT, 1984b) e a NBR 7180 (ABNT, 1984c), massa específica dos grãos do solo, conforme a NBR 6508 (ABNT, 1984d), e equivalente de areia, conforme o método de ensaio ME 054 (DNER, 1997). Foram realizados os ensaios de compactação nas energias dos Proctor intermediário e modificado, conforme a NBR 7182 (ABNT, 1986), e a determinação dos valores do índice CBR (ISC) e da expansão CBR conforme o método de ensaio ME 049 (DNER, 1994a), além dos ensaios da classificação MCT conforme CLA 259 (DNER, 1996) e ME 258 (DNER, 1994). Em seguida, foi realizada a análise ambiental por meio da identificação dos impactos ambientais, utilizando o método *check list*, e, posteriormente, aplicado numa matriz de Leopold adaptada. As amostras não apresentaram resultados satisfatórios na energia Proctor intermediário de compactação, sendo o seu uso não recomendável nas camadas de base de pavimentos rodoviários flexíveis. Entretanto, na energia Proctor modificado, os resultados atendem às normas contidas em DNIT (2006), de forma que sua aplicabilidade nas camadas de base de pavimentos flexíveis é recomendada. Contudo, a classificação MCT dos mesmos solos não os identifica como os mais adequados tecnicamente para fins rodoviários. Em relação aos resultados da análise ambiental, foram identificadas as presenças de nove impactos ambientais distintos, sendo dois impactos no meio biológico, seis impactos no meio físico e um impacto no meio socioeconômico, ressaltando-se que apenas o impacto no meio socioeconômico configurou-se como positivo.

ABSTRACT

SOUZA, Altair Carrasco, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2016. **Geotechnical and environmental characterization of granular materials loan deposits for road purposes.** Adviser: Taciano Oliveira da Silva. Co-advisers: Eduardo Antônio Gomes Marques and Heraldo Nunes Pitanga.

This research evaluated the physical and mechanical behavior of two soils collected in two gravel deposits located in the municipality of Cajuri/MG, in order to evaluate their use as a layer construction material for flexible road pavements. In addition, this paper carried out the identification, characterization, and proposition of minimization of the environmental impacts observed in the extraction areas. The deposits investigated are named Nô da Silva and Gomide. The methodology involved the accomplishment of traditional geotechnical characterization tests: aggregate granulometry, according to NBR 7181 (ABNT, 1984a), Atterberg limits, according to NBR 6459 (ABNT, 1984b) and NBR 7180 (ABNT, 1984c), specific mass soil grains, according to NBR 6508 (ABNT, 1984d), and sand equivalent, according to the ME 054 (DNER, 1997) test method. Compaction tests were performed on the intermediate and modified Proctor energies according to NBR 7182 (ABNT, 1986) and the determination of CBR index (ISC) and CBR expansion values, according to ME 049 (DNER, 1994a), as well as the tests of the MCT classification, according to CLA 259 (DNER, 1996) and ME 258 (DNER, 1994). Then, the environmental analysis was carried out, through the identification of the environmental impacts, using the checklist method, and later applied in an adapted Leopold matrix. The samples did not present satisfactory results in the Proctor intermediate compaction energy, therefore, their use is not recommended in the base layers of flexible road pavements. However, in Proctor modified energy, the results meet the standards contained in DNIT (2006), so that its applicability in the base layers of flexible pavements is correct. However, the MCT Classification of the same soils does not identify them as the most technically suitable for road use. In relation to the results of the environmental analysis, the presence of nine distinct environmental impacts were identified: two impacts on the biological environment, six impacts on the physical environment and one impact on the socioeconomic environment. It should be noted that only the impact on the socioeconomic environment has been positive.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

As estradas desempenham um importante papel na configuração e na organização do espaço territorial brasileiro. O modal rodoviário, em relação aos demais, ainda é soberano, sendo possível antever que a permanência deste quadro não deverá sofrer mudanças significativas no decorrer dos anos(SOUZA JUNIOR,2011).Nesse sentido, é necessário manter a qualidade do sistema rodoviário, com a execução de obras que viabilize uma melhor de infraestrutura. As obras de infraestrutura rodoviária necessitam de diversos tipos de materiais, e, em sua grande parte, utilizam-se quantidades significativas de materiais terrosos. Entretanto a falta de solos com as características geotécnicas exigidas pelos órgãos rodoviários para a construção de estradas torna-se um dos grandes entraves para o setor de transportes no Brasil(MACHADO,PEREIRA E PIRES,2003).

O conhecimento sobre a qualidade dos materiais geológicos empregados para fins de uso em obras de pavimentação é realizado por meio de ensaios de caracterização geotécnica e ensaios físicos de campo e/ou de laboratório, cujos objetivos são a determinação das propriedades dos materiais. Com o propósito de que o resultado de um ensaio possa fidelizar o comportamento e as propriedades reais de um material, é necessário que as normas técnicas sejam obedecidas na execução das metodologias propostas, não devendo nunca o pesquisador adotar metodologias próprias de execução, a não ser que estas já tenham sido experimentadas e fundamentadas na literatura técnica.No entanto, não se deve somente quantificar suas propriedades, mas também obter dados comparativos entre elas, com o propósito de estabelecer a influência das condições de fabricação destes materiais e propor a adequação dos mesmos para a utilização estimada.

A obtenção dos materiais usualmente empregados em obras de pavimentação se dá através do processo de extração mineral, em áreas popularmente conhecidas como cascalheiras. Conforme Macedo (1998), a cascalheira é uma atividade de mineração que está incluída na categoria de mineração de não-metálicos. Geralmente, por não estar incluída nas políticas territoriais, a mineração de não-metálicos no Brasil causa enormes impactos ambientais mal controlados, podendo apresentar maior ou menor amplitude, em vista da sua localização, do planejamento de lavra, entre outros.Usualmente, quando o

empreendimento apresenta pequeno porte e potencial poluidor baixo, nota-se uma deficiência na sua fiscalização e no seu monitoramento, acarretando em práticas de extração amadoras, que ocasionam a acentuação dos impactos negativos sobre o meio natural.

Nesse trabalho, os materiais analisados são solos granulares, obtidos através da extração mineral em áreas denominadas cascalheiras. Por isso, os materiais também apresentam o nome de cascalho. Além disso, a análise ambiental realizada proporcionou a identificação dos impactos ambientais e com isso a possibilidade de sugerir medidas corretivas e mitigadoras para os mesmos. As duas jazidas investigadas são conhecidas como Cascalheira Nô da Silva e Cascalheira Gomide, estando localizadas na zona rural do município de Cajuri- MG.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a viabilidade técnica de emprego de materiais de duas jazidas de empréstimos localizadas na microrregião de Viçosa/MG, em específico no município de Cajuri/MG, para fins de pavimentação rodoviária. Adicionalmente, pretende-se abordar questões relativas ao licenciamento ambiental e identificar e caracterizar os impactos ambientais observados nos empreendimentos.

1.2.2 Objetivos específicos

Seguem os objetivos específicos, visando atender ao objetivo geral proposto:

- a) Realização da caracterização geotécnica dos materiais de empréstimo das jazidas investigadas;
- b) Realização de ensaios da metodologia MCT para caracterização dos materiais de empréstimo das jazidas investigadas;
- c) Determinação de parâmetros mecânicos de CBR dos materiais de empréstimo das jazidas investigadas;
- d) Análise ambiental das jazidas estudadas, descrevendo e propondo medidas mitigadoras para os impactos ambientais observados sobre os meios biológico, físico e socioeconômico.

1.3 Justificativas

A motivação para realização desta pesquisa provém do crescente aumento do transporte de cargas pelo modal rodoviário, ensejando, assim, a necessidade de projetos rodoviários mais adequados ao suporte do tráfego cada vez mais acentuado. Nessa perspectiva, busca-se avaliar, por meio da realização de ensaios físicos e mecânicos de laboratório, a viabilidade técnica do uso de solos locais nas camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis rodoviários.

A análise ambiental também foi incitada, uma vez que os estudos acerca da qualidade geotécnica dos materiais precisam estar relacionados aos estudos ambientais. Isso se justifica pelo fato de que é imprescindível conhecer as condições de retirada desses materiais do meio físico e os seus impactos, com o propósito de inserir práticas de sustentabilidade nos processos de planejamento das obras de pavimentação. Sendo assim, estudos integrados se fazem presentes nas obras de engenharia.

1.4 Organização do trabalho

De modo a atender à organização deste trabalho, o primeiro capítulo é a presente introdução, e os demais foram organizados da seguinte forma:

- a) No capítulo 2, é apresentada a revisão bibliográfica, direcionada aos assuntos de interesse deste trabalho, a qual servirá de suporte para atender aos objetivos desta pesquisa;
- b) No capítulo 3 (materiais e métodos), expõe-se a prática metodológica adotada: a área de estudo, a caracterização geológica da região, os pontos de coleta das amostras de solos, os ensaios de caracterização física e mecânica utilizados e a metodologia de análise ambiental utilizada;
- c) No quarto capítulo, são apresentados e confrontados os resultados dos ensaios geotécnicos de laboratório. Neste capítulo, também são analisadas e discutidas as características físicas e as propriedades mecânicas destes solos;
- d) No quinto capítulo, são apresentadas as análises ambientais das jazidas estudadas, identificando e caracterizando os impactos ambientais observados sobre os meios biológico, físico e socioeconômico;

- e) No sexto capítulo, são apresentadas as recomendações e as propostas de medidas mitigadoras para os impactos ambientais observados;
- f) No sétimo, são apresentadas as considerações finais deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solos

A necessidade de compreensão da distribuição espacial dos solos e da sua dinâmica interna requer a integração de diferentes disciplinas do conhecimento, principalmente as denominadas Ciências da terra ou Geociências. Segundo Vidal-Torrado, Lepsch e De Castro(2005), os fatores pedogenéticos são estudados por disciplinas específicas, deste modo, os solos assumem diversos conceitos, determinados conforme a epistemologia de cada ciência.

De acordo a NBR6502(ABNT,1995),o solo é classificado como “material procedente da decomposição das rochas pela ação de agentes intempéricos, podendo ou não ter matéria orgânica em sua constituição”.

Segundo Vargas(1977), na engenharia geotécnica, o solo poderia ser entendido como todo material da crosta terrestre que não oferecesse resistência à escavação mecânica e que perdesse sua capacidade de suporte em contato prolongado com a água.

Nota-se, claramente, que o solo possui diferentes enfoques em consonância com sua aplicação prática. Nesse trabalho de pesquisa, será dada maior ênfase ao conceito utilizado pela Geotecnia, em especial aos trabalhos realizados com enfoque em infraestrutura de transportes.

2.2 Solos tropicais

2.2.1 Considerações iniciais

O *Committe on Tropical Soil of ISSMFE*, citado por Nogami e Villibor(1995), conceitua como solo tropical aquele que apresenta, nas propriedades e no comportamento, algumas peculiaridades, em decorrência de processos atuantes nas regiões tropicais úmidas. Essa temática tem um entendimento conceitual e prático bastante complexo, frente às diversas conceituações presentes nas literaturas brasileira e estrangeira (VILLIBOR e NOGAMI,2009).

A inexistência de uma terminologia acerca das propriedades dos solos tropicais que seja de consenso entre os pesquisadores acarreta, ocasionalmente, na utilização errônea

de alguns termos, de modo que solos com características bem divergentes recebem as mesmas terminologias e a solos similares são auferidas terminologias diversas. Medrado (2009,p.22) frisa o fato de que “as terminologias tradicionais são para solos de clima frio e temperado, não considerando as peculiaridades dos solos tropicais, assim contribuindo para o aumento da confusão terminológica”.

Em decorrência dessa complexidade, Nogami e Villibor(1981) elaboraram a Classificação Geotécnica MCT(Miniatura, Compactado, Tropical), dirigida para a identificação e classificação de solos tropicais de comportamento laterítico e não-laterítico. Essa sistemática vem sendo habitualmente inserida e difundida no meio técnico rodoviário brasileiro, por identificar os solos através dos seus comportamentos hidráulico e mecânico.

Os solos tropicais são divididos em dois amplos grupos: os solos lateríticos e os saprolíticos. Na Figura 01, está ilustrado um perfil esquemático de ocorrência dos tipos de solos tropicais.

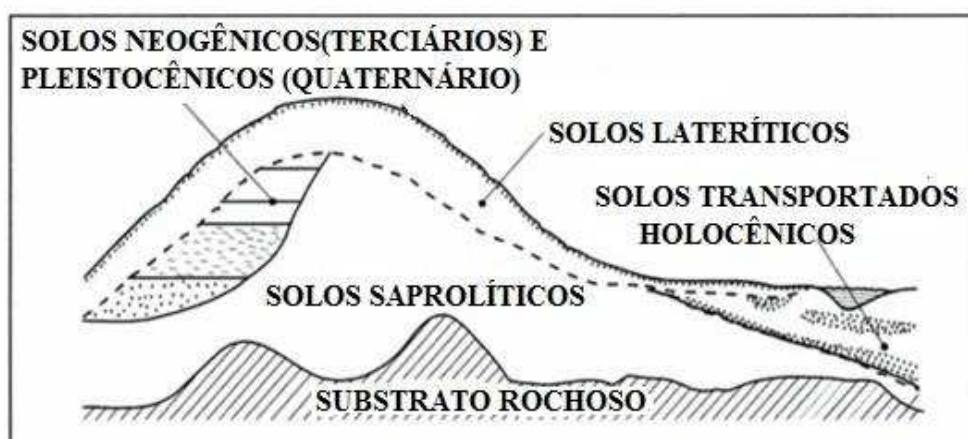


Figura 01. Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical
Fonte: Villibor *et al.*,2007, p.19.

Nota-se que os processos pedogenéticos dos solos brasileiros conferem características bem distintas em comparação aos solos formados em climas temperados. Conforme Godoy e Bernucci(2002), uma das principais características peculiares dos solos tropicais lateríticos, que os diferenciam dos solos de áreas temperadas, é a existência de cimentação natural ocasionada pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Assim sendo, essas particularidades devem ser levadas em conta nos projetos de engenharia rodoviária.

2.2.2 Solos lateríticos

A pedogênese de solos lateríticos é mais comum em regiões de clima úmido ou subúmido de áreas intertropicais. Apesar disso, a presença, mesmo que em pequena quantidade, de solos lateríticos em regiões que não possuem tais condições climáticas pode servir de indicativo de paleoclimas, ou seja, de que tal faixa geográfica apresentou tais climas em um passado geologicamente recente. No Brasil, a presença de solos lateríticos (Figura 02) se dá em quase todo o território.

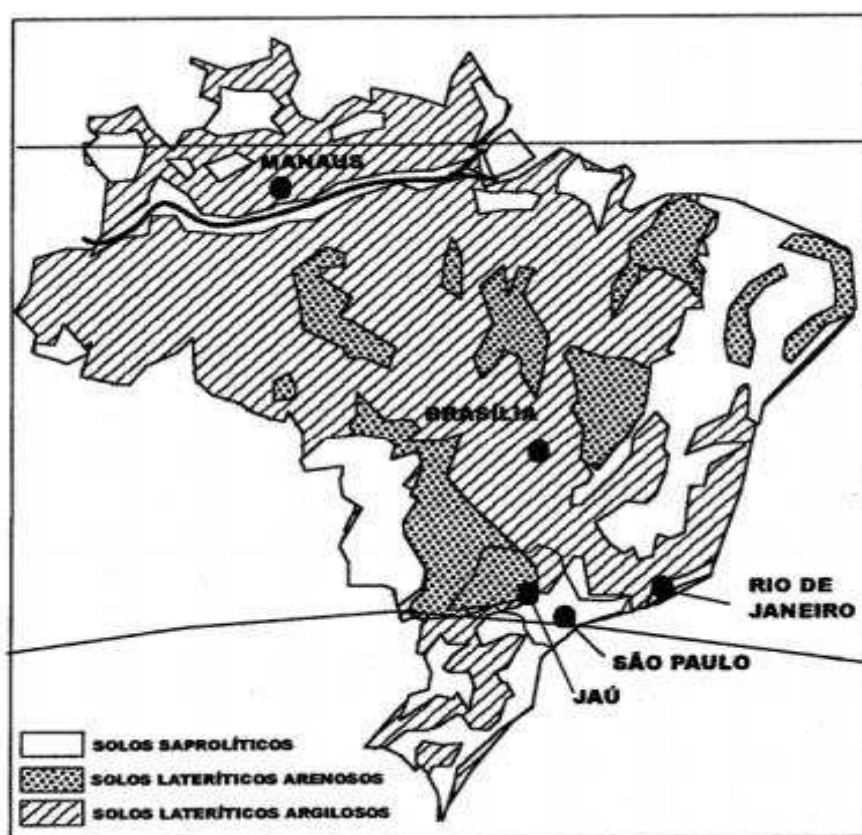


Figura 02. Ocorrência de solos lateríticos no território brasileiro
Fonte: Nogami *et al.*, 2000, p. 23.

Os solos lateríticos são materiais superficiais, típicos de faixas tropicais que apresentam áreas bem drenadas. A partir disso, ocorre um processo de intemperismo químico, ocasionando o surgimento de uma concreção ferruginosa sobre o material. De acordo com Batista e Leite (2010, p. 256), “esses solos são caracterizados por uma composição mineralógica dominada por quartzo, óxidos/hidróxidos de Fe-Al-Mn e caulinita como argilomineral predominante”. Na grande maioria, os comportamentos

peculiares dos solos tropicais podem ser compreendidos por meio de sua mineralogia, que, devido às condições climáticas, apresenta maiores variações (NOGAMI E VILLIBOR,1995).

Para que um solo seja classificado como tropical, ele deve ter passado por processos geológicos e/ou pedológicos típicos de regiões tropicais úmidas. Portanto, a classificação de um solo como tropical não está restrita às áreas de clima tropical úmido (NOGAMI E VILLIBOR, 1995).

2.2.3 Solos saprolíticos

Os solos saprolíticos são resultantes dos processos de intemperismo da rocha matriz pelos agentes intempéricos físicos (chuva, sol, vento), tendo a mesma sua estrutura preservada.

Esses materiais decorrentes do intemperismo constituem na parte abaixo da camada superficial do solo, ocorrendo nas áreas de superfície apenas por influência das ações antrópicas ou por processos intempéricos. Os solos saprolíticos apresentam processos pedogenéticos incompletos, podendo ser classificados como solos residuais jovens, em diferença com os solos superficiais lateríticos maduros (VILLIBOR E NOGAMI, 2009).

2.2.4 Solos transportados

Os solos transportados são materiais que foram desprendidos pelos agentes erosivos do lugar onde foram originalmente formados. Medrado(2009, p.13) destaca o fato de que “tanto os solos residuais quanto os transportados formaram-se a partir do período Cenozóico, podendo, inclusive, estarem em processo de formação”. Os solos transportados são classificados em: solo aluvial, solo lacustre, solo coluvial e solo eólico.

Os solos aluviais têm sua formação através da deposição de materiais sólidos que são carregados pelas águas dos rios. Os solos lacustres são sedimentos que estão em suspensão e, assim, são levados por cursos d’água, que quando perdem energia fazem com que os sedimentos mais grossos se depositem. Os solos coluviais têm como agente transportador a gravidade, através dos movimentos gravitacionais de massa. Consequentemente, a composição do material vai variar de acordo com as litologias encontradas na parte superior. Os solos eólicos são formados pelos ventos.

Para Nogami e Villibor(1995),os solos transportados recentes não podem ser classificados como solos tropicais. Estes solos normalmente são desaconselháveis para projetos de engenharia, pois são materiais inconsolidados, permeáveis e sujeitos a escorregamentos (DNIT, 2006).

2.3 Classificação Geotécnica de Solos

2.3.1 Considerações iniciais

As classificações geotécnicas tradicionais surgiram em países de clima temperado, sendo baseadas em propriedades índices, que são os limites de Atterberg, e na análise granulométrica dos solos(SANT'ANNA,1998).Entre os sistemas mais utilizados no Brasil, estão o Sistema Unificado de Classificação de Solos(*Unified Soil Classification System – USCS*) e o sistema de classificação TRB,antigo *Highway Research Board* (HRB), atual TRB(*Transportation Research Board*).

Na Geotecnia, encontram-se algumas classificações consideradas como não convencionais, as quais são baseadas em índices, como a coesão de solos e o peso específico real dos sólidos. Uma dessas classificações é a MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), que, atualmente, é a de maior uso na geotecnia brasileira, em especial no meio rodoviário (SANTOS, 2006). É baseada em ensaios de compactação e perda de massa por imersão de corpos de prova. Recentemente, alguns órgãos rodoviários do país passaram a adotar, para os solos finos, a classificação MCT.

2.3.2 Sistema de Classificação *Transportation Research Board* (TRB)

O sistema de classificação TRB, antigo HRB, é a classificação tradicionalmente mais empregada no meio rodoviário para a caracterização de solos. Entretanto, apresenta limitações quanto à classificação de solos tropicais. Senço(2007, p. 201) enfatiza que esta classificação, em termos de pavimentação, faz parte da linguagem cotidiana da atividade de engenharia rodoviária.

Neste sistema de classificação, os solos passam por uma rotina de ensaios, que são os de granulometria e os de limite de consistência. De acordo com os resultados obtidos nos ensaios, os solos são enquadrados em grupos que vão de A1 a A7 (Figura 03). Os solos granulares estão concentrados nos grupos A-1, A-2 e A-3. Os solos silto-argilosos

estão divididos em A-4, A-5, A-6 e A-7. São considerados solos granulares aqueles que retêm mais de 35% em peso na peneira nº 200 (0,075 mm) e solos silto-argilosos os que retêm menos de 35%, quando passados na mesma peneira (MALANCONI, 2013).

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 max.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Figura 03. Tabela do sistema de Classificação TRB
Fonte: DNIT (2006,p.56).

Além da classificação em um dos grupos e subgrupos, o sistema de classificação necessita do cálculo do índice de grupo (IG), que, para solos de climas temperados, pode ser relacionado com o valor de CBR do solo. De acordo com Silva (2009, p. 13), “o índice de grupo atribui ao solo um valor de 0 a 20, o qual varia inversamente à capacidade de suporte do subleito, sob boas condições de drenagem e compactação”.

O sistema de classificação TRB não diferencia o comportamento e a aplicabilidade de solos tropicais para serem utilizados como camadas de pavimentos, levando até mesmo à subutilização de muitos solos tropicais de características excelentes para pavimentação (BALBO,2007). Isso demonstra a inviabilidade do emprego de tal classificação geotécnica para grande parte dos solos brasileiros (MALANCONI,2013).

2.3.3 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

O Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) foi desenvolvido com o objetivo de fazer a seleção de materiais para projetos de pavimentos aeroportuários, sendo conhecido no meio geotécnico como Sistema de Classificação de Aeroportos. Esta metodologia tem por base a identificação dos solos através de sua qualidade textural e de plasticidade, agrupando-lhes segundo o seu comportamento quando usado em estradas, aeroportos, aterros e fundações (DNIT, 2006).

Com essa metodologia, a classificação é feita por meio de um símbolo e de um nome. Os solos são enquadrados em três classes distintas, em função da percentagem de material que ficará retido na peneira n.º200: solos de graduação grossa e solos de graduação fina, subdivididos em 15 grupos diferentes (Figura 04). Ainda se distingue um terceiro grupo, dos solos altamente orgânicos.

Os pedregulhos e as areias que apresentam baixa quantidade de material passante na peneira n.º200 ou mesmo a ausência de finos podem ser considerados bem ou mal graduados.

Símbolos dos Grupos	Significados dos Símbolos dos Grupos de Solos
GW	Cascalho bem graduado, cascalho e areia sem muitos finos
GP	Cascalho mal graduado, cascalho e areia sem muitos finos
GM	Cascalho siltooso com areia
GC	Cascalho argiloso com areia
SW	Areia bem graduada, com cascalho e sem muitos finos
SP	Areia mal graduada, com cascalho e sem muitos finos
SM	Areia siltosa, mistura de areia e silte ou limo
SC	Areia argilosa, mistura de areia e argila
ML	Material siltooso e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltoosas ou argilosas, ou siltes argilosos com baixa plasticidade
CL	Argilas magras, argilas de plasticidade baixa ou média, argilas com cascalho, areia ou silte
OL	Siltes orgânicos, argilosos ou não, com baixa plasticidade
MH	Siltes, limos, areia finas micáceas ou diatomáceas, solos siltoosos, siltes elásticos
CH	Argilas gordas, de plasticidade média ou alta
OH	Argilas orgânicas de plasticidade média ou alta, siltes orgânicos
Pt	Turfa e outros solos altamente orgânicos

Figura 04. Quadro do sistema de classificação SUCS

Fonte: DNIT (2006, p.63).

Os solos que apresentam granulometria menor que 0,42mm devem ter seus limites determinados para que haja a classificação da fração fina. Para o aprimoramento na

identificação dos grupos, a utilização do gráfico de plasticidade de Casagrande (Figura 05) é recomendada.

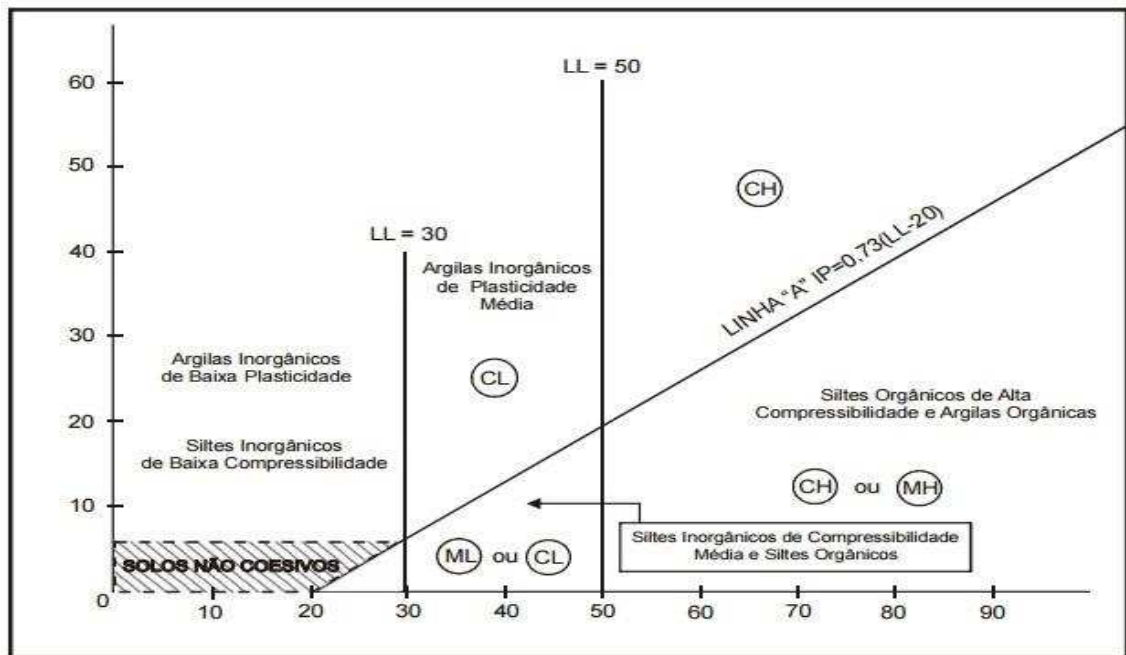


Figura 05. Gráfico de Plasticidade

Fonte: (DNIT, 2006, p.60).

No gráfico de plasticidade de Casagrande, no eixo das abscissas, verifica-se o valor do Limite de Liquidez, e, no eixo das ordenadas, o valor do Índice de Plasticidade do solo analisado. O gráfico de Casagrande surgiu baseado em ensaios de solos de clima temperado. Por esse motivo, os solos tropicais não se enquadram adequadamente dentro no gráfico.

Os limites de consistência e os índices associados são utilizados na identificação e classificação dos solos e em métodos semi-empíricos de projeto. Os limites de consistência não fornecem ao pesquisador nenhuma informação sobre a estrutura do solo, visto que a mesma é destruída quando ocorre o preparo da amostra para a realização do ensaio de laboratório.

O sistema de classificação unificada de solos, embora classifique os solos com base em suas propriedades de engenharia, não apresenta caráter interpretativo, visto que o sistema não classifica o solo como sendo bom ou ruim para o uso nas camadas de pavimentos rodoviários (SANT'ANNA, 1998). Esse sistema A classificação não é muito utilizado no Brasil, onde atualmente é mais comum utilizar a classificação TRB e a metodologia MCT (MALANCONI, 2013).

2.3.4 Classificação MCT

Com a finalidade de melhorar a identificação e a caracterização dos solos tropicais, no início da década de 1980, Nogami e Villibor propuseram uma nova sistemática de classificação denominada MCT, M(Miniatura), C (Compactada), T (Tropical). De acordo com DNIT(2006), a metodologia MCT auxilia no entendimento das características peculiares dos solos tropicais, permitindo descrever as especificidades desses solos quanto ao comportamento laterítico ou saprolítico, quantificando propriedades importantes para uso em obras de infraestrutura rodoviária.

Os ensaios necessários para classificar os solos finos conforme procedimento da metodologia MCT são os ensaios de Compactação Mini-MCV e de Perda de massa por Imersão (WERNECK E MOMM, 2007).

Segundo Ferreira e Ferreira (2012), a classificação através do Mini-MCV usa de coeficientes empíricos estimados, que são associados às seguintes interpretações:

a) o coeficiente c' , segundo DNIT (2006, p. 67), “é a inclinação da reta que passa pelo ponto de mini-MCV =10, interpolada entre os trechos retos das curvas mais próximas”. Este coeficiente está relacionado à distribuição do tamanho dos grãos no comportamento dos solos. De acordo com Ferreira e Ferreira (2012), os valores que se encontram abaixo de 0,5 são relacionados a solos muito arenosos e valores superiores a 2,0 estão relacionados a argilas típicas. Os valores que se enquadrem entre 0,2 e 2,0 se referem aos siltes arenosos, argilas arenosas e argilas siltosas;

b) o coeficiente d' , segundo DNIT (2006, p. 67), “é a inclinação, multiplicada por 103, do ramo seco da curva de compactação correspondente a 10 golpes”. Esse coeficiente está relacionado à natureza laterítica do material, sendo que areias bem graduadas apresentam coeficiente bem alto, e areais mal graduadas, silte e argilas que não possuam comportamento laterítico apresentam índices bem baixos. De acordo com Ferreira e Ferreira (2012), as argilas lateríticas apresentam coeficientes maiores que 20 e argilas expansivas, menores que 15. Já os solos siltosos, caulíníticos e micáceos apresentam coeficientes inferiores a 10;

c) P_i é determinado para o mini-MCV = 10 e, na curva que relaciona as pedras por imersão dos corpos-de-prova ensaiados e os mini-MCVs correspondentes, para $\Delta H = 2$ mm;

d) O coeficiente e' (DNIT, 2006, p. 67) é o índice de laterização do solo, calculado através da equação:

$$e' = 3 \sqrt{\frac{p_i}{100} + \frac{20}{d'}}$$

Equação 1

Nesta classificação, Nogami e Villibor (1981) propuseram dois grupos de solos que podem apresentar comportamento laterítico (L) ou comportamento não laterítico (N) subdivididos em sete grupos de acordo com os valores de e' e c' . Os solos com comportamento laterítico estão subdivididos em três grupos: LA - areia laterítica quartzosa; LA' - solo arenoso laterítico; e LG' - solo argiloso laterítico. Os solos não lateríticos ou conhecidos como saprolíticos estão subdivididos em 4 grupos: NA – areias, siltes e misturas de areias e siltes com predominância de grão de quartzo e/ou mica, não laterítico; NA' – misturas de areias quartzosas com finos de comportamento não laterítico (solo arenoso); NS' – solo siltoso não laterítico; e NG' – solo argiloso não laterítico.

Através do ábaco de classificação (Figura 06), pode-se observar a distribuição destes solos conforme os valores do coeficiente c' e do índice e' . O coeficiente c' , associado à argilosidade do solo, corresponde às abscissas do ábaco da classificação MCT, e o índice e' reflete o caráter laterítico do solo e corresponde às ordenadas.

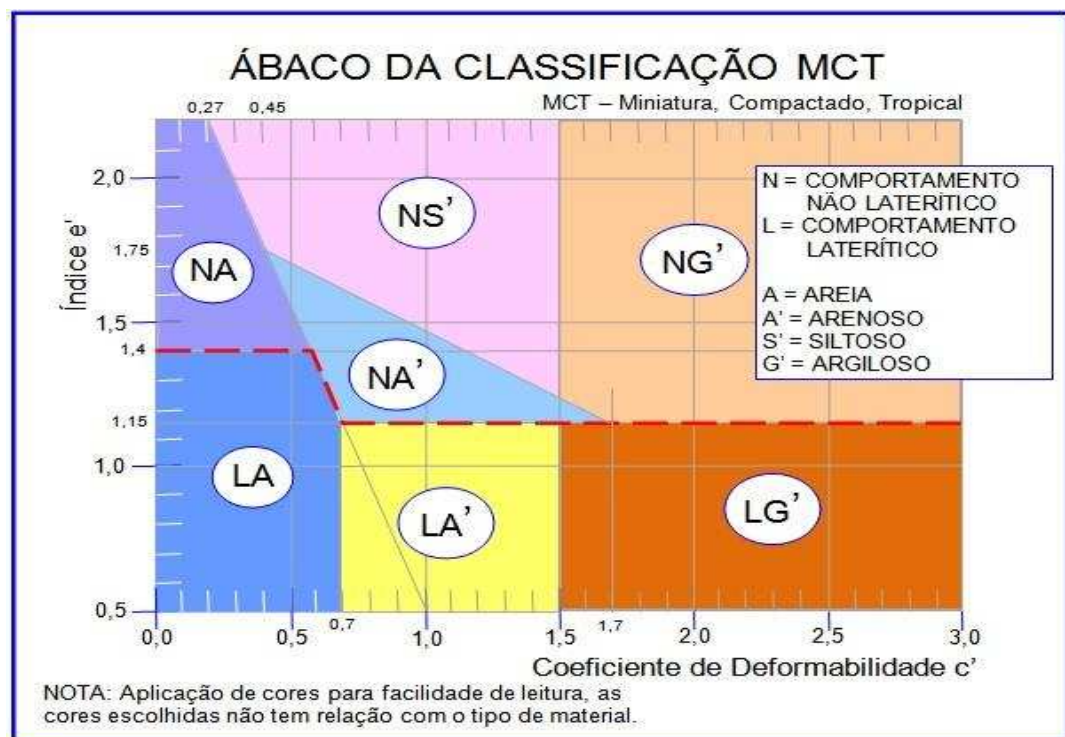


Figura 06. Ábaco da classificação geotécnica pela metodologia MCT

Fonte: Disponível em <http://www.ebanataw.com.br/terrapleno/solotropical.html> Acesso em set. 2016

2.4 Mineração, sociedade e natureza

Desde os primórdios das antigas civilizações, a extração mineral, em suas diversas especificidades, sempre foi um agente de propulsão econômica, seja de maneira direta ou indireta(Melo,2008).A atividade é reconhecida internacionalmente como atividade impulsionadora do desenvolvimento, tendo grande participação no crescimento econômico de diferentes nações (PINTO,2013). Nessa perspectiva, um fator relevante na construção histórica da economia e no desenvolvimento regional, através das incursões a procura de minérios preciosos no período colonial.

A indústria de extração de minerais, pelas características de suas práticas de execução, pode constituir em atividade não sustentável, visto que os recursos naturais, em sua grande maioria, não são renováveis. Todavia, as propostas de instalação de quaisquer atividades minerárias devem ser pautadas no planejamento futuro das instalações através dos zoneamentos e planos de recuperação dos passivos ambientais após o descomissionamento, para que não ocorra desequilíbrio dos ecossistemas afetados.As atividades minerárias são de grande valia para o desenvolvimento social e econômico de uma sociedade, entretanto são responsáveis por impactos ambientais negativos muitas vezes irreversíveis(BRANDT,1998).

Sendo assim, no decorrer dos anos, o meio físico tem sofrido alterações, seja de cunho natural ou de ações antropogênicas. As dinâmicas naturais são lentas, entretanto as alterações antrópicas são rápidas e, assim, alteram as paisagens de forma mais notória. A partir disso, o planejamento da atividade mineraria desde a sua implantação, com escolha das áreas, dos métodos de extração e do uso pós fechamento estão entre os principais elementos para toda análise e desenvolvimento positivo da atividade, assim mitigando os impactos ambientais durante essas etapas e, com o fechamento, os passivos ambientais, ao passo que a seleção inadequada tem muitos efeitos negativos no meio natural e socioeconômico.

A administração dos recursos ambientais deve reconhecer a mineração como atividade essencial à colocação dos recursos nas mãos do homem para a sua satisfação; embora potencialmente poluidora, deve ser acompanhada e orientada para que os sítios de mineração não conduzam à degradação na qualidade de vida em suas vizinhanças.

É preciso através de um desenvolvimento ambientalmente sustentável conseguir com que o crescimento econômico e o meio ambiente sejam compatíveis e ao mesmo

tempo interdependentes e necessários. A alta produtividade, a tecnologia moderna e o desenvolvimento econômico podem e devem coexistir com um ambiente saudável.

2.5 Legislação ambiental

2.5.1 Aspectos gerais do licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos da política de gestão ambiental do território brasileiro estabelecido através da Lei Federal nº 6.938 (BRASIL, 1981). Considerado um mecanismo base para o fortalecimento do desenvolvimento sustentável no país, sendo considerado como um procedimento administrativo obrigatório pelo qual o órgão ambiental licencia a localização, a instalação, a ampliação e a operação. A resolução do CONAMA nº 237 (BRASIL, 1997), distribui as competências segundo os âmbitos nacional, regional, estadual e local. Além dessas, mais recentemente, foi publicada a Lei Complementar nº 140 (BRASIL, 2011), que discorre sobre a competência estadual e federal para o licenciamento, tendo como fundamento a localização geográfica do empreendimento.

Independente da esfera do âmbito federativo, o procedimento de licenciamento é dividido em três etapas. A primeira etapa é a obtenção da licença prévia (LP), a mesma sendo concedida na fase preliminar, quando o projeto acaba de ser elaborado, visto que autoriza a realização da atividade em determinado espaço e sua exequibilidade em relação às questões ambientais. Nessa etapa, pode ser pedida ao requerente uma relação complementar de estudos temáticos, para auxiliar a tomada de decisão sobre a liberação da licença.

A próxima licença a ser requerida é a licença de instalação (LI), e nessa etapa o empreendedor apresenta o projeto de execução das instalações para que o órgão responsável analise e julgue o projeto. Sendo concedida a licença de instalação, o requerente tem seis anos para a instalação do empreendimento ou atividade acordada no processo de concessão da licença. Por fim, o empreendedor precisa solicitar a licença de operação (LO), e nessa fase o requerente solicita a autorização para começar as atividades, sendo a autorização expedida após o órgão competente verificar o cumprimento dos acordos constantes nas licenças anteriores (MMA, 2002).

Os requerimentos de quaisquer das licenças devem estar em conformidade com a fase atual do empreendimento, caso o mesmo não tenha requerido anteriormente à

prevista em lei, deve requerê-las juntamente com a licença de operação da parte já em atividade e, juntamente, fazer a solicitação da licença prévia para a nova atividade. Se por eventualidade já tiverem a LO, deverá ser requerida solicitada a LP para a situação pretendida (FIRJAN,2004).

Cândido(2011,p.08) ressalta que “essas licenças não eximem o empreendedor da obtenção de outras autorizações específicas junto aos órgãos competentes, dependendo da tipologia do empreendimento e dos recursos naturais envolvidos”.

O licenciamento não pode ser entendido como sendo um volume de documentos técnicos burocráticos de diversas áreas, mas sim um instrumento documentado de mediação de conflitos, através do diálogo entre as diferentes esferas da sociedade e entes federados(PEDRO,2016).Diversas iniciativas têm sido tomadas para aperfeiçoar o sistema de licenciamento ambiental sem que se recorra a instrumentos econômicos. Os órgãos ambientais têm buscando orientar os empreendimentos quanto a importância da regularização ambiental.

2.5.2 Licenciamento ambiental no Estado de Minas Gerais

O licenciamento ambiental no Estado de Minas Gerais segue os mesmos moldes do modelo adotado em nível federal através do Sistema Nacional de Meio Ambiente(SISNAMA).No Estado, a regulamentação ambiental é feita através do Sistema Estadual de Meio Ambiente-SISEMA,pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável-SEMAD, responsável pelas ações do Estado relativas à proteção e à defesa do meio ambiente, à gestão dos recursos hídricos e à articulação das políticas públicas ambientais com o objetivo de assegurar a gestão dos recursos ambientais para o desenvolvimento sustentável(MINAS GERAIS,2006).

As atribuições do licenciamento e da autorização ambiental de funcionamento são realizadas através de órgão colegiado deliberativo e normativo na esfera estadual, que é composto pelas unidades regionais colegiadas e pelas Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável(SUPRAMs), órgãos técnicos que subsidiam regionalmente os processos, com representação da Fundação Estadual de Meio Ambiente(FEAM), do Instituto Mineiro de Gestão das Águas(IGAM) e do Instituto Estadual de Florestas- IEF.

Segundo a Deliberação Normativa (DN) do COPAM nº 74 (2004), o processo de regularização ambiental poderá ser constituído em relação ao porte e ao potencial poluidor do empreendimento em questão, seguindo a regra de concepção de Autorização

Ambiental de Funcionamento (AAF) para empreendimentos que se enquadrem dentro das classes 1 e 2 e de Licenciamento Ambiental para aqueles classificados como Classe 3 a 6.

O processo se inicia com junto à Secretaria Estadual de Meio Ambiente, com o preenchimento do Formulário Integrado de Caracterização do Empreendimento (FCI), conforme a atividade a ser licenciada (DER-MG, 2010). Nesses formulários, são apresentadas as características da atividade e seus possíveis impactos no meio físico e intervenções em áreas de preservação permanente. Após a análise realizada pela equipe técnica, a SEMAD gera um documento denominado Formulário de Orientação Básica Integrado (FOBI), o qual apresenta a classe à qual o empreendimento se enquadra, além de apresentar a listagem das exigências para a continuidade do rito processual (DER-MG, 2010). Todo material especificado no FOBI é protocolado na SEMAD, que distribui o processo para as SUPRAMs, que procedem à análise do mesmo (DER-MG, 2010).

2.5.3 Atividade de extração de cascalho sob o enfoque da legislação ambiental

Para que ocorra a legalização, os empreendimentos devem requerer as licenças ambientais, conforme o código de mineração (Brasil, 1968), em consonância com a lei 6.657 (BRASIL, 1978), e posteriormente conforme a portaria nº 266 (BRASIL, 2008). De início, o interessado deve requerer um tipo de licença específica para a retirada de cascalho junto à prefeitura municipal. A atividade de extração somente poderá ter início após a aquisição do registro de licenciamento junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e da licença ambiental fornecida pelo órgão competente.

O requerimento é feito através de formulário, o qual precisa ser protocolado dentro de um prazo determinado que varia conforme a regional de localização do empreendimento. Conforme o artigo 4º da Portaria DG DNPM nº 266/08 os empreendimentos devem apresentar apenas ao pedido: a licença específica do município, explorada; planta e memorial descritivo da área e plano de lavra. O documento atenta para o fato de que todos os projetos técnicos deverão ter a anotação de responsabilidade técnica - ART original do profissional responsável.

O solicitante deve requerer junto ao DNPM, no período máximo de sessenta dias corridos a partir da data da solicitação de registro, as licenças ambientais posteriores ou a comprovação de que as mesmas foram solicitadas junto ao órgão responsável. Conforme

a Deliberação Normativa (DN) do COPAM nº 74 (2004), a extração de areia e cascalho para utilização imediata na indústria de construção civil está inserida na classe 3, através do código A-03-01-08. O procedimento para o licenciamento dessas classes já se encontra no subitem 2.5.2 desta dissertação.

Vale destacar que essas licenças não isentam o empreendedor de requerer a obtenção de outras autorizações específicas junto a outros órgãos competentes, de acordo com a tipologia da atividade e dos recursos naturais envolvidos (BRASIL, 1997).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, são apresentados os materiais selecionados para a realização desta pesquisa, juntamente com os respectivos métodos e os equipamentos utilizados para a execução dos mesmos.

3.2 Áreas de estudo

A coleta das amostras dos solos selecionados ocorreu no mês de janeiro de 2016, na cidade de Cajuri, município do sudeste de Minas Gerais, na região geograficamente conhecida como Zona da Mata Norte Mineira.

As áreas de estudo são denominadas pelos nomes de cascalheira Nô da Silva e cascalheira Gomide, localizadas na zona rural do município, possuindo coordenadas geográficas $20^{\circ}46'46.23''\text{S}; 42^{\circ}49'12.68''\text{O}$ e $20^{\circ}47'29.35''\text{S}; 42^{\circ}49'9.63''\text{O}$, respectivamente. A Figura 07, obtida através do aplicativo de tecnologia de localização espacial *Google Earth*, ilustra a localização das amostras em relação ao município supracitado.



Figura 07. Localização das Áreas de Estudo

Fonte: *Google Earth*, 2016.

3.3 Coleta dos materiais

Foram selecionadas duas jazidas de empréstimo(Figuras 08 e 09), exploradas comercialmente e com potencialidade de exploração de materiais para fins rodoviários. De cada jazida de empréstimo, foram coletados, aproximadamente, 250 quilos de solo para a realização da rotina de ensaios geotécnicos, físicos e mecânicos de laboratório.



Figura 08. Jazida de cascalho Nô da Silva
Fonte: O autor, 2016.



Figura 09. Jazida de cascalho Gomide
Fonte: O autor, 2016.

3.4 Métodos

3.4.1 Considerações iniciais

A rotina de ensaios desse estudo foi planejada e executada no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) e no Laboratório de Materiais Asfálticos e Misturas (LMAM) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV). As amostras de solos, após coletadas, foram secas ao ar em bandejas de metal, peneiradas na #4, quarteadas, acondicionadas em sacos plásticos lacrados e armazenadas em local protegido de intempéries, para a realização da rotina de laboratório.

3.4.2 Ensaios de caracterização geotécnica

As amostras foram caracterizadas geotecnicamente através dos ensaios de: granulometria conjunta pela NBR 7181 (ABNT, 1984a), limites de *Atterberg* pelas NBR 6459 (ABNT, 1984b) e NBR 7180 (ABNT, 1984c), massa específica dos grãos do solo pela NBR 6508 (ABNT, 1984d) e equivalente de areia, conforme o método de ensaio ME054 (DNER, 1997).

3.4.3 Ensaios de compactação e de Índice de Suporte Califórnia (CBR ou ISC)

Os ensaios de compactação foram executados nas energias dos Proctor intermediário e modificado, segundo a NBR 7182 (ABNT, 1986), para fins de determinação do peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e da umidade ótima (W_{ot}) das amostras nas respectivas energias de compactação. Estabelecidos os parâmetros ótimos de compactação, determinaram-se os valores do índice CBR (ISC) e da expansão CBR das amostras, de acordo com o ME 049 (DNER, 1994a).

3.4.4 Normas para a utilização de materiais terrosos a serem empregados em camadas de pavimentos rodoviários flexíveis

Para serem empregados corretamente em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis, os solos granulares precisam estar de acordo com as normas contidas em DNIT (2006). A seguir, as exigências das normas citadas anteriormente:

- Materiais para base devem apresentar:
 - ✓ $\text{CBR} \geq 80\%$
 - ✓ Expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb),
 - ✓ Limite de liquidez (LL) $\leq 25\%$
 - ✓ Índice de plasticidade (IP) $\leq 6\%$, sendo que se o equivalente de areia for superior a 30%, o LL e o IP não precisam satisfazer as condições.

- Materiais para sub-base devem apresentar:
 - ✓ C.B.R. $\geq 20\%$,
 - ✓ I.G. = 0
 - ✓ Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb).

Caso o limite de liquidez seja superior a 25% e/ou índice de plasticidade seja superior a 6%, o material pode ser empregado em base (satisfeitas as demais condições), desde que o equivalente de areia seja superior a 30%.

3.4.5 Classificação MCT

Após a rotina de ensaios geotécnicos, as amostras foram classificadas conforme a Metodologia MCT(NOGAMI E VILLIBOR,1995). Para isto, foram realizados os ensaios de Mini-MCV e de Perda de massa por imersão, segundo o CLA 259(DNER, 1994b), além da realização de consultas complementares ao procedimento PRO 003 (DNER, 1994c) e aos métodos de ensaio ME 228 (DNER, 1994d), ME 256 (DNER, 1994e) e ME 258 (DNER, 1994f).

3.4.6 Aspectos metodológicos da análise ambiental

A análise ambiental foi realizada através do método *check list* baseado em Silva(1994) e Brito(2001) e Sanchez(2008),para identificar e descrever os impactos ambientais observados nas áreas de estudo, sendo os impactos identificados em caderneta de campo. O método Check List é usualmente empregado na análise e identificação de impactos ambientais em todas as três fases do empreendimento (FREITAS, GOMES & AQUINO,2016). Entretanto nesse estudo foi utilizado para analisar os impactos da fase atual do empreendimento, que se encontra já em fase operação.

Esta linha metodológica apresenta como vantagem seu emprego imediato na avaliação qualitativa de impactos mais relevantes (OLIVEIRA e MOURA, 2009). No escritório, os impactos foram descritos através do olhar de campo em consonância com a literatura técnica, e as medidas propostas como recomendação para a minimização dos impactos observados seguiram essa mesma máxima.

Posteriormente, foi empregado o método de matriz de interação ou “Matriz de Leopold “adaptada.Segundo(SANCHEZ,2008),as matrizes facilitam a análise e a valoração dos impactos sobre os diferentes componentes da paisagem, separados em meios físico, biológico e socioeconômico. Esse método permite identificar por atividade os impactos observados e os efeitos potenciais sobre as variáveis ambientais”, sendo um dos métodos mais utilizadas na elaboração de EIA/RIMA. Para um melhor entendimento, são apresentadas, no Quadro 01, as variáveis, suas simbologias e a suas descrições utilizadas na classificação dos impactos e suas descrições.

Variável	Atributos	Simbologia
Natureza	Positiva, Negativa ou Indeterminada	P,N,I
Causa	Direta, Indireta ou Ambas	D,I,A
Ocorrência	Certa, Provável, Improvável	C,P,I
Início	Imediato, Curto, Médio ou a Longo prazo	I,C,M,L
Duração	Temporário, Permanente, Cíclico, Recorrente	T,P,C,R
Importância	Grande, Média, Pequena	G,M,P
Possibilidade de reversão	Reversível, Parcialmente reversível, Irreversível	R,P,I
Possibilidade de Compensação	Sim ou Não	S,N
Possibilidade de Potenciação	Sim ou Não	S,N
Programa e Medidas	Sim ou Não	S,N

Quadro 01. Descrição das variáveis aplicadas na matriz de Leopold
Fonte: CHAVES; MEURER & TOBALDINI,2010)

4 RESULTADOS EDISCUSSÃO

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos na composição desta pesquisa, os quais correspondem: (i) aos ensaios de caracterização geotécnica; (ii) aos ensaios de compactação e de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR); (iii) às classificações USCS e TRB e da metodologia MCT dos solos analisados; e (iv) à análise ambiental.

4.2 Ensaio de caracterização geotécnica, equivalente de areia, compactação e CBR

As curvas granulométricas das amostras de solo das cascalheiras Nô da Silva e Gomide estão representadas nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

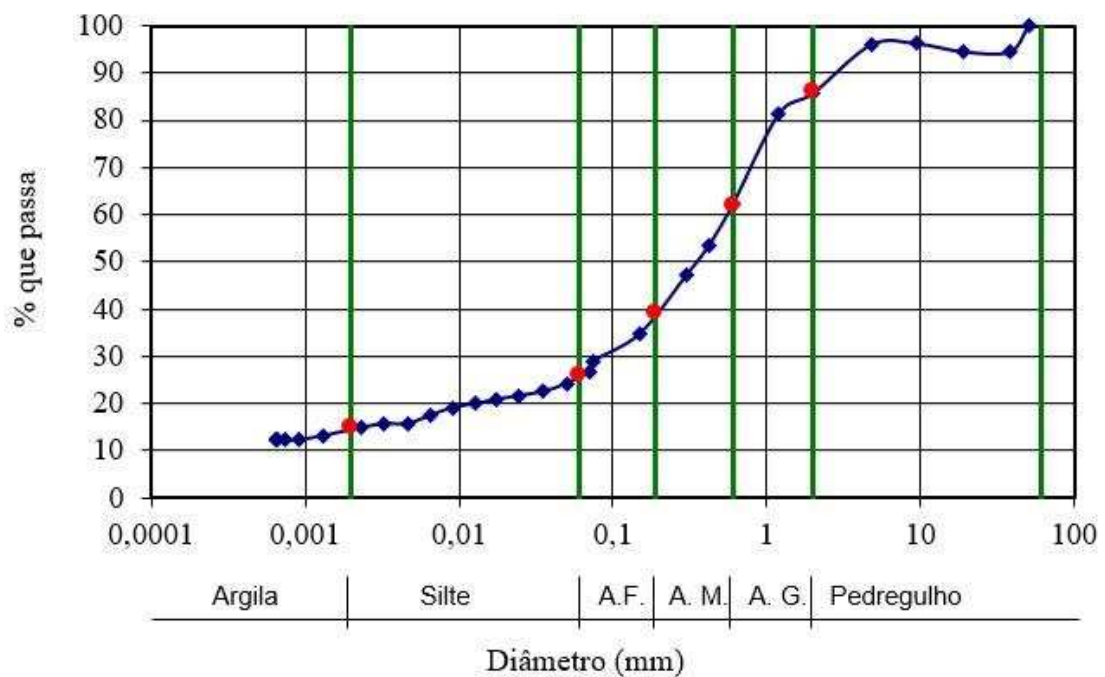


Figura 10. Curva granulométrica da amostra de solo da cascalheira Nô da Silva

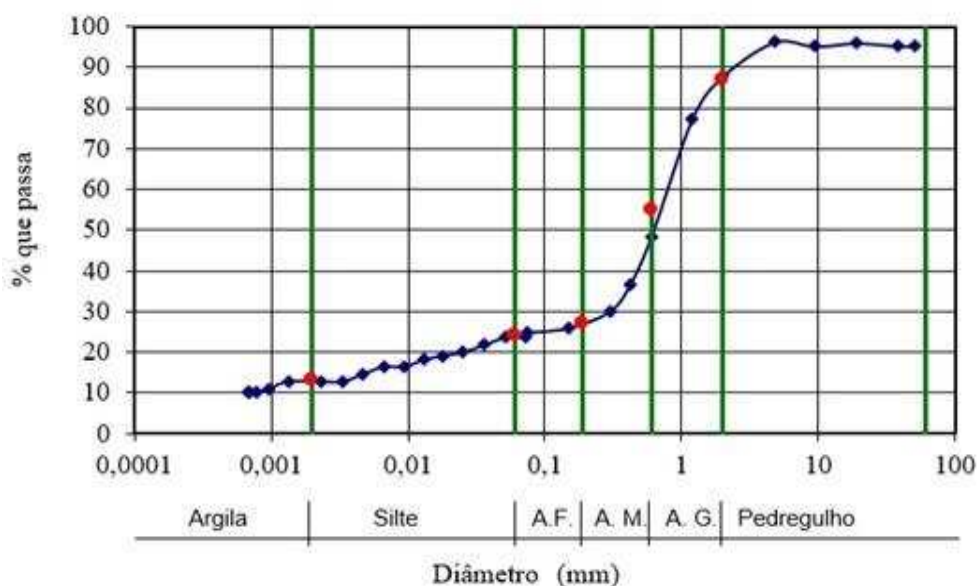


Figura 11. Curva granulométrica da amostra do solo da cascalheira Gomide

Os resultados da distribuição granulométrica (ABNT,1995) dos solos analisados das jazidas investigadas estão apresentados a seguir. Na amostra de solo da jazida Nô da Silva (Tabela 01), foi constatado que 60% do material são compostos por areia. A terminologia mais adequada para o material ensaiado é areia média argilo-pedregulhosa siltosa.

Tabela 01. Composição granulométrica da amostra – Nô da Silva

Composição granulométrica (%)					
Argila	Silte	Areia			Pedregulho
15	11	60			14
		Fina	Média	Grossa	
		4	37	19	

A amostra de solo da jazida Gomide(Tabela 02) apresenta 63% de areia. A terminologia mais adequada para o solo ensaiado seria areia média argilo-siltosa pedregulhosa.

Tabela 02. Composição Granulométrica da amostra – Gomide

Composição granulométrica (%)					
Argila	Silte	Areia			Pedregulho
13	11	63			13
		Fina	Média	Grossa	
		5	38	20	

O ensaio de equivalente de areia serve para determinar a porcentagem de finos plásticos ou da fração argilosa contida no solo. Gouveia (2006 p.20) salienta para o

fato que “o excesso de argila, em geral, é prejudicial ao desempenho de qualquer agregado, quer nas bases de cascalho, nas misturas betuminosas ou no concreto de cimento Portland”. Os valores obtidos para as amostras de solo das jazidas Nô da Silva e Gomide estão contidos na Tabela 03.

Tabela 03. Resultados do ensaio de equivalente de areia

Amostra	Primeira Repetição(%)	Segunda Repetição(%)	Terceira Repetição(%)	Media Final (%)
Nô da Silva	33	32	34	33
Gomide	34	37	38	36

A Tabela 04 apresenta os resultados dos limites de consistência dos solos e de massa específica dos sólidos, sendo possível identificar que os dois solos possuem plasticidade média (PM).

Tabela 04. Limites de consistência e massa específica dos sólidos das amostras estudadas

Amostra	LL(%)	LP(%)	IP (%)	Massa específica dos sólidos (g/cm ³)
Nô da Silva	38,00	23,00	15,00	2,670
Gomide	37,00	23,00	14,00	2,664

Segundo, os procedimentos técnicos contidos em DNIT (2006), para bases e sub-bases de pavimentos flexíveis, os valores de LL precisam ser inferiores ou iguais a 25% e o IP inferior ou igual a 6%. Quando esses limites forem ultrapassados, o equivalente de areia deverá ser maior que 30%. A partir desses dados, apesar dos valores de LL e IP estarem acima do valor recomendado, esses solos podem ser utilizados em obras rodoviárias, visto que apresentam valores médios de equivalente de areia superiores a 30%.

As Figuras 12 e 13 apresentam, respectivamente, as curvas de compactação nas energias Proctor Intermediário e Modificado das amostras das jazidas Nô da Silva e Gomide.

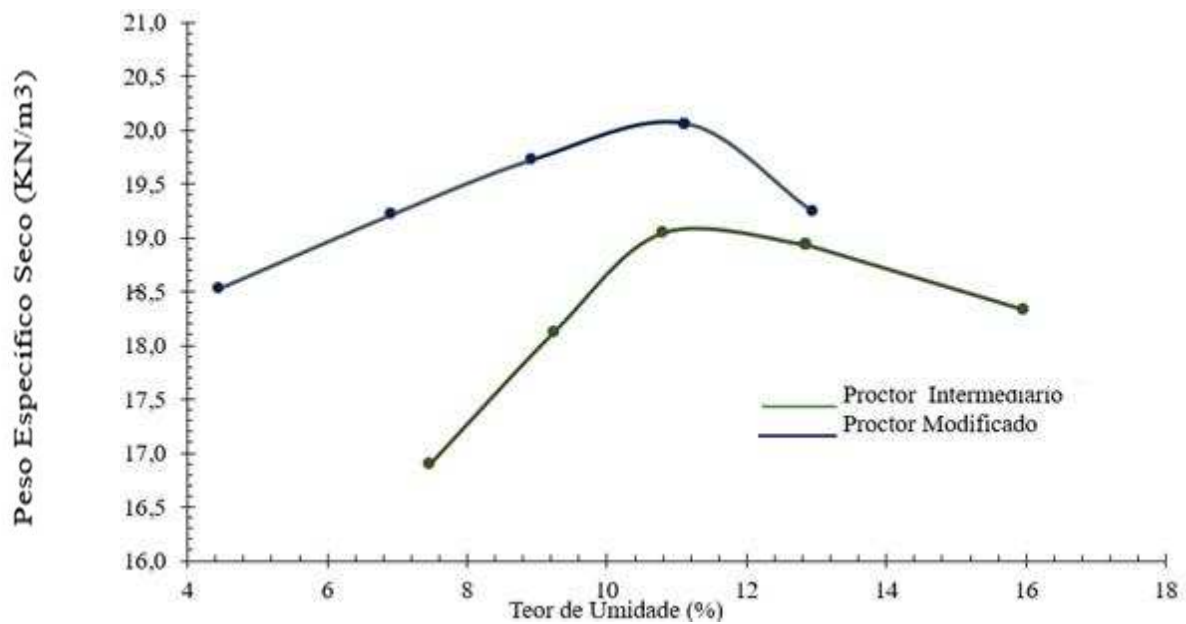


Figura 12. Curvas de compactação nas energias Proctor Intermediário e Modificado das amostras Nô da Silva

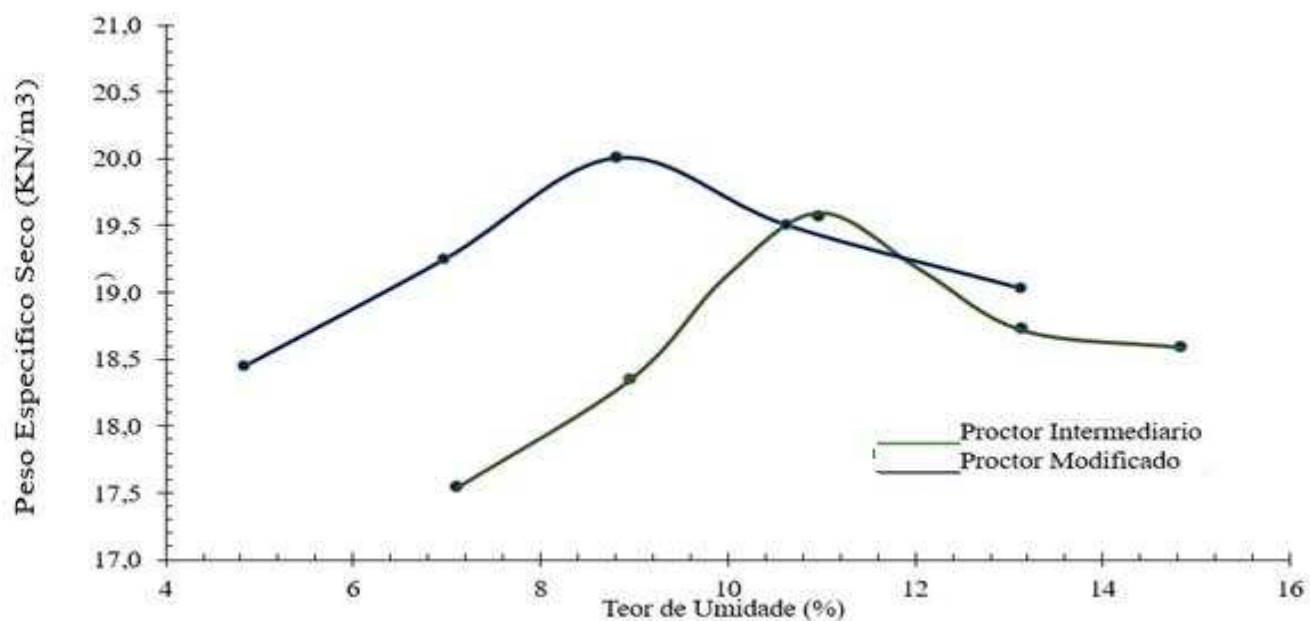


Figura 13. Curvas de compactação nas energias Proctor Intermediário e Modificado das amostras Gomide

As Figura 14 e 15 ilustram as curvas de CBR e de Expansão-CBR versus o teor de umidade das amostras de solo Nô da Silva, nas energias de compactação do Proctor Intermediário e Modificado, respectivamente.

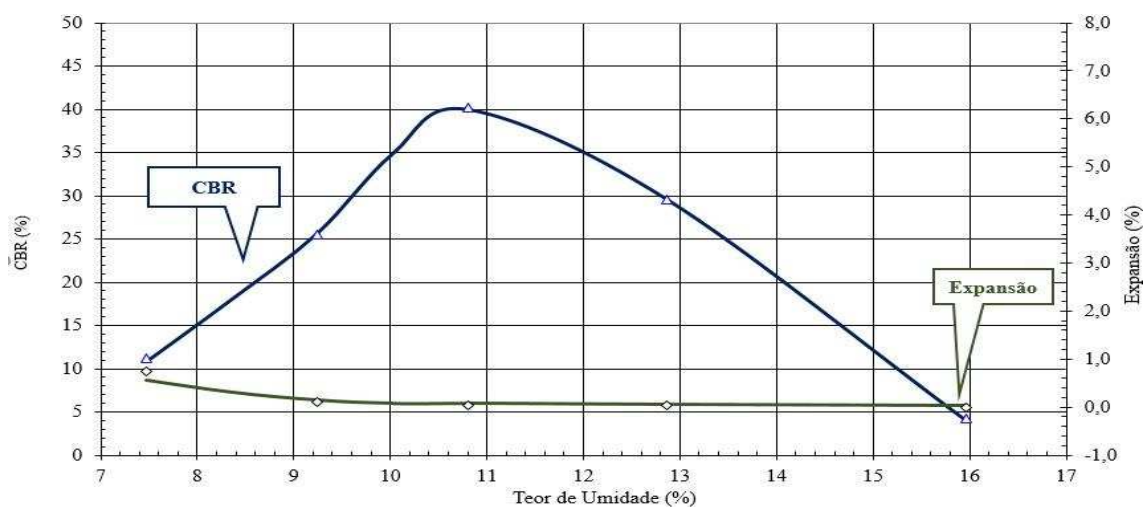


Figura 14. Ensaio CBR das amostras Nô da Silva na energia do Proctor Intermediário

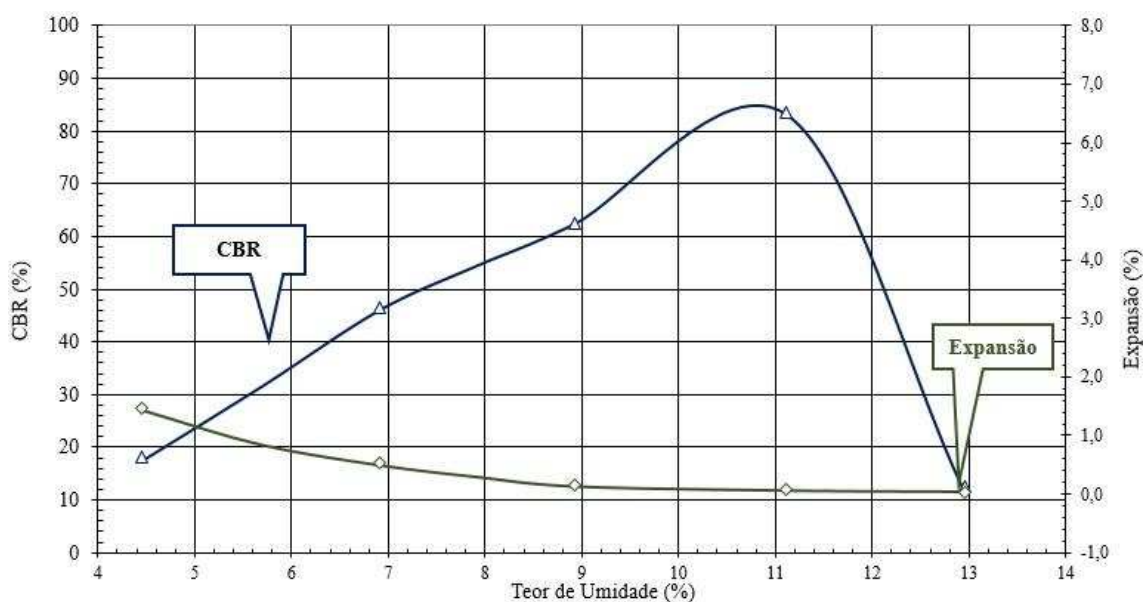


Figura 15. Ensaio CBR das amostras Nô da Silva na energia do Proctor Modificado

O peso específico aparente seco máximo, o teor de umidade ótimo e os valores de CBR e de Expansão-CBR encontrados para a amostra da jazida Nô da Silva para a condição de ótimo encontram-se na Tabela 05.

Tabela 05. Resultados dos ensaios de compactação e de CBR nas energias Proctor Intermediária e Modificada – Nô da Silva

Energia	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	w ótima (%)	CBR (%)	Expansão-CBR (%)
Intermediária	19,13	11,00	37,10	0,14
Modificada	20,14	10,59	84,60	0,07

A amostra de solo da jazida Nô da Silva, ensaiada na energia de compactação Proctor Intermediário, não atendeu às exigências técnicas para ser empregada como camada de base em pavimentos rodoviários flexíveis, uma vez que o seu valor de CBR foi inferior a 80 %.

Com os valores de CBR e de Expansão-CBR, encontrados, esse material, trabalhado em pelo menos 100% da energia de compactação intermediária, poderá ser utilizado como camada de sub-base granular uma vez que atingiu um CBR superior a 20% (TRINDADE *ET AL.*, 2011).

A amostra de solo da jazida Nô da Silva, ensaiada na energia de compactação Proctor Modificada, atendeu às exigências técnicas para ser empregada como camada de base em pavimentos rodoviários flexíveis, uma vez que o seu valor de CBR foi superior a 80%. O seu valor de Expansão-CBR também atende à exigência da Norma, por ser inferior a 0,5% (TRINDADE *ET AL.*, 2011). Esse material poderá ser empregado para tráfego que, durante o período de projeto, ultrapassar o valor de $N = 5 \times 10^6$ passagens do eixo padrão de 8,2 toneladas. Vale lembrar que essas camadas acabadas (de reforço do subleito ou da sub-base ou da base) devem ter uma espessura maior ou igual a 10cm e menor ou igual a 20cm. A camada superior a 20 cm, quando necessária a sua utilização, deverá ser subdividida em camadas parciais (TRINDADE *ET AL.*, 2011).

As Figuras 16 e 17 representam as curvas de CBR e de Expansão-CBR versus o teor de umidade, nas energias de compactação do Proctor Intermediário e Modificado, respectivamente, para a amostra de solo Gomide.

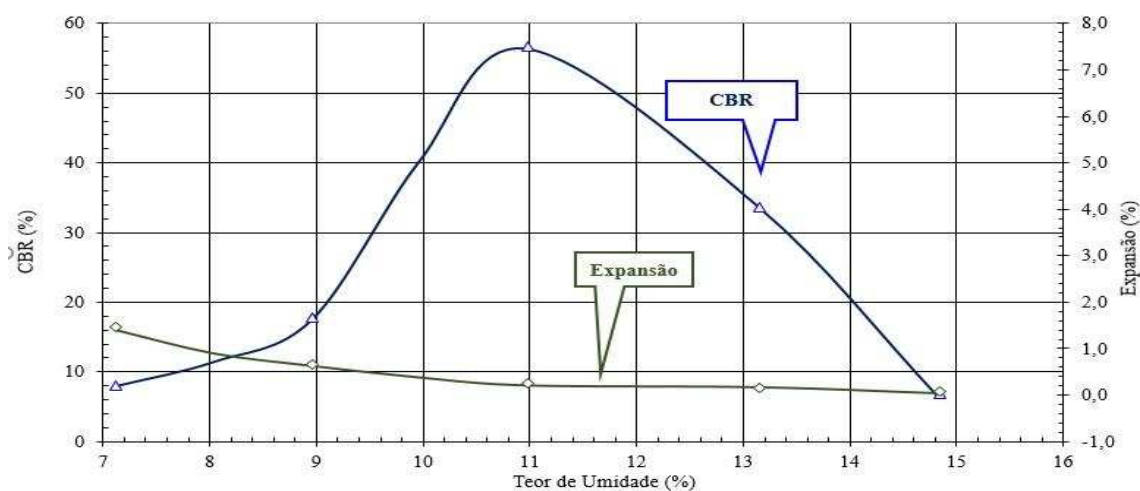


Figura 16. Ensaio CBR das amostras Gomide na energia do Proctor Intermediário.

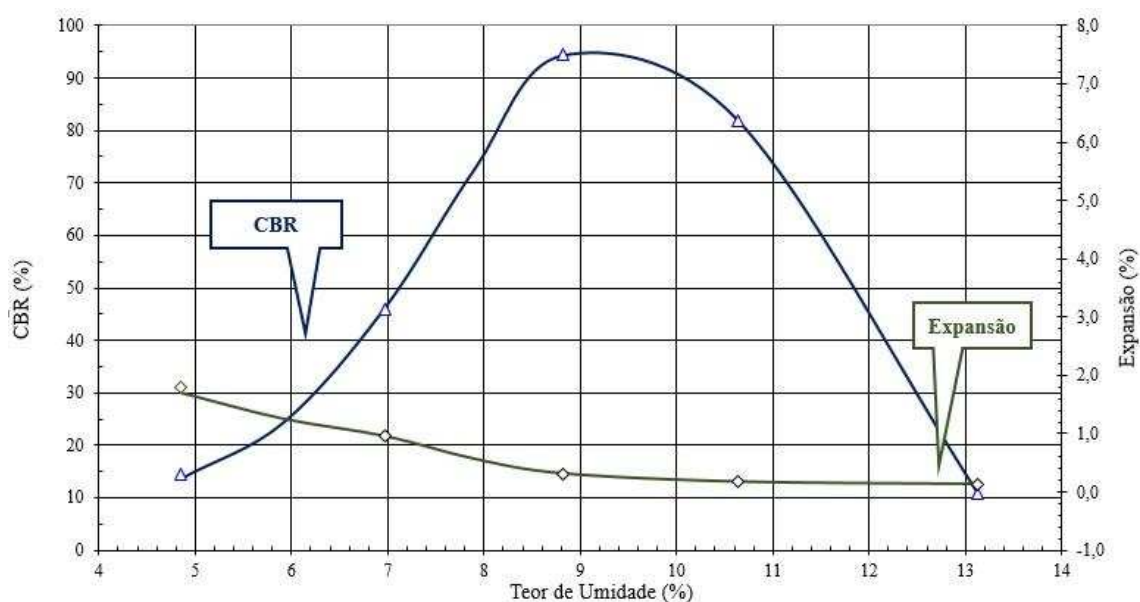


Figura 17. Ensaio CBR da amostra Gomide na energia do Proctor Modificado

O peso específico aparente seco máximo, o teor de umidade ótimo e os valores encontrados de CBR e de Expansão-CBR da amostra Gomide para a condição de ótimo encontram-se na Tabela 06.

Tabela 06. Resultados dos ensaios de compactação e de CBR nas energias Proctor Intermediário e Modificado – Gomide

Energia	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	w _{ótima} (%)	CBR (%)	Expansão-CBR(%)
Intermediária	19,59	11,60	56,40	0,16
Modificada	20,01	8,84	94,20	0,28

A amostra de solo da jazida Gomide, ensaiada na energia de compactação Proctor Intermediário, não atendeu às exigências técnicas para ser empregada como camada de base em pavimentos rodoviários flexíveis, uma vez que o seu valor de CBR foi inferior a 80%.

Com os valores de CBR e de Expansão-CBR encontrados, esse material, trabalhado em pelo menos 100% da energia de compactação intermediária, poderá ser utilizado como camada de sub-base granular, uma vez que atingiu um CBR superior a 20% (TRINDADE ET AL, 2011).

A amostra de solo da jazida Gomide, ensaiada na energia de compactação Proctor Modificada, atendeu às exigências técnicas para ser empregada como camada de base em

pavimentos rodoviários flexíveis, uma vez que o seu valor de CBR foi superior a 80%. O seu valor de Expansão-CBR também atende à exigência da Norma, uma vez que é inferior a 0,5% (TRINDADE ET AL, 2011). O material poderá ser empregado para tráfego que, durante o período de projeto, ultrapassar o valor de $N = 5 \times 10^6$ passagens do eixo padrão de 8,2 toneladas.

4.3 Resultados das classificações USCS e TRB

Conforme a metodologia USCS, os solos investigados foram classificados como SC (Areia argilosa, mistura de areia e argila). Apresentam mais que metade da fração grosseira menor que a peneira nº 4. São solos com cascalho, ou arenosos, com finos (mais de 12% passando na peneira 200), cuja plasticidade pode ser variar de baixa ou alta (DNIT,2006). O IP e o LL precisam identificar pontos acima da linha "A" no gráfico de plasticidade. A plasticidade da fração aglomerante interfere mais no comportamento de solo do que sua granulometria (DNIT,2006). Os finos são argilosos e a graduação do material é indiferente (DNIT,2006). Com isso, de acordo com a USCS, esses solos são adequados para serem utilizados nas camadas de pavimentos rodoviários flexíveis.

À luz das recomendações do sistema TRB, são dois exemplares considerados integrantes do grupo A-2-6, que inclui uma variedade de materiais granulares, predominando areia, areia siltosa ou argilosa. De acordo com essa metodologia, os materiais pertencentes ao grupo A-2-6 apresentam comportamento variando de excelente a bom para utilização em camada de base e sub-base, em pavimentos rodoviários flexíveis.

4.4 Resultados da classificação MCT

A Tabela 07 apresenta os índices e coeficientes utilizados na classificação MCT, obtidos em ensaios de compactação Mini-MCV e de Perda de massa por imersão das amostras Nô da Silva e Gomide.

Tabela 07. Resultados das classificações MCT para os solos estudados

Amostra	c'	d'	PI (%)	e'	Grupo MCT
Jazida Nô da Silva	0,90	8,30	79,00	1,4	NA'
Jazida Gomide	0,77	10,00	82,00	1,4	NA'

Classificando os materiais com base no gráfico para classificação MCT (Figura 18), as duas amostras foram classificadas como NA', solo de comportamento não laterítico, do grupo das areias siltsas e areias argilosas não-lateríticas. Segundo Nogami e Villibor (1995), os materiais classificados como NA' podem ser utilizados em camadas de pavimentos, não sendo, porém, os materiais prioritários para tais aplicações. Ainda, a classificação MCT estende a utilização destes solos a aterros compactados e revestimentos primários.

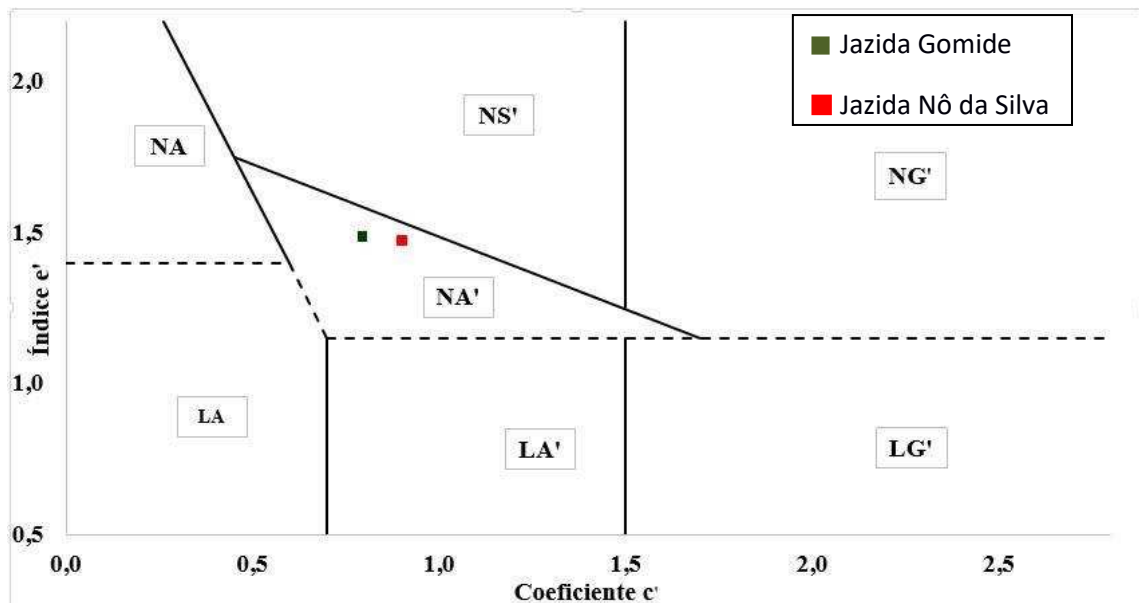


Figura 18. Representação das amostras de solo das Jazidas Nô da Silva e Gomide no Ábaco de classificação MCT

4.5 Comparação entre os resultados das classificações TRB e USCS com os resultados da metodologia MCT

A classificação TRB apresenta uma previsão do comportamento dos solos quando empregados como subleito. Entretanto, fornece as mesmas informações qualitativas a solos pertencentes a classes diferentes e com diferentes desempenhos quando empregados em subleitos de pavimentos. A classificação USCS, por sua vez, não é interpretativa.

A Tabela 08 contém os resultados das classificações, TRB, USCS e MCT dos solos analisados,

Tabela 08. Resultados das classificações USCS, TRB e da Metodologia MCT

Amostra	USCS	TRB	MCT
Nô da Silva	SC	A-2-6	NA'
Gomide	SC	A-2-6	NA'

Conforme a classificação TRB, os solos investigados foram classificados como grupo A-2-6. Esse grupo é composto pelas areias siltosas e areias argilo-não lateríticas, apresentando comportamento que varia de excelente a bom para a utilização na camada de subleito. Pelo sistema USCS, os solos foram classificados no grupo SC, em que estão incluídos os solos com cascalho, ou solos arenosos, com finos (mais de 12% passando na peneira 200) cuja plasticidade pode ser baixa ou alta e mais que metade da fração grosseira menor que a peneira nº 4.

Na classificação MCT, os solos foram classificados como NA' (misturas de areias quartzosas, com finos de comportamento não laterítico - solo arenoso), sendo sua utilização recomendada em camadas de pavimentos rodoviários, mas não em caráter prioritário em face de outras classes de solos tropicais. Verificando os resultados apontados na Tabela 08 com o agrupamento proposto por Nogami e Villibor (1995) (Tabela 09), para o grupo NA' em particular, notou-se que os agrupamentos encontrados nesta pesquisa estão em conforme com os apresentados pelos autores citados.

Tabela 9. Agrupamento de solos entre a Metodologia MCT e os Sistemas USCS e TRB, conforme Nogami e Villibor (1995).

Classificações geotécnicas tradicionais	Classe e Grupos da classificação MCT						
	NA	Não laterítico			Laterítico		
		NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Classificação USCS	SP	MS	SM CL	MH	SP	SC	MH
	SM	SC	ML MH	CH	SC		ML
			ML				CH
Classificação TRB	A-2	A-2	A-4	A-6	A-2	A-2	A-6
		A-4	A-5	A-7-5		A-4	A-7-5
		A-7	A-7-5	A-7-6			

Estudos realizados por Nogami e Villibor (1981;1995) e os resultados obtidos nos trabalhos relatam dificuldades em correlacionar as classificações TRB, SUCS e MCT, verificando-se que as diferenças de propriedades que caracterizam os solos lateríticos e saprolíticos, retratados na classificação MCT, não se refletem nas classificações tradicionais.

4.6 Análise ambiental das jazidas de empréstimos

4.6.1 Aspectos Gerais

Os empreendimentos de atividade de extração de cascalho nas áreas estudadas são voltados para uso direto na construção civil. Os materiais extraídos são classificados como minerais e rochas de uso industrial. Apresentam lavra a céu aberto, método de escavação do tipo lavra em bancadas, não apresentam beneficiamento do mineral extraído. O desconhecimento sobre os métodos de escavação adequados é muito perceptível visualmente. Em campo, nota-se a presença de diversos tipos de materiais espalhados pelas áreas da mina. A falta de planejamento é notável, pois os empreendimentos não apresentam frentes diretas de escavação. A deficiência no licenciamento ambiental é notada, em consulta sobre os requerimentos minerários ao site no DNPM, durante a realização desta pesquisa, onde consta apenas o requerimento de pesquisa feito nesse ano (2016), por apenas um dos empreendimentos. A cascalheira Gomide encontra-se em processo de licenciamento ambiental junto a Fundação Estadual do Meio Ambiente- FEAM, já tendo sido concedida a licença de autorização do DNPM. A Jazida Nô da Silva não aparece em nenhum pedido de autorização e licença no site no DNPM até a data de defesa dessa dissertação e, por consequência, não tem licença do órgão ambiental estadual.

Com base nessas constatações, durante as visitas para a coleta de materiais para os ensaios laboratoriais, foi salientada a importância de métodos adequados de escavação e das práticas ambientais, visto que isso afeta ambiental e economicamente a situação das jazidas. O proprietário da Jazida Gomide apresentou o plano de lavra e as licenças dadas pela Prefeitura Municipal de Cajuri/MG e pelo DNPM. Foi realizada orientação para que o proprietário protocolasse o pedido de licença ambiental na SEMAD. Em recente visita, ele mostrou o pedido de licença junto ao órgão estadual, que está em período de julgamento. Já o empreendimento Nô da Silva afirma possuir licença ambiental, entretanto não deu vista a nenhum documento.

4.6.2 Caracterização fisiográfica regional e local

Os aspectos fisiográficos são fundamentados nas características de três elementos que constituem o meio físico: vegetação, recursos hídricos e relevo. O município de Cajuri/MG encontra-se dentro do bioma Mata Atlântica(IEF,1994).Esta inserido dentro da bacia hidrográfica do Rio Doce e, regionalmente, na microbacia do Rio Piranga,

apresentando uma rede hidrográfica constituída pelo Rio Turvo Sujo, Ribeirão São Joaquim e Ribeirão Capivara. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é tropical de altitude, com inverno seco e verão com altos índices pluviométricos (FERNANDES et al.,2007).

Regionalmente o relevo varia de fortemente ondulado a montanhoso, denominado geomorfologicamente de Planalto dos Campos das Vertentes. O município de Cajuri possui um relevo mais plano, o que facilita o uso do solo para atividades agrossilviculturais coadjuvando com áreas de cobertura florestal natural(COELHO, D.J.S. *et al.*).Em relação à formação geológica, as áreas apresentam litologia com áreas inseridas sobre os complexos granito-gnaiss migmatitos e granulitos, os complexos granitóides intensamente deformados e os complexos granitóides deformados (VALLENGE, 2014).

Em relação à pedologia, a região apresenta a predominância de duas classes. Nos topos de morros e vertentes, Latossolos Vermelho – Amarelo e nas áreas de terraço Argilossolos Vermelho-Amarelo,(CORREIA,1984). Esses solos são caracterizados por ocorrerem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e possuem uniformidade de cor, textura e estrutura em profundidade(EMBRAPA,2014).

No local das áreas dos empreendimentos, não se observam resquícios de Mata Atlântica e nem a presença de mata primária. Nota-se a presença de braquiária e áreas de silvicultura. Nas áreas ao entorno dos empreendimentos, há presença de fragmentos de floresta secundária, apresentando regeneração natural.

4.6.3 Análises Ambientais

4.6.3.1 Introdução

A análise ambiental dos impactos ambientais verificados *in loco* nas áreas investigadas é apresentada nos subitens 4.6.3.2 e 4.6.3.3. O modelo adaptado da matriz de Leopold se inicia com a listagem dos impactos ambientais visíveis no empreendimento, através da avaliação *check list* feita através da listagem descritiva. Por conseguinte, a listagem dos impactos é separada em impactos no meio biológico, no meio físico e no meio socioeconômico.

4.6.3.2 Identificação e caracterização dos impactos ambientais da Jazida Nô da Silva

A análise ambiental começa com a identificação e caracterização dos impactos ambientais no meio biológico. Nesse meio, foi identificado apenas um impacto ambiental, relacionado à degradação da flora, na jazida Nô da Silva (Tabela 10).

Tabela 10. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio Biológico da Jazida Nô da Silva

IMPACTOS IDENTIFICADOS		Natureza	Causa	Ocorrência	Início	Duração	Importância	Reversão	Compensação	Potenciação	Medidas
BIOLÓGICOS	Degradação flora	N	A	C	I	T	G	R	S	-	S

➤ Degradação da flora(Figura 19). De acordo com Mechi e Sanches (2010, p.209), “praticamente, toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração”. Para a área investigada, o impacto identificado demonstra-se como negativo, resultante de ambas as causas, com certa possibilidade de ocorrência, início imediato do impacto, duração temporária, de média intensidade, reversível, possibilita medidas, dispensa compensação e mitigável.



Figura 19. Degradação flora na área da jazida Nô da Silva
Fonte: O autor, 2016.

No meio físico, foram identificados e caracterizados cinco impactos ambientais, na jazida Nô da Silva (Tabela 11). Foram eles: processo erosivo, movimento gravitacional de massa, disposição inadequada de estéreis, impacto visual sobre a paisagem natural e processo erosivo na via de acesso à mina.

Tabela 11. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio Físico na Jazida Nô da Silva

IMPACTOS IDENTIFICADOS		Natureza	Causa	Ocorrência	Início	Duração	Importância	Reversão	Compensação	Potenciação	Medidas
FÍSICOS	Processo erosivo	N	A	P	C	T	M	R	S	-	S
	Movimento gravitacional de massa	N	A	P	C	T	M	R	S	-	S
	Disposição inadequada de estéreis	N	D	P	I	T	M	R	S	-	S
	Impacto visual sobre a paisagem natural	N	A	C	I	T	G	R	S	-	S
	Processo erosivo na via de acesso à mina	N	A	P	C	T	M	R	S	-	S

➤ Processo erosivo ocasionado pelo aumento do fluxo de águas pluviais em talude exposto(Figura 20). A erosão pode ser compreendida como os fenômenos de desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, subsolo e rocha, através de processos intempéricos(MAGALHÃES,2001). Para a área investigada, a erosão apresenta-se em forma de ravinamento, pois apresenta linha preferencial de escoamento. De acordo com Magalhães(2001p.02), “ravinamento corresponde ao canal de escoamento pluvial concentrado, apresentando feições erosionais com traçado bem definido”. O impacto identificado na área investigada demonstra-se como negativo, resultante de ambas as causas, provável ocorrência, início em curto prazo, duração temporária, média importância, reversível, compensável e mitigável.



Figura 20. Processo erosivo no talude Nô da Silva
Fonte: O autor, 2016.

➤ Movimentos gravitacionais de massa: ocorrem devido a cortes irregulares, sendo potencializados pela ação pluvial(Figura21).Segundo Hutchinson(1988), os movimentos de massa gravitacionais são influenciados por diversos fatores, entres eles litologia, topografia, clima, vegetação e erosão. Diferentemente dos processos erosivos, os movimentos de massa envolvem processos de deslizamento de materiais, como solo e/ou rochas(ARAÚJO,2005). O impacto identificado demonstra-se como negativo,

resultante de ambas as causas, com possibilidade de provável ocorrência, com o início em curto prazo, apresentando duração temporária, sendo considerado de média importância, reversível, compensável e mitigável.



Figura 21. Movimento gravitacional de massa na área da Jazida Nô da Silva
Fonte: O autor, 2016.

➤ Disposição do material estéril da extração de forma inadequada (Figuras 22 e 23). Por causa de questões financeiras, usualmente as pilhas de estéril são localizadas próximas às áreas de extração, todavia, para a diminuição dos passivos ambientais, é necessário melhor planejamento em relação às formas de disposição dos estéreis (NERI E SANCHEZ, 2012). O impacto identificado apresenta-se como negativo, resultante de ambas as causas, com provável possibilidade de ocorrência, apresentando início imediato, com duração temporária; no contexto, apresenta média importância, sendo reversível, compensável e mitigável.



Figura 22. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da jazida Nô da Silva(a)

Fonte: O autor, 2016.



Figura 23. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da jazida Nô da Silva(b)

Fonte: O autor, 2016.

➤ Impacto visual sobre a paisagem natural, ocasionado pela falta de técnicas e métodos corretos de lavramento e, por conseguinte, por cortes e escavações fora dos padrões(Figura 24). O impacto visual sobre o meio físico é um dos primeiros impactos observados da extração mineral sobre a natureza. Na área investigada, o impacto identificado demonstra-se como negativo, resultante de ambas as causas, provável possibilidade de ocorrência, com início imediato, recorrente, apresenta média importância

dentro do contexto, parcialmente reversível, necessitando adoção de medidas, dispensa compensação, não tem possibilidade de ocorrer a potenciação e mitigável.



Figura 24. Impacto visual sobre a paisagem natural da atividade minerária na Jazida Nô da Silva

Fonte: O autor, 2016.

➤ Processos erosivos nas vias de acesso à mina (Figura 25). A erosão em forma de ravina é considerada um dos problemas mais prejudiciais em estradas de terra e tem como processo desencadeador a falta ou a deficiência de um sistema de drenagem (SANT'ANNA, 2006). Na área investigada, o impacto identificado demonstra natureza negativa, resultante de ambas as causas, provável possibilidade de ocorrência, início a curto prazo, duração temporária, apresenta média importância, reversível, compensável e mitigável.



Figura 25. Processos erosivos nas vias de acesso a área de extração na Jazida Nô da Silva

Fonte: O autor, 2016.

No meio socioeconômico, foi identificado e caracterizado apenas um impacto, relacionado à alteração da dinâmica econômica local, na jazida Nô da Silva (Tabela 12).

Tabela 12. Matriz de Identificação dos Impactos ambientais no meio socioeconômico na Jazida Nô da Silva

IMPACTOS IDENTIFICADOS		Natureza	Causa	Ocorrência	Início	Duração	Importância	Reversão	Compensação	Potenciação	Medidas
SOCIO-ECONÔMICOS	Alteração da dinâmica econômica local	P	A	P	S	N	N	N	N	S	N

➤ Alteração da dinâmica econômica: impacto observado apresenta natureza positiva, causa direta e indireta (ambas), intensidade baixa, provável ocorrência, início imediato, com período de duração cíclico, sem necessidade de adoção de medidas, dispensa compensação, com a possibilidade de ocorrer potenciação e não sem mitigação.

Apesar de ser uma atividade econômica, no caso apresentado, ela não traz mudanças significativas à dinâmica econômica local, pois os empreendimentos não possuem funcionários efetivos. O processo de extração é realizado por funcionários das empresas que necessitem ou extraem material para uso e/ou venda.

4.6.3.3 Identificação e caracterização dos impactos ambientais da Jazida Gomide

No meio biológico, foram identificados e caracterizados dois impactos ambientais na jazida Gomide(Tabela 13), sendo eles: degradação da flora e fontes de geração de resíduos sólidos.

Tabela 13. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio Biológico na Jazida Nô da Silva

IMPACTOS IDENTIFICADOS		Natureza	Causa	Ocorrência	Início	Duração	Importância	Reversão	Compensação	Potenciação	Medidas
BIOLOGICOS	Degradação flora	N	A	C	I	T	G	R	S	–	S
	Fontes de geração de resíduos sólidos	N	A	I	M	T	P	S	S	–	S

➤ Degradação da flora (Figura 26). Na área estudada, o impacto identificado demonstra-se como negativo, de ambas as causas, de certa possibilidade de ocorrência, apresentando início imediato, duração temporária, apresenta grande importância dentro do contexto, reversível, possibilita medidas, dispensa compensação e é mitigável.



Figura 26. Degradação da flora na área da jazida Gomide
Fonte: O autor, 2016.

➤ Fontes de geração de resíduos sólidos (Figura 27 e Figura 28): As áreas não apresentam ponto de coleta de resíduos. O impacto identificado na área investigada demonstra-se como negativo, de ambas as causas, de certa ocorrência, com início em médio prazo, duração temporária, pouca importância dentro do contexto, reversível, possibilita medidas, dispensa compensação e é mitigável.



Figura 27. Presença de resíduos sólidos na área da Jazida Gomide(a)
Fonte: O autor, 2016.



Figura 28. Presença de resíduos sólidos na área da Jazida Gomide(b)
Fonte: O autor, 2016.

No meio físico, foram identificados e caracterizados três impactos ambientais, na jazida Gomide (Tabela 14). Foram eles: movimento gravitacional de massa, disposição inadequada de estéreis, e impacto visual sobre a paisagem natural.

Tabela 14. Matriz de Identificação dos Impactos Ambientais no meio físico na Jazida Gomide

IMPACTOS IDENTIFICADOS		Natureza	Causa	Ocorrência	Início	Duração	Importância	Reversão	Compensação	Potenciação	Medidas
FÍSICOS	Movimentos gravitacionais de massa	N	A	P	C	T	M	R	S	–	S
	Disposição inadequada de estéreis	N	D	P	I	T	M	R	S	–	S
	Impacto visual sobre a paisagem natural	N	A	C	I	T	G	R	S	–	S

➤ Movimentos gravitacionais de massa: devidos aos cortes irregulares e potencializados pela ação pluvial (Figura 29). O impacto identificado na área investigada demonstra-se como negativo, ambas as causas, provável possibilidade de ocorrência, início em curto prazo, temporário, média importância no contexto, reversível, compensável e é mitigável.



Figura 29. Movimento gravitacional de massa na área da Jazida Gomide

Fonte: O autor, 2016.

➤ Disposição inadequada do material estéril da extração, com a formação de pilhas de material descartado em quase toda área da mina (Figuras 30 e 31). O impacto identificado na área investigada demonstra-se como negativo, de ambas as causas, de certa possibilidade de ocorrência, com início em médio prazo, duração temporária, média importância no contexto, reversível, possibilita medidas, dispensa compensação e de possível mitigação.



Figura 30. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da Jazida Gomide

Fonte: O autor, 2016.



Figura 31. Disposição inadequada do material estéril da extração de cascalho em área da Jazida Gomide

Fonte: O autor, 2016.

➤ Impacto visual sobre a paisagem natural, ocasionado pela falta de técnicas e métodos corretos de lavramento e, por conseguinte, por cortes e escavações fora dos padrões (Figura 32). A grande quantidade de material retirado e a falta de métodos adequados de escavação resultaram em um impacto visual bem significativo sobre a paisagem local. O impacto identificado na área investigada estudada demonstra-se como negativo, de ambas as causas, provável possibilidade de ocorrência, início em curto prazo, temporário, grande importância dentro do contexto, reversível, compensável e mitigável.



Figura 32. Impacto visual sobre a paisagem natural da atividade mineraria na Jazida Gomide

Fonte: O autor, 2016.

Na jazida Nô da Silva (Tabela 15), foi identificado e caracterizado um impacto sobre o meio socioeconômico, ligado à alteração da dinâmica local.

Tabela 14. Matriz de Identificação dos Impactos ambientais no meio socioeconômico na Jazida Gomide

IMPACTOS IDENTIFICADOS		Natureza	Causa	Ocorrência	Início	Duração	Importância	Reversão	Compensação	Potenciação	Medidas
SOCIO-ECONÔMICOS	Alteração da dinâmica econômica	P	A	P	S	N	N	N	N	S	N

- Alteração da dinâmica econômica: impacto positivo, de ambas as causas com intensidade baixa, reversível de forma parcial e sem há a necessidade de adoção de medidas, dispensa compensação, com a possibilidade de potenciação e sem mitigação. Apesar de ser uma atividade econômica, ela altera pouco a dinâmica econômica local, visto que os empreendimentos não apresentam funcionários próprios. Toda a extração é realizada por funcionários das empresas que necessitem ou extraem material para uso e/ou venda.

5. RECOMENDAÇÕES

5.1 Considerações iniciais

Após a identificação e caracterização dos impactos ambientais no meio biológico, físico e socioeconômico nas duas jazidas investigadas, foi elaborada uma série de recomendações para a minimização e mitigação dos impactos negativos observados. As jazidas investigadas apresentaram no total nove impactos ambientais diferentes, sendo dois impactos no meio biológico, seis impactos no meio físico e um impacto no meio socioeconômico. Apenas o impacto no meio socioeconômico configurou-se como positivo.

5.2 Recomendações aos impactos no meio biológico

Os impactos no meio biológico foram: degradação da flora e fontes de geração de resíduos sólidos. Propõe-se a recomposição da vegetação local, por meio do reflorestamento com espécies nativas endógenas da região. Além da melhoria visual do local, com o passar dos anos, existe a possibilidade de as práticas de reflorestamento acarretarem no aparecimento da fauna. De acordo com Neri e Sanchez (2012), as práticas ecológicas necessitam ser empregadas durante todas as fases do empreendimento minerário, sendo desenvolvidas através do tripé supressão vegetacional, mitigação do impacto e restauração florestal. Vale ressaltar que o sucesso de um processo de sucessão vegetacional depende do conhecimento sobre a qualidade química, física e biológica do solo.

A geração de resíduos sólidos é tratada no caso investigado como um problema biológico, pois está diretamente ligada ao aparecimento de vetores e doenças. A presença de embalagens vazias e partes de equipamentos jogados pela mina comprova que não existe fiscalização e nem pontos de coleta e/ou descarte desses tipos de produtos. A partir disso, para a garantia de salubridade do ambiente, recomenda-se a contratação de um profissional técnico para elaborar um plano de coleta e descarte de resíduos.

5.3 Recomendações aos impactos no meio físico

Os impactos no meio físico foram: processo erosivo, movimento gravitacional de massa, disposição inadequada de estéreis, impacto visual sobre a paisagem natural, processo erosivo na via de acesso à mina e impermeabilização do solo.

O processo erosivo local pode ser solucionado por meio do controle da vazão hídrica pluvial e de práticas de correção topográfica do talude. O controle do escoamento em relação à face do talude é alcançado através do desvio ou condução da água por caminhos opostos à posição da erosão(DANTAS E FERREIRA, 2008), diminuindo assim a velocidade de escoamento superficial e a partir disso, dissipando a energia da água na área impactada (ARAÚJO, 2005).

Para controlar e mitigar os movimentos gravitacionais de massa, é necessária a implementação de medidas de controle de retirada do material durante o processo de extração, com a escolha de métodos de corte e escavação de acordo com as especificidades do empreendimento. Também é necessária a implantação de um sistema de drenagem eficiente, como um método de controle e regulação do escoamento superficial, reduzindo a intensidade dos processos de dinâmica endogenética.

Os movimentos gravitacionais devem ser evitados e controlados, visto que sua ocorrência diminui o grau de segurança durante os processos de escavação. Para garantir a segurança das escavações são necessários estudos geotécnicos para garantir a estabilidade das bancadas (NERI E SÁNCHEZ,2012). A norma NBR 11682(ABNT, 2009) menciona os requisitos para o estudo e controle da estabilidade de encostas e taludes, entretanto esse documento não especifica taludes de mineração. Para garantir a qualidade e a segurança, é recomendável que a escavação seja planejada e executada com o acompanhamento de profissional técnico devidamente registrado no CREA.

Para a disposição inadequada de estéreis, são propostos o planejamento e a organização da área de extração e a seleção de uma área adequada para a disposição do material que não será comercializado. A normativa NBR 13029 (ABNT, 2006) e a NRM 19 do DNPM apresentam uma série de recomendações para a disposição adequada de estéril, visando à segurança e à redução dos impactos ambientais. Para a eficácia do planejamento minerário adequado, recomenda-se a contratação de um profissional técnico devidamente registrado no CREA.

O impacto visual é notado em grande parte dos empreendimentos minerários, devido ao grande volume de movimentação de solos e/ou rochas. Práticas adequadas de

corte e retirada de material mitigam esses impactos. Após o descomissionamento e fechamento da mina, tornam-se necessários os processos de reconformação topográfica e a restauração e/ou recuperação do meio físico. Segundo Neri e Sanchez (2012, p. 51), “a minimização de impactos visuais deve ser um objetivo de planejamento, com base no diagnóstico da paisagem local, antes da implementação da mina”. De acordo com Silva (2009, p.12), “através de condução adequada das operações de lavra e de um projeto de recuperação que leve em conta o destino a ser dado à área futuramente, a degradação ambiental pode ser reduzida e até eliminada”. Nota-se que o empreendimento não possui planejamento, quando se observam escavações irregulares por toda a extensão do mesmo. A norma NBR 13030(ABNT, 1999) menciona uma serie de práticas para a elaboração e execução de projetos de reabilitação de áreas degradadas por atividades de extração mineral. Para garantir um programa de recuperação ambiental adequado, recomenda-se a contratação de um profissional técnico devidamente registrado no CREA.

Para a minimização do processo erosivo em estrada de mina, é recomendado o controle das águas pluviais, visto que o processo erosivo local é ocasionado pela ação hídrica. De acordo com SANT’ANNA (2006 p.106), “entre as obras de prevenção para se evitar que ocorram problemas de erosão na plataforma da estrada, destacam-se o abaulamento transversal e as canaletas laterais, as sangras, os dissipadores de energia, as caixas de infiltração ou de acumulação, os bueiros e a proteção vegetal”.

6. CONCLUSÕES

A investigação do potencial das características dos solos estudados permite vislumbrar possibilidades de emprego destes materiais na pavimentação de estradas e em outras obras de terra. Foram realizadas análises sob os prismas físico, mecânico e ambiental. Com base nos resultados obtidos nos ensaios e na análise ambiental, podem ser realizadas uma serie de considerações finais.

Para a camada de base de solo granular, o solo da jazida Nô da Silva ensaiado na energia Proctor intermediária não se adéqua ao uso para a utilização como material de base de pavimentos flexíveis, visto que o solo apresentou $ISC < 80\%$. Sendo assim, não pode ser utilizado como camada de base em pavimentos rodoviários flexíveis na energia ensaiada. O mesmo material, ensaiado na energia de compactação modificada, atendeu às exigências técnicas para ser empregado como material de base de pavimentos rodoviários

flexíveis. Apesar dos limites de consistência serem superiores aos exigidos, o equivalente de areia foi superior a 30%. Para a camada de sub-base, o solo da jazida Nô da Silva, ensaiado nas duas energias de compactação, atenderam todas as exigências técnicas presentes em DNIT (2006).

Para a camada de base de solo granular, a amostra de solo da jazida Gomide, ensaiada na energia de compactação intermediária, não atendeu às exigências técnicas, visto que apresentou $ISC < 80\%$. Sendo assim, sua utilização não é adequada como camada de base em pavimentos rodoviários flexíveis. Na energia modificada, o solo atendeu a todas as exigências técnicas para ser empregado como material de base de pavimentos rodoviários flexíveis. Apesar dos limites de consistência serem superiores ao exigido, o equivalente de areia foi superior a 30%. Para a camada de sub-base, o solo da jazida Gomide, ensaiado nas duas energias, apresentou-se dentro de todas as exigências. Sendo assim, esse material se adequou a todas as exigências em DNIT (2006) e, assim, recomenda-se o seu uso na referida camada.

Na classificação MCT, os materiais foram identificados como NA', os quais podem ser utilizados em camadas de pavimentos, não tendo, porém, caráter prioritário quando comparados a solos de algumas outras classes desse sistema. Ainda, a classificação MCT estende a utilização destes solos a aterros compactados e revestimentos primários. Notou-se, para os materiais investigados, que os agrupamentos encontrados entre os sistemas de classificação USCS, TRB e MCT estão em conformidade com os apresentados pela literatura técnica.

Na análise ambiental dos empreendimentos estudados, pode-se concluir que as áreas não apresentam nenhuma característica pautada na tecnicidade dos seus processos de extração e controle ambiental. Nota-se o não conhecimento adequado do jazimento ou planejamento de lavra, a falta ou a deficiência no licenciamento ambiental e as restrições no acesso e na capacidade de absorção de tecnologia moderna no controle e na reabilitação ambiental. O amadorismo acarretou em poluição visual bem significativa, devido à falta de técnicas de trabalho e processos de controle de gestão da área.

Esse procedimento traz a possibilidade de aproveitar o solo disponível no local, evitando a necessidade de exploração de jazida, poupando a importação de material e contribuindo não somente para a preservação do meio ambiente, fator imprescindível para a sustentabilidade, mas também para uma sensível redução no custo final da obra.

Após a identificação e descrição dos impactos ambientais nos meios biológico, físico e socioeconômico nas duas jazidas investigadas, foi elaborada uma série de

recomendações para a minimização e mitigação dos impactos negativos observados. As jazidas investigadas apresentaram nove impactos ambientais diferentes, sendo dois impactos no meio biológico, seis impactos no meio físico e um impacto no meio socioeconômico, sendo que apenas o impacto no meio socioeconômico configurou-se como positivo. Os resultados da análise ambiental indicaram que o presente estudo pode ser utilizado como referencial teórico para nortear o processo de licenciamento ambiental do empreendimento estudado, visto que a análise apresentada permite fundamentar possíveis questões a serem abordadas nos documentos exigidos durante o licenciamento ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181/84**:análise granulométrica, solos, método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6459/84**:solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180/84**:solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6508/84**: Solo: determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1984d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. **NBR 7182**.Ensaio de Compactação – Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6502/95**. Rochas e solos: terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–ABNT. **NBR 13030**.Elaboração e apresentação de projetos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. **NBR 13029**.Normas de mineração e meio ambiente. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–ABNT. **NBR 11682**. Estabilidade de encostas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BATISTA, P.; LEITE, A. L. **Misturas de um solo laterítico com cimento e bentonita para uso em cortinas verticais**.Ouro Preto, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 26 de março de 2016.

BRANDT, W. Avaliação de cenários em planos de fechamento de minas. In: DIAS. L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 131-134.

BRASIL. Decreto nº 62.934, de 2 de julho de 1968. **Aprova o Regulamento do Código de Mineração**. DOU de 21.8.1968.

_____. **º 6.567, de 24 de setembro de 1978**. Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências.

_____. **Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

_____. **Resolução nº 237, de 22 de dezembro de 1997.** Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1997.

_____. **Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011.** Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, 2011.

BRITO, E. R. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais decorrentes do empreendimento denominado “praias fluviais” no Estado de Tocantins.** 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG: 2001.

CÂNDIDO F, G. F. **Verificação da efetividade do licenciamento ambiental de rodovias no estado de Minas Gerais.** 2011. Dissertação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2011.

CHAVES Marcos José; MEURER Maurício & TOBALDINI Marcelo. **Diagnóstico ambiental de uma cascalheira desativada, na zona rural da cidade de dois vizinhos – PR.** União de Ensino do Sudoeste do Paraná - UNISEP - Dois Vizinhos - PR. 2010

COELHO, Danilo José da Silva; SOUZA, Agostinho Lopes de; OLIVEIRA, Cláudia Maria Lourenço de. **Levantamento da cobertura florestal natural da microrregião de Viçosa, MG, utilizando-se imagens de Landsat 5.** *Rev. Árvore*, Viçosa, v.29,n. 1, p17-24. 2005.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS-COPAM. **Deliberação Normativa nº 074, de 9 de setembro de 2004.** Belo Horizonte, 2004.

CORRÊA, G. F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila dos solos do planalto de Viçosa,** 1984. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

DANTAS, C. S.; FERREIRA, O. M. **Erosões rurais origem e processos de evolução: estudo do caso da fazenda São Sebastião, no município de São Luís de Montes Belos – GO.** 2008. Disponível em: <<http://pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/EROS%C3%95ES%20RURAI%20ORIGEM%20E%20PROCESSO%20DE%20EVOLU%C3%87%C3%83O%20%20ESTUDO%20DE%20CASO%20DA%20FAZENDA%20S%C3%83O%20SEBASTI%C3%83O%20DE%20SAO%20LUI%20S.pdf>> Acesso em: 14 de abril de 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Coleta de amostras deformadas de solos,** DNER - PRO 003/94. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1994a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER.**ME 228/94**. Compactação em equipamento miniatura, solos, método de ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 1994b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER.**ME 256/94**. Solos compactados com equipamento miniatura - determinação da perda de massa por imersão, solos, método de ensaio, DNER - ME 256/94. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 1994c.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER.**ME 258/94**. Solos compactados em equipamento miniatura - minimcv, solos, métodos de ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 1994d.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER.**CLA 259/96**. Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-deprova compactados em equipamento miniatura. Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM–DNER. **ME 05/97**. Equivalente de Areia – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES- DNIT. **ME 049**: solos: determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: 1994. 12p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. 274p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL- DNPM. **NRM 19**. p. 74 – 82. Rio de Janeiro, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea).

FERNANDES, M. M.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Delineamento semi-detalhado de solos empre- gando aereofotogrametria na sub-bacia do rio Turvo Sujo (MG)**. Geonomos, Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p. 01-07, 2007. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/Fernandesetal_pag1-7.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2017

FERREIRA, G. L. B. V.; FERREIRA, N. B. V. **Meio ambiente e mineração na Constituição Federal**. 2012. Disponível em <<https://www.metodista.br/revistas/revistas-unimep/index.php/.../505>>. Acesso em: 30 de maio de 2016.

FIRJAN, F. **Manual de licenciamento ambiental**: guia de procedimento passo a passo. Rio de Janeiro: GMA, 2004.

FREITAS, Sheila Oliveira; GOMES, Jaíra Maria Alcobaça; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia. **Análise dos impactos ambientais da extração de opala no município de Pedro II, Piauí**. Geociências (São Paulo), v. 35, n. 3, p. 443-456, 2016

GODOY, H.; BERNUCCI, L. B. O. Método das pastilhas na compreensão das propriedades geotécnicas básicas dos solos: um recurso didático. **Anais do XVI ANPET**, Natal, 2002. p. 145-156.

GOUVEIA, L. **Contribuições ao Estudo da Influência de Propriedades de Agregados no Comportamento de Misturas Asfálticas Densas**. 2006. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

HUTCHINSON, J. N. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LADSLIDES, 5, Lausanne, 1988. p. 3-29.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS-IEF. Contrato BIRD/ SEPLAN/IEF-MG. Programa Pró- floresta. **Cobertura vegetal e uso do solo do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: 1994. 1 mapa: color. 99x66. Escala: 1:1.500.000. Material cartográfico.

LEOPOLD, L. B. et al. **A procedure for evaluating environmental impact**. Washington D. C.: United States Geological Survey Circular, 645, 1971.

MACEDO, A. B. **Recursos minerais não-metálicos**. São Paulo: 1998. p. 67-87. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340141998000200005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 de fevereiro 2016.

MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S.; PIRES, J. M. M. **Influência do tratamento térmico do resíduo sólido industrial (Grits) na resistência mecânica de um latossolo para pavimentos de estradas florestais**. Viçosa: Revista Árvore, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-7622003000400015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 de março de 2016.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: definições, tipos e formas de controle. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: 2001. p. 1-11. Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/T084.pdf>. Acesso em: 5 de setembro de 2016.

MALANCONI, M. **Considerações sobre misturas de solos tropicais estabilizados quimicamente para uso como camada de pavimento urbano**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142010000100016&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 8 de setembro de 2016.

MEDRADO, W. A. **Caracterização geotécnica de solo da região norte de Minas Gerais para utilização em obras rodoviárias**. 2009. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 44.313, de 07 de junho de 2006**. Dispõe sobre a organização da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, e dá outras providências. Belo Horizonte: Diário do Executivo, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. **Manual de procedimentos para o Licenciamento Ambiental Federal**. Brasília, 2002. 128 p.

NERI, A.C.; Sánchez, L.E. **Guia de Boas Práticas de Recuperação Ambiental em Pedreiras e Minas de Calcário**. São Paulo: Ass. Bras. Geologia de Engenharia.2012.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS, 1981. p. 30-41.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo, 1995. 240 p.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F.; BELIGNI, M.; CINCERRE, J. R. **Pavimentos com Solos Lateríticos e gestão de manutenção de Vias Urbanas**. São Paulo, 2000.

PEDRO, A. F. P. **O licenciamento ambiental e sua sustentabilidade no Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/o-licenciamento-ambiental-e-sua-sustentabilidade-no-brasil/>>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

PINTO, S. S. S. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas de diferentes tipos de rejeito para aplicação em pavimentos**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008.

SANT'ANNA, G. L. **Estradas florestais: caracterização geotécnica e comportamento mecânico de solos e misturas solo-grits, cargas de tráfego e seus efeitos**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SANT'ANNA, J. A. **Estudo do comportamento de solos artificiais em função da variação das características de sua fração grossa**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SANTOS, E. F. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais**. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. v.1. 2ª ed. [S. l.]: PINI, 2007.

SILVA, T. O. **Estudo de estradas não pavimentadas da malha viária do município de Viçosa – MG**. 2009. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SOUZA JUNIOR, T. A. T. **Respostas estruturais em pavimentos flexíveis via utilização de equações de módulos de resiliência de solos de subleito e da camada de reforço**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

TRINDADE, T. P.; CARVALHO, C. A. B.; LIMA, D. C.; BARBOSA, P. S. A.; SILVA, C. H. C.; MACHADO, C. C. **Compactação dos solos – Fundamentos teóricos e práticos**. Viçosa: Editora UFV, 2011. 95p. ISBN: 978-857269-331-8.

VALLENGE, **Plano municipal de saneamento básico Cajuri – MG**. Taubaté, 2014. 213 p. Disponível em: <http://www.vallenge.com.br/sites/default/files/upload/arquivos/produtos/PMSB_Cajuri.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2016.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. [S. l.]: Editora McGRAW-HILL do Brasil LTDA, 1977.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; DE CASTRO, S. S. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas**. [S. l.]: Tópicos Ciência do Solo, 2005. p. 145-192.

VILLIBOR, D. F. et al. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas: bases alternativas com solos lateríticos**. São Paulo: Arte e Ciência, 2007. 172 p.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso de solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte e Ciência, 2009. 292 p.

WERNECK, E. P; MOMM, L. Mapeamento geotécnico e ensaios da metodologia MCT visando estudos preliminares em projetos de empreendimento hidrelétricos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 27, 2007, Belém. **Anais...** Belém: 2007. p.1-15.