

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PPGE3M

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais

Projeto de Estradas para Mineração – Caracterização e Análise de Aplicações Práticas

FABRÍCIO PEREIRA PELLISSARI

Engenheiro de Minas

DISSERTAÇÃO

Porto Alegre

2019

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PPGE3M

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais

Projeto de Estradas para Mineração – Caracterização e Análise de Aplicações Práticas

FABRÍCIO PEREIRA PELLISSARI

Engenheiro de Minas

Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas,  
Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio grande do Sul.

Área de Concentração: Tecnologia Mineral

Porto Alegre

2019

Esta Dissertação foi apresentada no dia 24 de julho do ano de 2019, julgada e aprovada pelo orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador:

Prof. Dr. Rodrigo de Lemos Peroni

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alex Visser

Prof. Dr. Jorge Dariano Gravonski

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Prof. Dr. Carlos Perez Bergmann

Coordenador do PPGE3M



A vida nem sempre é como sonhamos, mas nem sempre sonhamos o que queremos  
viver  
Allan Kardec

### Agradecimentos

Ao mestre Jesus pelas oportunidades recebidas.

Aos meus pais e irmão, pelo apoio e amor.

À Cássia Ferrazza Alves minha companheira e amiga, pelo carinho, amor e incentivo.

Aos professores do DEMIN, por todo o ensinamento que proporcionaram.

Ao professor Rodrigo Peroni, pela orientação na elaboração deste trabalho, sua paciência, compreensão e competência.

Aos colegas da UFRGS pela amizade.

À Companhia Vale Fertilizantes pela disponibilização dos dados para este estudo.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

Enfim, a todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para que este percurso pudesse ser concluído.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma para o projeto de vias. ....	20
Figura 2. Esquema exemplificando a distância de parada de um veículo que é o resultado da soma da distância de reação do condutor do veículo e a distância de frenagem do veículo até o obstáculo avistado. ....	22
Figura 3. Representação de superelevação. ....	25
Figura 4. Esquema da superlargura. ....	26
Figura 5. Condições de distancia de visibilidade vertical e horizontal em uma curva. ....	28
Figura 6. Condições de distância de visibilidade vertical. ....	28
Figura 7. Condição de distância de visibilidade horizontal. ....	29
Figura 8. Exemplo de transição. ....	32
Figura 9. Exemplo de inclinação de uma via. ....	32
Figura 10. Inclinação longitudinal constante e inconstante. ....	34
Figura 11. Inclinação transversal com caimento lateral único ....	35
Figura 12. Inclinação transversal com com abaulamento central ....	35
Figura 13. Valetas de drenagem. ....	37
Figura 14. Valetas de proteção de corte e aterro. ....	37
Figura 15. Sarjeta de Corte. ....	39
Figura 16. Principais camadas de um pavimento. ....	40
Figura 17. Valor de CBR em função do peso do caminhão. ....	42
Figura 18. Representação esquemática de DCP. ....	44
Figura 19. Ábaco que correlaciona golpes com CBR. ....	45
Figura 20. Recomendação de profundidade segundo CBR. ....	46
Figura 21. Relação qualitativa do revestimento. ....	47
Figura 22. Gráfico de custo ótimo ....	48
Figura 23 é a representação gráfica do procedimento para dimensionamento. ....	51
Figura 24. Mapa com as principais estradas da mina identificadas. ....	54
Figura 25. Vista geral da cava a céu aberto e locais de despejo do estéril ....	55
Figura 26. Caminhões Astros e especificações técnicas. ....	56
Figura 27. Caminhões Catterpillar 777D e especificações técnicas ....	57
Figura 28. Exemplo do número de equipamentos concentrados em uma área da mineração da mina CMT ....	58

Figura 29. Estrada com berma mediana e sem projeto de drenagem. ....	59
Figura 30. Berma central .....	60
Figura 31. Bermas com acúmulo de água e movimentação de material para pista. ....	60
Figura 32. Exemplo de um perfil da cava com inclinação longitudinal descontínua. ..	62
Figura 33. Aspecto estrutural para mudança .....	63
Figura 34. Locais aproximados do teste de DCP. ....	64
Figura 35. DCP resultados para os testes DCP01 e DCP02. ....	65
Figura 36. Resultados de DCP para o acesso da estrada no depósito de esteril E9 .....	66
Figura 37. Rachaduras couro de jacaré que evidenciam problemas estruturais da estrada.....	66
Figura 38. Vista geral da área da bigorna. ....	67
Figura 39. Material de canga (laterito) armazenado na parte norte da cava. ....	68
Figura 40. Exemplos de defeitos funcionais rodoviários durante as estações chuvosa (a) e seca (b). ....	68
Figura 41.: Materiais amostrados de diferentes horizontes e áreas da cava de CMT. ....	69
Figura 42. Pastilhas de amostra da fração de argila para teste de condições de saturação. ....	70
Figura 43 -Pelotas de fração de argila de cada material para teste de resistência a seco .....	71
Figura 44. Passante acumulado.....	72
Figura 45. Caracterização e plotagem de material na seleção funcional GC x SP .....	75
Figura 46. Representação do projeto da estrada .....	77
Figura 47. Estrada 1 analisada pelo script com a frota de caminhões Catterpillar 777D .....	78
Figura 48. Estrada 1 analisada pelo script com a frota de caminhões Catterpillar 777D .....	79
Figura 49. Projeto funcional ----camadas .....	80
Figura 50. String com traçado da estrada .....	86
Figura 51:.. Upload do Script .....	87
Figura 52. Projeto geométrico .....	87
Figura 53. Carregamento dos arquivos da estrada.....	88
Figura 54. Largura de Berma.....	88
Figura 55. Distância de parada .....	89
Figura 56. Largura de pista.....	89

Figura 57. Raio da Curva.....	90
Figura 58. Superelevação.....	90
Figura 59. Superlargura .....	90
Figura 60. Gerar modelo indicativo.....	91
Figura 61. Dados preenchidos .....	92
Figura 62. Carregamento de wireframe .....	93
Figura 63. Resultado da análise da estrada .....	93
Figura 64. Resultado da análise da estrada inclinação da pista .....	94
Figura 65. Resultado da análise da estrada da largura da pista.....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de raio de curvatura e coeficientes de atrito .....	23
Tabela 2 – Superelevação em função de velocidade do veículo e raio de curvatura....	25
Tabela 3. Principais acessos da mina com seu comprimento .....	54
Tabela 4. Materiais utilizados para teste.....	69
Tabela 5. Limites de Atterberg para os materiais de argila encontrados na mina CMT .....	73
Tabela 6. Percentual passante nas peneiras .....	73
Tabela 7. Resultado da mistura de materiais das amostras M1 e M2.....	73
Tabela 8. Materiais para seleção do projeto funcional .....	75

## SUMARIO

Capítulo 1.....	14
INTRODUÇÃO.....	14
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	14
1.3 META.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 <i>Objetivo geral</i> .....	15
1.5 ATIVIDADES .....	16
1.6 METODOLOGIA .....	16
1.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	17
Capítulo 2.....	19
REVISÃO DA LITERATURA .....	19
2.1 PROJETO GEOMÉTRICO.....	21
2.1.1 <i>Distância de parada</i> .....	22
2.1.2 <i>Raio de curvatura</i> .....	23
2.1.3 <i>Superelevação</i> .....	24
2.1.4 <i>Superlargura em curvas</i> .....	26
2.1.5 <i>Distância de visibilidade</i> .....	27
2.1.6 <i>Largura de pista e leiras de proteção</i> .....	30
2.1.7 <i>Intersecções entre elementos geométricos</i> .....	31
2.1.8 <i>Inclinação Longitudinal</i> .....	32
2.1.9 <i>Inclinação e direcionamento de drenagem</i> .....	34
2.1.10 <i>Projeto de drenagem</i> .....	36
2.1.11 <i>Valetas de proteção de corte e aterro</i> .....	36
2.1.12 <i>Sarjetas de corte e aterro</i> .....	38
2.2 PROJETO ESTRUTURAL.....	39
2.2.1 <i>Camadas do pavimento</i> .....	40
2.2.2 <i>Dimensionamento das camadas</i> .....	41
2.2.3 <i>CBR de laboratório</i> .....	41
2.2.4 <i>Análise de CBR de campo por DCP</i> .....	43
2.2.5 <i>Método mecanístico</i> .....	46
2.3 PROJETO FUNCIONAL.....	46
2.4 MANUTENÇÃO DE ESTRADAS.....	48
Capítulo 3.....	50
METODOLOGIA APLICADA.....	50
Capítulo 4.....	53
ESTUDO DE CASO.....	53

4.1	LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	53
4.2	ASPECTOS DAS ESTRADAS NA MINA .....	53
4.2.1	3.1.1 Principais vias utilizadas na mina .....	53
4.2.2	Transporte de materiais nas estradas .....	55
4.2.3	Largura da estrada .....	58
4.2.4	Inclinação da pista.....	61
4.2.5	Drenagem.....	62
4.3	PROJETO ESTRUTURAL DA VIA.....	63
4.4	PROJETO FUNCIONAL DA VIA .....	68
4.4.1	Seleção dos materiais para camadas .....	68
4.4.2	Resultados da seleção de material para camada de revestimento .....	73
4.5	ANÁLISE DO PROJETO DE ESTRADAS .....	76
4.5.1	Projeto geométrico.....	76
4.5.2	Projeto estrutural .....	80
4.5.3	Funcional .....	80
	Capítulo 5.....	81
	CONCLUSÕES .....	81
	TRABALHOS FUTUROS .....	82
	REFERÊNCIAS.....	82

## RESUMO

Devido à grande competitividade nacional e internacional, torna-se importante que as estradas desenvolvidas para o transporte e circulação de veículos em mineradoras sejam bem planejadas, e, posteriormente, bem executadas. O planejamento da estrada é uma decisão importante já que incide diretamente em um menor custo de transporte e manutenção de equipamentos e da própria estrada. Este estudo tem por objetivo geral abordar aspectos geométricos, estruturais, e funcionais de estradas não pavimentadas para circulação de veículos com diferentes características de dimensão e de capacidade de transporte, avaliando alternativas de projetos estruturais para diferentes frotas de equipamentos. Como implementação durante a execução desse estudo, foi construído um *script* que fornece um projeto geométrico preliminar da estrada e um diagnóstico rápido dos aspectos geométricos da mesma, e obteve-se resultados dentro do esperado. Além do projeto geométrico, foram avaliadas alternativas de projetos estruturais para diferentes frotas de equipamentos, e caracterizado e selecionado um material de melhor desempenho para a construção da camada de revestimento dos acessos das estradas de acordo com as suas características de volume de tráfego. Como resultado foram analisados, através da aplicação da metodologia a um estudo de caso, trechos onde a largura de pista e as inclinações longitudinais não estão apropriadas. Para o projeto funcional, determinou-se que o material existente na mina denominado canga possui características próximas do ideal na construção da camada de revestimento, atendendo o modelo de projeto proposto, sendo assim é possível verificar que algumas mudanças podem ser feitas nas estradas da mina, promovendo melhorias nos resultados operacionais da frota de transporte.

## ABSTRACT

Due to the big national and international competitiveness, it is important that the roads developed for the transportation and circulation of vehicles in mining facilities must be well planned, and later, well executed. Road planning is an important decision since it affects directly into a lower transportation cost and maintenance of the equipment and of the road itself. This study aims to address geometric, structural, and functional aspects of unpaved roads for vehicles circulation with different size and transport capacity characteristics, evaluating structural design alternatives for different equipment fleets. As an implementation, during the execution of this study, it was built a script that provides a preliminary geometrical design of the road and a fast diagnosis of the geometric aspects of it, and expected results were obtained. In addition to the geometric design, structural design alternatives were evaluated for different equipment fleets, and a material of better performance was characterized and selected for the coating layer construction of the road accesses according to its traffic volume characteristics. As results it was analyzed, through the application of the methodology in a case study, stretches where the road width and longitudinal slopes are not appropriate. For the functional design, it was determined that the existing material in the mine called *canga* has characteristics close to the ideal in the construction of the coating layer, attending to the proposed project model, therefore it is possible to verify that some changes can be done on the mine roads, promoting improvements in the operational results of the transport fleet.

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

As estradas mineiras são, muitas vezes, construídas para circulação de veículos fora de estrada que possuem capacidade de carga e dimensões maiores que os veículos que circulam nas estradas convencionais. Tendo em vista que nesta área há o transporte e circulação de veículos pesados e este é um fator muito importante que impacta nos custos envolvidos na mineração, torna-se relevante realizar um bom planejamento e manutenção preventiva das estradas. Tais iniciativas podem acarretar diferenças nos gastos envolvidos na mineração, evidenciando a importância do planejamento da estrada, seu desenvolvimento e cuidados relativos à manutenção preventiva (FONSECA, 2009; THOMPSON; VISSER, 2003).

Para a construção de uma estrada, é de suma importância o conhecimento geológico local, visto que o material utilizado para construir a mesma é preferencialmente encontrado na própria mina ou em locais próximos a ela, como forma de reduzir os custos envolvidos. Impactos ambientais também são muito importantes, pois, a identificação destes é primordial para a implementação do sistema de gestão ambiental, assim como são importantes também a drenagem superficial e os aspectos construtivos da estrada, como o geométrico, estrutural e funcional.

### 1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Nas minas a céu aberto, o projeto e manutenção das estradas é um processo contínuo, que exige investimento financeiro, tempo e mão de obra. Além disso, o estado de conservação das vias influencia diretamente na eficiência do transporte da operação. Por exemplo, o descaso na manutenção das estradas acarreta aumento dos custos operacionais dos veículos de transporte, assim como também prejudica diretamente na eficiência operacional da mina (SOKOLIC, et al., 2010).

Desta forma, o presente trabalho justifica-se na medida em que há a necessidade de estabelecimento de técnicas e procedimentos que garantam, tanto a nível de projeto quanto de conservação, melhores estradas. A qualidade das estradas possui grande importância econômica, as quais são os principais responsáveis por proporcionar de forma adequada todo o escoamento da produção da mina (FONSECA, 2009; THOMPSON and VISSER, 2003).

O transporte é um item importante nos custos de mineração a céu aberto, visto que as operações de carregamento representam aproximadamente 60% dos custos operacionais entre todos os processos relacionados (ALVARENGA, 1997).

### 1.3 META

Este trabalho tem como meta principal aplicar uma metodologia estruturada para projeto de estradas não pavimentadas envolvendo aspectos geométricos, estruturais, e funcionais. Também tem como meta o desenvolvimento de ferramentas para detecção de problemas pontuais em fase de planejamento e operação.

### 1.4 OBJETIVOS

#### **1.4.1 Objetivo geral**

Projetar aspectos geométricos, estruturais, funcionais e de manutenção de estradas não pavimentadas para veículos de circulação com diferentes características de dimensão e de capacidade de transporte. Desenvolver um script que possa avaliar e/ou projetar uma estrada de transporte de qualidade que atenda as necessidades estipuladas, apontando pontos críticos que necessitam de um cuidado e atenção maior. O uso de scripts para automatizar as etapas de processos tem em seu uso um propósito de facilitar e proporcionar agilidade nas operações.

O trabalho consiste em uma avaliação comparativa de frotas e equipamentos, bem como uma análise de projeto de estrada não pavimentada para a mineração adequada para as diferentes frotas consideradas. O estudo propõe uma otimização do projeto com redução de custos, e minimização de acidentes, e um diagnóstico rápido para definição de intervenções em manutenção da via. Assim sendo, para este estudo de caso, foi desenvolvida uma ferramenta computacional, na forma de um script, para auxiliar no trabalho de planejamento e

de manutenção preventiva das estradas de mineração. Este script foi desenvolvido como ferramenta de suporte para o software Datamine Studio 3. A rotina demonstrou ser útil como ferramenta de auxílio tendo em vista ser possível dimensionar as estradas no projeto geométrico e identificar pontos críticos que necessitam de maiores cuidados, atingindo um melhor desempenho e diminuindo os riscos de acidentes e manutenção dos equipamentos que circulam na área.

## 1.5 ATIVIDADES

- Caracterizar e selecionar materiais para a construção da camada de revestimento de acessos das estradas de acordo com as suas características de volume de tráfego;
- Criar rotinas para planejamento e projeto geométrico de estradas preliminar;
- Criar rotinas para o diagnóstico rápido e sistemático do estado atual da geometria de estradas.
- Avaliar alternativas de projetos estruturais para diferentes frotas de equipamentos;

## 1.6 METODOLOGIA

Em um primeiro momento, o estudo foi realizado através de uma revisão bibliográfica, considerando os conteúdos de planejamento de lavra, projeto e construção de estradas não pavimentadas, estudo de propriedades dos solos e de programação de scripts. A partir da revisão bibliográfica, foram identificados os aspectos relevantes dos assuntos estudados e foram buscados os materiais de construção da estrada da mina que estão disponíveis para uso, ou que foram utilizados na construção das estradas (nos projetos estrutural e funcional) para identificar suas características e propriedades, que, inevitavelmente, influenciam na qualidade da estrada mineira. Posteriormente, foi desenvolvido um *script*, que é uma rotina de programação e que roda em conjunto com outro programa existente, esta rotina de programação desenvolvida analisa o projeto geométrico dentro da plataforma Datamine Studio 3, utilizando a metodologia conforme o manual desenvolvido por Thompson e Visser

(2014). O resultado é gerado na forma de um arquivo, onde são identificados pontos da estrada da mina que não estão adequados ao que foi estipulado no projeto geométrico, para uma determinada categoria de caminhões. Ao aplicar o *script* no arquivo que contém o desenho geométrico da estrada, os dados geométricos são analisados, gerando um novo modelo da estrada em que são destacados os pontos não conformidade àqueles desejados. Para testar a metodologia, o script foi aplicado em um trecho da estrada da mina de Tapira (CMT). A partir da aplicação do software, obtiveram-se os trechos com problemas geométricos e os valores ideais para o *design* da estrada. Ainda com base na metodologia proposta por Thompson e Visser (2014), foram verificadas as condições das estradas existentes na mina, bem como apontados os principais problemas estruturais e funcionais. Após, foram dimensionadas as camadas das estradas para atender as demandas da mina de Tapira.

## 1.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em cinco capítulos, onde, no capítulo 1, temos um resumo de todo o trabalho com os objetivos pretendidos e o método que foi utilizado para alcançar o resultado final.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica referente aos conceitos geométricos, estruturais e funcionais de uma estrada não pavimentada. Estes conceitos apresentados possuem uma importância muito grande ao projeto de uma mineradora cujo fluxo de minério e estéril é transportado por caminhões.

No conceito geométrico da estrada são abordados temas como a largura de pista, inclinação longitudinal máxima da estrada, dimensão de bermas, superlargura, distância de parada, raio de curvatura, superelevação, ou seja, temas que se referem à geometria da estrada. Para os conceitos estrutural e funcional, são abordadas as diferentes camadas da estrada e, a importância quanto à resistência das solicitações provenientes do trânsito de veículos, impermeabilidade do revestimento e geração de poeira.

O capítulo 3 contém a metodologia que foi aplicada neste trabalho, contemplando os aspectos necessários que devem ser levados em consideração nas várias etapas de construção e de gestão das estradas não pavimentadas para a mineração.

No capítulo 4 são analisados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta no capítulo 3, esta revisão e aplicação da metodologia conta com o auxílio de uma

ferramenta computacional desenvolvida para geração de diagnósticos rápidos para análise de adequação de dados geométricos das estradas.

O capítulo 5 contém as conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

# Capítulo 2

## REVISÃO DA LITERATURA

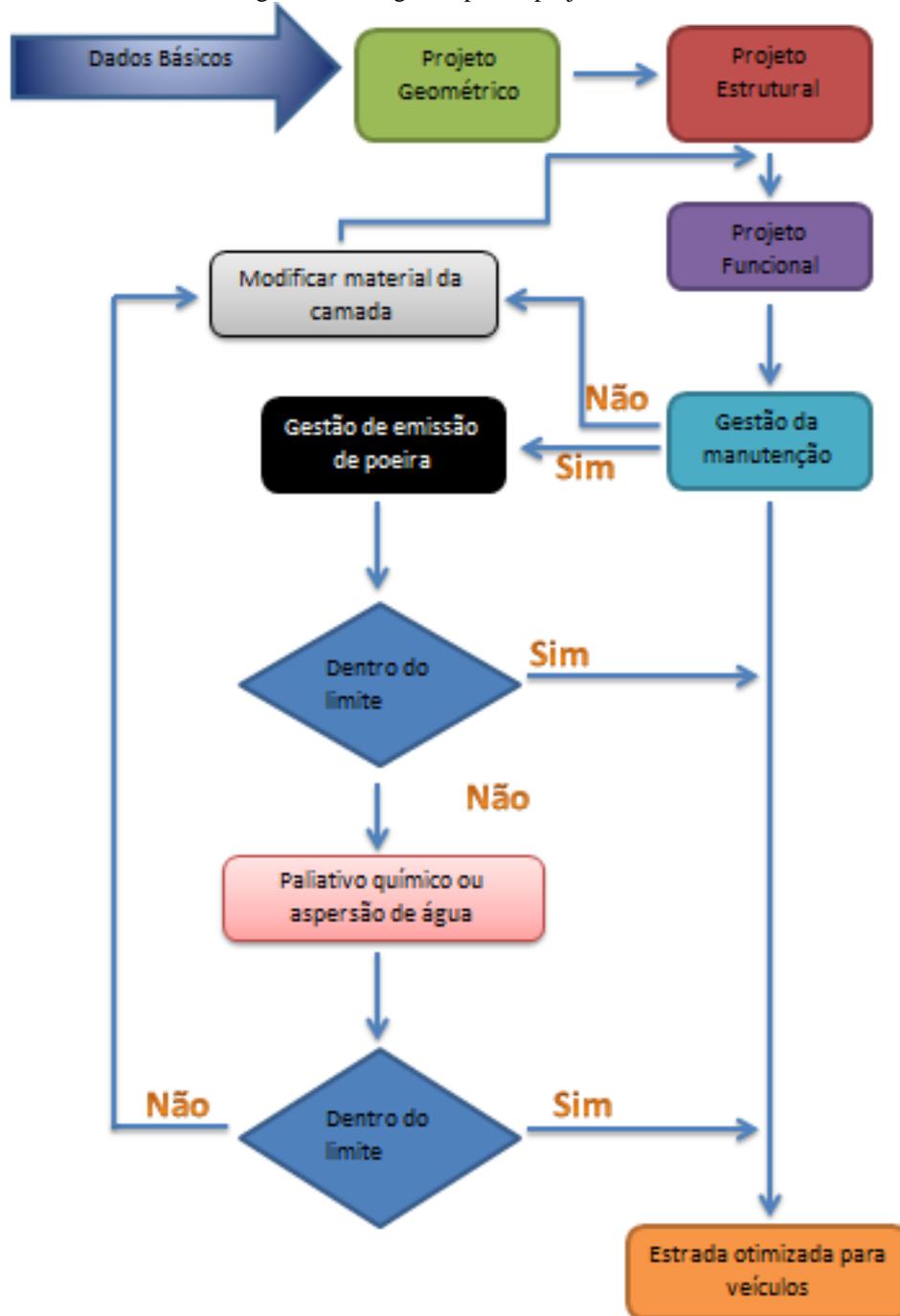
As estradas de mineração devem ser projetadas levando em consideração as características específicas de cada região, bem como as suas peculiaridades operacionais, tais como: o porte dos equipamentos que transitarão nas vias, as matérias primas disponíveis em cada região para a construção e manutenção das estradas, a intensidade de tráfego de veículos, legislação e normas técnicas associadas (THOMPSON; VISSER, 1996).

As vias de acesso têm uma grande importância para a mineração, pois é dela que depende todo o fluxo de veículos responsáveis pelo escoamento da movimentação de minério e estéril que são transportados na mina. Neste sentido, a existência de problemas de diversas naturezas pode estar relacionada com aspectos estruturais e/ou funcionais, que por sua vez terão como reflexos, a partir do surgimento de deformações de caráter permanente, estreitamentos de pista, deslizamento, geração de poeiras, entre outros, incidindo em incremento de resistência ao rolamento (THOMPSON; VISSER, 1996). Portanto, uma estrada mal projetada pode ter consequências diretas nos custos operacionais da mina.

O pavimento é formado por camadas de revestimento, que possui caráter funcional, além de base e sub-base, que por sua vez possuem papel estrutural. Essas camadas são projetadas e construídas acima do material *in-situ* ou (também chamado de subleito), em casos específicos onde não há nivelamento, pode haver uma camada de enchimento (SOARES et al., 2012).

Segundo Thompson e Visser (1996), um projeto de pavimento ou estruturas viárias pode ser dividido em categorias e subcategorias sendo essas o projeto geométrico, o projeto estrutural, o projeto funcional e a manutenção da via. A Figura 1, mostra de maneira resumida cada uma das etapas do processo de construção e manutenção de estradas, conforme Thompson e Visser (2006). O projeto estrutural é o que tem sido menos utilizado por exigir uma informação e conhecimento pouco disponível no contexto da mineração conforme descrito por (SOARES et al., 2012).

Figura 1. Fluxograma para o projeto de vias.



Fonte: Adaptado de Thompson e Visser (2006).

Na etapa de projeto geométrico são definidos o dimensionamento de largura da via, altura de berma, raio de curvatura, inclinação longitudinal e transversal da via, que são projetados e calculados a partir de informações das características dos equipamentos em circulação na mina, drenagem de água, normas e elementos de segurança. No projeto

estrutural, a espessura e o material utilizado para compor a camada de base são selecionados conforme a necessidade de atenuação da carga que é imposta pelos veículos que ali transitam durante a vida útil da via. O projeto funcional remete à camada de revestimento da via, ou seja, a camada superficial colocada acima da base para isolar o pneu dos veículos que transitam na via do contato com a camada de base, geralmente composta por material mais grosseiro. É avaliada resistência de rolamento, escoamento de água, tamanho de partículas entre outras características necessárias serem avaliadas na hora de dimensionar e selecionar o material de revestimento (THOMPSON; VISSER, 2014). A seguir, serão detalhadas as etapas de construção das estradas.

## 2.1 PROJETO GEOMÉTRICO

As dimensões adequadas ao tipo de equipamentos e condição operacional da estrada é referido no projeto geométrico. Os elementos geométricos de uma estrada, se bem projetados, geram benefícios quanto ao custo, ao desempenho e menores manutenções na estrada (TANNANT; REGENSBURG, 2001), e que como já mencionado neste trabalho as operações de carregamento e transporte representam aproximadamente 60% dos custos operacionais entre todos os processos relacionados.

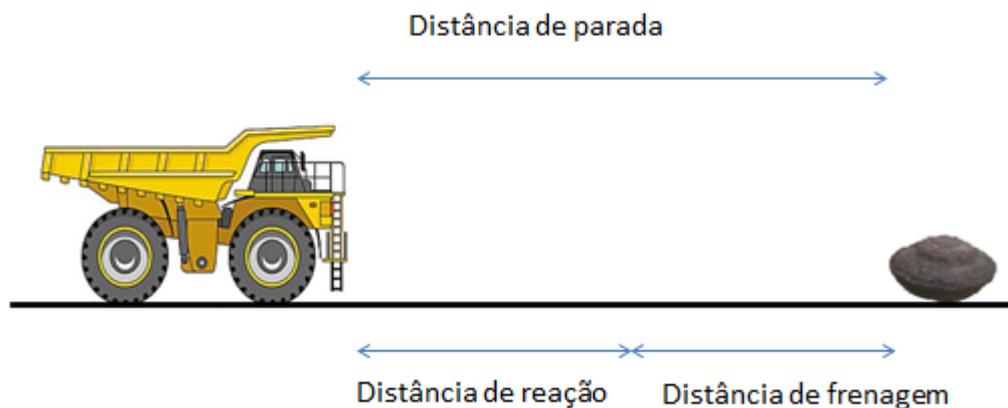
De acordo com Sousa (2011), um projeto geométrico deve correlacionar os seus elementos físicos com as características de operação, frenagem, aceleração, condições de segurança, levando em conta também as condições que levem ao maior rendimento dos equipamentos de transporte. Abaixo estão relacionados os principais parâmetros a serem dimensionados para o projeto geométrico:

- ✓ Distância de parada;
- ✓ Inclinação longitudinal de rampas;
- ✓ Distância de visibilidade;
- ✓ Leiras (bermas) de segurança;
- ✓ Largura de via;
- ✓ Superelevação de curvas;
- ✓ Raio de curvatura;
- ✓ Superlargura de curvas
- ✓ Intersecção entre elementos geométricos;
- ✓ Inclinação transversal para direcionamento de drenagem;

### 2.1.1 Distância de parada

A distância de parada refere-se à distância que se faz necessária para que o condutor do veículo pare com segurança, desde o momento inicial em que o obstáculo foi visto, levando em consideração o tempo de reação do condutor e o tempo de frenagem do veículo. Fazem parte da distância de parada a distância de percepção e reação e a distância de frenagem. A distância de percepção e reação representa a distância que o condutor percorreu desde quando observou o obstáculo e reagiu de forma a acionar o sistema de freio do equipamento que está conduzindo. A distância de frenagem é a distância percorrida do veículo desde o momento de acionamento do sistema de frenagem até a parada completa do equipamento (FAMBRO; FITZPATRIC; KOPPA, 1997).

Figura 2. Esquema exemplificando a distância de parada de um veículo que é o resultado da soma da distância de reação do condutor do veículo e a distância de frenagem do veículo até o obstáculo avistado.



Fonte: própria.

A distância de parada referida por Thompson e Visser (2014) pode ser expressa pela Equação:

$$Sd = \frac{1}{2} + \sin \theta + v_o * t + \left( \frac{(g * t * \sin \theta + v_o)^2}{2 * g(U_{min} - \sin \theta)} \right) \quad (1)$$

Onde:

g=aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

t=tempo de parada(s)

θ =grade da rampa, positivo para baixo (graus)

$v_0$  = velocidade do veículo (m/s)

$U_{min}$  = coeficiente de atrito entre os pneus e a superfície da estrada

O tempo de parada ( $t$ ) na Equação 1, é composta pelo tempo de reação do operador e a o tempo de frenagem do equipamento, respectivamente.

### 2.1.2 Raio de curvatura

Um raio de curvatura mal dimensionado pode ocasionar um esforço maior dos eixos dos veículos de transporte danificando, também, a camada funcional e tendo relação direta com a velocidade que o veículo passe por ela. Desta forma, fica evidente que o raio de curvatura é um importante elemento geométrico a ser analisado pelo projetista, sendo este cálculo utilizado para projetar outros elementos geométricos da estrada.

Segundo Dener (1999), os raios de curvatura horizontal são os menores raios das curvas que podem ser percorridas com a velocidade diretriz e a taxa máxima de superelevação, em condições aceitáveis de segurança e conforto. O raio de curvatura pode ser calculado segundo a Equação 2, priorizando um raio mais suave possível. Para este cálculo, é possível basear os valores de coeficiente de atrito conforme a Tabela 1.

$$R = \frac{v^2}{127(e + f)} \quad (2)$$

Onde:

$v$  = velocidade de projeto do veículo (km/h)

$e$  = superelevação (m/m de largura de estrada)

$f$  = coeficiente de atrito entre os pneus e a superfície da estrada (adimensional)

Tabela 1. Valores típicos de coeficientes de atrito conforme a característica do tipo de material encontrado na superfície de estradas

Natureza da Pista	Coefficiente de atrito $f$ de pneus/pista (t/t)
Pavimento concreto	0.90
Terra firme seca	0.55
Terra solta	0.45
Terra firme úmida	0.45
Areia úmida	0.40
Areia seca e terra solta úmida	0.20

Fonte: 101\_RP\_MINE\_HAULROAD\_DESIGN\_GEOMETRY (2014)

### 2.1.3 Superelevação

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT,2006), a superelevação é a inclinação transversal da pista nas curvas horizontais. Estas inclinações tem o objetivo de criar um componente de força no veículo no sentido da curva que, junto à força de atrito, produz a força centrípeta, ou seja, a inclinação compensa o efeito da força centrífuga nos veículos, assegurando condições de segurança e conforto.

Sendo assim, a superelevação é uma mudança na pista com uma inclinação transversal nas curvas, podendo ser calculada a partir da Equação 3 apresentada por Dener (1999).

$$e = \frac{Vo^2}{127 * R} - f \quad (3)$$

Onde:

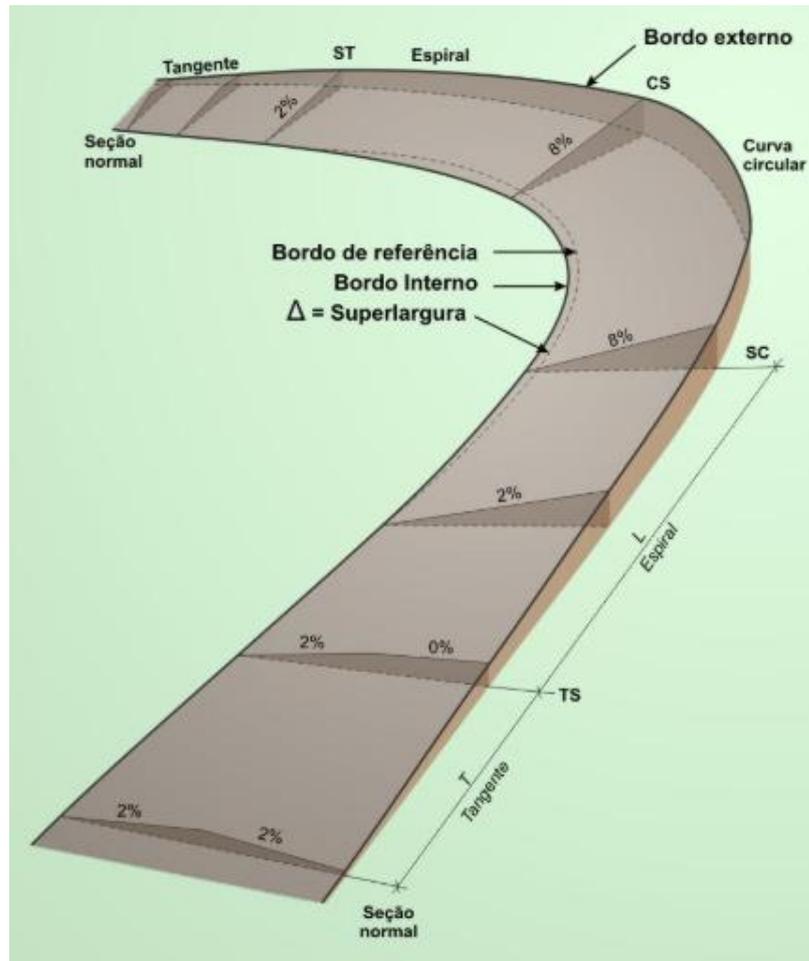
$Vo$  = velocidade de projeto do veículo (km/h)

$R$  = Raio de curvatura (m)

$f$  = Coeficiente de atrito (adimensional)

A figura 3 representa o exemplo de uma superelevação em um trecho curvo, onde podemos observar que, inicia com uma seção normal e quando se aproxima da seção circular da pista começa uma inclinação de 2% como ilustra a figura abaixo. Esta inclinação vai subindo gradativamente até atingir seu valor máximo no centro da curvatura circular, após atingir este valor de inclinação máxima ela começa a reduzir gradativamente a inclinação até atingir as condições normais de pista.

Figura 3. Representação de superelevação.



Fonte: Modificado de Dener (1999).

A superelevação das vias também pode ser obtida a partir da Tabela 2, conforme apresentada por Thompson e Visser (2014).

Tabela 2 – Superelevação em função de velocidade do veículo e raio de curvatura

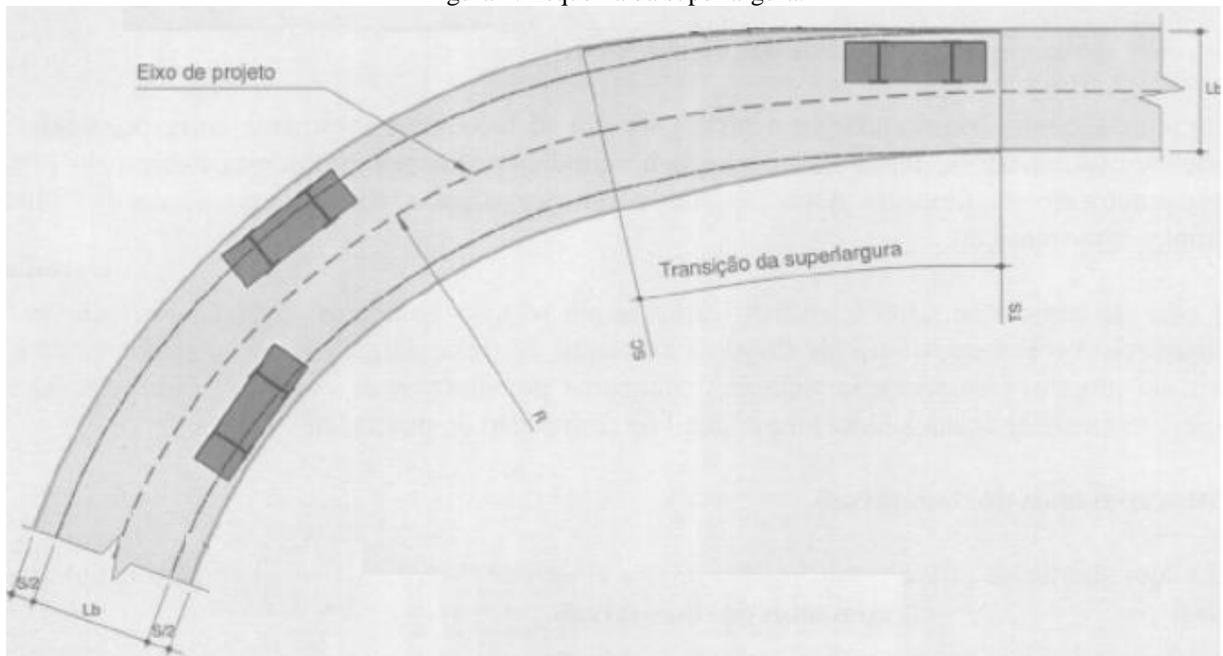
Raio da curva (m)	Velocidade e superelevação								
	15km/h	20km/h	25km/h	30km/h	35km/h	40km/h	45km/h	50km/h	55km/h
50	0,035	0,060	0,090						
75	0,025	0,045	0,070	0,090					
100	0,020	0,035	0,050	0,075	0,90				
150	0,020	0,025	0,035	0,050	0,065	0,085			
200	0,020	0,020	0,025	0,035	0,050	0,065	0,080		
300	0,020	0,020	0,020	0,025	0,035	0,045	0,055	0,065	0,080
400	0,020	0,020	0,020	0,020	0,025	0,035	0,040	0,050	0,060
500	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050

### 2.1.4 Superlargura em curvas

Segundo o DNIT (2006) a superlargura em curvas é uma largura somada à pista nos trechos em curva, assegurando aos veículos condições de segurança. A superlargura pode ser implantada de duas formas sendo essas o alargamento assimétrico da pista e o alargamento simétrico da pista. O alargamento assimétrico da pista é quando a superlargura está disposta no lado interno da curva e a linha de divisão da pista não coincide com o eixo do projeto. O alargamento simétrico da pista ocorre quando a superlargura é dividida ao meio, uma metade é disposta no lado interno da curva e a outra parte no lado externo da curva e, ainda, a linha de divisão da pista coincide com o eixo de projeto (DNER, 1999).

A superlargura deve ser projetada quando dimensionada as curvas de vias de acesso para obter melhores condições de segurança e tráfego. Na Figura 4, podem ser observados os efeitos da superlargura dos veículos na curva, assim como a necessidade de uma largura de curva maior a fim de evitar ou minimizar a diminuição da velocidade de tráfego, colisões, além de aumentar a visibilidade do condutor e demais situações de inseguranças.

Figura 4. Esquema da superlargura.



Fonte: Retirado e modificado de Dner (1999).

A figura 4 exemplifica o desenho geométrico de uma estrada cuja superlargura ocorre de forma simétrica, ou seja, a superlargura está presente nos dois lados da pista com mesmas medidas de distanciamento. O eixo do projeto é a linha central onde separa os dois lados da pista, a letra R representa o raio da curva,  $L_b$  representa a largura básica da pista sem o acréscimo da superlargura, S2 é a medida adicional na largura de pista, e a transição da superlargura é a distância necessária para acréscimo de largura na pista de forma gradual.

Seguindo a sugestão de Dener (1999), é possível obter a superlargura pelas equações abaixo:

$$S = n \cdot (R - \sqrt{R^2 - E^2}) + \frac{v}{10\sqrt{R}} \quad (4)$$

Onde:

$S$  = Superlargura (m)

$n$  = número de pistas

$R$  = Raio da curva (m)

$E$  = Distância entre eixos mais afastados

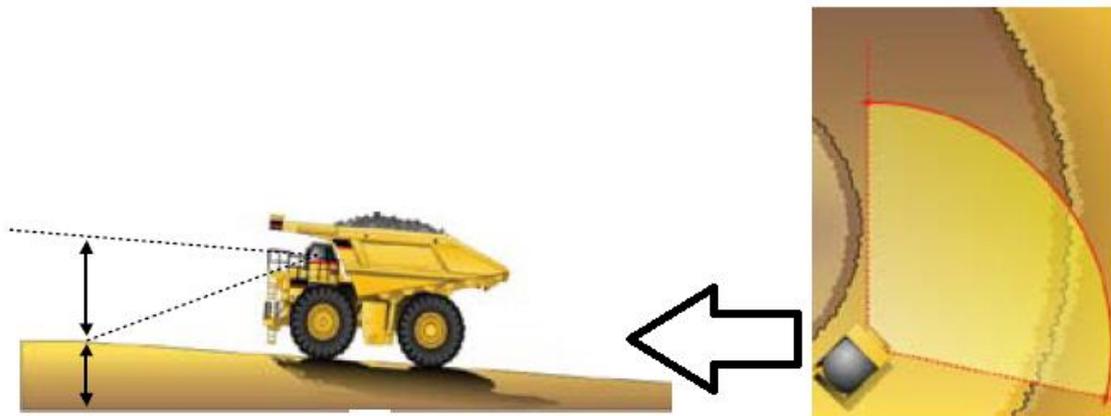
$v$  = Velocidade de projeto (km/h)

### 2.1.5 Distância de visibilidade

A distância de visibilidade compreende o comprimento da pista que é visível pelo condutor do veículo (LEE, 2008). Tanto na visão vertical quanto na visão horizontal, a distância de visibilidade do obstáculo deve ser suficiente para que o condutor do veículo consiga parar antes de atingi-lo, sendo que a distância que o operador viu o obstáculo deve ser maior ou igual à distância de parada do veículo (CATERPILLAR, 2009).

A Figura 5 exemplifica a visibilidade de um condutor quando em situação de curva horizontal e de curva vertical.

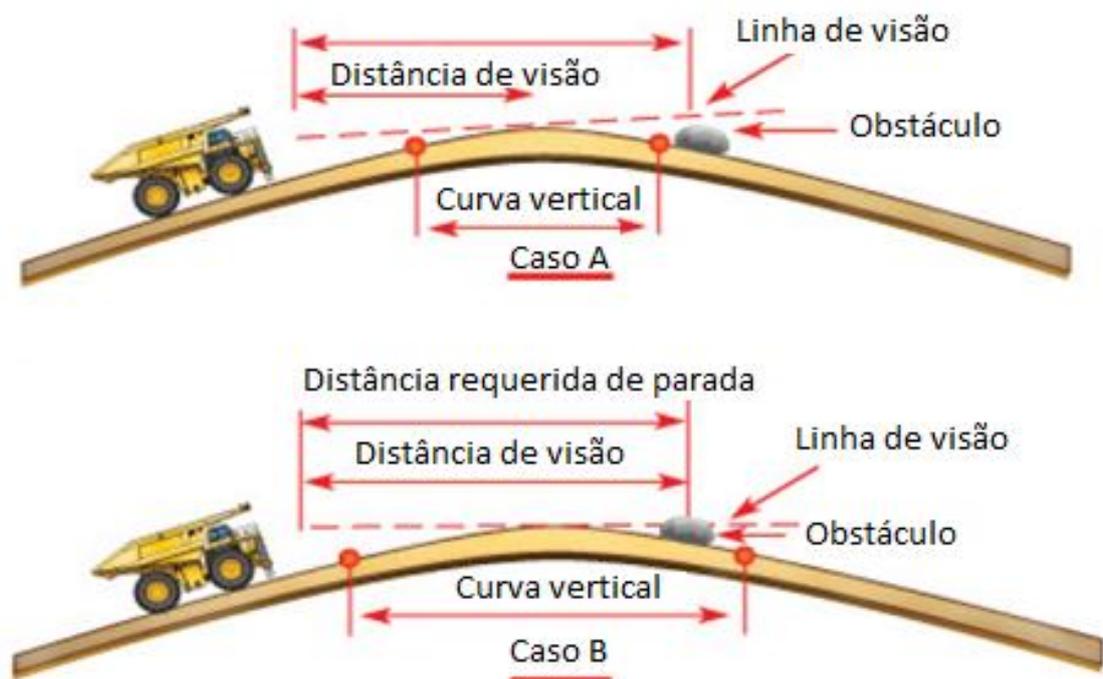
Figura 5. Condições de distância de visibilidade vertical e horizontal em uma curva.



Fonte: Retirado e adaptado de Caterpillar (2009).

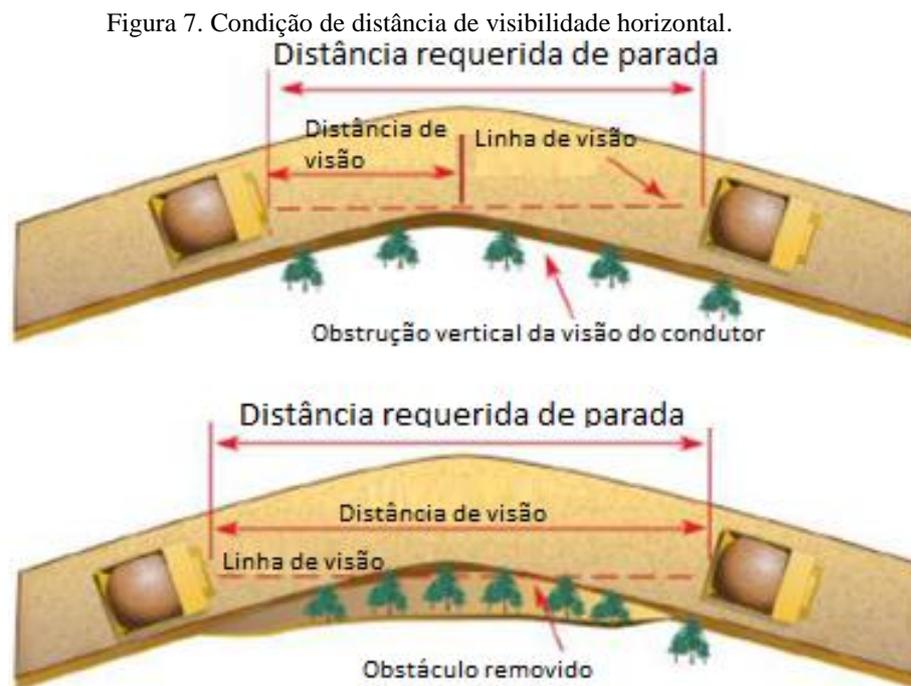
Como exemplifica a Figura 6, a visibilidade do condutor do veículo fica comprometida devido à curvatura vertical da estrada. Para isso, deve-se considerar a distância da linha de visão e a distância de parada, pois evita que o operador seja surpreendido por um obstáculo e não tenha uma distância segura para frenagem do equipamento. A mesma condição pode ocorrer em uma curva descendente com posterior ascensão.

Figura 6. Condições de distância de visibilidade vertical.



Fonte: Retirado de Caterpillar (2009).

Na Figura 7, a situação geométrica horizontal está influenciando a visibilidade. Neste caso, a distância mínima para a parada deve ser idêntica à distância de visibilidade para que seja minimizado o risco de colisões devido à falta de visibilidade e tempo de reação do condutor.



Fonte: Retirado de Caterpillar (2009).

Segundo Thompson e Visser (2014), para a condição da Figura 7, é preciso calcular a distância da curvatura vertical, sendo que, para este cálculo, considera-se a distância de parada. Caso a distância de parada seja menor que a curvatura vertical, usa-se a equação 5. Caso seja maior que a curvatura vertical, usa-se a equação 6.

Equação da distância da curvatura vertical caso a distância de parada seja menor.

$$L = \frac{\Delta G \cdot SD^2}{100(\sqrt{h1} + \sqrt{h2})^2} \quad (5)$$

Equação da distância da curvatura vertical caso distância de parada seja maior.

$$L = 2SD - \left( \frac{200(\sqrt{h1} + \sqrt{h2})^2}{\Delta G} \right) \quad (6)$$

Sendo que para ambas as equações:

SD = distância de parada mínima (m)

h1 = distância do operador acima do piso (m)

h2 = altura do obstáculo (m)

$\Delta G$  = diferença algébrica entre inclinações (%)

Havendo a necessidade de cálculo de afastamento mínimo horizontal, é possível utilizar a Equação 7. Justifica-se o cálculo deste caso como exemplificado na Figura 7, que na ilustração seria representado pelo recuo das árvores abaixo da estrada da figura.

$$LB = SD \left[ 1 - \cos\left(\frac{28,65R}{SD}\right) \right] \quad (7)$$

Onde:

LB = afastamento horizontal mínimo (m)

R = raio de curvatura (m)

SD = distância de parada (m)

### 2.1.6 Largura de pista e leiras de proteção

A largura da pista leva em consideração o tamanho dos equipamentos e o número de vias que serão considerados para o tráfego no local. No Brasil, existem normas regulamentadoras para o exercício da mineração. No caso específico de minas a céu aberto, a NR-22 (BRASIL,1978) determina que as vias de transporte devam obedecer aos seguintes requisitos mínimos:

Os limites externos das bancadas utilizadas como estradas devem estar demarcadas e sinalizadas de forma visível durante o dia e à noite. A largura mínima das vias de trânsito deve ser duas vezes maior que a largura do maior veículo utilizado no caso de pista simples, e três vezes, para pistas duplas. Nas laterais das bancadas ou estradas, onde houver riscos de quedas de veículos, devem ser construídas leiras com altura mínima correspondente à metade do diâmetro do maior pneu de veículo que trafegue por elas.

Ainda, a NR-22 (BRASIL,1978) determina que, em caso de não terem sido realizados os itens acima citados em virtude de impossibilidade operacional ou em virtude do plano de lavra não permitirem tais condições, deverão ser adotados procedimentos e sinalizações adicionais para garantir a segurança na via.

Tannant (2001) enfatiza que a largura mínima que uma estrada deve ter, em função da largura do equipamento de transporte e do número de vias, e pode ser descrita pela Equação 8.

$$L = (1,5 * V + 0,5)X \quad (8)$$

Onde:

L = largura da estrada (m)

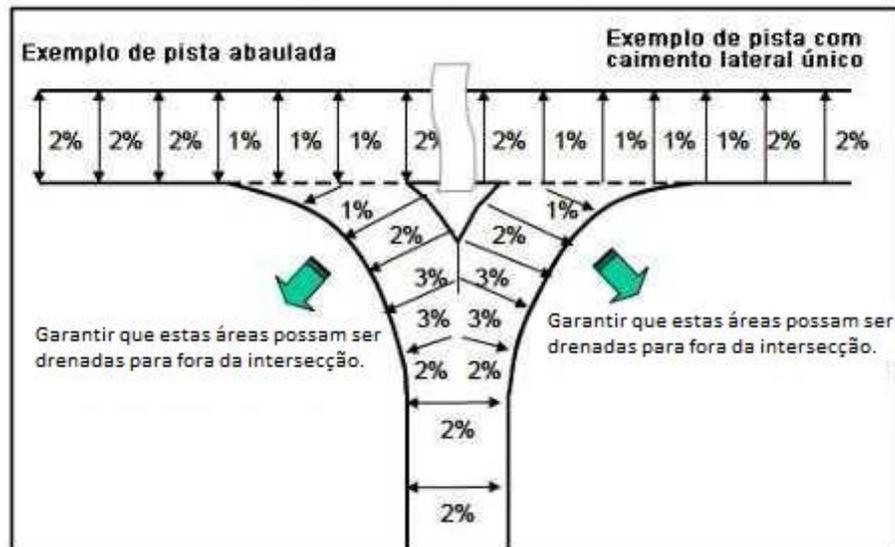
V = número de vias

X = Largura do veículo (m)

### **2.1.7 Intersecções entre elementos geométricos**

Cruzamentos, rotatórias e outros tipos de intersecções são elementos de transição entre diferentes vias. Tais elementos devem ser projetados de formas a garantir segurança e as melhores condições de tráfego possíveis, conforme evidenciado na Figura 8.

Figura 8. Exemplo de transição.

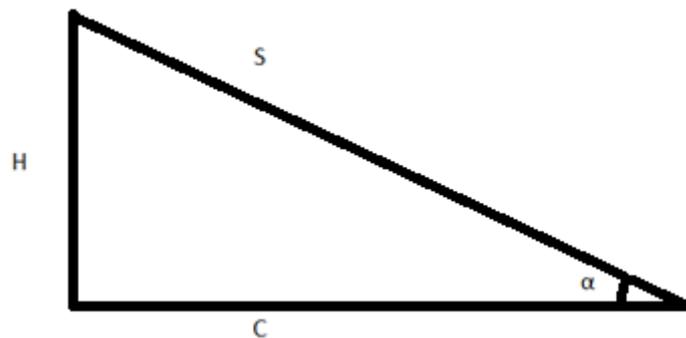


Fonte: Adaptado de Thompson e Visser (2014).

### 2.1.8 Inclinação Longitudinal

A Inclinação longitudinal é uma definição da inclinação de determinado trecho da via. A inclinação de um determinado intervalo da via pode ser obtida a partir da divisão do desnível pelo comprimento do trecho. Portanto, é uma relação percentual entre o desnível e o comprimento horizontal. Na Figura 9, é possível observar a relação da inclinação da via.

Figura 9. Exemplo de inclinação de uma via.



Fonte: Própria

Na Equação 9 pode ser verificado como é calculado a inclinação longitudinal.

$$G(\%) = \left(\frac{H}{C}\right)100 \quad (9)$$

Onde:

H = Desnível ou distância vertical (m)

C= Comprimento da via ou distância horizontal (m)

S= distância em superfície inclinada da via (m)

A relação entre a inclinação da via e o ângulo de inclinação em relação à horizontal é feita pela conversão para ângulo, e é dado pela Equação 10:

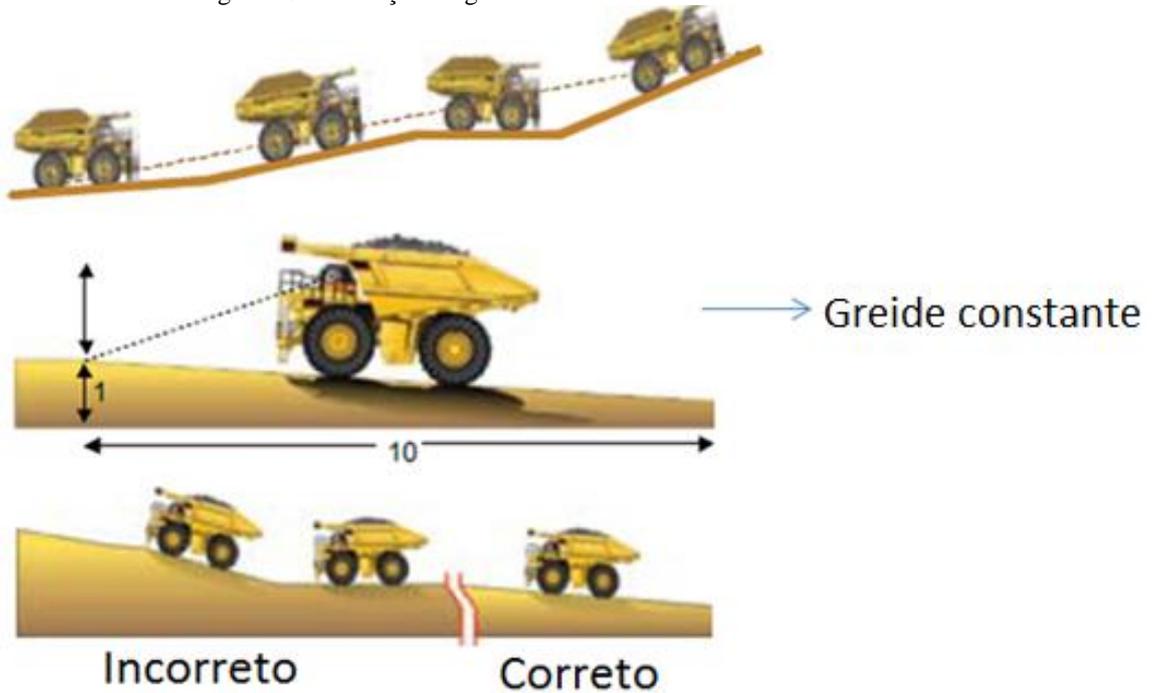
$$G(\%) = 100 * \tan \alpha \quad (10)$$

Onde:

$\alpha$ = ângulo entre a superfície da estrada e o plano horizontal (graus), considerando-se a distância horizontal igual a 100 metros.

Nas inclinações longitudinais ascendentes, os valores das rampas são considerados valores positivos e, nas inclinações longitudinais descendentes, os valores são considerados negativos (MACEDO, 2016), conforme pode ser visualizado na Figura 10. É importante que a inclinação longitudinal da via seja constante e sem alterações abruptas, pois as alterações prejudicam o desempenho de aceleração e retardo do equipamento de transporte, além de demandar uma mudança constante de marcha o que ocasiona em uma mudança na velocidade do equipamento. Isso pode implicar em maiores custos de manutenção, podendo levar a uma substituição precoce de componentes mecânicos nos equipamentos de transporte. Além de efeitos negativos sobre o desempenho dos equipamentos, temos a perda de material com o transbordo ao longo da pista, com conseqüente redução da vida útil dos pneus quando os equipamentos rodam na estrada com material de espalhado na pista. (THOMPSON; VISSER, 2014).

Figura 10. Inclinação longitudinal constante e inconstante.



Fonte: Adaptado de Caterpillar (2009)

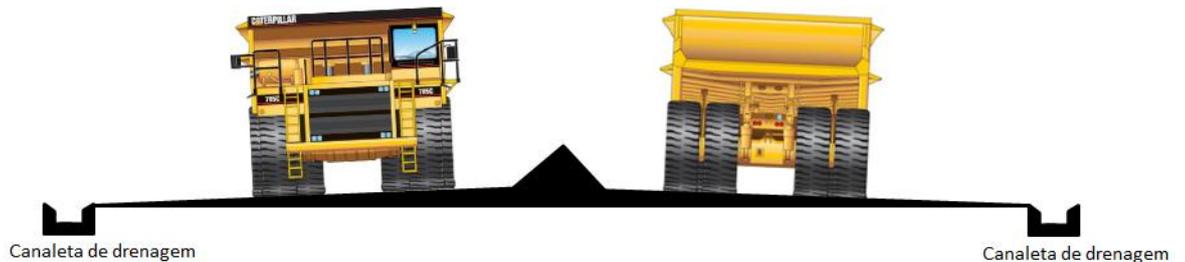
### 2.1.9 Inclinação e direcionamento de drenagem

O direcionamento da drenagem superficial serve para evitar que a água acumule na superfície, evitando situações de insegurança. A inclinação da via pode ser de duas formas distintas. Na primeira, a drenagem pode ser direcionada unicamente para um ponto, chamada de caimento lateral único, onde a água é direcionada diretamente para o canal de drenagem lateral, conforme indicado na Figura 11. A segunda forma é a inclinação com abaulamento central ou abaulamento transversal em que a drenagem é direcionada para as duas canaletas laterais, conforme exemplificado na figura 12 (VISSER, 2014).

Figura 11. Inclinação transversal com caimento lateral único



Figura 12. Inclinação transversal com abaulamento central



Fonte: Adaptado de Caterpillar (2009)

A inclinação da seção transversal geralmente possui entre 2% e 3%, esta inclinação pode ser utilizada em condições nas quais a geometria da escavação permita (THOMPSON; VISSER, 2014). É recomendado que, em caso de pistas irregulares, a inclinação transversal pode ser maior para diminuir o tempo de escoamento da água. Em rampas, esta inclinação transversal deve ser mínima, a menos que, na região, apresente muita chuva.

Os tipos de inclinações devem ser escolhidos a partir da facilidade de construção e manutenção que podem ser proporcionadas pelo perfil da via, tanto na facilidade de manutenção da via em si, quanto na manutenção da canaleta de drenagem. Em vias planas, deve-se manter uma inclinação transversal mínima de 2%. Na via, onde o equipamento sobe carregado deve-se manter a mesma inclinação transversal.(CATERPILLAR, 2009).

### **2.1.10 Projeto de drenagem**

O Projeto de drenagem visa o controle e direcionamento das águas superficiais que caem nas vias. Em uma cava a céu aberto uma via é um potencial ponto de interceptação de águas da mina, bem como sua inclinação em determinados trechos da rede de transporte proporciona maiores possibilidades de acúmulo de água (THOMPSON; VISSER, 1996).

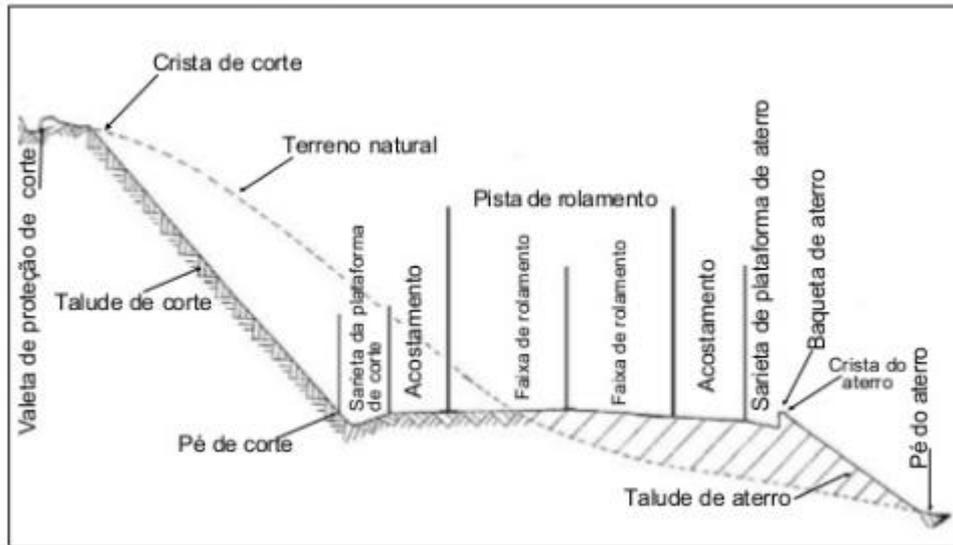
DNIT (2006) destaca que a drenagem superficial procura interceptar e captar as águas provenientes de áreas adjacentes e aquelas que se precipitam sobre o corpo, conduzindo-as de forma segura ao deságue, resguardando sua segurança e estabilidade. Na drenagem superficial, podem ser utilizadas valetas de proteção de corte e aterro, sarjetas de corte, saídas de água, descidas de água, caixas coletoras, bueiros de grade, dissipadores de energia e caixas de retenção. Para as drenagens profundas usam-se tubos porosos para evitar que a infiltração atinja o subleito.

Para cada um desses elementos, é necessário que os índices pluviométricos sejam conhecidos e que todos os pontos de divisão de fluxo de água e coletores da cava sejam conhecidos para o correto dimensionamento dos elementos de drenagem. É importante o dimensionamento dos elementos de drenagem para conferir maior segurança aos equipamentos que trafegam na via bem como para evitar a deterioração da estrada. Desta forma, torna-se necessário um projeto de drenagem com os elementos adequados para evitar cenários de insegurança e de redução de produtividade (THOMPSON ; VISSER, 2014).

### **2.1.11 Valetas de proteção de corte e aterro**

As valetas de proteção são elementos de drenagem construídos paralela às cristas de taludes ou no pé do talude de aterro, com o objetivo principal de evitar que o fluxo de água atinja a crista, ou pé, e cause erosão (DNIT, 2006).As valetas podem ter diferentes seções transversais, variando entre trapezoidal, triangular e retangular, conforme a Figura 13.

Figura 13. Valetas de drenagem.



Fonte: Retirado de <http://pt.slideshare.net/DanielFXA/manual-de-campanha-estradas-c-538>

As valetas são divididas em valetas de proteção de corte e de aterro, conforme a figura 14.

Figura 14. Valetas de proteção de corte e aterro.



Fonte: DNIT (2006).

A valeta de proteção de corte é um dispositivo destinado a interceptar e conduzir as águas precipitadas sobre as áreas adjacentes e que escoam nos cortes, fazendo com que a água atinja, o mínimo possível, a estrada. O objetivo das valetas de proteção de corte é de interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante, de forma que impeça que atinja o talude de corte. Elas necessitam ser construídas ao longo dos trechos em corte onde o escoamento superficial proveniente dos terrenos adjacentes possa atingir o talude e comprometer a sua estabilidade. As valetas de proteção de aterros podem ter seções trapezoidais ou retangulares, e têm como função interceptar as águas que escoam pelo terreno

a montante, impedindo que a água atinja o pé do talude de aterro, também recebendo águas das valetas de corte (DNIT, 2006).

Apesar da fácil construção, as valetas não são recomendadas em casos onde existam grandes vazões. Cada uma das seções deverá ser escolhida devido as suas características. Como exemplo, é possível citar uma seção trapezoidal onde apresenta maior raio hidráulico, promovendo maior perda de energia. Caso o interesse for o de reduzir a energia do escoamento, esta seção é a mais adequada (DNIT, 2006).

A seção de cada valeta deve ser dimensionada de forma a atender a vazão recomendada. A execução da valeta deve ser feita imediatamente após o corte ou o aterro. Para evitar que a estabilidade do talude seja comprometida, recomenda-se que, durante a construção, o material da escavação da valeta seja usado para construir uma proteção da valeta, onde o material deve ser compactado manualmente para conferir maior estabilidade. Para o revestimento da valeta, os mais recomendados são de cimento e de alvenaria (DNIT, 2006).

#### **2.1.12 Sarjetas de corte e aterro**

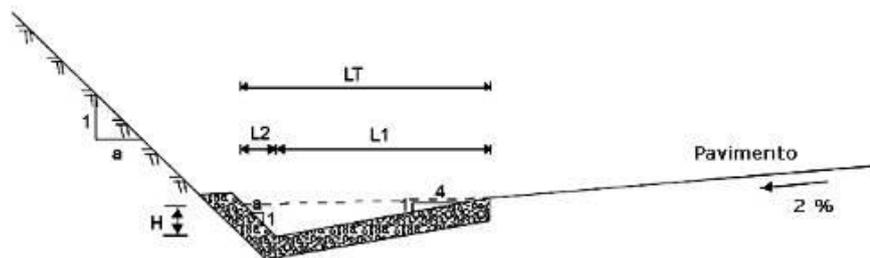
O principal objetivo da sarjeta de aterro é captar as águas que precipitam sobre a plataforma, impedindo que provoquem erosões no talude do aterro e conduzindo-as ao local de deságue seguro. Devem-se utilizar sarjetas de aterro em trechos que a velocidade das águas provoque erosão e em trechos onde, em conjunto com a terraplenagem, seja a mais econômica. Com isso, aumenta a altura para o primeiro escalonamento de aterro e interseções (DNIT, 2006).

As sarjetas são pequenas escavações feitas próximas ao pé de um talude. Sua principal função é de captar água de escoamento proveniente do talude e a água drenada da berma ou da pista lateral. Este é um importante elemento na rede de drenagem de água, pois irá conduzir todo o volume até um ponto de escoamento. Existem muitos tipos de seção, que variam dependendo da capacidade de vazão necessária (DNIT, 2006).

A sarjeta de corte pode apresentar diferentes seções, sendo as mais comuns a triangular, a trapezoidal e a retangular. Cada geometria difere não apenas na facilidade de execução como também na sua aplicação. A seção triangular é a que apresenta menor raio hidráulico, desta forma é a seção que deve ser utilizada quando não existe uma grande necessidade de perda da carga hidráulica, dando uma boa vazão para o escoamento.

A execução das sarjetas de corte deve ser imediata após a conclusão do corte do talude. O seu revestimento e sua construção devem ser compatíveis com as características do material que se está trabalhando, de formas a observar a declividade e erosão. O revestimento adotado pode ser de cascalho, uso de gramíneas, cimento ou alvenaria de pedra argamassada (DNIT, 2006).

Figura 15. Sarjeta de Corte.



Fonte: Retirado de DNIT (2006).

## 2.2 PROJETO ESTRUTURAL

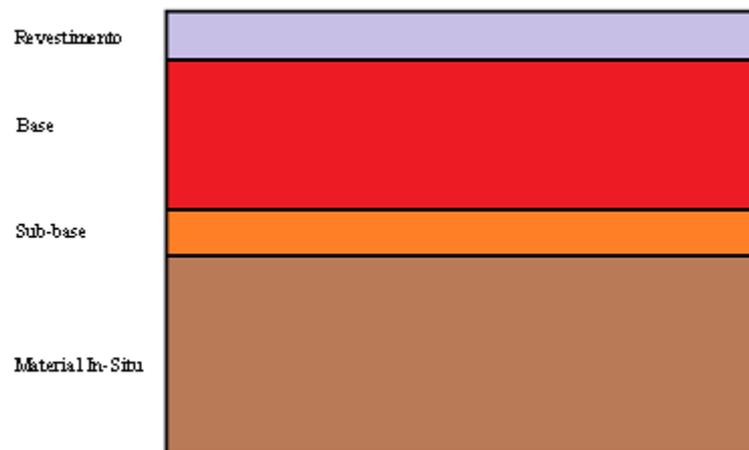
O projeto estrutural objetiva o dimensionamento das camadas que compõem o pavimento. As camadas devem suportar e resistir aos esforços impostos à estrada durante a sua vida útil projetada, fazendo com que sejam minimizadas as necessidades de manutenção da via (HUGO, 2005). O projeto estrutural é um conjunto composto pela formação de camadas considerando a espessura e tipos de material disponíveis de fácil acesso, sendo compatível com o material *in-situ* e com o volume de tráfego previsto para a vida útil da estrada (THOMPSON, 1996).

Uma via de acesso mineira é uma estrutura viária que é constantemente submetida a grandes esforços. É no projeto estrutural que é feito o dimensionamento das camadas que compõem o pavimento, fazendo com que estas consigam suportar as cargas superficiais impostas sobre ela. O projeto estrutural deve considerar o caráter de permanência da via, intensidade de tráfego, peso dos caminhões e a matéria prima disponível para a construção da via. O correto dimensionamento das camadas irá minimizar riscos estruturais e aparições de corrugações, buracos e outros elementos que diminuem a produtividade e aumentam os custos de transporte (THOMPSON; VISSER, 2014).

### 2.2.1 Camadas do pavimento

Os principais elementos estruturais de uma camada podem ser observados na Figura 16. Cada uma das camadas apresenta uma característica peculiar e importante no desempenho do pavimento. Desta forma, a mudança de porte de equipamentos deve ser considerada como uma condição crítica, principalmente para o projeto estrutural, demandando que novos estudos sejam feitos para que as vias de acesso não sejam comprometidas por deformações excessivas.

Figura 16. Principais camadas de um pavimento.



Fonte: Própria

A camada de revestimento deve formar uma capa de rolamento que seja, tanto quanto possível impermeável, e resistente para suportar o tráfego de veículos. Um revestimento ideal para a construção de uma estrada de mina deve apresentar características como a diminuição de poeira em períodos que sejam secos, evitar que, em períodos de chuva, a pista fique escorregadia, ser adequada à trafegabilidade em condições climáticas variadas além de ter um baixo custo sem a necessidade de muita manutenção (THOMPSON; VISSER, 2014).

A base é a camada localizada abaixo da camada de revestimento, cuja principal função é de resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos que ali transitam, distribuindo-os ao longo da camada de sub-base. Segundo Thompson e Visser (2014), esta camada deve apresentar como característica uma grande densidade e estabilidade. Além disso, a base é responsável por proteger a sub-base de grandes deformações. O dimensionamento ou

execução incorreto da construção da base poderá provocar entre outros problemas defeitos estruturais graves ocasionando deterioração prematura da estrada.

A sub-base é uma camada situada entre a base e o material *in-situ*, sendo que a sub-base pode ou não existir no projeto da via DNIT (BRASIL, 2006).

O subleito ou material *in-situ* é a camada que corresponde ao terreno de fundação do pavimento. Esta estrutura deve suportar toda a capacidade de carga das camadas superiores, pois, quando há a deformação plástica de um subleito em função da carga aplicada sobre o pavimento este é um forte indício de que as camadas do pavimento não possuem uma espessura suficiente que limitam as tensões de cisalhamento no subleito aos valores compatíveis com a resistência ao cisalhamento do solo conforme indicação do DNIT (BRASIL, 2006).

### **2.2.2 Dimensionamento das camadas**

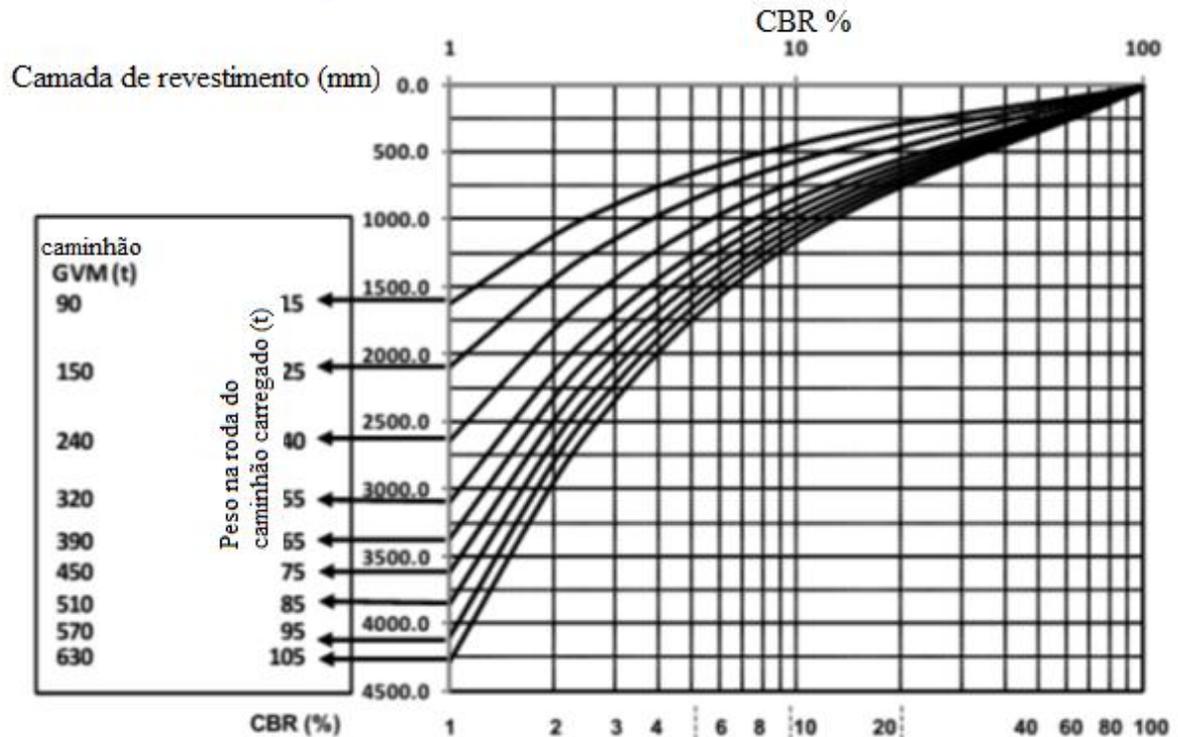
O dimensionamento das camadas que compõem a via pode ser realizado através da utilização de três métodos, sendo eles: metodologia CBR feita em laboratório, CBR de campo, e CBR obtido através do método mecanístico. Segundo Thompson e Visser (1996), metodologias de dimensionamento de camadas receberam mais atenção a partir de 1920, porém estas técnicas foram desenvolvidas especialmente para as vias pavimentadas.

### **2.2.3 CBR de laboratório**

O método CBR – *California Bearing Ratio* foi desenvolvido pelo departamento de estradas da Califórnia após estudos indicarem que a grande maioria das falhas identificadas nos pavimentos era devido à compactação inadequada dos materiais que compunham as camadas ou por camadas com espessura insuficiente sobre material *in-situ* fraco. Segundo Hustrulid e Kuchta (2013), o CBR é um índice obtido a partir da razão percentual entre a pressão exercida por um pistão de compactação em uma amostra de solo e a pressão exercida pelo mesmo pistão em uma amostra de referência. A amostra de referência é brita, bem graduada de alta qualidade, que tem um CBR de 100%. Neste método, todos os materiais são ensaiados em laboratórios e são geradas curvas que correlacionam o CBR do material e a carga exercida sobre os pneus a uma dada espessura de camada. Desta forma, são determinadas as espessuras das camadas do Revestimento, da Base e da Sub-Base.

Na Figura 17, é possível observar o ábaco com as curvas de CBR correlacionadas com a carga exercida sobre cada um dos pneus com a espessura da camada de revestimento. A carga exercida pelos pneus é o chamado GVW (*Gross Vehicle Weight*), sendo este o peso máximo do caminhão carregado dividido pelo número de pneus (THOMPSON; VISSER, 2014).

Figura 17. Valor de CBR em função do peso do caminhão.



Fonte: adaptado de Thompson e Visser(2014).

As vantagens do método CBR de laboratório estão relacionadas a uma metodologia de fácil utilização e rápida obtenção dos dados, com boas aproximações para pequenas pressões sobre rodas, não infringindo critérios de dimensionamento para pistas de caráter temporário. As principais desvantagens estão relacionadas à base teórica fundamentada na teoria de camada única semi-infinita de Boussinesq, a qual assume um módulo de elasticidade constante para o material. Como vias de transporte de minas consistem de várias camadas de diferentes materiais, cada um destes materiais apresenta um comportamento elástico distinto. Outra desvantagem do método CBR é que ele é baseado em observações empíricas para veículos com carga máxima sobre eixos de 80kN. Porém, em vias de mineração, os valores de cargas podem ser de até 25 vezes maior (THOMPSON; VISSER, 1996).

Thompson e Visser (2014) descrevem as principais etapas para a determinação da espessura de camadas de estradas, sendo essas divididas em seis fases. A primeira etapa consiste na obtenção do CBR através de procedimentos laboratoriais para cada um dos materiais que irão compor as camadas de revestimento, base e sub-base, bem como ensaiar o material do sub-leito. Outra possibilidade de obter o CBR é através de materiais pré-ensaiados e com respectivo CBR determinado na bibliografia.

A segunda etapa refere-se à determinação da carga da roda. Nesta etapa, deve-se conhecer os equipamentos que irão rodar nas redes de transporte. O peso do equipamento a ser considerado deve ser o peso total do veículo carregado dividido pelo número de rodas que o equipamento possui, assim é possível obter o valor do carregamento máximo em cada um dos pneus. Como existem veículos com número diferente de rodas por eixo, considera-se o pneu com a maior carga para fins de cálculo.

Na terceira etapa, é definida a espessura total da camada. Através do CBR obtido pela carga dos pneus e da característica do sub-leito, define-se quanto deve ser a espessura total das camadas que compõem a via. A espessura obtida do gráfico é a espessura da camada, desde a superfície da via até o topo do sub-leito.

Na quarta etapa ocorre a definição da espessura da camada de sub-base a partir do CBR determinado pelo material e pela carga exercida pelos pneus. O valor obtido do gráfico é a espessura desde a superfície da via até o topo da sub-base. A quinta etapa consiste na definição da espessura da camada de base a partir do CBR determinado pelo material e pela carga exercida pelos pneus. O valor obtido do gráfico é a espessura desde a superfície da via até o topo da base.

Por fim, na sexta etapa, é possível determinar a espessura da camada de revestimento. Para isso, deve-se preencher a espessura faltante obtida na terceira etapa, sendo que esta espessura deve ser jogada no ábaco com a carga de pneus considerada anteriormente e verificado o CBR necessário para atender o projeto. Segundo Thompson, Visser (2014), esta camada deve ter um valor de CBR acima de 80%.

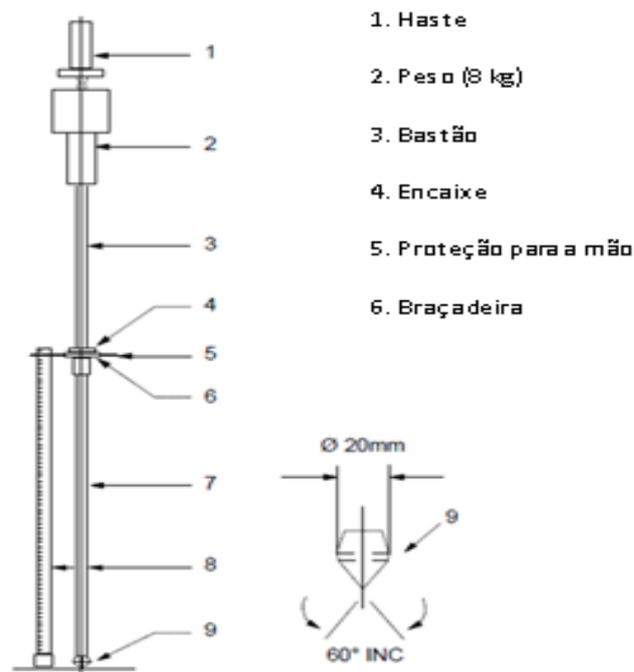
#### **2.2.4 Análise de CBR de campo por DCP**

O método CBR de campo utiliza o DCP – *Dynamic Cone Penetrometer*, instrumento que serve para determinar o CBR a partir da quantidade de golpes, medindo a taxa de penetração do equipamento no material ensaiado in situ. Esta metodologia não necessita que sejam feitas análises em laboratório, reduzindo os custos. Constitui um método de fácil

obtenção de informações de campo e pode ser utilizado amplamente em locais de mineração (THOMPSON; VISSER, 2014). Thompson e Visser (1996) destacam que, apesar deste método ter sido desenvolvido para analisar pavimentos já construídos, ele pode ser utilizado para a construção de novos pavimentos.

O instrumento é constituído na sua parte superior por uma empunhadura, imediatamente abaixo possui um peso cilíndrico de 8 kg, que se desloca para cima e para baixo em haste, com uma extremidade constituída por um cone em angulação de 60° e diâmetro máximo de 20 mm. O peso é solto de uma altura de 575 mm, caindo sobre um disco que transfere a energia da queda para a haste. Na lateral do instrumento existe uma régua usada para determinar a taxa de penetração do instrumento (THOMPSON; VISSER, 2014). Na Figura 18, há uma representação esquemática do equipamento do DCP.

Figura 18. Representação esquemática de DCP.

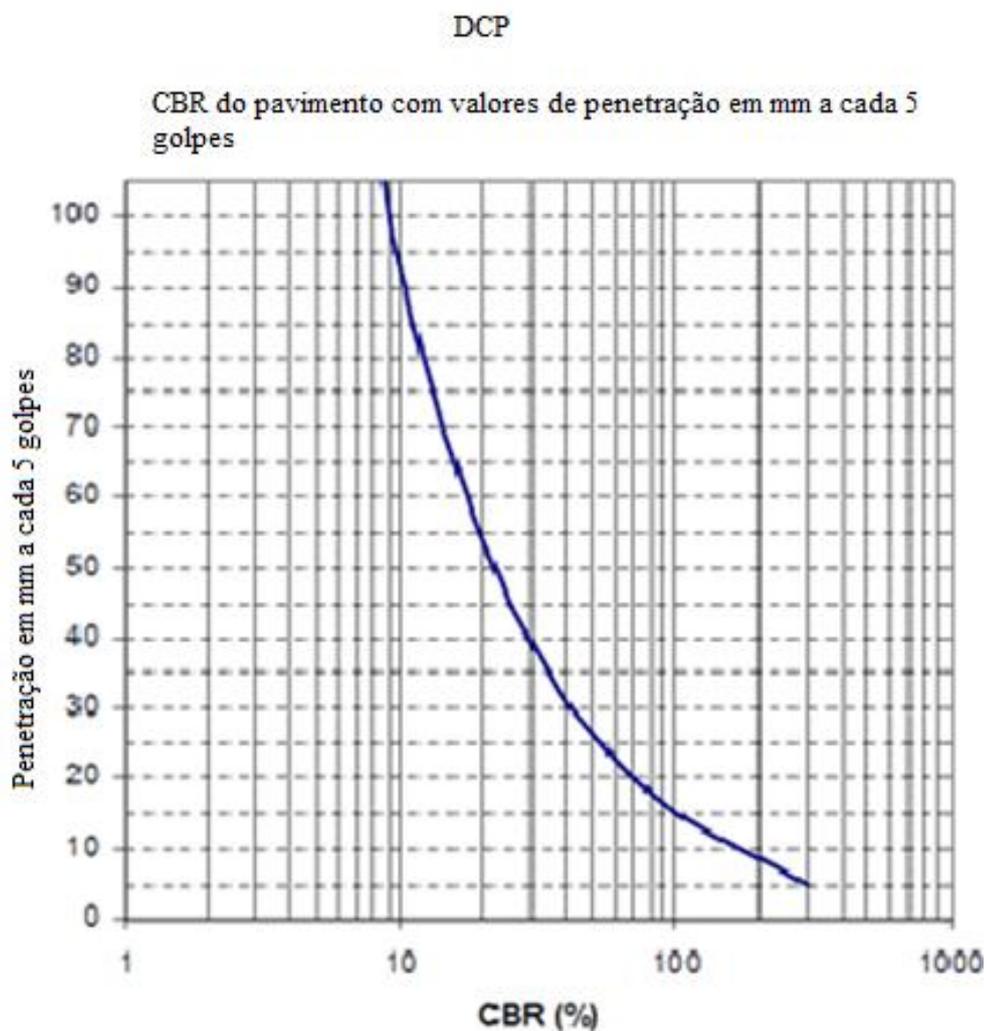


Fonte: Retirado de Thompson, Visser (2014).

As etapas para obtenção do CBR pelo método de campo são definidas, primeiramente, pela determinação dos materiais a serem utilizados. Após, são realizados testes em que o equipamento de DCP penetra no solo, sendo realizadas as medições das penetrações em mm

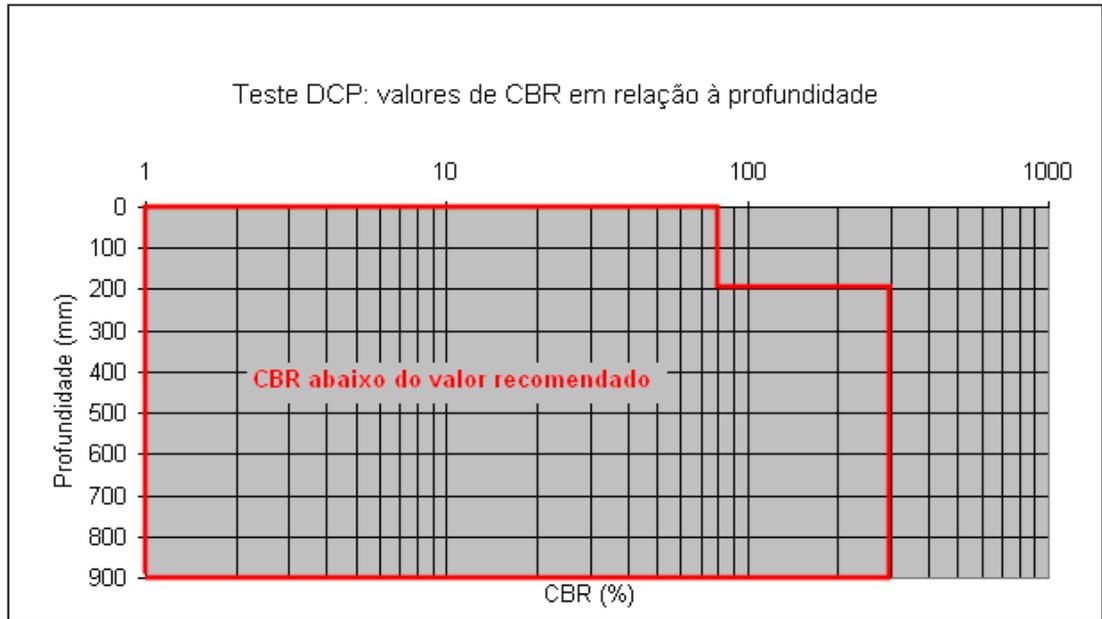
para uma quantidade de cinco golpes. O procedimento é repetido até a penetração parar ou até o comprimento da haste permitir. Em seguida, os valores médios obtidos pelo ensaio são jogados na curva padrão para obtenção do CBR do material, conforme a Figura 19. Após a obtenção dos valores de CBR, são definidas as profundidades de cada uma das camadas da via (THOMPSON; VISSER, 2014) a partir do gráfico da Figura 20 com as recomendações de espessura de camada segundo CBR.

Figura 19. Ábaco que correlaciona golpes com CBR.



Fonte: Retirado de Thompson e Visser (2014)

Figura 20. Recomendação de profundidade segundo CBR.



Fonte: Retirado de Thompson e Visser (2014).

### 2.2.5 Método mecanístico

Apesar de utilizar alguns elementos empíricos, o método mecanístico apresenta uma abordagem a partir da mecânica estrutural que compõem as camadas de uma via. As vantagens de se utilizar uma abordagem mecanística residem na habilidade de acomodar diferentes cargas e os seus impactos na performance estrutural da via e na habilidade de utilizar materiais disponíveis para a construção de forma mais eficiente. Além disso, existe a vantagem de acomodar novos materiais, previsões de performance de via mais confiáveis, uso de propriedades de material de projeto relacionadas com o desempenho estrutural e melhor definição de propriedade de camadas de vias já existentes (THOMPSON; VISSER, 1996).

## 2.3 PROJETO FUNCIONAL

O projeto funcional compreende a parcela do projeto preocupada com definir as características de redução de resistência ao rolamento, aderência adequada em condições com água, boas características de selante. Busca, com isso, evitar a percolação de água na base e na sub-base, redução da taxa de deterioração das vias e redução de emissão de particulados (THOMPSON; VISSER, 2003).

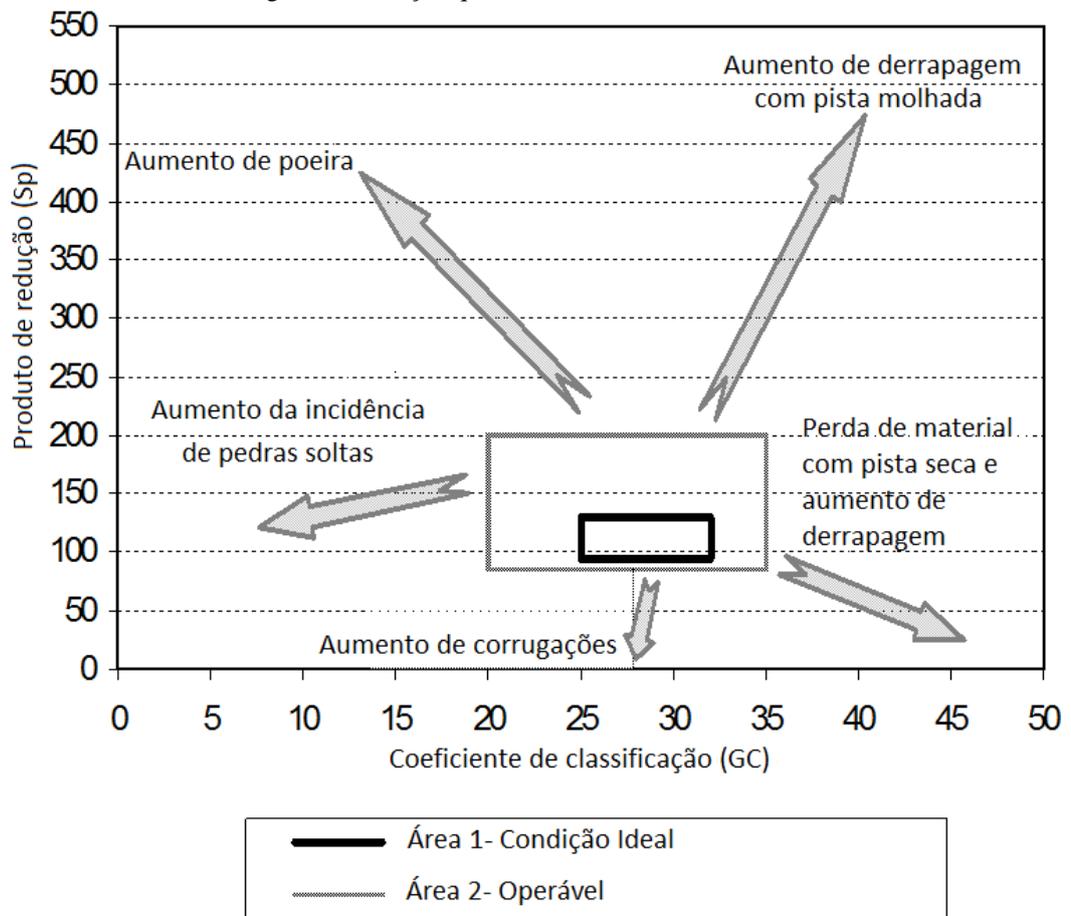
Uma boa capacidade funcional do revestimento deve garantir que os equipamentos de transporte sejam capazes de viajar no limite da velocidade permitida na via ou trecho. Tais

velocidades devem ser desempenhadas com garantia de que o revestimento irá conferir segurança. (THOMPSON; VISSER, 2003).

Conforme Visser (2015), geralmente a camada de revestimento é feita com uma mistura de materiais. O intuito de misturar os materiais é o de conferir qualidades comuns aos produtos misturados, gerando uma sinergia das qualidades.

Cada uma das características procuradas, isto é, aderência, boa agregação de materiais, baixa emissão de poeira, baixo efeito de derrapagem por material solto em ambiente seco, entre outras, podem ser observadas a partir da Figura 21. Ao analisar a Figura, é possível identificar que a qualidade do material para o revestimento deve cair dentro do quadrado cinza para condições operacionais. Porém, é preferível que a qualidade do material fique dentro do quadrado de cor preta (THOMPSON; VISSER, 2014).

Figura 21. Relação qualitativa do revestimento.



Fonte: Retirado da Apostila do curso de Treinamento de Estradas para Mineração (2015).

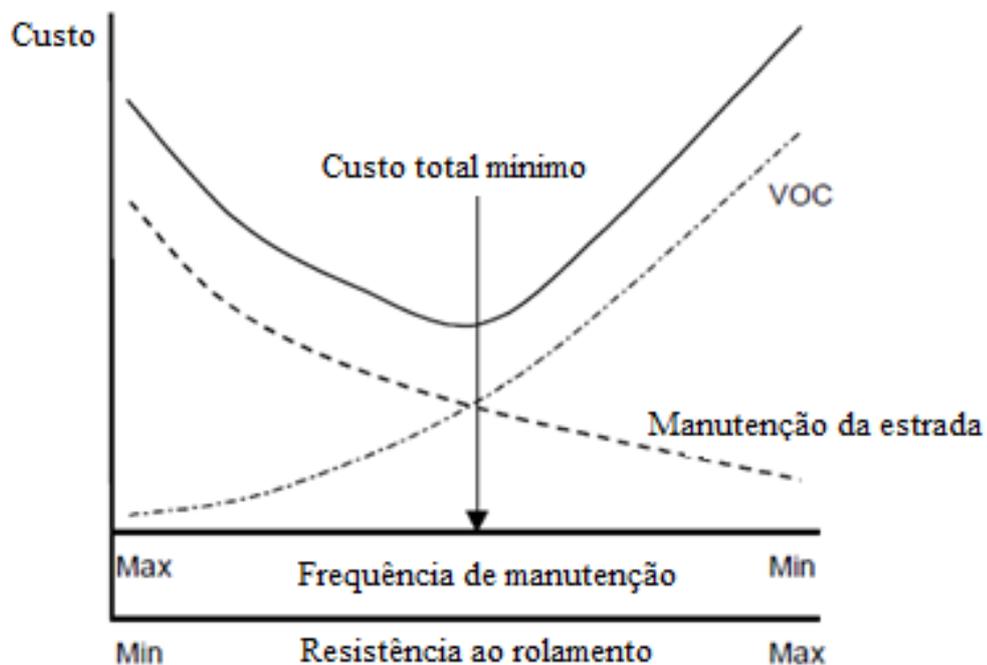
## 2.4 MANUTENÇÃO DE ESTRADAS

O custo elevado na aquisição e manutenção de caminhões fora de estrada torna as pistas com boas condições um elemento muito importante para a segurança e eficiência dos equipamentos, pois as boas condições das pistas podem diminuir os gastos com manutenção e reposição de peças e equipamentos (FONSECA, 2009).

Vias de acesso devem seguir boas práticas de projeto e construção, porém necessitam de intervenções recorrentes para a manutenção das suas capacidades funcionais. A não manutenção de vias de acesso pode incorrer em danos devido ao uso intensivo, podendo gerar um aumento nos tempos de ciclo de transporte dos equipamentos, aumento de custo operacional, como diesel e pneus, e aumento de custos de manutenção (THOMPSON ; VISSER, 2014).

A frequência de manutenção pode ser determinada de acordo com os custos, equipamentos disponíveis e o tráfego ao qual a via é exposta. O uso apropriado de uma estratégia de gerenciamento de manutenção tem o potencial de gerar economias significativas, sendo que toda a estratégia de manutenção deve ser baseada em um custo total mínimo onde converge os gastos de transporte com os gastos de manutenção da via, conforme a Figura 22(THOMPSON; VISSER, 2003).

Figura 22. Gráfico de custo ótimo



Fonte:Retirado de Thompson e Visser (2003).

A manutenção de estradas de mineração pode ser dividida por categorias e por atividades. A manutenção de rotina tem como atividades principais a identificação de corrugações, a drenagem e manutenção de bordas de estradas, o nivelamento raso e a aspersão de água. Para a correção das corrugações devem ser feitos os preenchimentos de buracos e pequenas depressões identificadas na pista, sendo que tais iniciativas reduzem a erosão e melhoram a drenagem superficial. A drenagem e manutenção de bordas de estradas ajudam a reduzir a erosão e a perda de material das drenagens, bem como melhoram o sistema de drenagem. Já o nivelamento raso serve para redistribuir o material da superfície e ajudara preencher pequenas depressões. Por fim, a aspersão de água ajuda a mitigar a suspensão de poeira no ar. A atividade de aspersão de água minimiza situações de risco e a redução de produtividade por baixa visibilidade (THOMPSON; VISSER, 2003; THOMPSON; VISSER, 2014).

A frequência de manutenção de vias pode ser classificada em reativas, programadas, segundo um sistema de manutenção e manutenção em tempo real. A manutenção reativa geralmente é realizada em um determinado trecho da estrada quando já é tarde demais. Este tipo de intervenção usualmente é realizada após uma inspeção de campo e de acordo com a disponibilidade de equipamentos.

As manutenções programadas ocorrem de acordo com programação fixa, independente da funcionalidade da estrada. A manutenção realizada a partir de um sistema de manutenção é a manutenção gerencial, sendo que a rede de estradas é analisada conforme a deterioração de segmentos, volume de tráfego e demais elementos, visando à redução do custo total do uso da estrada.

Por fim, a manutenção em tempo real consiste na análise de informações do despacho, telemetria embarcada nos equipamentos e análise online das informações para definir quais os trechos necessitam de intervenção e quais podem ser postergados (THOMPSON; VISSER, 2003).

# Capítulo 3

## **METODOLOGIA APLICADA**

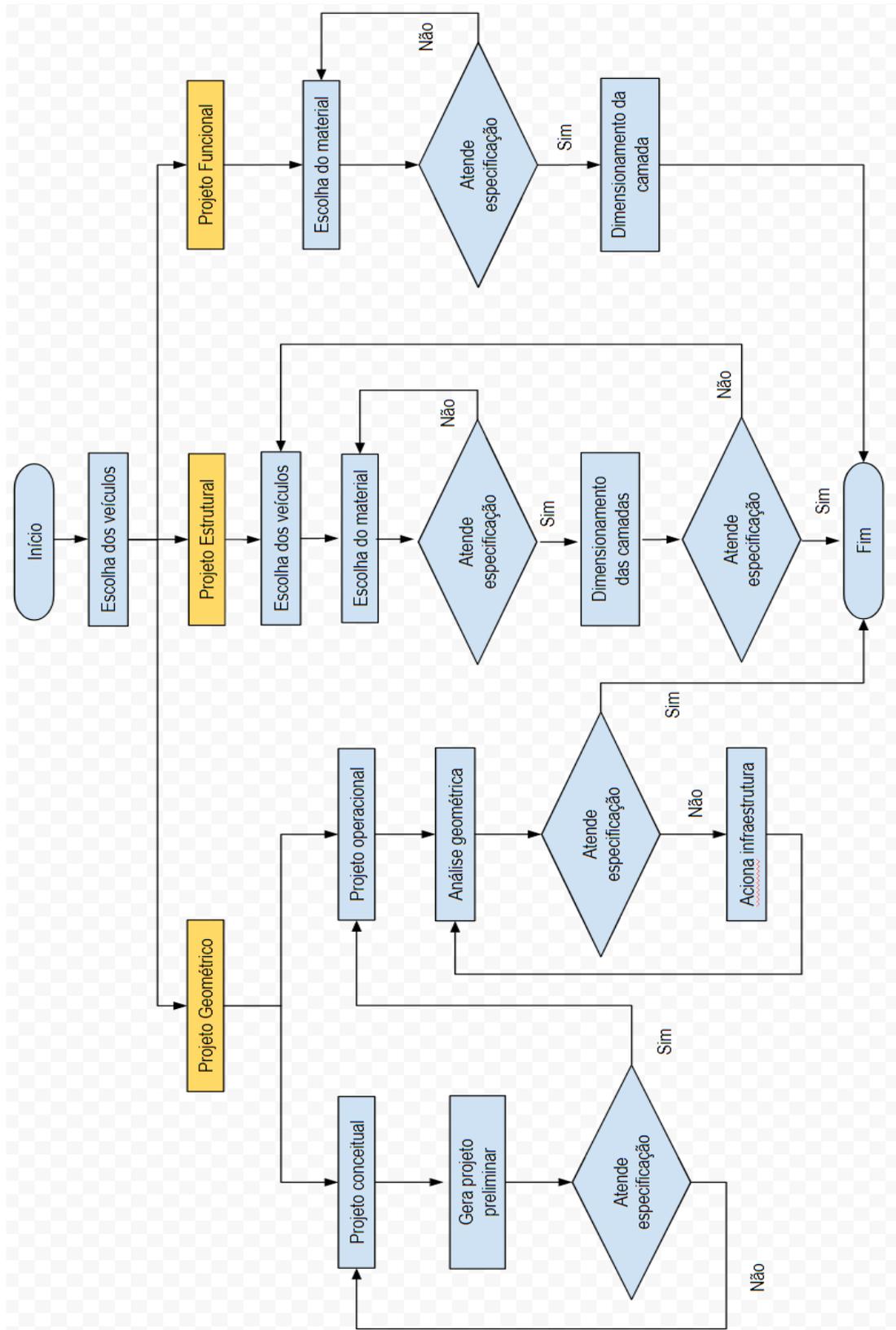
O desempenho operacional de um sistema rodoviário de transporte pode ser subdividido em quatro categorias de projeto distintas conforme definido por Thompson e Visser (2015), as quatro categorias são projeto geométrico, projeto estrutural, projeto funcional e a gestão e programação da manutenção.

O projeto geométrico refere-se ao traçado e ao alinhamento da estrada, tanto no plano horizontal (raio da curva, etc.) como no plano vertical (inclinação, gradiente de rampa, cruzamento, super-elevação). Também fazem parte do projeto as dimensões de berma e variação de largura de estrada. O projeto deve acomodar velocidades de veículos ótimas, estabilidade, desempenho e segurança da estrada.

O projeto estrutural diz respeito à capacidade de uma estrada de transporte transportar com cargas impostas sobre ela sem deformações no pavimento e, conseqüentemente, sem a necessidade de manutenção a todo tempo. O Projeto funcional refere-se à capacidade da via de transporte para desempenhar a sua função de mínima resistência ao rolamento, proporcionando uma viagem econômica e segura ao veículo que ali transita. A seleção e o gerenciamento do material de revestimento superficial controla, em sua função principal, o desempenho funcional. A gestão e a programação da manutenção (aspersão de água e recapeamento) da camada de revestimento devem estar de acordo com os limites projetados na estrada para que a mesma continue funcionando da melhor maneira.

A especificação dos projetos geométricos, estruturais, funcionais e de gestão de manutenção existem para as diversas classes de estrada, sendo estas classes baseadas no tempo de vida útil da mesma. As diretrizes de construção apropriadas para cada caso permitem que, na mina, estejam em funcionamento estradas que minimizem os custos totais de transporte (construção, operação de veículos e manutenção rodoviária). Quaisquer fundos destinados à manutenção rodoviária, especificamente a supressão de poeiras, só podem ser otimamente utilizados quando estiverem sido determinados e implementados os melhores projetos estruturais, funcionais e de manutenção (THOMPSON; VISSER, 2015).

Figura 23 é a representação gráfica do procedimento para dimensionamento.



Fonte: Própria

A Figura 23 é a representação gráfica do procedimento para dimensionamento e verificação da parte geométrica, estrutural e funcional do projeto de uma estrada não pavimentada. As etapas, ou módulos, são ilustrados de forma encadeada por meio de símbolos geométricos interconectados, sendo esta ordem importante para o correto procedimento de aplicação do método.

Para o início do processo, se faz necessário especificar os veículos que devem transitar pelas vias, pois, é a partir desta informação que podemos realizar as próximas etapas, estimando os esforços sofridos pelas camadas estruturais, tamanhos de pistas necessários para a circulação destes veículos, entre outros itens também importantes.

Na etapa de dimensionamento geométrico do processo podemos verificar que há o projeto conceitual e o projeto executivo, onde o projeto executivo consiste na avaliação das condições geométricas a que a estrada está submetida, ao passo que no projeto conceitual é feita uma verificação de itens relativos a cálculos da geometria da pista, tais como a largura de pista, a altura de berma, a superelevação, entre outros. Estes dois procedimentos são realizados com o auxílio da ferramenta computacional desenvolvida para auxiliar no diagnóstico e dimensionamento de forma rápida e satisfatória.

A etapa de dimensionamento estrutural consiste nas especificações das espessuras de camadas de sustentação da estrada, levando em conta os valores de resistências dos materiais que serão utilizados pelo dimensionamento destas camadas.

Por fim a etapa de dimensionamento funcional consiste na escolha dos materiais a serem utilizados como camada de revestimento. Onde essa camada do pavimento deve atender requisitos como baixa emissão de poeira quando seco, pouco deslizamento quando molhado e baixa resistência ao rolamento de uma forma geral.

## Capítulo 4

### ESTUDO DE CASO

#### 4.1 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

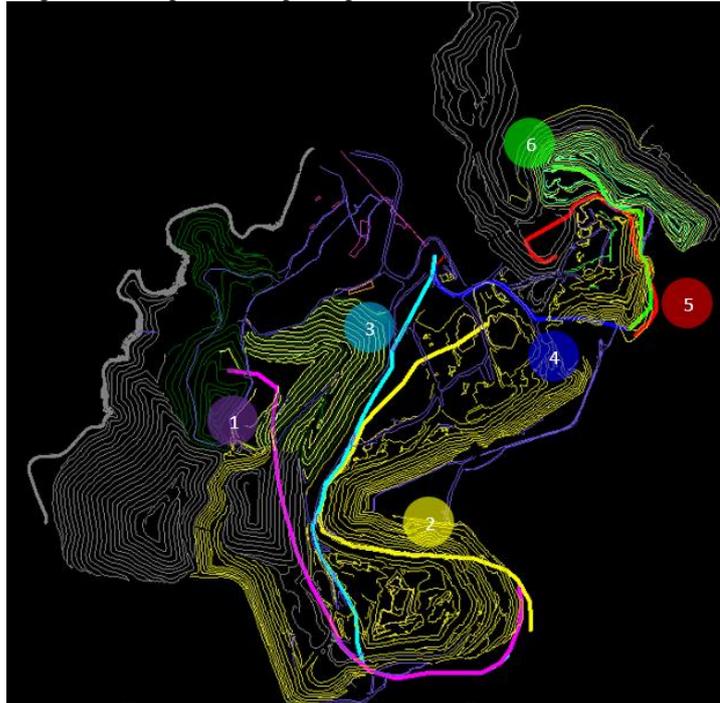
O caso de estudo é feito em uma mina de fosfato localizada a cerca de 40 km ao norte da cidade de Araxá no estado de Minas Gerais. Este estudo de caso foi realizado, após uma constatação da gerência da empresa, da necessidade de uma melhoria da qualidade das suas estradas para aumentar a produtividade e reduzir os custos de transporte, aumentando, assim, a sua rentabilidade. Iniciou-se, então, uma análise da situação atual das estradas na mina e a verificação de possíveis ajustes com a coleta de informações e dados a serem analisados no decorrer do estudo.

#### 4.2 ASPECTOS DAS ESTRADAS NA MINA

##### **4.2.1 3.1.1 Principais vias utilizadas na mina**

As estradas de transportes principais foram identificadas na mina e o comprimento das estradas e área aproximada foi avaliado e descrito na Tabela 3. O mapa na Figura 24 mostra, em cores diferentes e numeradas, as principais estradas em funcionamento a serem avaliadas. O próximo passo será determinar a categoria de cada estrada e mapear o acesso interno.

Figura 24. Mapa com as principais estradas da mina identificadas



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

As características geométricas e estruturais das estradas desta mina mudam conforme as dimensões das frotas de veículos que circulam por elas. No caso da mina de Tapira circulam dois tipos de frotas de veículos que são, os caminhões rodoviários Mercedes Benz Actros 8 x 4 , e os caminhões fora de estrada modelo Caterpillar 777D. Estes dois modelos de caminhões são responsáveis por todo o transporte de minério e de estéril da mina.

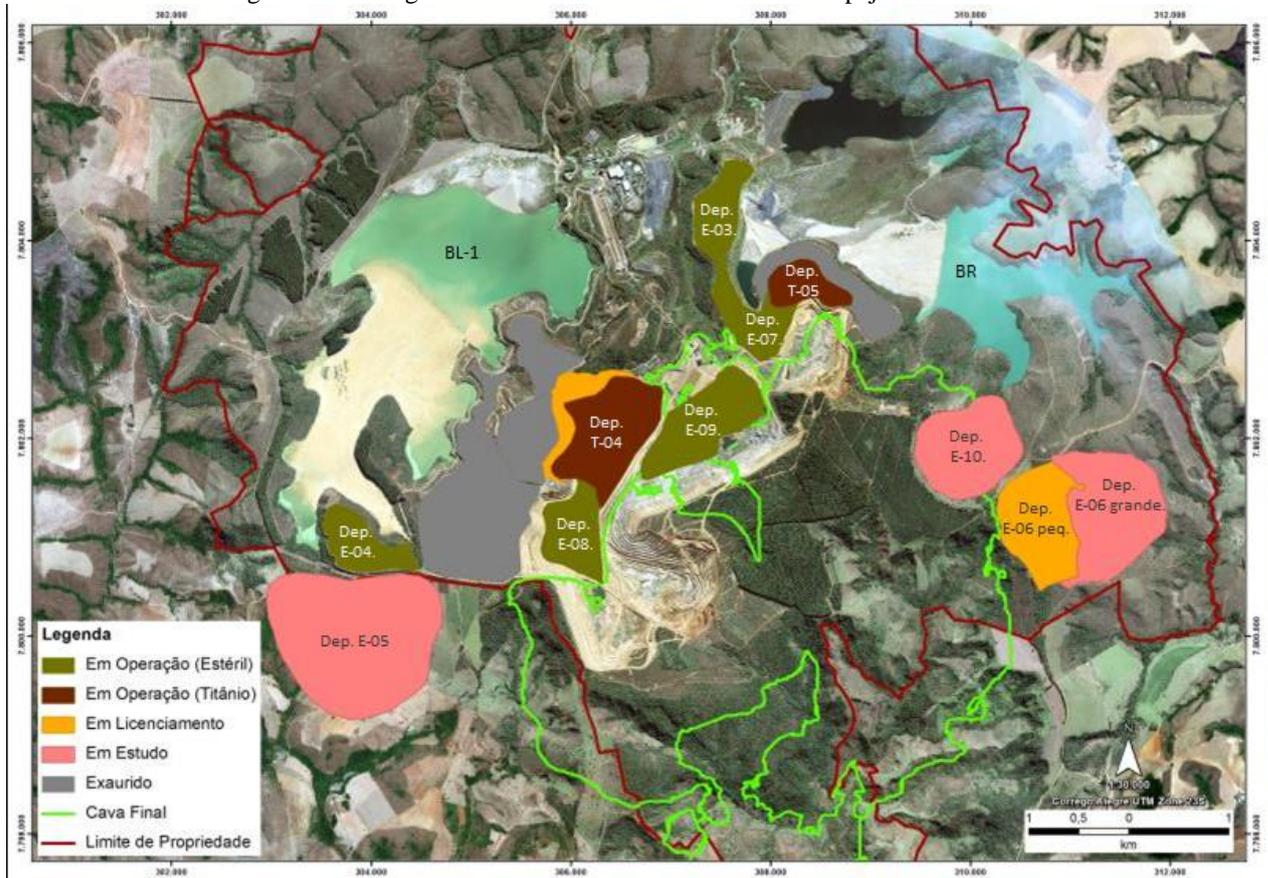
Os caminhões fora de estrada modelo Caterpillar 777D movimentam o estéril da mina nos acessos 1 e 5. Para estes acessos as plataformas de rolamento possuem dimensões maiores que os demais acessos, estas dimensões maiores são justificadas pela maior dimensão destes caminhões quando comparados a frota de caminhões rodoviários Mercedes Benz Actros 8 x 4 que circulam nos acessos 2, 3, 4, e 6, movimentando todo o minério da mina.

Tabela 3. Principais acessos da mina com seu comprimento

Estrada	Comprimento (m)	Descrição
1	4,228	Acesso da Bigorna para as pilhas de estéril E4 e E3
2	3,932	Acesso da Bigorna para britagem primária
3	3,348	Acesso da Bigorna para o depósito de Titânio T9
4	1,773	Acesso da F5 para a britagem primária
5	2,229	Acesso da F5 para o depósito de Estéril E7
6	1,720	Acesso da F5 para o depósito de Titânio T5
Total	17,230	

A Figura 25 mostra em detalhes o desenho geral da cava a céu aberto, bem como a localização de seus depósitos de minério e estéril, e barragens de rejeito.

Figura 25. Vista geral da cava a céu aberto e locais de despejo do estéril



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

#### 4.2.2 Transporte de materiais nas estradas

A produção anual da mina é de aproximadamente 27 milhões de toneladas e uma relação estéril minério de aproximadamente 1,5: 1 (t / t), o que significa a movimentação de material correspondente a aproximadamente 18 milhões de toneladas. A operação de mineração na mina CMT e, em particular, o transporte de material, é realizado por diferentes equipamentos para o manuseio de minério e de materiais residuais. A Figura 26 apresenta as especificações técnicas do modelo responsável pela movimentação do minério.

Figura 26. Caminhões Astros e especificações técnicas



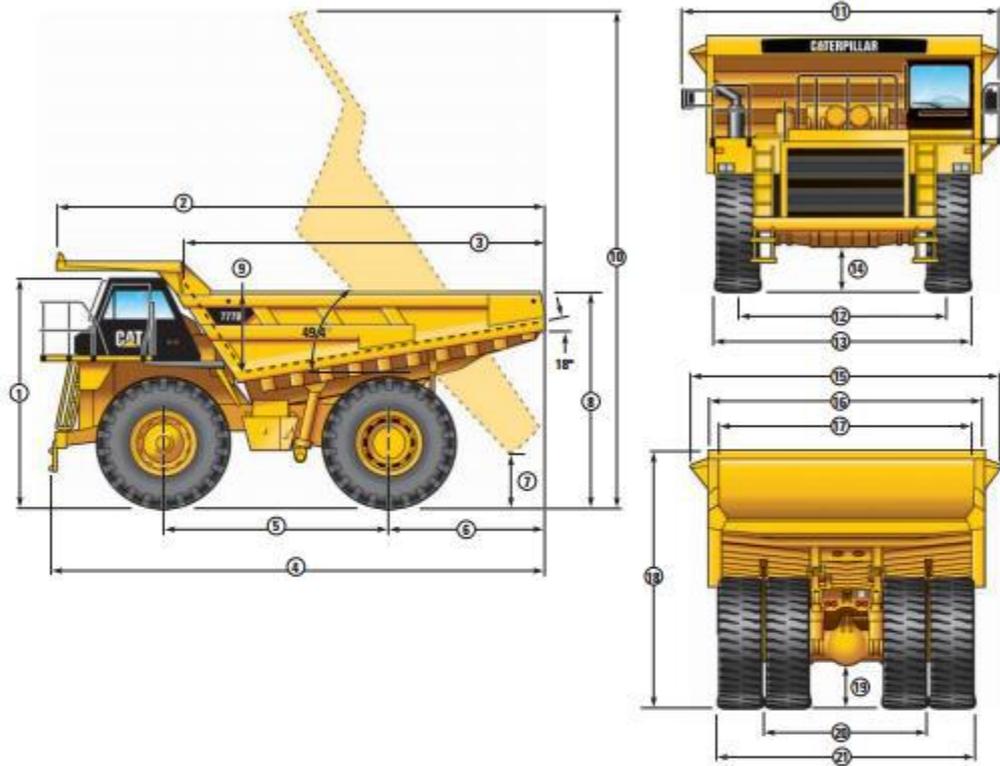
Fonte: PERONI,;VISSER, 2016

São também utilizados, para movimentar o material estéril, caminhões fora de estrada modelo Caterpillar 777D, com uma capacidade de transportar 95 toneladas, conforme pode ser visto na Figura 27.

Figura 27. Caminhões Caterpillar 777D e especificações técnicas

## Dimensions

All dimensions are approximate. (Shown with dual slope body)



Dual Slope		
1	Height to Top of ROPS – Full	4472 mm 14 ft 8 in
1	Height to Top of ROPS – Empty	4567 mm 15 ft
2	Overall Body Length	9525 mm 31 ft 3 in
3	Inside Body Length	7234 mm 23 ft 9 in
4	Overall Length	9780 mm 32 ft 1 in
5	Wheelbase	4570 mm 15 ft
6	Rear Axle to Tail	3020 mm 9 ft 11 in
7	Dump Clearance – Empty	1164 mm 3 ft 10 in
7	Dump Clearance – Loaded	1062 mm 3 ft 6 in
8	Loading Height – Empty	4380 mm 14 ft 4 in
9	Inside Body Depth – Max	1898 mm 6 ft 3 in
10	Overall Height – Body Raised	10 059 mm 33 ft

Dual Slope		
11	Operating Width	6105 mm 20 ft
12	Centerline Front Tire Width	4173 mm 13 ft 8 in
13	Overall Front Tire Width	4961 mm 16 ft 3 in
14	Engine Guard Clearance – Empty	700 mm 2 ft 4 in
15	Overall Canopy Width	6048 mm 19 ft 10 in
16	Outside Body Width	5524 mm 18 ft 2 in
17	Inside Body Width	5200 mm 17 ft 1 in
18	Front Canopy Height – Empty	5147 mm 16 ft 10 in
18	Front Canopy Height – Loaded	5045 mm 16 ft 6 in
19	Rear Axle Clearance – Empty	750 mm 2 ft 6 in
20	Centerline Rear Dual Tire Width	3576 mm 11 ft 9 in
21	Overall Rear Dual Tire Width	5262 mm 17 ft 3 in

Fonte: CATERPILLAR ESPECIFICAÇÕES, 2016

Devido à massa total movimentada anualmente na mina, e levando em consideração a pequena dimensão dos caminhões, principalmente no transporte de minério, o número de equipamentos em operação simultânea deriva um fluxo muito elevado dentro da área de mineração, isso pode ser visto na Figura 28. O fato de que a operação trabalha com duas frotas separadas e distintas, torna o equipamento teoricamente independente, mas também exige acessos específicos considerando que há diferenças quanto suas dimensões e,

consequentemente, requer uma diferenciação relativa ao projeto geométrico e estrutural dos principais acessos das estradas de transporte.

Figura 28.Exemplo do número de equipamentos concentrados em uma área da mineração da mina CMT



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

### 4.2.3 Largura da estrada

As estradas de transporte como mencionado anteriormente na revisão bibliográfica devem ter uma largura de, pelo menos, quatro vezes a largura do maior veículo em estradas bi-direcionais, sem bermas centrais, e metade dessa largura onde há tráfego bidirecional com bermas centrais.. A Figura 29 e a Figura 30 demonstram alguns dos problemas enfrentados com o uso de bermas centrais, como a propensão ao acúmulo de água e dispersão do material de construção da berma na pista já que não há drenagem ao longo da estrada. As fotos foram tiradas no acesso 1 e onde o tráfego dos caminhões fora de estrada 777D tem maior frequência.

Figura 29. Estrada com berma mediana e sem projeto de drenagem.



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

O uso das bermas centrais serve para fornecer proteção adicional para evitar colisão entre caminhões de mineração ou um caminhão de mineração e um veículo transitando na direção oposta. Como pode ser visto na Figura 30, a altura da berma mediana não é eficaz para proporcionar a proteção necessária, uma vez que deve ter um mínimo dois terços do maior diâmetro do pneu na operação. Na imagem, nota-se que a altura da berma é inferior à metade do diâmetro do pneu 777D em toda a estrada.

Dentre as vantagens de se utilizar bermas centrais está a segurança do caminhão e a operação quando bem implementada. Já as desvantagens são muitas, pois promovem o espalhamento de material impróprio na superfície da estrada, misturando com o material especificado pelo projeto funcional. Além disso, promove o acúmulo de água no interior da estrada, e a drenagem fica comprometida, sendo que a água e, conseqüentemente, a drenagem, são fatores extremamente importantes durante a construção e na manutenção da estrada. Também aumenta a largura geométrica da estrada de transporte, significando custos adicionais significativos no projeto da cava global. Em caso de problemas mecânicos com um equipamento ou falhas ocasionais de declividade local ao longo da estrada, o bloqueio de uma via não pode ser facilmente superado, uma vez que um caminho está completamente bloqueado e o equipamento não pode ultrapassar o caminhão estacionário ou material caído, resultando em perdas de produção (THOMPSON; VISSER, 2014).

Figura 30. Berma central



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

A Figura 31 demonstra os efeitos negativos de se ter no projeto geométrico bermas centrais, efeitos estes causados, principalmente, pelo acúmulo de água e movimentação de material para a pista durante o período da estação chuvosa.

Figura 31. Bermas com acúmulo de água e movimentação de material para pista.



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

#### 4.2.4 Inclinação da pista

Em numerosos locais, a inclinação longitudinal das rampas coloca uma tensão excessiva nos caminhões. A inclinação longitudinal deve ser planejada e construída de forma a manter o mesmo valor de inclinação ao longo de toda a extensão de rampa. Além da inclinação da rampa, há a resistência ao rolamento, sendo este um fator adicional que provoca um consumo excessivo de combustível e reduz a produtividade.

A inclinação longitudinal da rampa até as áreas de descarregamento deve ser uniforme, ao passo que, na área de descarregamento, bem como em outras áreas quase não há mudança de nível. Salienta-se que, deve haver uma inclinação transversal de pelo menos, 1% para escoar as águas das chuvas. Isto também se aplica a interseções que, muitas vezes, têm problemas de drenagem. Na cava, a inclinação da estrada deve permitir a drenagem adequada das águas (THOMPSON; VISSER, 2014).

A Figura 32 é um exemplo que mostra uma seção longitudinal da estrada. Pode-se ver, na figura, que há variação da inclinação longitudinal ao longo da estrada impondo ao caminhão trocas de marchas mais constantes e desnecessárias e, conseqüentemente, uma variação da velocidade do veículo. Além disso, pode haver um derramamento potencial de material da caçamba e criação de pontos de estresse ao longo da superfície da estrada quando o equipamento precisa de mais tração.



Figura 33. Aspecto estrutural para mudança

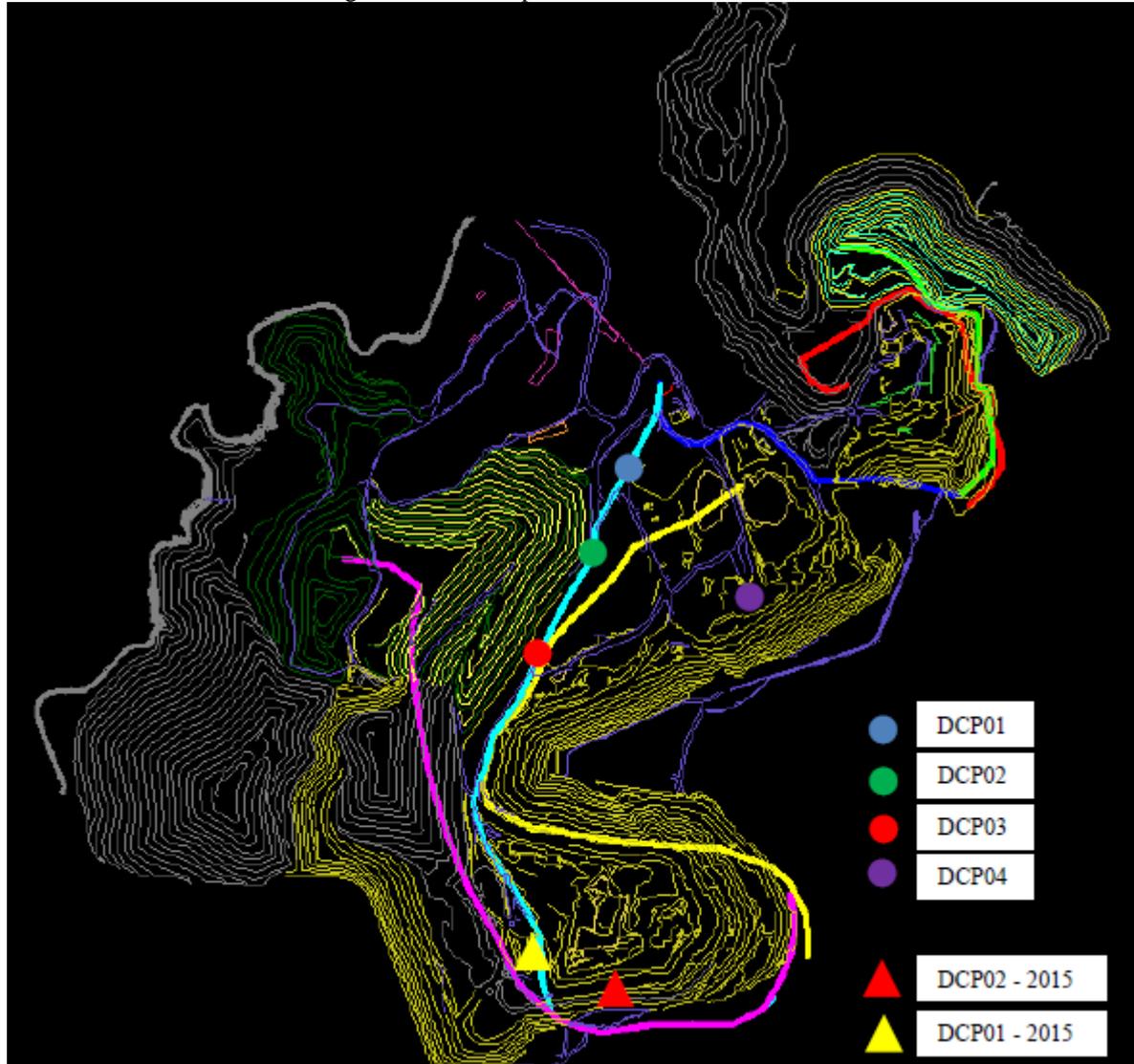


Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

#### 4.3 PROJETO ESTRUTURAL DA VIA

A resistência dos materiais *in-situ* do local foi determinada por meio do *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), que dá a relação do *California Bearing Ratio* (CBR). Verificou-se que o CBR era superior a 60%, o que é suficiente para suportar os caminhões. O material é geralmente fino e arenoso, resultando em poeira excessiva quando a pista está seca ou lama quando a pista está molhada. Por esta razão, os materiais *in-situ* não são adequados para uso como revestimento e, para os níveis inferiores, o material *in-situ* não requer quaisquer camadas de base adicionais. Na Figura 34, é identificado o local onde alguns testes de DCP foram realizados. Os locais não são exatos porque não foram localizados pelos topógrafos, mas são uma boa aproximação do local onde os testes foram realizados. Considerando a precisão necessária e a finalidade do teste, isso é suficiente para dar uma ideia dos materiais existentes em cada área circundante.

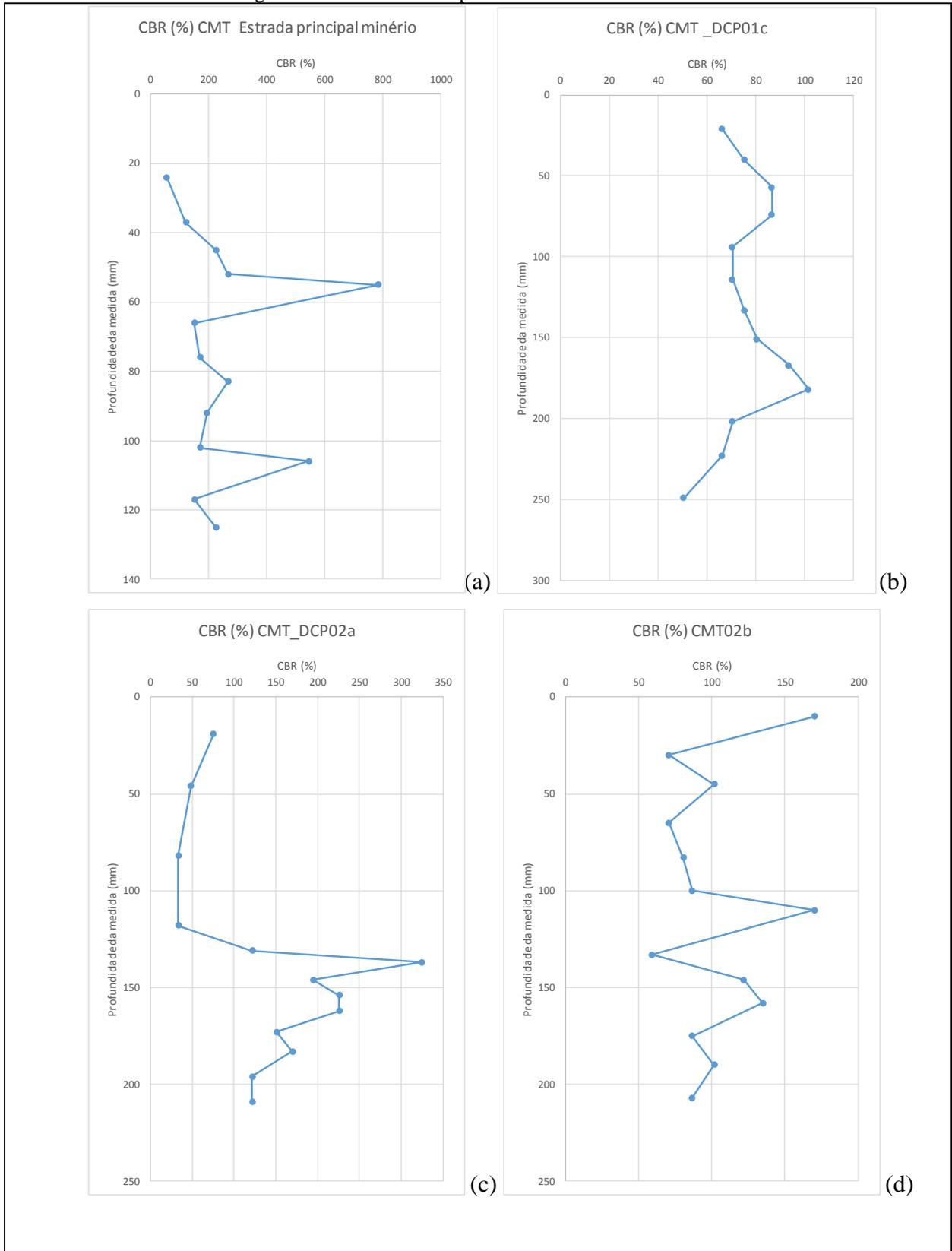
Figura 34. Locais aproximados do teste de DCP.



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

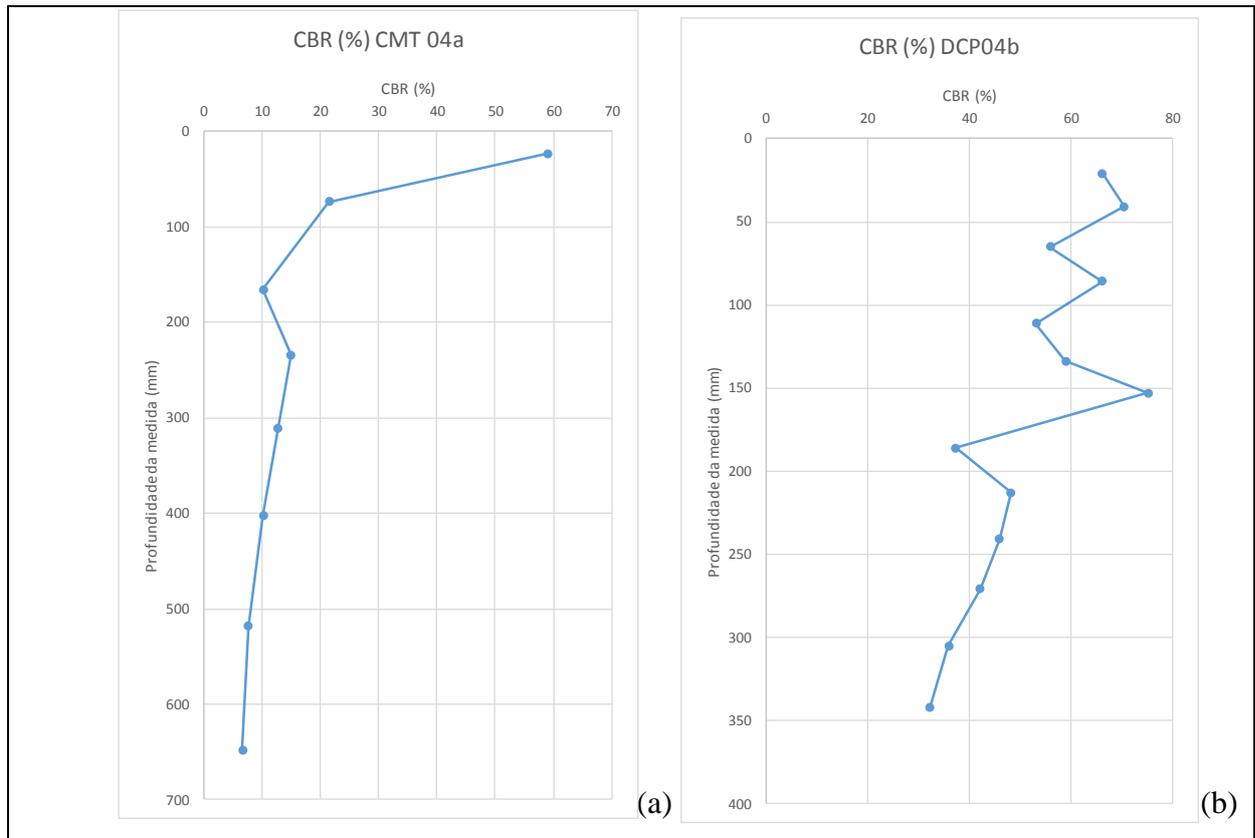
Os resultados para os pontos DCP 01, 02 e 03 apresentaram, essencialmente, o mesmo comportamento e os gráficos são mostrados na Figura 35, sendo que os pontos de ensaio para obtenção de CBR para DCP 04 é apresentado na Figura 36.

Figura 35. DCP resultados para os testes DCP01 e DCP02.



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

Figura 36. Resultados de DCP para o acesso da estrada no depósito de esteril E9



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

As fissuras de crocodilo são típicas de uma estrutura rodoviária inadequada, e mostram que a estrada sobre a zona úmida não é boa, conforme ilustra a Figura 37.

Figura 37. Rachaduras couro de jacaré que evidenciam problemas estruturais da estrada

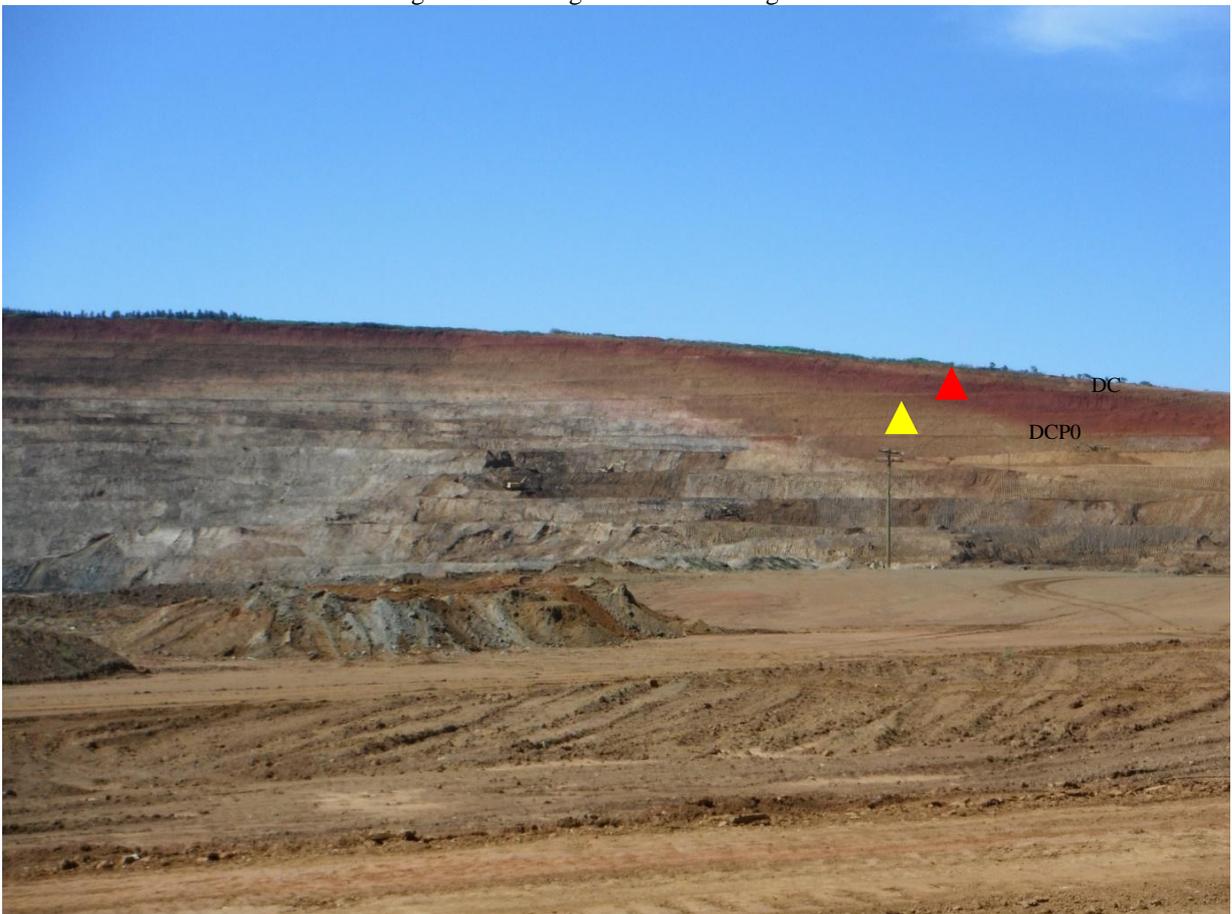


Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

A compactação do material deve ser feita por rolo compressor e não pela circulação dos caminhões (THOMPSON; VISSER, 2014), pois, os caminhões só se movimentam nas rotas, enquanto que o restante da estrada não é compactado e permanece altamente permeável. Quando um veículo trafega nas áreas não compactadas, ocorre uma deformação severa e locais propícios para atolamento que podem acontecer durante a estação de chuvas (THOMPSON; VISSER, 2014).

Na Figura 38, pode-se observar a localização dos dois testes de DCP realizados em 2015 e o horizonte de Argila Amarela (triângulo amarelo) e Argila Vermelha (triângulo vermelho). Os materiais são tipicamente solos moles de argila / silte e seus resultados de DCP demonstraram ser de valor muito baixo, cerca de 10% para cada um dos materiais dentro dos 80 cm testados em cima de cada bancada exposta. Embora sejam tipicamente áreas de mineração que estão em constante desenvolvimento e os acessos que atravessam esses horizontes são temporários, como regra geral, deve ser fornecida uma camada estrutural para estas vias.

Figura 38. Vista geral da área da bigorna.



#### 4.4 PROJETO FUNCIONAL DA VIA

##### 4.4.1 Seleção dos materiais para camadas

Um cascalho laterítico e de boa qualidade, denominado canga, tem sido usado efetivamente em estradas mais antigas da mina. Este material foi amostrado e enviado para um laboratório de solos para determinar a distribuição de tamanho e os limites de *Atterberg*. Há uma boa fonte deste material na mina. Na Figura 39, pode-se ver o material em questão.

Figura 39. Material de canga (laterito) armazenado na parte norte da cava.



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

O material utilizado na camada de revestimento das estradas é argiloso, o que provoca muitos problemas, pois ocasiona um excesso de material solto na pista, resultando em lama durante a estação chuvosa e poeira na estação de seca, como mostrado na Figura 40.

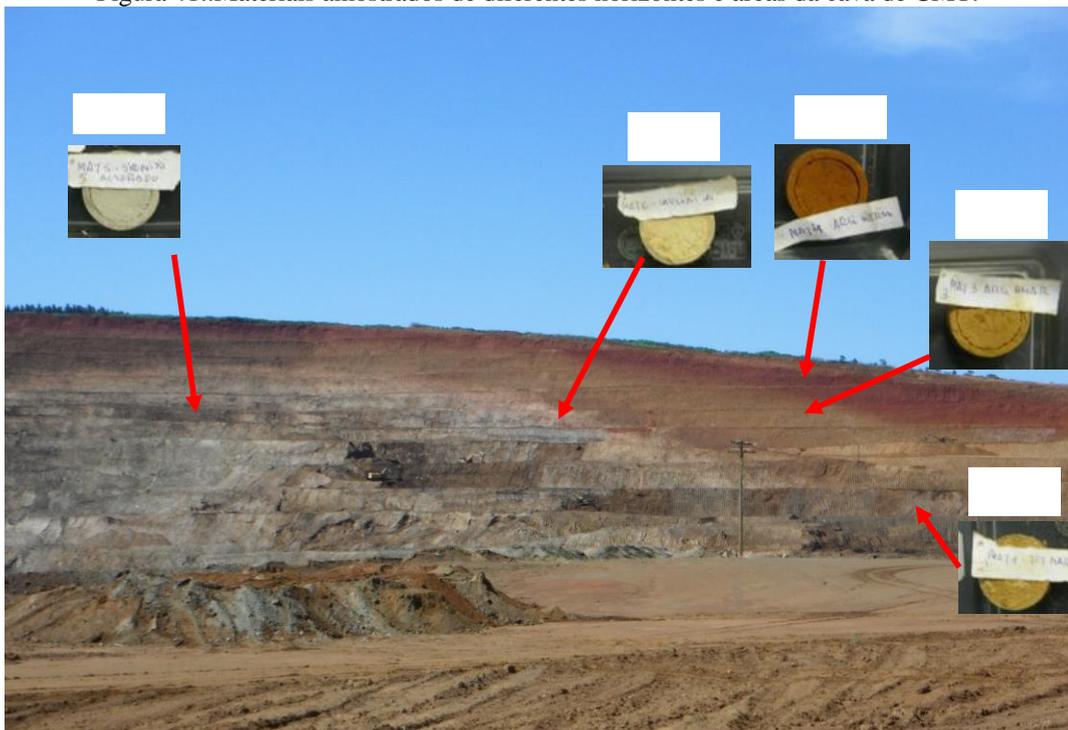
Figura 40. Exemplos de defeitos funcionais rodoviários durante as estações chuvosa (a) e seca (b).



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

Durante as chuvas, o material *in-situ* usado para a camada de revestimento vira lama e torna a condução perigosa, dificultando o uso das estradas. Como mencionado anteriormente, as estradas não pavimentadas devem funcionar tanto em condições secas como molhadas. O que é bom para o tempo seco não é necessariamente benéfico durante o tempo de chuvas. Isso evidencia que, em condições severas, as boas estradas fazem a diferença, garantindo condições operacionais e/ou reduzindo o tempo de parada após intensas chuvas. Em maio de 2015, um teste foi feito com cinco amostras coletadas em diferentes partes da área da Bigorna, conforme mostrado na Figura 41, e a descrição dos materiais está listada na Tabela 4. As amostras coletadas foram submetidas a um teste para determinar o comportamento do material em condições úmidas e em condições secas. O procedimento completo e o padrão de teste é descrito por Nogami e Villibor (1994).

Figura 41: Materiais amostrados de diferentes horizontes e áreas da cava de CMT.



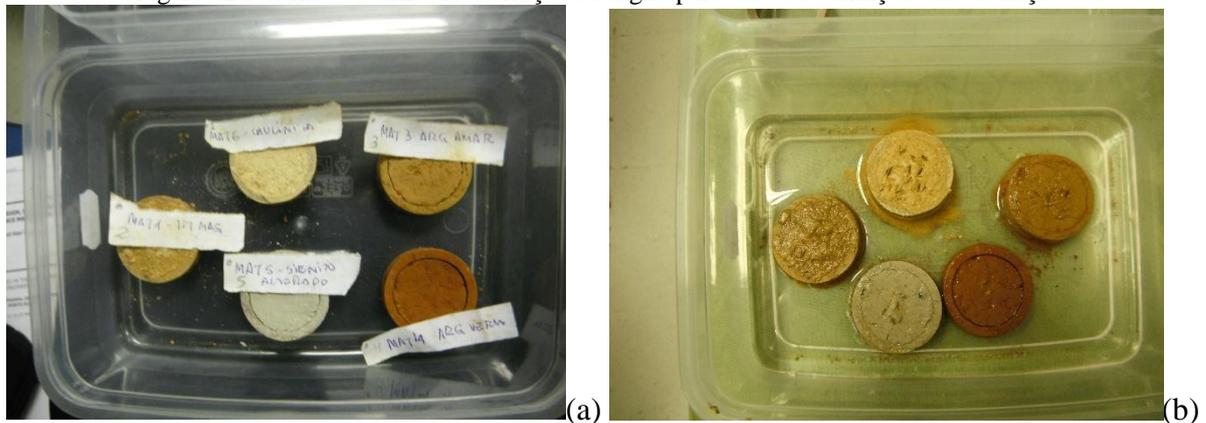
Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

Tabela 4. Materiais utilizados para teste

Material	Descrição
Mat 1	Caulinita
Mat 2	Titânio-Magnetita
Mat 3	Argila Amarela
Mat 4	Argila Vermelha
Mat 5	Sienito

O teste realizado serve para investigar e, ao mesmo tempo, eliminar os materiais que não apresentam características adequadas para serem utilizados como frações finas para proporcionar um desempenho ideal no pavimento. Partículas grossas (até 4 cm de diâmetro) são necessárias para constituir a camada de revestimento e uma fração fina é necessária para "cimentar" os grãos grosseiros e, conseqüentemente, deve ser bem escolhido para se comportar bem durante as estações chuvosa e seca. Na Figura 42 podem ser observados os comprimidos feitos com os cinco materiais amostrados no campo, secos (a) e saturados (b). A partir deste teste, a Argila vermelha foi o material que resistiu bem quando seco e muito bem em condições úmidas e, em segundo lugar, a Argila Amarela. Os outros três materiais apresentaram comportamento muito fraco.

Figura 42. Pastilhas de amostra da fração de argila para teste de condições de saturação.



Fonte: PERONI, RODRIGO DE LEMOS; VISSER, ALEX, 2016

Com a finalidade de testar o comportamento relativo da resistência quando seco, pequenas pelotas (Figura 43) foram feitas para serem quebradas com o esforço da mão e dos dedos e, novamente, a Argila Vermelha e a Argila Amarela, demonstraram ser os melhores materiais.

Figura 43 -Pelotas de fração de argila de cada material para teste de resistência a seco



Fonte: PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX,2016

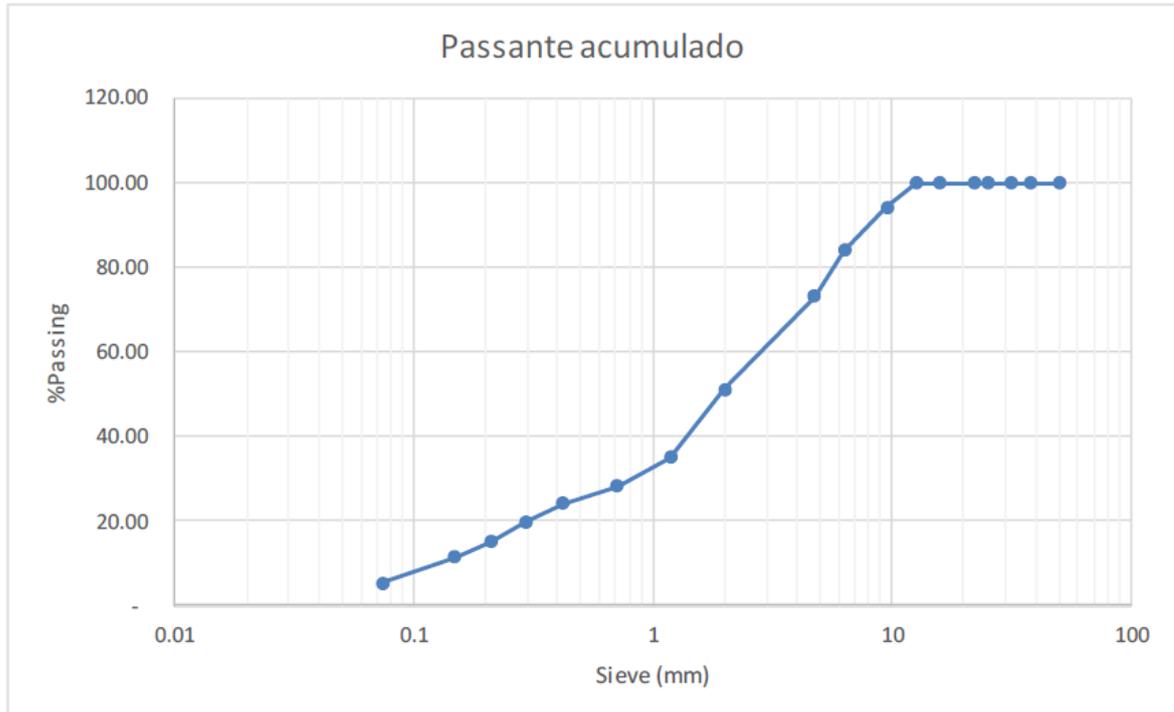
Estes materiais foram testados por um laboratório de solos, conforme apresentado no Anexo C, já que existem diretrizes sobre as propriedades do curso de desgaste, baseadas na distribuição de tamanho das partículas e nos limites de *Atterberg*.

Infelizmente, os materiais amostrados são materiais finos, que podem não ser adequados se utilizados isoladamente para o revestimento. Uma vez concluídos os testes laboratoriais, os materiais foram avaliados quanto à sua adequação e as recomendações da camada de revestimento foi realizado com base no resultado dos gráficos de granulometria. As propriedades do material selecionado foram analisadas para funcionar efetivamente durante a maioria das condições.

De acordo com Visser e Peroni (2015), na maioria das vezes é difícil obter o material dentro do quadrado ideal ou, até mesmo, da zona operável. Nesta situação, uma combinação de materiais é necessária. Quando isso acontece, não é recomendado combinar mais de três materiais e, se possível, o uso de apenas dois. Devido a aspectos operacionais, implementar eficientemente uma mistura de mais de três materiais acaba se tornando uma tarefa complicada, pois envolve processos como carregamento, transporte, descarte, classificação, mistura, umedecimento e, em seguida, compactação.

O material laterítico foi testado pelo laboratório de processamento da empresa. A distribuição de tamanho foi feita com a amostra recolhida no campo e peneirada a úmido, o resultado do teste é mostrado na Figura 44.

Figura 44. Passante acumulado



Fonte: própria

Como este material não foi enviado a um laboratório de solo para testar os limites de *Atterberg* para um exercício de teste de um suposto comportamento deste material sozinho e em combinação com outro material, foram utilizados os resultados de um material similar encontrado em Catalão (CMC) de propriedade da Vale Fertilizantes S.A. que é chamado de colúvio cascalhoso.

Os materiais de argila encontrados e testados no campo e enviados para o laboratório de solos para determinar os limites de *Atterberg* são mostrados na Tabela 5. Os resultados estão também presentes no Anexo C.

Tabela 5. Limites de Atterberg para os materiais de argila encontrados na mina CMT

Amostra número	Descrição	LL (%)	LP (%)	IP (%)
509/1016	Argila Amarela	63	38	25
509/1017	TIT MAG	45	28	17
509/1018	Argila vermelha	61	39	22
509/1019	Argila amarela com magnetita	NL	NP	-

Tabela 6. Percentual passante nas peneiras

Materiais	P425	P265	P2	P475	GC
Argila Amarela	75,6	100	87,92	94,72	11,44
TIT MAG	98,15	100	99,36	99,77	0,64
Argila vermelha	53,1	100	93,5	98,7	6,42
Argila amarela com magnetita	-	-	-	-	-
Laterita CMT	24,4	100	51,12	80	39,10
Colúvio cascalhoso	20,91	99,56	27,71	50,02	35,94
Colúvio argiloso	80,91	100	95,68	99,66	4,31

A partir dos dados da Tabela 6 foi feita uma mistura dos materiais de Laterita CMT com Argila vermelha originando a amostra M1, Laterita CMT e argila amarela com magnetita originando a amostra M2, e colúvio cascalhoso com colúvio argiloso. As proporções das medidas das misturas das amostras ficaram com valores de 75% de Laterita CMT para 25% de Argila vermelha na amostra M1, 75% de Laterita CMT para 25% de Argila amarela na amostra M2, 75% de colúvio cascalhoso para 25% de colúvio argiloso para a amostra M3.

Tabela 7. Resultado da mistura de materiais das amostras M1, M2, e M3

Amostras	P425	P265	P2	P475	GC
M1	46	100	83	58	9,86
M2	63	100	79	91	19,11
M3	35,91	99,67	44,70	62,43	34,32

#### 4.4.2 Resultados da seleção de material para camada de revestimento

Como mencionado anteriormente o material ideal a ser utilizado como camada de revestimento deve estar de acordo com as normas especificadas na Figura 21, já apresentada. O material ideal, normalmente, não é encontrado na maioria dos locais.

De acordo com Visser e Peroni (2015), uma combinação de dois ou três materiais, pode se tornar um material de melhor qualidade para camada de revestimento, visto que esta combinação de materiais e de proporção pode fornecer uma característica adequada ao

projeto, que seria muito difícil de se obter se utilizado apenas um material. Como sugestão para fim de facilidade na aplicação deste, deve ser usada uma proporção inteira de cada um para facilitar o despejo e espalhar o material durante a construção e manutenção das estradas.

A porcentagem de passantes nas peneiras foi obtida a partir da análise de distribuição de tamanho e foi usada para calcular o coeficiente de classificação (GC), de acordo com a equação 11.

$$GC = \frac{(P_{265} - P_2) \times P_{475}}{100} \quad (11)$$

Onde:

$P_{265}$  é a porcentagem em massa que passa na peneira de 26.5 mm

$P_2$  é a porcentagem em massa que passa na peneira 2 mm

$P_{475}$  é a porcentagem em massa que passa na peneira 4.75mm

O encolhimento linear (LS) pode ser obtido por uma aproximação usando o índice de plasticidade (IP) dividido por dois (THOMPSON; VISSER, 2015). Dos materiais enviados ao laboratório, apenas três testados apresentaram um índice de plasticidade de acordo com os resultados mostrados na Tabela 5. O material com resultado NP é um material não plástico.

O índice de encolhimento ( $SP$ ) é obtido de acordo com a Equação 12.

$$SP = LS \times P_{425} \quad (12)$$

Quanto ao  $SP$ , a combinação é dada pela mesma proporção usada na combinação dos materiais, e o  $SPM$  é dado pela Equação 13.

$$SPM = SP_1 \times Prop_1 + SP_2 \times Prop_2 \quad (13)$$

Onde :

$Prop_1 + Prop_2 = 1$

$SPM$  é o produto de encolhimento para a mistura dos materiais

$SP_1$  é o produto de encolhimento do material 1

$Prop_1$  é a proporção na mistura do material 1

$SP_2$  é o produto de encolhimento do material 2

Prop2 é a proporção na mistura do material 2

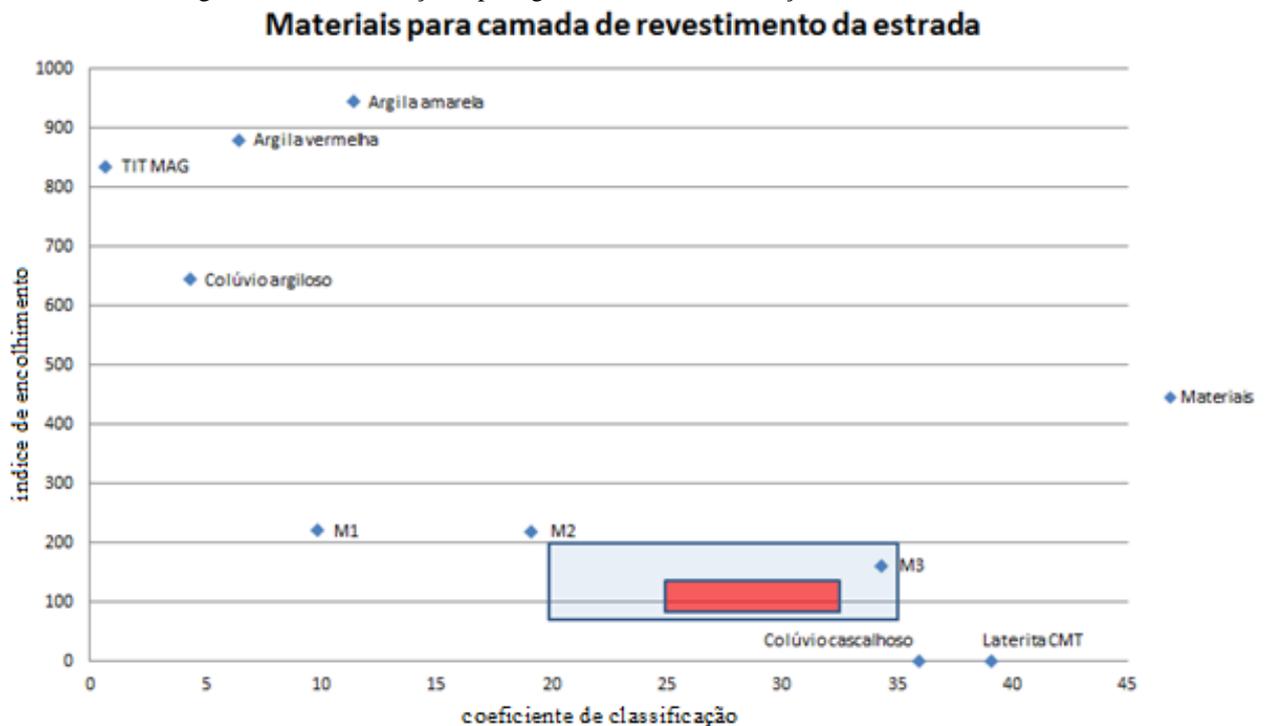
O resultado calculado do índice de GC e do índice de SP podem ser visualizados através da Tabela 8.

Tabela 8. Materiais para seleção do projeto funcional

Materiais	GC	SP
Argila Amarela	11,44	944,00
TIT MAG	0,64	834,28
Argila vermelha	6,42	880,00
Laterita CMT	39,10	0,00
Colúvio cascalhoso	35,94	0,00
Colúvio argiloso	4,31	643,23
M1	9,86	220,00
M2	19,11	218,75
M3	34,32	160,8

Após o cálculo do GC e SP para cada material, que foram obtidos a partir dos resultados dos testes laboratoriais, os materiais então foram plotados no gráfico apresentado na Figura 45.

Figura 45. Caracterização e plotagem de material na seleção funcional GC x SP



Os materiais recomendados para serem utilizados em conjunto são, a laterita como a fração grosseira, e argila amarela, como a fração fina representada na Figura 45 como M2, e os materiais colúvio cascalhoso como fração grosseira e colúvio argiloso como fração fina representadas como M3.

A partir deste resultado, a combinação dos dois materiais, laterita e argila amarela na proporção de 3: 1 (três partes de laterita CMT e uma parte de argila amarela), serviria como uma boa aproximação da área operável, mas, o material denominado M3 de colúvio cascalhoso e colúvio argiloso na proporção de 3: 1 (três partes de colúvio cascalhoso e uma parte colúvio argiloso) fica dentro da zona aceitável para material de revestimento do pavimento, sendo este o material de melhor escolha.

A utilização de dois materiais para a mistura neste caso é uma opção para usar menos quantidade de material fino, considerando que o material grosso irá degradar durante o manuseio de materiais e o uso das estradas.

## 4.5 ANÁLISE DO PROJETO DE ESTRADAS

### 4.5.1 Projeto geométrico

O projeto geométrico das estradas de transporte se distingue entre os dois modelos de frotas de caminhão, pois as dimensões dos veículos não são as mesmas. Considerando que os caminhões circulam em acessos exclusivos para tipo de material (estéril e minério), justifica-se propor dois projetos geométricos, um para cada modelo de caminhão.

Para auxiliar na concepção geométrica e para testar rapidamente as condições geométricas da rede de estradas de transporte é apresentada, no Anexo A desta dissertação, o procedimento que foi implementado através do projeto de um *script* desenvolvido para o software de mineração DATAMINE, informando dados como as dimensões do caminhão e informações gerais sobre a operação como velocidade máxima, raio de curvatura, etc. Como resultado, o *script* calcula o desenho geométrico da estrada. O *script* gera um arquivo de *wireframe* que representa a estrada e sinaliza imperfeições geométricas que possam ocorrer ao longo dela como a largura longitudinal, largura da estrada e inclinação da rampa. Estes pontos críticos que necessitam de correção ou de manutenção são destacados no arquivo com uma coloração diferente para sinalizar as áreas de mudança.

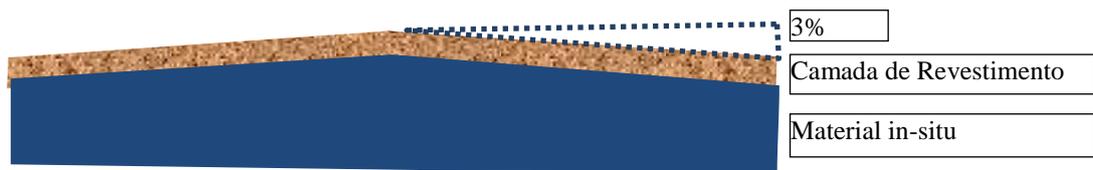
Para os acessos 1, e 5 o modelo de caminhão que transita nesta pista é o Caterpillar 777D, portando a largura de pista deve ter valor mínimo de 27,19 metros, neste valor já está incluída a largura da berma que tem dimensão de 4,82 metros e altura de 1,69 metros, e 1 metro para o dreno lateral. A inclinação longitudinal deve atingir valor máximo de 10% e a inclinação transversal ideal é de 3%.

Para os demais acessos, onde transita o modelo de caminhões rodoviários Mercedes Benz Actros, a largura de pista deve ter largura mínima de 12,86 metros, também já incluídos os valores de largura da berma que tem dimensão de 1,08 metros de altura e 3,09 metros de largura. A inclinação longitudinal também deve atingir valor máximo de 10% e a inclinação transversal de 3%.

Para os dois modelos geométricos das estradas foi utilizado para uso de base de cálculo o valor de 35° de ângulo de repouso do material de composição da berma.

A figura 46 representa a inclinação transversal da pista com valor de 3%, esta inclinação de pista se faz necessário para que as águas provenientes das chuvas não permaneçam na pista fazendo que escoem até a valeta de drenagem, esta por sua vez responsável por escoar a água da pista.

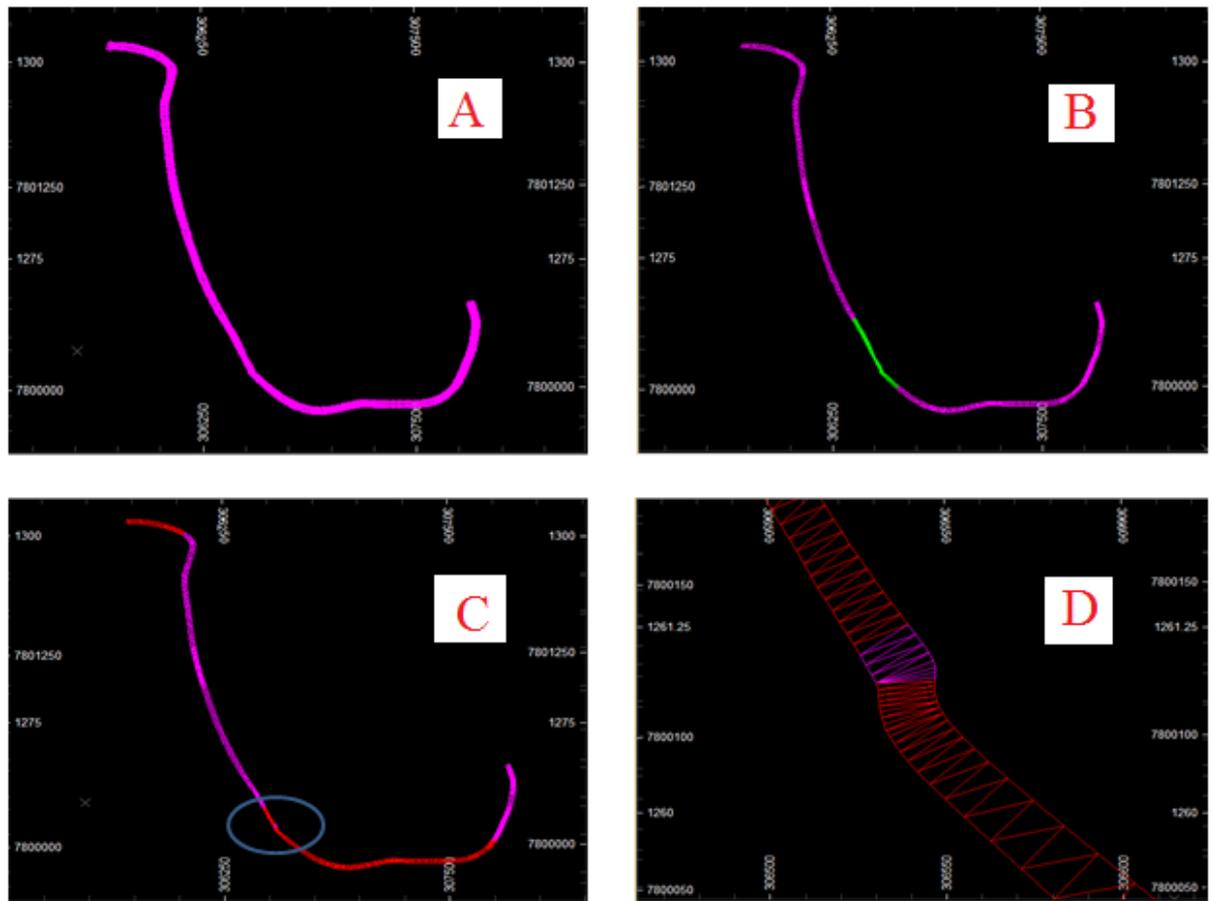
Figura 46. Representação do projeto da estrada



Fonte: Própria

O uso do *script* para avaliação da estrada 1, gerou dois arquivos para visualização do atual estado da estrada quanto a sua adequação geométrica de inclinação longitudinal e largura de pista ao longo de toda a via para a frota de caminhões Caterpillar 777D, como demonstra a Figura 47.

Figura 47. Estrada 1 analisada pelo script com a frota de caminhões Caterpillar 777D



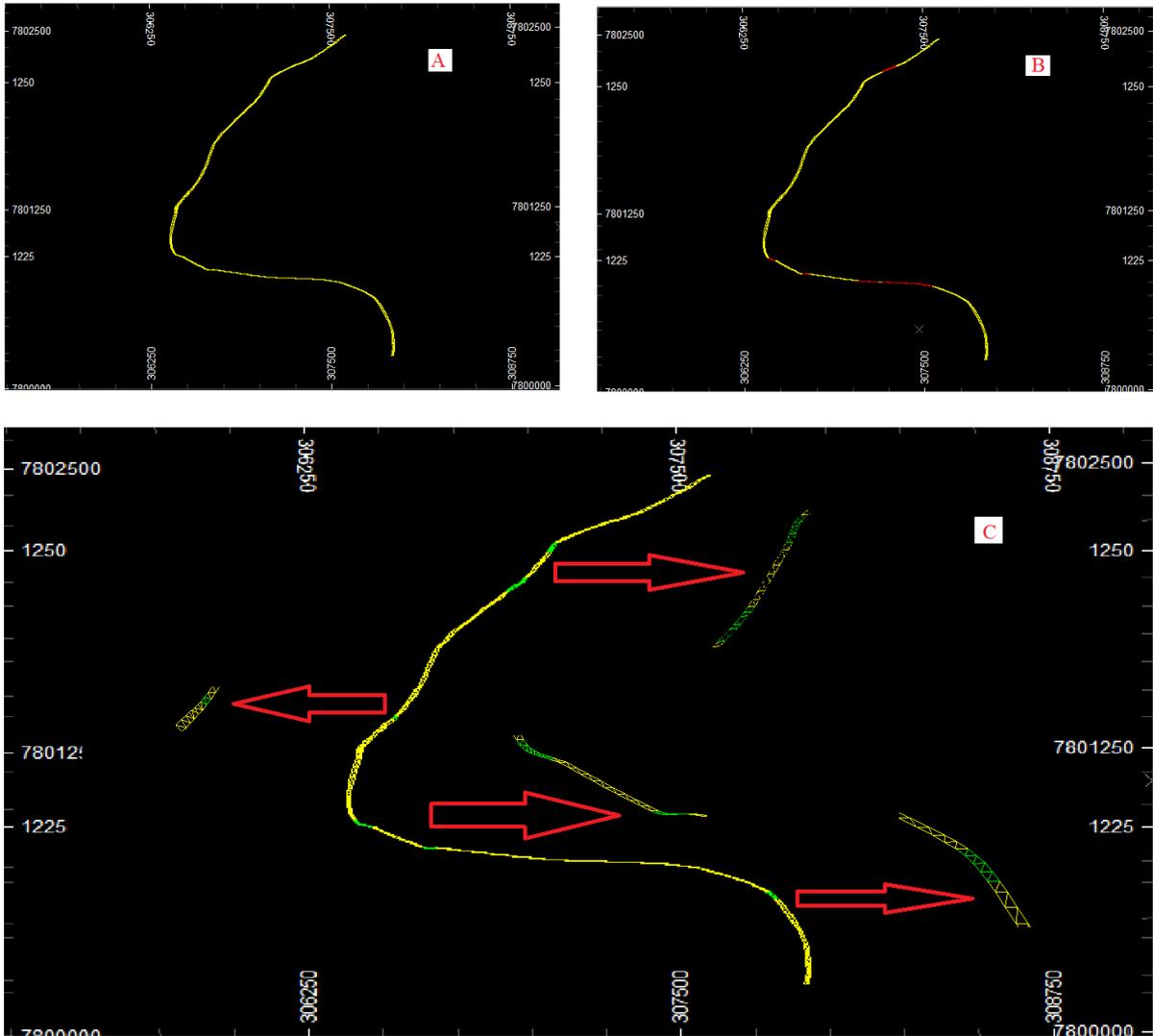
Fonte: Própria

A Figura 47 A se refere ao desenho da estrada 1, com sua topografia levantada em campo, a figura com a letra B representa em rosa os pontos da estrada que estão em conformidade com a largura de pista estipulada, no presente caso com valores maiores ou iguais a 27,19 metros, e os pontos representados pela cor verde, demonstram os pontos que estão com a largura de pista inferior ao dimensionado ideal.

Já na representação da letra C temos em rosa os trechos da estrada que a inclinação longitudinal de pista é inferior ou igual a 10%, e em vermelho os trechos que extrapolaram este valor. O círculo na figura C está representado na figura D, pois é um trecho que não é possível visualizar com clareza na mesma escala das letras anteriores, mas como é possível identificar visualmente na letra D uma inclinação acima de 10%.

O mesmo procedimento foi utilizado na estrada 2 com a frota de caminhões rodoviários Mercedes Benz Actros e o resultado pode ser visualizado na Figura 48.

Figura 48. Estrada 1 analisada pelo script com a frota de caminhões Caterpillar 777D



Fonte: Própria

A Figura 48 representa o trecho 2 analisado pelo script, onde transitam os caminhões rodoviários Mercedes Benz Actros. A imagem representada pela letra A condiz com a topografia real da estrada, já a imagem com a letra B, representa em vermelho os trechos em que a estrada 2 apresenta a inclinação longitudinal maior que os 10% estipulados como limite.

Na imagem com a letra C, podemos ver destacados os trechos em verde que condizem com a largura de pista inferior a 12,86 metros de largura, este valor que é considerado mínimo para a circulação dos veículos sem que comprometa a máxima eficiência.

Para as demais vias o procedimento se faz da mesma forma, mas estas não foram analisadas para efeito de comparação.

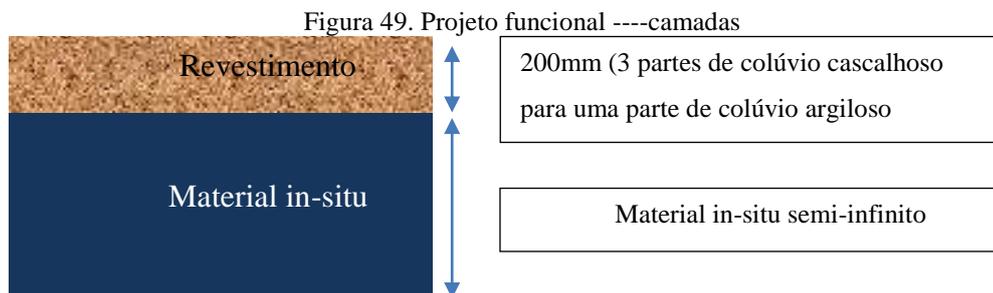
#### 4.5.2 Projeto estrutural

Os materiais in situ testados com DCP indicaram uma boa resistência dispensando a necessidade de construção de uma base de rocha, embora a compactação do material in situ ainda seja recomendada.

#### 4.5.3 Funcional

Recomenda-se a utilização de uma espessura de 150mm a 200mm do material M3. A sugestão de uso de uma espessura de camada de 200mm fornece uma colocação de material adicional durante o processo de construção da estrada para reduzir a necessidade de reaplicação durante a vida útil da estrada.

A Figura 49 representa a camada de revestimento com o uso do material M3 para construção da camada de revestimento da estrada.



Fonte: Própria

## Capítulo 5

### CONCLUSÕES

Os desgastes prematuros dos veículos de transporte nesta mina são consequências de uma estrada pouco, ou até mesmo não planejada, o trabalho aqui apresentado identifica muitos dos problemas existentes, bem como sugestões de implantação e melhoramento das condições das estradas, com base na metodologia utilizada de dimensionamento de estradas.

O projeto geométrico das estradas analisadas apresenta problemas de inclinações longitudinais e transversais, variação de largura de pista, e as bermas centrais utilizadas também acarretam em um problema, já que, da maneira que estão dispostas e juntamente com o ineficiente sistema de drenagem promove o acúmulo de águas provenientes das chuvas, deste modo com estas observações referidas conclui-se que a geometria da estrada não está com suas condições ideais, visto que com estes problemas identificados ela não traz uma satisfação de eficiência e de segurança. Também fica claro que se faz necessário dois projetos de estradas distintos para esta mina, visto que na mesma circulam duas frotas de caminhões com características e dimensões muito diferentes, o que acarretou em dois projetos de dimensionamento independentes entre si e que carregam as proporções relativas a cada modelo de caminhão que circula na via.

Relativo ao projeto estrutural das estradas, os testes feitos com DCP (Dynamic Cone Penetrometer) que determinaram a resistência dos materiais *in-situ* através da relação do CBR (California Bearing Ratio) demonstram em seus resultados que o valor de CBR é superior a 60%, cujo valor de resistência é suficiente para suportar as cargas impostas pelos caminhões circulantes. Isso significa que do ponto de vista estrutural o pavimento está adequado.

Para projeto funcional conclui-se que o material utilizado atualmente na mina denominado canga não traz os melhores benefícios já que a mistura de dois materiais para a camada de revestimento com colúvio argiloso e colúvio cascalhoso traz as características desejadas de boa aderência, boa agregação de materiais, baixa emissão de poeira, baixo efeito de derrapagem por material solto em ambiente, obtendo assim um bom rendimento para o tráfego de veículo.

Fazendo uso da ferramenta computacional que foi desenvolvida para o diagnóstico geométrico das estradas mineiras obtemos uma resposta rápida e satisfatória em um curto espaço de tempo para o processamento dos dados. O uso de uma ferramenta como esta facilita

e minimiza o tempo de verificação geométrica de uma estrada já que fornece um diagnóstico visual dos problemas de inclinação e de estreitamento de pista.

A utilização de rotinas para a automação de processos de gerenciamento e de planejamento de estradas funcionou muito bem já que, de uma maneira rápida se obteve um diagnóstico preciso das estradas. Por se tratar de muitos trechos e quilômetros a serem analisados e, necessitando realizar este procedimento muitas vezes, sendo que em determinadas situações em que se dispõe de espaços curtos de tempo podemos fazer uma rápida análise. Além destas vantagens podemos ter um registro destas condições da estrada uma vez que os dados podem ser facilmente reproduzidos e conferidos quando necessário.

## **TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros é recomendado que além dos resultados e análises geométricas o script seja incorporado de mais funções de dimensionamento e diagnóstico da estrada.

O *script* pode enriquecer e expandir sua capacidade de automatizar processos de planejamento e gerenciamento das estradas com novas funções, tais como:

- Dimensionar as camadas estruturais de acordo com os valores de resistência do solo.
- Verificar a adequação dos materiais para uso como camada de revestimento.
- Gerar um cronograma de manutenção periódica com base nos dados da estrada.
- Diagnosticar a situação da drenagem pluvial.

Estas são algumas sugestões de implementações e recomendações de trabalhos futuros que podem ser implementados, mas existe uma gama enorme de possibilidades de implementação que no âmbito da automação podem trazer muitos benefícios a pessoa que gerencia as condições e projetos de uma estrada não pavimentada.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, G. B. **Despacho ótimo de caminhões numa mineração de ferro utilizando algoritmo genético com processamento paralelo**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Programa de PósGraduação em Engenharia Elétrica. 1997. 80 p.

BRASIL. **NR 22: Segurança e saúde ocupacional na mineração**. Brasília: Ministério do trabalho e emprego, 1978. Disponível em: <[http://www.segurancaotrabalho.eng.br/nr/nr\\_22.pdf](http://www.segurancaotrabalho.eng.br/nr/nr_22.pdf)>. Acesso em 5 de março de 2017.

CATERPILLAR. **Reference guide to mining machine applications**. Peoria: 2009. Field Guide Number AEXQ0030-02. Disponível em: <[http://www.academia.edu/8475044/AEXQ0030-02-2009Mining\\_Ref\\_Guide\\_App-compress](http://www.academia.edu/8475044/AEXQ0030-02-2009Mining_Ref_Guide_App-compress)> Acesso em: 06/03/2016.

CATERPILLAR ESPECIFICAÇÕES. **Specs Catalog for 777D Off-Highway Truck, AEHQ5855**. Disponível em:< <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C229910>> Acesso em: 02/04/2016.

DEPARTMENT OF LABOR MINE SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Haul Road Inspection Handbook**. Estados Unidos: Federal Mine Safety and Health Administration, 1999. 71p.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro: DNER, 1999. 195p.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274p.

FAMBRO, D. B.; FITZPATRIC, K.; KOPPA, R. **Determination of stopping sight distance**. Washington: National Academic Press, 1997. 138p.

FONSECA, A. G. **Proposta de sistema de detecção de irregularidades em estradas para caminhões fora de estrada via acelerômetro**. 2009. 185f. Dissertação(Mestrado em Engenharia Geotécnica ) – Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. 2009

HUGO, D. **Haul road defect identification and condition assessment using measured truck response**. 2005. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of Pretoria, Pretoria. 2005.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. **Open pit mine planning and design**. Fundamentals Rotterdam: A. A. Balkema, 2013. 1308

LEE, S. L. **Introdução ao projeto geométrico de rodovias**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 146p.

MACEDO, E. **Noções de topografia para projetos rodoviários**. 2017. Disponível em: <<http://www.topografiageral.com/Curso/capitulo%2014.php>> Acesso em: 5 de abril de 2016.

MERCEDES BENZ. **Dados Técnicos Linha Actros 4844 8x4 Basculante Fora de Estrada**. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/actros/dados-tecnicos/Actros-4844-8x4-Basculante-Fora-de-Estrada-B09916621.pdf>> Acesso em 24 de agosto de 2015.

NOGAMI, J.; VILLIBOR, D. Identificação Expedida dos Grupos de Classificação MCT para Solos Tropicais. In: X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, v.4, 1994, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: COBRAMSEF-ABMS, 1994, p. 1293-1300.

PERONI,RODRIGO DE LEMOS;VISSER,ALEX. **Haul road structural, functional and management considerations**.2015.17p.

SOARES DE SOUSA, L. M.; LOPES DE OLIVEIRA FILHO, W.; MOTA DE LIMA, H. Dimensionamento estrutural de estradas de mina a céu aberto. **Revista Escola de Minas**, vol. 65, núm. 2, p. 279-284, 2012.

SOUSA, L. **Estudos de dimensionamento estrutural de estradas de mina a céu aberto**.2011. 15f . Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação ,Universidade Federal de Ouro Preto. 2011.

SOKOLIC, F.; RAWLINS, M.; DUFFY, K. A cost effective method for determining the position of mine haul road defects from the road edge. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, v.4, n. 1, p. 38-41, 2010.

TANNANT, D. D.; REGENSBURG, B. **Guidelines for Mine Haul Road Design**. University of Alberta, Canada: School of Mining and Petroleum Engineering. Department of Civil and Environmental Engineering, 2001. 108 p.

THOMPSON, R.; VISSER, A. **Mine Haul Road Design, Construction and Maintenance Management**, course notes given on May 2014 at Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

THOMPSON, R. J.; VISSER, A.T. The Impact of rolling resistance on fuel, speed and costs. **HME 2006: Continuous Improvement Case Studies**. South Africa: 2006. Disponível em: <[http://mineravia.com/yahoo\\_site\\_admin/assets/docs/The\\_impact\\_of\\_rolling\\_resistance\\_on\\_mine\\_road\\_performance\\_and\\_costs.8181741.pdf](http://mineravia.com/yahoo_site_admin/assets/docs/The_impact_of_rolling_resistance_on_mine_road_performance_and_costs.8181741.pdf)> Acesso em: 15 de novembro de 2016.

THOMPSON, R. J.; VISSER, A.T. Mine haul road maintenance management systems. **Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy**, South Africa, v. 103, n.5, p. 303-312, 2003.

THOMPSON, R. J.; VISSER, A.T. Towards a mechanistic structural design method for surface mine haul roads. **Journal of the South African Institution of Civil Engineers**, South Africa, v.38, n.2, p. 13-21, 1996.

## ANEXOS

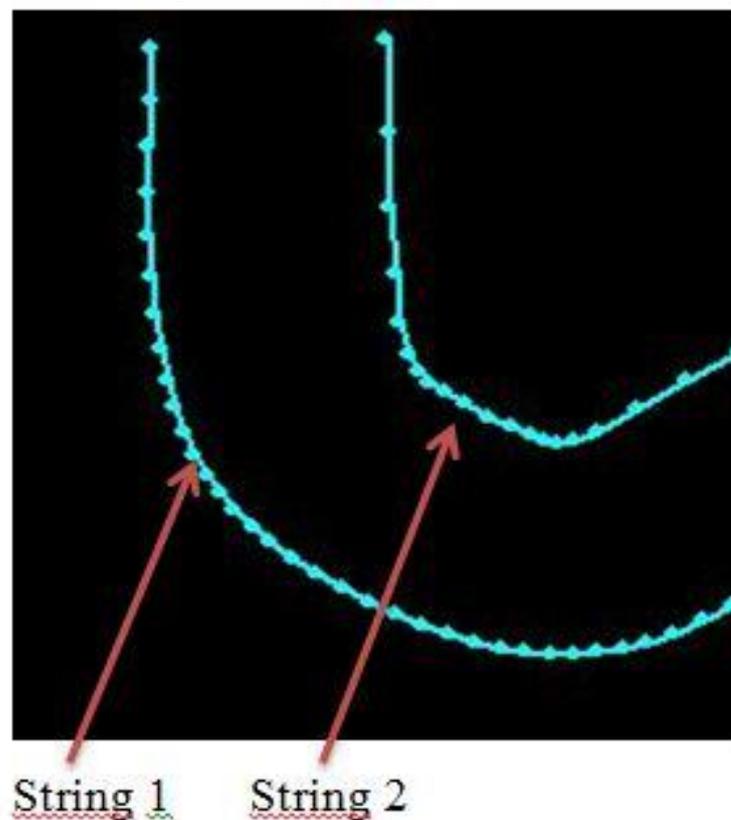
**Anexo A**

## REQUISITOS PARA EXECUÇÃO DO SCRIPT

É necessário que o script seja carregado e executado no software Datamine Studio 3 para funcionamento, pois o script trabalha com funções específicas do Datamine. Faz-se necessário, para a execução e cálculo da verificação da geometria da estrada, um arquivo de *wireframe* da estrada a ser analisada, com a distância dos pontos da *string 1* e *string 2* maior que a distância entre os pontos de cada *string*.

A Figura 50 está representando duas *strings*, cujos pontos estão distantes de acordo como o requisitado para execução do *script*.

Figura 50. String com traçado da estrada

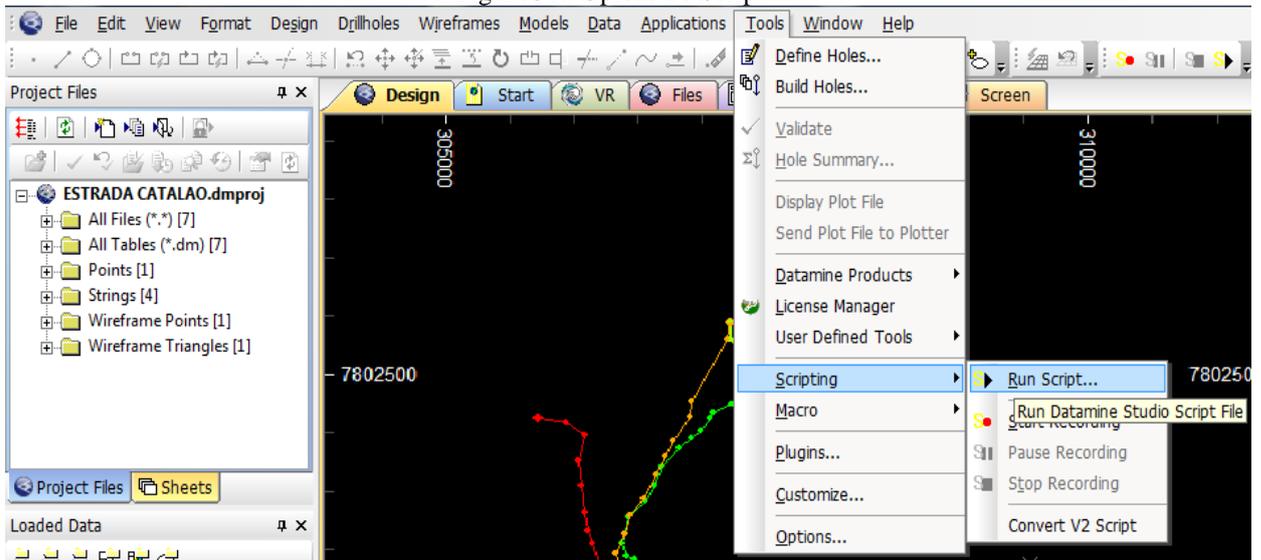


Fonte: Própria

## FUNCIONAMENTO DO SCRIPT

1- Depois de aberto o Datamine vá em *Tools > Scripting > Run Script* e carregue o arquivo do *script* com nome *geometria\_estrada\_mineração* (Figura 51).

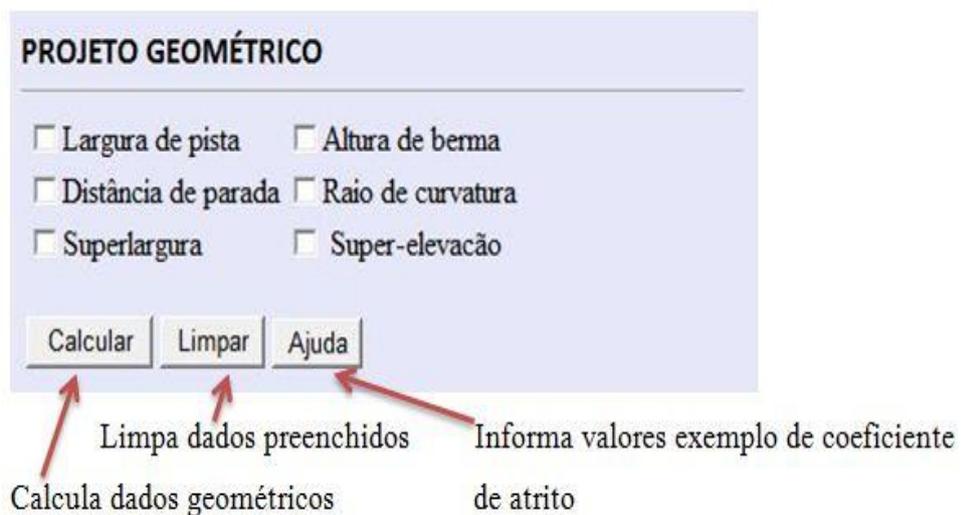
Figura 51.: Upload do Script



Fonte: Própria

Após selecionar e abrir o arquivo *geometria\_estrada\_mineração* o mesmo será carregado na aba *customization* do Datamine Studio 3 com a interface demonstrada na Figura 52.

Figura 52. Projeto geométrico



Fonte: Própria

Figura 53. Carregamento dos arquivos da estrada

**VERIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DA ESTRADA**

Abrir  Wireframe\_tr  
 Abrir  Wireframe\_pt  
 Ajuda  Rampa (%)  
 Ajuda  Largura de Pista (m)

Gerar Modelo    Limpar

Limpa dados preenchidos

Gera modelos de estrada avaliados

Botões “Ajuda” fornecem explicações para inserir valores de Rampa e largura de pista

Fonte: Própria

2- Para calcular dados do projeto geométrico da estrada, devem-se selecionar os itens que se deseja calcular, depois preencher os dados solicitados para o cálculo e clicar em Calcular (Figura 54).

Figura 54. Largura de Berma

Largura de pista     Altura de berma  
 Distância de parada     Raio de curvatura  
 Superlargura     Super-elevação

**Dados para calcular altura e largura da berma**

Raio do maior pneu (metros)  
 Ângulo de repouso do material (graus)

Fonte: Própria

As bermas devem possuir altura igual a  $2/3$  do tamanho do pneu do maior caminhão, devendo ser considerado o ângulo de repouso do material a ser utilizado.

Figura 55. Distância de parada

<input type="checkbox"/> Largura de pista	<input type="checkbox"/> Altura de berma
<input checked="" type="checkbox"/> Distância de parada	<input type="checkbox"/> Raio de curvatura
<input type="checkbox"/> Superlargura	<input type="checkbox"/> Super-elevação

**Dados para calcular distância de parada**

<input type="text"/>	Tempo de parada (segundos)
<input type="text"/>	Grade da rampa (graus) OBS: positivo para baixo
<input type="text"/>	Velocidade do veículo (km/h)
<input type="text"/>	Coefficiente de atrito entre pneus e superfície

Fonte: Própria

A distância de parada é a distância mínima requerida para parar o caminhão. Este parâmetro é importante porque ele pode ser útil principalmente em situações de emergência (Figura 55).

Figura 56. Largura de pista

<input checked="" type="checkbox"/> Largura de pista	<input type="checkbox"/> Altura de berma
<input type="checkbox"/> Distância de parada	<input type="checkbox"/> Raio de curvatura
<input type="checkbox"/> Superlargura	<input type="checkbox"/> Super-elevação

**Dados para calcular largura mínima de pista**

<input type="text"/>	Número de vias (quantidade)
<input type="text"/>	Largura do veículo (metros)

Fonte: Própria

A largura mínima de pista é a largura da estrada para que o maior caminhão possa trafegar com segurança (Figura 56).

Figura 57. Raio da Curva

<input type="checkbox"/> Largura de pista	<input type="checkbox"/> Altura de berma
<input type="checkbox"/> Distância de parada	<input checked="" type="checkbox"/> Raio de curvatura
<input type="checkbox"/> Superlargura	<input type="checkbox"/> Super-elevação

**Dados para calcular raio de curvatura**

<input type="text"/>	velocidade do veículo (km/h)
<input type="text"/>	Super-elevacao (m/m)
<input type="text"/>	Coefficiente de atrito entre pneus e superficie

Fonte: Própria

É o raio da curva em função da velocidade que o veículo pode passar neste trecho (Figura 57).

Figura 58. Superelevação

<input type="checkbox"/> Largura de pista	<input type="checkbox"/> Altura de berma
<input type="checkbox"/> Distância de parada	<input type="checkbox"/> Raio de curvatura
<input type="checkbox"/> Superlargura	<input checked="" type="checkbox"/> Super-elevação

**Dados para calcular super-elevacao**

<input type="text"/>	velocidade do veículo (km/h)
<input type="text"/>	Raio de curvatura (m)
<input type="text"/>	Coefficiente de atrito entre pneus e superficie

Fonte: Própria

A Superelevação deve ser aplicada de modo a compensar o efeito da força centrífuga sobre os veículos (Figura 58).

Figura 59. Superlargura

<input type="checkbox"/> Largura de pista	<input type="checkbox"/> Altura de berma
<input type="checkbox"/> Distância de parada	<input type="checkbox"/> Raio de curvatura
<input checked="" type="checkbox"/> Superlargura	<input type="checkbox"/> Super-elevação

**Dados para calcular superlargura**

<input type="text"/>	Número de pistas
<input type="text"/>	Raio de curvatura (m)
<input type="text"/>	Distância entre eixos mais afastados (m)
<input type="text"/>	Velocidade do veículo (Km/h)

Fonte: Própria

A superlargura representa o incremento de largura na pista para contemplar cruzamento de veículos em trechos curvos (Figura 59).

Figura 60. Gerar modelo indicativo

A interface de usuário, intitulada "VERIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DA ESTRADA", apresenta os seguintes elementos:

- Um botão "Abrir" seguido de um campo de entrada para "Wireframe\_tr".
- Um botão "Abrir" seguido de um campo de entrada para "Wireframe\_pt".
- Um botão "Ajuda" seguido de um campo de entrada para "Rampa (%)".
- Um botão "Ajuda" seguido de um campo de entrada para "Largura de Pista (m)".
- Dois botões de ação: "Gerar Modelo" e "Limpar".

Fonte: Própria

Nesta parte do script, é carregado o modelo de wireframe e escolhe-se o ângulo de inclinação máxima da estrada, bem como a largura mínima da pista (Figura 60).

### EXECUÇÃO EXEMPLO

Para o cálculo da geometria da estrada, deve-se marcar os dados que se deseja calcular e preencher os dados solicitados para o cálculo. Preenchendo todos os dados solicitados e clicando em "Calcular", uma janela com o resultado surge na tela (Figura 61).

Figura 61. Dados preenchidos

Largura de pista     Altura de berma  
 Distância de parada     Raio de curvatura  
 Superlargura     Super-elevação

**Dados para calcular largura mínima de pista**

Número de vias (quantidade)  
 Largura do veículo (metros)

**Dados para calcular altura e largura da berma**

Raio do maior pneu (metros)  
 Ângulo de repouso do material (graus)

**Dados para calcular distância de parada**

Tempo de parada (segundos)  
 Grade da rampa (graus) OBS: positivo para baixo  
 Velocidade do veículo (km/h)  
 Coeficiente de atrito entre pneus e superfície

**Dados para calcular raio de curvatura**

velocidade do veículo (km/h)  
 Super-elevacao (m/m)  
 Coeficiente de atrito entre pneus e superfície

**Dados para calcular superlargura**

Número de pistas  
 Raio de curvatura (m)  
 Distância entre eixos mais afastados (m)  
 Velocidade do veículo (Km/h)

**Dados para calcular super-elevacao**

velocidade do veículo (km/h)  
 Raio de curvatura (m)  
 Coeficiente de atrito entre pneus e superfície

Mensagem da página da web

 Largura de pista: 37.5  
 Altura de berma: 2  
 Largura de berma: 6.92820323027551  
 Distancia de parada: 40.24713529548096  
 Raio de curvatura: 318.89763779527555  
 Super-elevacao: -10  
 Superlargura: 1.5160319658522998

Fonte: Própria

Para a verificação da estrada, devem-se carregar os arquivos de *wireframe* da estrada, bem como preencher os dados de máxima inclinação da estrada e largura mínima de pista desejada para que seja verificado (Figura 62).

Figura 62. Carregamento de wireframe

**VERIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DA ESTRADA**

Abrir	estradatr	Wireframe_tr
Abrir	estradapt	Wireframe_pt
Ajuda	5	Rampa (%)
Ajuda	100	Largura de Pista (m)

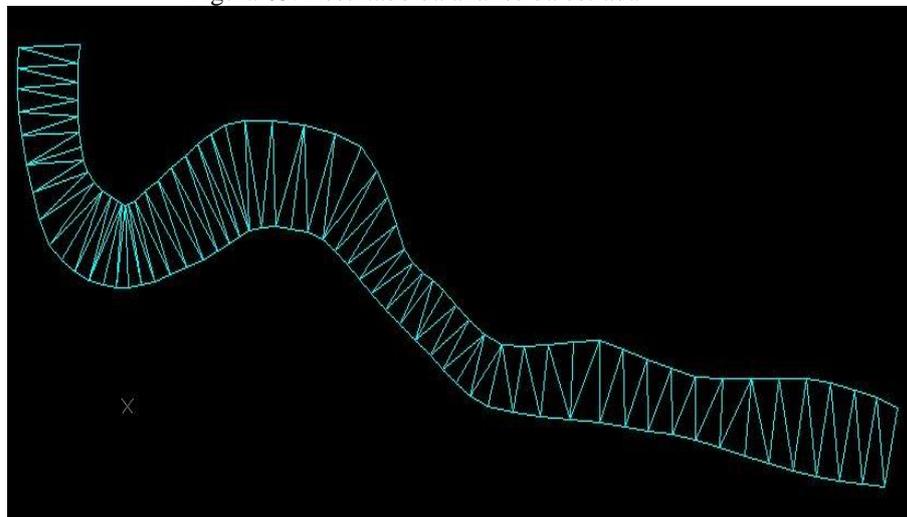
Gerar Modelo    Limpar

Fonte: Própria

Após o preenchimento, clicar em “Gerar Modelo” e será gerado dois modelos de *wireframe*. O modelo de *wireframe* “angulopista” refere-se à estrada com inclinação acima do permitido e o modelo de *wireframe* “largurapista”, refere-se à estrada com largura inferior ao mínimo permitido.

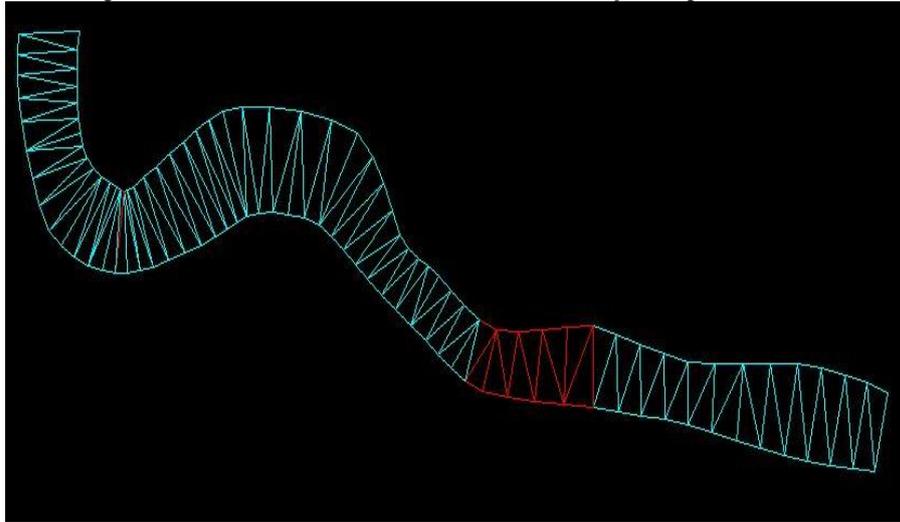
## RESULTADO DAS ANÁLISES EXEMPLO

Figura 63. Resultado da análise da estrada



Fonte: Própria

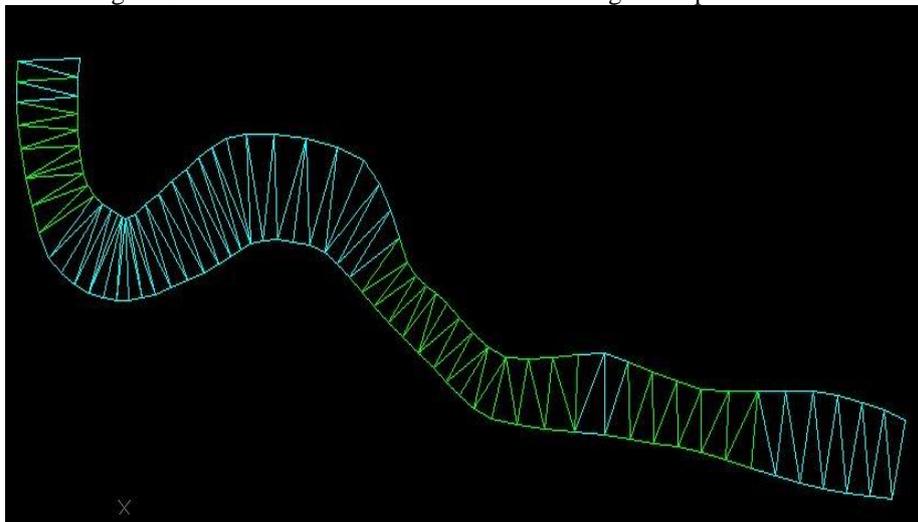
Figura 64. Resultado da análise da estrada inclinação da pista



Fonte: Própria

O modelo gerado “angulopista” apresenta em vermelho os triângulos com inclinação acima do permitido.

Figura 65. Resultado da análise da estrada da largura da pista



Fonte: Própria

O modelo gerado “largurapista” apresenta em verde os triângulos com largura menor que o permitido.

## Anexo B

Esse anexo contém o código de programação que executa o script citado no capítulo 3 deste trabalho.

```

<html>
<head>
<META Name="DatamineScript" Content="Version3" />
<meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=utf-8" />
<title>Avaliação de estradas</title>

</head>
<script type="text/javascript">

//INICIALIZA DATAMINE
var oDmApp= null;
var oScript = null;
function AutoConnect()
{
try
{
oScript = new ActiveXObject("DatamineStudio.ScriptHelper");
oScript.initialize(window);
oDmApp = oScript.getApplication();
if (oDmApp == null || oDmApp.ActiveProject == null)
{
alert("There are no active Studio3 projects open.\n Please open a Studio 3
project before continuing.");
window.close();
return false;
}else
return true;
}
catch(e)
{
alert("Failed\nReason: " + e.description);
if ( oDmApp) oDmApp.Quit();
}
return false;
}

// FIM DA INICIALIZAÇÃO DO DATAMINE
//FUNÇÕES
function displaytr(){
oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;
oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmWireframe;
oDmBrowser.Show(false);
return oDmBrowser.FileName;
}

```

```

}

function displaypt(){
oDmBrowser = oDmApp.ActiveProject.Browser;
oDmBrowser.TypeFilter = oScript.DmFileType.dmWireframePoint;
oDmBrowser.Show(false);
return oDmBrowser.FileName;
}

function btn_carregaestratr(){
estratr.value= displaytr();
}

function btn_carregaestradapt(){
estradapt.value=displaypt();
}

function geramodelo(){
oDmApp.ParseCommand("cogtri&WTRIN="+estratr.value+"&WPTIN="+estradapt.value+"&WTROUT=COGTRITR&WPTOUT=COGTRIPT&PTNOUT=COGTRIPTO
@VERTEX=1 @SYMBOL=216 @SYMSIZE=6");
oDmApp.ParseCommand("copy &IN=cogtritr &OUT=LARGURAPISTATR");
oDmApp.ParseCommand("copy &IN=cogtript &OUT=LARGURAPISTAPT");
oDmApp.ParseCommand("copy &IN=cogtritr &OUT=ANGULOPISTATR");
oDmApp.ParseCommand("copy &IN=cogtript &OUT=ANGULOPISTAPT");
oDmApp.ParseCommand("mgsort&IN=cogtripto&OUT=COGTRIPTOM*KEY1=TRIANGLE @ORDER=1");
oDmApp.ParseCommand("mgsort&IN=cogtritr&OUT=COGTRITRM*KEY1=TRIANGLE @ORDER=1");
oDmApp.ParseCommand("selcop&IN=cogtriptom&OUT=SELCOPM*F1=TRIANGLE *F2=SDIP @KEEPALL=0");
oDmApp.ParseCommand("join&IN1=selcopm&IN2=cogtritm&OUT=JOINM*KEY1=TRIANGLE @SUBSETR=0 @SUBSETF=0 @CARTJOIN=0 @PRINT=0");
oDmApp.ParseCommand("extra&IN=joinm&OUT=ANGULOPISTATR @APPROX=0 @PRINT=0"+
" 'IF(SDIP>"+inclina.value+"')"+
" 'COLOUR=9"+
" 'END"+
" 'GO");

oDmApp.ParseCommand("extra&IN=largurapistatr&OUT=largurapistatr @APPROX=0 @PRINT=0"+
" 'A=sqrt(pow((XP1-XP2),2)+pow((YP1-YP2),2)+pow((ZP1-ZP2),2))"+
" 'B=sqrt(pow((XP1-XP3),2)+pow((YP1-YP3),2)+pow((ZP1-ZP3),2))"+
" 'C=sqrt(pow((XP2-XP3),2)+pow((YP2-YP3),2)+pow((ZP2-ZP3),2))"+
" 'D=max(A,B)"
" 'D=max(D,C)"

```

```

        " 'IF(D<"+larg.value+"'" +
        " 'COLOUR=10'" +
        " 'END'" +
        " 'GO'");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=COGTRIPTO @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=COGTRIPTOM @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=COGTRITRM @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=JOINM @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=SELCOPM @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=COGTRITR @CONFIRM=0");
oDmApp.ParseCommand("delete &IN=COGTRIPT @CONFIRM=0");

    }

function btn_inclina(){
    alert("Valor máximo de inclinação em porcentagem permitido na estrada ");
}

function btn_larg(){
    alert("Valor mínimo de largura da estrada em metros permitido ");
}

function btn_coeficiente(){
    alert("Valores exemplos de coeficientes de atrito entre pneu e alguns tipos de
pista:\n\n\n" +
        "Terra solta ----- 0,45 t/t\n" +
        "Areia úmida ----- 0,40 t/t      \n" +
        "Terra firme seca ----- 0,55 t/t      \n" +
        "Terra firme úmida ----- 0,45 t/t      \n" +
        "Pavimento de concreto ----- 0,90 t/t      \n" +
        "Areia seca e terra solta úmida ----- 0,20 t/t      \n" );
}

function btn_limpainclina(){
    inclina.value="";
    estradapt.value="";
    estradatr.value="";
    larg.value="";
}

function mostra (id) {
    if (document.getElementById(id).style.display=='block') {
        document.getElementById(id).style.display='none';
    }
    else{
        document.getElementById(id).style.display = 'block';
    }
}

```

```

}

function limpa(){
    v.value = "";
    x.value = "";
    altura.value = "";
    angulo.value = "";
    tempo.value = "";
    fi.value = "";
    velocidade.value = "";
    f.value = "";
    vel.value = "";
    e.value = "";
    f1.value = "";
    f2.value = "";
    vel1.value = "";
    r1.value = "";
    r2.value = "";
    numero.value = "";
    vel2.value = "";
    e1.value = "";
}

```

```

function geometrico(){
    var l = 'Largura de pista: Dados insuficientes para calculo'+ '\n'; //largura de pista
    var alt = 'Altura de berma: Dados insuficientes para calculo' + '\n'; //altura de berma
    var larg = 'Largura de berma: Dados insuficientes para calculo'+ '\n';//largura de berma
    var sd = 'Distancia de parada: Dados insuficientes para calculo'+ '\n'; // distancia de
parada
    var r = 'Raio de curvatura: Dados insuficientes para calculo'+ '\n'; // raio de curvatura
    var superele = 'Super-elevacao: Dados insuficientes para calculo'+ '\n'; //super-
elevação
    var superl = 'Superlargura: Dados insuficientes para calculo'+ '\n'; //Superlargura

    //Calcula largura de pista
        if (v.value!="" || x.value!="") {
            if (v.value==" || x.value=="") {
                alert("Preencha todos os dados para calcular largura minima de pista");
            };
        }
    else{

        l = (1.5 *(parseInt(v.value)+0.5))*x.value;
        l=l.toFixed(2);
        l='Largura de pista: '+l+' metros'+ '\n';
        }
    };
}

```

```

//Calcula Altura e largura de berma
if (altura.value!="" || angulo.value!="") {
if (altura.value==" || angulo.value=="") {
alert("Preencha todos os dados para calcular o angulo e largura da berma");
};
else{
alt = (2/3)*altura.value;
larg = (alt/(Math.tan(angulo.value*(Math.PI/180))))*2;
alt=alt.toFixed(2);
larg=larg.toFixed(2);
alt = 'Altura de berma: ' + alt + ' metros'+ '\n';
larg = 'Largura de berma: ' + larg + ' metros'+ '\n';
}
};

//Calcula distancia de parada
if (tempo.value!="" || fi.value!="" || velocidade.value!="" || f.value!="") {
if (tempo.value==" || fi.value==" || velocidade.value==" || f.value=="") {
alert("Preencha todos os dados para calcular distancia de parada");
};
else{
var velocidadeveiculo = 0;
velocidadeveiculo=velocidade.value/3.6;
sd=(0.5*9.8*Math.pow(tempo.value,2)*Math.sin(fi.value*(Math.PI/180)))+(velocidad
eveiculo*tempo.value)+
(Math.pow((9.8*tempo.value*Math.sin(fi.value*(Math.PI/180)))+parseInt(velocidade
veiculo),2)/(2*9.8*(f.value-Math.sin(fi.value*(Math.PI/180)))));
sd=sd.toFixed(2);
sd = 'Distancia de parada: ' + sd + ' metros'+ '\n';
}
};

//Calcula Raio de curvatura
if (vel.value!="" || e.value!="" || f1.value!="") {
if (vel.value==" || e.value==" || f1.value=="") {
alert("Preencha todos os dados para calcular raio de curvatura");
};
else{
r = e.value/100;
r = Math.pow(vel.value,2)/(127*(r+parseInt(f1.value)));
r=r.toFixed(2);
r = 'Raio de curvatura: ' + r + ' metros'+ '\n';
}
};

//Calcula Super-elevação
if (vel1.value!="" || r1.value!="" || f2.value!="") {

```

```

        if (vel1.value=="" || r1.value=="" || f2.value=="") {
            alert("Preencha todos os dados para calcular Super-elevacao");
        };
        else{
            superele = (Math.pow(vel1.value,2) / (127*r1.value)) - f2.value;
            superele = superele*100;
            superele = Math.round(superele);
            superele=superele.toFixed(2);
            superele = 'Super-elevacao: ' + superele + ' %'+ '\n';
        }
    };

    //Calcula Superlargura
    if (vel2.value!="" || r2.value!="" || numero.value!="" || e1.value!="") {
        if (vel2.value=="" || r2.value=="" || numero.value=="" || e1.value=="") {
            alert("Preencha todos os dados para calcular Superlargura");
        };
        else{
            superl= vel2.value/(10*Math.sqrt(r2.value));
            superl=(r2.value-(Math.sqrt((Math.pow(r2.value,2)-Math.pow(e1.value,2)))))+superl;
            superl= numero.value*superl;
            superl=superl.toFixed(2);
            superl= 'Superlargura: ' + superl + ' metros'+ '\n';
        }
    };
    alert(1 + alt + larg + sd + r + superele + superl);
}

</script>

<body style="background:#E6E8FA" onload="AutoConnect();" onunload="oDmApp
= null;oScript = null;">
    <!-- CABEÇALHO DO TRABALHO -->
    <address align="center" style="background:#FFFFFF; text-align: center; width:
400px;">
        <font style="color:#3333FF; background:#FFFFFF; font-style: normal; font-family:
Calibri; font-size: smaller;">
            <br>
            <span style="font-weight: bold; font-size: 2em;">PROJETO DE AVALIAÇÃO DE
ESTRADAS</span>
            <br>
            <br>
        </font>
    </address>
    <br>
    <!-- FIM DO CABEÇALHO DO TRABALHO -->

```

```

<!-- PROJETO GEOMÉTRICO -->
<address align="LEFT" style="text-align: LEFT; width: 500px;">
<font style="font-style: normal; font-family: Calibri; font-size: smaller;">
</br>
<span style="font-weight: bold; font-size: 1.3em;">PROJETO
GEOMÉTRICO</span>
</br>
<hr style="text-align: LEFT; width: 400px;">
</font>
</address>

<!-- ESCOLHA DOS ITENS A ESTIMAR -->
<table border="0">
<tr>
<td><input type="checkbox" onclick="mostra('lp')">Largura de pista</input></td>
<td><input type="checkbox" onclick="mostra('ab')">Altura de berma</input></td>
</tr>
<tr>
<td><input type="checkbox" onclick="mostra('dp')">Distância de
parada</input></td>
<td><input type="checkbox" onclick="mostra('rc')">Raio de curvatura</input></td>
</tr>
<tr>
<td><input type="checkbox" onclick="mostra('sl')">Superlargura</input></td>
<td><input type="checkbox" onclick="mostra('se')"> Super-elevação <br></td>
</tr>
</table>
<table border="0">
<tr>
<td>
<div id="lp" style="display:none">
<b> Dados para calcular largura mínima de pista</b> <br>
<input type="text" id= "v" size="4" value= ""> Número de vias (quantidade)<br>
<input type="text" id= "x" size="4" value= ""> Largura do veículo (metros)<br>
</div>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
<div id="ab" style="display:none">
<b> Dados para calcular altura e largura da berma</b> <br>
<input type="text" id= "altura" size="4"> Raio do maior pneu (metros)<br>

```

```



```

```

<b> Dados para calcular super-elevacao</b><br><br/>
<input type="text" id= "vel1" size="4"> velocidade do veículo (km/h)<br/>
<input type="text" id= "r1" size="4"> Raio de curvatura (m)<br/>
<input type="text" id= "f2" size="4"> Coeficiente de atrito entre pneus e
superfície<br/>
</div>
</td>

</tr>
<tr>
<td>
<input type="button" name="calcula" value="Calcular" onclick= "geometrico()"
></input>
<input type="button" name="teste1" value="Limpar" onclick= "limpa()" ></input>
<input type="button" style="width:50;height:23" value="Ajuda" onclick=
"btn_coeficiente()" ></input>
</td>
</tr>

</table>
<!-- FIM PROJETO GEOMETRICO -->

<!-- INÍCIO COMPARA GEOMETRIA -->
<br>
<address align="LEFT" style="text-align: LEFT; width: 500px;">
<font style="font-style: normal; font-family: Calibri; font-size: smaller;">
<br>
<span style="font-weight: bold; font-size: 1.3em;">VERIFICAÇÃO DA
GEOMETRIA DA ESTRADA</span>
<br>
<hr style="text-align: LEFT; width: 400px;">
</font>
</address>

<input type="button" style="width:50;height:23" name="abretr" value="Abrir"
onclick= "btn_carregaestratr()" ></input>
<input type="text" id= "estratr" size="20" value= ""> Wireframe_tr<br/>

<input type="button" style="width:50;height:23" value="Abrir" onclick=
"btn_carregaestrapt()" ></input>
<input type="text" id= "estrapt" size="20" value= ""> Wireframe_pt<br/>

<input type="button" style="width:50;height:23" value="Ajuda" onclick=
"btn_inclina()" ></input>
<input type="text" id= "inclina" size="4" value= ""> Rampa (%)<br/>

```

```

<input type="button" style="width:50;height:23" value="Ajuda" onclick= "btn_larg()"
></input>
<input type="text" id= "larg" size="4" value= ""> Largura de Pista (m)<br/></br>

<input type="button" value="Gerar Modelo" onclick= "geramodelo()"></input>
<input type="button" value="Limpar" onclick= "btn_limpainclina()"></input>

</body>
</html>

```

## Anexo C



Rua Washington Luiz, 675 - CEP 90010-460 - Porto Alegre/RS/Brasil - CNPJ 02.816.685/0001-67  
Fone +55 (51) 32872000 - e-mail faleconosco@cientec.rs.gov.br - www.cientec.rs.gov.br

Documento: **RELATÓRIO DE ENSAIO**

Número: **509 - 2715**

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao item ou itens ensaiados ou calibrados. Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

### ENSAIO EM AMOSTRAS DE SOLO

**Cliente:**  
Nome: FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT  
Endereço: Rua Matias José Bins, 364 - 91330-290 - Porto Alegre - RS

**Item Ensaio:** quatro amostras de solo entregues à CIENTEC pelo Cliente, declaradas como procedentes de Tapira-MG. No Laboratório de Solos, as amostras foram identificadas conforme Quadro 1.

Quadro 1. Identificação das amostras.

Amostra Cientec nº	Identificação do Cliente
509/1016	Argila amarela
509/1017	TIT MAG
509/1018	Argila vermelha
509/1019	Argila amarela com magnetita

**Solicitação do Cliente:** limites de plasticidade e de liquidez.

**Data do recebimento do material:** 04 de novembro de 2015.

**Período da realização dos ensaios:** 23 de novembro a 09 de dezembro de 2015.

**Método:**

- limite de liquidez segundo ABNT NBR 6459:1984 - Solo - Determinação do limite de liquidez;
- limite de plasticidade segundo ABNT NBR 7180:1988 - Solo - Determinação do limite de plasticidade.



Rua Washington Luiz, 875 - CEP 90010-460 - Porto Alegre/RS/Brasil - CNPJ 92.816.685/0001-87  
 Fone +55 (51) 32872000 - e-mail faleconosco@cientec.rs.gov.br - www.cientec.rs.gov.br

Documento: **RELATÓRIO DE ENSAIO**

Número: **509 - 2715**

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao item ou itens ensaiados ou calibrados. Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

## RESULTADOS

### Limites de liquidez e plasticidade

No Quadro 2 estão apresentados os resultados dos limites de liquidez e plasticidade.

Quadro 2. Resultados dos limites de liquidez e plasticidade.

CIENTEC Amostra nº	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)
509/1016	63	38	25
509/1017	45	28	17
509/1018	61	39	22
509/1019	NL	NP	-

Porto Alegre, 10 de dezembro de 2015.

Geólogo Roberto Nunes Vanacór  
 Gerente do Departamento de  
 Geotecnia

Eng.º Civil Gilnei Pestano Arnold  
 Responsável Técnico - CREA-RS 67.286  
 Coordenador do Laboratório de Solos



Nome do arquivo: Cntec\_Laudc\_506\_2715.pdf  
 Autenticidade: Documento Integro



DOCUMENTO ASSINADO POR	DATA	CPF/CNPJ	VERIFICADOR
Gilnei Pestano Arnold	10/12/2015 10:32:06 GMT-03:00	5253278020	Assinatura válida
Roberto Nunes Vanacor	10/12/2015 10:44:02 GMT-03:00	9433469015	Assinatura válida

Documento Assinado Digitalmente

Documento eletrônico assinado digitalmente conforme MP nº 2.200-2/2001 de 24/08/2001, que institui a Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira - ICP-Brasil. A conferência de autenticidade do documento informando, CHAVE 04145.65195.24561.19730-38504.35703.10209.17817 e CRC 30.1609.5806, está disponível no endereço eletrônico: <http://tda.ac.rs.gov.br/visualiza>.

Chave: 04145.65195.24561.19730-38504.35703.10209.17817  
 CRC: 30.1609.5806

Verificado em 10/12/2015 16:14:02

Página 3 de 3