



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE TRANSPORTE E GESTÃO  
TERRITORIAL  
NÍVEL MESTRADO

**ANDERSON MOACIR PAINS**

**ALTERNATIVAS DE ACESSO À BOMBINHAS/SC: ANÁLISE DOS INDICADORES  
DE DESEMPENHO DA ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS E PAVIMENTAÇÃO**

Florianópolis

2020

ANDERSON MOACIR PAINS

**ALTERNATIVAS DE ACESSO À BOMBINHAS/SC: ANÁLISE DOS INDICADORES  
DE DESEMPENHO DA ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS E PAVIMENTAÇÃO**

Dissertação de Mestrado submetido à  
Coordenadoria do Curso do PPGTG da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como um dos requisitos para a obtenção do  
Grau de Mestre em Engenharia de Sistemas  
de Transporte.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio  
Marques Noronha.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pains, Anderson Moacir

ALTERNATIVAS DE ACESSO À BOMBINHAS/SC: ANÁLISE DOS  
INDICADORES DE DESEMPENHO DA ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS E  
PAVIMENTAÇÃO / Anderson Moacir Pains ; orientador, Marcos  
Aurélio Marques Noronha, coorientadora, Lidiani Cristina  
Pierri, 2020.

123 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Transportes e Gestão Territorial,  
Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2.  
Avaliação de alternativas de transporte . 3. Tempo de  
viagem. 4. Mobilidade Urbana. I. Marques Noronha, Marcos  
Aurélio . II. Pierri, Lidiani Cristina. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. IV. Título.

ANDERSON MOACIR PAINS

**ALTERNATIVAS DE ACESSO À BOMBINHAS/SC: ANÁLISE DOS INDICADORES  
DE DESEMPENHO DA ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS E PAVIMENTAÇÃO**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.<sup>a</sup> Liane Ramos da Silva, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Pacheco dos Santos, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi  
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Sistemas de Transporte.

---

Prof.<sup>a</sup> Ana Maria Benciveni Franzoni, Dr.<sup>a</sup>.  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2020

Este trabalho é dedicado aos meus amigos e familiares em especial a minha mãe Maria de Jesus da Rocha.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha mãe Maria de Jesus da Rocha, que sempre está comigo me apoiando em minhas decisões, meus amigos e colegas que mantiveram fé em meu percurso até aqui, principalmente a Lidiani Pierri, Rafael Pacheco e Jair dos Passos, que auxiliaram na criação deste trabalho, com seus conselhos e indagações.

## RESUMO

A busca por melhoras na infraestrutura urbana é algo recorrente atualmente, principalmente devido ao crescimento conturbado das cidades e o não desenvolvimento de outros modais para a circulação de pessoas, o que tem levado a mobilidade das grandes cidades quase a um colapso. A saída para esse problema é o investimento na investigação de novas alternativas que consigam pelo menos mitigar os entraves gerados por esse mal planejamento.

Bombinhas/SC é uma dessas cidades que cresceram não possuindo uma infraestrutura adequada para dar suporte às pessoas que nela habitam ou visitam. Atualmente quem entra na cidade na época de veraneio, sofre com o trânsito intenso e engarrafamentos. Esse problema gerou a necessidade de encontrar uma alternativa que permita que seus usuários consigam entrar na cidade sem ficar horas e horas parados em filas.

Dentro deste contexto, criou-se alternativas que buscam mitigar os congestionamentos gerados, distribuir o tráfego e reduzir o tempo gasto pelo usuário para acessar Bombinhas nas épocas de veraneio. Entre as principais opções destacam-se a criação de um túnel ou a pavimentação de uma antiga rota que contorna o morro de divisa da cidade.

As alternativas propostas se mostram diferentes em magnitude, na comparação entre obras de escavação de maciços e pavimentação de estradas. Como forma de auxiliar na escolha de uma das opções, utilizou-se de indicadores que visam analisar o tempo de execução destas obras e qual impacto elas gerariam no tempo de viagem.

Desta maneira pretende-se estabelecer uma relação de escolha, analisando quais critérios adotados por esses indicadores serão mais vantajosos para a aplicação da alternativa final.

**Palavras-chave:** Avaliação de alternativas de transporte; Tempo de viagem; Mobilidade Urbana.

## ABSTRACT

The search for improvements in urban infrastructure is something recurring today. The unplanned growth of cities and the non-development of other modes for the circulation of people, has led the mobility of large cities to almost a collapse. To address this problem, it is vital to invest in the investigation of new alternatives that can at least mitigate the obstacles generated by the lack of proper planning.

Bombinhas, Santa Catarina State, Brazil, is one of those cities that grew up not having an adequate infrastructure to support the mobility of its inhabitants. Currently, whoever enters the city during the summer season, suffers from heavy traffic and traffic jams. This problem created the need to find an alternative that allows its users to be able to enter the city without spending a significant amount of time in traffic.

In this context, some alternatives have been proposed to mitigate the traffic congestion, trying to reduce the time spent to access Bombinhas during the summer season. Among the main alternatives are the creation of a tunnel or the paving of an old route that goes around the border of the cities.

The proposed alternatives are different in magnitude, regarding the comparison between underground excavation works and road paving. As a way of assisting in the choice of one of the options, indicators were used to analyze the execution time of these works and what impact they would generate in the travel time.

In this way, it is intended to establish a choice relationship, analyzing which criteria brought by these indicators will be more advantageous for the application of the final alternative.

**Keywords:** Evaluation of Transportation Alternatives; Travel Time; Urban Mobility.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Opções para o novo acesso ao município de Bombinhas. ....	18
Figura 2: Congestionamentos no acesso à Bombinhas na alta temporada. ....	22
Figura 3: Principal via de acesso Porto Belo, Bombinhas.....	23
Figura 4: Alternativas para o novo acesso ao município de Bombinhas.....	24
Figura 5: Ciclo de operação do desmonte de rochas por explosivo. ....	27
Figura 6: Valores de escavabilidade para determinados tipos de rochas. ....	31
Figura 7: Ábaco para a obtenção da quantidade de furos pequenos.....	33
Figura 8: Ábaco para a obtenção da quantidade de furos grandes. ....	34
Figura 9: Taxa de penetração líquida em furos padrões.....	35
Figura 10: Tempo de movimentação da haste por furo. ....	36
Figura 11: Relação da frequência de troca dos bits com o RWQ.....	38
Figura 12: Ábaco do fator de perda operacional. ....	39
Figura 13: Tempo de carregamento de explosivos.....	41
Figura 14: Tempo de Ventilação. ....	42
Figura 15: Ábaco para definição do fator de <i>overbreaking</i> .....	43
Figura 16: Capacidade de transporte de rocha detonada por equipamento. ....	44
Figura 17: Definição do tempo extra no transporte de material rochoso. ....	45
Figura 18: Tempo para execução do escalonamento do túnel "bate-choco". ....	46
Figura 19: Prospecção da seção do Túnel de Bombinhas, medidas em metros. ....	48
Figura 20: Representação geológica região de Bombinhas.....	49
Figura 21: Faixa de valores para SPR. ....	51
Figura 22: Jumbo de perfuração com três lanças Epiroc Boomer E3. ....	53
Figura 23: Exemplo de emulsão encartuchada.....	54
Figura 24: Sistema de ventilação de túnel. ....	55
Figura 25: Pá carregadeira CAT 980G.....	56
Figura 26: Martelo hidráulico R3ciclo modelo 500LC-7A.....	57
Figura 27: Exemplo de camadas de uma pavimentação flexível. ....	58
Figura 28: Camadas intermediárias do pavimento. ....	60
Figura 29: Ábaco para a determinação da espessura das camadas intermediárias do pavimento. .....	61
Figura 30: Exemplo de uma tabela SICRO com destaque nos custos e produtividade.....	63

Figura 31: Tráfego médio diário anual trecho Porto Belo Bombinhas.....	65
Figura 32: Classificações das Vias. ....	66
Figura 33: Apresentação da faixa de Domínio para a alternativa de pavimentação.....	66
Figura 34: Representação dos depósitos de solos da região de Bombinhas.....	67
Figura 35: Representação do solo derivado do maciço rochoso Granito-Gnáissico. ....	68
Figura 36: Características dos depósitos eólicos que ocorrem nas regiões de Bombinhas. ....	69
Figura 37: Tabela SICRO 2 para limpeza do terreno. ....	71
Figura 38: Tratores de esteira com lâmina utilizados na limpeza de terreno. ....	72
Figura 39: Tabela SICRO 2 para etapa de regularização do Subleito. ....	73
Figura 40: Equipamento utilizados na regularização do subleito.....	74
Figura 41: Tabela SICRO 2 para execução da sub-base. ....	75
Figura 42: Tabela SICRO 2 para execução da base. ....	76
Figura 43: Rolo compactador e distribuidor de agregados.....	77
Figura 44: Tabela SICRO 2 para equipamentos da imprimção. ....	78
Figura 45: Equipamentos utilizados na etapa de imprimção. ....	79
Figura 46: Tabela SICRO 2 para a etapa de execução de concreto asfáltico. ....	80
Figura 47: Vibroacabadora CAT AP555F.....	81
Figura 48: Diagrama de atividades na metodologia de trabalho proposta. ....	83
Figura 49: Trajetória até o acesso ao morro de Santa Luzia. ....	88
Figura 50: Trajeto para o segundo acesso ao trecho a ser pavimentado. ....	89
Figura 51: Trajeto feito atualmente pelos usuários. ....	92
Figura 52: Trajetos utilizados pela alternativa de túnel de 3,0km.....	93
Figura 53: Trajetos utilizados pela alternativa de túnel de 2,2km.....	95
Figura 54: Trajetos utilizados pela alternativa de pavimentação. ....	97
Figura 55: Comparação dos tempos de execução.....	99
Figura 56: Percentual das etapas de execução do túnel de 3,0km. ....	100
Figura 57: Tempo de execução considerando duas frentes de trabalho na construção dos túneis.....	101
Figura 58: Comparação de tempo de execução, considerando as pavimentações conjuntas. ....	102
Figura 59: Tempo de viagem das alternativas de acesso à Bombinhas.....	103
Figura 60: Correlação entre a diferença do tempo de viagem da alternativa mais rápida com as demais.....	104

Figura 61: Percurso obtido com a diferença de tempo entre a alternativa de túnel de 3,0km e o trajeto atual. .... 105

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Atividades do <i>rig-time</i> em função do equipamento. ....	29
Quadro 2: Índice de escavabilidade da rocha. ....	30
Quadro 3: Faixas do índice de fragmentação da rocha "Blastability" .....	32
Quadro 4: Relação de equipamentos usados na escavação dos túneis. ....	57
Quadro 5: Determinação da espessura do revestimento betuminoso. ....	59
Quadro 6: Coeficientes estruturais dos materiais utilizados na pavimentação.....	62
Quadro 7: Equipamentos selecionados para as etapas de pavimentação.....	81
Quadro 8: Dados de entrada para cálculo da taxa de avanço do túnel. ....	85
Quadro 9: Dados de entrada pavimentação. ....	89
Quadro 10: Relação de ganhos e perdas de tempo entre as alternativas. ....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição de viagens em Bombinhas. ....	23
Tabela 2: Tempos de execução de cada etapa, túnel de 2,2km. ....	86
Tabela 3: Tempos de execução de cada etapa, túnel 3,0km. ....	87
Tabela 4: Tempos de execução para cada etapa de cada um dos trechos de pavimentação.....	90
Tabela 5: Distância e tempo de viagem no trajeto atual.....	92
Tabela 6: Distâncias medidas para alternativa do túnel de 3km.....	93
Tabela 7: Tempos de viagem alternativa Túnel 3,0km. ....	94
Tabela 8: Distâncias medidas para alternativa do túnel de 2,2km.....	95
Tabela 9: Tempos de viagem alternativa Túnel 2,2km. ....	96
Tabela 10: Distâncias medidas para alternativa de pavimentação partindo do morro de Santa Luzia. ....	97
Tabela 11: Tempo de viagem alternativa de pavimentação acesso pelo morro de Santa Luzia. ....	98
Tabela 12: Tempo de viagem alternativa de pavimentação acesso pelo centro de Porto Belo.	98

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	17
1.2	OBJETIVOS.....	19
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	MOBILIDADE E CRESCIMENTO URBANO .....	21
2.2	MOBILIDADE EM BOMBINHAS.....	22
2.3	MÉTODOS EXECUTIVOS.....	25
<b>2.3.1</b>	<b>Método Drill and Blast.....</b>	<b>25</b>
2.3.1.1	Predição de Avanço Método <i>Drill and Blast</i> .....	28
2.3.1.1.1	<i>Etapas do Método</i> .....	29
2.3.1.1.2	Parâmetros de cálculo.....	47
2.3.1.1.2.1	<i>Geometria</i> .....	47
2.3.1.1.2.2	<i>Geologia aplicada para projeto de túneis</i> .....	48
2.3.1.1.2.2.1	<b>Índice de escavabilidade – DRI .....</b>	<b>50</b>
2.3.1.1.2.2.2	<b>Índice de fragmentação da rocha – SPR.....</b>	<b>51</b>
2.3.1.1.2.2.3	<b>Qualidade de desgaste da rocha – RWQ .....</b>	<b>52</b>
2.3.1.1.2.3	<i>Recursos técnicos na execução de túneis</i> .....	52
2.3.1.1.2.3.1	<b>Perfuração .....</b>	<b>52</b>
2.3.1.1.2.3.2	<b>Detonação .....</b>	<b>53</b>
2.3.1.1.2.3.3	<b>Ventilação .....</b>	<b>54</b>
2.3.1.1.2.3.4	<b>Carregamento e Transporte dos detritos .....</b>	<b>55</b>
2.3.1.1.2.3.5	<b>“Bate choco” .....</b>	<b>56</b>
2.4	MÉTODO DNER 79 .....	58
<b>2.4.1</b>	<b>DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CÁLCULO.....</b>	<b>63</b>

2.4.1.1	Geometria de obras rodoviárias.....	64
2.4.1.2	Caracterização do solo para projetos de Rodovias.....	66
2.4.1.2.1	<i>Características do Solo</i> .....	68
2.4.1.3	Recursos técnicos para obras de pavimentação.....	69
2.4.1.3.1	<i>Limpeza e movimentação de terra</i> .....	70
2.4.1.3.2	<i>Regularização do subleito</i> .....	72
2.4.1.3.3	<i>Execução sub-base e base</i> .....	74
2.4.1.3.4	<i>Imprimação</i> .....	77
2.4.1.3.5	<i>Concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ)</i> .....	79
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO</b> .....	<b>83</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS</b> .....	<b>85</b>
4.1	TEMPO DE EXECUÇÃO DOS TÚNEIS.....	85
4.1.1	<b>Etapas do túnel de 2,2km (Vila Nova a Zimbros)</b> .....	<b>86</b>
4.1.2	<b>Etapas túnel 3,0km (Vila Nova Sertãozinho)</b> .....	<b>86</b>
4.2	TEMPO DE EXECUÇÃO DA ALTERNATIVA DE PAVIMENTAÇÃO.....	87
4.2.1	<b>Rotas de acesso às alternativas</b> .....	<b>88</b>
4.2.2	<b>Tempo de execução das pavimentações</b> .....	<b>89</b>
4.3	CÁLCULO DO TEMPO DE VIAGEM DAS ALTERNATIVAS.....	91
4.3.1	<b>Alternativa atual</b> .....	<b>91</b>
4.3.2	<b>Alternativa de túnel de 3km</b> .....	<b>92</b>
4.3.3	<b>Alternativa de túnel de 2,2km</b> .....	<b>94</b>
4.3.4	<b>Alternativas de pavimentação</b> .....	<b>96</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>99</b>
5.1.1	<b>Tempo de execução</b> .....	<b>99</b>
5.1.2	<b>Tempo de Viagem</b> .....	<b>102</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>107</b>
6.1	TRABALHOS FUTUROS.....	109
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>111</b>

<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>117</b>
<b>APÊNDICE B</b> .....	<b>121</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O crescimento populacional traz consigo a necessidade de ampliação da infraestrutura, tendo como objetivo dar suporte à movimentação dos indivíduos nas suas tarefas cotidianas, impactando dessa forma os padrões de desenvolvimento urbano. O mal dimensionamento da infraestrutura de transportes frente ao crescimento da demanda gera muitos transtornos à sociedade, que atualmente perde grande parte do seu tempo nos famosos congestionamentos (MACIEL, 2008).

Apesar dos congestionamentos estarem ligados em grande parte com a grande frota de veículos que circula atualmente, segundo Oliveira (2006), na antiga Grécia e em Roma, já existiam indícios de filas na vias locais, por falta de infraestrutura urbana. No Brasil atual, muitas cidades sofrem com esse problema, São Paulo por exemplo, registrou em 2012 valores entre 90 a 125 quilômetros de lentidão, durante os horários de pico.

A situação não é muito diferente nas pequenas e médias cidades do país, principalmente as que possuem elementos geradores de tráfego, como polos mercantis e comerciais, tecnológicos ou turísticos. Um exemplo é Bombinhas, município objeto de estudo desse trabalho.

Bombinhas pertence à mesorregião do vale do Itajaí e conta com uma população estimada de 14.293 habitantes segundo dados do IBGE, (2010). A cidade está em constante crescimento devido sua localização geográfica próxima ao polo comercial de Itajaí e da capital do estado, além do apelo turístico de suas belezas naturais que vêm atraindo a atenção de muitos compradores de imóveis e turistas no decorrer dos anos (GROSTEIN, 2001).

Esse crescimento vivenciado pela cidade vem gerando problemas na mobilidade durante a alta temporada, em especial em sua via de acesso, que atualmente é feito por pista simples, o que o torna inadequado para o recebimento de tantos veículos, prejudicando o tráfego em todo seu entorno, isso gera prejuízos não só a Bombinhas, mas para os municípios vizinhos, que tem a movimentação de seus bens e serviços travados pelos congestionamentos (GROSTEIN, 2001).

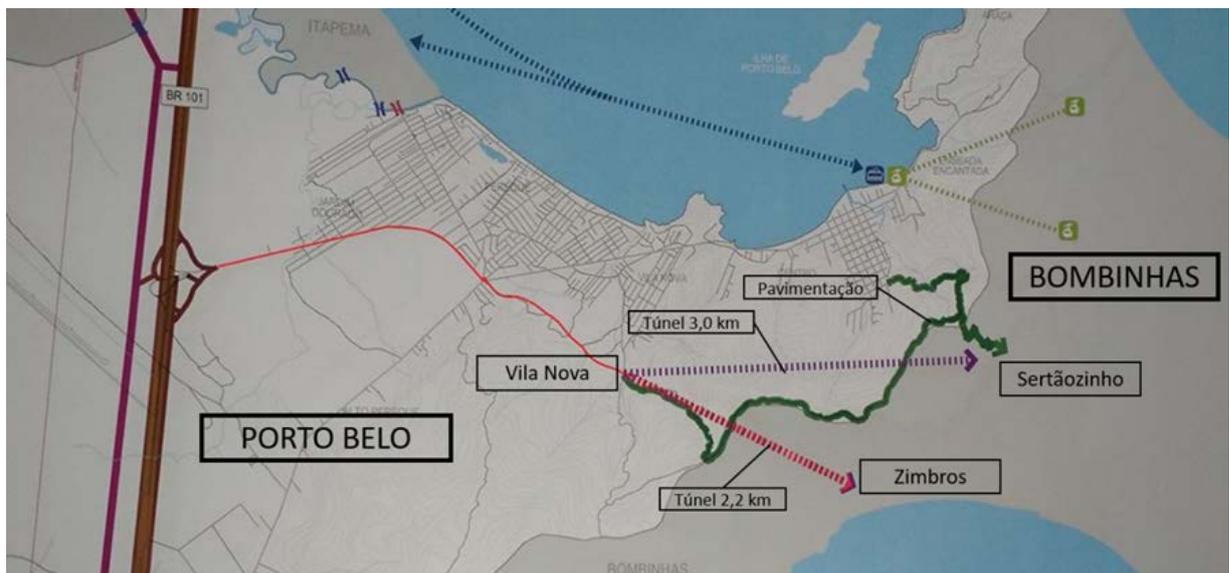
Com intuito de resolver esse travamento a AMFRI (Associação dos Municípios da Foz do Rio Itajaí), elaborou um plano de mobilidade chamado Planmob, contendo diversas

intervenções na infraestrutura dessas cidades, dentro das ações propostas, está a criação de um novo acesso à Bombinhas.

Para esse acesso foram cogitadas três opções, das quais duas delas seriam túneis, um de aproximadamente 2,2 quilômetros que ligaria os bairros Vila Nova em Porto Belo, a Zimbros em Bombinhas, e outro com um comprimento em torno de 3,0 quilômetros, que também partiria de Vila Nova e teria como destino o bairro Sertãozinho, representados na Figura 1 pelas cores vermelha e roxa respectivamente.

A outra opção seria a qualificação, adequação e pavimentação de um antigo traçado dividido em duas frentes, um segmento partindo do mesmo local onde iniciam-se os túneis, contornando o morro de Santa Luzia e outro partindo do centro de Porto Belo, ambos tendo o bairro Sertãozinho como destino. Os dois segmentos totalizam cerca de 8,7 quilômetros de pavimentação, sendo o menor deles de 2,5 quilômetros e o maior 6,2 quilômetros, representados em verde na Figura 1.

Figura 1 - Opções para o novo acesso ao município de Bombinhas.



Fonte: (PADRON, 2017), Editado pelo Autor, 2018.

Neste contexto o presente trabalho visa formular e analisar este problema específico da mobilidade no município de Bombinhas, buscando em especial fornecer resultados para melhor embasar a escolha do trajeto para o segundo acesso. Para isso criou-se objetivos que definiram como esses resultados serão alcançados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho propõe avaliar as alternativas de segundo acesso à Bombinhas com base em dois indicadores de desempenho: tempo de viagem e tempo de execução, destacando os pontos positivos e negativos, impactos de cada opção e suas melhorias no âmbito da mobilidade, com intuito de ser um auxiliador na tomada de decisão dentre as alternativas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral citado anteriormente, foram designados os seguintes objetivos específicos:

- Entender o motivo dos congestionamentos em Bombinhas e Porto Belo, especialmente na alta temporada;
- Apresentar os métodos executivos de cada opção de acesso;
- Apresentar os métodos que irão quantificar os indicadores de desempenho analisados na dissertação;
- Relacionar os resultados obtidos, buscando discriminar as vantagens de cada opção dentro dos indicadores analisados.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MOBILIDADE E CRESCIMENTO URBANO

No Brasil, cerca de 76% da população reside em áreas metropolitanas, segundo dados do IBGE de 2010, essa polarização em torno de uma grande cidade em dimensões físicas e populacionais estabelecida por uma alta densidade demográfica e taxa de urbanização, gera problemas ambientais, morfológicos, políticos e socioeconômicos (FREITAS, 2012).

Tratando as cidades como um conjunto de mecanismos que trabalham de forma a atender às necessidades da população, um crescimento desordenado impacta diretamente na rotina das pessoas, deixando de atender a essas necessidades, prejudicando a qualidade de vida e a produtividade dos indivíduos (POLIDORI, 2005).

Desta forma, as cidades assumem um papel importante para delinear mudanças significativas que zelem para o bem estar social, impedindo que essa rotina seja interrompida pelo processo de desenvolvimento, o que proporciona novos desafios para o planejamento urbano regional, entre eles a mobilidade (OJIMA, 2008).

O mal planejamento urbano além de limitar os espaços físicos, influencia seus usuários a adquirir hábitos nocivos para o próprio processo de desenvolvimento, um exemplo disso é o uso do automóvel como meio de locomoção principal. Apesar de existirem meios de transporte coletivo e opções individuais alternativas (bicicleta, por exemplo) que atuam de forma positiva na redução de veículos nas estradas e vias urbanas, a falta de qualidade e infraestrutura de suporte às mesmas, acabam levando os usuários a não utilizá-los, causando um efeito rebote (COSTA *et al.*, 2007).

Um exemplo disso são os números concedidos pelo DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) em (2017), que aponta que a frota do Brasil alcançou cerca de mais de 97 milhões de veículos, dos quais um pouco mais de 96 milhões são veículos considerados individuais (carro, moto, caminhonete, caminhão, etc). Comparando com os dados demográficos do Brasil para o mesmo ano, obtém-se um índice de 0,46 veículos por habitante, em outras palavras, quase metade de toda a população do Brasil utiliza um veículo automotor.

No estado de Santa Catarina o índice de veículo por pessoa é maior, segundo os mesmos dados, o estado possui cerca de 7,1 milhões de habitantes em toda sua extensão, obtendo um índice correspondente a 0,49. Números preocupantes, pois não há infraestrutura

que comporte tamanha demanda, o que gera os congestionamentos nos grandes centros urbanos, acarretando prejuízos em muitas esferas da sociedade (MACIEL, 2008).

## 2.2 MOBILIDADE EM BOMBINHAS

Inserido nesse contexto está Bombinhas, cidade que tem no turismo a sua maior fonte de arrecadação, chegando a receber até 1,5 milhões de visitantes nas épocas de alta temporada, de acordo com dados de sua prefeitura.

Segundo Hillesheim (2006), esse aumento excedente de visitantes, somada a infraestrutura existente, gera diversos problemas ao município, como os congestionamentos representados pela Figura 2. Problema iniciado já na entrada da cidade de Porto Belo, único caminho por terra que dá acesso à Bombinhas.

A via de ligação entre as duas cidades é composta por pista simples (Figura 3), particularidade que a impede de suportar a demanda de veículos, fator de grande preocupação por parte dos demais município que tem sua distribuição de bens e serviços impedida pelos congestionamentos gerados (GOLLNICK, 2016).

Figura 2: Congestionamentos no acesso à Bombinhas na alta temporada.



Fonte: (VALENTINI, 2013).

Figura 3: Principal via de acesso Porto Belo, Bombinhas.



Fonte: Autor, 2018.

Outro fator agravante ao problema é deficiência na comunicação entre bairros da cidade, que prejudica a distribuição dos usuários às demais localidades. De acordo com a Tabela 1 cerca de 37% dos visitantes que entram em Bombinhas dirigem-se para outras regiões mais afastadas do centro, esses usuários ficam obrigados a trafegarem pela avenida central da cidade que recebe todo o tráfego, ocasionando o colapso na mobilidade.

Tabela 1: Distribuição de viagens em Bombinhas.

LOCAIS MAIS VISITADOS EM BOMBINHAS	
Bombas	47,61%
Centro	16,09%
Canto Grande	15,87%
Mariscal	8,04%
Zimbros	7,61%
Quatro Ilhas	3,04%
José Amândio	1,09%
Morrinhos	0,43%
Sertãozinho	0,22%

Fonte: (PREFEITURA DE BOMBINHAS, 2018). Elaborado pelo Autor, 2018.

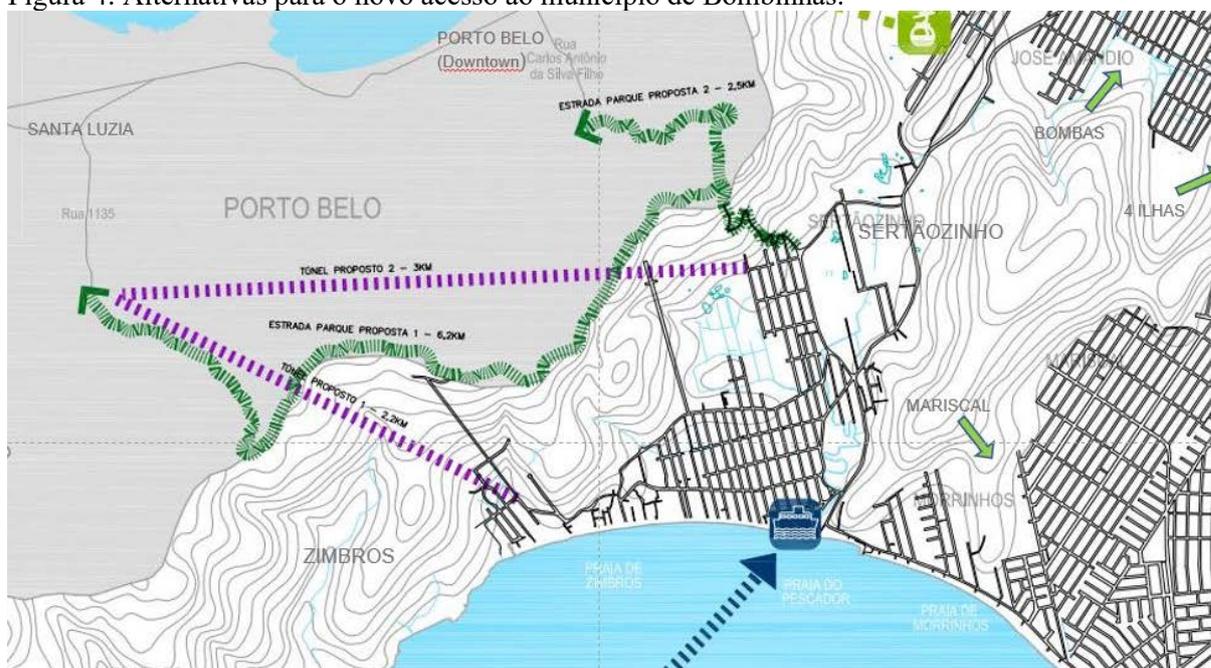
Dado o problema, a solução mais conveniente seria o alargamento do acesso atual e a criação de vias conectoras, opções necessárias, mas não praticáveis em todas as situações. Com isso, foram elaborados estudos que deram origem a um plano de mobilidade, onde representantes da cidade e municípios vizinhos expusessem melhorias em toda a região, tais como: a implantação de ciclovias, teleféricos, transporte marítimo e melhorias na infraestrutura, além de levantar três hipóteses para um novo acesso à cidade de Bombinhas (GOLLNICK, 2016).

Dentre as hipóteses mais discutidas para o novo acesso há um túnel, com a alternativa de dois traçados diferentes e a pavimentação de um antigo acesso que contorna o morro que divide as cidades de Bombinhas e Porto Belo.

Optando-se pela construção de um túnel, os trajetos com maior viabilidade são: um com destino ao bairro Sertãozinho e outro até Zimbros, ambos partindo do bairro Vila Nova em Porto Belo, a primeira opção contendo 3,0 km e a segunda 2,2 km de extensão.

No caso da pavimentação, o primeiro acesso inicia-se pelo mesmo local onde começam os túneis e o segundo sendo próximo ao centro da cidade de Porto Belo, ambos tendo como saída o bairro de Sertãozinho. A Figura 4 ilustra as alternativas em questão, com os túneis em cor roxa e a pavimentação em cor verde.

Figura 4: Alternativas para o novo acesso ao município de Bombinhas.



Fonte:(GOLLNICK, 2016).

Dada a problemática e as distintas alternativas escolhidas como forma de tratá-las, uma maneira de determinar quais os benefícios que elas podem proporcionar, é a utilização de indicadores. Neste caso, como trata-se de grandes obras de infraestrutura, existem diversos indicadores que auxiliam na comparação da melhor alternativa, como os indicadores de impactos ambientais, econômicos e sociais, além da análise financeira que também é de grande importância na definição da alternativa. Porém, como limitação do trabalho, não há dados suficientes para a determinação desses indicadores. Por esse motivo, buscou-se analisar as alternativas pelo tempo de execução e o tempo de viagem, utilizando metodologias que necessitam de dados já disponíveis para pesquisa.

O tempo de execução apresenta o período resultante da velocidade com que a implantação da alternativa é concluída. Esse dado mostra se a opção é de curto, médio ou longo prazo e serve para analisar a diferença entre os métodos construtivos escolhidos (túnel e pavimentação). Já o tempo de viagem apontará o quanto mais veloz será a viagem para determinado ponto, medindo o comportamento de cada alternativa e a sua efetividade de deslocamento para essas regiões.

Sabendo quais serão os indicadores analisados, é necessário conhecer o método construtivo de cada alternativa para que assim se possa implementar as metodologias nos cálculos, obtendo-se os resultados que serão usados no comparativo.

Na execução do túnel, definiu-se como método construtivo o *Drill and Blast* (perfuração e detonação), por se tratar de um método de execução de túnel mais simples e barato, utilizado em túneis curtos e médios, melhor se encaixando nas características das alternativas de novo acesso a Bombinhas. Da mesma forma, por ser um método simples e bastante utilizado no Brasil, definiu-se o DNER 79 como método de dimensionamento das pavimentações, ambos os métodos serão vistos a seguir.

## 2.3 MÉTODOS EXECUTIVOS

### 2.3.1 Método Drill and Blast

O método de execução *Drill and Blast* é caracterizado pelo uso de explosivos em operações que ocorrem em uma sequência cíclica bem definida. Este método é utilizado em todo o mundo, podendo ser executado em todos os tipos de rochas, possuindo um custo inicial menor em comparação a métodos mecânicos como as perfuratrizes tipo TBM (Máquina

Perfuradora de Túneis), porém, a taxa de escavação também é menor que a destes (THURO, 1997) e (STEWART *et al.*, 2006).

O método dispõe de um nível de automação baixo, contendo um grau de trabalho manual relativamente alto, e sendo considerado muito flexível, adaptando-se a qualquer seção transversal e comprimentos de túneis, sendo eles curtos ou intermediários. Essa flexibilidade oferece a oportunidade de fazer variações “in loco” no uso de métodos e estratégias de reforço. Além disso, este necessita de um curto tempo de mobilização (GIRMSCHIED e SCHEXNAYDER, 2002).

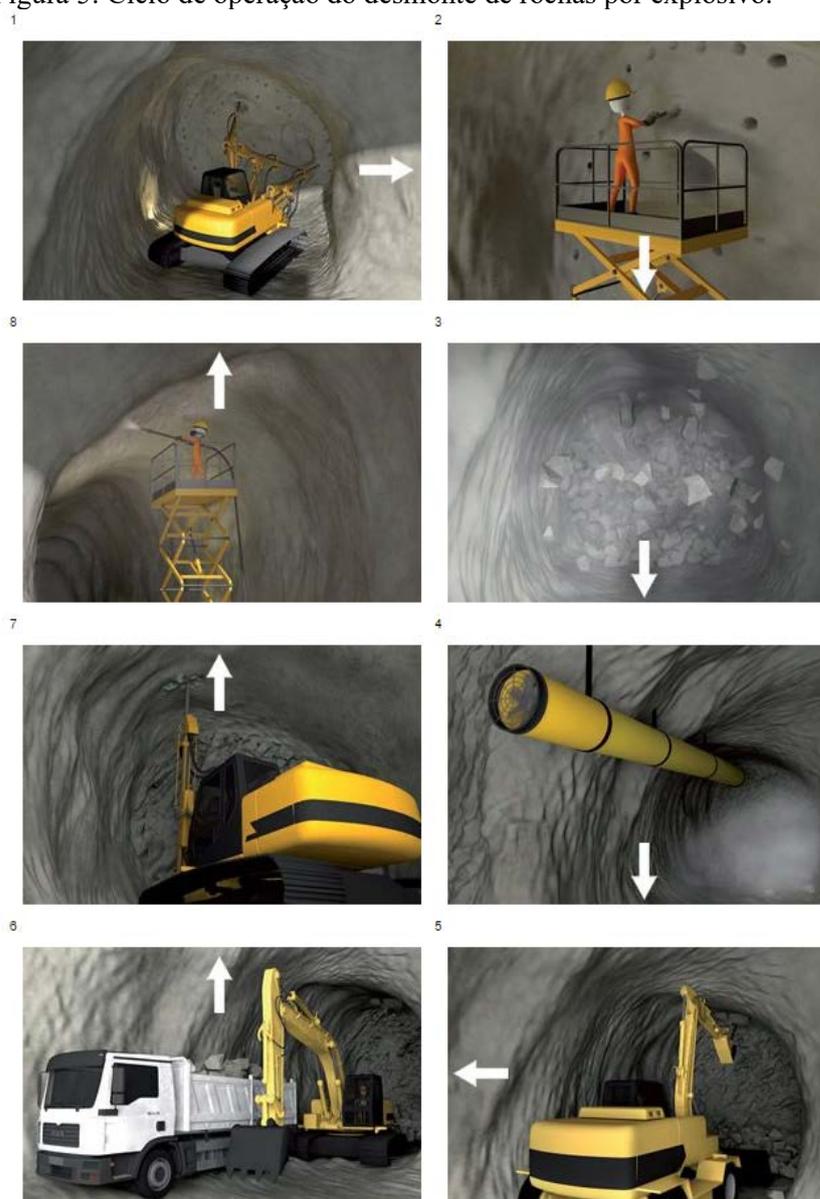
De acordo com Thewes *et al.* (2012) e (KUESEL *et al.*, 2012), em caso de túneis com o comprimento de até 4 quilômetros, onde não há perturbações severas nas áreas vizinhas, o método *Drill and Blast* é bastante indicado, devendo-se sempre considerar os estudos e análises realizados para a escolha mais adequada de escavação. Além disso é uma técnica mais acessível e já utilizada em vários túneis executados em Santa Catarina.

O ciclo de operação inicia-se com a preparação do acesso ao emboque do túnel. Após a mobilização de equipamentos e preparação do perfil inicial, a perfuração dos furos é iniciada. As perfurações seguem um mapa de furos definido pelo plano de fogo, que tem como objetivo maximizar a fragmentação da rocha e minimizar irregularidades posteriores a detonação (THURO, 1997).

O ciclo de escavação é representado na Figura 5, contendo as seguintes etapas:

- Perfuração dos furos;
- Carregamento com explosivos;
- Detonação;
- Ventilação para remover os gases da explosão;
- Remoção da rocha destruída;
- Remoção de pedaços soltos de rocha;
- Regularização do espaço escavado;
- Instalação do suporte inicial;
- Reinício do ciclo.

Figura 5: Ciclo de operação do desmonte de rochas por explosivo.



Fonte: (LIMA, 2016).

Para alcançar a seção de túnel necessária e para uma fragmentação ideal da rocha, a perfuração é um pré-requisito importante. Ela afetará significativamente o desempenho da explosão e o nível de retrabalho para a regularização do túnel, além de promover maior segurança para as etapas seguintes (HEINIÖ, 1999).

As taxas de avanço deste método podem ser estimadas com modelos de previsão, como o desenvolvido pela NTNU (Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia) que será visto a seguir.

### 2.3.1.1 Predição de Avanço Método *Drill and Blast*

Para melhor aplicar *Drill and Blast*, deve-se buscar modelos que predizem sua eficiência, permitindo planejar o cronograma da obra e diminuir atrasos que poderão ocorrer durante a execução. Um dos modelos que tem sido tomado como referência mundial foi desenvolvido pela NTNU. Esse método de predição foi escolhido como forma de mensurar os tempos de execução dos túneis pela sua simplicidade de aplicação, necessitando de dados acessíveis em seus cálculos.

Segundo Dahl *et al.* (2007), este método está sendo utilizado nos últimos anos, dentre os principais projetos internacionais de subsolo, ganhando mais e mais difusão, como um dos mais conhecidos e largamente utilizados.

O modelo NTNU surgiu da junção da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia com o Departamento de Engenharia de Construção, se mostrando desde a década de 70, um forte impulsionador dos métodos de escavação, simplificando atividades e desenvolvendo equipamentos de perfuração de túneis em rochas duras (HANSEN, 2014).

O método é embasado em relatórios, estudos de trabalho e estatísticas de obras realizadas em 5.000 quilômetros de túneis escavados na Noruega e em diversos países. Os relatórios incluem avanços recentes em equipamentos e procedimentos, enquanto os dados são normalizados para representar uma escavação bem organizada (ZARE, Shokrollah e BRULAND, 2006).

Segundo Zare, S (2007a), essa ferramenta tem como objetivo sistematizar todas as informações coletadas, desde dados de campo, como os de pesquisa, estruturando um modelo que simplifique as realidades da escavação de túneis, provando-se apropriado no que diz respeito à qualidade da estimativa.

A duração das atividades é calculada de acordo com parâmetros pré-estabelecidos, considerando que cada atividade possui as medições de tempo:

- Improdutivo;
- Operacional;
- De perda acidental;

Os tempos improdutivos, são provenientes de atividades que independem do número de operadores, seção e comprimento do túnel. Esses tempos fazem parte do chamado “*rig*

*time*” e são consideradas pelo método somando-os ao final de cada operação, um exemplo destas atividades são vistas no Quadro 1.

Quadro 1: Atividades do *rig-time* em função do equipamento.

Equipamento	Jumbo e carregamento	Jumbo perfuração com carregamento separado
<b>ATIVIDADES</b>	Conduzir o jumbo de perfuração para a face de escavação	Condução do jumbo de perfuração para a face de escavação
	Conexão e desconexão da fonte de alimentação e água	Conexão e desconexão da fonte de alimentação e água
	Posicionamento do jumbo de perfuração	Posicionamento do jumbo de perfuração
	Navegação (jumbo de perfuração controlada por computador)	Navegação (jumbo de perfuração controlada por computador)
	Marcação do padrão de perfuração na face (jumbo de perfuração controlado manualmente)	Marcação do padrão de perfuração na face (jumbo de perfuração controlado manualmente)
	Desmobilização	Desmobilização
	Retirada do jumbo de perfuração	Retirada do jumbo de perfuração
		Condução do equipamento de carregamento para face de escavação
		Possível conexão de ar e fonte de alimentação
		Retirada do equipamento de carregamento

Fonte: (ZARE, S, 2007a). Criado pelo Autor, 2018.

Os tempos operacionais são proporcionados pelas atividades produtivas, quando o equipamento está em pleno funcionamento. Sua relação está associada com o desempenho do equipamento, quanto maior o desempenho menor será o gasto de tempo.

Por fim o tempo de perda acidental é o tempo gasto por problemas ocasionais durante as operações. Por exemplo: quebra de algum equipamento, atrasos de equipe, acidentes, entre outros.

A somatória desses tempos resultará na duração de cada atividade, repetindo-se em cada ciclo de perfuração até o término da escavação, o conjunto desses tempos determinará a taxa de avanço e o tempo de execução da obra.

#### 2.3.1.1.1 Etapas do Método

As etapas a seguir apresentarão o passo a passo do modelo NTNU para a obtenção da taxa de avanço, iniciando pela etapa de perfuração.

Para calcular a duração desta etapa em cada ciclo, é necessário ter o entendimento do número de furos e a taxa de perfuração, parâmetros que influenciarão nos tempos de:

- Perfuração dos furos;
- Tempo de movimentação entre furos;
- Mudança de *bits* (material cortante da ferramenta);
- Perda de tempo ocasional;
- Tempo para colocação de hastes longas (no caso de furos mais longos que 5m).

O primeiro passo é determinar a “*Rock Drillability Index*”, conhecida como índice de escavabilidade ou DRI<sup>1</sup>. A DRI é determinada com base nos parâmetros de fragilidade da rocha. Esse índice criado pelo NTNU determina níveis de escavabilidade da rocha entre boa, média e ruim, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Índice de escavabilidade da rocha.

Escavabilidade Boa	DRI=65	Por exemplo: Xisto
Escavabilidade Média	DRI=49	Por exemplo: Granito
Escavabilidade Ruim	DRI=37	Por exemplo: Gnaisse

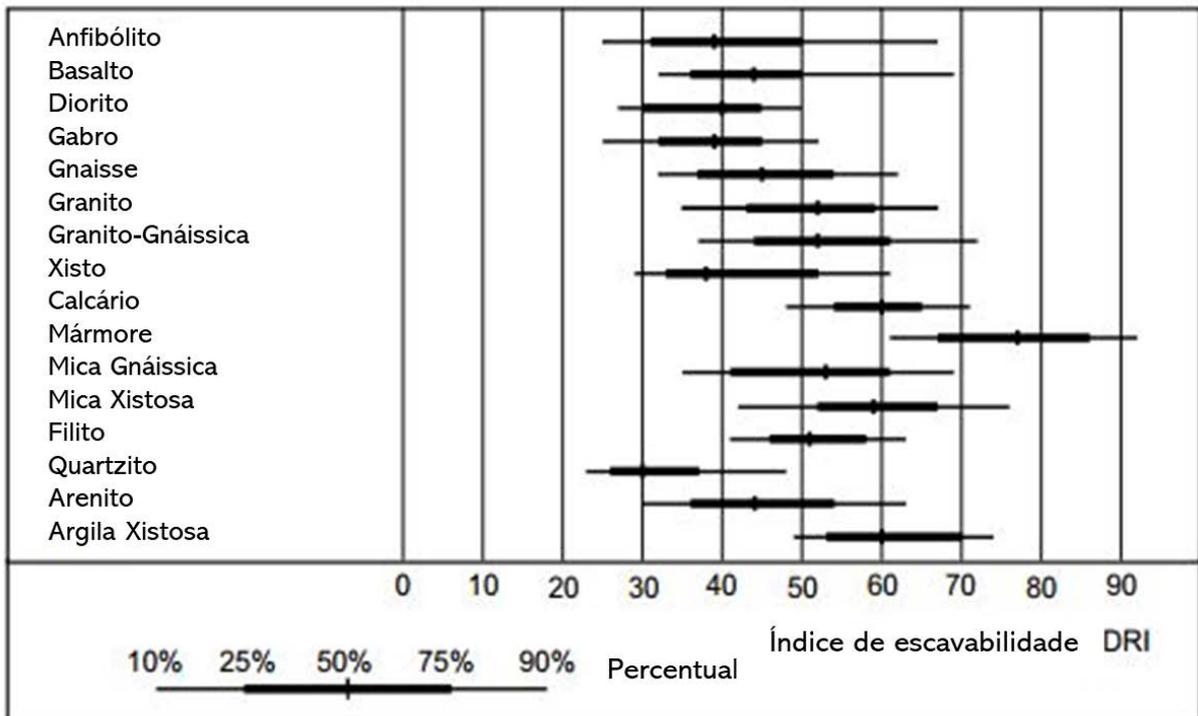
Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido pelo Autor, 2018.

Os valores de DRI para alguns exemplares de rocha são apresentados em Zare, S (2007a), e podem ser vistos na Figura 6, servindo de base para a utilização em campo.

---

<sup>1</sup> DRI = Índice de Escavabilidade da Rocha

Figura 6: Valores de escavabilidade para determinados tipos de rochas.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido pelo Autor, 2018.

Após a identificação do DRI é necessário saber o índice de fragmentação da rocha ao ser detonada, essa informação é dada pela “*Rock Blastability Index*”, conhecido por SPR<sup>2</sup>, encontrado em Zare, S (2007b); Zare, Shokrollah e Bruland (2006). O SPR é definido pela quantidade de explosivos em (kg/m<sup>3</sup>) necessária para fragmentar a rocha, de modo que 50% do tamanho dos fragmentos seja inferior a 250 mm. Esse índice pode ser calculado com a Equação 1. Assim como o DRI, ele também é caracterizado como, boa, média ou ruim. As faixas do SPR podem ser vistas no Quadro 3.

$$SPR = \frac{0,736 \cdot I_a^{0,6} \cdot LT^{0,7}}{\left(\frac{c}{1000}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{W}{c}\right)^{0,25} \cdot \rho^{0,2}} \quad [1]$$

Onde:

$c = (c_p + c_n)/2$  = Velocidade de propagação da onda sônica (m/s)

<sup>2</sup> SPR = Índice de Fragmentação da Rocha

$c_n$  = Velocidade de propagação da onda sônica normal à fissuração(m/s)

$c_p$  = Velocidade de propagação da onda sônica em paralelo à fissuração (m/s)

$I_a = c_p/c_n$ = Anisotropia do material

$w$  = Velocidade de detonação (m/s)

$\rho$  = Densidade da rocha ( $g/cm^3$ )

$LT$  = Densidade de explosivos por furo perfurado ( $kg/dm^3$ )

Quadro 3: Faixas do índice de fragmentação da rocha "Blastability"

Boa Fragmentação da Rocha	SPR = 0,38
Média Fragmentação da Rocha	SPR = 0,47
Má Fragmentação da Rocha	SPR = 0,56

Fonte: (ZARE, S, 2007b). Traduzido pelo Autor, 2018.

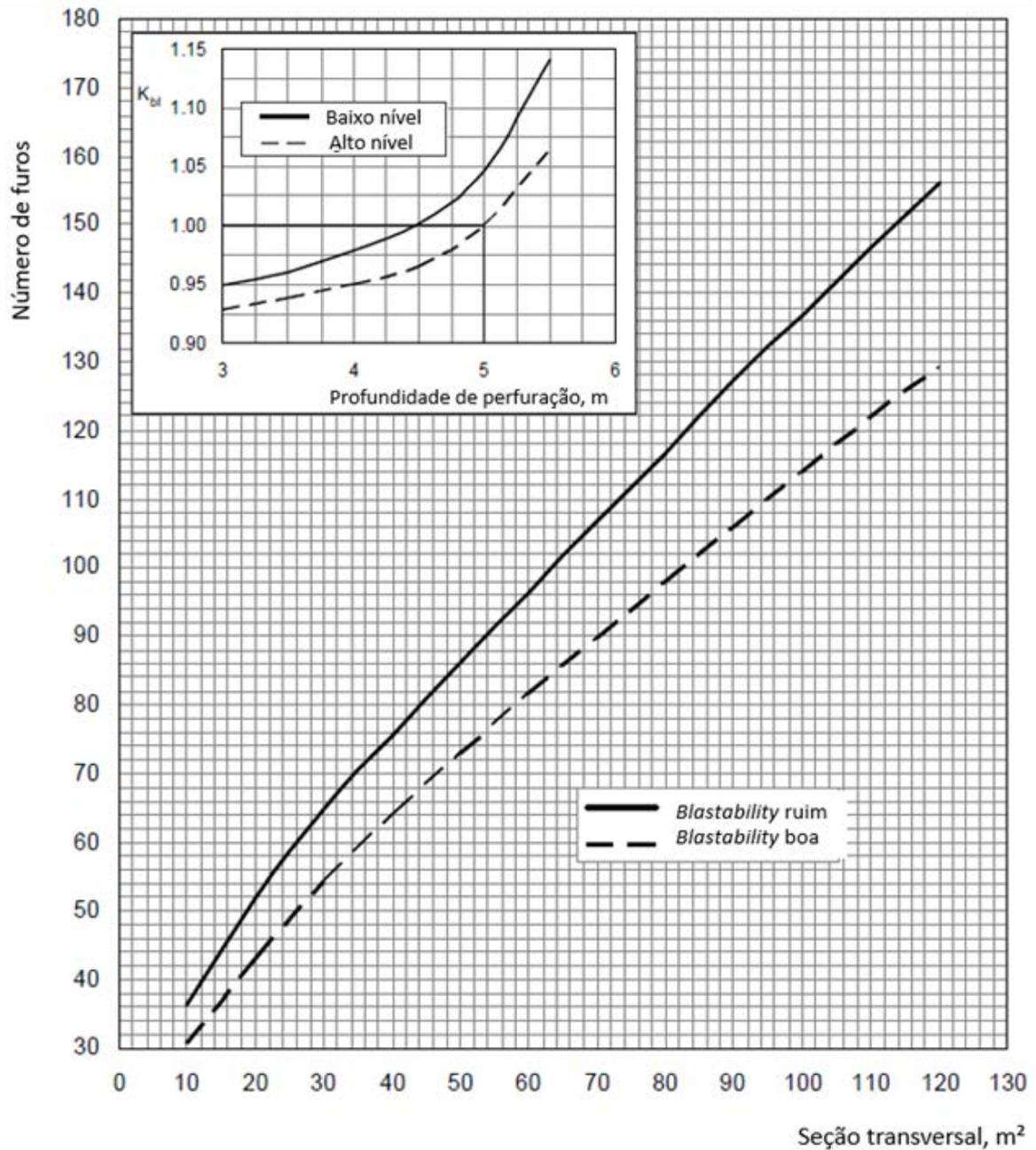
Depois de calcular o SPR, é necessário determinar a quantidade de furos pequenos e grandes que serão utilizados. Por padrão adota-se o diâmetro de 48mm para os furos pequenos e sua quantidade é definida pelo o ábaco da Figura 7, em função da área transversal do túnel e do SPR já calculado.

Quando o comprimento das hastes de perfuração for maior que o comprimento padrão de 5 m, é necessário aplicar um fator de ajuste ( $k_{bl}$ ) para o cálculo dos furos pequenos. Esse fator é multiplicado ao número de furos encontrado. A obtenção deste fator também é mostrada na Figura 7, relacionando o comprimento do furo de perfuração com o SPR.

Para a obtenção da quantidade de furos grandes, relaciona-se o diâmetro dos furos pequenos definidos anteriormente, o SPR e o comprimento do furo, conforme pode ser visto na Figura 8. Após o cruzamento destas informações, gera-se a área total dos furos grandes, encontrado no eixo das ordenadas. O modelo NTNU apresenta 3 diâmetros para escavação dos furos grandes, 76mm, 102mm e 127mm. A escolha do diâmetro de escavação é feita de acordo com as necessidades da obra e do equipamento.

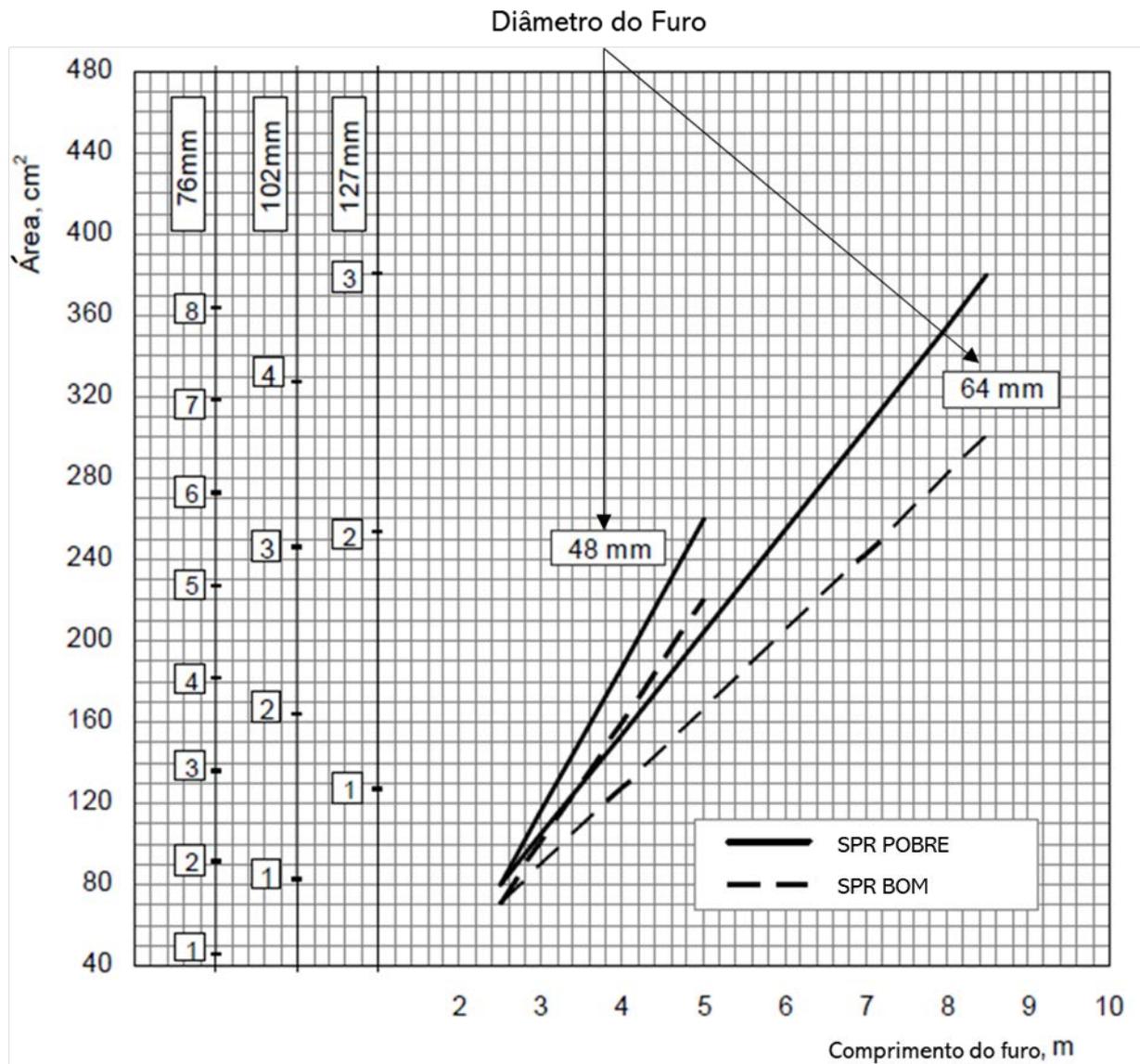
Ao término de todas as definições, divide-se a área total obtida pelo diâmetro escolhido, tendo como resultado a quantidade de furos grandes, sempre arredondando a quantidade positivamente.

Figura 7: Ábaco para a obtenção da quantidade de furos pequenos.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido pelo Autor, 2018.

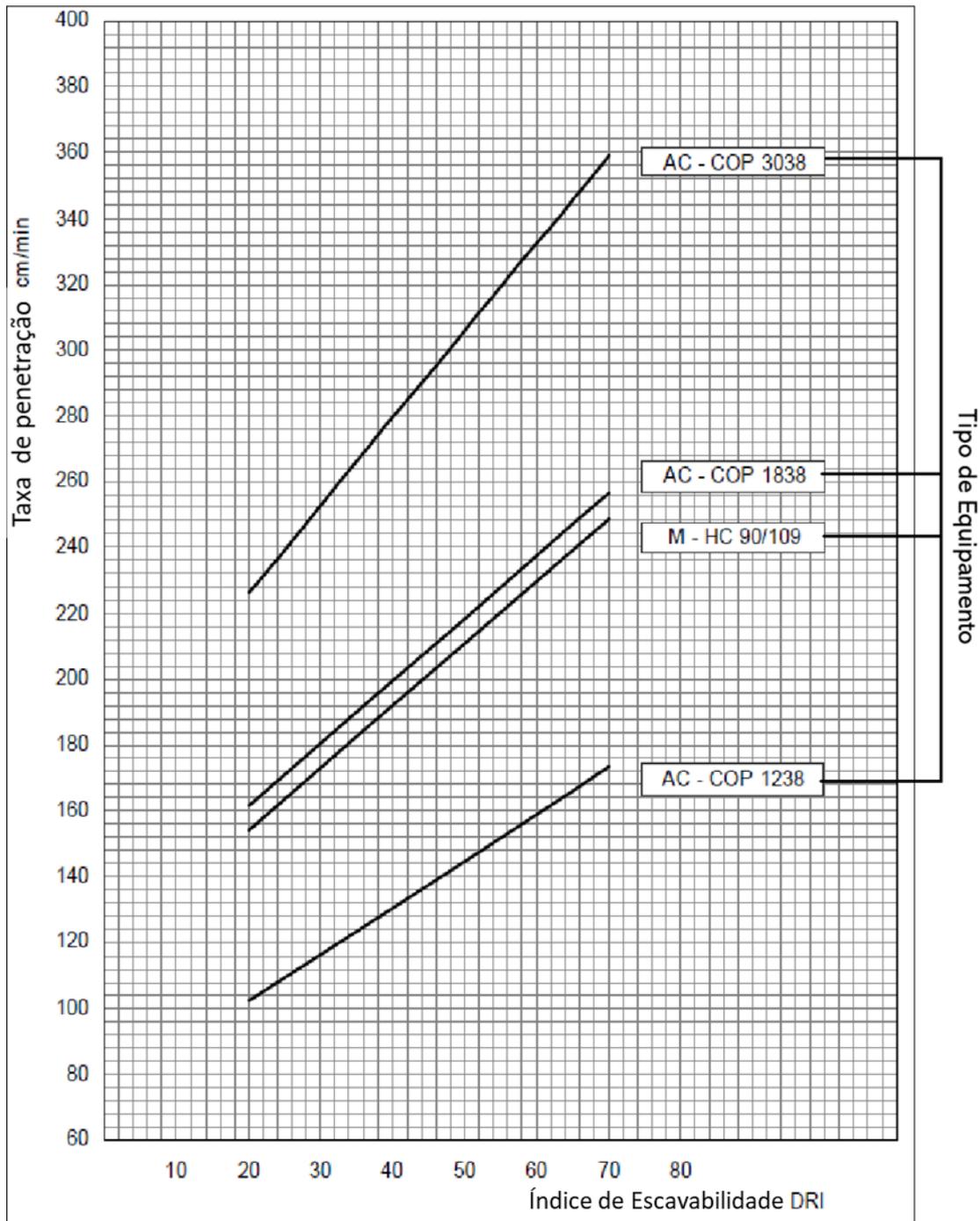
Figura 8: Ábaco para a obtenção da quantidade de furos grandes.



Fonte: (ZARE, S, 2007b). Traduzido e editado pelo Autor, 2018.

Definida a quantidade de furos, parte-se para a taxa de penetração que dependerá do DRI da rocha e do tipo de jumbo de escavação utilizado. O NTNU já disponibiliza em seu modelo a relação entre os equipamentos mais comercializados e suas produtividades, permitindo prever uma taxa de penetração em furos padrões (48mm de diâmetro), para esses equipamentos, como mostrado na Figura 9.

Figura 9: Taxa de penetração líquida em furos padrões.



Fonte: (ZARE, S, 2007a), Traduzido e editado pelo Autor, 2018.

Após os passos anteriores é possível determinar o tempo de perfuração dos furos pequenos e grandes pelas Equações [2] e [3], respectivamente.

$$T_h = \frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m}$$

[2]

Onde:

$T_h$  = Tempo de perfuração dos furos pequenos (min)

$l_h$  = Comprimento da perfuração (cm)

$N_h$  = Número de furos pequenos

$N_m$  = Número de hastes do jumbo de perfuração

$v_h$  = Taxa de penetração (cm/min)

O modelo define que os furos grandes levam 25% mais tempo para serem executados como observado na equação abaixo:

$$T_g = \frac{l_h \cdot N_g}{v_g \cdot N_m} \cdot 1,25 \quad [3]$$

Onde:

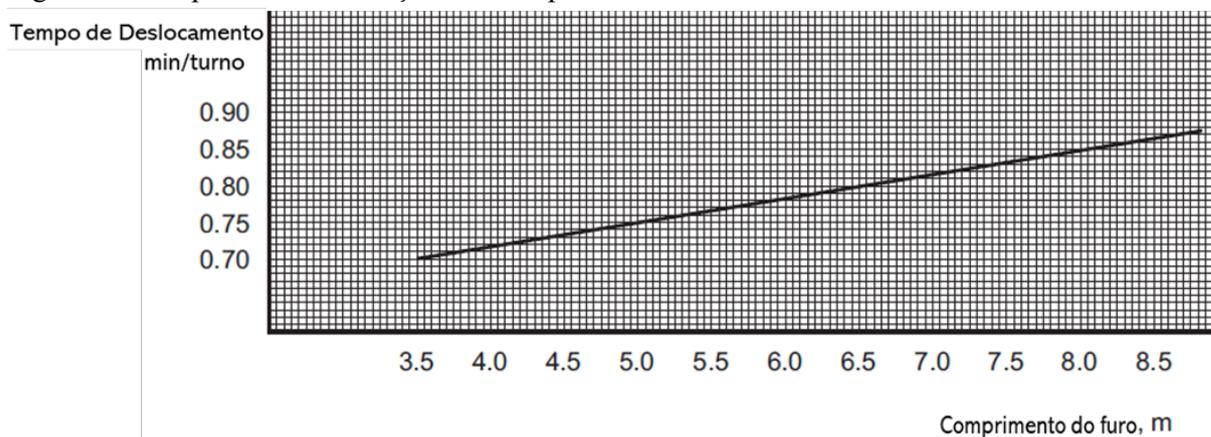
$T_g$  = Tempo de perfuração dos furos grandes (min)

$N_g$  = Número de furos grandes

$v_g$  = Taxa de penetração dos furos grandes (m/min)

O tempo de movimentação da haste de um furo para outro também é levado em consideração, assim como a mudança dos “bits” de perfuração. Para determinar o tempo de movimentação da haste o modelo apresenta o ábaco da Figura 10. Nele o tempo de movimentação entre os furos ( $t_f$ ) é obtido, cruzando o valor do comprimento do furo de perfuração com a linha formada pela média dos tempos, criada pelo modelo.

Figura 10: Tempo de movimentação da haste por furo.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido pelo Autor, 2018.

Após a definição de  $t_f$ , a Equação 4 apresenta o cálculo do tempo total de movimentação entre os furos, considerando a quantidade de furos pequenos, grandes e de hastes de perfuração envolvidas no processo.

$$T_f = \frac{t_f \cdot (N_h + 2 \cdot N_g)}{N_m} \quad [4]$$

Onde:

$T_f$  = Tempo total de movimentação entre os furos (min)

$t_f$  = Tempo de movimentação obtido no ábaco da Figura 10 (min/furo)

A troca dos *bits* é calculada na Equação 5, levando em consideração sua frequência de substituição e o coeficiente de abrasividade “*Rock Wear Quality*”, o chamado RWQ<sup>3</sup>, que pode ser visto na Figura 11.

$$T_k = \frac{l_h \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{N_m} \quad [5]$$

Onde:

$T_k$  = Tempo para troca dos bits de perfuração (min)

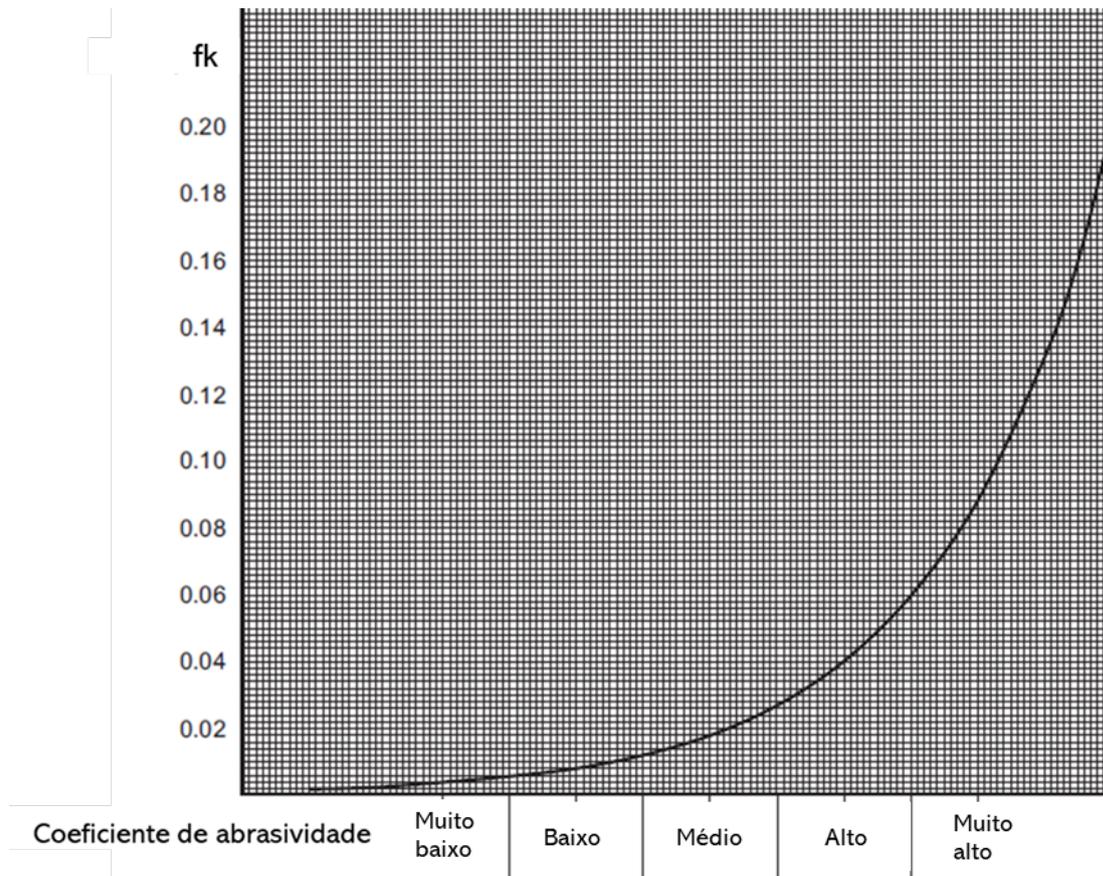
$f_k$  = Frequência de troca dos bits

$t_k$  = Tempo de troca de cada bit (padronizada em três minutos)

---

<sup>3</sup> RWQ = Coeficiente de Abrasividade da Rocha

Figura 11: Relação da frequência de troca dos bits com o RWQ.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido pelo Autor, 2018.

O modelo ainda adiciona um tempo extra que ocorre na operação de perfuração, determinado multiplicando a soma dos resultados das equações [2], [3] e [4], por um fator de perda operacional ( $f_{sa}$ ), conforme a Equação 6. Esse fator de perda foi criado pelo NTNU, relacionando o número de hastes do jumbo e sua taxa de penetração com a seção transversal do túnel, como pode ser visto na Figura 12.

No ábaco são mostradas três possibilidades de equipamentos, representados pelos algarismos I, II e III e suas respectivas taxas de penetração que podem variar de 150 a 250 cm/min. Cruzando o valor da seção do túnel com as linhas formadas pela taxa de penetração de cada equipamento encontra-se o  $f_{sa}$ .

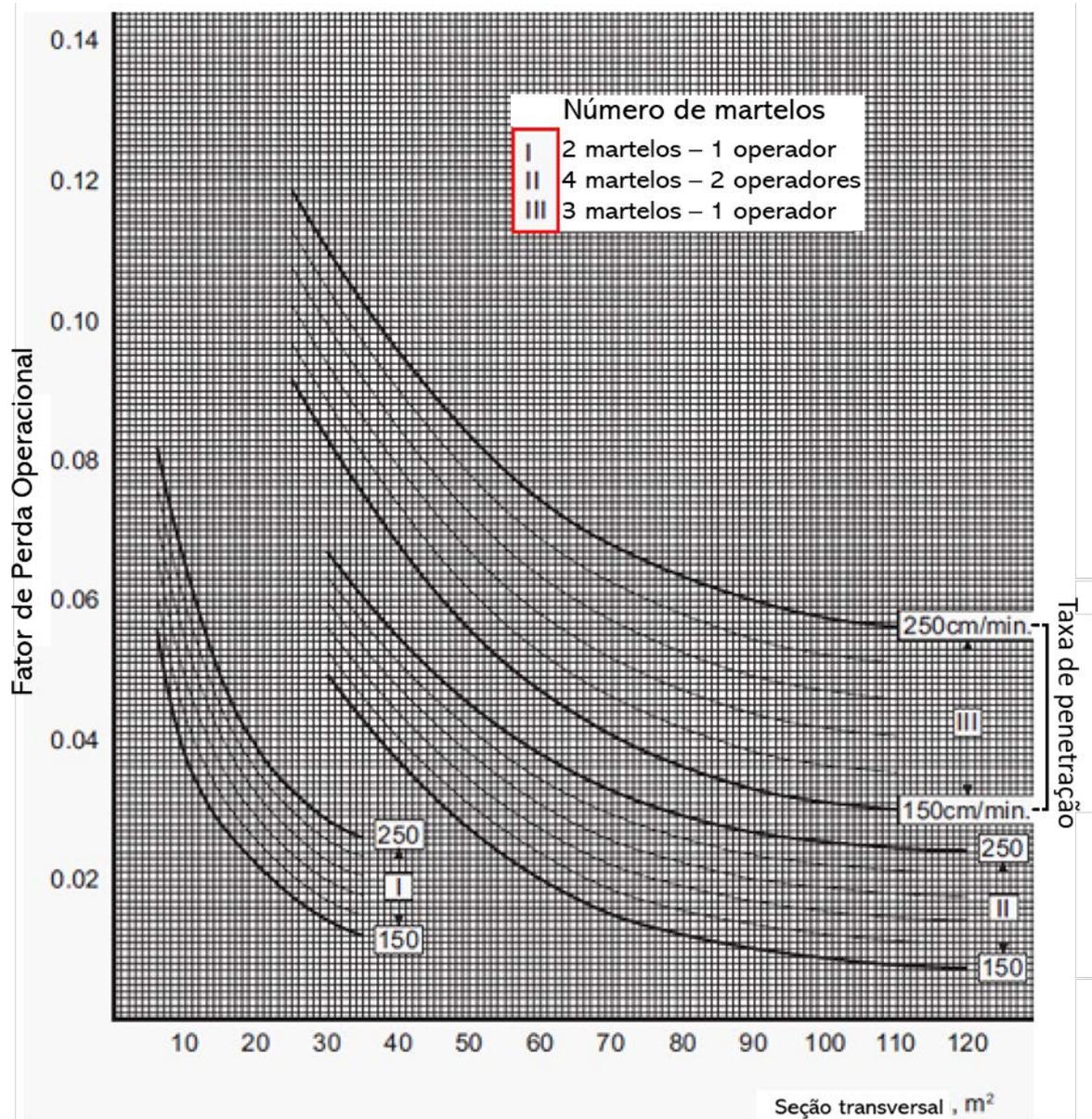
$$T_{sa} = (T_h + T_f + T_g) \cdot f_{sa} \quad [6]$$

Onde:

$T_{sa}$  = Tempo de perfuração dos furos (min)

$f_{sa}$  = Fator de perda operacional

Figura 12: Ábaco do fator de perda operacional.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido e editado pelo Autor, 2018.

O tempo da operação de perfuração é dado então pela soma de todos os tempos calculados anteriormente como mostrado na Equação 7.

$$T_b = (T_h + T_g + T_f + T_k + T_{sa})$$

[7]

Onde:

$T_b$  = Tempo de perfuração total (min)

Com o tempo de perfuração definido, parte-se para a determinação do tempo de carregamento e este dependerá dos fatores a seguir:

- Quantidade de explosivos usados;
- Tipo de explosivos;
- Capacidade de carga;
- Número de linhas de carregamento;
- Número de furos;
- Diâmetro de furação;
- Comprimento perfurado.

A quantidade de explosivos utilizados depende do SPR, da área da seção transversal do túnel, do comprimento de perfuração e do tipo de explosivos. O mercado disponibiliza diversos tipos de explosivos, os mais utilizados na escavação de túneis são as emulsões e os explosivos chamados ANFO<sup>4</sup> (*Ammonium Nitrate Fuel Oil*).

O tempo de carregamento é determinado pelo cruzamento do número de furos com a curva gerada pela correlação de três dados: diâmetro dos furos pequenos, tipo de explosivo e método de carregamento, essa correlação é representada pelos algarismos I, II, III, IV e V, como apontado na Figura 13. O número de linhas de carregamento é igual ao número de pessoas nesse processo.

Para profundidades de perfuração maiores que 5 m, como no caso da determinação dos furos pequenos, também há um fator de ajuste para o tempo de carregamento, neste caso chamado de  $(k_l)$ , mostrado na Figura 13, encontrado relacionando o comprimento do furo com a linha estabelecida pelo modelo.

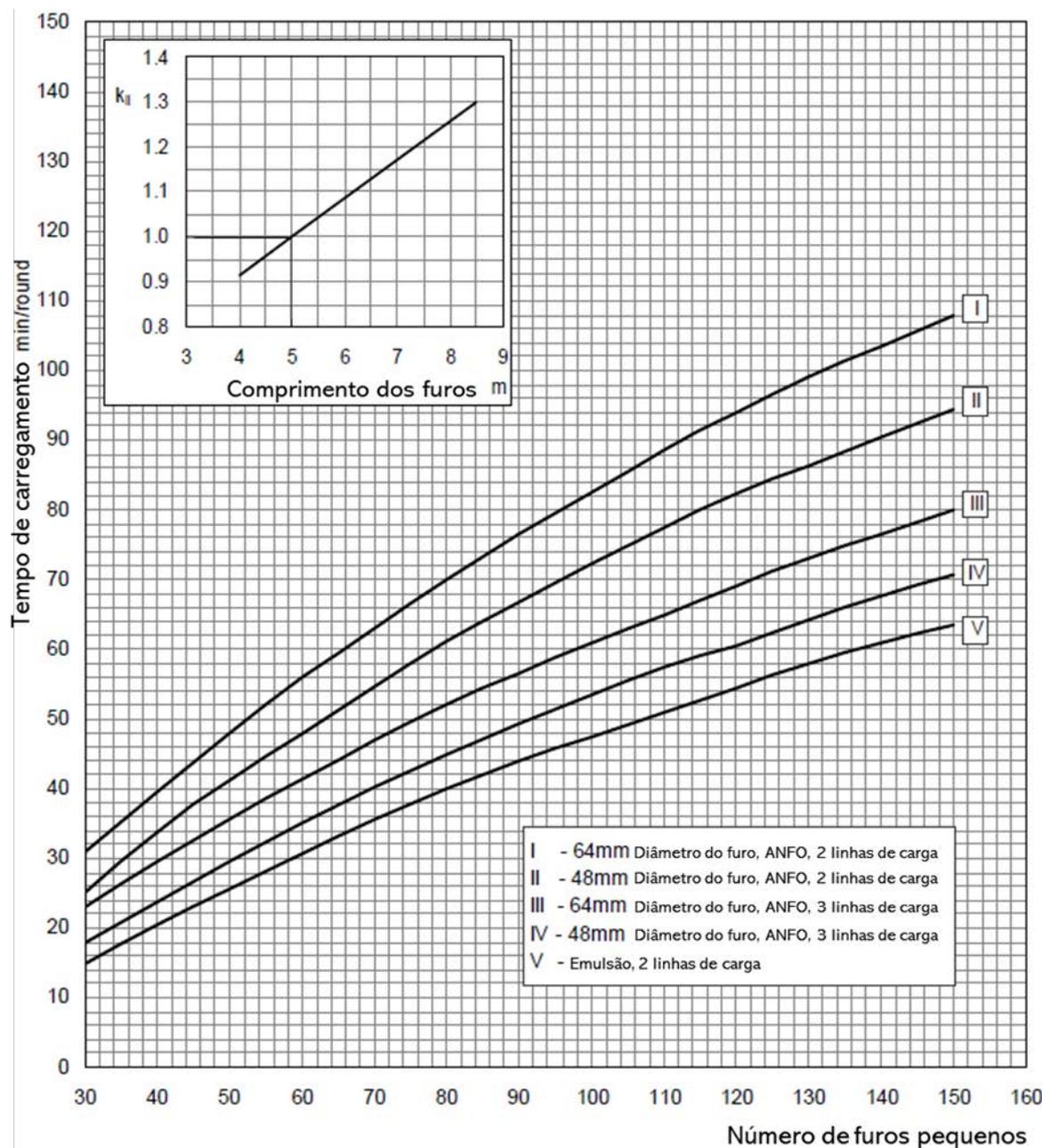
O tempo de carregamento é tratado separadamente da perfuração, pois carregar os furos com explosivos antes do término da perfuração não é permitido. Sendo assim, todo o

---

<sup>4</sup> ANFO = Explosivo a base de Nitrato de Amônia

carregamento deve ser feito após o término da perfuração, independentemente se o carregamento seja feito pelo próprio equipamento de perfuração.

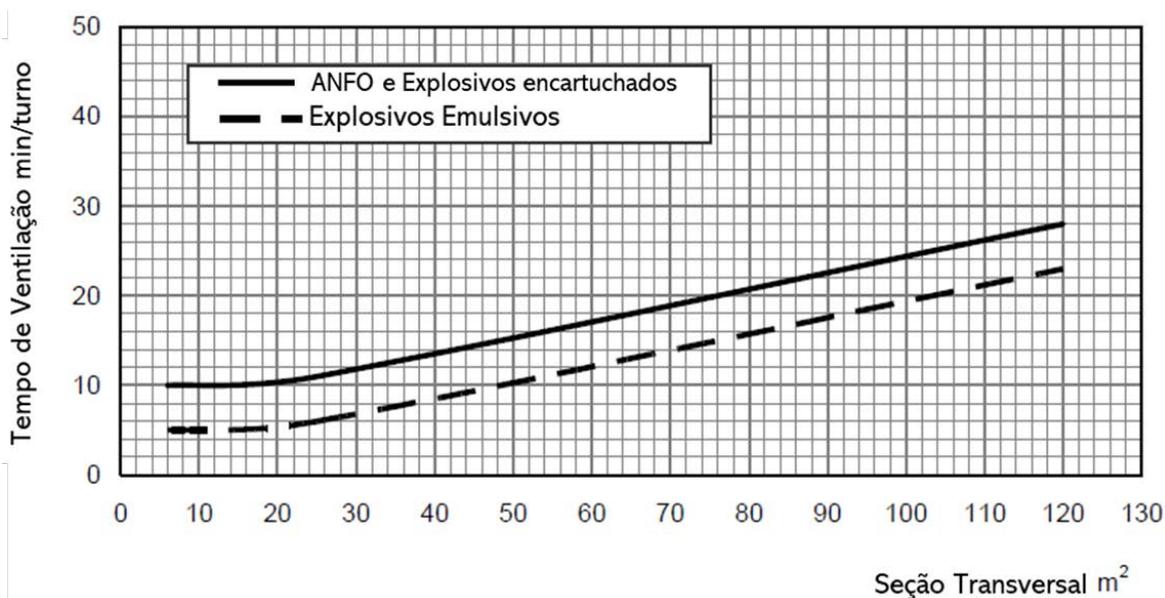
Figura 13: Tempo de carregamento de explosivos.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido pelo Autor, 2018.

Logo após determinar o tempo de carregamento, parte-se para a determinação do tempo de ventilação necessário após a detonação dos explosivos, que é apresentado no ábaco da Figura 14, sendo uma relação da seção transversal e do tipo de explosivo utilizado.

Figura 14: Tempo de Ventilação.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido pelo Autor, 2018.

Ao término da ventilação é necessário fazer a retirada do material detonado, para esta finalidade é fundamental o conhecimento do volume excedente de material fragmentado. Essa diferença é chamada de fator de “*overbreaking*”.

Esse fator é obtido com o ábaco da Figura 15, onde as curvas representam a correlação entre a distância entre nichos<sup>5</sup> e tipo de equipamento de transporte. Associando essas curvas com a seção transversal do túnel, obtém-se o fator de *overbreaking*. A partir disso é calculado o volume de rocha detonada, utilizando a Equação 8.

$$V_r = A_s \cdot l_h \cdot p_r \cdot f_0 \quad [8]$$

Onde:

$V_r$  = Volume de rocha detonada (m<sup>3</sup>)

$A_s$  = Área da seção transversal do túnel (m<sup>2</sup>)

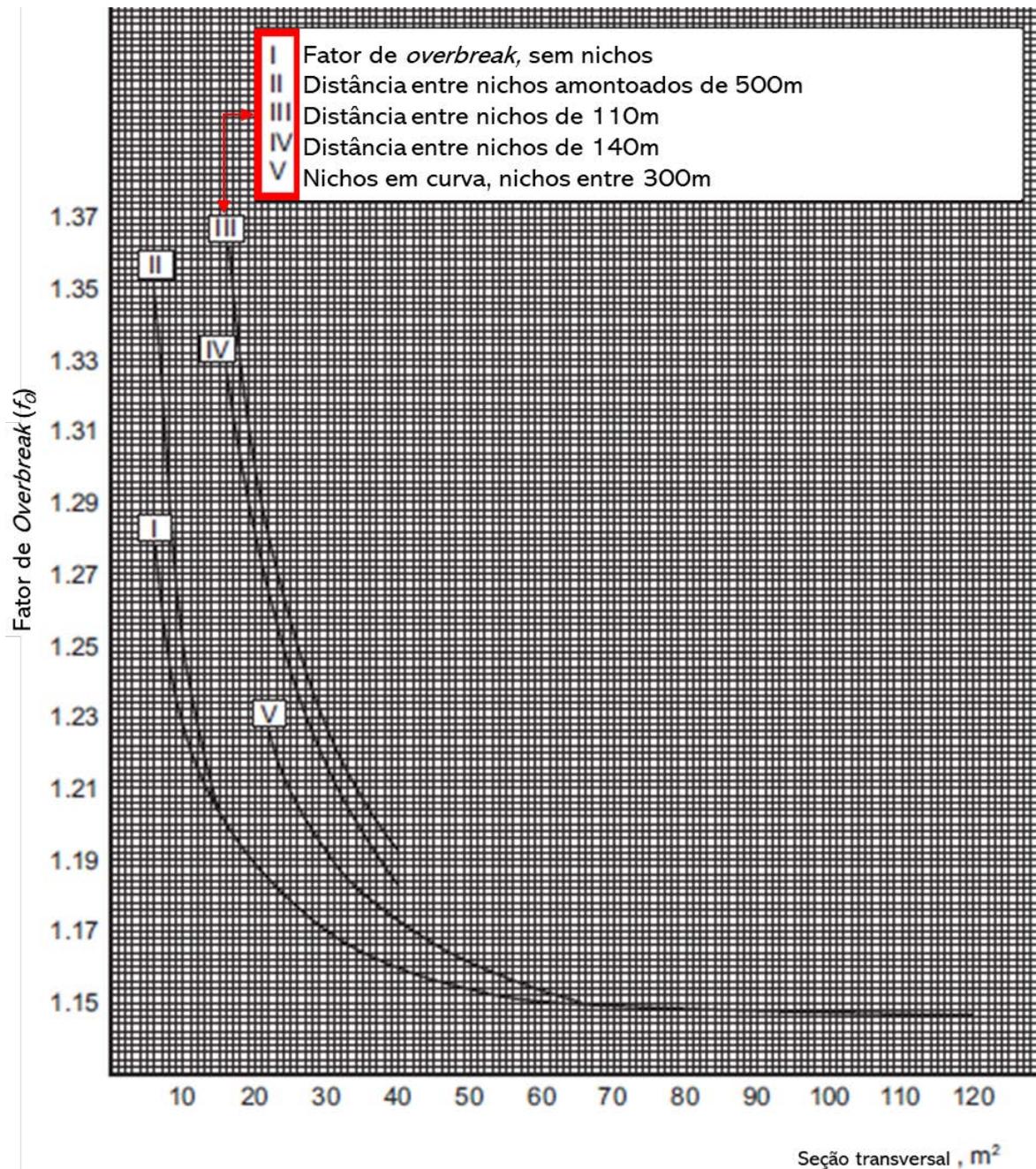
$l_h$  = Comprimento de perfuração (m)

$p_r$  = Profundidade detonada (%)

$f_0$  = Fator de *overbreaking*

<sup>5</sup> Montes de rochas empilhadas após a detonação.

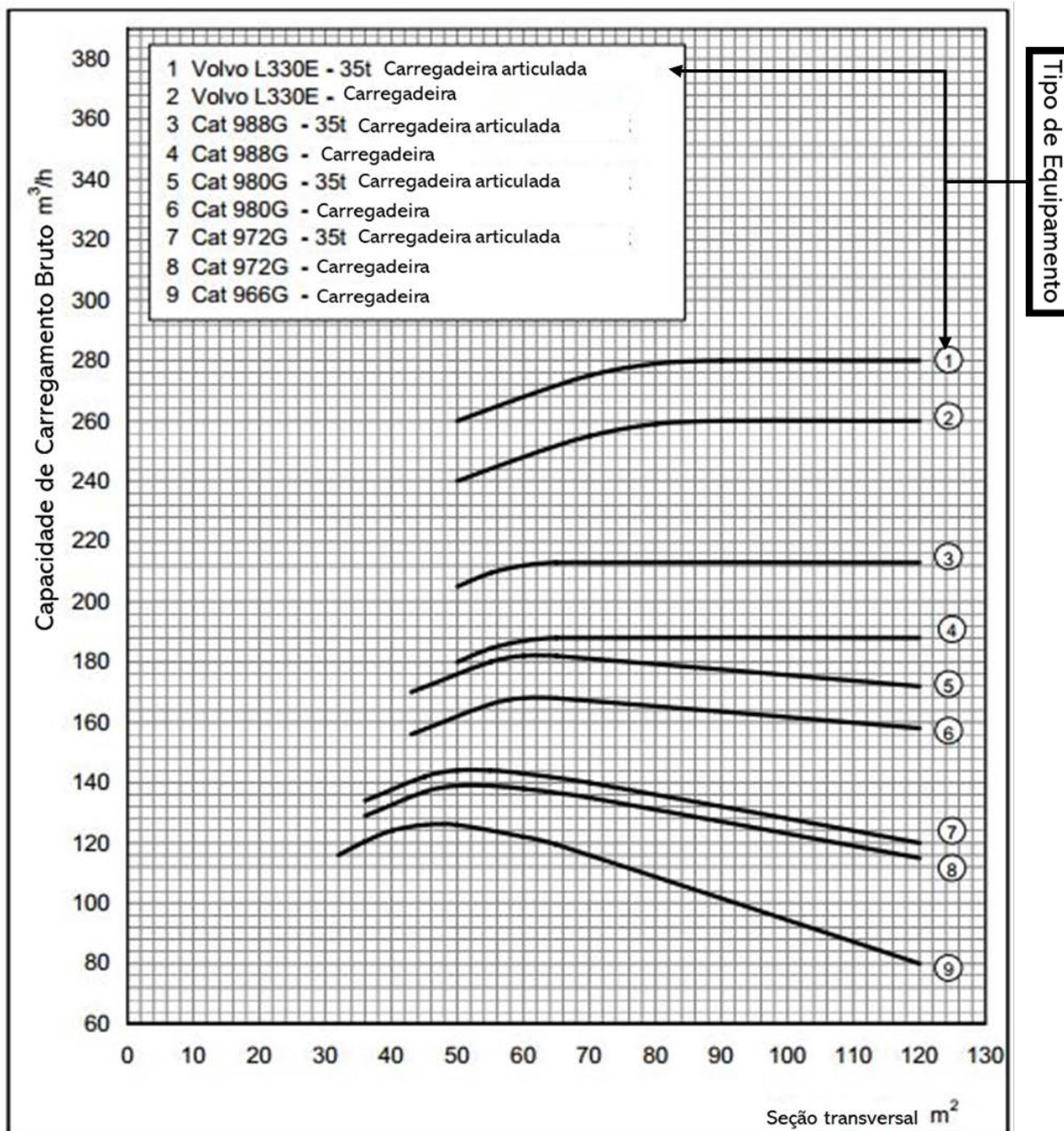
Figura 15: Ábaco para definição do fator de *overbreaking*.



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido e editado pelo Autor, 2018.

A capacidade de carga dependerá do tipo de transporte que será adotado. O modelo dispõe de alguns equipamentos em seus ábacos, conforme a Figura 16, com as respectivas capacidades de carga, bem como o tempo de transporte. A escolha do tipo de equipamento fica a critério do executor da obra e de suas características.

Figura 16: Capacidade de transporte de rocha detonada por equipamento.



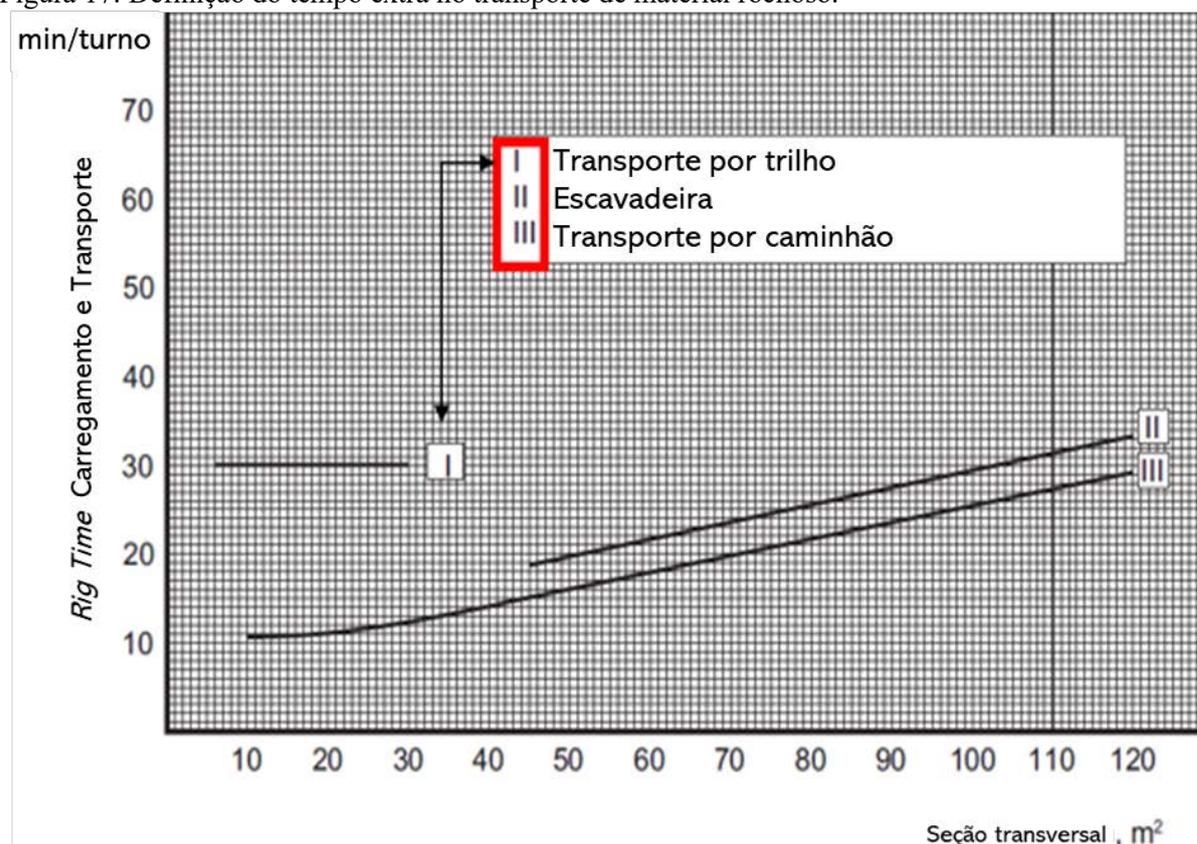
Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido e editado pelo Autor, 2018.

Somado a isso há um tempo improdutivo, obtido pela relação da seção transversal do túnel com o tipo de equipamento de transporte utilizado, como observa-se na Figura 17, esse tempo extra, está ligado às atividades de:

- Condução dos maquinários até a face detonada;
- Conexão e desconexão da fonte de alimentação, ar comprimido e água;
- Coleta da pilha de rochas;

- Lavagem da pilha de pedras;
- Colocação de trilhos (para transporte de trilhos);
- Coleta e carregamento de rocha escalonada;
- Tempo extra ao carregar o primeiro e o último caminhão.

Figura 17: Definição do tempo extra no transporte de material rochoso.

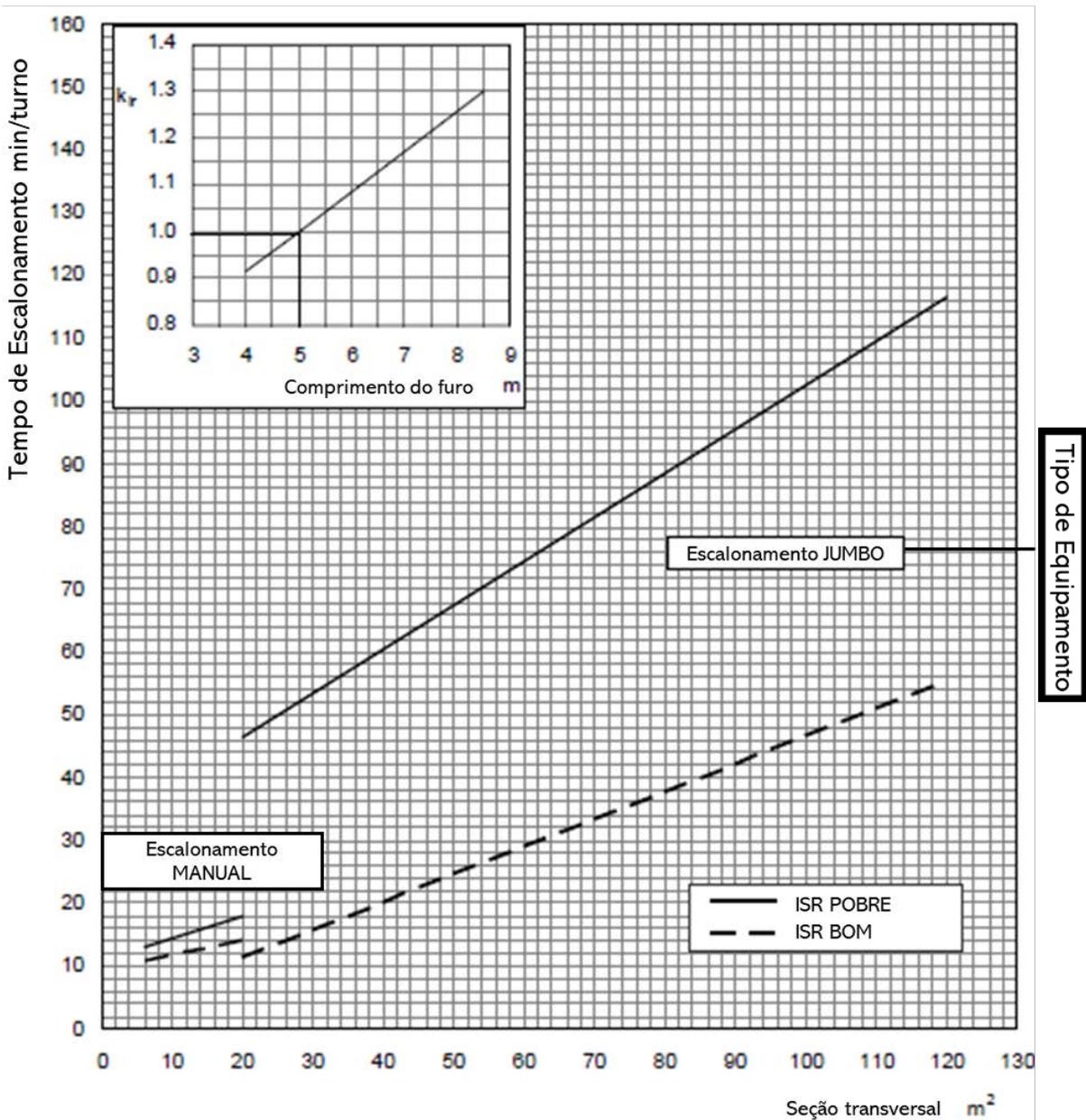


Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido e editado pelo Autor, 2018.

Ao fim do carregamento das pilhas de rocha detonada é realizada a operação de escalonamento do túnel, comumente chamada de “bate-choco”, que nada mais é, que a verificação e retirada de rochas que estão sujeitas a desprenderem-se das paredes do túnel. Essa etapa é muito importante para a segurança e continuidade das operações posteriores e deve ser executada com muito cuidado.

O tempo desta etapa foi mensurado pelo modelo NTNU levando em consideração o SPR, a seção transversal do túnel e o tipo de execução, que pode ser manual ou mecanizada, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18: Tempo para execução do escalonamento do túnel "bate-choco".



Fonte: (ZARE, S, 2007a). Traduzido e editado pelo Autor, 2018.

Terminada todas estas operações, inicia-se um novo ciclo, a taxa de avanço é analisada, esperando uma constante que dependerá das condições do maciço rochoso. Quanto mais homogêneo o maciço, mais constante é o avanço, facilitando o plano de cargas e melhorando a sistematização da operação (ZARE, S, 2007a).

As operações de suporte não serão levadas em consideração neste trabalho, pois estas, se necessárias, podem ser executadas em conjunto com as atividades de escavação. De

acordo com Zare, S (2007c), esta operação não adiciona um tempo significativo na obra e só devem ser levadas em consideração quando o suporte utilizado for de alta complexidade.

Apresentado o modelo NTNU e seu funcionamento, é necessário determinar os parâmetros essenciais para o cálculo do indicador de tempo de execução. Esses parâmetros serão definidos de acordo com as metodologias, dados disponíveis, regras e diretrizes utilizadas no território brasileiro, em obras de infraestrutura urbana.

### 2.3.1.2 Parâmetros de cálculo

Dentro dos métodos de trabalho escolhidos para a definição do valor dos indicadores, existem parâmetros essenciais que regem seus cálculos. O primeiro aspecto a ser apresentado na construção dos parâmetros de execução de túneis é a geometria. Esse parâmetro será importante na definição da seção transversal do túnel.

O segundo aspecto é o perfil geológico, importante para a definição do planejamento de execução e que influenciará diretamente nos recursos utilizados e no tempo final de execução.

Por fim, o último parâmetro corresponde aos recursos técnicos, ou seja, quais serão os equipamentos que serão empregados em cada uma das etapas de execução da escavação, suas capacidades e características.

#### 2.3.1.2.1 Geometria

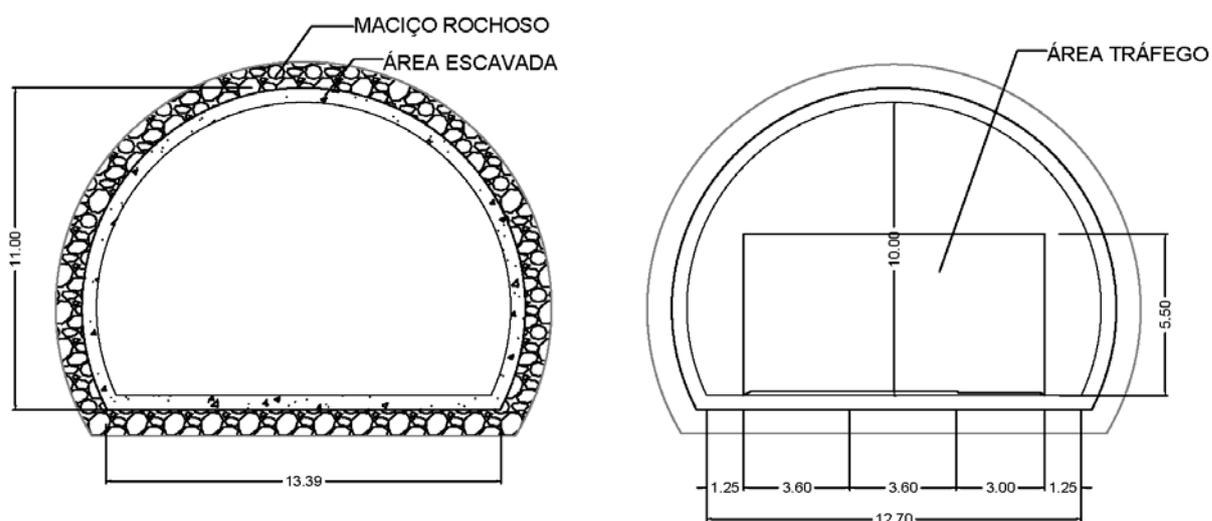
No Brasil não existe uma padronização para as seções transversais dos túneis. Por esse motivo é necessário conhecer todos os elementos que irão compor o túnel para definir a sua seção, como citado no item anterior.

As alternativas de túneis apresentadas até o momento para o novo acesso à Bombinhas não possuem seção transversal definida, pois as mesmas consistem apenas de prospectos levantados como possibilidade de acesso. Neste caso para definição da área a ser perfurada buscou-se o levantamento das seções dos túneis já executados em Santa Catarina, como o túnel do morro do Boi (Balneário Camboriú/SC), do morro do Formigão (Tubarão/SC) e o túnel Antonieta de Barros (Florianópolis/SC). Além disto também foram consideradas as determinações estipuladas pelo manual de projeto geométrico de travessias urbanas (DNIT, 2010b), que define a largura da faixa de rolagem e acostamentos.

O Túnel do Morro do Boi possui 9,45 metros de altura e 11,1 metros de largura de plataforma (LOTURCO, 2007). O túnel do Formigão de acordo com a Prefeitura de Tubarão, possui 10 metros de altura com uma plataforma de 12,8 metros. O Túnel Antonieta de Barros é constituído de uma plataforma de 10,2 metros de largura contendo uma altura de 11 metros (PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS, 2014).

Utilizando-se dos dados citados acima, estipulou-se para o túnel do novo acesso à Bombinhas, duas faixas de rolagem de 3,6 metros de largura, um acostamento de 3 metros, resultando em uma pista de rolagem de 10,2 metros. Somado a isso o túnel possuirá afastamentos laterais em ambos os lados de 1,25 metros para drenagem e implantação da passarela de manutenção e passagem de pedestres, totalizando uma largura de 12,7 metros, com uma área a ser escavada de aproximada de 139 m<sup>2</sup>. O perfil do túnel e suas dimensões estão representadas pela Figura 19.

Figura 19: Prospecção da seção do Túnel de Bombinhas, medidas em metros.



Fonte: Autor, 2019.

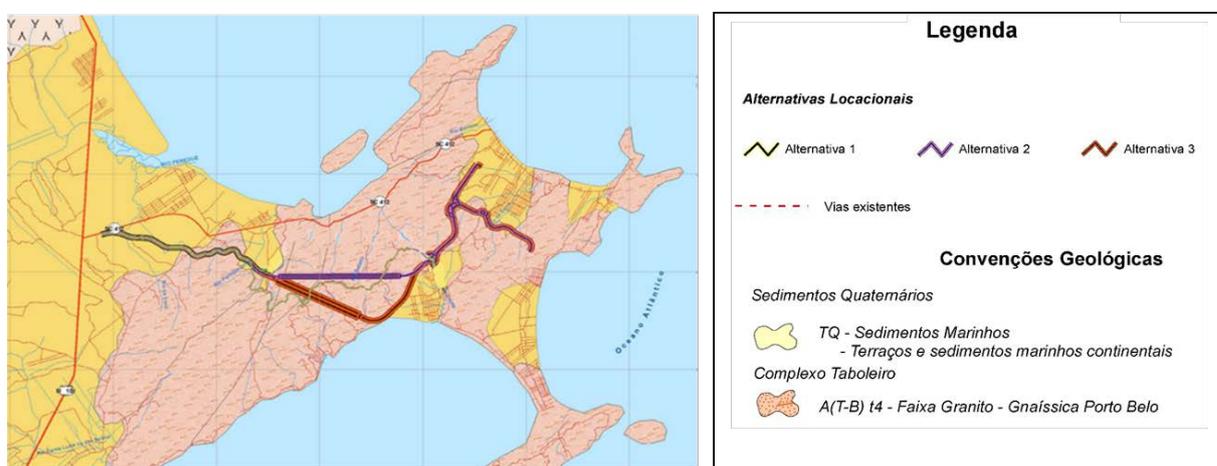
### 2.3.1.2.2 Geologia aplicada para projeto de túneis

Durante o processo de estudo para o projeto e execução de obras de túneis é importante conhecer a geologia envolvida, sendo ela o parâmetro determinístico na escolha das abordagens executivas feitas no maciço. O tipo de maciço e sua condição ditará como será escavado o túnel e quais as soluções de suportes deverão ser adotados, informações essas que

garantirão a segurança tanto na execução como no uso após o seu término (TELLES e FIGUEIREDO, 2006).

No caso das alternativas levantadas para os túneis em Bombinhas, pouco se sabe sobre o maciço rochoso onde foram escolhidos os traçados. O PlanMob apenas determinou a posição dos túneis e não apresentou nenhuma informação relevante sobre a geologia por intermédio de sondagens de campo e ensaios. No entanto, verificou-se a existência de um mapa geológico estimado pela empresa de engenharia PROSUL, permitindo a determinação em nível de estudo preliminar das características geológicas dos locais onde os túneis serão executados, como mostrado na Figura 20.

Figura 20: Representação geológica região de Bombinhas.



Fonte: (PROSUL, 2017b). Editado pelo Autor, 2019.

Com a leitura do mapa elaborado pela PROSUL constatou-se que os túneis estão inseridos em uma área predominantemente de Granito, chamada “Faixa de Granito-Gnaíssica – Porto Belo”. Essa área se expande por toda a extensão dos dois túneis e abrange grande parte da cidade de Bombinhas (PROSUL, 2017b).

Conhecendo a rocha onde o túnel está inserido parte-se para a compartimentação dos trechos do maciço. Para isso, utilizou-se da classificação geomecânica proposta por Bieniawski, que é baseada em seis parâmetros:

- Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
- RQD (“*Rock Quality Designation*”);
- Espaçamento das descontinuidades;
- Condição das descontinuidades;

- Influência da água;
- Orientação das descontinuidades.

O cruzamento destes parâmetros determina em qual classe o maciço pertence, variando entre cinco classes distintas:

- Classe I: Maciço rochoso são de ótima qualidade;
- Classe II: Maciço rochoso são ou medianamente alterado de boa qualidade;
- Classe III: Maciço rochoso alterado de qualidade razoável;
- Classe IV: Maciço rochoso muito alterado com baixa qualidade;
- Classe V: Maciço rochoso extremamente alterado de baixíssima qualidade.

O maciço que divide as cidades de Porto Belo e Bombinhas possui áreas de grande cobertura com surgimento na era Pré-Cambriana no período Arqueozoico, correspondendo a uma rocha pouco alterada de grande extensão. Nestas rochas, a permeabilidade se dá por fraturamento e pelo bandeamento, o que o caracteriza como sendo um aquífero anisótropo<sup>6</sup>, possuindo uma vazão específica baixa em poços nestas rochas, com pouca porosidade e permeabilidade (PROSUL, 2017b). Por esse pouco grau de alteração, porosidade e permeabilidade, tratando-se de uma rocha granítica, considerou-se uma avaliação otimista adotando para o maciço a Classe II.

#### 2.3.1.2.2.1 Índice de escavabilidade – DRI

Conhecendo a geologia do maciço é possível determinar o DRI da rocha, conforme estipula o modelo NTNU. Como forma de definir esse índice, considerou-se a pouca alteração da rocha e sua composição granítica-gnaissica. Tendo em vista essas características, levando em conta os índices descritos pelo modelo NTNU já apresentados na Figura 6, adotou-se o valor de 65 para o DRI.

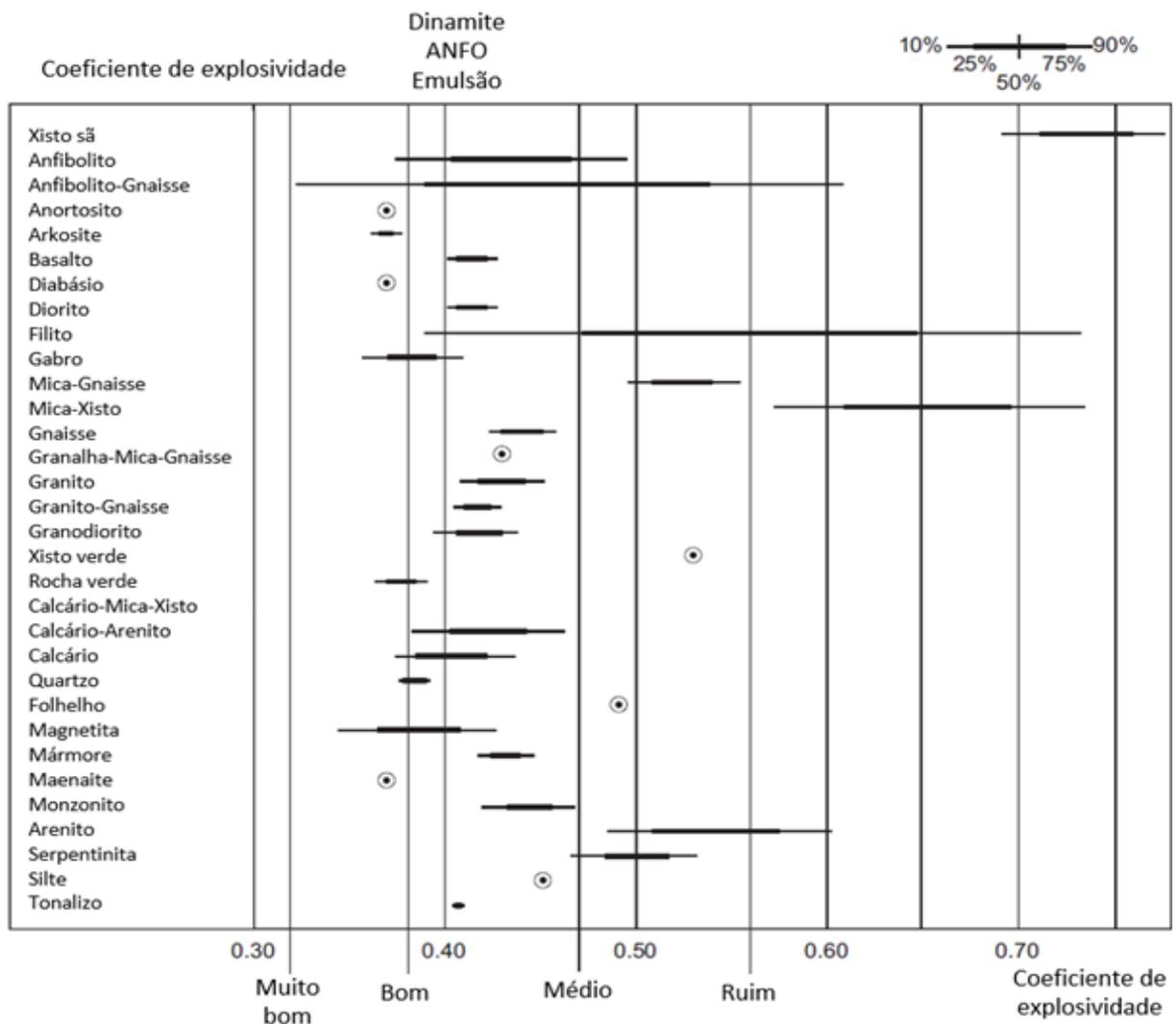
---

<sup>6</sup> Característica de um meio, ou de um material, em que certas propriedades físicas serão diferentes conforme as diferentes direções.

### 2.3.1.2.2.2 Índice de fragmentação da rocha – SPR

O SPR também é obtido com a geologia da formação, neste caso existem os cálculos elaborados pelo modelo NTNU, considerando as características da rocha, obtidas por intermédio de ensaios. Como não há ensaios que permitam uma metodologia de cálculo, o SPR adotado será o apresentado no ábaco da Figura 21, adotando-se o valor de 0,42, que representa uma fragmentação de rocha entre média e boa.

Figura 21: Faixa de valores para SPR.



Fonte: (ZARE, S, 2007b). Traduzido pelo Autor, 2019.

#### 2.3.1.2.2.3 Qualidade de desgaste da rocha – RWQ

O último parâmetro referente à geologia do maciço utilizado pelo NTNU é o RWQ, esse parâmetro representa o desgaste sofrido pelos *bits* da perfuratriz que executa os furos de perfuração, como já explicado anteriormente.

Esta definição terá como base os dados levantados pela (PROSUL, 2017b), tratando a rocha como pouco alterada, sendo considerada de alta resistência, portanto com um alto índice de desgaste da broca. Por este motivo, para efeito de cálculo, adotou-se o índice de 0,05, conforme Figura 11: Relação da frequência de troca dos bits com o RWQ.

#### 2.3.1.2.3 Recursos técnicos na execução de túneis

A escavação de túneis é um processo complexo que exige uma mão de obra altamente qualificada e equipamentos que auxiliem nas etapas da escavação. O processo inicia com a execução dos emboques e das frentes do túnel utilizando-se de maquinários pesados, para a preparação e a retirada de material, tais como: retroescavadeiras, martelos pneumáticos e caminhões basculantes (ZARE, S, 2007c).

Após esta etapa inicial preparatória, realiza-se o processo de escavação principal, onde os tipos de equipamento, quantidades e suas dimensões dependerão da seção do túnel, da abordagem escolhida (plano de ação) e dos custos envolvidos (ZARE, S, 2007c).

A seguir serão descritos os principais equipamentos e materiais, salientando-se as principais características voltadas para utilização do método NTNU e para o processo de “furar, carregar e detonar” que caracteriza o método de escavação *Drill and Blast*.

##### 2.3.1.2.3.1 Perfuração

Após a preparação da frente de trabalho do túnel vem uma das partes mais importantes, a execução dos furos para a inserção dos explosivos. A perfuração é feita de acordo com o mapa de fogo elaborado no projeto e baseado no estudo prévio da geologia, que fornece informações importantes no apontamento das áreas em que o explosivo terá maior efetividade, diminuindo tanto o diâmetro dos detritos de rocha como problemas com escamação da superfície, e aumentando a qualidade da área detonada (ZARE, S, 2007b).

A perfuração do plano da face do túnel é feita com os Jumbos de perfuração, equipamentos compostos por lanças de quantidade e diâmetros variados que perfuram a rocha. Alguns destes equipamentos permitem a colocação dos explosivos após a perfuração, o que aumenta ainda mais a produtividade da escavação.

A seção estimada do túnel do novo acesso a Bombinhas foi estipulada em 139 m<sup>2</sup>, seguindo os mesmos aspectos dos túneis executados em Santa Catarina. Para um túnel dessa dimensão, optou-se pelo uso o Jumbo de perfuração fabricado pela empresa Atlas Copco, equipamento do modelo (*Boomer - E3*), que possui três lanças para perfuração de 5 metros de comprimento, cobrindo uma área aproximada de 198m<sup>2</sup> (EPIROC, 2019b).

Os diâmetros de perfuração serão 48mm para os furos pequenos (diâmetro padrão) e 102mm para os furos grandes de acordo como determinado por Zare, S (2007b). O Jumbo de equipamento pode ser visualizado na Figura 22.

Figura 22: Jumbo de perfuração com três lanças Epiroc Boomer E3.



Fonte: (EPIROC, 2019b)

#### 2.3.1.2.3.2 Detonação

Após a execução dos furos é feito o carregamento com os explosivos, neste caso considerou-se como material utilizado para a detonação a emulsão encartuchada, vista na Figura 23. Esses explosivos são produzidos e distribuídos regionalmente, com plantas de fabricação no Brasil e em outros países da América Latina, o que facilita a sua comercialização e disponibilidade (ORICA, 2019).

Segundo Zare, S (2007a) e (LIMA, 2016), os explosivos encartuchados, possuem vantagens sobre os outros, como a resistência a umidade, importante caso haja alguma falha

não prevista na rocha que contenha água em seu interior, além de proporcionarem uma redução no tempo de ventilação, já que produzem menos óxidos de nitrogênio quando comparados aos outros tipos, isso reduz as partículas liberadas no ar e conseqüentemente o tempo para eliminá-las (ZARE, S, 2007a).

Figura 23: Exemplo de emulsão encartuchada.



Fonte: (ORICA, 2019)

#### 2.3.1.2.3.3 Ventilação

A ventilação remove os gases gerados pelo processo de detonação, após a qual só é possível a entrada no túnel após a adequada exaustão dos mesmos. Sua eficiência depende do tamanho do ventilador, comprimento do túnel e do tipo de explosivo utilizado.

Como equipamento de ventilação, foi selecionado o ventilador e duto fornecido pela Epiroc, modelo AVH80, visto na Figura 24.

Este equipamento possui até três estágios de conexão, que permite a acoplagem de mais ventiladores para auxiliar na remoção dos gases. Sua vazão é de 20m<sup>3</sup>/s, suficiente para a seção do túnel conforme indicado em Epiroc (2019a).

Figura 24: Sistema de ventilação de túnel.



Fonte: (EPIROC, 2019a)

#### 2.3.1.2.3.4 Carregamento e Transporte dos detritos

A escavação de túneis produz muitos detritos que necessitam ser transportados para fora da área de escavação. A quantidade e tamanho dos detritos irão depender tanto da dimensão do túnel, quanto do mapa de fogo e do explosivo utilizado na detonação (ZARE, S, 2007c).

Os equipamentos que servem para a remoção destes detritos são amplos e variam também de acordo com os pontos citados anteriormente. No caso do túnel de Bombinhas, optou-se pela utilização de pá-carregadeira e caminhão basculante por serem os equipamentos mais utilizados no Brasil.

Para o modelo NTNU a pá-carregadeira é o fator determinante da velocidade de remoção dos detritos. Assim, considera-se que a escolha do caminhão dependerá de fatores logísticos e financeiros, podendo-se adotar caminhões fora de estrada ou caminhões basculantes comuns, desde que, sejam respeitados a recomendação de volume retirado por ciclo de 30 a 35 toneladas (ZARE, S, 2007a).

No Brasil existem alguns distribuidores que oferecem equipamentos importados bastante utilizados em obras de infraestrutura, que atendem aos volumes apresentados pelo NTNU. Um exemplo é o CAT 980 (Figura 25) da linha G ou H, fornecido pela empresa Caterpillar. Este equipamento contempla dados já coletados pelo método, facilitando os cálculos do tempo de carregamento.

Figura 25: Pá carregadeira CAT 980G



Fonte: (IMAGE ABYSS, 2019).

#### 2.3.1.2.3.5 “Bate choco”

Apesar do processo de mapeamento de fogo ser criterioso, após a detonação, alguns fragmentos das rochas ainda estarão presos na superfície do túnel, exigindo a etapa adicional de “Bate Choco”. Esta etapa tem importância acentuada para o avanço e segurança da escavação (ZARE, S, 2007a). No presente caso, previu-se a utilização de uma escavadeira com martelo hidráulico acoplado fornecida pela R3ciclo, modelo 500LC-7A.

A escolha deste equipamento atribuiu-se devido à área da seção transversal do túnel e pelo material da sua composição ser de alta resistência. Além disto, trata-se de um equipamento comercializado no Brasil, o que não dificulta a sua aquisição e disponibilidade na região da obra. Um exemplo deste equipamento pode ser visualizado na Figura 26 .

Figura 26: Martelo hidráulico R3ciclo modelo 500LC-7A.



Fonte: (R3CICLO, 2019).

O processo de escavação de um túnel é um processo cíclico realizado por um conjunto de equipamentos que não alterados no decorrer das etapas, considerando que não haja a substituição do equipamento por algum motivo como manutenção ou acidente. A relação destes equipamentos em suas respectivas etapas, fornecedores e modelos, pode ser verificada no Quadro 4.

Quadro 4: Relação de equipamentos usados na escavação dos túneis.

ETAPA	EQUIPAMENTOS SELECIONADOS	MARCA	MODELO
Perfuração/Carregamento	Jumbo de perfuração 3 lanças	Epiroc	Boomer E3
Detonação	Emulsão encartuchada	Orica	Senatel
Ventilação	Ventiladores e tubos de ventilação	Epiroc	AVH80
Carregamento/Transporte	Carregadeira	Caterpillar	980G
Bate choco	Martelo Hidráulico	R3ciclo	500 LC-7A

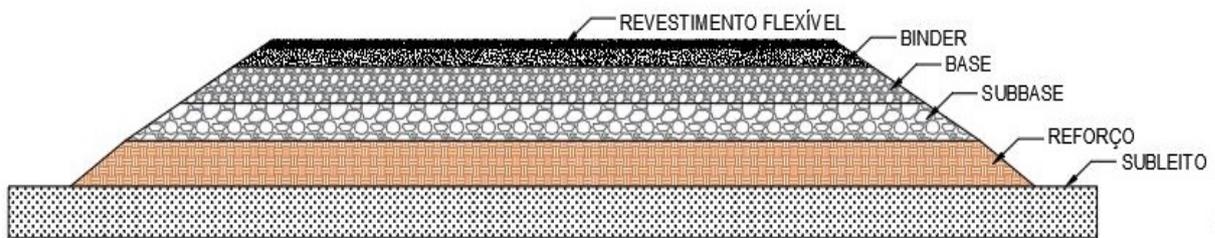
Fonte: Autor, 2018.

## 2.4 MÉTODO DNER 79

O método DNER 79 é usado no dimensionamento dos pavimentos flexíveis utilizando de dados empíricos da resistência do solo, separando a plataforma de rolagem em camadas que são distribuídas entre: reforço (caso necessário), sub-base, base e revestimento asfáltico, como mostra a Figura 27.

Cada camada é definida por meio de inequações que relacionam os materiais empregados em cada uma delas, com intuito de auxiliar na acomodação da flexão da estrutura de forma progressiva até o leito da plataforma terraplenada. (RODRIGUES FILHO, 2006).

Figura 27: Exemplo de camadas de uma pavimentação flexível.



Fonte: Autor, 2018.

As solicitações a que o pavimento deve resistir são determinados conforme normas padronizadas que levam em consideração o peso do chamado “eixo padrão” de 8,2 toneladas, referente a veículos pesados (caminhões e ônibus), associado ao número de vezes que esse eixo passa pela via (DNIT, 2006). Esse valor chamado de “N” é encontrado pela Equação 9.

$$N = 365 \cdot TMDA \cdot FV \cdot FR \cdot FD \quad [9]$$

Onde:

$N$  = Número de passagem do eixo padrão

$TMDA$  = Tráfego médio diário anual na rodovia

$FV$  = Fator de veículos

$FR$  = Fator climático regional

$FD$  = Fator direcional

Após determinado o valor de “N”, define-se o método para os cálculos de dimensionamento das camadas de pavimentação. Neste caso, adotou-se o método DNER 79,

proposto pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza, uma variação do modelo USACE (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos), criado após a segunda guerra mundial.

O DNER 79 utiliza o CBR (Índice de Suporte Califórnia), como medida indireta de presumir a resistência do solo, essa resistência, em conjunto com as solicitações determinadas pelo “N” permitirá o dimensionamento do pavimento (FRANCISCONI, 2014).

O CBR é a uma relação entre a resistência à penetração do solo, ensaiado com um corpo-de-prova de brita graduada de CBR de 100%. Quanto maior a porcentagem obtida no ensaio, maior será a resistência do solo. Para efeito de classificação na pavimentação de rodovias o CBR de 20%, refere-se a um material de melhor resistência, enquanto o CBR de 2% é considerado o de pior (BALBO, 2015).

Após essas definições, parte-se para o segundo passo do método, determinando a espessura do revestimento asfáltico. O DNER 79 estabelece espessuras de revestimento para as variações de passagens do eixo padrão, como apresenta o Quadro 5.

Quadro 5: Determinação da espessura do revestimento betuminoso.

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: (DNIT, 2006).

Definido a espessura do revestimento asfáltico, é calculada a altura total do pavimento pela Equação 10. Essa altura será dividida em três, ( $H_m$ ,  $H_n$  e  $H_{20}$ )<sup>7</sup>, como mostra a Figura 28. Essa divisão auxiliará na resolução das inequações que definirão as camadas principais da via. O valor da espessura das camadas  $H_m$ ,  $H_n$  e  $H_{20}$  é determinada conforme a Figura 29, relacionando o CBR do material utilizado em cada uma delas ao número de passagens do eixo padrão já definido (DNIT, 2006).

Observa-se que os materiais utilizados nas camadas de pavimentação devem ter resistência superior que a do subleito, medido pelo ensaio em campo. Quanto aos valores do

<sup>7</sup>  $H_m$  = Espessura total do pavimento;  $H_n$  = Espessura acima do reforço;  $H_{20}$  = Espessura com CBR  $\geq$  20%

CBR em projetos de pavimentação rodoviária, entende-se que, por regra no dimensionamento da camada de base o material utilizado deve possuir um  $CBR \geq 20\%$  (DNER, 1981).

$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598} \quad [10]$$

Onde:

$H_t$  = Espessura total do pavimento

$N$  = Número de passagens do eixo padrão

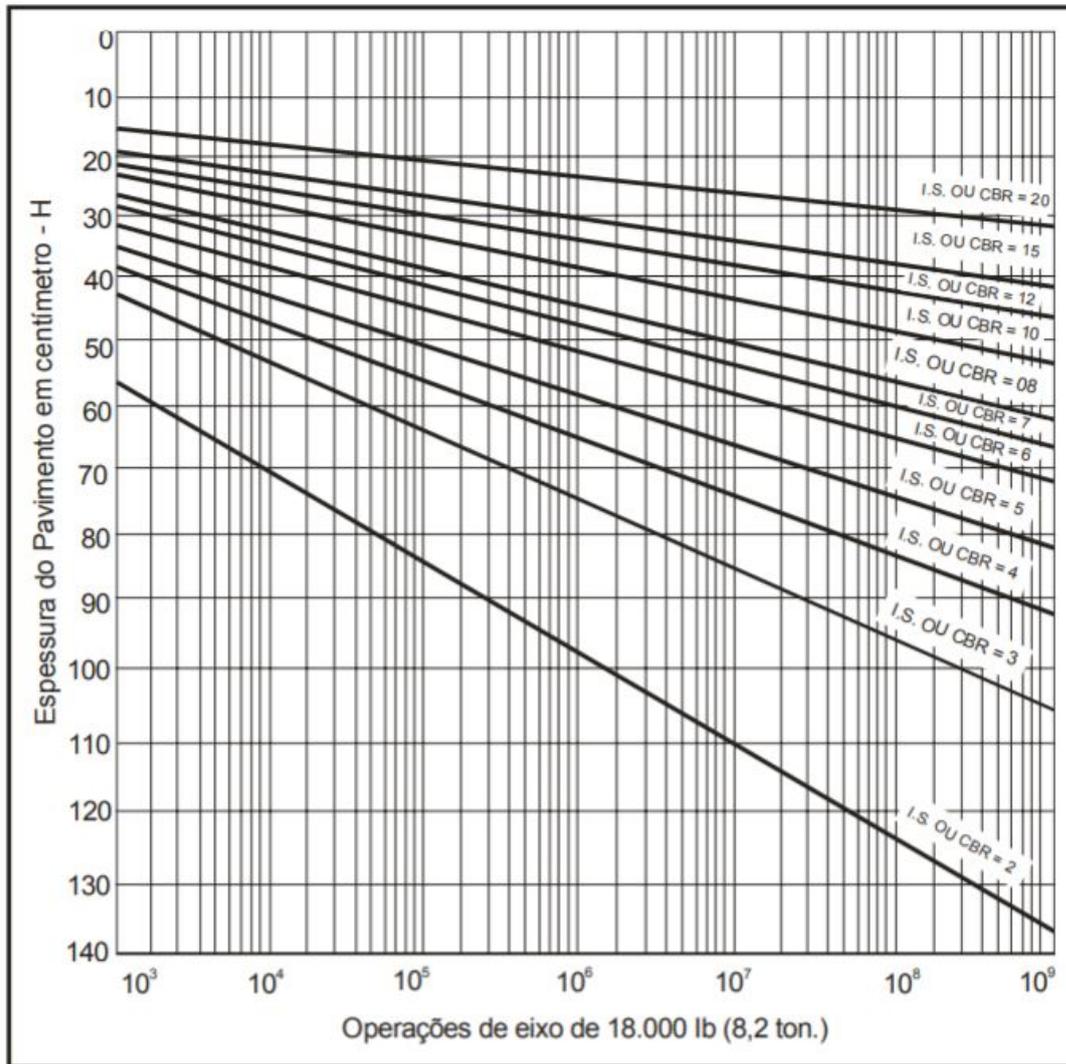
$CBR$  = Índice de suporte Califórnia do solo

Figura 28: Camadas intermediárias do pavimento.



Fonte: (DNIT, 2006).

Figura 29: Ábaco para a determinação da espessura das camadas intermediárias do pavimento.



Fonte: (DNIT, 2006)

Para os materiais granulares utilizados na construção das camadas do pavimento, o método determina que haja um coeficiente estrutural ( $k$ ), tendo a função de relacionar a resistência dos materiais fabricados aos materiais granulares encontrados na natureza (BALBO, 2015; DNIT, 2006). Esses coeficientes são vistos no Quadro 6 e dependem das propriedades dos materiais.

Quadro 6: Coeficientes estruturais dos materiais utilizados na pavimentação.

<b>Componentes do Pavimento</b>	<b>Coefficiente K</b>
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
<b>Camadas Granulares</b>	<b>1,00</b>
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45kg/cm	1,70
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45kg/cm e 28kg/cm	1,40
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28kg/cm a 21kg/cm	1,20

Fonte: (DNIT, 2006).

Com as espessuras  $H_m$ ,  $H_n$  e  $H_{20}$  e seus respectivos coeficientes estruturais definidos, a última etapa do dimensionamento é o cálculo da camada de sub-base, base e do reforço, obtidos de acordo com as Inequações 11, 12 e 13.

$$R \cdot K_r + B \cdot K_b \geq H_{20} \quad [11]$$

$$R \cdot K_r + B \cdot K_b + h_{20} \cdot K_s \geq H_n \quad [12]$$

$$R \cdot K_r + B \cdot K_b + h_{20} \cdot K_s + h_n \cdot K_{ref} \geq H_m \quad [13]$$

Onde:

$R$  = Espessura do revestimento (cm)

$B$  = Espessura da base (cm)

$h_{20}$  = Espessura da sub-base (cm)

$h_n$  = Espessura do reforço (se houver) (cm)

$K_r$  = Coeficiente de estrutural do revestimento

$K_b$  = Coeficiente estrutural da base

$K_s$  = Coeficiente estrutural da sub-base

$K_{ref}$  = Coeficiente estrutural do reforço

Com as etapas citadas anteriormente, completa-se o dimensionamento do pavimento flexível, e o próximo passo será a determinação do tempo de execução da pavimentação. Para

isso utilizou-se uma base de dados mantida pelo governo brasileiro chamado SICRO 2<sup>8</sup>, facilmente encontrado no site do DNIT. Algumas das informações de uma das composições podem ser vistas na Figura 30.

Figura 30: Exemplo de uma tabela SICRO com destaque nos custos e produtividade.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários		Construção Rodoviária	SICRO2
Custo Unitário de Referência	Mês : Novembro / 2016	Santa Catarina	RCTR0320
2 S 02 100 00 - Reforço do subleito		Produção da Equipe : 168,00 m3	(Valores em R\$)
		Custo Unitário Direto Total	10,06
		Lucro e Despesas Indiretas ( 34,32 %)	3,45
		Preço Unitário Total	13,51

Fonte:(SICRO 2, 2016). Editado pelo Autor, 2018.

O SICRO 2 é uma ferramenta criada para manter a definição dos custos rodoviários e de infraestrutura, mas também estabelece a produtividade da equipe para cada etapa executada. Assim, este conjunto de informações também poderá ser utilizado na previsão do tempo de execução da pavimentação.

A produtividade no SICRO 2 é determinada por hora trabalhada da equipe para uma configuração de equipamentos especificados na composição. A estimativa de produção do tipo de serviço executado é apresentada em m<sup>2</sup> ou m<sup>3</sup> por hora.

Conhecendo o problema instalado, as soluções escolhidas para tratá-los e os métodos empregados na execução, parte-se para a metodologia utilizada na obtenção dos indicadores propostos.

#### 2.4.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CÁLCULO

Como nos túneis o primeiro aspecto para o dimensionamento das pavimentações é a geometria, que consiste basicamente no número e largura das vias e acostamentos, constituindo a seção da pista de rolagem.

O segundo aspecto a ser considerado é o nível de solicitação que a via irá atender, dado obtido na contabilização de veículos considerados pesados (caminhões, micro-ônibus, ônibus, reboque ou semirreboque etc.).

<sup>8</sup> Sistema de Custos Referenciais de Obras. Documento constituído de composições para as mais diversas atividades executadas em obras de infraestrutura. Auxiliando na organização, orçamentação e no cronograma.

O terceiro parâmetro é o reconhecimento das características mecânicas do solo. Essas características relacionarão os métodos a serem adotados para a execução de um pavimento flexível como: espessuras das camadas, equipamentos a serem utilizados, recursos externos (jazidas, tratamento do solo).

Somente após a determinação desses parâmetros é possível realizar os cálculos dos indicadores de acordo com cada metodologia escolhida.

#### 2.4.1.1 Geometria de obras rodoviárias

Os aspectos geométricos a serem atendidos pelas obras em questão dependem de diversos fatores como: demanda, aspectos financeiros, ambientais, geológicos, sociais e construtivos. Em geral, os principais aspectos geométricos das obras de infraestrutura rodoviária e de túneis são: traçado longitudinal, perfil vertical, raios de curvatura, inclinações, concordâncias, seções transversais, emboques, saídas e dimensões da plataforma. DER (2000).

Para ASSHTO (2001), os projetos geométricos das obras de infraestrutura devem obedecer a critérios que atendam às necessidades de eficiência na trafegabilidade e da segurança do transporte.

A seguir serão destacados os principais elementos da geometria dos túneis e das soluções de rodovias pavimentadas.

A geometria das rodovias é planejada conforme o nível da demanda de tráfego esperada ou pela estimativa de aumento de tráfego quando se tratar de ampliação. Como regras de execução são adotados os manuais do DNIT e os procedimentos do DINFRA (Departamento de Infraestrutura), instituição que regulamenta o sistema rodoviário de Santa Catarina.

No caso de Bombinhas trata-se da construção de uma estrada seguindo os conceitos de travessia mista, variando entre rural e urbana. O processo de dimensionamento da via inicia-se classificando-a, sendo essa classificação dependente das características da via, como, volume de tráfego, velocidade e usabilidade.

A determinação do volume de tráfego, necessário para os cálculos do valor de “N”, é obtido com base na contagem de veículos pesados, realizados em postos de contagem volumétrica, que passam por um tratamento estatístico, definindo uma taxa média diária desses veículos durante o ano (DNIT, 2006).

De acordo com Prosul (2017a) a demanda de veículos pesados que percorrem o trajeto entre as cidades de Porto Belo e Bombinhas é pequena, como mostra a Figura 31, o que refletirá em um revestimento asfáltico menos espesso, item melhor abordado nos cálculos do dimensionamento.

Figura 31: Tráfego médio diário anual trecho Porto Belo Bombinhas.

ANO	VEC. LEVES	ÔNIBUS	CAMINHÕES			REBOQUE E SEMI-REBOQUE	TOTAL
			Simples Pequeno	Simples Grande	Duplo		
2006	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0
2009	7904	96	122	61	33	5	8221
2010	8497	103	131	66	36	5	8838
2011	9134	111	140	71	38	6	9500
2012	9819	120	151	78	41	6	10213
2013	10558	129	162	82	44	6	10979
2014	11347	138	174	88	47	7	11802
2015	12198	148	188	95	51	8	12688
2016	13113	160	202	102	55	8	13639
2017	14097	172	217	109	59	9	14662
2018	15154	185	233	117	63	9	15762

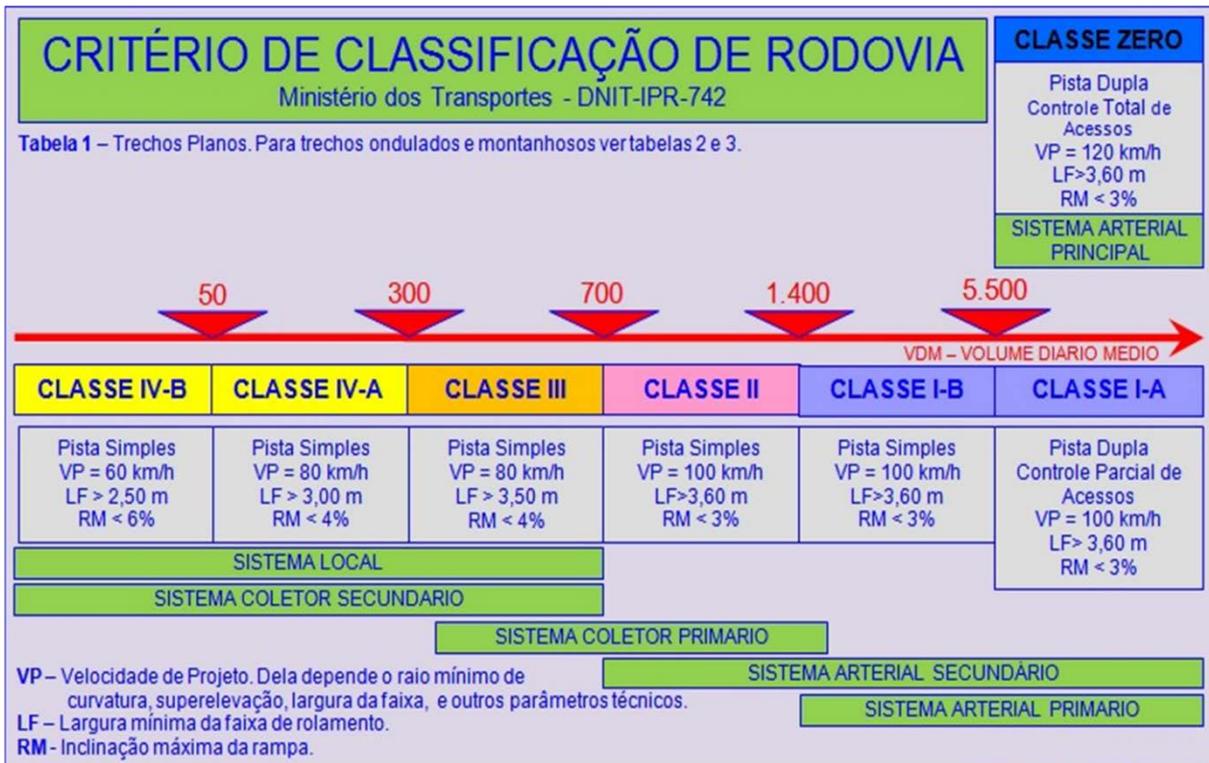
Fonte: (PROSUL, 2017a).

A velocidade da via é dependente da sua classificação, esta que relaciona o local onde ela será implantada e seu tipo (via coletora, arterial, etc).

No caso do novo acesso à Bombinhas, as pavimentações ocorrem em meio a uma área de preservação ambiental e possuem trechos urbanos e rurais. Essas características impossibilitam grandes explorações das áreas adjacentes à via, restringindo o projeto ao traçado já existente, que possui pista simples com grande sinuosidade devido as rampas e curvas existentes (PROSUL, 2017c).

Por estes motivos, seguindo a classificação de vias representada pela Figura 32, os trechos a serem pavimentados podem ser enquadrados na Classe IV-B. Essa classificação é representada por vias de pista simples, que admitem maiores rampas e possuem velocidades diretrizes de até 60 km/h. Neste caso conforme Gollnick (2016) e Prosul (2017c) será adotado a velocidade de 40km/h.

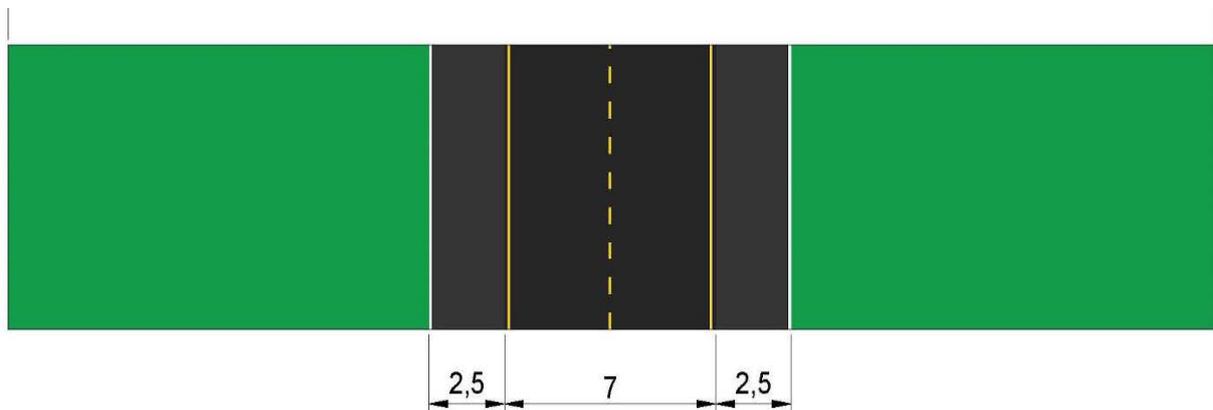
Figura 32: Classificações das Vias.



Fonte: (DNIT, 2010a)

Nesta configuração de via, estipulou-se uma faixa de rolamento de 3,5 metros para cada pista com acostamentos de 2,5 metros para ambos os lados, totalizando um comprimento total da plataforma terraplenada de 12 metros de largura, conforme Figura 33.

Figura 33: Apresentação da faixa de Domínio para a alternativa de pavimentação.



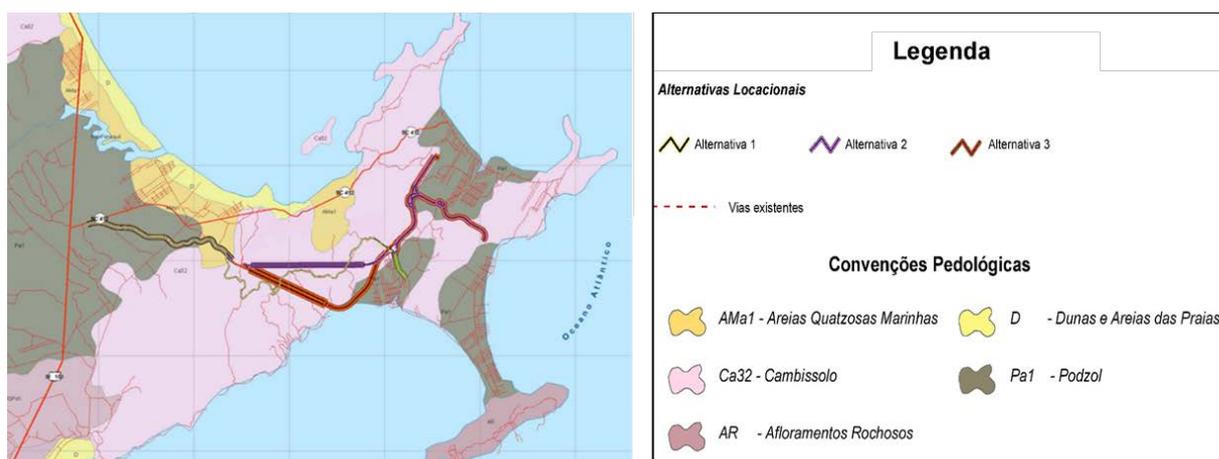
Fonte: Autor, 2019.

#### 2.4.1.2 Caracterização do solo para projetos de Rodovias

Para as alternativas de rodovia pavimentada para a ligação na região de Bombinhas também não há levantamentos, sondagens ou ensaios que possibilitam apresentar com exatidão suas características. Porém já houve levantamentos preliminares feitos pela empresa PROSUL no Estudo de Impacto Ambiental (EIA), onde correlacionaram o solo de outros projetos de pavimentação em Santa Catarina com o solo onde a alternativa de pavimentação será executada.

No caso, a correlação foi feita através do estudo bibliográfico e levantamento estatístico, constatando-se, que o trecho da rodovia Porto Belo – Bombinhas está assente sobre a Faixa *Granito- Gnaissica* Porto Belo, já apresentado no item anterior, passando pelas seguintes unidades de mapeamento: Ca32, Pa1, AMa1, D, como pode ser observado na Figura 34, (PROSUL, 2017b).

Figura 34: Representação dos depósitos de solos da região de Bombinhas.



Fonte: (PROSUL, 2017b). Editado pelo Autor, 2019.

Estas correlações também possibilitaram uma caracterização dos solos gerados pelas rochas, atribuindo valores aos índices físicos dos solos através de um tratamento estatístico. O levantamento afirma que apesar desses índices serem valores estimativos, provenientes de dados estatísticos, com número de elementos inferior ao desejável, eles se mostram suficientes para uma apreciação preliminar, que objetiva a seleção de alternativas, através das comparações (PROSUL, 2017b).

#### 2.4.1.2.1 Características do Solo

De acordo com os levantamentos da Prosul (2017b) o solo que cruza o morro de Santa Luzia é proveniente da derivação do Granito-Gnáissico, representado pela Figura 35, além de pequenos depósitos eólicos.

Figura 35: Representação do solo derivado do maciço rochoso Granito-Gnáissico.



Fonte: Autor, 2018.

Este tipo de solo visto na região dos acessos, já foi encontrado e analisado no projeto da Rodovia Interpraias (Trecho Interseção SC-442 - Ponta de Fora), que mostraram na grande maioria das amostras coletadas um CBR entre 11 a 12%, assim como na Duplicação da SC-401, que apresentaram valores de CBR com média de 14,1%. Estes índices geotécnicos mostram-se adequados para subleito de rodovias, ou mesmo, podem ser indicados como caixas de empréstimo (PROSUL, 2017b). A Figura 36 apresenta outros depósitos que ocorrem na região com essas mesmas características.

Figura 36: Características dos depósitos eólicos que ocorrem nas regiões de Bombinhas.

DESCRIÇÃO	CLASSIF.HRB	FREQÜÊNCIA	ISC MÉDIO(MIN-MÁX)	EXPAN.MÉDIA
Areia fina cinza	A-3	39%	13,0% (6,5 e 20,1)	0,1%
Areia fina amarelada	A-3	35%	12,4% (6,4 e 18,8)	0,05%
Areia fina esbranquiçada	A-3	14%	16,0% (11,9 e 20,1)	0,02%
Areia fina cinza escuro	A-3;A-2-4;A-4	10%	13,0% (7,3 e 16,5)	0,1%
Areia fina cinza	A-3	39%	13,0% (6,5 e 20,1)	0,1%
Areia fina marrom	A-2-4	02%	18,3%	0

Fonte: (PROSUL, 2017b).

Tendo em vista os dados de CBR apresentados, o valor de cálculo foi definido, levando em consideração as obras que possuíam maior proximidade geográfica com os novos acessos, sendo assim, o CBR estipulado para essas obras de pavimentação foi de 11%, mesmo valor encontrado no trecho que Interpraias, estando dentro também das variações vistas nos solos de outras obras executadas em SC de mesma configuração.

Esse CBR representa um solo de ótima resistência e descarta a necessidade de utilização de uma camada de reforço para o subleito, item que influenciará no tempo de execução de forma positiva e será visto nos cálculos, após a definição dos recursos técnicos.

#### 2.4.1.3 Recursos técnicos para obras de pavimentação

Obras em geral necessitam do uso de equipamentos e materiais, principalmente obras de grande vulto como as de infraestrutura. Em geral, estas obras envolvem uma grande movimentação tanto de materiais quanto de elementos construtivos muitas vezes de grande porte como vigas de pontes, viadutos, treliças, plataformas etc (BALBO, 2015).

A necessidade de se produzir mais rapidamente inviabiliza o trabalho braçal que era feito em tempos antigos, já que os meios de construção por intermédio de máquinas estão bem estabelecidos e acessíveis, sendo indispensáveis na otimização destes serviços (TELLES e FIGUEIREDO, 2006).

Túneis e rodovias requerem diversos equipamentos para a sua execução desde o seu início, sejam estas atividades pesadas (transporte de material, perfuração, detonação etc), como para atividades complementares (compactação, pintura, elevação, jateamento de concreto entre outros). Esses equipamentos são necessários para que a obra tenha um andamento seguro e que o tempo de execução seja reduzido (ZARE, Shokrollah e BRULAND, 2006).

Atualmente o mercado dispõe de diversos maquinários e ferramentas para obras de infraestrutura que atuam em cada uma das etapas da execução, auxiliando os serviços, simplificando e acelerando os processos, resultando em redução de tempo e custos (TELLES e FIGUEIREDO, 2006).

Tanto os túneis como as rodovias possuem equipamentos específicos, sem os quais não seria possível a execução destas obras. Segundo Freire, D. (2014), as inovações tecnológicas nas áreas da infraestrutura permitem um avanço sobre a produção, além de alcançar novos patamares na forma de deslocamento, sendo possível a criação de novos caminhos em locais antes considerados inacessíveis.

Segundo Maciel (2008), a pavimentação de estradas é uma atividade amplamente difundida no Brasil e por ser comum no país, não existe dificuldade quanto aos equipamentos utilizados, sendo eles de fácil acesso e com grande distribuição por todo o território brasileiro.

O processo de pavimentação é realizado em etapas e cada etapa possui um grupo de equipamentos que as atenderá, alguns desses equipamentos são de uso geral em atividades da engenharia civil como, transporte, remoção de materiais, movimentação de terra, mas também existem os equipamentos de uso específico, como os rolos compressores, motoscaper, motoniveladoras, pavimentadoras, etc (BALBO, 2015).

Como esse tipo de obra se caracteriza na execução de camadas em cima solo (subleito), algumas etapas desse processo aproveitam os equipamentos das etapas anteriores, isso gera uma maior agilidade entre etapas, mas necessita de um bom planejamento logístico para não sobrecarregar ou deixar o equipamento ocioso.

Na pavimentação em questão foram identificadas seis etapas que serão descritas a seguir apresentando a escolha de seus respectivos equipamentos.

#### *2.4.1.3.1 Limpeza e movimentação de terra*

Antes de pavimentar é necessário que a área esteja pronta e adequada conforme o projeto de traçado, obedecendo todos os critérios estabelecidos pelos manuais de pavimentação para que assim seja iniciada a execução da plataforma de rolagem (DNIT, 2006).

A etapa inicial envolve a limpeza e regularização do terreno onde será implantada a via, para esta atividade de acordo com a tabela SICRO 2, apresentada pela Figura 37, utiliza-se tratores de esteira com lâmina.

No Brasil existem diversos equipamentos que atendem a esta etapa da pavimentação, o que deve ser observado neste caso, são as potências mínimas exigidas pela tabela, para que assim possa ser alcançado a produtividade que ela descreve.

Dentre os modelos disponíveis com a faixa de potência exigida, o modelo selecionado foi o CAT D6N de 117kW de potência da fabricante Caterpillar, equipamento visto na Figura 38.

Figura 37: Tabela SICRO 2 para limpeza do terreno.

**DNIT**

**SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO**

**Custo Unitário de Referência**

**5502985 Limpeza mecanizada da camada vegetal**

<b>A - EQUIPAMENTOS</b>	<b>Quantidade</b>
E9540 Trator de esteiras com lâmina - 112 kW	1,00000
<b>B - MÃO DE OBRA</b>	<b>Quantidade</b>
P9824 Servente	2,00000
<b>C - MATERIAL</b>	<b>Quantidade</b>
<b>D - ATIVIDADES AUXILIARES</b>	<b>Quantidade</b>
<b>E - TEMPO FIXO</b>	<b>Código</b>
<b>F - MOMENTO DE TRANSPORTE</b>	<b>Quantidade</b>

**Santa Catarina**  
**Novembro/2017**

**Produção da equipe 568,38 m<sup>2</sup>**

Fonte: SICRO 2, alterada pelo Autor, 2018.

Figura 38: Tratores de esteira com lâmina utilizados na limpeza de terreno.



**Caterpillar CAT D6N**

Fonte: (CATERPILLAR, 2019c)

#### *2.4.1.3.2 Regularização do subleito*

Após o término da limpeza do terreno inicia-se a regularização do subleito, etapa que tem como função, deixar o terreno nivelado e preparado para o recebimento das camadas, subsequentes. Para esta etapa são necessários um número maior de equipamentos, conforme listados na Figura 39.

Figura 39: Tabela SICRO 2 para etapa de regularização do Subleito.

**DNIT****SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO****Custo Unitário de Referência****4011209 Regularização do subleito**

<b>A - EQUIPAMENTOS</b>		<b>Quantidade</b>
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000
E9518	Grade de 24 discos rebocável de 24"	1,00000
E9524	Motoniveladora - 93 kW	1,00000
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 t - 82 kW	1,00000
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1,00000
<b>B - MÃO DE OBRA</b>		<b>Quantidade</b>
P9824	Servente	1,00000
<b>C - MATERIAL</b>		<b>Quantidade</b>
<b>D - ATIVIDADES AUXILIARES</b>		<b>Quantidade</b>
<b>E - TEMPO FIXO</b>		<b>Código</b>
<b>F - MOMENTO DE TRANSPORTE</b>		<b>Quantidade</b>
<b>Santa Catarina</b>		
<b>Setembro/2017</b>	<b>Produção da equipe</b>	<b>841,00 m<sup>2</sup></b>

Fonte: SICRO 2, alterada pelo Autor, 2018.

Dentre os equipamentos selecionados estão a motoniveladora 120/120 AWD da Caterpillar com 93kW, caminhão tanque Constellation 32.360 da Volkswagen de 266kW, rolo compactador pé de carneiro modelo XS123PDBR de 97kW da XCMG, com peso operacional de até 12t, rolo compactador de pneus GRW 18 da Hamm, com 85kW e capacidade de 28t e trator agrícola, modelo MF 6712 R dyna-4 da Massey Ferguson, com 78kW de potência. Estes equipamentos podem ser visualizados na Figura 40.

Figura 40: Equipamento utilizados na regularização do subleito.



**VW Constellation 32.360**



**Motoniveladora CAT-120/120 AWD**



**Rolo compac. Pneumático  
Hamm GRW18**



**Rolo compac. Pé de carneiro  
XCMR - XS123PDBR**



**Massey Ferguson MF6712 R Dyna-4**

Fonte: (CATERPILLAR, 2019a; HAMM, 2019; MASSEY FERGUSON, 2019; VOLKSWAGEN, 2019; XCMG, 2019). Editado pelo Autor, 2019.

#### 2.4.1.3.3 Execução sub-base e base

As camadas de sub-base e base, são as camadas que irão auxiliar na acomodação das solicitações recebidas, diminuindo os impactos no subleito, além dessa função elas diminuem os custos de execução por se tratarem de materiais naturais em abundância, que executados de forma correta reduzem a necessidade de aplicação de grandes espessuras de materiais usinados (DNIT, 2006).

Iniciando pela execução da sub-base, tem-se os mesmos equipamentos da fase de regularização, somente alterando o número de caminhões tanque utilizados, não alterando suas potências mínimas, conforme mostra a Figura 41.

No caso da base, de acordo com a Figura 42, será retirado o trator agrícola, adicionado um distribuidor de agregado autopropelido e alterado o tipo de rolo compactador de pé de carneiro para liso. Neste caso o distribuidor de agregados, escolhido foi o Romanelli, modelo DAR-5000 de 131kW e como rolo compactador liso, definiu-se o Caterpillar, modelo CAT CB10, com até 105t de peso de operação e 97kW de potência, ambos apresentados na Figura 43.

Figura 41: Tabela SICRO 2 para execução da sub-base.

**DNIT****SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO****Custo Unitário de Referência****4011227** Sub-base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida

<b>A - EQUIPAMENTOS</b>		<b>Quantidade</b>
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	2,00000
E9518	Grade de 24 discos rebocável de 24"	1,00000
E9524	Motoniveladora - 93 kW	1,00000
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 t - 82 kW	1,00000
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1,00000
<b>B - MÃO DE OBRA</b>		<b>Quantidade</b>
P9824	Servente	1,00000
<b>C - MATERIAL</b>		<b>Quantidade</b>
<b>D - ATIVIDADES AUXILIARES</b>		<b>Quantidade</b>
4816096	Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica	1,10000
<b>E - TEMPO FIXO</b>		<b>Código</b>
4816096	Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica - Caminhão basculante 10 m <sup>3</sup>	5914354
<b>F - MOMENTO DE TRANSPORTE</b>		<b>Quantidade</b>
4816096	Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica - Caminhão basculante 10 m <sup>3</sup>	2,06250

Santa Catarina

Setembro/2017

Produção da equipe

216,26 m<sup>3</sup>

Fonte: Fonte: SICRO 2, alterada pelo Autor, 2018

Figura 42: Tabela SICRO 2 para execução da base.

**DNIT****SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO****Custo Unitário de Referência****4011276 Base ou sub-base de brita graduada com brita comercial**

<b>A - EQUIPAMENTOS</b>		<b>Quantidade</b>
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000
E9514	Distribuidor de agregados autopropelido - 130 kW	1,00000
E9524	Motoniveladora - 93 kW	1,00000
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000
E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t - 97 kW	1,00000
<b>B - MÃO DE OBRA</b>		<b>Quantidade</b>
P9824	Servente	1,00000
<b>C - MATERIAL</b>		<b>Quantidade</b>
<b>D - ATIVIDADES AUXILIARES</b>		<b>Quantidade</b>
6416040	Usinagem de brita graduada com brita comercial em usina de 300 t/h	1,00000
<b>E - TEMPO FIXO</b>		<b>Código</b>
6416040	Usinagem de brita graduada com brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m <sup>3</sup>	5914652
<b>F - MOMENTO DE TRANSPORTE</b>		<b>Quantidade</b>
6416040	Usinagem de brita graduada com brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m <sup>3</sup>	2,10000

**Setembro/2017****Produção da equipe****113,18 m<sup>3</sup>**

Fonte: Fonte: SICRO 2, alterada pelo Autor, 2018

Figura 43: Rolo compactador e distribuidor de agregados.



**Rolo compac. Liso CAT CB10**



**Distribuidor de agregador Romanelli DAR-5000**

Fonte: (CATERPILLAR, 2019b; ROMANELLI, 2019). Editado pelo Autor, 2019.

#### 2.4.1.3.4 *Imprimação*

A etapa de imprimação é a etapa que fará a ligação das camadas granulares com o revestimento asfáltico, servindo como uma ponte de aderência entre o material britado e o usinado (DNIT, 2006). Nesta etapa, como mostra a Figura 44, utilizam-se tanques forjados em alumínio, que servem para armazenamento e transporte de diversos líquidos e gases, além das vassouras rebocáveis e caminhões espargidores que são específicos para obras de pavimentação.

Os tanques de armazenamentos seguem os padrões especificados pelas normas vigentes, dependendo do tipo de substância armazenada em seu interior. Já os espargidores nada mais são que caminhões com um tanque elíptico acoplado em sua carroceira contendo bicos e maçaricos de alta pressão para dispersão da emulsão asfáltica na camada granular, executadas na etapa anterior.

O tanque de capacidade de 30.000 litros para armazenamento da emulsão asfáltica, aqui é representado pelo equipamento da empresa Gallegos. Já o espargidor de asfalto é fornecido pela empresa LDA, possuindo uma potência de 136kW, a vassoura rebocável é fornecida pela empresa CMV. Todos estes equipamentos podem ser vistos na Figura 45.

Figura 44: Tabela SICRO 2 para equipamentos da imprimação.

**DNIT**

<b>SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO</b>		
<b>Custo Unitário de Referência</b>		
<b>4011352 Imprimação com emulsão asfáltica</b>		
<b>A - EQUIPAMENTOS</b>		<b>Quantidade</b>
E9509	Caminhão tanque distribuidor de asfalto com capacidade de 6.000 l - 136 kW	1,00000
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	1,00000
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1,00000
E9544	Vassoura mecânica rebocável	1,00000
<b>B - MÃO DE OBRA</b>		<b>Quantidade</b>
P9824	Servente	2,00000
<b>C - MATERIAL</b>		<b>Quantidade</b>
M2092	Emulsão asfáltica para imprimação	0,00130
<b>D - ATIVIDADES AUXILIARES</b>		<b>Quantidade</b>
<b>E - TEMPO FIXO</b>		<b>Código</b>
<b>F - MOMENTO DE TRANSPORTE</b>		<b>Quantidade</b>
<b>Santa Catarina</b>		
<b>Setembro/2017</b>		
<b>Produção da equipe</b>		<b>1125.00 m<sup>2</sup></b>

Fonte: Fonte: SICRO 2, alterada pelo Autor, 2018

Figura 45: Equipamentos utilizados na etapa de imprimação.



**Espargidor da LDA**



**Tanque de armazenamento - Gallegos**



**Massey Ferguson MF6712 R Dyna-4**



**Vasoura Mecânica Rebocável - CMV**

Fonte: (CMV, 2019; GALLEGOS, 2019; LDA, 2019; MASSEY FERGUSON, 2019). Editado pelo Autor, 2019.

#### 2.4.1.3.5 Concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ)

A próxima etapa após a imprimação é a execução do concreto asfáltico usinado a quente, que tem como principal função impermeabilizar as camadas granulares executadas, impedindo que a água proveniente das chuvas infiltre entre elas, acarretando no desarranjo e colapso do pavimento.

Como equipamentos esta fase utiliza os mesmos rolos compactadores vistos nas etapas anteriores, conforme pode ser visto na Figura 46, além de um equipamento específico da pavimentação, que fará a distribuição do CBUQ nas faixas de roda, chamado de vibroacabadora de asfalto.

O modelo da vibroacabadora selecionado é o CAT AP555F da Caterpillar, mostrado na Figura 47. Este equipamento possui capacidade de pavimentar faixas de rolagem com

larguras variando entre 2,55m a 5,0m, contendo um motor com potência de 106kw, suficiente para atender as exigências impostas.

Figura 46: Tabela SICRO 2 para a etapa de execução de concreto asfáltico.

**DNIT**

**SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO**

**Custo Unitário de Referência**

**4011453 Concreto asfáltico - faixa A - areia extraída, brita produzida**

<b>A - EQUIPAMENTOS</b>		<b>Quantidade</b>
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000
E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t - 97 kW	1,00000
E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000
<b>B - MÃO DE OBRA</b>		<b>Quantidade</b>
P9824	Servente	8,00000
<b>C - MATERIAL</b>		<b>Quantidade</b>
<b>D - ATIVIDADES AUXILIARES</b>		<b>Quantidade</b>
6416079	Usinagem de concreto asfáltico - faixa A - areia extraída e brita produzida	1,02000
<b>E - TEMPO FIXO</b>		<b>Código</b>
6416079	Usinagem de concreto asfáltico - faixa A - areia extraída e brita produzida - Caminhão basculante 10 m <sup>3</sup>	5914649
<b>F - MOMENTO DE TRANSPORTE</b>		<b>Quantidade</b>
6416079	Usinagem de concreto asfáltico - faixa A - areia extraída e brita produzida - Caminhão basculante 10 m <sup>3</sup>	1,02000

**Santa Catarina**

**Setembro/2017**

**Produção da equipe**

**83,00 t**

Fonte: Fonte: SICRO 2, alterada pelo Autor, 2018

Figura 47: Vibroacabadora CAT AP555F.



Fonte: (CATERPILLAR, 2019d)

Assim, para a execução da rodovia pavimentada, a relação de equipamentos, selecionados para cada etapa de pavimentação pode ser vista na Quadro 7, que também informa as respectivas marcas e modelos.

Todos os equipamentos selecionados podem ser encontrados no território brasileiro e são utilizados nas obras de pavimentação. A escolha deles não descarta a possibilidade de outras marcas ou modelos que atuam na área de pavimentação, desde que, eles atendam as potências exigidas nas tabelas do SICRO 2.

Quadro 7: Equipamentos selecionados para as etapas de pavimentação.

ETAPA	EQUIPAMENTOS SELECIONADOS	MARCA	MODELO
Limpeza mecanizada da camada vegetal	Trator de esteira com lâmina	Caterpillar	D6N
Regularização do Subleito	Caminhão tanque	VW	Costellation 32.360
	Motoniveladora	Caterpillar	120/120AWD
	Rolo compactador de pneus	Hamm	GRW18
	Rolo compactador vibratório pé de carneiro	XCMR	XS123PDBR
	Trator agrícola	Massey Ferguson	MF6712 R Dyna-4
Execução Sub-base	Caminhão tanque	VW	Costellation 32.360
	Motoniveladora	Caterpillar	120/120AWD
	Rolo compactador de pneus	Hamm	GRW18
	Rolo compactador vibratório pé de carneiro	XCMR	XS123PDBR
	Trator agrícola	Massey Ferguson	MF6712 R Dyna-4

Execução base	Caminhão tanque	VW	Costellation 32.360
	Distribuidor de agregados	Romanelli	DAR-5000
	Motoniveladora	Caterpillar	120/120AWD
	Rolo compactador de pneus	Hamm	GRW18
	Rolo compactador vibratório liso	Caterpillar	CB10
Imprimação	Espargidor de asfalto	LDA	-
	Trator agrícola	Massey Ferguson	MF6712 R Dyna-4
	Vassoura mecânica	CMV	-
Execução CBUQ	Rolo compactador de pneus	Hamm	GRW18
	Rolo compactador vibratório liso	Caterpillar	CB10
	Vibroacabadora de asfalto	Caterpillar	AP555F

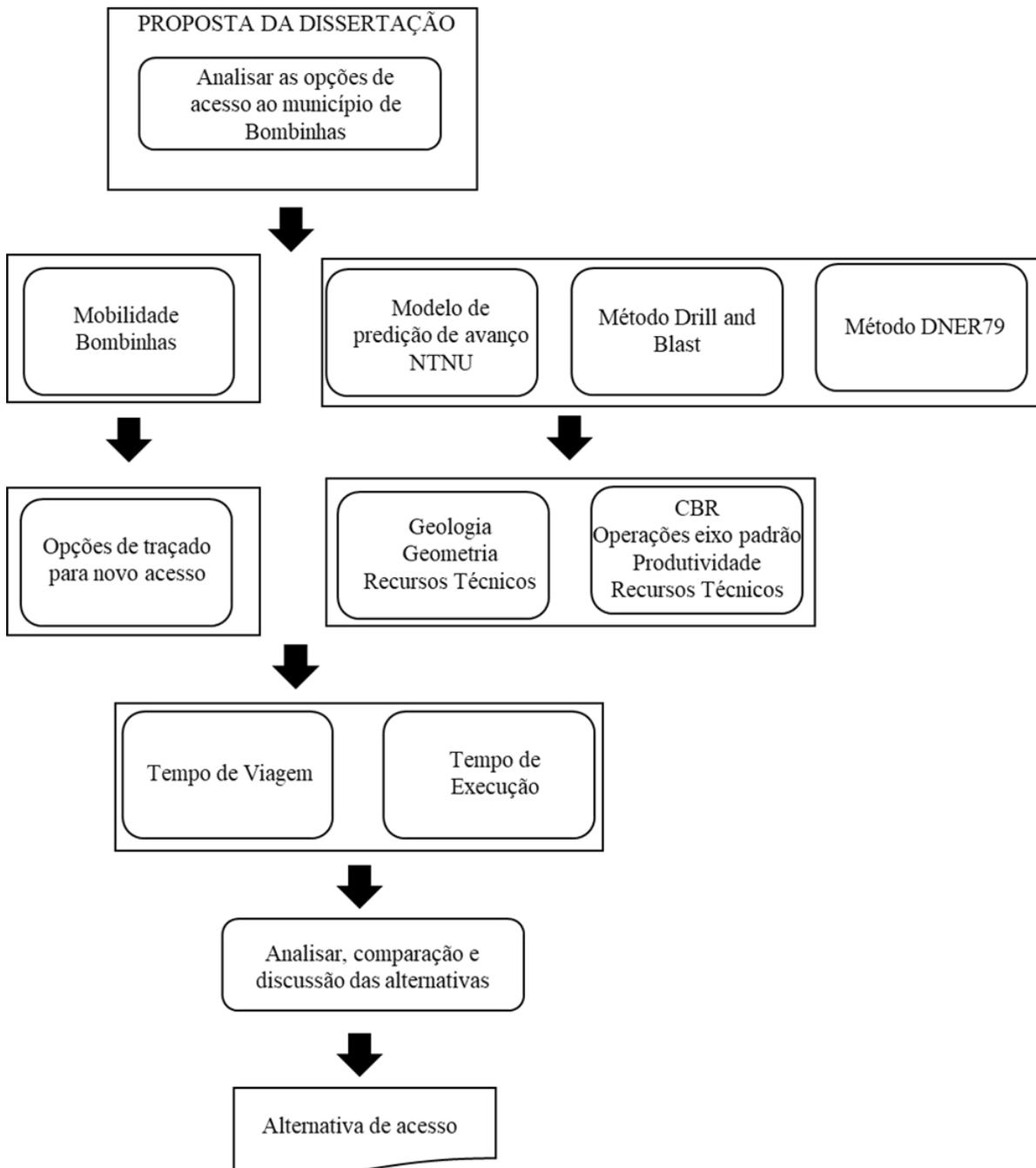
Fonte: Autor, 2019.

Com determinação de todos os equipamentos utilizados, parte-se para o levantamento dos tempos de execução de cada etapa, considerando os processos estabelecidos pela NTNU e a metodologia utilizada na medição de produtividade das tabelas SICRO 2.

### 3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Como forma de avaliar as alternativas de solução com as opções de túneis e de novos trechos pavimentados, utilizou-se indicadores que colaborariam na tomada de decisão. Propõe-se então, como mostrado na Figura 48, uma sequência de atividades com intuito de chegar a esses indicadores.

Figura 48: Diagrama de atividades na metodologia de trabalho proposta.



Fonte: Autor, 2018.

O primeiro passo do desenvolvimento do presente trabalho foi a elaboração de uma revisão bibliográfica, abordando a contextualização, os problemas gerados pela falta de mobilidade, a caracterização dos problemas enfrentados na cidade de Bombinhas, as alternativas propostas na tomada de decisão e os métodos que serão utilizados para determinação dos indicadores.

Na contextualização tratou-se de como a mobilidade é um problema recorrente nas cidades atualmente e como o crescimento desordenado e a falta de planejamento são prejudiciais para os usuários que necessitam trafegar de um ponto ao outro.

Desta forma introduziu-se a questão da mobilidade na cidade de Bombinhas, apresentando o crescimento populacional, crescimento turístico e a falta de acessos à cidade que possam distribuir o tráfego recebido, problema que impossibilita o escoamento de pessoas, afetando Bombinhas e as cidades do seu entorno. Neste quesito, apresentaram-se também as alternativas levantadas pela cidade para contornar esse problema, trazendo à tona soluções com obras de infraestrutura.

O tópico final da revisão é a apresentação dos meios de execução escolhidos para a quantificação dos indicadores citados anteriormente, apresentando o raciocínio de cada um e a forma de obtenção dos valores dos indicadores. Todas as etapas da revisão bibliográfica são determinantes para a solução dos indicadores.

Após conhecer os métodos que serão utilizados é necessário definir seus parâmetros de cálculo. Para o tempo de execução, inicialmente será estabelecido uma geometria para cada uma das alternativas. Após isso é necessária a determinação dos dados geológicos, geotécnicos, além dos recursos técnicos para a execução.

Para o cálculo do tempo de viagem os parâmetros necessários são a velocidade utilizada no percurso e as distâncias medidas do ponto de partida até os pontos de interesse dentro do município de Bombinhas.

Por fim, após a definição de todos os parâmetros, calcula-se os indicadores e analisa-se os resultados, etapas estas que serão apresentados nos dois últimos capítulos. A junção de todos estes passos descritos nesse plano de trabalho forma a metodologia de desenvolvimento da presente Dissertação de Mestrado.

## 4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises dos indicadores referentes aos tempos de execução e os tempos de viagem das alternativas de ligação ao município de Bombinhas.

### 4.1 TEMPO DE EXECUÇÃO DOS TÚNEIS

Após a determinação dos dados de entrada (geometria, geologia, características do solo e recursos técnicos), inicia-se o cálculo dos tempos de execução de cada etapa das alternativas, que somados irão compor o tempo total de execução.

No caso dos túneis, o tempo da escavação foi estimado considerando que a execução será ininterrupta e em condições ótimas. Os tempos de ociosidade e imprevistos já estão previstos no método e incorporados aos cálculos.

Os dados de entrada utilizados são apresentados no Quadro 8. Os procedimentos utilizados para o cálculo do tempo de execução de ambos os túneis se encontram no Apêndice I.

Quadro 8: Dados de entrada para cálculo da taxa de avanço do túnel.

DADOS DE ENTRADA	TÚNEL [1]	TÚNEL [2]	UNIDADES	
<b>TÚNEL E EQUIPE</b>				
A, (Área da seção transversal)	139,00	139,00	[m <sup>2</sup> ]	Definido em geometria
L, (Comprimento do túnel)	2200	3000	[m]	Conforme traçado
hw, (Tempo efetivo de trabalho por semana)	101	101	[h/sem]	(ZARE, S, 2007a)
NE, (Nível de excelência)	Alto	Alto	-	(ZARE, S, 2007a)
<b>GEOLOGIA</b>				
SPR	0,42	0,42	-	Figura 21
DRI	65,00	65,00	-	Figura 6
RWQ	0,05	0,05	-	Figura 11
<b>PERFURAÇÃO</b>				
P, (Tipo de perfuratriz)	COP Boomer E3	COP Boomer E3	-	Definido em recursos técnicos
Np, (Número de perfuratriz)	3	3	-	Definido em recursos técnicos
Dh, (Diâmetro do furo peq.)	48	48	[mm]	(ZARE, S, 2007b)
Lh, (Comprimento perfurado)	500	500	[cm]	Definido em recursos técnicos
Dg, (Diâmetro do furo maior)	102	102	[mm]	Definido em perfuração
fk, (Fator de desgaste do bit)	0,05	0,05	-	Figura 11
tk, (Tempo para troca de bit)	3	3	[min]	(ZARE, S, 2007a)

CARREGAMENTO E DETONAÇÃO				
Tipo de explosivo	Emulsão	Emulsão	-	Definido em recursos técnicos
Equipamento perfurador	Jumbo	Jumbo	-	Definido em recursos técnicos
Número de linhas de detonação	2	2	-	Figura 13
REMOÇÃO E TRANSPORTE DOS DETRITOS				
Tipo de carregador	CAT 980G	CAT 980G	-	Definido em recursos técnicos
Tipo de transportador	Caminhão	Caminhão	-	Definido em recursos técnicos
Capacidade de carregamento	168,00	168,00	[m <sup>3</sup> /h]	Figura 16

Fonte: Autor, 2019.

#### 4.1.1 Etapas do túnel de 2,2km (Vila Nova a Zimbros)

O túnel que interliga Vila Nova a Zimbros é o de menor extensão com aproximadamente 2,2km, os tempos obtidos em cada etapa, bem como sua taxa de avanço e seu tempo total de execução são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Tempos de execução de cada etapa, túnel de 2,2km.

ETAPAS	TEMPOS
Tempo de perfuração	236,43min
Tempo de carregamento para detonação	67min
Tempo de Ventilação	28min
Tempo de remoção de detritos	335,93min
Tempo “bate choco”	125min
Tempo ocioso	106,02min
<b>Tempo total</b>	<b>898,38min</b>
<b>Taxa de avanço</b>	<b>30,35m/semana</b>
<b>Tempo de execução</b>	<b>Aprox. 18,12 meses</b>

Fonte: Autor, 2019.

#### 4.1.2 Etapas túnel 3,0km (Vila Nova Sertãozinho)

O túnel de maior extensão possui as mesmas características geológicas e geométricas do túnel anterior, por consequência, os tempos dos ciclos são os mesmos, diferenciando-se apenas no índice aplicado pelo método relacionado ao seu comprimento. No caso, esse índice reduz o tempo ocioso, refletindo em uma taxa de avanço superior ao primeiro túnel. O tempo

de execução deste túnel foi estimado em aproximadamente 24 meses, como visto na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Tempos de execução de cada etapa, túnel 3,0km.

<b>ETAPAS</b>	<b>TEMPOS</b>
Tempo de perfuração	236,43min
Tempo de carregamento para detonação	67min
Tempo de Ventilação	28min
Tempo de remoção de detritos	335,93min
Tempo “bate choco”	125min
Tempo ocioso	71,46min
<b>Tempo total</b>	<b>863,82min</b>
<b>Taxa de avanço</b>	<b>31,57m/semana</b>
<b>Tempo de execução</b>	<b>Aprox. 24 meses</b>

Fonte: Autor, 2019.

Como pode ser visto, o método NTNU forneceu estimativas do tempo de execução dos túneis dentro de valores esperados. No caso analisado, o túnel de menor comprimento teve um tempo de execução estimado em 18 meses, enquanto o de maior chegou a aproximadamente 24 meses. O próximo passo é a determinação do tempo de execução da pavimentação, para assim estabelecer um comparativo de tempo entre as alternativas.

#### 4.2 TEMPO DE EXECUÇÃO DA ALTERNATIVA DE PAVIMENTAÇÃO

O tempo de execução das alternativas de pavimentação será estimado de acordo com a produtividade gerada pelas tabelas SICRO 2 como já citado. Para os cálculos de cada etapa de execução o comportamento das atividades será tratado como ideal, assim como feito nos túneis no item anterior.

A estimativa de tempo não levará em conta as condições de clima e possíveis ocasionais que ocorram no decorrer das obras, considerando apenas as ações usuais e o tempo de ociosidade já aderido à produtividade.

As atividades posteriores ao término da execução também não entrarão no cálculo de tempo, tais como: pintura, sinalização, colocação de elementos de segurança, sistema de

comunicação, iluminação e ventilação. Essas etapas podem discutidas em trabalhos futuros, como forma de implementar os tempos calculados. Estes tempos também não foram considerados nas alternativas de túneis.

#### 4.2.1 Rotas de acesso às alternativas

Para chegar ao trecho 1 (6,2km), quem vem do Norte da BR-101, terá seu acesso pela saída 154, já para os usuários vindos do Sul, o acesso será após o posto de pedágio de Tijucas/Porto Belo no Km 157, utilizando a saída 156. Ambas saídas levaram a Avenida Governador Celso Ramos. Seguindo por esta avenida percorre-se até a rua Lúcio José Airoso, e depois até a rua dos Samagaia, que estará aproximadamente a 1 quilômetro de distância do acesso ao morro, percurso visto na Figura 49.

Para chegar ao trecho 2 (2,5km), o usuário permanecerá na Av. Governador Celso Ramos até seu encontro com a rua José Guerreiro Filho, trajeto visto na Figura 50.

Figura 49: Trajetória até o acesso ao morro de Santa Luzia.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 50: Trajeto para o segundo acesso ao trecho a ser pavimentado.



Fonte: Autor, 2018.

#### 4.2.2 Tempo de execução das pavimentações

Após conhecer o terreno onde será implantado a estrada, suas características, sua geometria, seu nível de tráfego, limitações e definir as etapas necessárias para o início do processo de pavimentação, pode-se estimar o tempo para o seu término, de forma similar ao que foi feito para os tempos dos túneis anteriormente.

Os dados de entrada utilizados para os cálculos podem ser vistos no Quadro 9. Os procedimentos detalhados de cálculo dos tempos de execução nos acessos pavimentados, encontram-se no Apêndice II.

Quadro 9: Dados de entrada pavimentação.

PAVIMENTAÇÃO ANTIGA ESTRADA MORRO SANTA LUZIA			
DADOS DE ENTRADA		UNIDADES	QUANTIDADE
PISTAS DE ROLAGEM			
Largura da faixa de rolamento	3,5	[m]	2x
Acostamento	2,5	[m]	2x
Comprimento	6,2	[km]	Definido pelo PLANMOB
	2,5		
SOLO			
CBR/(ISC)	11	[%]	Definido em solo
Tipo	Argilo Arenoso Siltoso	-	Definido em solo

CAMADAS			
Espessura total projetada	36,5	[cm]	Equação [10]
Espessura total construída	37,5	[cm]	(DNIT, 2006)
Espessura Sub-base	11	[cm]	Equação [10]
Espessura Base	15,5	[cm]	Equação [10]
Espessura Revestimento	5	[cm]	Equação [10]
N (número passagem eixo padrão)	1x10 <sup>6</sup>	-	Quadro 5

Fonte: Autor, 2019.

Com os dados de entrada embelecidos e as tabelas de produtividade de cada etapa, calcula-se os tempos de execução da pavimentação para cada trecho, mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Tempos de execução para cada etapa de cada um dos trechos de pavimentação

ETAPAS	TEMPOS	
	Trecho 2,5km	Trecho 6,2km
Tempo de execução da limpeza do terreno	61,05h	151,41h
Tempo de execução da regularização do Subleito	41,3h	102,3h
Tempo de execução Sub-base	26,5h	66h
Tempo de execução Base	43,3h	107,4h
Tempo de execução Imprimação	27,2h	68h
Tempo de execução do CBUQ	28,2h	70h
<b>Tempo total</b>	<b>228h</b>	<b>565h</b>
<b>Tempo de execução</b>	<b>1,0 meses</b>	<b>2,4 meses</b>
<b>Tempo de execução ambos os trechos</b>	<b>Aprox. 3,4 meses</b>	

Fonte: Autor, 2019.

Como resultado, estimou-se em aproximadamente 3,4 meses a execução dos 8,7 km de plataforma de rolagem inerentes da soma dos dois trechos de pavimentação que acessam a cidade de Bombinhas, sendo 1,0 meses para o menor trecho (2,5km) e 2,4 meses para o maior (6,2km).

Os tempos calculados para cada etapa foram aproximados, tendendo sempre para o arredondamento positivo, o tempo final de execução levou em consideração a carga horária de 8h por dia e sete dias por semana.

Após a determinação dos tempos de execução, o próximo passo é a obtenção dos tempos de viagem proporcionados por essas alternativas.

### 4.3 CÁLCULO DO TEMPO DE VIAGEM DAS ALTERNATIVAS

Para o cálculo do tempo de viagem, considera-se as velocidades limitantes de cada trecho e a extensão do trajeto. As distâncias entre o ponto de partida e de chegada foram obtidas com o uso da ferramenta *Google Maps*.

O cálculo do tempo de viagem levou em consideração o percurso da saída da BR-101 e entrada da cidade de Porto Belo, até os destinos escolhidos como locais de interesse dos turistas, passando por cada uma das alternativas de acesso à cidade e utilizando a infraestrutura existente para chegar aos destinos.

Como regra geral, as distâncias foram mensuradas de acordo com os menores trajetos provenientes da região de entrada e saída de cada alternativa. Os destinos foram escolhidos de acordo com a taxa de visitação, fornecido pelo levantamento turístico da temporada de 2017/2018, sendo eles as praias de: Bombas, Bombinhas, Quatro ilhas, Mariscal e Canto Grande.

#### 4.3.1 Alternativa atual

Atualmente o trajeto realizado pelos usuários que desejam entrar não cidade é feita passando pelo centro de Porto Belo pela Av. Celso Ramos até alcançar a Av. Leopoldo Zarling, acessando Bombinhas pelo bairro de Bombas. A partir desse ponto acontece a distribuição do tráfego para as outras regiões da cidade, conforme mostra a Figura 51.

Figura 51: Trajeto feito atualmente pelos usuários.



Fonte: Autor, 2019.

Com as rotas apresentadas pela figura acima, mensurou-se as distâncias e os tempos de viagem para os trajetos utilizados atualmente para cada destino, apresentados pela Tabela 5.

Tabela 5: Distância e tempo de viagem no trajeto atual.

TRAJETO ATUAL			
Percurso [km]	Distância [km]	Velocidade [km/h]	Tempo de viagem [min]
Entrada Porto Belo - Canto Grande	18,7	40	28
Entrada Porto Belo - Mariscal	17,1	40	26
Entrada Porto Belo - 4 Ilhas	16,4	40	25
Entrada Porto Belo - Bombinhas	11,9	40	18
Entrada Porto Belo - Bombas	14,1	40	21

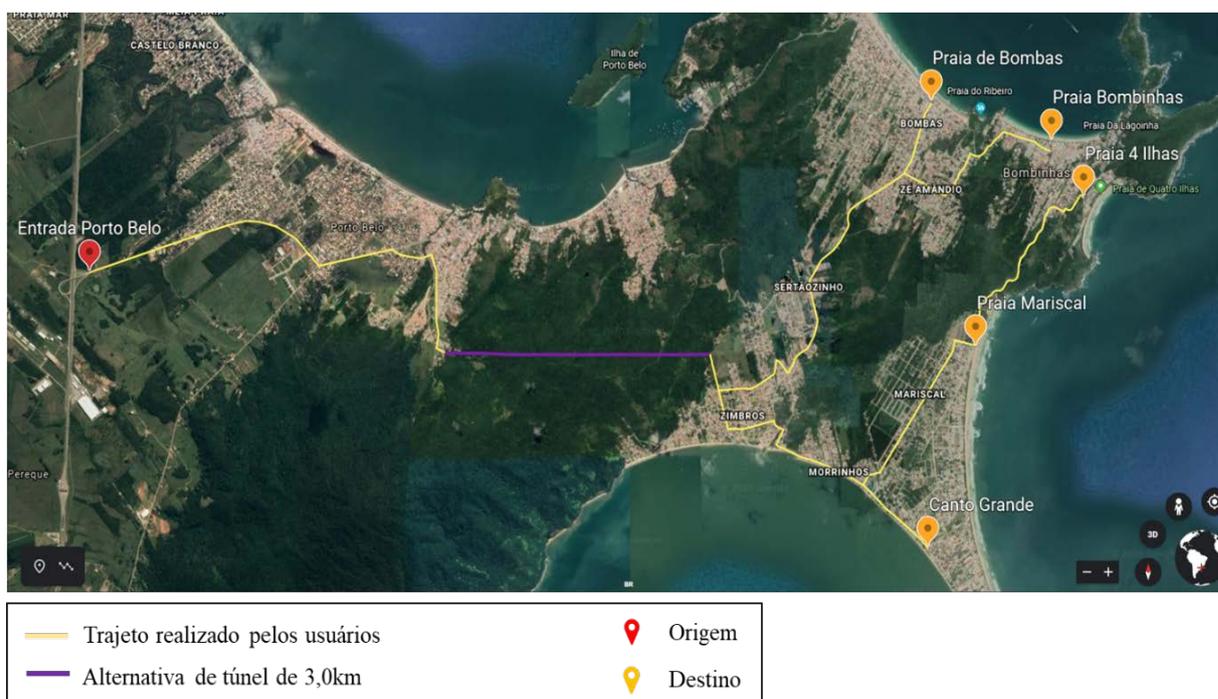
Fonte: Autor, 2019.

### 4.3.2 Alternativa de túnel de 3km

Como já citado é sabido que os túneis possuem vantagem com relação às pistas pavimentadas por terem um traçado linear, reduzindo a extensão do percurso, atravessando o obstáculo natural imposto sem mudanças de direção bruscas, possibilitando maiores velocidades e por consequência, diminuindo o tempo.

Os túneis pensados para o novo acesso partem do mesmo local, mas possuem saídas em bairros distintos. O maior deles desemboca no bairro de Sertãozinho, região ao Sul de Bombinhas, com conexão mais facilitada para os locais desta região. As rotas usadas por essa alternativa e suas distâncias podem ser vistas na Figura 52 e Tabela 6 respectivamente.

Figura 52: Trajetos utilizados pela alternativa de túnel de 3,0km.



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 6: Distâncias medidas para alternativa do túnel de 3km.

Entrada Porto Belo - Acesso ao Túnel	Extensão Túnel	Saída túnel - Pontos Selecionados	Distância Total da Viagem	
5,8	3,0	Canto Grande	4,20	13,00
		Mariscal	5,30	14,10
		4 ilhas	7,80	16,60
		Bombinhas	6,20	15,00
		Bombas	5,40	14,20

\*Medidas em km.

Fonte: Autor, 2019

Definidos as distâncias para cada trajeto determina-se os tempos de viagem para essa alternativa, mostrados na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Tempos de viagem alternativa Túnel 3,0km.

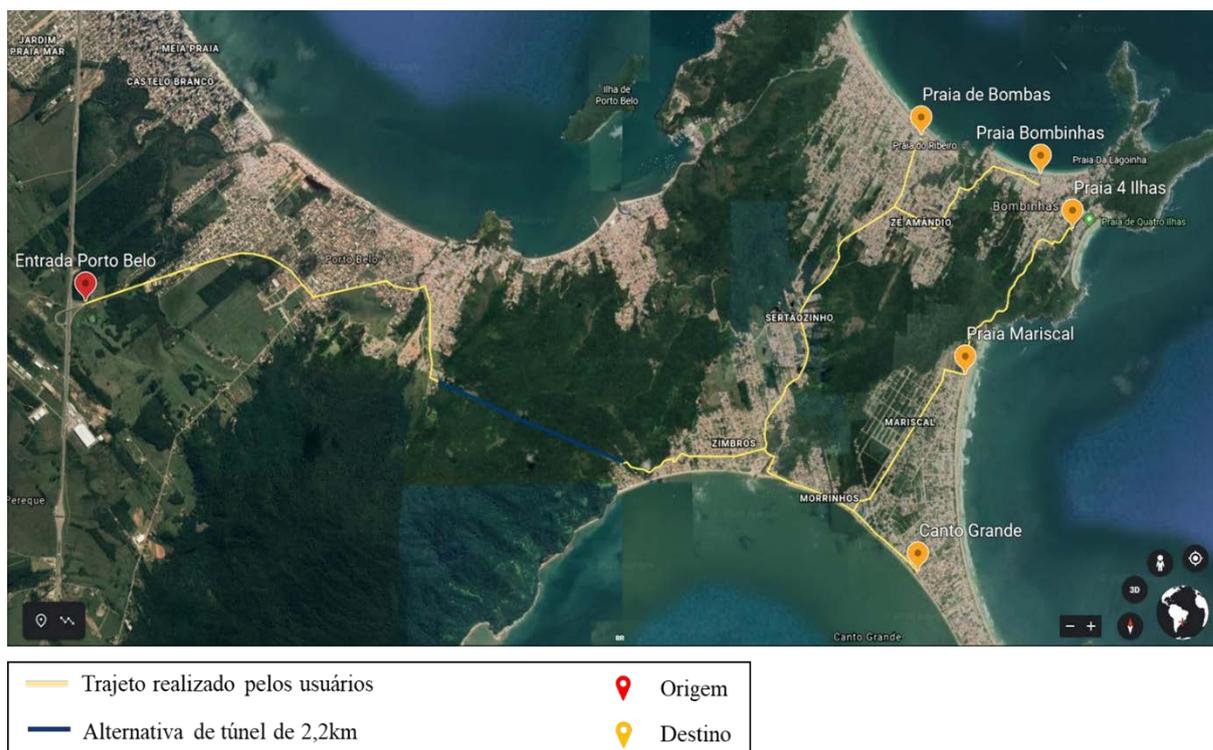
<b>ALTERNATIVA DE TÚNEL DE 3,0KM</b>				
<b>Percursos [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo (a+b) [h]</b>
a. Entrada Porto Belo - Acesso ao túnel	5,8	40	0,145	<b>0,1825</b>
b. Extensão Túnel	3	80	0,0375	
<b>Percursos [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo de viagem (a+b)+cn [min]</b>
c <sub>1</sub> . Saída do túnel - Canto Grande	4,2	40	0,105	<b>17</b>
c <sub>2</sub> . Saída do túnel - Mariscal	5,3	40	0,1325	<b>19</b>
c <sub>3</sub> . Saída do túnel - 4 Ilhas	7,8	40	0,195	<b>23</b>
c <sub>4</sub> . Saída do túnel - Bombas	6,2	40	0,155	<b>20</b>
c <sub>5</sub> . Saída do túnel - Bombinhas	5,4	40	0,135	<b>19</b>

Fonte: Autor, 2019.

#### 4.3.3 Alternativa de túnel de 2,2km

O segundo túnel tem como saída a região de Zimbros, também ao Sul de Bombinhas, local atualmente predominantemente rural, com poucas vias de distribuição. Como o túnel anterior, suas rotas são menores para os locais desta região. Os percursos e distâncias provenientes desta alternativa estão representados pela Figura 53 e Tabela 8.

Figura 53: Trajetos utilizados pela alternativa de túnel de 2,2km.



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 8: Distâncias medidas para alternativa do túnel de 2,2km.

Entrada Porto Belo - Acesso ao Túnel	Extensão Túnel	Saída túnel - Pontos Selecionados	Distância Total da Viagem
5,8	2,20	Canto Grande	4,80
		Mariscal	5,90
		4 ilhas	8,80
		Bombinhas	7,30
		Bombas	6,50
*Medidas em km.			

Fonte: Autor, 2019.

Da mesma forma que realizado anteriormente, mensurou-se os tempos de viagem dessa alternativa que podem ser vistas na Tabela 9.

Tabela 9: Tempos de viagem alternativa Túnel 2,2km.

<b>ALTERNATIVA DE TÚNEL DE 2,2KM</b>				
<b>Percurso [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo (a+b) [h]</b>
a. Entrada Porto Belo - Acesso ao túnel	5,8	40	0,145	<b>0,1725</b>
b. Extensão Túnel	2,2	80	0,0275	
<b>Percurso [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo de viagem (a+b)+cn [min]</b>
c <sub>1</sub> . Saída do túnel - Canto Grande	4,8	40	0,12	<b>18</b>
c <sub>2</sub> . Saída do túnel - Mariscal	5,9	40	0,1475	<b>19</b>
c <sub>3</sub> . Saída do túnel - 4 Ilhas	8,8	40	0,22	<b>24</b>
c <sub>4</sub> . Saída do túnel - Bombas	7,3	40	0,1825	<b>21</b>
c <sub>5</sub> . Saída do túnel - Bombinhas	6,5	40	0,1625	<b>20</b>

Fonte: Autor, 2019.

#### 4.3.4 Alternativas de pavimentação

A pavimentação possui dois trechos distintos, um pelo morro de Santa Luzia e outro que passa pelo centro de Porto Belo, perto da divisa entre as duas cidades. A interseção entre os dois trechos ocorre no último quilômetro da pavimentação, finalizando no bairro de Sertãozinho.

O local de término da pavimentação fica mais próximo dos acessos para a região Norte da cidade, encurtando a conexão com o centro de Bombinhas e seus bairros. A distribuição desse ponto para os destinos selecionados pode ser observada na Figura 54. As distâncias referentes aos trajetos de ambos os trechos são apresentadas pela Tabela 10. Já os tempos de viagem calculados foram separados de acordo com cada trecho, sendo representados pela Tabela 11 e Tabela 12.

Figura 54: Trajetos utilizados pela alternativa de pavimentação.



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 10: Distâncias medidas para alternativa de pavimentação partindo do morro de Santa Luzia.

<b>Entrada Porto Belo - Acesso pelo Morro</b>	<b>Extensão Pavimentação</b>	<b>Trecho pavimentado - Pontos Selecionados</b>		<b>Distância Total da Viagem</b>
5,8	6,20	Canto Grande	4,20	16,20
		Mariscal	5,30	17,30
		4 ilhas	6,75	18,75
		Bombinhas	4,35	16,35
		Bombas	3,55	15,55
<b>Entrada Porto Belo - 2º Acesso pavimentação</b>	<b>Extensão Pavimentação</b>	<b>2º Acesso do trecho pavimentado - Pontos Selecionados</b>		<b>Distância Total da Viagem</b>
8,00	2,5	Canto Grande	4,20	14,70
		Mariscal	5,30	15,80
		4 ilhas	6,75	17,25
		Bombinhas	4,35	14,85
		Bombas	3,55	14,05

\*Medidas em km

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 11: Tempo de viagem alternativa de pavimentação acesso pelo morro de Santa Luzia.

<b>ALTERNATIVA DE PAVIMENTAÇÃO ACESSO PELO MORRO (6,2km)</b>				
<b>Percurso [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo (a+b) [h]</b>
a. Entrada Porto Belo - Acesso Pavimentação	5,8	40	0,145	<b>0,3</b>
b. Extensão Pavimentação	6,2	40	0,155	
<b>Percurso [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo de viagem (a+b)+cn [min]</b>
c <sub>1</sub> . Saída do túnel - Canto Grande	4,2	40	0,105	<b>24</b>
c <sub>2</sub> . Saída do túnel - Mariscal	5,3	40	0,1325	<b>26</b>
c <sub>3</sub> . Saída do túnel - 4 Ilhas	6,75	40	0,16875	<b>28</b>
c <sub>4</sub> . Saída do túnel - Bombas	4,35	40	0,10875	<b>25</b>
c <sub>5</sub> . Saída do túnel - Bombinhas	3,55	40	0,08875	<b>23</b>

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 12: Tempo de viagem alternativa de pavimentação acesso pelo centro de Porto Belo.

<b>ALTERNATIVA DE PAVIMENTAÇÃO ACESSO CENTRO PORTO BELO (2,5km)</b>				
<b>Percurso [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo (a+b) [h]</b>
a. Entrada Porto Belo - Acesso Pavimentação	8	40	0,2	<b>0,2625</b>
b. Extensão Pavimentação	2,5	40	0,0625	
<b>Percurso [km]</b>	<b>Distância [km]</b>	<b>Velocidade [km/h]</b>	<b>Tempo [h]</b>	<b>Tempo de viagem (a+b)+cn [min]</b>
c <sub>1</sub> . Saída do túnel - Canto Grande	4,2	40	0,105	<b>22</b>
c <sub>2</sub> . Saída do túnel - Mariscal	5,3	40	0,1325	<b>24</b>
c <sub>3</sub> . Saída do túnel - 4 Ilhas	6,75	40	0,16875	<b>26</b>
c <sub>4</sub> . Saída do túnel - Bombas	4,35	40	0,10875	<b>22</b>
c <sub>5</sub> . Saída do túnel - Bombinhas	3,55	40	0,08875	<b>21</b>

Fonte: Autor, 2019.

Com os valores dos indicadores calculados o próximo passo é a análise dos resultados, confrontando-os entre si.

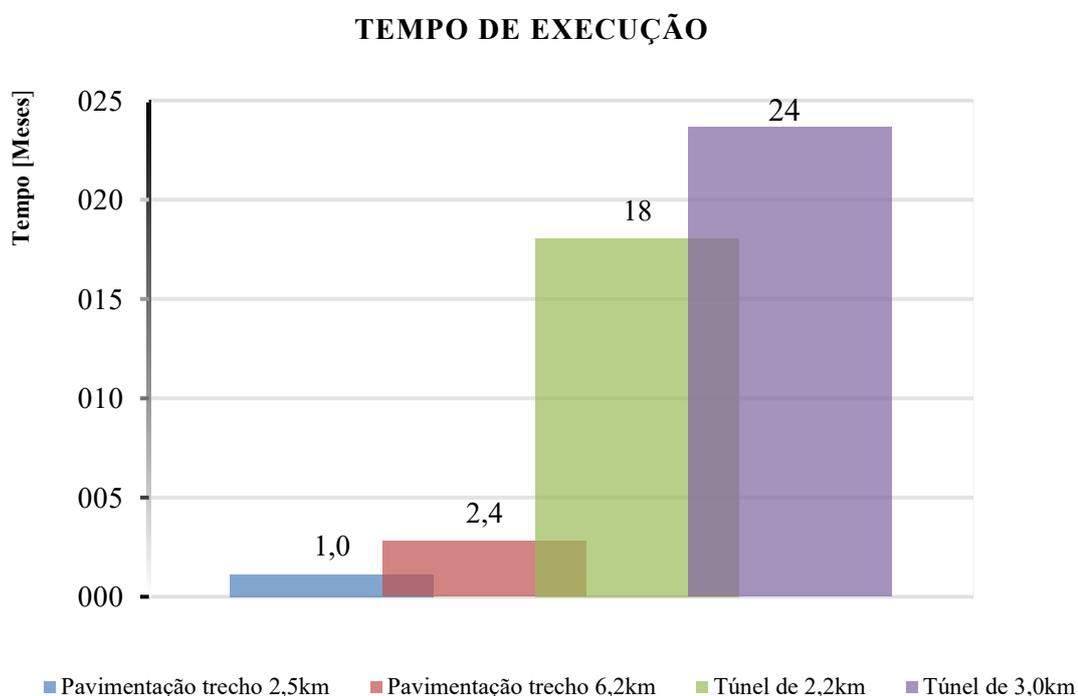
## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Determinados os indicadores, a leitura e relação dos resultados calculados será feita comparando-os de forma direta e apontando as devidas considerações aos processos construtivos.

### 5.1.1 Tempo de execução

Como já esperado os tempos de execução dos túneis são bem maiores que os tempos de execução da pavimentação na comparação direta. Considerando que todas as alternativas possuem apenas uma frente de trabalho, o menor trecho a ser pavimentado é construído 24 vezes mais rápido em comparação com o túnel de maior extensão e 18 vezes com o de menor, já a pavimentação do maior trecho (6,2km), reduz essa diferença para 10 e 7,5 vezes, respectivamente, como pode ser analisado pela Figura 55.

Figura 55: Comparação dos tempos de execução.



Fonte: Autor, 2020.

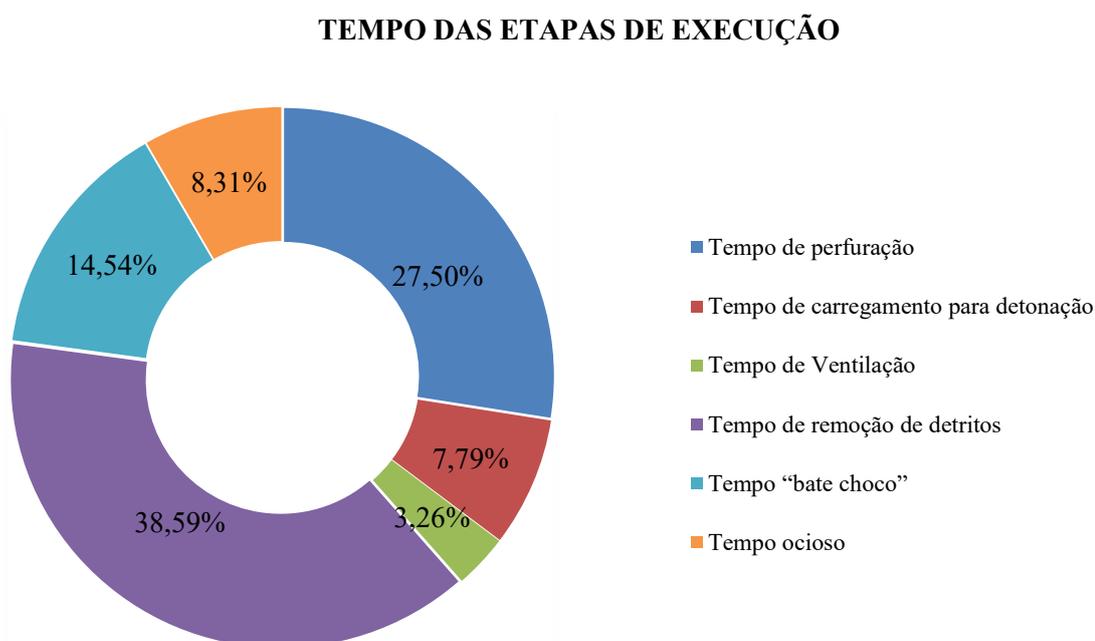
Essa grande diferença é justificada pelas extensões dos túneis que na comparação com outros executados em SC, possuem maiores comprimentos, como exemplo, o túnel do formigão, que segundo DNIT, apresenta de cerca de 1,04 quilômetros, menos da metade da extensão da alternativa de túnel de 2,2 quilômetros.

Outro ponto a ser considerado é a diferença de complexidade das alternativas, pois enquanto a pavimentação é um serviço executado em área aberta de acesso total ou parcial, os túneis são caminhos confinados em obstáculos naturais, sendo eles solo ou rocha (ROBBINS e KELLEY, 1994). Esse processo de desobstrução desses elementos, como já comentado, necessita de uma execução mais detalhada, a fim de manter a estabilidade e segurança da operação e posteriormente do usuário.

Na observação das etapas de execução do túnel, como exemplo a opção de 3 quilômetros, percebe-se, conforme Figura 56, que os maiores gastos de tempo estão na execução da perfuração e no carregamento de detritos.

Esses tempos podem ser mitigados utilizando, por exemplo, equipamentos mais sofisticados, como jumbos de perfuração com mais hastes, maquinários de maior capacidade de carga ou utilizar outra abordagem de execução, como a operação em duas frentes de trabalho.

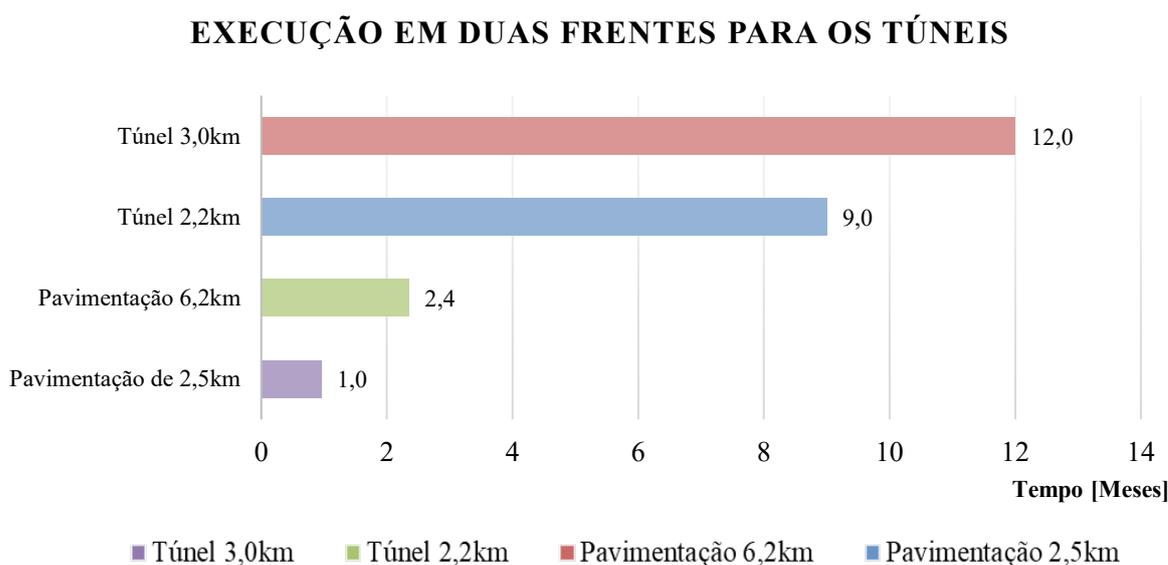
Figura 56: Percentual das etapas de execução do túnel de 3,0km.



Fonte: Autor, 2020.

A utilização de duas frentes acelera o processo construtivo, mas segundo Kuesel *et al.* (2012), deve ser aplicada somente se as condições do maciço favorecerem esse tipo de execução, não sendo indicada caso haja fraturamento ou heterogeneidade em excesso ao longo da escavação da rocha. Aplicando essa abordagem aos cálculos, obteve-se a redução ilustrada na Figura 57.

Figura 57: Tempo de execução considerando duas frentes de trabalho na construção dos túneis.



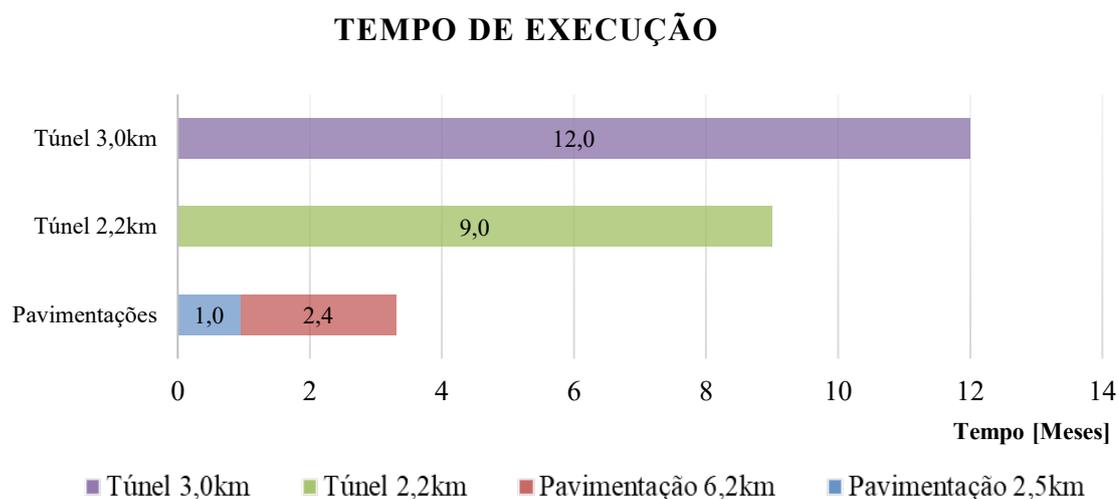
Fonte: Autor, 2020.

Com essa abordagem a opção que mais se aproxima dos resultados das pavimentações é a do túnel de 2,2 quilômetros, obtendo um tempo de execução de aproximadamente 9 meses, diferença de 89% da opção de pavimentação mais curta (2,5km) e 73,3% da mais longa (6,2km), resultados ainda elevados.

Em outra análise, ilustrada pela Figura 58, considerou-se que os trechos pavimentados sejam complementares um do outro, desta forma, a diferença entre os tempos de execução das opções caem em aproximadamente 8,6 meses na comparação da pavimentação com o túnel mais longo (6,2km), e 5,6 meses para o mais curto (2,2km).

Isso coloca o túnel mais curto (2,2km) na margem de tolerância de cronograma praticado em grandes obras de infraestrutura, tornando essa opção praticável entre as alternativas abordadas dentro dessa análise específica.

Figura 58: Comparação de tempo de execução, considerando as pavimentações conjuntas.



Fonte: Autor, 2020.

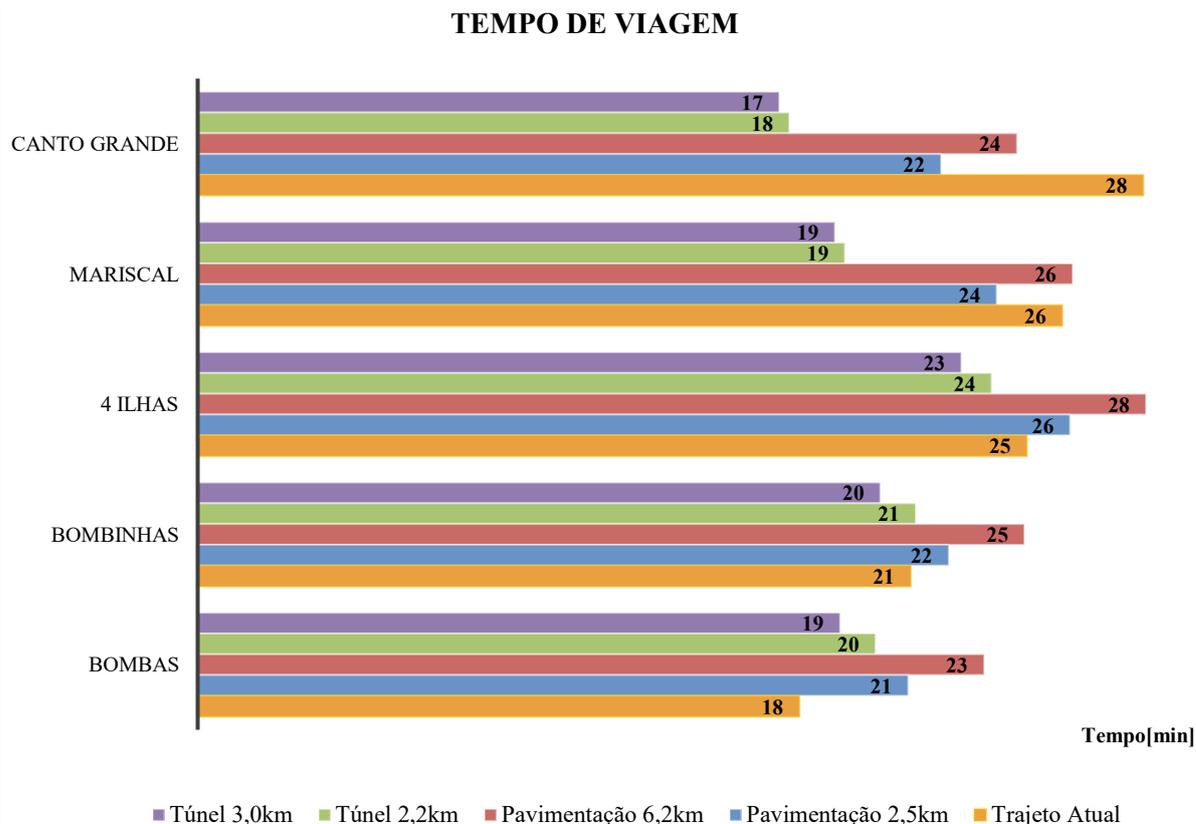
Como resultado, entende-se, que atualmente mesmo com os recursos tecnológicos apresentados, o método utilizado como referência na construção dos túneis não consegue obter um tempo de execução que seja próximo ao das pavimentações, mesmo na operação em duas frentes.

No entanto esse tipo de abordagem de trabalho ajuda a diminuir o tempo de forma a considerar as alternativas de túnel, principalmente a de menor extensão. Porém deve-se considerar que essa estratégia também irá aumentar os custos de execução na mesma proporção.

### 5.1.2 Tempo de Viagem

Diferente do tempo de execução, os tempos de viagem favoreceram os túneis, como pode ser visto na Figura 59. Dentro do comparativo a opção mais vantajosa foi a do túnel de 3 quilômetros, alternativa mais rápida em quase todos os percursos analisados, mesmo entre as opções mais curtas. Esta alternativa torna-se mais lenta somente no trecho até Bombas em comparação com o trajeto atual, que é a escolha mais rápida dentre todas para essa localidade.

Figura 59: Tempo de viagem das alternativas de acesso à Bombinhas.



Fonte: Autor, 2020.

A segunda opção mais rápida é o túnel de menor extensão (2,2km), com atraso de apenas 1 minuto em relação ao túnel mais longo. Esse resultado indica que mesmo sendo mais curto, a alternativa perde essa vantagem por ter o local onde ocorre seu desemboque mais afastado dos pontos de interesse. No entanto, essa diferença é bem pequena em comparação com as demais alternativas como observa-se no Quadro 10.

Quadro 10: Relação de ganhos e perdas de tempo entre as alternativas.

Alternativa de Túnel de 3km					
Localidades Alternativas	Canto Grande	Mariscal	4 Ilhas	Bombas	Bombinhas
Túnel [2,2km]	1	0	1	1	1
Pavimentação [6,2km]	7	7	5	5	4
Pavimentação [2,5km]	5	5	3	2	2
Trajeto atual	11	7	2	1	-1
Alternativa de Túnel de 2,2km					
Túnel [3,0km]	-1	0	-1	-1	-1
Pavimentação [6,2km]	6	7	4	4	3
Pavimentação [2,5km]	4	5	2	1	1
Trajeto atual	10	7	1	0	-2

Pavimentação 2,5km					
Túnel [3,0km]	-5	-5	-3	-2	-2
Túnel [2,2km]	-4	-5	-2	-1	-1
Pavimentação [6,2km]	2	2	2	3	2
Trajeto atual	6	2	-1	-1	-3
Pavimentação 6,2km					
Túnel [3,0km]	-7	-7	-5	-5	-4
Túnel [2,2km]	-6	-7	-4	-4	-3
Pavimentação [2,5km]	-2	-2	-2	-3	-2
Trajeto atual	4	0	-3	-4	-5

\*Medidas em [min]

[+] Mais rápido [-] Mais Lento

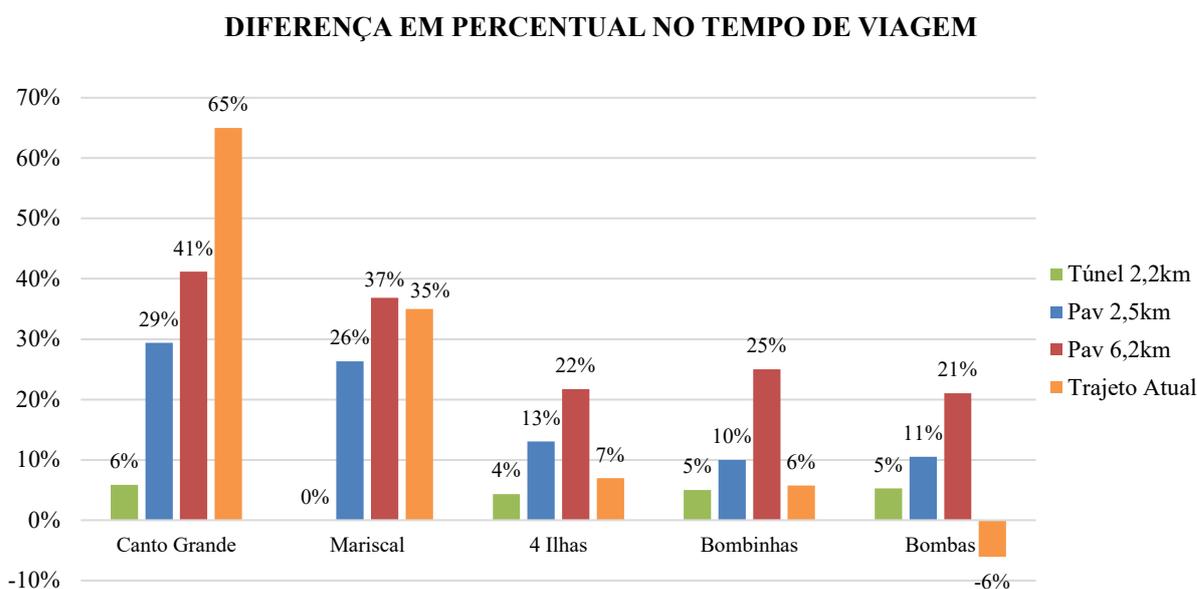
Fonte: Autor, 2020.

Entre as pavimentações, a opção de 2,5 quilômetros foi a terceira mais rápida, ficando atrás dos túneis em todas as localidades e superando o trajeto atual nos trechos de Canto Grande e Mariscal. Já a pavimentação de 6,2 quilômetros, obteve os piores resultados, apresentando tempos de viagem maiores que os obtidos pelo acesso atual.

Na comparação entre os tempos, a maior diferença ficou entre o túnel de 3,0 quilômetros e o trajeto feito atualmente até Canto Grande, cerca de 11 minutos, que equivalem a 65% do tempo da opção mais rápida, como ilustra a Figura 60.

Medindo em distância, esse tempo permite que o usuário que utilizou a opção de túnel, percorra aproximadamente 7,3 quilômetros, caso mantenha a velocidade média da via de 40km/h, o que permitiria sair de Canto Grande e chegar à praia de Bombas, percurso mostrado na Figura 61.

Figura 60: Correlação entre a diferença do tempo de viagem da alternativa mais rápida com as demais.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 61: Percurso obtido com a diferença de tempo entre a alternativa de túnel de 3,0km e o trajeto atual.



Fonte: Autor, 2020.

Esses resultados demonstram que os túneis são as opções de novo acesso que mais reduzem os tempos de viagem. Entre eles, considerando os dois indicadores, a vantagem fica com o túnel mais curto (2,2km), por possuir menor tempo de execução e tempos de viagem muito próximo ao túnel mais longo (3,0km) que é a opção mais rápida.

No entanto, a comparação também mostra que as viagens para Bombas, Bombinhas e 4 ilhas, feitos pelas novas opções de acesso, são muito próximas ou inferiores aos tempos feitos pelo usuário que trafega pelo acesso atual. Isso significa que o novo acesso não irá atender a grande maioria dos usuários, já que a maior concentração de visitantes fica nesses locais citados, como consta na Tabela 1.

Por fim, entende-se que os novos acessos trarão melhorias na mobilidade e auxiliaram na distribuição de demanda, porém, sozinhos podem não surtir um efeito suficiente para a extinção dos congestionamentos na entrada da cidade.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dadas as alternativas para o novo acesso à cidade de Bombinhas, depara-se com obras de diferentes complexidades executivas. Por este motivo deve-se avaliar os diferentes aspectos das alternativas propostas para definir a opção que melhor se enquadra às necessidades da cidade.

Analisando os resultados pela ótica do tempo de execução, não há dúvidas que as pavimentações seriam a escolha mais adequada para o novo acesso. Essas alternativas possuem como características uma simplicidade executiva, sendo obras corriqueiras no país, facilitando a agilidade da execução. Neste caso, quanto mais curta a pavimentação maior é a velocidade com que a obra será finalizada, considerando que não haja interrupções ou entraves exteriores. Por este motivo, o trecho que mais se destaca entre as pavimentações é o de 2,5 quilômetros.

No caso dos túneis os tempos de execução são mais longos devido à grande complexidade envolvida na escavação, sendo que, esses tempos podem ser alterados modificando os processos por meio de troca de equipamentos, buscando uma maior eficiência, além da possibilidade de aplicação de novas abordagens na execução, como a execução em duas frentes. Porém, o processo de escavação já demanda um alto investimento, algo que seria aumentado à medida que essas ações fossem tomadas, tornando essa opção não interessante no âmbito econômico.

Em se tratando do tempo de viagem, vê-se uma inversão na escolha da alternativa mais adequada, apontando os túneis como melhores opções. Este indicador demonstra que os túneis são superiores na redução das viagens em praticamente todos destinos, possuindo uma maior eficiência para os locais ao Sul da cidade.

Esse resultado mostra que essa opção trará uma grande ajuda no destravamento do tráfego por auxiliar na melhora da distribuição para essas regiões mais afastadas do centro, permitindo viagens mais rápidas do que as alcançadas pelas pavimentações que também contribuem nessa desobstrução, porém em menor escala.

Dentro dos resultados desse indicador a opção de túnel de 2,2 quilômetros obteve valores muito próximos aos da opção de 3,0 quilômetros, sendo essa a opção com os menores tempos de viagem. No entanto, por possuir um tempo de execução muito menor, o túnel mais curto (2,2km) seria a alternativa mais vantajosa entre os túneis.

Deste modo, baseando-se apenas nesses dois indicadores de desempenho, tem-se duas opções que se sobressaem com relação às outras, sendo elas, a pavimentação de 2,5 quilômetros e o túnel de 2,2 quilômetros. Porém, dentro do contexto analisado, a opção de pavimentação teria vantagem e seria a opção mais adequada para o novo acesso, por admitir um fluxo de veículos nos dois sentidos, algo não proporcionado pela opção de túnel proposta. Esse tipo de limitação do túnel, não alteraria os congestionamentos que ocorrem no centro de Bombinhas, que seria o único local de saída dessa opção.

No entanto, apesar da pavimentação ser a opção que melhor se encaixa nas análises realizadas, reconhece-se que, além dos indicadores estudados é necessário o uso de outros dados, como os de impacto ambiental, econômico, social, além de estudos mais abrangentes de demanda e comportamento de tráfego, para um melhor embasamento da escolha da melhor opção. Por esse motivo, não se deve descartar a opção de túnel de 2,2 quilômetros, introduzindo para a análise dessa alternativa a possibilidade de túneis duplos.

Por fim, é fundamental analisar os impactos de longo prazo que o aumento de turistas e moradores trazem à cidade, como forma de planejá-la e prepará-la, determinando assim as mudanças necessárias para o seu desenvolvimento, ao mesmo tempo que, continue a conservar suas belezas naturais e possibilitar as pessoas usufruí-las.

## 6.1 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de estudos futuros:

- Criação e análise de indicadores de impactos ambientais das alternativas;
- Análise da criação de túneis duplos nas opções de novo acesso;
- Estudo de comportamento de tráfego;
- Estudo de viabilidade de novos modais;
- Estudos de implementação de mecanismos de distribuição de tráfego;
- Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental das opções de pavimentação;
- Estudo de Viabilidade Técnica econômica e Ambiental das opções de túnel;
- Estudo de impactos econômicos e sociais na região, trazidas pela abertura de novos acessos.



## REFERÊNCIAS

- AASHTO, A. Policy on geometric design of highways and streets. **American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC**, v. 1, n. 990, p. 158, 2001.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto, e restauração**. Oficina de Textos, 2015. ISBN 8579751039.
- BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering**. John Wiley & Sons, 1989. ISBN 0471601721.
- BRASIL, I. Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. **Censo demográfico**, v. 2010, 2010.
- CATERPILLAR. Motoniveladora 120/120 AWD. 2019a. Disponível em: < [https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/motor-graders/motor-graders/4525403297539197.html](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/motor-graders/motor-graders/4525403297539197.html) >. Acesso em: 23 de Agosto,.
- \_\_\_\_\_. Rolo Compactador Liso CB10. 2019b. Disponível em: < [https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/compactors/tandem-vibratory-rollers/1000032655.html](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/compactors/tandem-vibratory-rollers/1000032655.html) >. Acesso em: 23 de Agosto,.
- \_\_\_\_\_. Trator de esteira D6N. 2019c. Disponível em: < [https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/1000033139.html](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/1000033139.html) >. Acesso em: 23 de Agosto,.
- \_\_\_\_\_. Vibroacabadora de Asfalto. 2019d. Disponível em: < [https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/asphalt-pavers/track-asphalt-pavers/1000012261.html](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/asphalt-pavers/track-asphalt-pavers/1000012261.html) >. Acesso em: 24 de Agosto,.
- CMV. Vassoura Mecânica. 2019. Disponível em: < [https://www.cmv.com.br/vassoura\\_mecanica.htm](https://www.cmv.com.br/vassoura_mecanica.htm) >. Acesso em: 23 de Agosto,.
- COSTA, M. D. S.; RAMOS, R. A.; SILVA, A. N. R. D. Índice de mobilidade urbana sustentável para cidades brasileiras. 2007.
- DAHL, F.; GRØV, E.; BREIVIK, T. Development of a new direct test method for estimating cutter life, based on the Sievers' J miniature drill test. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 22, n. 1, p. 106-116, 2007. ISSN 0886-7798.
- DENATRAN. **Estatística da frota de veículos por região**. Departamento Nacional de Trânsito 2017.
- DER. **Manual de Instruções Ambientais para Obras Rodoviárias**. Departamento de Estradas de Rolagem/PR, 2000.
- DNER. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. Divisão de Informática Técnico Científica, 1981.

DNIT. **Manual de pavimentação**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006.

\_\_\_\_\_. **Manual de Implantação Básica de Rodovias**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2010a.

\_\_\_\_\_. **Manual de Projeto Geométrico de travessias Urbanas**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2010b.

EPIROC. Dutos de Ventilação. 2019a. Disponível em: < <https://www.epiroc.com/pt-br/products/ventilation-systems/serpent-ventilation-ducting> >. Acesso em: 26 de Agosto.

\_\_\_\_\_. Jumbo de Perfuração Boomer-E3. 2019b. Disponível em: < <https://www.epiroc.com/pt-br/nossa-historia/epiroc-no-brasil> >. Acesso em: 26 de Agosto.

FRANCISCONI, A. P. D. Dimensionamento pelo método do DNER (1979) e orçamentação do pavimento da Rodovia SC-447. 2014.

FREITAS, R. Regiões Metropolitanas: uma abordagem conceitual. **REVISTA HUM@ NAE**, v. 4, n. 1, 2012. ISSN 1517-7602.

GALLEGOS. Tanque para Asfalto 30.000L. 2019. Disponível em: < <http://www.imagendigitalstudio.com/Gallegos/industria-alimenticia/tanque-inox-asfalto.php> >. Acesso em: 23 de Agosto,.

GIRMSCHIED, G.; SCHEXNAYDER, C. Drill and blast tunneling practices. **Practice periodical on structural design and construction**, v. 7, n. 3, p. 125-133, 2002. ISSN 1084-0680.

GOLLNICK, S. G. **Plano de Mobilidade de Bombinhas (PLANMOB)**. p.116. 2016

GROSTEIN, M. D. Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos" insustentáveis". **São Paulo em perspectiva**, v. 15, n. 1, p. 13-19, 2001. ISSN 0102-8839.

HAMM. Rolo Compactador Pneumático GRW18 2019. Disponível em: < <https://www.wirtgen-group.com/ocs/pt-br/hamm/rolos-de-rodas-de-borracha-119-c/> >. Acesso em: 23 de Agosto,.

HANSEN, A. M. **Norwegian TBM Tunnelling – Machines for Hard Rock and Mixed Face Conditions**. Norwegian Tunnelling Technology Publication No. 23. Oslo: Norwegian Tunnelling Society 2014.

HEINIÖ, M. **Rock excavation handbook for civil engineering**. Sandvik, Tamrock, 1999.

HILLESHEIM, C. B. V. Turismo Na Zona Costeira: Os Impactos Causados Pela Atividade No Município de Bombinhas-SC. 2006.

IMAGE ABYSS. Escavadeira CAT 980G. 2019. Disponível em: < <https://pics.alphacoders.com/pictures/view/306208> >. Acesso em: 03 de Setembro, 2019.

KUESEL, T. R.; KING, E. H.; BICKEL, J. O. **Tunnel engineering handbook**. Springer Science & Business Media, 2012. ISBN 1461304490.

LDA. Caminhão Espargidor. 2019. Disponível em: < <http://www.ldatanques.com.br/espargidor-hidrostatico-lda.html> >. Acesso em: 23 de Agosto,.

LIMA, T. D. S. **Técnica drill and blast para desmonte de rochas** 2016.

LOTURCO, B. **Travessias Subterrâneas**. *Téchne*: PINI. 127: 30 p. 2007.

MACIEL, V. F. Congestionamentos urbanos. **GV EXECUTIVO**, v. 7, n. 5, p. 20-25, 2008. ISSN 1806-8979.

MASSEY FERGUSON. Trator Agrícola MF6712 Dyna-4. 2019. Disponível em: < <https://www.masseyferguson.com.br/assets/especificacaoProduto/FOP%20MF%206700%20R%20DYNA-4%20BAIXA.pdf> >. Acesso em: 23 de Agosto,.

OJIMA, R. Novos contornos do crescimento urbano brasileiro? O conceito de urban sprawl e os desafios para o planejamento regional e ambiental. **GEographia**, v. 10, n. 19, p. 46-59, 2008. ISSN 1517-7793.

OLIVEIRA, J. L. A. D. Uma contribuição aos estudos sobre a relação transporte e crescimento urbano: o caso de João Pessoa. 2006.

ORICA. 2019. Disponível em: < [http://www.oricaminingservices.com.br/pt/page/products\\_and\\_services/packaged\\_explosives/packaged\\_explosives](http://www.oricaminingservices.com.br/pt/page/products_and_services/packaged_explosives/packaged_explosives) >. Acesso em: 23 de Agosto.

PADRON, L. Opções de ligação Porto Belo, Bombinhas. 2017. Disponível em: < <https://www.facebook.com/1954085008144646/photos/a.1954089714810842/1954653238087823/?type=3&theater> >. Acesso em: 7 de Fevereiro, 2018.

POLIDORI, M. C. Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. 2005.

PREFEITURA DE BOMBINHAS. Resultado da Demanda Turística. Secretaria de Turismo e Desenvolvimento Econômico, 2018. Disponível em: < [http://turismo.bombinhas.sc.gov.br/static/upload/paginas/arquivos/Resultado\\_Pesquisa\\_Demanda\\_2017\\_2018.pdf](http://turismo.bombinhas.sc.gov.br/static/upload/paginas/arquivos/Resultado_Pesquisa_Demanda_2017_2018.pdf) >.

PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS. Curiosidades, dicas de cultura, túnel Antonieta de Barros. 2014. Disponível em: < <https://guiafloripa.com.br/dicas/dicas-de-cultura/antonieta-de-barros.php> >. Acesso em: 10 Agosto.

PREFEITURA DE TUBARÃO. **Escavação do túnel do Morro do Formigão é concluída**: Portal da Transparência 2014.

PROSUL. **Estudo de Impacto Ambiental Complemento 1 FATMA** 2017a.

\_\_\_\_\_. **Estudo de Impacto Ambiental Complemento 2 FATMA 2017b.**

\_\_\_\_\_. **Estudo de Impacto Ambiental Informações Técnicas FATMA 2017c.**

R3CICLO. Martelo Hidráulico. 2019. Disponível em: <  
<http://r3ciclo.com.br/equipamentos/escavadeira-de-50-tons-com-rompedor-hidraulico/>>.  
 Acesso em: 23 de Agosto,.

ROBBINS, R.; KELLEY, M. Tunnelling machine development for undersea projects—a review of the issues. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 9, n. 3, p. 323-328, 1994/07/01/ 1994. ISSN 0886-7798. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0886779894900574>>.

RODRIGUES FILHO, S. Estudo econômico comparativo entre tipos de pavimentos. 2006.

ROMANELLI. Distribuidor de Agregados 2019. Disponível em: <  
[https://www.aecweb.com.br/prod/e/distribuidor-de-agregado-dar-5000\\_26563\\_20502](https://www.aecweb.com.br/prod/e/distribuidor-de-agregado-dar-5000_26563_20502)>.  
 Acesso em: 24 de Agosto,.

SICRO 2. **Sistema de Custos Referenciais de Obras DNIT.** Departamento de infraestrutura de transporte 2016.

STEWART, P.; RAMEZANZADEH, A.; KNIGHTS, P. Benchmark drill and blast and mechanical excavation advance rates for underground hard-rock mine development. 2006 Australian Mining Technology Conference, "Value through Cost Control", Hunter Valley, NSW, The Australian Institute of Mining and Metallurgy, 2006.

TELLES, R.; FIGUEIREDO, A. Possibilidades de incorporação de novas tecnologias em anel de concreto pré-fabricado para túneis com tuneladora. **CONCRETO & Construções, São Paulo**, v. 33, n. 41, p. 30-35, 2006.

THEWES, M. et al. Report on Underground Solutions for Urban Problems. 2012.

THURO, K. Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast tunnelling. **Geologische Rundschau**, v. 86, n. 2, p. 426-438, 1997. ISSN 0016-7835.

VALENTINI, G. Congestionamentos na Cidade de Bombinhas. 2013. Disponível em: <  
<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/verao/2013/noticia/2013/01/especialista-diz-que-pedagio-em-bombinhas-e-constitucional.html>>.

VOLKSWAGEN. Constallation 32.360. 2019. Disponível em: <  
<https://www.vwco.com.br/produtos-volkswagen/modelo/constellation-7/constellation-32-360-151>>.  
 Acesso em: 23 de Agosto,.

XCMG. Rolo Compactador Pé de Carneiro XS123PDBR. 2019. Disponível em: <  
<https://macromaq.com/site/categoria-produto/xcmg/rolo-compactador-xs123pdbr/>>.  
 Acesso em: 23 de Agosto,.

ZARE, S. **Drill and Blast Tunnelling Advance Rate:** Doctoral Theses at Norwegian University of Science and Trondheim 2007a.

\_\_\_\_\_. **Drill and Blast Tunnelling Brast Design**: Doctoral Theses at Norwegian University of Science and Trondheim 2007b.

\_\_\_\_\_. Prediction model and simulation tool for time and costs of drill and blast tunnelling. **Department of Civil and Transport Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway**, 2007c.

ZARE, S.; BRULAND, A. Comparison of tunnel blast design models. **Tunnelling and underground space technology**, v. 21, n. 5, p. 533-541, 2006. ISSN 0886-7798.



## APÊNDICE A

Este apêndice tem como objetivo apresentar o formulário do cálculo de tempo de execução de acordo com a estrutura do modelo de predição de desempenho NTNU.

## TÚNEIS DE ACESSO À BOMBINHAS

Anderson M.P.		Alternativas de Túnel	Túnel 2,2km	Túnel 3,0km	Unidades
<b>1. Taxa de penetração</b>					
As	Área da seção transversal		137,00	137,00	
SPR	Coefficiente de detonação		Bom	Bom	
lh	Comprimento do furo perfurado		500	500	[cm]
DRI	Coefficiente de escavabilidade	Figura 8	65	65	
<b>Furos pequenos</b>					
Nb	Número de furos pequenos	Figura 9	167,00	167,00	
dh	Dímetro do furo	Zare (2007b)	48	48	[mm]
kbl	Coef. Correção do comprimento de perfuração	Figura 9	1	1	
Nh	Número de furos corrigido	( $N_b \cdot k_{bl}$ )	167	167	
<b>Furos grandes</b>					
Ng	Número de furos grandes	Figura 10	3	3	
dg	Dímetro do furo maior	Figura 10	102,00	102,00	[mm]
<b>Taxa de penetração para furos pequenos</b>					
	Tipo de perfuratriz		Boomer E3	Boomer E3	
Nm	Número de martelos de perfuração		3,00	3,00	
vb	Penetração padrão dos furos	Figura 11	207,00	207,00	[cm/min]
khv	Coef. Correção diâmetro, %	Zare (2007a)	100	100	%
vh	Penetração dos furos pequenos	$\frac{v_b \cdot k_{hv}}{100}$	207,00	207,00	[cm/min]
<b>Taxa de penetração para furos grandes</b>					
vb	Penetração padrão dos furos		207,00	207,00	[cm/min]
kgv	Coef. Correção diâmetro, %	Zare (2007a)	42,00	42,00	%
vg	Penetração dos furos grandes	$\frac{v_b \cdot k_{gv}}{100}$	86,94	86,94	[cm/min]
<b>2. Tempo de perfuração</b>					
Th	Tempo de perfuração furos pequenos	$\frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m}$	134,46	134,46	[min]
Tg	Tempo de perfuração furos grandes	$\frac{l_g \cdot N_g}{v_g \cdot N_m} \cdot 1,25$	5,75	5,75	[min]
tf	Tempo de mudança de furo		0,75	0,75	[min]
Tf	Tempo total de mudanças de furos	$\frac{t_f \cdot (N_h + 2 \cdot N_g)}{N_m}$	43,25	43,25	[min]
Tst	Tempo para adição de haste		0	0	[min]
<b>Tempo perdido na execução</b>					
RWQ	Coefficiente de abrasividade	Zare (2007a)	Alto	Alto	
fk	Fator de desgaste do bit	Figura 13	0,05	0,05	
tk	Tempo para troca de um bit	Zare (2007a)	3	3	[min]
Tk	Tempo para troca de bit	$\frac{t_k \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{100 \cdot N_m}$	43,25	43,25	[min]
fia	Fator de perda operacional	Figura 14	0,05	0,05	
Tsa	Tempo de perda operacional	$f_{ia} \cdot (T_h + T_g + T_f)$	9,72	9,72	[min]
Tb	Tempo de perfuração	$(T_h + T_g + T_f + T_a + T_{st})$	236,44	236,44	[min]

3. Tempo de carregamento					
	Número de linhas de carregamento		3,00	3,00	
T <sub>b</sub>	Tempo padrão de carregamento	Figura 13	67	67	[min]
K <sub>ll</sub>	Coef Correção diâmetro	Figura 13	1	1	
T <sub>l</sub>	Tempo de carregamento	$(T_b \cdot k_{ll})$	67	67	[min]
4. Tempo de perfuração, carregamento e detonação					
T <sub>rb</sub>	Tempo adicional	Zare (2007a)	34,00	34,00	[min]
T <sub>lb</sub>	Tempo perdido	$(T_b + T_r + T_{rd}) \cdot 0,111$	37,46	37,46	[min]
I	Tempo de perfuração, carregamento e detonação	$T_b + T_r + T_{rb} + T_{lb}$	374,89	374,89	[min]
5. Tempo de ventilação					
II	Tempo de ventilação	Figura 14	28	28	[min]
6. Tempo de carregamento e transporte					
f <sub>o</sub>	Coef Escavação adicional	Figura 15	1,17	1,17	
V <sub>r</sub>	Volume real por ciclo	$\frac{A_s \cdot l_h \cdot f_o \cdot p_r}{100 \cdot 100}$	721,31	721,31	[m <sup>3</sup> ]
T <sub>lt</sub>	Tempo de carregamento por ciclo	$\frac{V_r \cdot 60}{Q_l}$	257,61	257,61	[min]
T <sub>rd</sub>	Tempo adicional	Figura 17	41	41	[min]
T <sub>rl</sub>	Tempo perdido	$(T_{lr} + T_{rd}) \cdot 0,111$	33,15	33,15	[min]
III	Tempo de carregamento e transporte	$T_{lr} + T_{rl} + T_{rd}$	331,75	331,75	[min]
7. Tempo de "bate-choco"					
SPR	Coeficiente de detonação	Zare (2007a)	Bom	Bom	
T <sub>r</sub>	Tempo padrão para "bate choco"	Figura 18	125,00	125,00	[min]
k <sub>dr</sub>	Fator de correção comprimento perfurado	Figura 18	1	1	
IV	Tempo de "bate-choco"	$(T_r \cdot k_{dr})$	125	125	[min]
8. Tempo total do ciclo					
T <sub>nr</sub>	Tempo líquido do ciclo	$(I + II + III + IV)$	859,64	859,64	[min]
T <sub>n</sub>	Tempo adicional para outras cavidades	Zare (2007a)	0,00	0,00	[min]
k <sub>de</sub>	Fator de correção de tratamento e comprimento do túnel	Zare (2007a)	1,04	1	
T <sub>tr</sub>	Tempo total do ciclo	$(T_{nr} + T_n) \cdot k_{de}$	894,03	859,64	[min]
9. Taxa de avanço					
hw	Horas trabalhadas por semana	Zare (2007a)	101,00	101,00	[h/sem]
Taxa avanço		$\frac{h_w \cdot 60}{T_{tr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$	30,50	31,72	[m/sem]
T <sub>exec</sub>			18	24	meses



## **APÊNDICE B**

Este apêndice tem como objetivo apresentar o formulário do cálculo de tempo de pavimentação de acordo com os dados das tabelas SICRO 2 e método DNER 79.

PAVIMENTAÇÃO DE ACESSO À BOMBINHAS				
<i>Anderson M Pains</i>				
Características	Alternativas	Pavimentação 1	Pavimentação 2	Unidades
Ep Extensão Pavimentação		6200,00	2500,00	[m]
Largura pista rolamento		7,00	7,00	[m]
Acostamento		2,50	2,50	[m]
N Número passagem eixo padrão	Equação 9	1x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>6</sup>	
CBR		11,00	11,00	[%]
Hmp Espessura total de projeto	Equação 10	36,50	36,50	[cm]
Hm Espessura total executada	R+B+h20	37,50	37,50	[cm]
Epessura Revestimento	Quadro 5	5,00	5,00	[cm]
Epessura Base	Equação 11	15,50	15,50	[cm]
Epessura Sub-base	Equação 12	11,00	11,00	[cm]
Epessura Sub-base corrigido	(DNIT, 2006)	17,00	17,00	[cm]
<b>I. Limpeza mecanizada camada vegetal</b>				
A Área	$Ep * Lm$	86056,00	34700,00	[m <sup>2</sup> ]
P Produtividade	Figura 38	568,38	568,38	[m <sup>2</sup> /h]
Tempo de execução	$\frac{A}{P}$	<b>151,41</b>	<b>61,05</b>	[m <sup>2</sup> /h]
<b>II. Regularização do sub-leito</b>				
A Área	$Ep * Lm$	86056,00	34700,00	[m <sup>2</sup> ]
P Produtividade	Figura 40	841,00	841,00	[h]
Tempo de execução	$\frac{A}{P}$	<b>102,33</b>	<b>41,26</b>	[m <sup>2</sup> /h]
<b>III. Execução da sub-base</b>				
V Volume por metro de talude	$\frac{(Lm+Ln)}{2} * h20$	2,26	2,26	[m <sup>3</sup> /m]
P Produtividade	Figura 42	216,26	216,26	[m <sup>3</sup> /h]
Tempo de execução	$\frac{A}{P}$	<b>64,79</b>	<b>26,13</b>	[h]
<b>IV. Execução da base</b>				
V Volume por metro de talude	$\frac{(Ln+Ls)}{2} * B$	1,96	1,96	[m <sup>3</sup> /m]
P Produtividade	Figura 43	113,18	113,18	[m <sup>3</sup> /h]
Tempo de execução	$\frac{A}{P}$	<b>107,37</b>	<b>43,29</b>	[h]

**V. Imprimação**

A	Área	$E_p * L_s$	76012,00	30650,00	
P	Produtividade	Figura 45	1125,00	1125,00	[m <sup>2</sup> /h]
	Tempo de execução	$\frac{A}{P}$	67,57	27,24	[h]

**VI. Revestimento**

Vr	Volume por metro de pavimento	$\frac{(Lr+LR)}{2} * R$	0,36	0,36	[m <sup>3</sup> /h]
P	Produtividade	Figura 47	83,00	83,00	[ton/h]
Dr	Densidade Revestimento	(DNIT, 2006)	2,60	2,60	[ton/m <sup>3</sup> ]
	Tempo de execução	$\frac{(Vr * Dr * Ep)}{P}$	69,92	28,19	[h]

**VII. Tempo Total de Execução**

I+II+III+IV+V+VI	563,38	227,17	[h]
------------------	--------	--------	-----

