

Jair José dos Passos Junior

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PREDIÇÃO DE DESEMPENHO  
NTNU:  
ANÁLISE DE ESCAVAÇÃO DOS TÚNEIS DO CONTORNO  
RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Transportes

Orientador: Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.

Coorientador: Rafael Pacheco dos Santos, Dr.

Florianópolis  
Dezembro/2018

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

Passos Junior, Jair José dos

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PREDIÇÃO DE DESEMPENHO  
NTNU : ANÁLISE DE ESCAVAÇÃO DOS TÚNEIS DO CONTORNO  
RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS / Jair José dos  
Passos Junior ; orientador, Marcos Aurélio Marques  
Noronha, coorientador, Rafael Pacheco dos Santos,  
2018.

137 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão  
Territorial, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

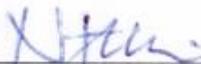
1. Engenharia de Transportes e Gestão  
Territorial. 2. Mobilidade Urbana. 3. Contorno  
Viário. 4. Engenharia de Túneis. 5. NTNU. I.  
Noronha, Marcos Aurélio Marques. II. Santos, Rafael  
Pacheco dos. III. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Transportes e Gestão Territorial. IV. Título.

Jair José dos Passos Junior

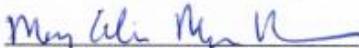
**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PREDIÇÃO DE DESEMPENHO  
NTNU:  
ANÁLISE DE ESCAVAÇÃO DOS TÚNEIS DO CONTORNO  
RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

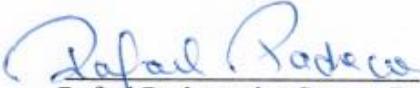
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

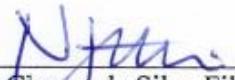
Florianópolis, 20 de dezembro de 2018.

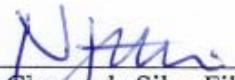
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Norberto Hochheim, Dr.  
Coordenador do Curso

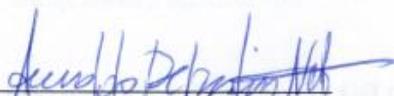
**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

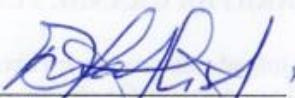
  
\_\_\_\_\_  
Rafael Pacheco dos Santos, Dr.  
Coorientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Francisco Chagas da Silva Filho, Dr.  
Universidade Federal do Ceará (Videoconferência)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Norberto Hochheim .  
Coordenador PPGTG  
Portaria nº 2818/2017/GR



Prof. Arnaldo Debatin Neto, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



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

Dedico este trabalho aos meus pais, Jair dos Passos e Simone de Souza. Sem eles nada disso seria possível. Minha eterna gratidão por ter vocês em minha vida.



## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço ao meu pai, uma pessoa sem igual. É e sempre será meu exemplo de caráter para o resto de minha vida. Sem sua presença sempre constante e disposto a ajudar não só a mim, mas como a todos os que o cercam, eu não conseguiria chegar até aqui. A minha mãe, sempre ao meu lado em tudo que precisei, seu companheirismo e amizade me mostraram um amor sem igual. A minha irmã, a qual tenho um amor imensurável, sempre estarei presente para ajudá-la. A minha namorada, Daniella Ferreira, descrever sua ajuda durante a construção deste trabalho não caberia nesta página, tenha certeza, sem você nada disso seria possível. A minha madrinha, Silvânia, tenho você como uma segunda mãe e o Jhuan como um irmão. Ao meu Padrinho e Tia Lorena, companheiros do café da manhã de todos os dias, obrigado por sempre se fazerem presentes. Aos meus avós e demais familiares, vocês são a base de tudo.

Há também de se exaltar aqueles que estiveram e estão ao meu lado diariamente, meu coorientador e amigo Rafael Pacheco, meus companheiros de trabalho e também amigos Lidiani Pierri e Anderson Pains, suas contribuições tem marca por todo o texto, assim como em minha carreira como pesquisador. Ao meu orientador, Prof. Marcus Noronha, pela parceria de alguns anos e pela contribuição com minha formação, sempre incentivando e abrindo portas, uma pessoa fantástica e alegre, Valeu Professor!

Aos amigos Jhonatan e Nayara, pela amizade de anos e pela compreensão da ausência nesses últimos meses, logo estaremos no ritmo novamente. Aos meus sogros, Valda e Valdir e minha cunhada, Chirley, obrigado por todos os momentos juntos.

Por fim, a todos que de alguma forma estão presentes em minha vida, todos têm papel importante na minha trajetória e assim meu muito obrigado!



## RESUMO

O aumento no número de veículos juntamente com a falta de investimento em infraestrutura tem alterado o cenário urbano de diversas cidades brasileiras nas últimas duas décadas. A falta de planejamento observada em todo o país resulta em um crescimento urbano desenfreado nos entornos das rodovias, fazendo com que estas, antes projetadas para tráfego de passagem, agora sejam utilizadas para o tráfego intermunicipal dessas regiões. Na região da Grande Florianópolis esse cenário não é diferente. O crescimento da região a partir de 1970 levou ao surgimento do chamado Conurbado Urbano de Florianópolis, sendo composto pelos quatro municípios da região (Palhoça, Biguaçu, São José e Florianópolis). Cortando essa área, a BR-101 serviu como um dos muitos vetores de crescimento nessa área, passando a servir em grande parte para a locomoção da população entre os municípios. Com isso, os problemas de mobilidade urbana são observados diariamente pelos moradores, os intensos congestionamentos levam as autoridades locais a buscar por soluções para ao menos amenizar esse problema. Uma dessas alternativas é o Contorno Viário de Florianópolis, uma obra com objetivo de desviar 20% do tráfego da BR-101 contando com uma extensão total de 47,3 km, iniciando na cidade de Biguaçu e reencontrando a BR-101 no município de Palhoça. A obra faz parte das obrigações contratuais do contrato de concessão da BR-101 por parte da Autopista Litoral Sul, e seu prazo de entrega vem tendo postergado desde 2012. Dentre as atividades ainda a serem executadas, um conjunto de quatro túneis duplos é o grande ponto de dúvida sobre o prazo atualmente estipulado. A melhor forma de se avaliar o prazo de entrega é através de uma metodologia técnica e de comprovada eficiência. O modelo de predição de desempenho de escavações NTNU, desenvolvido pelo Instituto Norueguês de Tecnologia, é baseado em mais de 5.000 km de escavações pelo método de execução *Drill and Blast* e fornece uma metodologia sistemática para se determinar o tempo de escavação dos quatro túneis duplos de forma confiável. Este trabalho visa avaliar o tempo de escavação desses túneis através do método NTNU, fornecendo assim uma resposta para a sociedade quanto a situação real de uma obra de tamanha importância para os moradores da região. A aplicação do método mostrou um tempo de escavação variando entre sete a oito meses para cada túnel, sendo que a melhor alternativa buscando uma relação custo-benefício, resulta na adoção de quatro equipes de trabalho, concluindo o processo de escavação dentro de um ano e quatro meses, prazo que permite a execução

dos serviços adicionais, bem como possíveis imprevistos que possam atrasar a obra.

**Palavras-chave:** Mobilidade Urbana. Contorno Viário. Engenharia de Túneis. NTNU.

## ABSTRACT

The raise in the number of vehicles and the lack of investment in infrastructure, have transformed the urban scenario of several Brazilian cities in the last two decades. The absence of urban planning observed throughout the country results in an excessive urban growth in the surroundings of the highways. Thus, these highways, previously designed for passing traffic, are now been used for inter-municipal transit. In the locality Greater Florianopolis Area, this scenario doesn't change. The growth of the region since 1970 led to the development of the so-called "Area Conurbada de Florianopolis", where the four counties of the region (Palhoça, Biguaçu, São José and Florianopolis) end up constituting a single urban area. Passing through this zone, the BR-101 highway served as one of the vectors for urban growth, beginning to be used in a great part of its capacity for the mobility of the population among the counties. As a result, the problems of traffic jams in the area are observed daily by its inhabitants, leading the local authorities to search for solutions that can at least mitigate the problem. One of the proposed alternatives is the Florianopolis Road By-pass, an enterprise with the purpose to reduce in 20% the BR-101 traffic. Having a total length of 47.3 km, it starts in the city of Biguaçu and ends in the BR-101 in Palhoça. This enterprise is part of the contractual obligations of the concession contract of the BR-101 by Autopista Litoral Sul, having its deadline delayed since 2012. The construction of the road by-pass started in 2014, and after several setbacks and changes in the road path, the current deadline is December 2021. Among the remaining activities, construction of the four double tunnels is the great uncertainty about the currently estimated deadline. The present work aims to estimate the construction time to build these tunnels using the internationally renowned methodology NTNU, developed by the Norwegian Institute of Technology based on more than 5.000 km of excavations using the Drill and Blast tunneling method. The application of the method results in an excavation time between seven to eight months for each tunnel, being the prime alternative aiming the best cost benefit the use of four digging crews, resulting in a total time of one year and four months to conclude the excavation process. With that, possible setbacks during the activities don't plight the final time, and thus, allow the execution of extra services to complete the tunnel construction.

**Keywords:** Urban Mobility. Road By-pass. Tunneling. NTNU



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do contorno rodoviário de Florianópolis com a localização e identificação dos pares de túneis. ....	23
Figura 2 - Região litorânea e interior do estado de Santa Catarina e o traçado da BR-101.....	25
Figura 3 - Distribuição da população em áreas urbanas e rurais no estado partir de 1960. ....	26
Figura 4 - Municípios que compõem o Conurbado Urbano de Florianópolis. ....	27
Figura 5 - Manchas urbanas do Conurbado Urbano de Florianópolis nas décadas de 50 e 70 respectivamente.....	28
Figura 6 - Manchas urbanas do Conurbado Urbano de Florianópolis na década de 90 e no ano de 2014 respectivamente. ....	28
Figura 7 - Saturação de tráfego na Grande Florianópolis em 2014.....	31
Figura 8 – Previsão de saturação de tráfego vias da Grande Florianópolis no ano de 2040. ....	31
Figura 9 - Trajeto do Contorno Rodoviário da Grande Florianópolis...	32
Figura 10 - Primeira alteração de traçado do Contorno Rodoviário de Florianópolis. ....	35
Figura 11 - Geometria da seção transversal do perfil T12.5 .....	37
Figura 12 - Sequência completa das atividades do método <i>Drill and Blast</i> .....	40
Figura 13 - Ábaco para determinação do número de furos pequenos. ..	42
Figura 14 - Ábaco para determinação do número de furos grandes e seus diâmetros. ....	43
Figura 15 - Coeficiente DRI baseado no tipo de formação rochosa.....	44
Figura 16 -Ábaco para determinar a taxa de perfuração dos furos de detonação.....	44
Figura 17 - Fator para obtenção da taxa de penetração líquida. ....	45
Figura 18 - Tempo de mudança de furo baseado na profundidade de perfuração.....	46
Figura 19 – Frequência de troca dos bits baseada no RWQ. ....	47
Figura 20 - Fator de perda operacional em função da seção transversal, taxa de penetração e o número de lanças de perfuração e operadores...	48
Figura 21 - Tempo de carregamento do material explosivo por ciclo de detonação para uma profundidade de perfuração de 5 metros. ....	49
Figura 22 - Rig time baseado no equipamento utilizado durante a etapa de carregamento. ....	50
Figura 23 - Tempo necessário de ventilação de acordo com a seção transversal e o material explosivo utilizado. ....	50

Figura 24 - Fator de overbreaking devido a área da seção transversal..	51
Figura 25 - Capacidade de carga por hora baseada na composição dos equipamentos adotados. ....	52
Figura 26 - Tempo ocioso por ciclo baseado na seção transversal do túnel e do equipamento utilizado no processo. ....	53
Figura 27 - Tempo de bate-choco em função da área da seção transversal e do método de execução. ....	54
Figura 28 - Tempo de perfuração e instalação dos tirantes como forma de suporte das paredes do túnel. ....	55
Figura 29 - Fator de correção em relação ao comprimento do túnel.....	56
Figura 30 - Horas de trabalho disponíveis por semana de acordo com a duração dos turnos de trabalho das equipes .....	57
Figura 31 - Taxa de avanço semanal para diversas combinações de túneis e equipamentos de execução. ....	58
Figura 32 - Tempo de perfuração: Comparação de dados de campo x Previsões do NTNU .....	59
Figura 33 - Tempo de carregamento/transporte: Comparação de dados de campo x Previsões do NTNU.....	60
Figura 34 - Tempo de ventilação: Comparação de dados de campo x Previsões do NTNU. ....	60
Figura 35 - Tempo de bate-choco: Comparação de dados de campo com as previsões do NTNU. ....	61
Figura 36 - Tempo do ciclo Drill and Blast: Comparação de dados de campo com as previsões do NTNU.....	62
Figura 37 - Diagrama de Atividades. ....	64
Figura 38 - Seção típica de escavação adotada (Dimensões em centímetros).....	66
Figura 39 - Jumbo de perfuração equipado com três lanças e plataforma de trabalho.....	67
Figura 40 - Área de cobertura do equipamento adotado nas análises. ..	67
Figura 41 - Escavadeira com martelo hidráulico realizando o procedimento de bate choco nas paredes de um túnel. ....	68
Figura 42 - Dimensões da carregadeira de rodas CAT 980G .....	69
Figura 43 - Detalhe de instalação de um dos tirantes metálicos. ....	70
Figura 44 - Sequência de tirantes metálicos como solução de suporte. ....	71
Figura 45 - Perfil longitudinal da formação geológica em relação ao túnel 3. ....	73
Figura 46 - Sobreposição do mapa geológico de Santa Catarina e o traçado do contorno viário. ....	75
Figura 47 – Faixa de valores para o índice de explosividade por tipo de formação rochosa. ....	77

Figura 48 – Distribuição das etapas do ciclo <i>Drill and Blast</i> para o túnel 1.....	82
Figura 49 - Distribuição das etapas do ciclo <i>Drill and Blast</i> para o túnel 2.....	84
Figura 50 - Distribuição das etapas do ciclo <i>Drill and Blast</i> para o túnel 3.....	85
Figura 51 - Distribuição das etapas do ciclo <i>Drill and Blast</i> para o túnel 4.....	86
Figura 52 – Disposição dos túneis e andamento das atividades da obra	89
Figura 53 - Cronograma de execução para uma única equipe de trabalho. ....	91
Figura 54 - Cronograma de execução para duas equipes de trabalho....	92
Figura 55 - Cronograma de execução para três equipes de trabalho. ....	92
Figura 56 - Cronograma de execução para quatro equipes de trabalho. ....	93
Figura 57 - Cronograma de execução para cinco equipes de trabalho. .	94
Figura 58 - Cronograma de execução para seis equipes de trabalho. ....	94
Figura 59 - Cronograma de execução para sete equipes de trabalho.....	95
Figura 60 - Cronograma de execução para oito equipes de trabalho.....	95
Figura 61 - Comparação dos tempos de execução de cada umas das estratégias elaboradas.....	97



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Crescimento populacional nas quatro principais cidades da Grande Florianópolis.....	27
Tabela 2 - Evolução do número de veículos na área Conurbada de Florianópolis. ....	30
Tabela 3 - Faixa de valores do índice DRI.....	76
Tabela 4 - Resumo das Características técnicas adotadas para os quatro túneis do contorno viário.....	78
Tabela 5 – Composição do tempo de escavação para o túnel 1. ....	82
Tabela 6 – Composição do tempo de escavação para o túnel 2. ....	83
Tabela 7 – Composição do tempo de escavação para o túnel 3. ....	84
Tabela 8 – Composição do tempo de escavação para o túnel 4. ....	86
Tabela 9 – Comparação dos resultados para os quatro túneis .....	87
Tabela 10 - Composição da equipe básica do projeto .....	88
Tabela 11 - Sequência de execução dos túneis de forma a máxima o desempenho da obra como um todo .....	90



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1	Contextualização .....	21
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>25</b>
2.1	Mobilidade Urbana na Grande Florianópolis .....	25
2.2	Contorno Viário da Grande Florianópolis.....	32
<b>2.2.1</b>	<b>Impactos do contorno na mobilidade urbana da região ..</b>	<b>34</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Histórico e atrasos na execução da obra .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Túneis do contorno viário da Grande Florianópolis .....</b>	<b>36</b>
2.3	Túneis como soluções em infraestrutura .....	37
<b>2.3.1</b>	<b>Método <i>drill and blast</i> .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Método de predição de desempenho NTNU .....</b>	<b>41</b>
2.3.2.1	Validação do método NTNU .....	58
<b>3</b>	<b>PLANO DE TRABALHO .....</b>	<b>63</b>
3.1	Método .....	63
3.2	Caracterização Geométrica, Geotécnica e Executiva.....	65
<b>3.2.1</b>	<b>Geometria .....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Equipamentos e insumos .....</b>	<b>66</b>
3.2.2.1	Execução dos furos de perfuração.....	66
3.2.2.2	Material explosivo.....	68
3.2.2.3	Execução do “bate choco” .....	68
3.2.2.4	Carregamento e Transporte dos detritos.....	69
3.2.2.5	Suportes.....	70
3.2.2.6	Treinamento de Equipe de execução.....	71
<b>3.2.3</b>	<b>Geologia .....</b>	<b>71</b>
3.2.3.1	Coefficiente de Escavabilidade - DRI .....	75
3.2.3.2	Coefficiente de Explosividade – <i>Blastability</i> .....	76
3.2.3.3	Qualidade do desgaste da rocha – RWQ.....	78
3.3	Resumo das características dos túneis.....	78

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>81</b>
4.1	Tempo de Escavação .....	81
<b>4.1.1</b>	<b>Tempo de Escavação: Túnel 1 .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Tempo de Escavação: Túnel 2 .....</b>	<b>83</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Tempo de Escavação: Túnel 3 .....</b>	<b>84</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Tempo de Escavação: Túnel 4 .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Análise dos resultados dos tempos de escavação.....</b>	<b>87</b>
4.2	Estratégias de Execução.....	88
<b>4.2.1</b>	<b>Ordem de execução.....</b>	<b>89</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Desempenho das estratégias de execução.....</b>	<b>90</b>
4.2.2.1	Uma (01) Equipe de Trabalho.....	90
4.2.2.2	Duas (02) Equipes de Trabalho.....	91
4.2.2.3	Três (03) Equipes de Trabalho.....	92
4.2.2.4	Quatro (04) Equipes de Trabalho.....	93
4.2.2.5	Cinco (05) Equipes de Trabalho .....	93
4.2.2.6	Seis (06) Equipes de Trabalho .....	94
4.2.2.7	Sete (07) Equipes de Trabalho .....	94
4.2.2.8	Oito (08) Equipes de Trabalho.....	95
<b>4.2.3</b>	<b>Avaliação das estratégias de execução .....</b>	<b>96</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>99</b>
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	100
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>
	<b>Apêndice I.....</b>	<b>109</b>
	<b>Apêndice II .....</b>	<b>115</b>
	<b>Apêndice III.....</b>	<b>121</b>
	<b>Apêndice IV .....</b>	<b>127</b>
	<b>Apêndice V .....</b>	<b>133</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As últimas décadas mudaram a forma como as pessoas vivem, alterando seu modo de comunicação, socialização e locomoção. As mudanças advindas desse período trouxeram à tona problemas antes desconhecidos pela sociedade, que desde então busca constantemente novas formas de abordar e resolver essas questões.

Dentre os vários problemas originados nas últimas décadas, a mobilidade urbana das cidades sempre ocupa uma posição de destaque. De acordo com SPERLING e GORDON (2008), o aumento quase que exponencial no número de carros em circulação e a falta de planejamento urbano a médio e longo prazo fizeram com que muitas cidades pelo mundo passassem a sofrer com congestionamentos quase que diários. Segundo CINTRA (2014), somente a cidade de São Paulo perde algo em torno de R\$ 40 bilhões por ano devido à falta de mobilidade, valor equivalente a 1% do PIB brasileiro.

Esse cenário não é exclusivo das grandes cidades, como é o caso dos municípios que compõem a região da Grande Florianópolis. Englobando uma área de 7.156,6 km<sup>2</sup> e um total de 1.027.271 habitantes, segundo IBGE (2011), a região sofre com os engarrafamentos constantes no trecho duplicado da BR-101 que corta a região. Este trecho que inicialmente tinha por finalidade servir como uma rodovia de fluxo rápido teve um acelerado desenvolvimento urbano em seu entorno, sem que fossem ponderadas suas consequências. Dessa forma, a BR-101 entre os municípios de Palhoça e Biguaçu passou a ser utilizada como uma alternativa para o tráfego urbano, aumentando o fluxo de veículos e gerando os congestionamentos. Esse crescimento urbano no entorno de uma rodovia é algo já esperado ao se construir e liberar a mesma para o tráfego. Contudo, a falta de planejamento pode fazer com que os resultados desse crescimento possam ser catastróficos.

Uma das alternativas utilizadas para resolver ou no mínimo amenizar esse problema é o uso de contornos rodoviários. Segundo DNIT (2002) um contorno rodoviário consiste em um trecho de rodovia destinado à circulação de veículos na periferia das áreas urbanas, de modo a evitar ou minimizar o tráfego em seu interior, sem circundar completamente a localidade. De acordo com NETO *et al.* (2011) os contornos rodoviários servem de alternativa para o tráfego de carga, evitando que os caminhões passem pelo tráfego no centro das cidades e que vias públicas sejam danificadas pelo excesso de peso. Ele também

ressalta a melhoria que essa alternativa traz para o tráfego urbano, mitigando os engarrafamentos e a emissão de poluentes.

Buscando melhorar a qualidade das rodovias do país, o governo federal, através do Programa de Concessões de Rodovias Federais, passou a responsabilidade do trecho compreendido entre as regiões de Curitiba a Florianópolis para a Autopista Litoral Sul, pertencente ao grupo Arteris. A empresa opera neste trecho um total de 382,3 quilômetros de estradas, atendendo a cerca de 3,7 milhões de habitantes nas 20 cidades abrangidas (OHL BRASIL, 2011). Um dos compromissos assumidos pela empresa é a construção do contorno rodoviário da grande Florianópolis, uma alça com cerca de 50 km, que vem tendo seu prazo de entrega postergado desde 2011 (SIMIONATO, 2015).

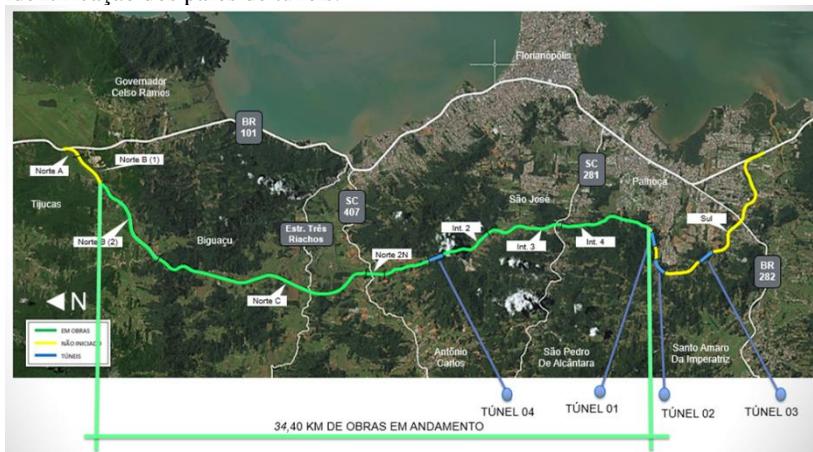
Devido a extensão do trecho e principalmente às características demográficas e topológicas, se fez necessário uma série de mudanças de traçado. O atual, definido em 2015, abrange um trecho de 47,6 quilômetros, tendo início na cidade de Palhoça e reencontrando a BR-101 na cidade de Biguaçu (SIMIONATO, 2015).

Além da grande extensão, o traçado atual possui quatro pares de túneis, conforme Figura 1, que no ano de 2018 ainda não tiveram sua construção iniciada. A previsão atual de entrega da obra é dezembro de 2021 sendo que os túneis têm suas obras com início previsto para o ano de 2019.

Devido às características geométricas e geológicas, os oito túneis do contorno serão executados através do método *Drill and Blast* com revestimento por concreto projetado. O método consiste na utilização de explosivos para desmonte da frente de escavação e posterior revestimento das paredes do túnel com concreto projetado, sendo este método, segundo SANTOS (2017), muito utilizado para túneis de curto e médio comprimento devido ao seu custo reduzido frente a outros métodos de escavação.

Por sua vez, os métodos de predição do desempenho são ferramentas capazes de analisar a viabilidade da execução de obras de infraestrutura no prazo estabelecido. Para túneis executados através do método *Drill and Blast*, uma das alternativas é o método de predição de desempenho desenvolvido pelo Instituto Norueguês de Tecnologia - NTNU. Baseado em informações de uma vasta rede de túneis já construída, ele é um dos mais utilizados e reconhecidos para esse propósito no mundo (SANTOS, 2017).

Figura 1 - Mapa do contorno rodoviário de Florianópolis com a localização e identificação dos pares de túneis.



Fonte: Autopista Litoral Sul (2018).

Avaliar a execução dos túneis do contorno rodoviário de Florianópolis através de uma metodologia técnica já consolidada e de comprovada eficiência é fundamental para determinar se o atual prazo de entrega da obra (dezembro de 2021) é factível. Os constantes atrasos e mudanças no projeto tornam o prazo atual uma grande incerteza. Dessa forma, é importante verificar a viabilidade de execução desses túneis conforme programado, bem como desenvolver uma estratégia de abordagem para que o tempo de execução dos túneis fique dentro do planejado.

Para isso a pesquisa conta com os seguintes objetivos, geral e específicos, descritos na sequência.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar a estratégia de execução de 8 túneis do Contorno Viário da Grande Florianópolis, a partir do método de previsão de desempenho NTNU, propondo uma estratégia que torne viável a conclusão dentro do prazo atualmente estipulado.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar, dentro da mobilidade na Grande Florianópolis, o impacto do contorno viário nesse contexto;
- Implementar o método NTNU para predição de desempenho por *Drill and Blast*;
- Identificar as possíveis abordagens construtivas para o planejamento de execução da obra;
- Determinar a estimativa do tempo de execução para cada uma das possíveis abordagens construtivas;
- Propor a estratégia de execução mais adequada para a conclusão da obra dentro do prazo.

Os temas seguintes foram elencados para a discussão do assunto, de modo a melhor embasar a abordagem teórica.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Mobilidade Urbana na Grande Florianópolis

O trecho da rodovia BR-101 que cruza o estado de Santa Catarina foi oficialmente inaugurado em 1971. Desde então seus 465,9 quilômetros são responsáveis pelo escoamento de grande parte da produção industrial e agropecuária do Estado. Devido ao seu traçado pouco sinuoso (como mostra na Figura 2) ela apresenta uma série de vantagens entre as quais destacam-se a redução nos custos e tempos de deslocamento. Dessa forma, o crescimento urbano no entorno da rodovia aconteceu de forma natural, com o desenvolvimento de empreendimentos comerciais e industriais bem como a ocupação espacial por pessoas buscando melhores condições de vida (SANTANGELO, 2003).

Figura 2 - Região litorânea e interior do estado de Santa Catarina e o traçado da BR-101

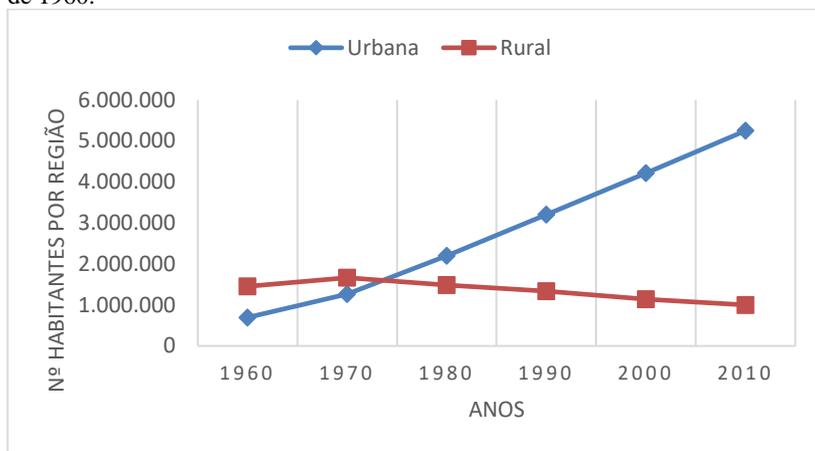


Fonte: NUNES (2008)

Os censos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) desde os anos 60 ilustram o fenômeno da migração da população das áreas rurais para as urbanas (Figura 3), sendo que essa transição se torna mais acentuada em meados dos anos 70, com a BR-101 sendo um dos vetores

responsáveis por esse fenômeno. Boa parte dessa migração se concentrou na região litorânea, em cidades como Criciúma, Joinville, São José, Palhoça, Biguaçu e Florianópolis. (SOUZA, 2016)

Figura 3 - Distribuição da população em áreas urbanas e rurais no estado partir de 1960.

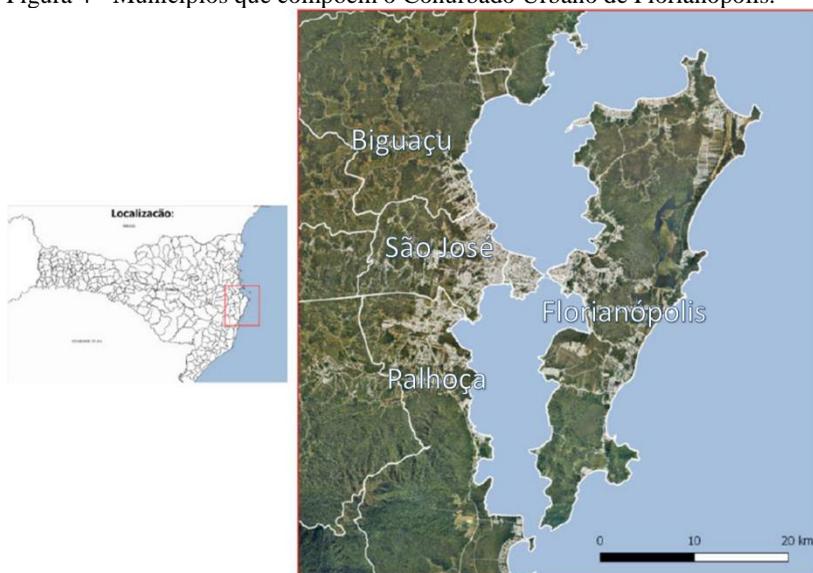


Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

Na mesorregião da Grande Florianópolis, especialmente nos municípios de Biguaçu, São José, Palhoça e Florianópolis, esse cenário foi ainda mais acentuado, como mostra a Figura 4. Nessa região, também chamada de “Conurbado Urbano de Florianópolis”, a urbanização das cidades é contínua e se misturam umas nas outras, gerando fortes interações socioespaciais.

Como mostra a Tabela 1, é importante salientar o crescimento que essas quatro cidades tiveram em um período de 40 anos, saltando de 221.938 habitantes para 826.584 habitantes, um crescimento de 272%. A migração para o litoral juntamente com a inauguração da BR-101 fez com que esse crescimento se concentrasse às margens da rodovia, aumentando a densidade demográfica e a urbanização no entorno da mesma, transformando o seu uso e passando a ser a principal via de tráfego entre municípios, bem como para o acesso dos moradores de Biguaçu, São José e Palhoça à cidade de Florianópolis.

Figura 4 - Municípios que compõem o Conurbado Urbano de Florianópolis.



Fonte: Adaptado de SOUZA (2016).

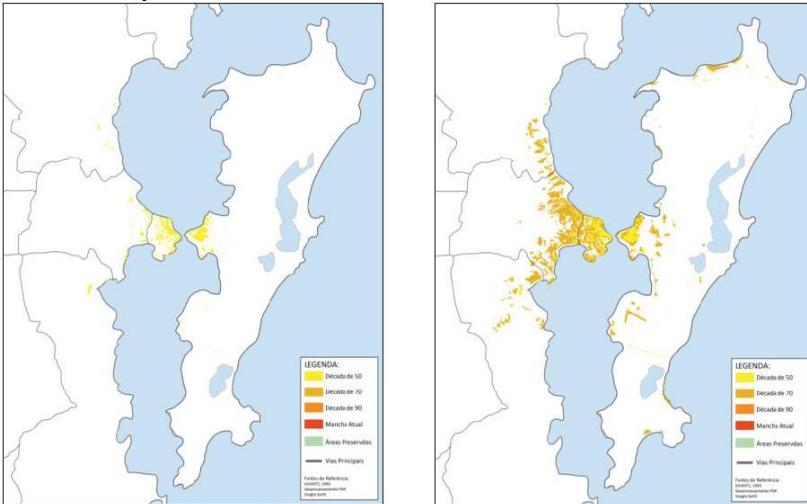
Tabela 1 - Crescimento populacional nas quatro principais cidades da Grande Florianópolis.

<b>Censos IBGE (População total por município)</b>					
<b>Cidades</b>	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
Florianópolis	143.414	196.055	254.941	341.781	421.240
São José	42.535	91.315	136.001	173.559	209.804
Palhoça	20.652	38.023	68.430	102.742	137.334
Biguaçu	15.337	21.441	34.063	48.077	58.206
<b>Totais</b>	<b>221.938</b>	<b>346.834</b>	<b>493.435</b>	<b>666.159</b>	<b>826.584</b>

Fonte: IBGE (1973, 1982, 1991, 2000, 2011).

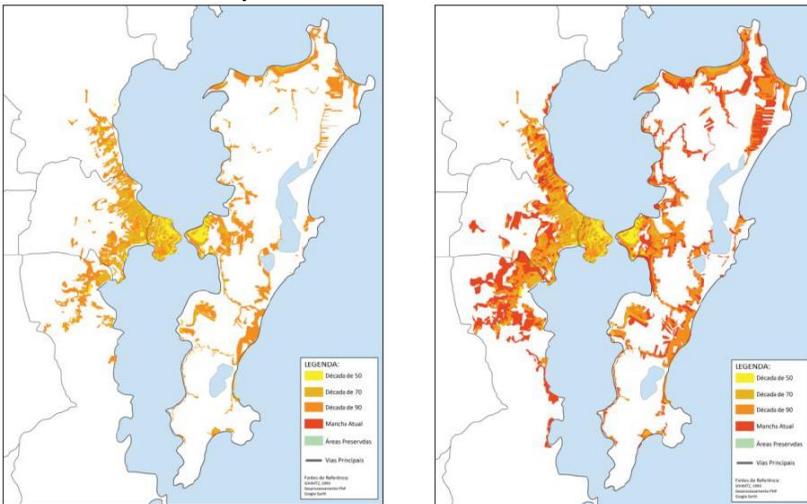
Esse aumento da urbanização é melhor compreendido através de uma análise visual do processo de urbanização ao longo dos anos. Nas Figura 5 e Figura 6 são mostradas as manchas urbanas nas décadas de 50, 70, 90 e no ano de 2014. É possível notar um aumento significativo da urbanização, bem como seu desenvolvimento às margens da BR-101 nos municípios cortados pela rodovia.

Figura 5 - Manchas urbanas do Conurbado Urbano de Florianópolis nas décadas de 50 e 70 respectivamente.



Fonte: SOUZA (2016).

Figura 6 - Manchas urbanas do Conurbado Urbano de Florianópolis na década de 90 e no ano de 2014 respectivamente.



Fonte: SOUZA (2016).

Tal crescimento urbano não foi acompanhado com investimentos na infraestrutura em nível suficiente. Entre os anos de 1960 e 1980, a malha rodoviária brasileira passou de 8.675 km para 47.487 km pavimentados, contudo entre 1980 e 2000 os investimentos diminuíram, crescendo lentamente e alcançando 56.097 km (NETO *et al.*, 2011). No trecho compreendido entre as cidades de Palhoça e Biguaçu, a BR-101 passou cerca de 33 anos sem receber algum tipo de melhoria.

Em 1999 a rodovia já não comportava o tráfego da região e o número elevado de acidentes alertava os governantes quanto à necessidade de investimentos. Dessa forma, deu-se início aos projetos de duplicação do trecho da BR-101 entre Santa Catarina (Palhoça) e Rio Grande do Sul (Osório), iniciado, entretanto, apenas em 2004 (BECKER, 2011). Por fim, a duplicação foi finalizada somente no ano de 2011, trazendo melhora na mobilidade da região e um aumento na segurança dos usuários.

No estudo “Santa Catarina em Números – Macrorregião Grande Florianópolis” elaborado pelo SEBRAE/SC (2013), é possível observar a evolução do Estado em alguns aspectos a partir de 2000. Nele, a Macrorregião da Grande Florianópolis apresenta um crescimento médio anual populacional quase duas vezes maior que a média nacional entre os censos de 2000 e 2010. Ainda de acordo com SEBRAE/SC (2013), no período compreendido entre 2002 e 2009, o produto interno bruto da macrorregião cresceu 133,01%, alcançando em 2009 o valor de R\$129,8 bilhões, ocupando o quarto lugar entre as macrorregiões constituintes do estado.

Esse crescimento, tanto populacional quanto econômico, juntamente com a facilidade na obtenção de crédito e subsídios para a compra de automóveis e motocicletas, fez com que no período entre 2000 e 2010 ocorresse no país um aumento de 86% na frota de automóveis, enquanto o aumento populacional no mesmo período foi de 13% (OJIMA; MONTEIRO; NASCIMENTO, 2015). Entre 2012 e 2015, a redução do IPI (Imposto sobre Produto Industrializado) possibilitou o acesso à veículos individuais a uma parcela da população que até então dependia do transporte coletivo (SOUZA, 2016). No estado de Santa Catarina conforme exposto por LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY & MACHADO MEYER (2015a) o aumento na frota de veículos no estado foi de 105% no período entre 2003 e 2013. Já nos municípios da área Conurbada de Florianópolis o aumento foi de 89,5%, conforme pode ser visto na Tabela 2.

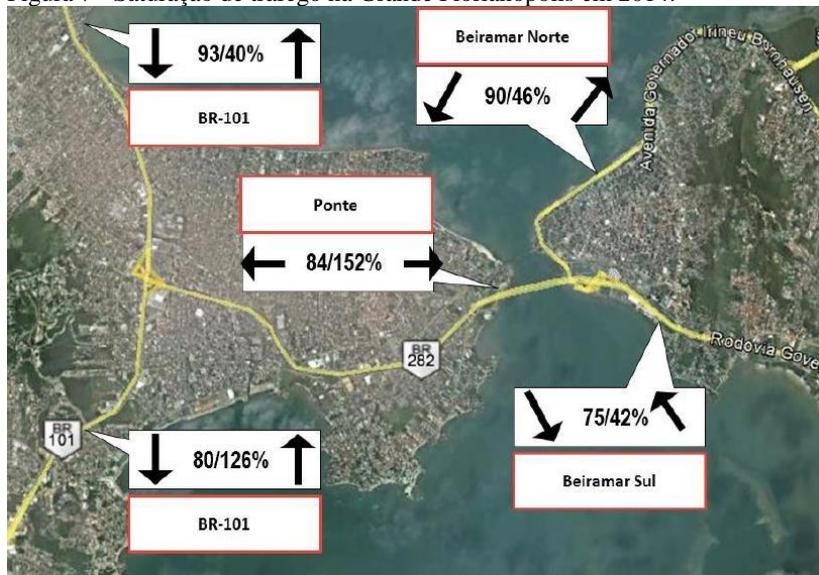
Tabela 2 - Evolução do número de veículos na área Conurbada de Florianópolis.

Frota de Automóveis - Área Conurbada de Florianópolis						
Município	2003	2005	2007	2009	2011	2013
Florianópolis	124.342	135.252	151.233	171.882	190.064	206.845
Biguaçu	7.834	9.365	11.346	14.121	17.570	19.744
São José	40.156	46.020	54.644	64.308	74.697	83.660
Palhoça	18.086	22.124	27.496	34.835	42.691	50.551
<b>Total</b>	<b>190.418</b>	<b>212.761</b>	<b>244.719</b>	<b>285.146</b>	<b>325.022</b>	<b>360.800</b>

Fonte: LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY &; MACHADO MEYER (2015b).

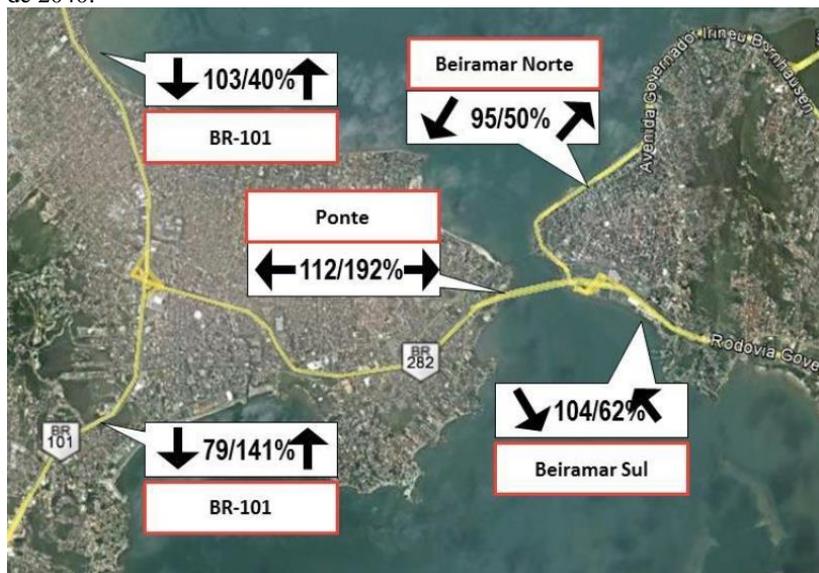
Essa nova realidade não foi acompanhada por investimentos na infraestrutura viária de forma a comportar esse aumento na frota de veículos (SOUZA, 2016). O resultado pode ser visto na Figura 7. Os índices de saturação de tráfego na BR-101 alcançam valor de 126% no sentido Palhoça-São José nos horários de pico pela manhã, e 93% no sentido Biguaçu – São José no mesmo horário. A situação é ainda mais crítica quando se analisa o cenário previsto para o ano de 2040, caso não ocorram alterações drásticas na mobilidade urbana da região. Nesse cenário, exposto na Figura 8, a saturação no sentido Palhoça-São José alcança 141% e no sentido Biguaçu-São José 103% ambos pela manhã. Todos esses dados são apresentados no “Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis – PLAMUS”, junto com um estudo que alerta para um cenário caótico nos próximos anos caso nada seja feito com as principais vias da região operando com saturação total (LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY &; MACHADO MEYER, 2015a).

Figura 7 - Saturação de tráfego na Grande Florianópolis em 2014.



Fonte: LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY &; MACHADO MEYER (2015a).

Figura 8 – Previsão de saturação de tráfego vias da Grande Florianópolis no ano de 2040.



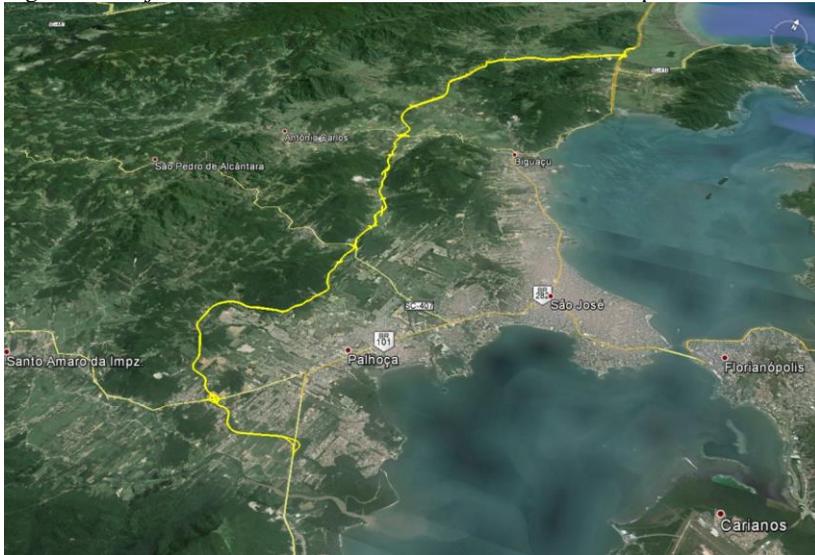
Fonte: LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY &; MACHADO MEYER (2015a).

## 2.2 Contorno Viário da Grande Florianópolis

A caracterização dos tipos de deslocamento na área em análise, as origens e destinos dos deslocamentos, as parcelas referentes à utilização de automóveis, caminhões e motocicletas é de fundamental importância para compreender a situação exposta nas Figuras 7 e 8, e assim avaliar qual o impacto de possíveis soluções para os problemas da mobilidade.

Uma das alternativas que vem sendo discutida há mais de uma década e que teve o início das suas obras no ano de 2014 é o Contorno Viário da Grande Florianópolis. O empreendimento, cujo trajeto é mostrado na Figura 9, pertence ao Programa de Exploração de Rodovias e Ampliação de Capacidade, definido pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT para a concessionária AUTOPISTA LITORAL SUL no ano de 2008. No processo de concessão, a empresa administra os trechos da BR-101 entre Curitiba e Florianópolis. Dentre as obrigações da concessionária está a construção do Contorno Viário de Florianópolis, uma rodovia de pista dupla, Classe 0, iniciando no km 177+760 em Biguaçu e terminando no km 220+000 em Palhoça, com uma extensão total de aproximadamente 50 km (MPB ENGENHARIA, 2013).

Figura 9 - Trajeto do Contorno Rodoviário da Grande Florianópolis.



Fonte: MPB ENGENHARIA (2013).

A opção pelo contorno rodoviário tem por objetivo desviar o tráfego de passagem pelo conglomerado urbano, ou seja, retirando dessa região os veículos que não tem destino final nas mesmas e que só utilizam a rodovia por ser parte do seu trajeto. Dessa forma, os contornos viários servem de alternativa especialmente para o tráfego de carga. Como consequência, esses contornos reduzem os engarrafamentos e as emissões de poluentes na região urbana, bem como contribuem para uma melhor preservação das vias (NETO *et al.*, 2011). Nesse sentido, o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, elaborado por MPB ENGENHARIA (2013) traz as justificativas para implementação da obra, expostas a seguir:

- Intensos congestionamentos observados diariamente, principalmente nos horários de pico durante a semana;
- Forte tendência e desejo do tráfego urbano utilizar-se da BR-101, tanto para tráfego urbano, quanto para o tráfego rodoviário;
- Inúmeras manifestações da população, cobrando soluções para eliminar os desconfortos do transporte na Rodovia BR-101, na região da Grande Florianópolis;
- Geração de poluentes em grande escala, devido ao acentuado tráfego, propiciando uma baixa qualidade de vida para os moradores no entorno do corredor.

O RIMA também expõe os objetivos da obra, tanto o objetivo geral, quanto os objetivos sociais, econômicos e políticos conforme mostrado abaixo:

A implantação do Contorno Rodoviário de Florianópolis tem como meta principal direcionar o tráfego de passagem (sem origem e destino na região metropolitana de Florianópolis) para fora da parte da região metropolitana de Florianópolis composta pelos municípios Biguaçu, São José e Palhoça, bem como da própria capital, de modo a garantir a fluidez desse tráfego. (MPB ENGENHARIA 2013, p.12)

Os objetivos sociais discorrem sobre o benefício do desvio do tráfego de longa distância do eixo principal da BR-101 na região metropolitana, melhorando a fluidez do tráfego. Também salienta sobre a redução da emissão de poluentes devido ao aumento da velocidade na via.

Por fim, a melhora na qualidade de vida dos usuários e moradores da região.

Os objetivos econômicos tratam da redução do custo operacional do transporte e das atividades correlatas, tendo em vista a redução dos congestionamentos frequentes na BR-101 no trecho metropolitano.

Politicamente, a execução do Contorno Viário da Grande Florianópolis é obrigação contratual dentro do contrato de concessão entre a Autopista Litoral Sul e o Governo Federal, conforme o edital de concessão nº007/2007.

### **2.2.1 Impactos do contorno na mobilidade urbana da região**

Entender as características do tráfego no Conurbado Urbano de Florianópolis é essencial para se mensurar os impactos que o contorno rodoviário irá ter na região. Esse levantamento pode ser obtido através do PLAMUS exposto em LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY & MACHADO MEYER (2014a). No estudo, para veículos de passeio, 35% das viagens que hoje utilizam a BR-101 envolvem origem e destinos externos aos 13 municípios da Grande Florianópolis, sendo que 65% das viagens têm como origem ou destino algum dos municípios da região. Em um cenário idealista, pode-se pensar em uma redução de 35% no tráfego de veículos de passeio entre Palhoça e Biguaçu com a inauguração do contorno. Com relação ao tráfego de cargas em caminhões convencionais, cerca de 58% das viagens são externas aos municípios da região. Para veículos de quatro ou mais eixos, esse percentual é ainda mais elevado, alcançando 79%.

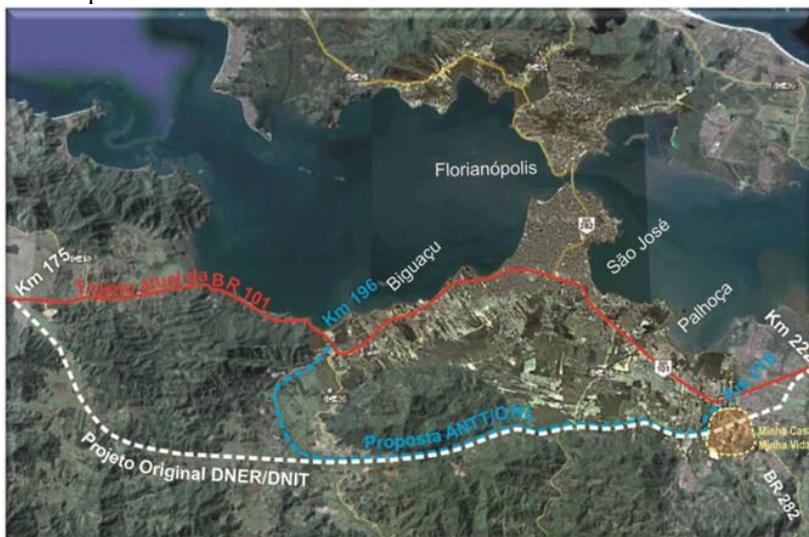
Esses dados mostram que o contorno rodoviário servirá principalmente para retirar os grandes caminhões e parte dos veículos de passeio. Especialistas envolvidos diretamente na obra estimam uma redução total de 20% do tráfego rodoviário na região (ALESC, 2017). É importante salientar que o contorno resolve parte do problema da mobilidade na região e que sua construção e projeto deve ser executado com grande cuidado para que após a sua inauguração ele não passe a ser um novo atrativo para o crescimento urbano às suas margens.

## 2.2.2 Histórico e atrasos na execução da obra

O Contorno Rodoviário da Grande Florianópolis foi inicialmente pensado na década de 90, sendo o projeto elaborado entre 1995 e 2000 pelo DNER (atual DNIT). O trecho possui um traçado de 47,3 km, iniciando-se na divisa entre as cidades de Tijucas e Biguaçu e encontrando novamente a rodovia na cidade de Palhoça próximo ao km 222. Como parte das obrigações contratuais por parte da Autopista Litoral Sul, sua construção tinha um prazo de entrega inicial para o ano de 2012, ou seja, quatro anos após a concessionária assumir o controle do trecho da rodovia. (MPB ENGENHARIA, 2013)

O traçado original sofreu a primeira de inúmeras alterações já no processo de concessão. A extensão do trecho caiu de 47,3 km para 29,6 km, iniciando no km 196 em Biguaçu e terminando no km 218 em Palhoça. Na Figura 10 é possível visualizar a alteração do traçado original, em linhas tracejadas brancas. O traçado correspondente a alteração é mostrado em linhas tracejadas azuis.

Figura 10 - Primeira alteração de traçado do Contorno Rodoviário de Florianópolis.



Fonte: HIPÓLITO (2011).

Essa alteração provocou inúmeras reclamações, tanto da sociedade civil quanto de órgãos públicos. Enquanto o trecho sul cortava uma área

de desenvolvimento urbano pujante no município Palhoça, o trecho norte inicia-se muito próximo ao centro da cidade de Biguaçu. Esses impasses postergaram o prazo de entrega para o ano de 2014 e obrigaram a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) e a Autopista litoral sul a voltarem atrás e adotar o projeto antigo com algumas pequenas modificações. (HIPÓLITO, 2011)

O segundo atraso ocorreu devido a problemas com o licenciamento ambiental e desapropriações, fazendo com que as obras se iniciassem apenas em 2014. Após o início das atividades, agora com prazo de entrega previsto para o ano de 2017, o projeto precisou passar por uma nova mudança de trajeto, pois um condomínio residencial foi construído no meio do caminho em execução. Esta mudança obrigou a rodovia a cruzar uma região montanhosa necessitando a construção de túneis que até o presente momento ainda não tem suas licenças ambientais liberadas.

O prazo de entrega foi então postergado de 2017 para 2019, de 2019 para 2020 e por fim para dezembro de 2021. Atualmente, outubro de 2018, apenas 6 km dos 47,3 km da obra encontram-se em fase final de execução. Porém, destaca-se que um trecho correspondente a 30% da obra, na parte sul do contorno, ainda não teve início, enquanto os outros 70% ainda se encontram em fase de terraplenagem e execução de obras de arte como viadutos e intersecções.

O trecho correspondente a 30% da obra que ainda não teve seus trabalhos iniciados é talvez o ponto mais preocupante com relação ao prazo atual de conclusão estimada para o fim de 2021. Ele encontra-se parado e possui 3 túneis duplos que visam desviar o trajeto de um condomínio residencial já construído. Junto a isso, um outro túnel duplo fora dessa área ainda não teve suas obras iniciadas. A expectativa por parte da concessionária é de que até janeiro de 2019 as licenças para os trabalhos, principalmente as licenças referentes aos quatro túneis duplos, sejam liberadas e as obras possam ser iniciadas. (PALAORO, 2018)

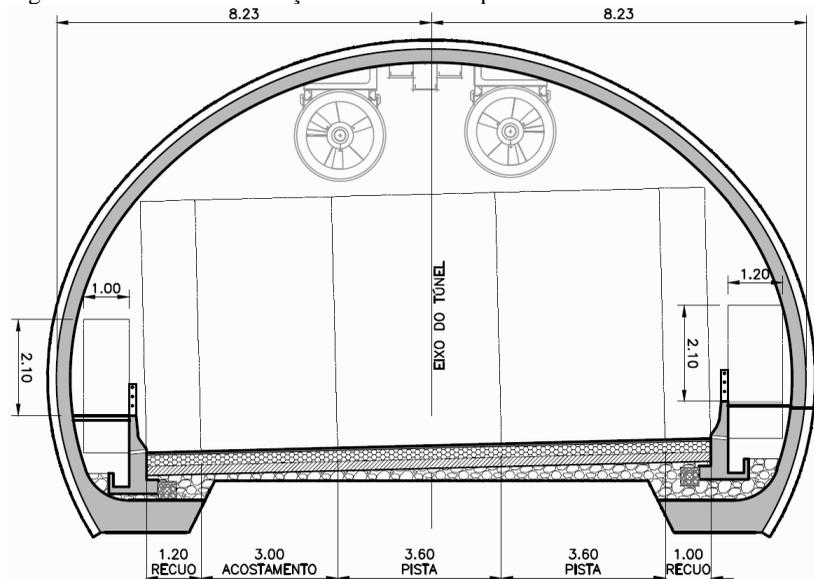
### **2.2.3 Túneis do contorno viário da Grande Florianópolis**

O conjunto dos quatro túneis duplos hoje pode ser considerado um dos entraves para a conclusão do Contorno. Totalizando 7.260 metros de extensão, eles ainda não tiveram o projeto aprovado junto a ANTT e às licenças ambientais para a construção. Outro ponto importante de se salientar é a falta de informações técnicas disponíveis sobre essas obras. Para a execução deste trabalho o autor teve acesso apenas aos relatórios de projeto referentes ao Túnel 3. Desta forma, as informações deste

relatório serão expandidas para os outros três túneis com cautela e critérios técnicos, buscando alcançar o resultado final de forma confiável.

De acordo com ANTT (2017), os túneis serão construídos através do método NATM (*New Austrian Tunneling Method*), realizando o processo de escavação através do método *Drill and Blast*. Suas extensões ficam próximas aos 900 m (Túnel 1: 900 m; Túnel 2: 900 m; Túnel 3: 870 m; Túnel 4: 930 m). A seção transversal básica da obra terá aproximadamente 104 m<sup>2</sup>, sendo composta por duas faixas de rolamento de 3,60 m, acostamento de 3,00 m, faixa de segurança de 1,00 m seguida de guarda-corpo metálico em ambos os lados. Na Figura 11 pode-se observar a seção transversal típica da obra com os elementos geométricos mencionados anteriormente.

Figura 11 - Geometria da seção transversal do perfil T12.5



Fonte: ANTT (2017a)

### 2.3 Túneis como soluções em infraestrutura

De acordo com GODARD (2002) os túneis são soluções de infraestrutura subterrânea que buscam transpor obstáculos naturais e urbanos, com baixo grau de agressividade ao seu entorno e com alta eficiência. Através de um manifesto publicado pela Associação

Internacional de Túneis, GODARD (2002) declara as vantagens como o uso de terras, proteção ambiental, isolamento, melhorias de traçado e outros benefícios sociais advindos da utilização de túneis para soluções de infraestrutura.

Segundo SILVA (2018), dos métodos de escavação atualmente disponíveis, o *Drill and Blast* e a escavação mecanizada por TBM (*Tunnel Boring Machine*) são os mais utilizados e difundidos pelo mundo na execução de túneis. O *Drill and Blast* representa hoje o método mais utilizado para escavações, sendo considerado uma opção de baixo custo, contudo com taxa de avanço reduzida quando comparado às TBM's, sendo que esta tem maior taxa de avanço e capacidade de se adaptar a variações geológicas durante o trajeto a ser escavado. Sua principal desvantagem é o custo elevado para aquisição do equipamento.

A utilização de um ou outro método se dá pela extensão do túnel. Para aqueles com até 3.000 m a escavação por *Drill and Blast* é mais vantajosa enquanto que para túneis de maior extensão o uso de uma TBM já se torna viável. Isto se deve ao fato de que para um túnel curto, o alto custo de aquisição de uma TBM não justifica a maior taxa de avanço obtida. Já para túneis extensos, a utilização de uma TBM e consequentemente uma maior taxa de avanço reduzem o tempo de execução e diminuem os custos com manutenção de equipes e canteiros de obras. (SANTOS, 2017)

### **2.3.1 Método *drill and blast***

O método de escavação *Drill and Blast*, também conhecido no Brasil como escavação a fogo, consiste na utilização de furos preenchidos e selados com material explosivo para realizar o desmonte de rocha na frente de escavação. A posição, diâmetro e comprimento de cada furo compõem o plano de fogo, documento que registra e direciona a fase de detonação. (SANTOS, 2017). CHAPMAN, METJE e STARK (2010) afirmam que o processo pode ser utilizado em uma ampla gama de formações geológicas, contudo tem especial aplicação em formações rochosas de alta abrasividade, sendo também indicado para túneis curtos e seção transversal não convencional. Na Figura 12 temos uma visão básica sobre a sequência de execução do método *Drill and Blast*.

De acordo com o exposto por SANTOS (2017), na primeira etapa do método, a de furação, utiliza-se equipamentos específicos para a realização de furos com diâmetros entre 30 e 100 mm. A profundidade, por sua vez, deve ser 10 a 20% superiores às estipuladas no plano de fogo.

A disposição desses furos na frente de escavação também é um ponto crucial para a eficiência do processo.

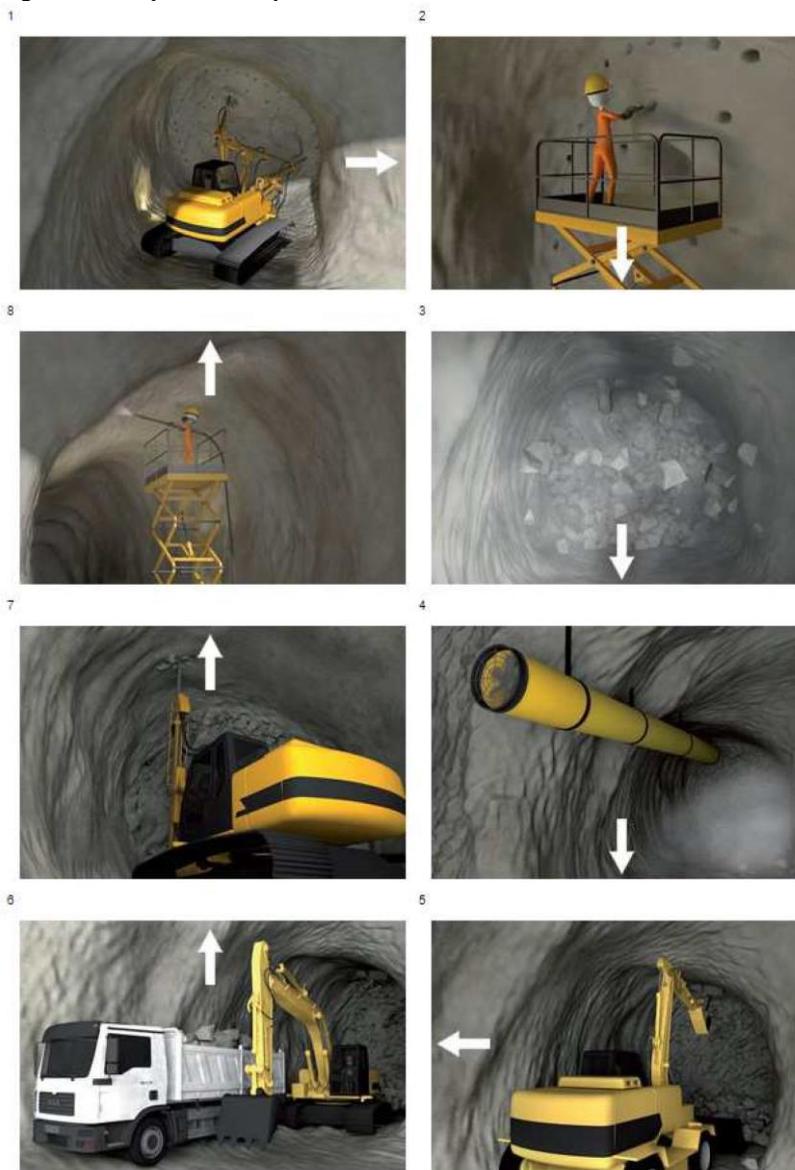
Na sequência, ocorre a fase de carregamento e selagem, onde o explosivo é colocado dentro dos furos previamente realizados. O tipo de explosivo adotado definirá a forma de carregamento, manual ou por ar comprimido. Os explosivos utilizados são os encartuchados e os granulados.

Com os explosivos posicionados e selados ocorre a detonação. O método mais utilizado é a detonação por iniciadores eletrônicos. Contudo, ainda é utilizado, em algumas situações, estopins com queima direta. A detonação dos explosivos segue a ordem definida no plano de fogo. Após a detonação é necessário a ventilação da área, podendo ocorrer de forma natural caso ocorra um fluxo de ar no local, ou de forma forçada através do uso de exaustores e dutos para canalização e direcionamento do ar. Sugere-se um tempo mínimo de 15 minutos de ventilação para a retomada dos trabalhos na frente de escavação. (CHAPMAN; METJE; STARK, 2010)

Após a detonação e ventilação, é necessário a remoção de rochas fraturadas que ainda permanecem presas ao teto e às paredes do túnel. Esse procedimento é denominado “bate choco” e é realizado utilizando martelinhos hidráulicos (CICHINELI, 2014). Visando a segurança dos operários e dos equipamentos utilizados, somente após esse processo concluído é dado início a remoção dos detritos da frente de escavação provenientes do processo de detonação. Essa remoção é feita através de máquinas pá carregadeiras e caminhões basculantes.

Finalizando o ciclo é então instalado o revestimento com a função de estabilizar as paredes do túnel. O principal método de revestimento utilizado é o concreto projetado. (SANTOS, 2017).

Por fim, SANTOS (2017) argumenta que o método de escavação por *Drill and Blast* apresenta custos menores que os métodos de escavação por TBM's em túneis de grande seção transversal ou extensões de até 3.000 metros. Outra vantagem se faz pela necessidade de mão de obra especializada ser significativamente menor, tornando o método atrativo nesse sentido.

Figura 12 - Sequência completa das atividades do método *Drill and Blast*

Fonte: SANTOS (2017)

### 2.3.2 Método de predição de desempenho NTNU

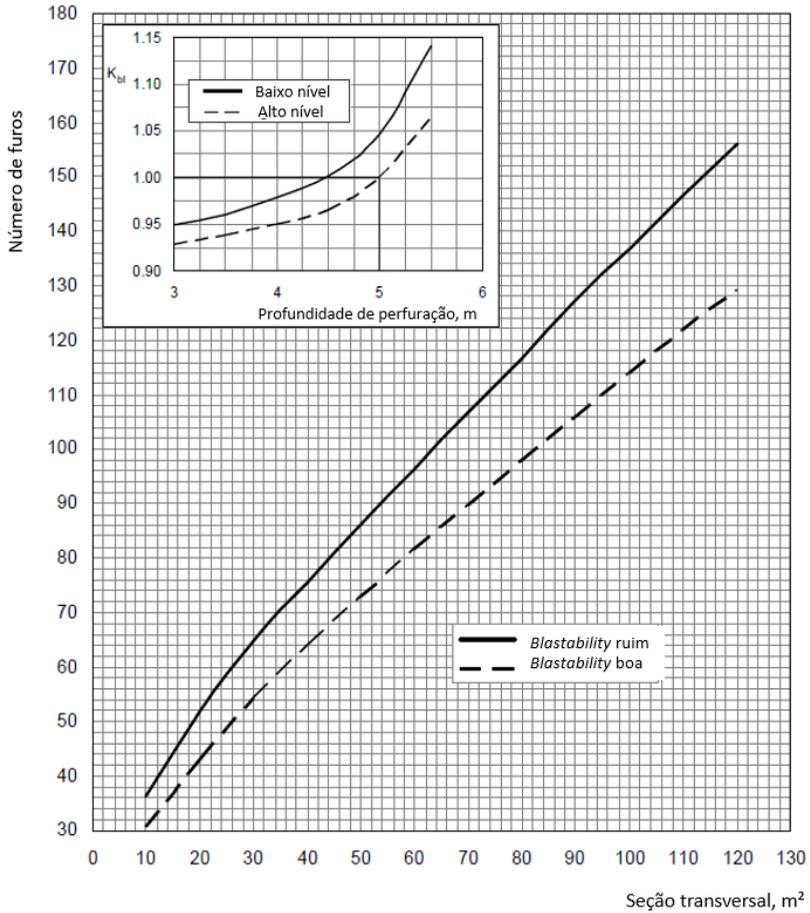
Devido à difusão que o método *Drill and Blast* teve pelo mundo, diversos modelos que buscam prever o desempenho da escavação surgiram ao longo dos anos. Assim, segundo ROSTAMI, OZDEMIR e NILSON (1996), um dos mais adequados é o proposto pelo Instituto Norueguês de Tecnologia (NTN), denominado NTNU.

O modelo de predição de desempenho NTNU está em constante desenvolvimento desde 1975 pelo Departamento de Engenharia Civil e de Transportes do NTN. Ele teve sua elaboração baseada em modelos matemáticos e nos dados coletados em cerca de 5.000 km de escavação, e utiliza como variáveis de controle a taxa de avanço e custo de escavação. Dessa forma, ele é considerado um modelo semi-empírico, tendo sua aplicação baseada principalmente na consulta a tabelas e ábacos buscando definir parâmetros que posteriormente serão agregados a equações matemáticas que estimam o desempenho da escavação.

O primeiro passo do método é a determinação do número de furos pequenos e grandes que serão utilizados. Adotando um furo pequeno com 48 mm de diâmetro (Figura 13) define-se o número de furos necessários baseado na área da seção transversal do túnel e do parâmetro *Blastability*, também chamado de índice de explosividade, que tem relação com a quantidade de explosivo necessário para a detonação da rocha, suas características geológicas e possíveis fraturamentos pré-existentes.

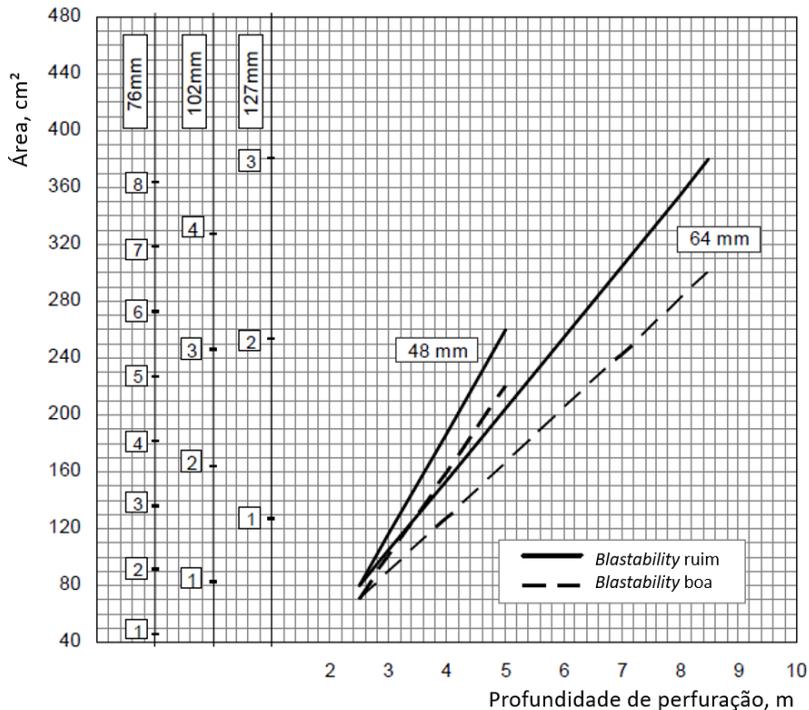
O número de furos grandes, bem como seu diâmetro, pode ser obtido como mostrado na Figura 14. O resultado é baseado no diâmetro dos furos pequenos adotados e no parâmetro *Blastability*, bem como na profundidade de perfuração definida no plano de fogo. Através desses três componentes é possível determinar a área necessária de furos grandes e, com isso, no ábaco definir o diâmetro e o número de furos para atingir esse valor.

Figura 13 - Ábaco para determinação do número de furos pequenos.



Fonte: ZARE (2007a)

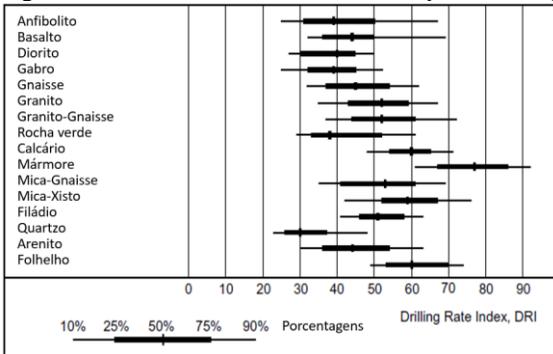
Figura 14 - Ábaco para determinação do número de furos grandes e seus diâmetros.



Fonte: ZARE (2007a)

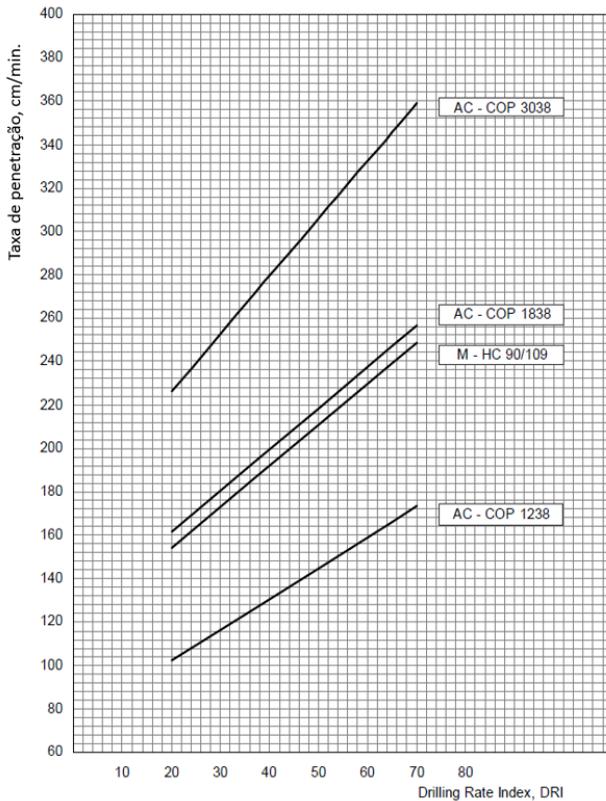
Definidos os números de furos e seus respectivos diâmetros, se faz necessário a determinação do tempo levado para sua execução. Basicamente dois pontos influenciam nessa questão, o parâmetro DRI (*Drilling Rating Index*), definido pelas faixas de valores ilustradas na Figura 15, que representam a resistência da rocha ao desmonte por desgaste mecânico e o tipo de equipamento que está sendo utilizado para executar os furos. Na Figura 16 tem-se o ábaco para determinação desses valores de tempo baseado nos parâmetros mencionados.

Figura 15 - Coeficiente DRI baseado no tipo de formação rochosa.



Fonte: ZARE (2007b)

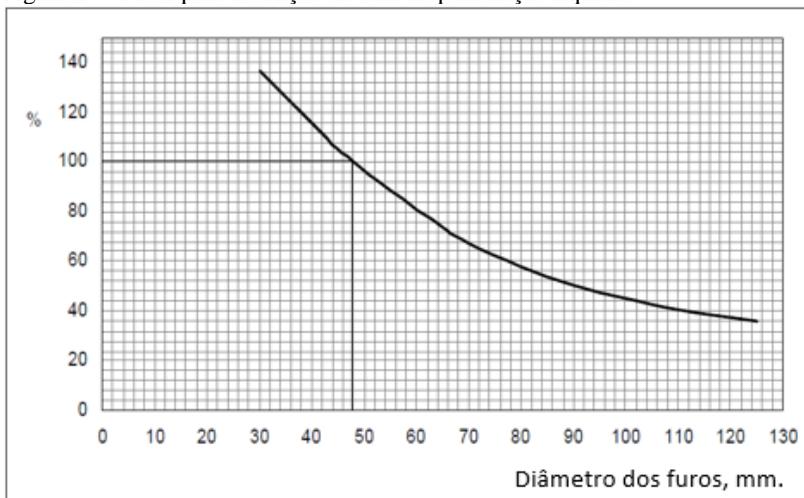
Figura 16 -Ábaco para determinar a taxa de perfuração dos furos de detonação.



Fonte: ZARE (2007b)

A taxa de perfuração obtida, tanto dos furos grandes quanto dos furos pequenos, deve ainda ser corrigida pelo fator de correção apresentado na Figura 17 em função do diâmetro dos furos adotados. No caso de furos de 48 mm esse fator assume valor unitário, para outros diâmetros deve ser feita a correção.

Figura 17 - Fator para obtenção da taxa de penetração líquida.



Fonte: ZARE (2007b)

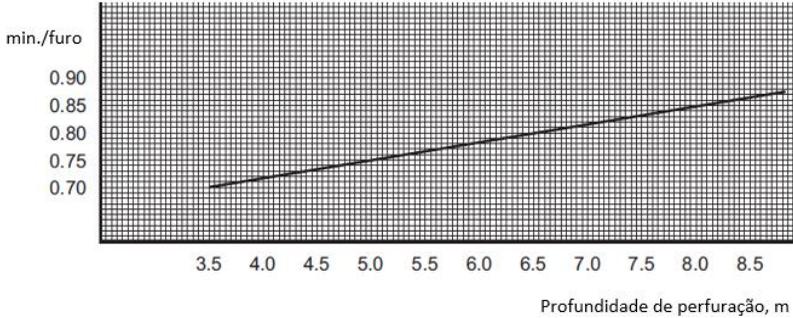
De acordo com ZARE (2007b), os itens determinados acima fornecem o tempo total de perfuração, obtido através da Equação 1, onde  $l_h$  corresponde ao comprimento perfurado definido no plano de fogo (geralmente se trabalha com o valor de 5 metros),  $N_h$  corresponde ao número de furos definido nas etapas anteriores,  $v_h$  é a taxa de perfuração obtida após aplicação do fator exposto na Figura 17 e  $N_m$  é o número de hastas presentes no equipamento de perfuração.

$$T_h = \frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m} \quad (1)$$

O tempo de perfuração deve ser ainda somado ao tempo de mudança de furos, que corresponde ao tempo entre o término de um furo e o início do próximo na sequência, bem como o tempo necessário para trocas dos *bits* de perfuração, que se desgastam durante o processo. O

tempo de mudança de furo é obtido graficamente pela Figura 18 e é baseado na profundidade de perfuração definida.

Figura 18 - Tempo de mudança de furo baseado na profundidade de perfuração



Fonte: ZARE (2007b)

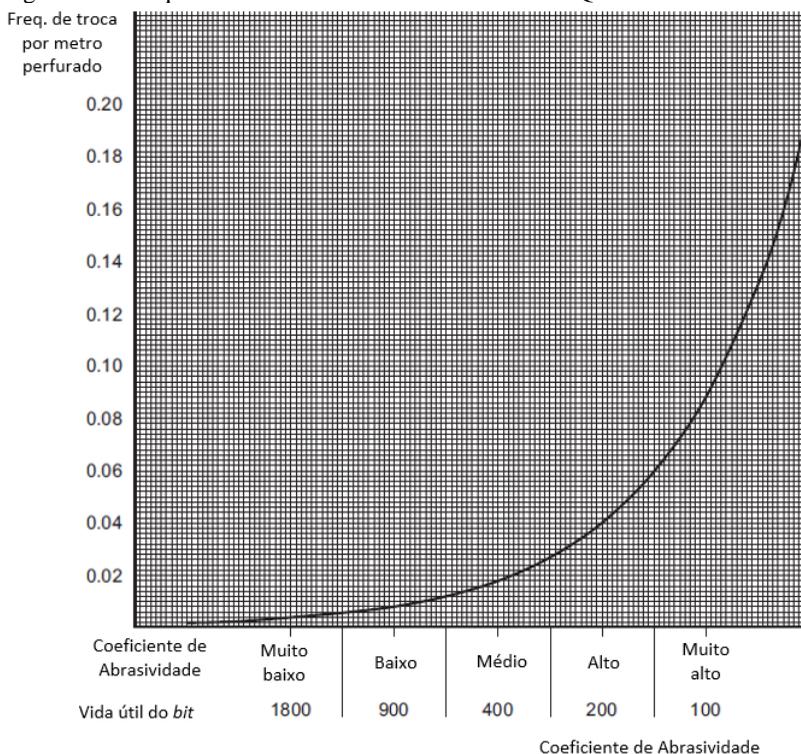
O tempo total de mudança de furos pode ser obtido através da Equação 2, onde  $t_f$  corresponde ao tempo de mudança por furo e  $N_g$  ao número de furos grandes utilizados.

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

Com relação ao tempo gasto para a troca dos *bits*, ele é uma composição baseada no coeficiente de abrasividade da rocha (*Rock Wear Quality – RWQ*) onde através do gráfico da Figura 19 se determina a frequência de troca dos bits ( $f_k$ ) baseada no seu desgaste. O tempo para troca de um bit ( $t_k$ ) é estabelecido em um valor médio de três minutos (ZARE, 2007b). Definidos o tempo de troca e a frequência com que elas ocorrem e utilizando a Equação 3, tem-se o cálculo do tempo total levado na troca de *bits* ( $T_k$ ).

$$T_k = \frac{l_h \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{N_m} \quad (3)$$

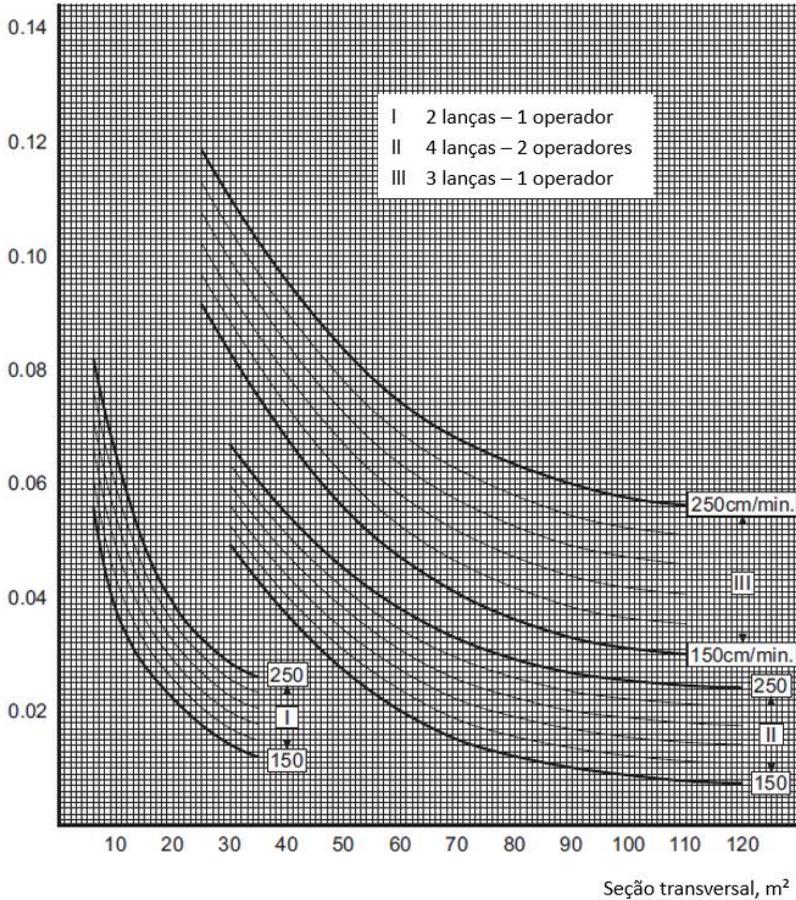
Figura 19 – Frequência de troca dos bits baseada no RWQ.



Fonte: ZARE (2007b)

Calcula-se também o tempo de perda operacional, relacionado com a eficiência do processo. Ele é dado pela soma dos resultados das equações 1, 2 e 3, multiplicados por um fator de perda operacional, obtido do gráfico na Figura 20. Com isso, pode-se calcular o tempo total levado para perfurar os furos de detonação presentes na frente de escavação, que é dado pela soma dos tempos para perfurar os furos pequenos e grandes, do tempo de mudança de furo, troca de bit e o tempo de perda operacional.

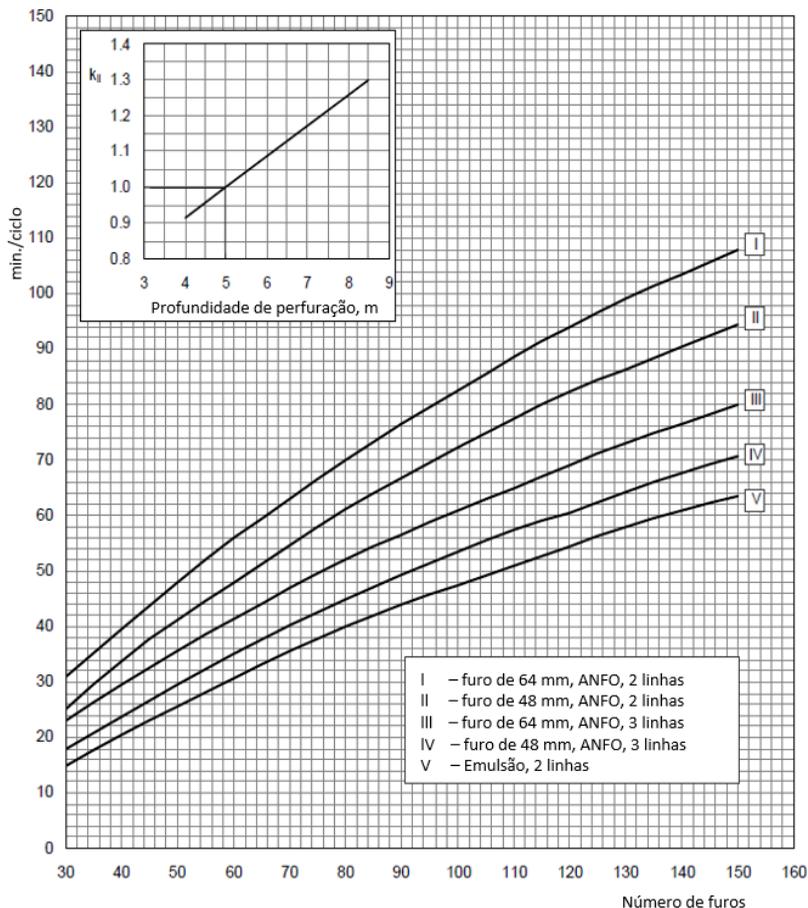
Figura 20 - Fator de perda operacional em função da seção transversal, taxa de penetração e o número de lanças de perfuração e operadores.



Fonte: ZARE (2007b)

Na próxima etapa do método define-se o tempo de carregamento dos furos de detonação, definido no gráfico Figura 21. É uma função do número de furos e dos diâmetros definidos, do material explosivo utilizado e do número de linhas de carregamento utilizadas, esses dois últimos parâmetros são definidos a priori no plano de fogo.

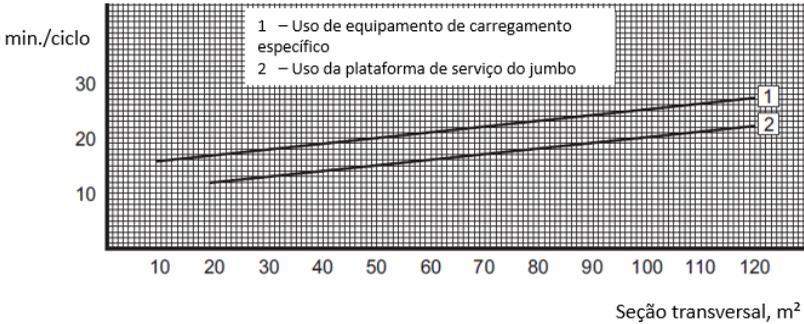
Figura 21 - Tempo de carregamento do material explosivo por ciclo de detonação para uma profundidade de perfuração de 5 metros.



Fonte: ZARE (2007b)

Após o carregamento ocorre um processo de preparação e desmobilização dos equipamentos para que ocorra a detonação, chamado de *rig time*, definido através do gráfico ilustrado na Figura 22 e que tem como parâmetros a seção transversal do túnel bem como o equipamento utilizado no carregamento.

Figura 22 - Rig time baseado no equipamento utilizado durante a etapa de carregamento.

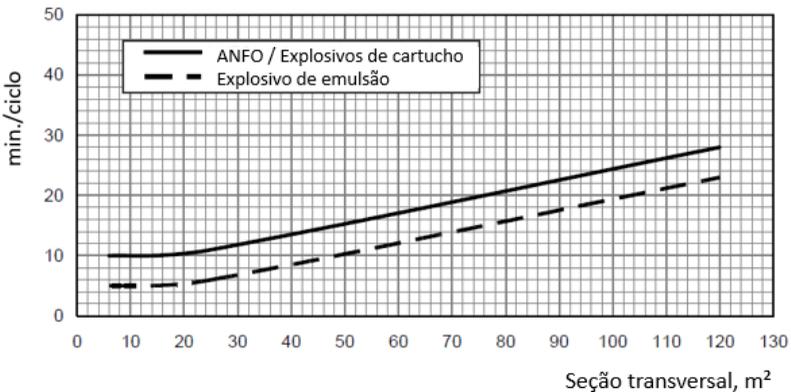


Fonte: ZARE (2007b)

O tempo total da primeira etapa do método NTNU é dado pela soma do tempo total de perfuração, tempo de carregamento do material explosivo, *rig time* e de uma parcela de ineficiência, dada pela soma dessas três parcelas multiplicadas por um fator de ineficiência de 0,11, correspondente a processos de escavação bem organizados.

A segunda etapa do método consiste no tempo de ventilação necessário após o processo de detonação. Pelo método NTNU ele é determinado pelo gráfico da Figura 23 e é função da seção transversal do túnel e do material explosivo utilizado.

Figura 23 - Tempo necessário de ventilação de acordo com a seção transversal e o material explosivo utilizado.



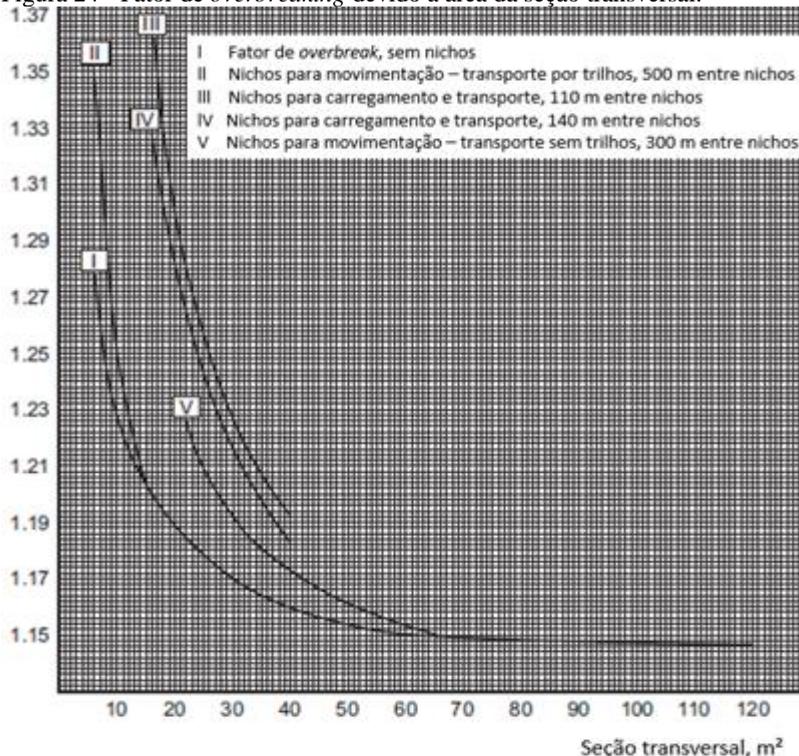
Fonte: ZARE (2007b)

Na terceira etapa o carregamento e transporte do material proveniente do processo de detonação são analisados, sendo necessário determinar a quantidade total de material que a detonação irá fragmentar.

Inicialmente é necessário determinar o fator de *overbreaking*. Ele corresponde ao volume adicional que será gerado pela detonação além do volume teórico de escavação devido a área de seção transversal e o comprimento perfurado. O fator de *overbreaking* é obtido na Figura 24. Com ele definido é possível determinar o volume de rocha detonada por ciclo através da Equação 4 no qual tem-se a área da seção transversal do túnel ( $A_s$ ), a profundidade perfurada ( $l_h$ ), o fator de *overbreaking* ( $f_0$ ) e um fator de avanço por ciclo ( $p_r$ ) correspondente a profundidade real obtida após a detonação. ZARE (2007b) recomenda um fator de avanço por ciclo de 90% quando adotado furos de 48 mm de diâmetro.

$$V_r = A_s \cdot l_h \cdot p_r \cdot f_0 \quad (4)$$

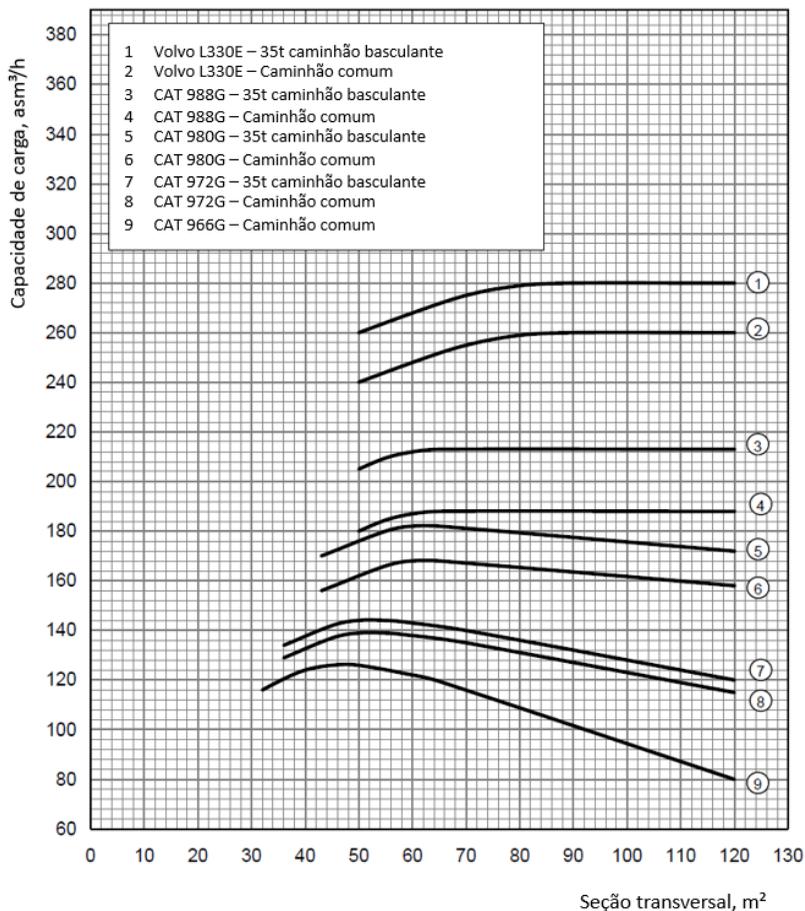
Figura 24 - Fator de *overbreaking* devido a área da seção transversal.



Fonte: ZARE (2007b)

Com o volume total a ser removido definido, basta dividi-lo pela capacidade de carga dos equipamentos que serão utilizados no processo de execução para obter-se o tempo de carregamento por ciclo. Essa capacidade de carga é obtida através do ábaco exposto na Figura 25, onde para a combinação entre o equipamento utilizado para o carregamento e o utilizado para o transporte, ainda levando em relação a área da seção transversal escavada, obtém-se a capacidade de carga do conjunto por hora.

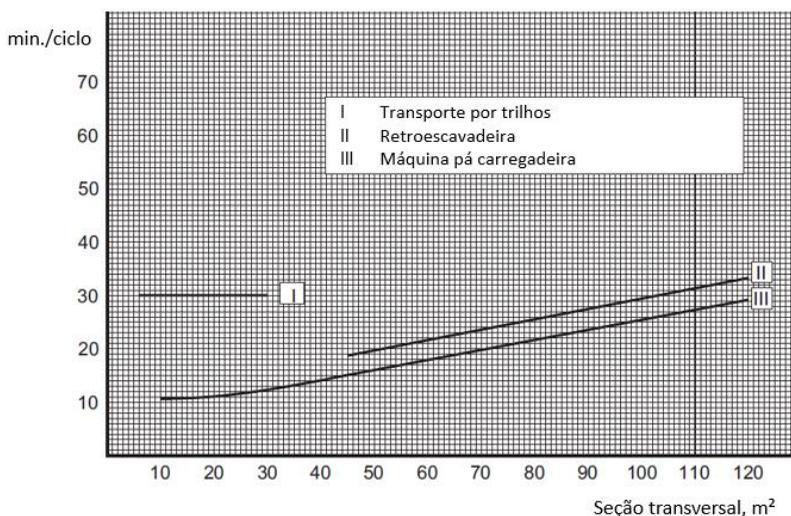
Figura 25 - Capacidade de carga por hora baseada na composição dos equipamentos adotados.



Deve-se também levar em conta tempos ociosos nessa etapa do processo, que buscam levar em consideração estimativas de parada dos equipamentos, movimentações e ajustes, dentre outras questões. Esse tempo ocioso é obtido através do gráfico da Figura 26, que depende da área da seção transversal do túnel e do tipo de equipamento utilizado no transporte.

Com os tempos de carregamento e transporte definidos, bem como o tempo ocioso durante a operação, o tempo total da terceira etapa do método de predição de desempenho NTNU é dado pela soma do tempo dessas duas parcelas e ainda um terceiro fator, relacionado à ineficiência do processo, dada pela soma das duas parcelas anteriores multiplicadas pelo fator de ineficiência já usado anteriormente para processos bem organizados.

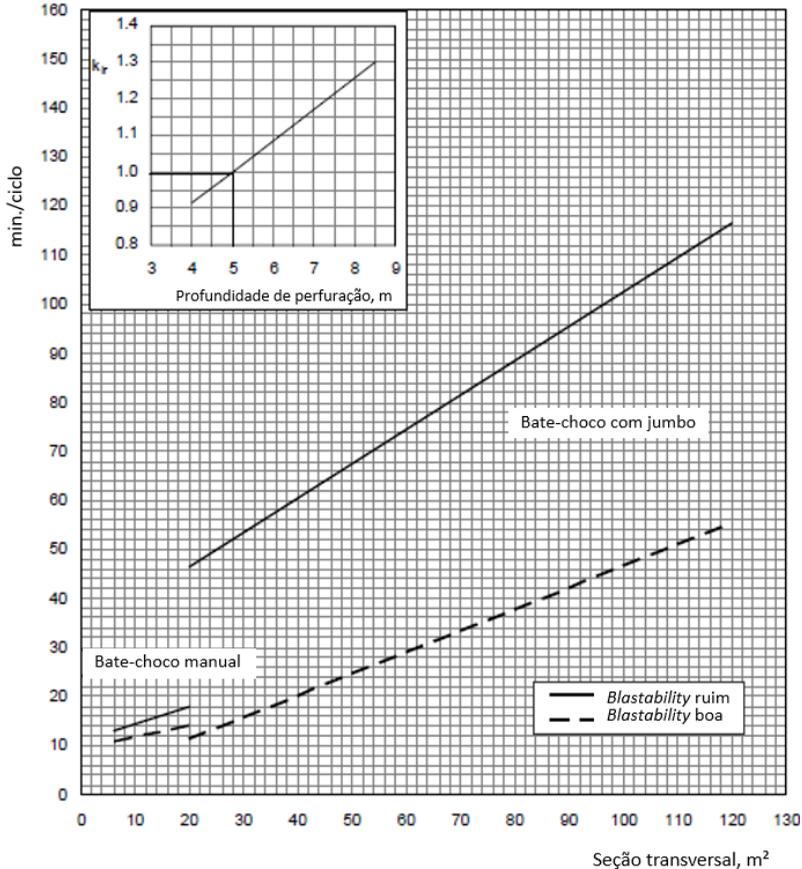
Figura 26 - Tempo ocioso por ciclo baseado na seção transversal do túnel e do equipamento utilizado no processo.



Fonte ZARE (2007b)

Após a etapa de carregamento e transporte, é necessário determinar o tempo do processo de bate-choco, sendo este determinado através da análise da Figura 27 em função da área da seção transversal do túnel e do método utilizado para execução do procedimento.

Figura 27 - Tempo de bate-choco em função da área da seção transversal e do método de execução.



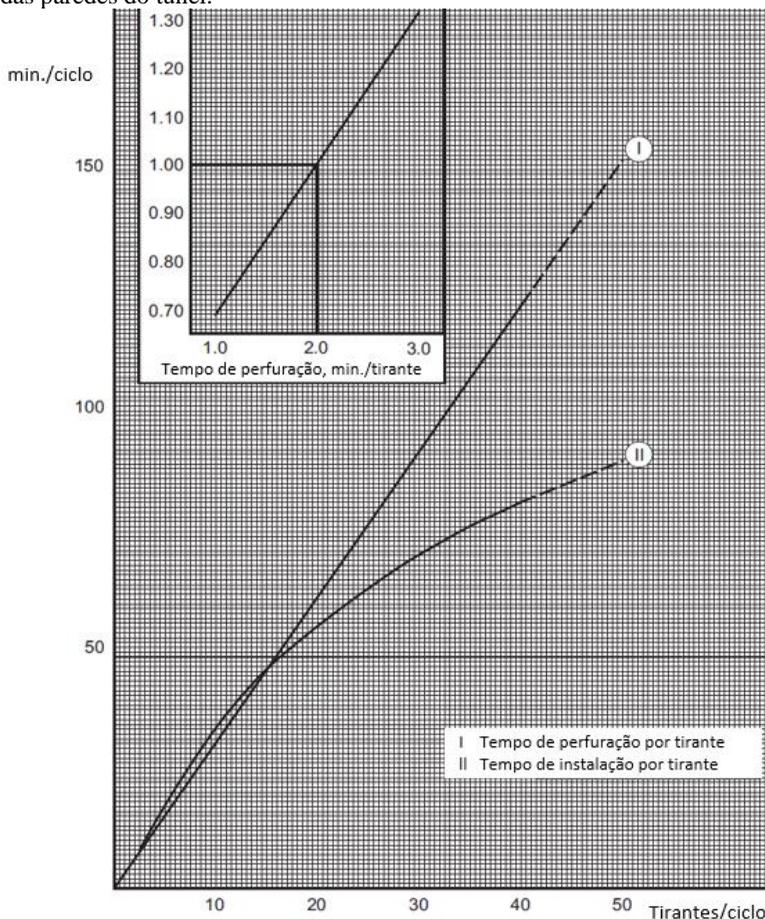
Fonte: ZARE (2007b)

Com relação ao tempo necessário para o suporte de zonas fragilizadas nas paredes do túnel, ZARE (2007b) salienta que o tempo levado nessa etapa, caso seja adotado a solução concreto projetado, não deve entrar nos cálculos do modelo NTNU. Isso porque na maioria dos casos, salvo em situações críticas onde as condições do maciço rochoso são muito ruins, o processo de suporte e revestimento é realizado concomitantemente com as atividades do próximo ciclo de detonação. Caso a solução seja pelo uso de tirantes metálicos, procedimento que proporciona uma melhor estabilização das paredes do túnel, especialmente em situações de um maciço rochoso muito alterado, o

tempo para a realização das perfurações e instalação deve ser levado em conta no ciclo.

Através do ábaco da Figura 28, pode-se determinar o tempo das etapas de perfuração dos tirantes e instalação de acordo com o número de tirantes a ser instalado por ciclo. O tempo de perfuração encontrado ainda deve ser dividido pelo número de lanças que estão sendo utilizadas no processo. Corriqueiramente, essa perfuração é feita pelo próprio jumbo de perfuração utilizado nos furos de detonação.

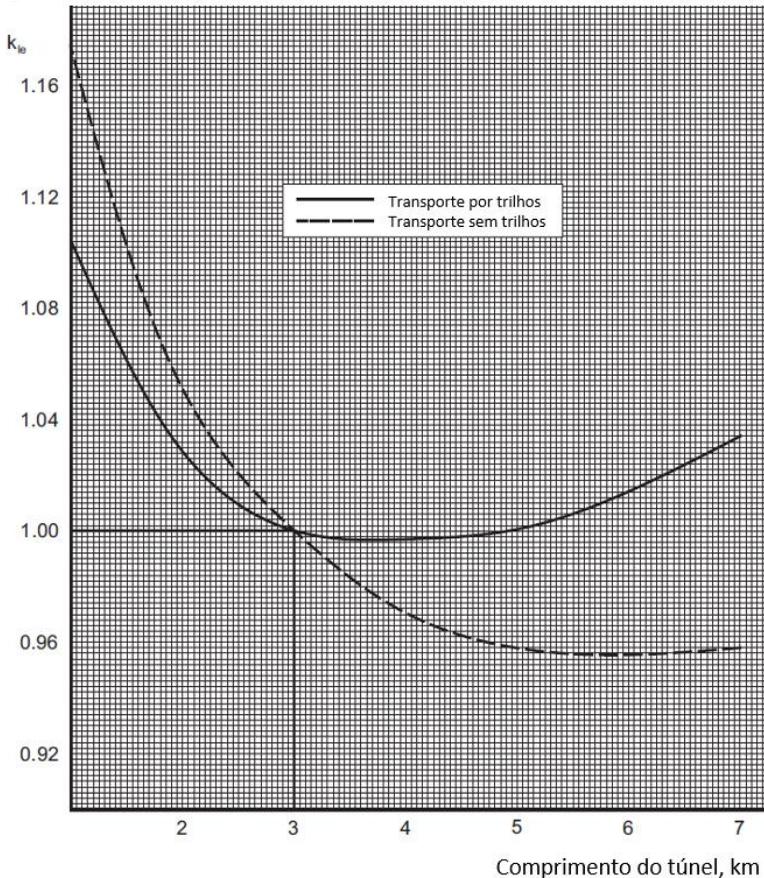
Figura 28 - Tempo de perfuração e instalação dos tirantes como forma de suporte das paredes do túnel.



Fonte: ZARE (2007b)

De acordo com o exposto nos parágrafos anteriores, foram definidos os tempos necessários para a execução das etapas de perfuração e carregamento (1ª etapa), ventilação (2ª etapa), carregamento e transporte (3ª etapa) e, por fim, o tempo de bate choco (4ª etapa). Há ainda o tempo dispendido no procedimento de suporte da rocha, caso necessário. Sendo assim, o tempo líquido requerido para um ciclo de detonação será dado pela soma de tempo das quatro etapas do processo multiplicado por um fator de correção, que leva em conta o comprimento do túnel em análise, bem como o treinamento da equipe de trabalho, e é exposto no ábaco mostrado na Figura 29.

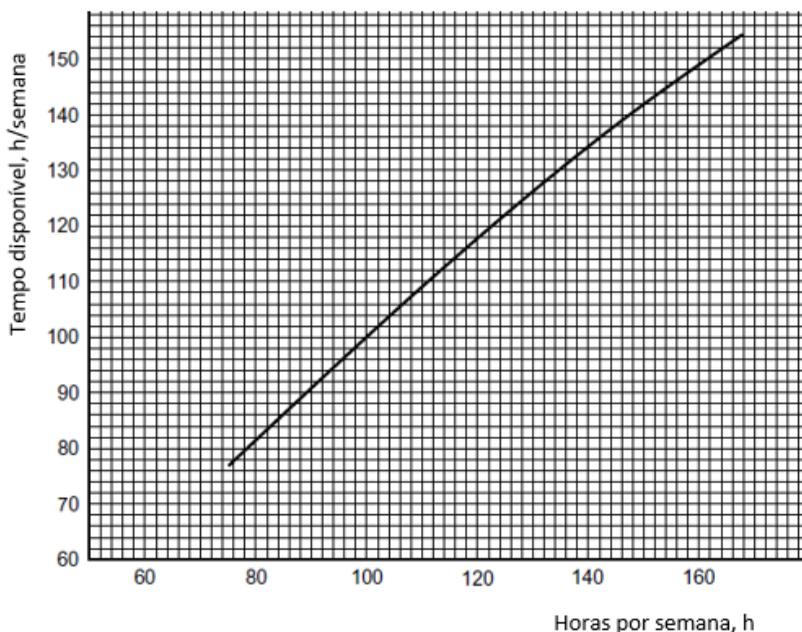
Figura 29 - Fator de correção em relação ao comprimento do túnel



Fonte: ZARE (2007b)

Para o cálculo do avanço semanal, valor que será a base para determinar o tempo total de execução de um túnel, deve-se determinar a quantidade de horas de trabalho disponíveis por semana da equipe de execução. Ela pode ser obtida a partir da Figura 30, com relação a duração semanal dos turnos de trabalho. Um valor usual de 101 horas por semana é recomendado, pois representa 16 horas de trabalhos diários divididos em dois turnos de oito horas, e levando-se também em consideração perdas nas trocas e fim de turnos. (ZARE, 2007a)

Figura 30 - Horas de trabalho disponíveis por semana de acordo com a duração dos turnos de trabalho das equipes



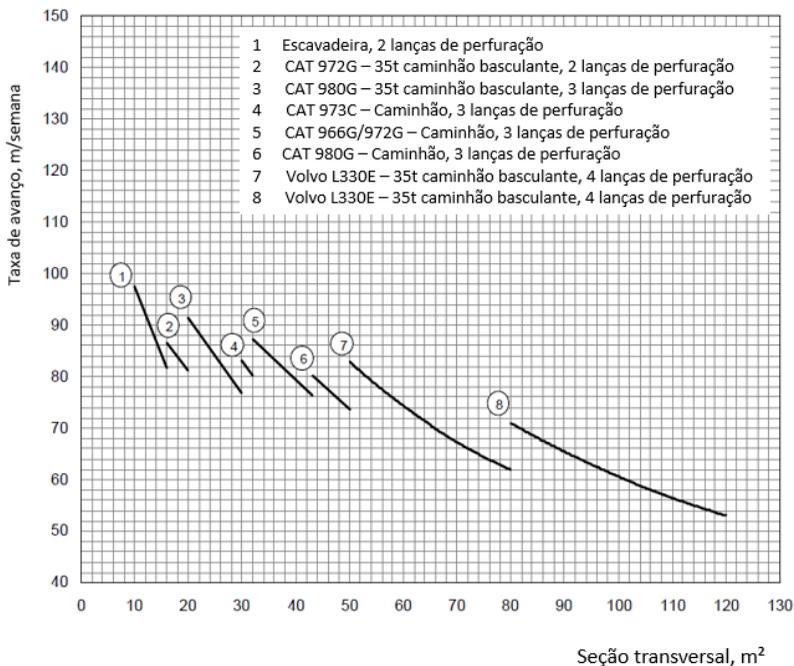
Fonte: ZARE (2007b)

Com as horas de trabalho semanais definidas, a taxa de avanço semanal é obtida através da Equação 5. Nela tem-se o tempo efetivo de trabalho por semana ( $h_w$ ), o comprimento perfurado ( $l_h$ ) e a porcentagem de avanço efetivo por ciclo ( $p_r$ ). Todos esses fatores são divididos pelo tempo total do ciclo adicionando-se o tempo requerido para o suporte da rocha ( $T_{sr}$ ).

$$AR = \frac{h_w \cdot 60}{T_{sr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100} \quad (5)$$

A partir da Equação 5 define-se a taxa de avanço semanal do túnel, podendo assim obter-se o tempo total de execução a partir da divisão do comprimento do túnel pela taxa de avanço semanal. ZARE (2007b) apresenta, na Figura 31, um resumo de diversas combinações de tamanho de túneis com os equipamentos utilizados na execução e com isso a taxa de avanço semanal para cada uma das situações.

Figura 31 - Taxa de avanço semanal para diversas combinações de túneis e equipamentos de execução.



Fonte: ZARE (2007b)

### 2.3.2.1 Validação do método NTNU

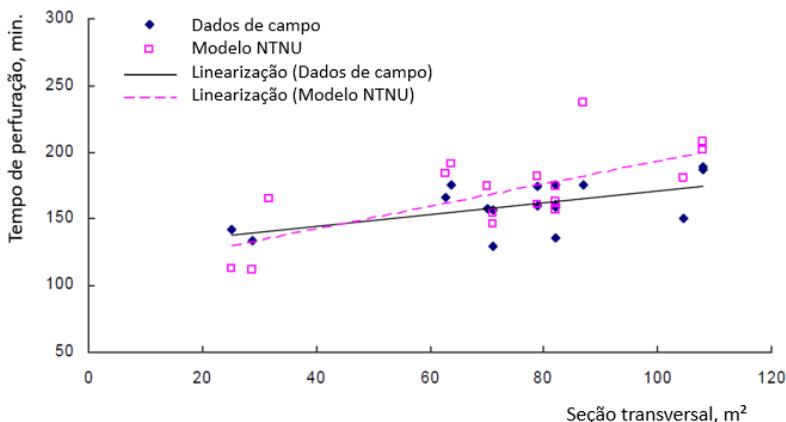
Como já mencionado, o método de predição de desempenho NTNU é baseado em um vasto acervo de obras geotécnicas que fundamentam e fornecem os dados para a formulação dos ábacos e equações mostradas. ZARE (2007c) apresenta 21 (vinte e uma) análises

entre dados de desempenho observados em campo com aqueles previstos pelo método NTNU.

Tais dados são oriundos de túneis com seções transversais dos mais variados tamanhos (desde 25,2 m<sup>2</sup> até 108m<sup>2</sup>). Da mesma forma, o índice DRI bem como os equipamentos adotados, apresentam uma grande variabilidade, colaborando, dessa forma, com a qualidade do estudo.

Na primeira das comparações, mostrada na Figura 32, o tempo da etapa de perfuração apresenta uma correlação muito boa para seções transversais de tamanho pequeno a médio, entre 20,00 e 80,00 m<sup>2</sup>. Para áreas maiores, o modelo passa a perder correlação com os dados de campo.

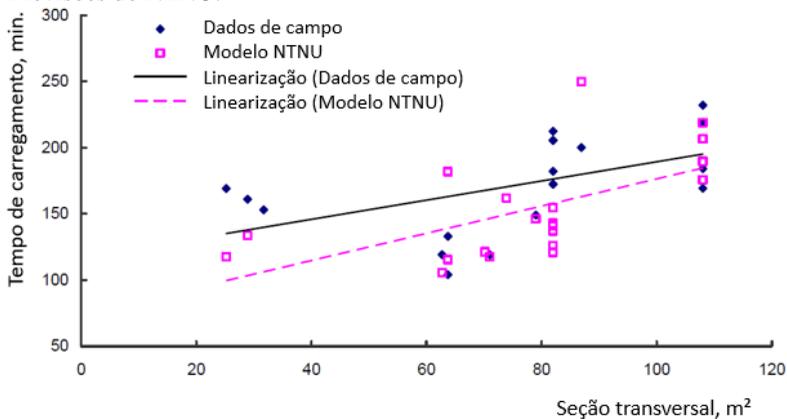
Figura 32 - Tempo de perfuração: Comparação de dados de campo x Previsões do NTNU



Fonte: ZARE (2007c)

Já na Figura 33, o tempo de carregamento e transporte é avaliado. Agora, a correlação melhora para seções transversais maiores, acima de 80,00 m<sup>2</sup>. De acordo com ZARE (2007c), como o modelo apresenta resultados de tempo inferiores aos observados na prática, há o indicativo de que o tempo ocioso nesse processo é maior em campo do que o previsto pelo método.

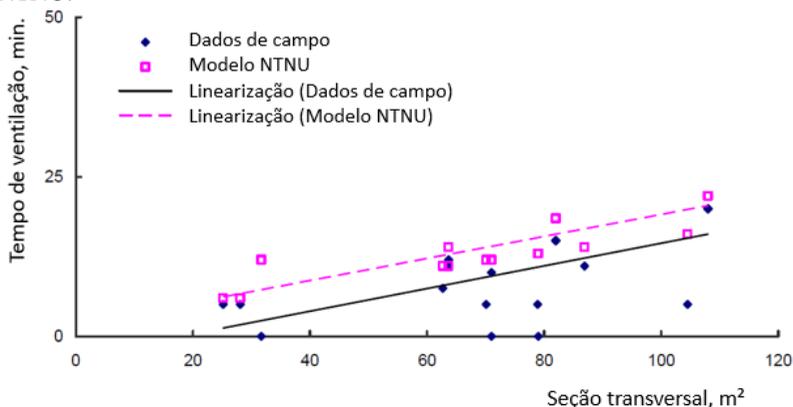
Figura 33 - Tempo de carregamento/transporte: Comparação de dados de campo x Previsões do NTNU.



Fonte: ZARE (2007c)

Em relação ao tempo de ventilação, dados expostos na Figura 34, o modelo prevê um tempo maior que o observado. ZARE (2007c) indicada que o método NTNU superestima esse procedimento por questões de segurança, sendo que em campo, com o uso de equipamentos para medir o nível material tóxico no ar, esse tempo geralmente é menor. É importante salientar que, apesar dessa diferença, a variação entre os dois apresenta comportamento constante ao longo da faixa de seções transversais.

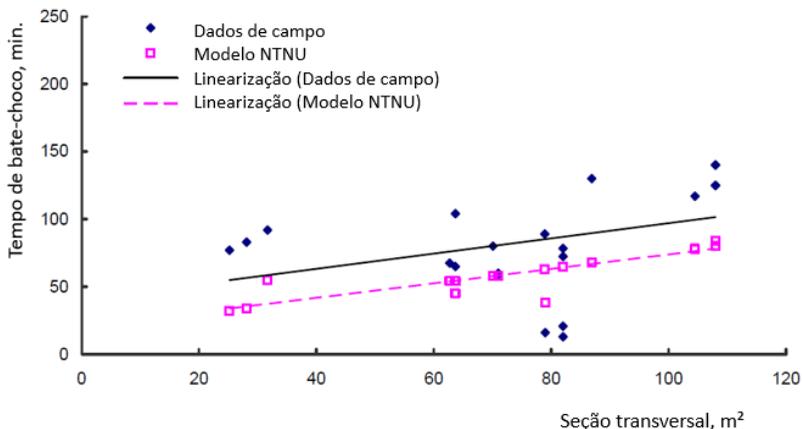
Figura 34 - Tempo de ventilação: Comparação de dados de campo x Previsões do NTNU.



Fonte: ZARE (2007c)

O tempo de bate-choco também passou por análise, mostrando o comportamento inverso ao do tempo de ventilação, como pode ser observado na Figura 35. Aqui, o modelo de previsão apresentou estimativas de tempo inferiores às observadas em campo, mas ainda sim com correlações constantes ao longo da faixa de seções transversais.

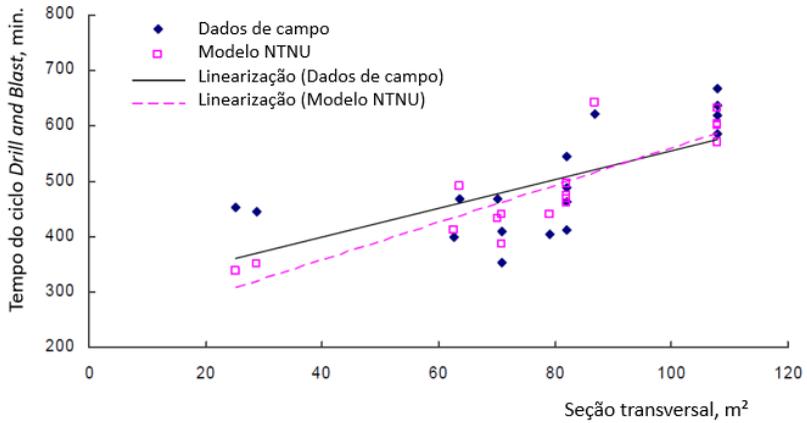
Figura 35 - Tempo de bate-choco: Comparação de dados de campo com as previsões do NTNU.



Fonte: ZARE (2007c)

Todos os gráficos citados anteriormente se referem ao tempo isolado de algumas etapas do ciclo *Drill and Blast*. Contudo, o principal objetivo do método é avaliar o tempo de execução do ciclo completo. Essa comparação entre os dados reais do ciclo e aqueles previstos pelo método é mostrado na Figura 36, onde se pode notar uma forte correlação dos dados para seções transversais grandes (acima de 80,00 m<sup>2</sup>) que, segundo ZARE (2007c), é resultado do maior número de dados referentes a essa condição de escavação dentro dos 5.000 km que compõem a base de dados do método. Sendo assim, para a análise do ciclo *Drill and Blast*, o método NTNU se mostra adequado para as características dos túneis do contorno viário, objeto de análise desse estudo.

Figura 36 - Tempo do ciclo *Drill and Blast*: Comparação de dados de campo com as previsões do NTNU.



Fonte: ZARE (2007c)

### 3 Plano de Trabalho

#### 3.1 Método

Analisar a mobilidade urbana na Grande Florianópolis de forma a identificar suas principais características bem como quantificar os impactos que uma determinada alternativa proposta terá na mobilidade é fundamental na busca de soluções para a região. O Contorno Viário da Grande Florianópolis é apresentado como uma dessas alternativas, sendo que o seu impacto será percebido assim que a obra for inaugurada. Devido à sua importância, avaliar o prazo atual de conclusão da obra através de uma metodologia reconhecida poderá auxiliar na validação desse cronograma, propondo, dessa forma, alternativas de execução que possam validar o prazo como viável. Para chegar nesses resultados, um sequenciamento de atividades foi desenvolvido e mostrado na Figura 37.

A revisão bibliográfica do trabalho se concentrou em quatro grandes áreas. Na primeira foi feita uma contextualização sobre a mobilidade urbana na Grande Florianópolis, identificando a evolução histórica da população local, da urbanização, do aumento da frota de veículos e dos investimentos insuficientes em infraestrutura. Esse conjunto de vetores resultou na definição da situação atual e determinou as bases para estimar os impactos que o Contorno Viário terá na região.

A segunda área tratou do Contorno Viário. Abordando suas características técnicas e geológicas, o histórico de evolução da obra, atrasos de prazo de entrega e o estágio atual do empreendimento. Por fim, tratou-se de um dos pontos críticos da obra, a construção de quatro túneis duplos que, até o final do ano de 2018, ainda não tiveram suas atividades iniciadas.

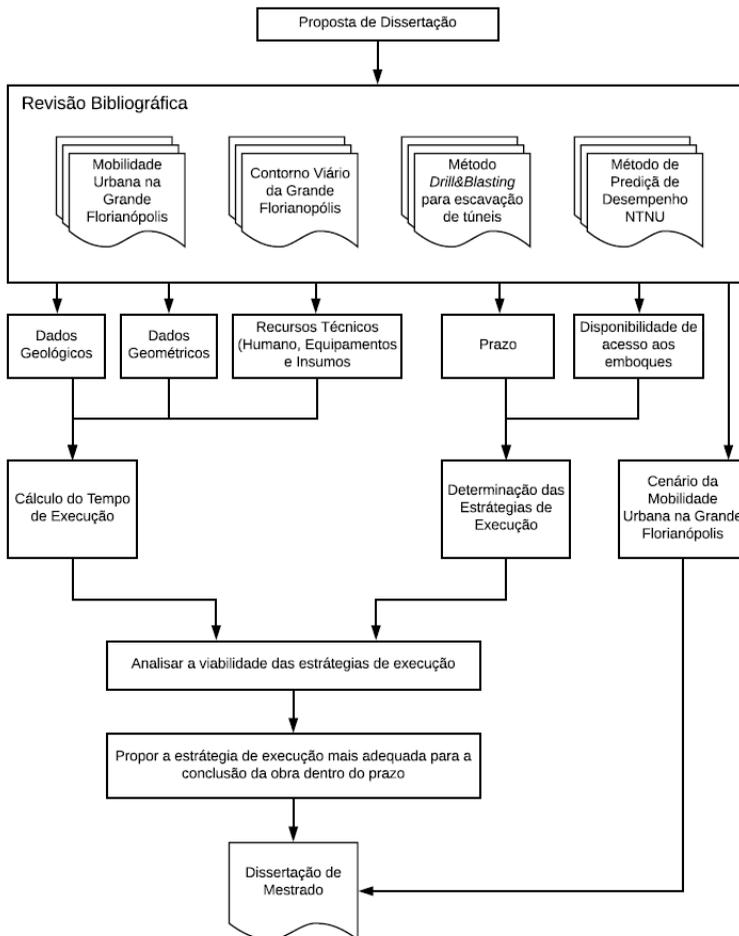
Com as características dos túneis do Contorno Viário determinadas, uma análise do método de execução foi feita, expondo as principais vantagens dos métodos, sua aplicação, bem como as atividades de um ciclo completo.

Por fim, a última etapa da revisão bibliográfica consistiu em uma análise sobre o método de predição de desempenho NTNU. Dessa forma, é possível entender o método, suas variáveis de entrada e saída, bem como a forma de compor o tempo total de escavação de um túnel com características similares aos analisados nesse estudo.

Essas quatro etapas da revisão bibliográfica subsidiaram as duas próximas. A primeira buscou determinar o tempo de execução dos túneis baseado no método NTNU. Essa etapa teve como parâmetros de entrada os dados geológicos dos túneis, as características geométricas de cada um

deles, bem como os recursos técnicos que serão utilizados (como o maquinário, insumos e mão de obra especializada).

Figura 37 - Diagrama de Atividades.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na sequência, determinaram-se as possíveis estratégias de execução dos túneis, focando no número de equipes em atividade e na ordem de execução. Essa etapa teve como dados de entrada o prazo de entrega da obra, a disponibilidade de acesso aos emboques e o tempo de execução dos túneis.

Os resultados obtidos serviram de base para uma análise de viabilidade das estratégias propostas, destacando a estratégia mais adequada como aquela que prevê a finalização da etapa de escavação em tempo hábil para a conclusão dos trabalhos dentro do prazo estipulado, utilizando a menor quantidade de mão de obra possível, Por fim, o resultado da etapa de análise definiu a melhor estratégia para a escavação, que será apresentada com maiores detalhes. Todas as etapas descritas anteriormente formaram a Dissertação de Mestrado em seu formato final.

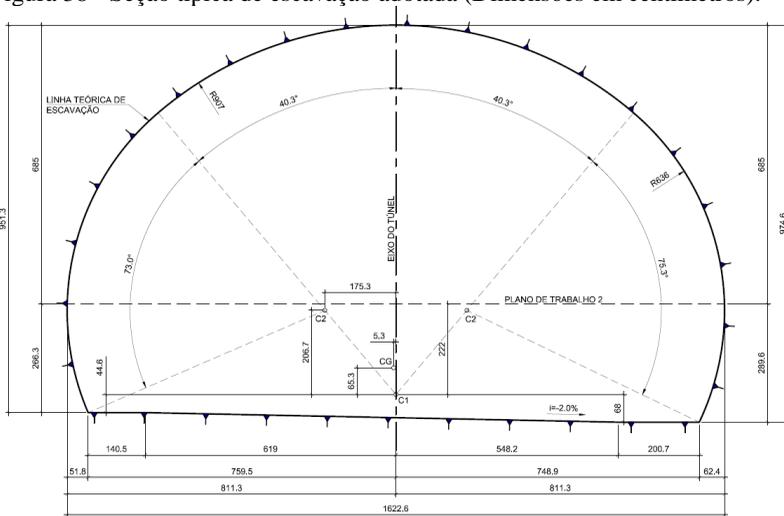
### 3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA, GEOTÉCNICA E EXECUTIVA

Dentro das atividades definidas no plano de trabalho e conforme mostrado no Capítulo 2, o método NTNU se baseia em três categorias para determinar a taxa de avanço semanal. O primeiro ponto diz respeito às características geométricas do túnel, mais especificamente a seção transversal de escavação. O segundo ponto a ser definido diz respeito aos recursos técnicos utilizados na execução da obra. Estes recursos estão diretamente relacionados às características da obra, como seção transversal, materiais utilizados, qualificação da equipe de trabalho, dentre outras questões. Por fim, o último aspecto relevante são as propriedades geológicas encontradas. As características do maciço rochoso vão ter influência direta no tempo de execução da obra.

#### 3.2.1 Geometria

Dentro do método NTNU, o principal aspecto geométrico levado em consideração é a seção transversal. Através dela é possível definir o número de furos de perfuração, tempo de ventilação necessário, equipamentos adequados e o volume de material detonado que será gerado pelo processo. Diferentemente da seção exposta anteriormente na Figura 11 (Página 43), a seção de escavação tem dimensões maiores, pois deve acomodar todas as características do projeto, bem como outras questões, como o revestimento que será utilizado. Dessa forma, a seção transversal de escavação que será adotada tem uma área transversal de 132 m<sup>2</sup>, com 16,22 m de largura e 9,60 m de altura. Essa seção é exposta na Figura 38.

Figura 38 - Seção típica de escavação adotada (Dimensões em centímetros).



Fonte: ANTT (2017a)

### 3.2.2 Equipamentos e insumos

Após a definição da seção transversal deve-se, então, definir todos os equipamentos, materiais e métodos construtivos que serão utilizados com base no método NTNU. Nas seções a seguir, cada um dos itens pertinentes ao método é abordado e definido.

#### 3.2.2.1 Execução dos furos de perfuração

A primeira, e uma das mais importantes etapas do método de escavação *Drill and Blast*, é a execução dos furos que compõem o mapa de fogo. Esses furos são realizados através de equipamentos de perfuração frontal, conhecidos como Jumbos. Estes equipamentos possuem até quatro lanças de perfuração, cobrindo uma área entre 6 m<sup>2</sup> até 206 m<sup>2</sup> dependendo de sua configuração. Com relação à marcação dos furos, esta pode ser feita manualmente, utilizando de topografia ou, nos equipamentos mais avançados, através de GPS e projeção gráfica.

Nos túneis presentes no Contorno Viário, a seção transversal fica próxima aos 132 m<sup>2</sup>. Dessa forma optou-se por adotar um jumbo fabricado pela empresa Atlas Copco equipado com três lanças de perfuração modelo COP 1838 e área de cobertura de 198 m<sup>2</sup>. A escolha desse equipamento se deu pela disponibilidade em território nacional de

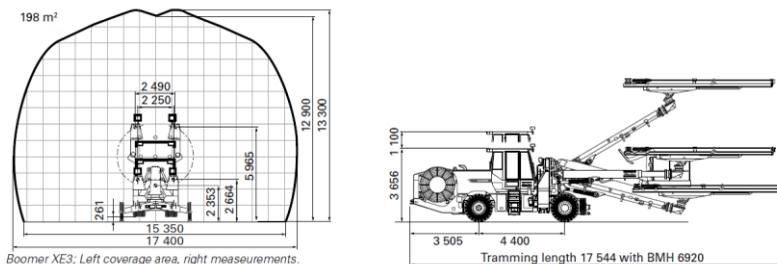
equipamentos similares, bem como sua adequação tanto à largura quanto à altura da seção de escavação dos túneis. O modelo de jumbo adotado (Boomer E3 – Atlas Copco) é apresentado na Figura 39. Por sua vez, as dimensões e área de cobertura do modelo, são mostradas na Figura 40.

Figura 39 - Jumbo de perfuração equipado com três lanças e plataforma de trabalho.



Fonte: Epiroc (2018)

Figura 40 - Área de cobertura do equipamento adotado nas análises.



Fonte: Epiroc (2018)

### 3.2.2.2 Material explosivo

O material explosivo adotado no preenchimento dos furos de detonação e posterior desmonte da rocha será a emulsão explosiva encartuchada. Esse tipo de explosivo é recomendado em SICRO (2018) para obras desse porte. ZARE (2007b) expõe uma das vantagens dessa alternativa, como a necessidade de um menor tempo de ventilação após as detonações devido a menor geração de óxidos de nitrogênio quando comparado com outros explosivos.

### 3.2.2.3 Execução do “bate choco”

Na execução da etapa de “bate choco”, devido à seção transversal de grande dimensão, é prevista a utilização de uma escavadeira hidráulica com martelo hidráulico conforme os equipamentos de referência exposto em SICRO (2018). Dessa forma garante-se a segurança e boa produtividade durante a operação. Na Figura 41 vê-se um desses equipamentos realizando o procedimento de “bate choco”.

Figura 41 - Escavadeira com martelo hidráulico realizando o procedimento de bate choco nas paredes de um túnel.



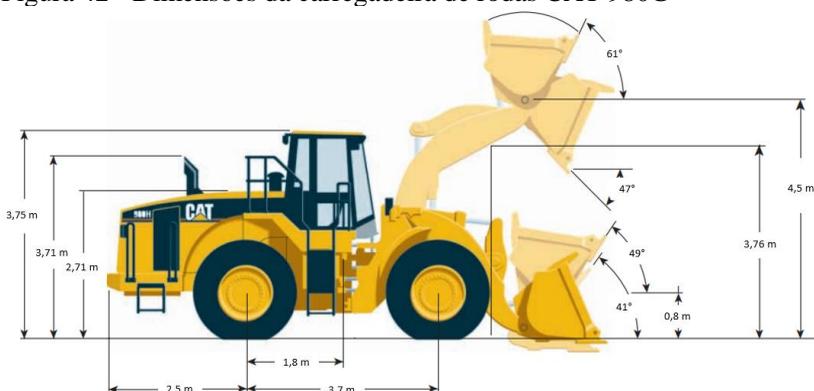
Fonte: R3Ciclo (2017)

### 3.2.2.4 Carregamento e Transporte dos detritos

Os equipamentos utilizados no carregamento e transporte dos detritos provenientes do método *Drill and Blast* devem estar de acordo com o tamanho e volume de material gerado, bem como levar em consideração a disponibilidade dos equipamentos na região onde está se executando o empreendimento. No caso do Contorno Viário de Florianópolis, a principal empresa no fornecimento de equipamentos pesados para a obra é a PESA (Paraná Equipamentos S.A.), especializada na linha pesada de equipamentos Caterpillar. Baseando-se nessa questão, todos os equipamentos para essa etapa do método NTNU serão provenientes daqueles disponíveis no catálogo de produtos fornecidos pela PESA, de forma a se garantir que aqueles selecionados realmente possam ser utilizados na execução da obra.

Devido ao porte do empreendimento, o volume de detritos gerados necessitará de equipamentos robustos que não prejudiquem a produtividade do processo. Uma análise do catálogo de equipamentos disponibilizados pela PESA permite a identificação da carregadeira de rodas CAT 980G como a mais adequada para o projeto. Equipamentos de maior capacidade têm dimensões que acabam prejudicando sua movimentação no canteiro de obras, sendo que pelo exposto em ZARE (2007b) esse modelo tem boa mobilidade e capacidade de carga, sendo adequado para túneis rodoviários. Na Figura 42 é exposto um desenho esquemático com as dimensões desse equipamento.

Figura 42 - Dimensões da carregadeira de rodas CAT 980G



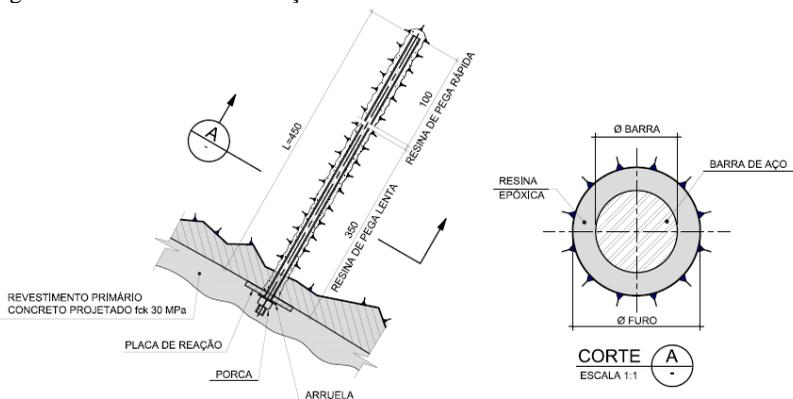
Fonte: CATERPILLAR (2005)

Além da definição da forma que será feito o carregamento do material detonado, também é necessário definir o tipo de equipamento que ficará responsável por transportar esse material para fora do túnel até uma zona adequada de armazenamento. ZARE (2007b) recomenda caminhões basculantes com capacidade de carregamento de 35 toneladas para obras desse nível, sendo este tipo de veículo amplamente difundido em território nacional e, dessa forma, utilizado para os cálculos do método.

### 3.2.2.5 Suportes

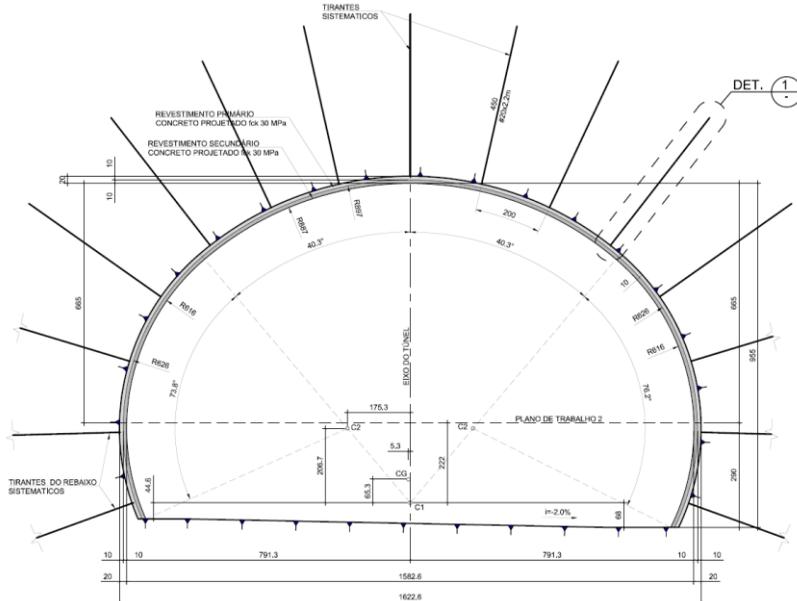
Definir as características do revestimento adotado no projeto dos túneis é fundamental para que o método de predição de desempenho seja bem-sucedido. Com a análise dos relatórios de projeto da ANTT (2017b) pode-se constatar que na escavação em rocha dos túneis do contorno viário se optou por uma solução com uso de tirantes metálicos fixados com resina epóxi como forma de suporte das rochas nas paredes do túnel. A solução adotada pelos projetistas consiste em 15 tirantes metálicos com 4,5 m de extensão, colocados a cada 2,5 m de escavação. Assim, considerando um avanço de 5 m por ciclo, a cada ciclo de escavação serão instalados 30 tirantes metálicos. Como forma de revestimento, concreto projetado com espessura de 30 cm foi adotado como solução. Nas Figuras 43 e 44 respectivamente, são expostos o detalhe construtivo de um dos tirantes e a disposição dos tirantes na seção transversal de escavação do túnel.

Figura 43 - Detalhe de instalação de um dos tirantes metálicos.



Fonte: ANTT (2017b)

Figura 44 - Sequência de tirantes metálicos como solução de suporte.



Fonte: ANTT (2017b)

### 3.2.2.6 Treinamento de Equipe de execução

O método NTNU leva em consideração também o nível de qualidade do processo de escavação. ZARE (2007b) mostra que o método considera questões como a tecnologia do equipamento utilizado, a motivação e o treinamento da equipe de trabalho, bem como a organização das atividades.

No presente trabalho, adotou-se um nível alto de qualidade, devido à utilização de um jumbo de tecnologia recente, equipamentos de boa qualidade e a suposição de que a equipe de trabalho terá treinamento adequado. Dessa forma, as análises através do método NTNU têm o objetivo de fornecer uma estimativa otimista quanto ao tempo de escavação da obra.

### 3.2.3 Geologia

A correta definição da geologia que será encontrada durante o processo de escavação é fundamental para que os resultados encontrados pelo método tenham uma boa precisão. Assim, é importante definir os

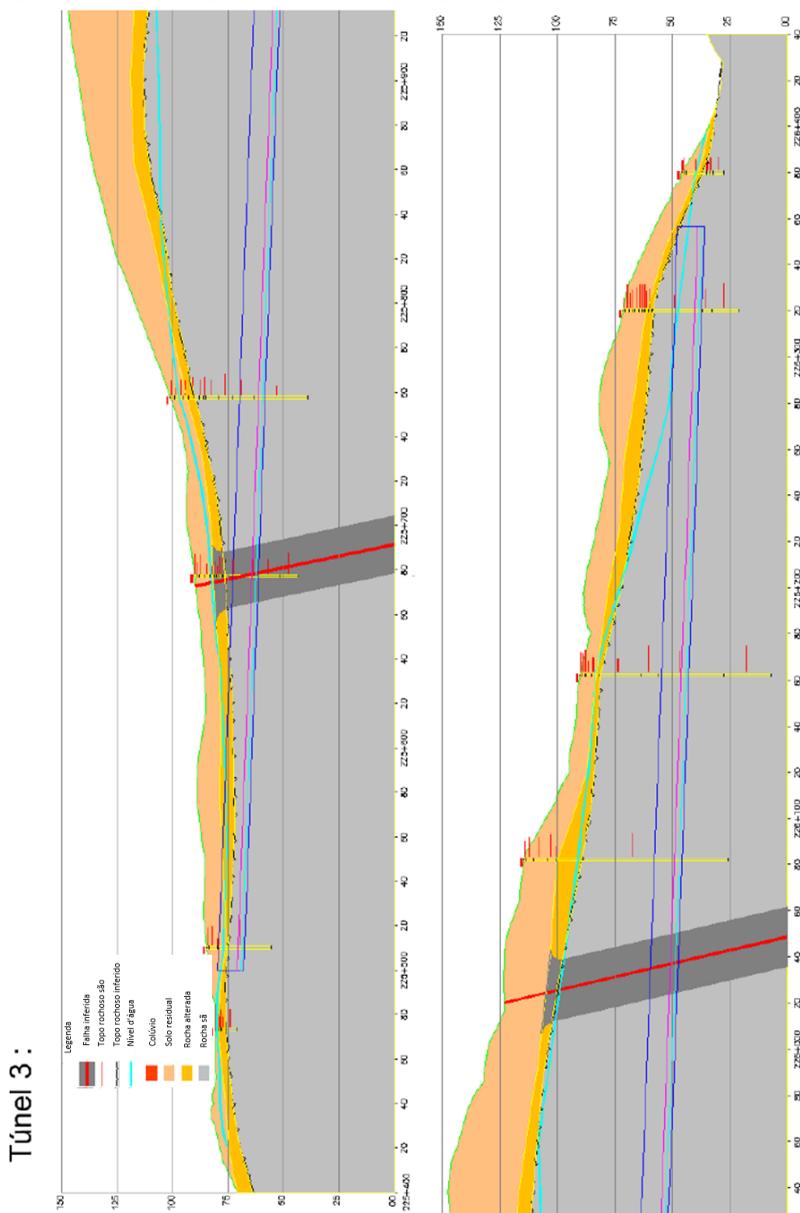
tipos de formações que serão encontradas e suas condições. Em ANTT (2017), as sondagens referentes ao túnel 3 revelam um maciço rochoso, com predomínio de granitos, onde as diversas feições geológicas afetam o corpo rochoso de maneira anisotrópica. Esse cenário geológico retrata um meio descontínuo. Contudo, as campanhas de investigação adotadas para o túnel 3 se baseiam no reconhecimento das áreas dos emboques, sendo que toda a porção interna do eixo do túnel é desconhecida devido a essa falta de investigações. Ainda de acordo com ANTT (2017), a caracterização geológica feita pela projetista é baseada nessas regiões dos emboques e levantamentos geológicos de superfície baseados no Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina.

Essa falta de informações com relação à formação geológica é mostrada na Figura 45. Através dela é possível notar um total de 7 sondagens ao longo do eixo do túnel. Além disso, na parte central, uma extensão próxima a 400 m não passou por nenhum tipo análise. No relatório ainda há uma observação de que apesar de grande parte do túnel se encontrar em rocha sã, considerá-lo como Classe II dentro da classificação proposta por Bieniawski (1989) é uma simplificação otimista que acaba atraindo riscos para a obra.

A classificação geomecânica proposta por Bieniawski (1989) denominada RMR (*Rock Mass Rating*) é amplamente difundida e utilizada em todo o mundo. Ela é baseada no princípio de atribuição de pesos aos seis parâmetros que Bieniawski considerava como os mais significantes para o comportamento do maciço:

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

Figura 45 - Perfil longitudinal da formação geológica em relação ao túnel 3.



Fonte: ANTT (2017a)

O modelo apresentado por Bieniawski permite a classificação do maciço em 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.

Para definir as classes que serão adotadas no processo de escavação se faz necessário uma consulta ao Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina. A sobreposição do traçado do Contorno Viário junto ao Mapa Geológico, exposta na Figura 46, permitiu a identificação das formações geológicas em cada um dos túneis analisados.

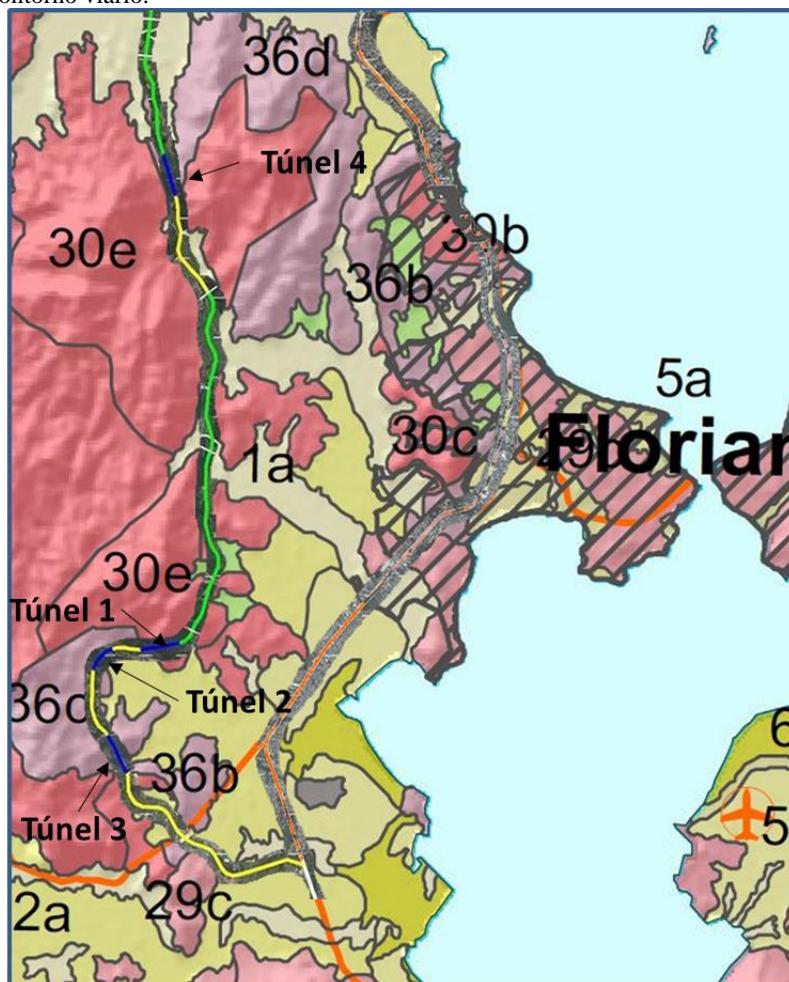
Nela é possível notar que os túneis 2, 3 e 4 estão na região denominada 36d. Ela é caracterizada por um domínio montanhoso de rochas muito deformadas e de alta resistência. Na região predominam solos em evolução e pouco profundos. O comportamento geomecânico das rochas é considerado anisotrópico, com diversos planos de descontinuidades e com as rochas alteradas sujeitas ao desprendimento de placas. (CPRM, 2014)

Essa caracterização de solo pouco profundo, o que resulta em grande parte dos túneis sendo executados em rocha, e a característica de rochas alteradas da região, fez com que se adotasse uma classificação classe III (Maciço rochoso de qualidade razoável).

A Figura 46, mostra a locação do túnel 1 entre uma zona 36d, e uma zona 30e. Esta última, de acordo com CPRM (2014), resulta em uma série granítica de domínio montanhoso, com alta resistência ao suporte e caracterizada por relevos acidentados e declivosos e um solo de pouca profundidade. Assim, devido a essa alta resistência ao suporte e ao desmonte, caracteriza uma região de rocha com melhor qualidade, sendo então adotado uma classificação classe II (Maciço rochoso são ou medianamente alterado de boa qualidade), conforme Bieniawski (1989).

Ao fim, é importante salientar que a classificação adotada busca avaliar uma previsão otimista quanto às condições que serão efetivamente encontradas em campo. Dessa forma, o tempo de execução estimado fornecerá uma previsão otimista com relação ao prazo de entrega da obra.

Figura 46 - Sobreposição do mapa geológico de Santa Catarina e o traçado do contorno viário.



Fonte: Adaptado de CPRM (2014)

### 3.2.3.1 Coeficiente de Escavabilidade - DRI

A definição da classe dos túneis de acordo com o modelo proposto por Bieniawski deve ser compatibilizada com o parâmetro adotado pelo NTNU. Nesse contexto, o parâmetro DRI (*Drilling Rate Index*) é aquele que representa a qualidade do maciço rochoso. Também chamado de coeficiente de escavabilidade, o índice reflete a resistência da rocha ao

desmonte e pode ser estimado a partir da análise de mais de 2000 amostras de diversas localidades pelo mundo. Assim, o índice DRI pode ser classificado conforme Tabela 3 em sete categorias. (Bruland, 1998)

Tabela 3 - Faixa de valores do índice DRI

Categoria	DRI
Extremamente Baixo	< 25
Muito Baixo	26-32
Baixo	33-42
Médio	43-57
Alto	58-69
Muito alto	70-82
Extremamente alto	> 82

Fonte: Bruland (1998)

A correlação do DRI com a classificação de Bieniawski pode ser feita diretamente, onde um maciço classe III, considerado de qualidade razoável, assume pelo índice DRI um valor médio. Já para o maciço classe II, de boa qualidade, adota-se um índice categorizado como alto.

Com as categorias definidas, deve-se avaliar o valor do índice DRI dentro da categoria determinada para o material que será encontrado na escavação dos túneis. A Figura 15 (página 50) traz os valores típicos para diversas formações rochosas. Como nos túneis do contorno viário, as informações provenientes das campanhas de sondagens indicam um maciço formado principalmente por granito e a faixa de valores desse material abrange desde a categoria de valor baixo até a de valor alto e, pela falta de dados concretos sobre o material, optou-se por adotar um valor intermediário dentro da categoria definida. Assim, para os túneis 2, 3 e 4, definidos de categoria média, o valor do índice DRI adotado será de 50. Já para o túnel 1, definido como de alta categoria, o índice DRI assumirá o valor 63,5.

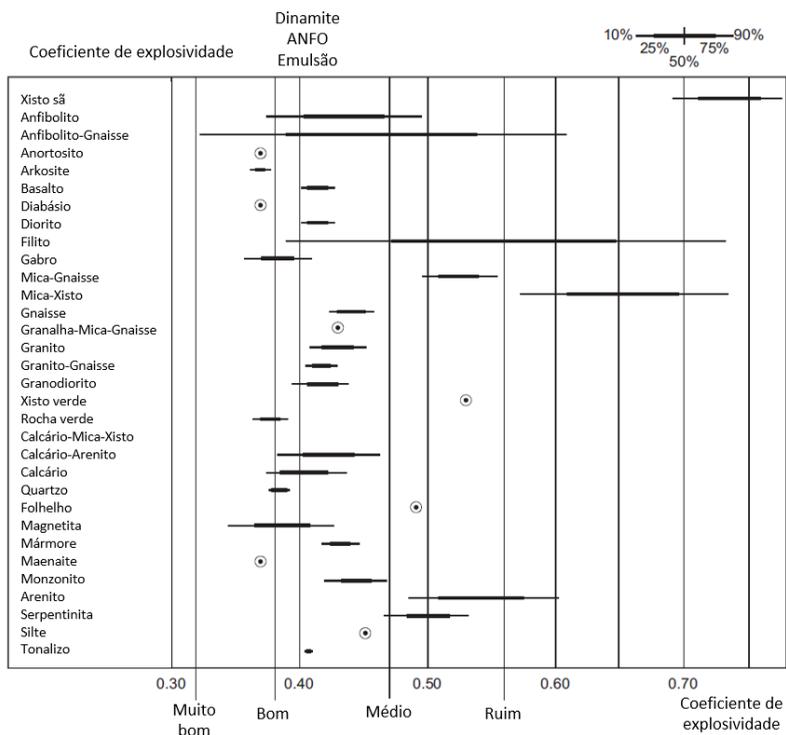
### 3.2.3.2 Coeficiente de Explosividade – *Blastability*

ZARE (2007a) define o parâmetro rock *blastability* através do termo coeficiente de explosividade “SPR”. Ele é influenciado por fatores como a anisotropia da rocha, densidade, mineralogia, densidade de carga do explosivo, velocidade de detonação. Ainda no estudo elaborado por ZARE (2007a), o coeficiente é dividido em três categorias:

- Boa explosividade: Materiais concisos e homogêneos;
- Média explosividade: Rochas com certo grau de anisotropia;
- Explosividade ruim: Rochas extremamente deformadas.

Novamente, o coeficiente de explosividade pode ser determinado através do ábaco mostrado na Figura 47, onde para o granito, o índice fica numa faixa intermediária entre as categorias de boa a média explosividade. Dessa forma, os túneis 2, 3 e 4 serão considerados de média explosividade. O túnel 1, pelo exposto, será considerado de boa explosividade.

Figura 47 – Faixa de valores para o índice de explosividade por tipo de formação rochosa.



Fonte: ZARE (2007a)

### 3.2.3.3 Qualidade do desgaste da rocha – RWQ

O último parâmetro referente à geologia do maciço que tem influência no método NTNU é o parâmetro RWQ (“*Rock Wear Quality*”) ou em português, qualidade do desgaste da rocha. Esse parâmetro representa o desgaste sofrido pelos *bits* da perfuratriz que executa os furos de perfuração. (ZARE, 2007b)

A definição deste parâmetro será baseada no exposto por CPRM (2014) no mapa geológico de Santa Catarina, onde é mostrado que para os quatro túneis as formações rochosas da região apresentam alta resistência ao desgaste, resultando em um RWQ classificado como alto conforme exposto na Figura 19 (página 53).

## 3.3 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS TÚNEIS

De forma a sintetizar e facilitar a análise das informações expostas ao longo do Capítulo 3, a Tabela 4 resume todas as informações levantadas e que irão compor o método NTNU para a previsão de desempenho da escavação dos túneis estudados. Inicialmente é exposto a localização dos túneis e sua extensão. As três categorias que servem de base para o método NTNU são também mostradas, com os itens pertinentes em cada uma delas. Esses dados alimentarão o formulário de aplicação do método NTNU, exposto no Apêndice I, que possibilita a estimativa do tempo de execução de cada um dos túneis.

Tabela 4 - Resumo das Características técnicas adotadas para os quatro túneis do contorno viário.

Caracterização Técnica dos Túneis do Contorno Viário				
	Túnel 1	Túnel 2	Túnel 3	Túnel 4
Localização	Palhoça	Palhoça	Palhoça	São José
Extensão	900 m	900	870 m	930 m
Geometria				
Área teórica de escavação	132 m <sup>2</sup>	132 m <sup>2</sup>	132 m <sup>2</sup>	132 m <sup>2</sup>
Largura teórica de escavação	16,22 m	16,22 m	16,22 m	16,22 m
Altura teórica de escavação	9,60 m	9,60 m	9,60 m	9,60 m

(continuação)

Recursos Técnicos				
Jumbo de Perfuração	Boomer E3	Boomer E3	Boomer E3	Boomer E3
Número de Lanças	3	3	3	3
Modelo Perfuratriz	COP 1838	COP 1838	COP 1838	COP 1838
Tipo de explosivo	Emulsão	Emulsão	Emulsão	Emulsão
Execução "Bate Choco"	Mecanizada	Mecanizada	Mecanizada	Mecanizada
Carregamento de detritos	CAT 980G	CAT 980G	CAT 980G	CAT 980G
Transporte de detritos	Caminhão basculante 35t	Caminhão basculante 35t	Caminhão basculante 35t	Caminhão basculante 35t
Suportes	Tirantes metálicos	Tirantes metálicos	Tirantes metálicos	Tirantes metálicos
Nº de tirantes por ciclo de escavação	30	30	30	30
Nível de qualidade das atividades	Alta	Alta	Alta	Alta
Geologia				
Tipo de formação geológica	Rocha	Rocha	Rocha	Rocha
Classe do Maciço (Bieniawski, 1989)	Classe II	Classe III	Classe III	Classe III
<i>Drilling Rate Index (DRI)</i>	63,5	49	49	49
<i>Blastability</i>	Boa	Média	Média	Média
Qualidade de desgaste da Rocha (RWQ)	Alto	Alto	Alto	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor



## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Com a definição das características técnicas dos túneis feita no Capítulo 3, foi possível determinar o tempo de escavação de cada um deles e posteriormente realizar a análise quanto à melhor solução construtiva para a obra.

### 4.1 TEMPO DE ESCAVAÇÃO

Avaliar o tempo de escavação dos túneis do contorno viário por meio de uma metodologia técnica e de comprovada eficácia como mostrado no Capítulo 2 é de grande importância na busca por uma melhor avaliação do prazo atual de entrega da obra, e assim fornecer subsídios para que na execução do projeto seja adotado uma solução viável.

Seguindo orientações do NTNU como a consulta dos ábacos apresentados no texto, bem como as equações para o cálculo de certos parâmetros, foi possível determinar cada uma das quatro etapas do método e, por fim, calcular a taxa de avanço semanal e assim o tempo de escavação dos túneis.

A seguir apresenta-se o resultado do tempo de escavação para cada um dos túneis, bem como uma análise dos resultados. Nos Apêndices II, III, IV e V é mostrado o Formulário de Aplicação do Método NTNU para cada um dos túneis.

#### 4.1.1 Tempo de Escavação: Túnel 1

O túnel 1 do contorno viário tem uma extensão de 900 metros e fica localizado no município de Palhoça. Conforme definido na caracterização técnica da obra, ele possui a melhor condição geológica quando comparado aos outros túneis. Na Tabela 5 é exposta uma síntese dos resultados obtidos através da aplicação do método de predição de desempenho NTNU. Através dela é possível identificar as principais etapas do ciclo *Drill and Blast*, sendo elas o tempo levado nas etapas de perfuração, carregamento e detonação, e a etapa de carregamento e transporte do material detonado. Essas etapas juntas correspondem a 87% do tempo líquido total do ciclo, sendo que o tempo de carregamento e transporte é o de maior impacto, 46% do tempo do ciclo conforme pode ser visto no gráfico da Figura 48. O tempo de revestimento também tem impacto importante no resultado, adicionando 100 minutos ao tempo do ciclo. Outro ponto importante a citar é o valor de horas trabalhadas por semana pelas equipes de execução. O valor adotado (101 horas)

corresponde a dois turnos de trabalho de oito horas cada, já descontando determinados intervalos de tempo nesse valor.

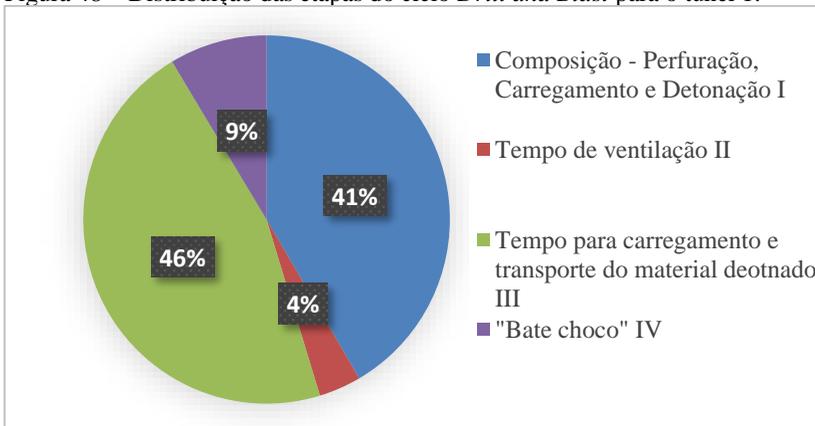
A composição de todas essas análises, mostrada por completo no Apêndice II, resulta em uma taxa de avanço semanal de 30,6 metros, resultando em um tempo total de escavação de 7,3 meses.

Tabela 5 – Composição do tempo de escavação para o túnel 1.

<b>Tempos de escavação por ciclo <i>Drill and Blast</i> - Túnel 1</b>		
Tempo de Perfuração	<i>T<sub>b</sub></i>	172,6 min.
Carregamento explosivo	<i>T<sub>l</sub></i>	58 min.
Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação	<b>I</b>	289,53 min.
Tempo de ventilação	<b>II</b>	26 min.
Tempo para carregamento e transporte do material detonado	<b>III</b>	321,1 min.
"Bate choco"	<b>IV</b>	60 min.
Tempo líquido do ciclo	<b>I+II+III+IV</b>	696,63 min./ciclo
Perfuração e Instalação dos Suportes	<i>T<sub>s</sub></i>	100 min.
Horas trabalhadas por semana	<i>hw</i>	101 horas/semana
Taxa de avanço semanal bruta	<i>Tar</i>	30,6 metros/semana
Comprimento do túnel	<i>L</i>	900 metros
<b>Tempo de escavação</b>		<b>7,3 meses</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48 – Distribuição das etapas do ciclo *Drill and Blast* para o túnel 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.1.2 Tempo de Escavação: Túnel 2

O túnel 2 do contorno viário tem uma extensão de 900 metros e também fica localizado no município de Palhoça. Quando comparado ao túnel 1, possui uma classificação geológica inferior, resultando em uma taxa de avanço semanal menor e conseqüentemente um maior tempo de execução. Com relação às etapas do método NTNU, a análise dos resultados mostrados na

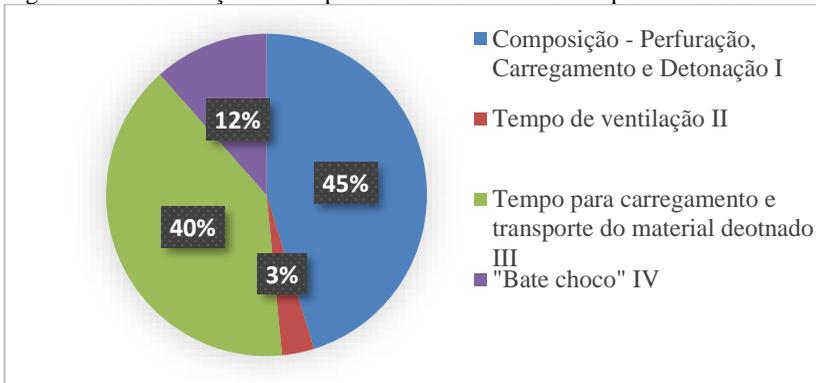
Tabela 6 revela que as etapas de perfuração, carregamento e detonação, e a etapa de carregamento e transporte do material detonado tem maior impacto dentro do ciclo, correspondendo a 85% do tempo total. Contudo, para o túnel 2, a etapa de perfuração, carregamento e detonação é a de maior relevância, com 45% do ciclo, conforme exposto na Figura 49. Isso se deve ao fato das características geológicas inferiores, o que aumentou o tempo de execução dos furos de perfuração.

A composição de todas essas análises, mostrada por completo no Apêndice III, resulta em uma taxa de avanço semanal de 27 metros, e um tempo total de escavação de 8,3 meses.

Tabela 6 – Composição do tempo de escavação para o túnel 2.

<b>Tempos de escavação por ciclo <i>Drill and Blast</i> - Túnel 2</b>		
Tempo de Perfuração	<i>Tb</i>	232 min.
Carregamento explosivo	<i>Tl</i>	65 min.
Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação	<b>I</b>	363,3 min.
Tempo de ventilação	<b>II</b>	26 min.
Tempo para carregamento e transporte do material detonado	<b>III</b>	321,1 min.
"Bate choco"	<b>IV</b>	93 min.
Tempo líquido do ciclo	<b>I+II+III+IV</b>	696,63 min./ciclo
Perfuração e Instalação dos Suportes	<i>Ts</i>	100 min.
Horas trabalhadas por semana	<i>hw</i>	101 horas/semana
Taxa de avanço semanal bruta	<i>Tar</i>	27 metros/semana
Comprimento do túnel	<i>L</i>	900 metros
<b>Tempo de escavação</b>		<b>8,3 meses</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 49 - Distribuição das etapas do ciclo *Drill and Blast* para o túnel 2.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3 Tempo de Escavação: Túnel 3

O túnel 3 do contorno viário tem uma extensão de 870 metros e fica localizado no município de Palhoça. Possuindo as mesmas características tanto geológicas quanto geométricas às usadas no túnel 2, os resultados da aplicação do método NTNU tem valores iguais, expostos na Tabela 7. Essa similaridade faz com que as etapas do método de maior importância sejam as mesmas (Perfuração-Carregamento-Detonação e Carregamento-Transporte dos detritos), consumindo 85% do tempo do ciclo *Drill and Blast* conforme exposto na Figura 50.

A composição de todas essas análises, mostrada por completo no Apêndice IV, resulta em uma taxa de avanço semanal de 27 metros, e assim um tempo total de escavação de 8,1 meses.

Tabela 7 – Composição do tempo de escavação para o túnel 3.

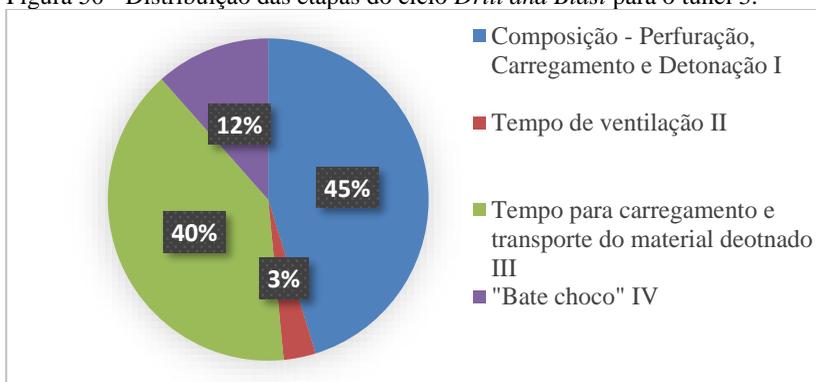
Tempos de escavação por ciclo <i>Drill and Blast</i> - Túnel 3		
Tempo de Perfuração	<i>T<sub>b</sub></i>	232 min.
Carregamento explosivo	<i>T<sub>l</sub></i>	65 min.
Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação	<b>I</b>	363,3 min.
Tempo de ventilação	<b>II</b>	26 min.
Tempo para carregamento e transporte do material detonado	<b>III</b>	321,1 min.
"Bate choc"	<b>IV</b>	93 min.

(continuação)

Tempo líquido do ciclo	<b>I+II+III+IV</b>	696,63 min./ciclo
Perfuração e Instalação dos Suportes	<i>T<sub>s</sub></i>	100 min.
Horas trabalhadas por semana	<i>hw</i>	101 horas/semana
Taxa de avanço semanal bruta	<i>Tar</i>	27 metros/semana
Comprimento do túnel	<i>L</i>	870 metros
<b>Tempo de escavação</b>		<b>8,1 meses</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50 - Distribuição das etapas do ciclo *Drill and Blast* para o túnel 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 Tempo de Escavação: Túnel 4

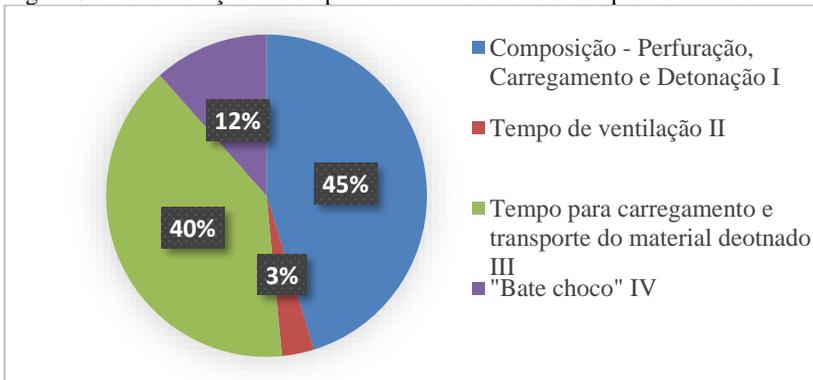
O túnel 4 do contorno viário tem uma extensão de 930 metros e fica localizado no município de São José. Por possuir as mesmas características às dos túneis 2 e 3, os resultados da aplicação do método NTNU tem valores iguais de desempenho, expostos na Tabela 8Tabela 8. Essa similaridade faz com que as etapas do método de maior importância sejam as mesma, Perfuração-Carregamento-Detonação e Carregamento-Transporte dos detritos, totalizando uma parcela de 85% do tempo do ciclo *Drill and Blast* conforme exposto na Figura 51.

A composição de todas essas análises, mostrada por completo no Apêndice V, resulta em uma taxa de avanço semanal de 27 metros, e assim um tempo total de escavação de 8,6 meses.

Tabela 8 – Composição do tempo de escavação para o túnel 4.

<b>Tempos de escavação por ciclo <i>Drill and Blast</i> - Túnel 4</b>		
Tempo de Perfuração	<i>T<sub>b</sub></i>	232 min.
Carregamento explosivo	<i>T<sub>l</sub></i>	65 min.
Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação	<b>I</b>	363,3 min.
Tempo de ventilação	<b>II</b>	26 min.
Tempo para carregamento e transporte do material detonado	<b>III</b>	321,1 min.
"Bate choco"	<b>IV</b>	93 min.
Tempo líquido do ciclo	<b>I+II+III+IV</b>	696,63 min./ciclo
Perfuração e Instalação dos Suportes	<i>T<sub>s</sub></i>	100 min.
Horas trabalhadas por semana	<i>h<sub>w</sub></i>	101 horas/semana
Taxa de avanço semanal bruta	<i>T<sub>ar</sub></i>	27 metros/semana
Comprimento do túnel	<i>L</i>	930 metros
<b>Tempo de escavação</b>	<b>8,6 meses</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 51 - Distribuição das etapas do ciclo *Drill and Blast* para o túnel 4.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.5 Análise dos resultados dos tempos de escavação

A similaridade das condições tanto geométricas quanto geológicas dos túneis, fez com que o tempo de escavação de cada um deles por meio da análise baseada no método de predição de desempenho NTNU tivesse um resultado semelhante. Contudo, a variação geológica aplicada entre o túnel 1 e os túneis 2, 3 e 4, devido aos dados expostos em CPRM (2014) e ANTT (2017a e 2017b) trazem alterações entre os tempos de execução dentro do ciclo *Drill and Blast* que cabem uma melhor avaliação.

Os dados expostos na Tabela 9 mostram um aumento de 25,5% no tempo levado na primeira etapa do ciclo. Esse aumento se deve ao fato da redução da qualidade da rocha nos túneis 2, 3 e 4, que implica em um maior tempo gasto no processo de perfuração dos furos de detonação. O tempo de “bate choco” também é significativamente afetado, tendo um aumento de 55%. A rocha de menor qualidade resulta em um maior risco de ocorrência de blocos instáveis nas paredes do túnel, fazendo com que essa etapa tenha de ser feita com maior cautela e com maior volume de trabalho. Outro ponto que cabe destaque são os tempos de ventilação e transporte do material detonado. Essas etapas têm como variáveis apenas os aspectos geométricos, recursos e equipamentos adotados na obra, sem levar em conta os aspectos geológicos. Assim, por se adotar os mesmos equipamentos e recursos para os quatro túneis, essas etapas têm uma mesma estimativa de tempo em todas as análises.

Por fim, a taxa de avanço semanal, que é resultado de uma composição das quatro etapas do método juntamente com questões envolvendo a equipe de trabalho e a aplicação do revestimento, teve uma redução de aproximadamente 12%.

Tabela 9 – Comparação dos resultados para os quatro túneis

		Túnel 1	Túnel 2	Túnel 3	Túnel 4	Variação (%)
Perfuração, Carregamento e Detonação (min.)	<b>I</b>	289,53	363,3	363,3	363,3	25,5
Tempo de ventilação (min.)	<b>II</b>	26	26	26	26	0,0
Tempo para carregamento e transporte (min.)	<b>III</b>	321,1	321,1	321,1	321,1	0,0
"Bate choco" (min.)	<b>IV</b>	60	93	93	93	55,0
Taxa de avanço (m/semana)		30,6	27	27	27	-11,8
Extensão do túnel (m)		900	900	870	930	
Tempo de Escavação (meses)		7,3	8,3	8,1	8,6	

Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2 ESTRATÉGIAS DE EXECUÇÃO

Após a definição do tempo de escavação de cada um dos túneis, pode-se dar início a elaboração e avaliação das possíveis estratégias de execução para a obra, visando avaliar aquela que, com base no tempo de escavação, seja a mais adequada para a obra.

Como o empreendimento é composto por quatro túneis duplos, é importante identificar cada um desses túneis quanto ao seu sentido para a elaboração dos cronogramas de execução. Os túneis cujo sentido de tráfego é Curitiba-Florianópolis, serão denominados túneis sul, já aqueles com sentido Florianópolis-Curitiba, serão chamados túneis norte.

Outra importante definição é no que tange as equipes de trabalhos. A Tabela 10 mostra a definição da equipe básica (capítulo 3 desse estudo). A equipe básica possui todos os equipamentos e recursos para trabalhar em uma única frente de escavação, iniciando as atividades em um dos emboques e seguindo até o outro, concluindo dessa forma o processo de escavação. O método de predição de desempenho NTNU adota apenas esse tipo de abordagem em suas análises, sendo essa mesma metodologia adotada no trabalho. De acordo com o total de oito túneis que devem ser escavados, as estratégias de execução contemplarão oito situações, iniciando com uma equipe básica e terminando com oito equipes trabalhando simultaneamente. Antes de iniciar as análises, uma caracterização quanto à ordem de execução dos túneis será feita, visando o melhor aproveitamento da obra.

Tabela 10 - Composição da equipe básica do projeto

Composição Equipe Básica	
Jumbo de Perfuração	Boomer E3
Número de Lanças	3
Modelo Perfuratriz	COP 1838
Execução "Bate Choco"	Mecanizada
Carregamento de detritos	CAT 980G
Transporte de detritos	Caminhão basculante 35t
Nível de qualidade das atividades	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2.1 Ordem de execução

A ordem de execução dos túneis é fundamental para determinar o tempo de escavação de cada uma das oito possíveis abordagens construtivas. A sequência de execução deve levar em conta aspectos como a disponibilidade de acesso aos emboques e possíveis benefícios que a conclusão de um determinado túnel tem para a obra, possivelmente pela liberação de um trecho já finalizado e assim melhorando a logística de deslocamento de equipamentos e pessoal. Por meio de uma análise do traçado do empreendimento (Figura 52), é possível avaliar o impacto que cada um desses túneis tem com relação ao andamento atual das obras e assim definir a sequência construtiva, exposta na Tabela 11.

Figura 52 – Disposição dos túneis e andamento das atividades da obra



Fonte: ARTERIS (2018)

Tabela 11 - Sequência de execução dos túneis de forma a máxima o desempenho da obra como um todo

		Ordem de Execução
#	Túnel	Motivo
1º	Túnel 4 (Norte e Sul)	Sua conclusão permite a liberação do tráfego de equipamentos e pessoal por todo o trecho atualmente em obras, conectando as cidades de Biguaçu e São José. Possibilidade de acesso aos emboques por ambos os lados do túnel.
2º	Túnel 1 (Norte e Sul)	Atualmente, o trecho em obra tem suas atividades interrompidas justamente no emboque norte do túnel, sendo o acesso a este dessa forma facilitado, sendo que dos outros dois túneis em sequência, é o único que tem essa vantagem.
3º	Túnel 3 (Norte e Sul)	Ainda não possui acesso aos seus emboques, mas os avanços das obras no trecho da Palhoça e o fato do túnel estar no final da região montanhosa facilita o acesso ao seu emboque sul conforme o avanço dos trabalhos.
4º	Túnel 2 (Norte e Sul)	Localizado entre os túneis 1 e 3, fica em uma região montanhosa de acesso complicado, idealmente precisa que um desses dois túneis esteja pronto de forma a facilitar o acesso a um de seus emboques.

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2 Desempenho das estratégias de execução

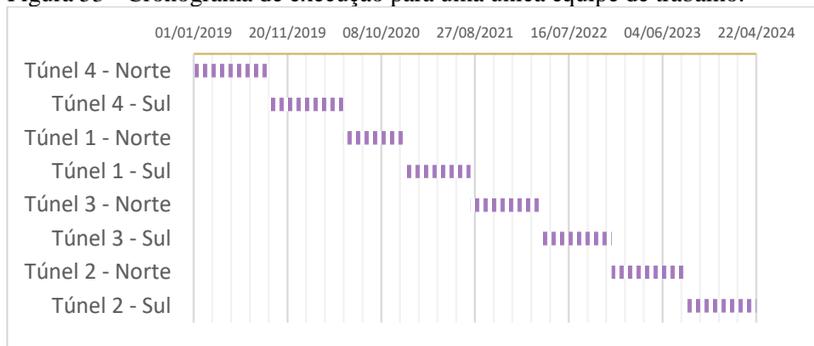
Com a sequência de execução dos túneis definida, pode-se então desenvolver o cronograma de atividades para cada uma das oito estratégias. Nos tópicos a seguir, cada uma das estratégias será analisada e comentada, bem como o prazo final de cada uma em relação ao prazo de entrega. É importante salientar que o início das atividades está sendo considerado no começo do mês de janeiro de 2019, data já mencionada pela Autopista Litoral Sul como prevista para o início das atividades. Tempos extras como a mudança das equipes de um túnel para outro também foram desconsiderados, de forma que as estimativas expostas buscam definir um valor otimista quanto ao tempo de cada estratégia, buscando servir de base para análises mais detalhadas posteriormente.

##### 4.2.2.1 Uma (01) Equipe de Trabalho

A primeira estratégia consiste em uma única equipe de trabalho operando na escavação dos túneis. Dessa forma o trabalho ocorrerá em

apenas um emboque, com a escavação sendo executada conforme mostrado na Figura 53. As atividades serão iniciadas pelo Túnel 4, aquele definido como prioritário, escavando inicialmente o túnel norte e na sequência o túnel sul. Ao encerrar a escavação do túnel 4, as atividades passam para o túnel 1, o segundo em nível de prioridade. Os túneis 3 e 4 são escavados na sequência. Essa abordagem resulta na conclusão dos trabalhos de escavação no final do mês de abril de 2024, aproximadamente 2 anos e meio após o prazo atual de entrega da obra.

Figura 53 - Cronograma de execução para uma única equipe de trabalho.

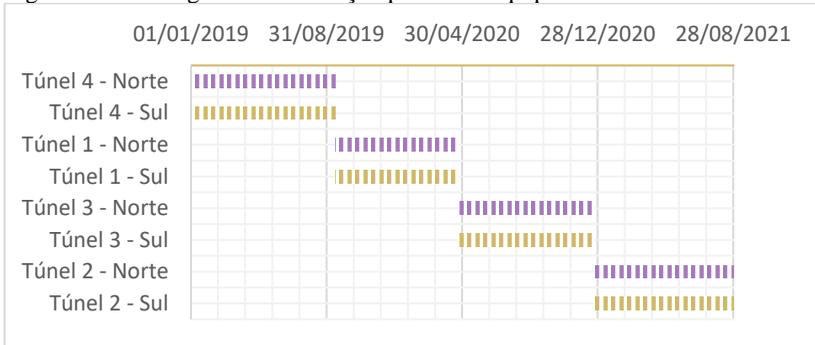


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2.2 Duas (02) Equipes de Trabalho

A segunda estratégia analisada consiste em duas equipes trabalhando nas obras. Sendo assim, as atividades terão início nos túneis 4 norte e sul, seguindo assim para o túnel 1, 3 e 2 respectivamente, como é mostrado na Figura 54. Essa abordagem resulta na finalização das atividades de escavação no fim do mês de agosto de 2021, quatro meses antes do prazo atual de entrega, dezembro de 2021.

Figura 54 - Cronograma de execução para duas equipes de trabalho.

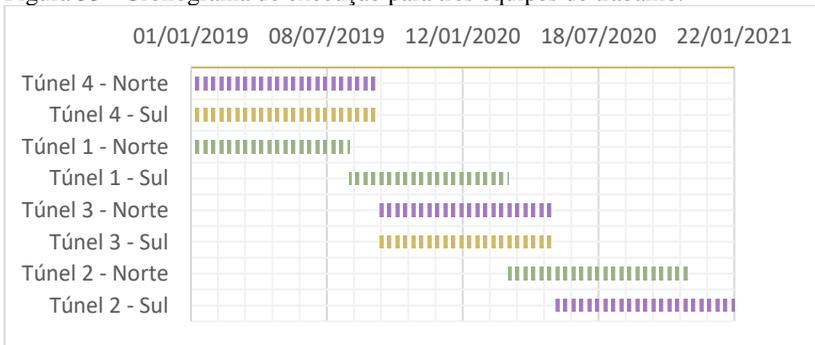


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2.3 Três (03) Equipes de Trabalho

No uso de três equipes de trabalho tem-se início das atividades pelos túneis 4 norte e sul e pelo túnel 1 norte. Esses três emboques serão executados simultaneamente. Devido ao túnel 1 ter um tempo de execução inferior aos dos túneis 4, assim que a equipe do túnel 1 norte terminar suas atividades, ela iniciará o processo de escavação no túnel 1 sul. Posteriormente, as duas equipes do túnel norte serão direcionadas para a escavação dos túneis 3 e assim por diante. Na Figura 55 é exposto o desenvolvimento dessa estratégia, sendo que o prazo de conclusão das atividades de escavação fica para o final de janeiro de 2021, cerca de 11 meses antes do prazo atual da obra.

Figura 55 - Cronograma de execução para três equipes de trabalho.

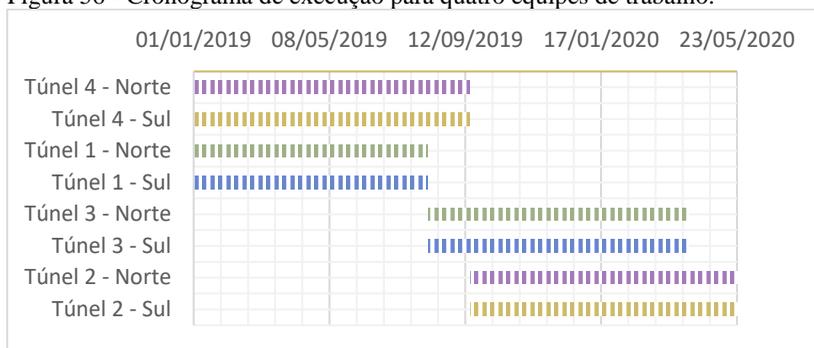


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2.4 Quatro (04) Equipes de Trabalho

A estratégia adotando quatro equipes de trabalho é exposta na Figura 56. Nela as atividades serão iniciais pelos túneis 4 e 1, os dois como maior prioridade definidos anteriormente. As duas equipes trabalhando nos dois túneis 1, ao concluir suas atividades, serão direcionadas para o túnel 3. Já as equipes de trabalho do túnel 4 serão direcionadas para o túnel 2. Essa estratégia resulta na conclusão das atividades de escavação no fim do mês de maio de 2020, cerca de um ano e sete meses antes do prazo atual de entrega da obra.

Figura 56 - Cronograma de execução para quatro equipes de trabalho.

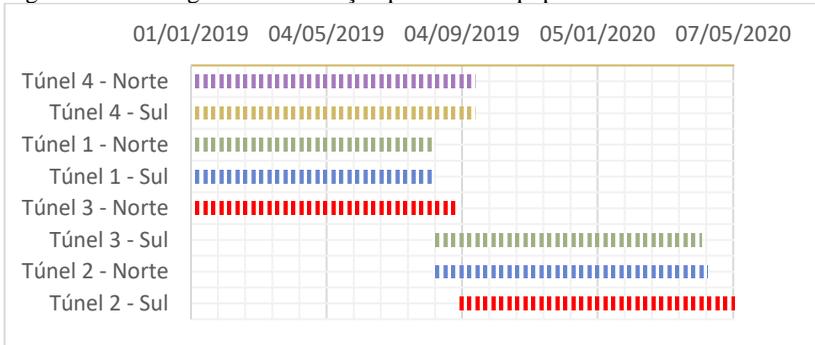


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2.5 Cinco (05) Equipes de Trabalho

A estratégia da utilização de cinco equipes tem início semelhante a estratégia anterior, de quatro equipes. Aqui as atividades serão iniciadas pelos dois túneis 4 e 1, sendo que a quinta equipe será responsável pela escavação do túnel 3 norte. Posteriormente as equipes trabalhando no túnel 1, de menor tempo de execução, serão direcionadas para os túneis 3 sul e 4 norte. Para finalizar o último túnel, a equipe que inicialmente trabalhava no túnel 3 norte será direcionada para o túnel 2 sul. Essa estratégia resulta na conclusão da etapa de escavação no início do mês de maio de 2020. A Figura 57 ilustra o desenvolvimento das atividades.

Figura 57 - Cronograma de execução para cinco equipes de trabalho.

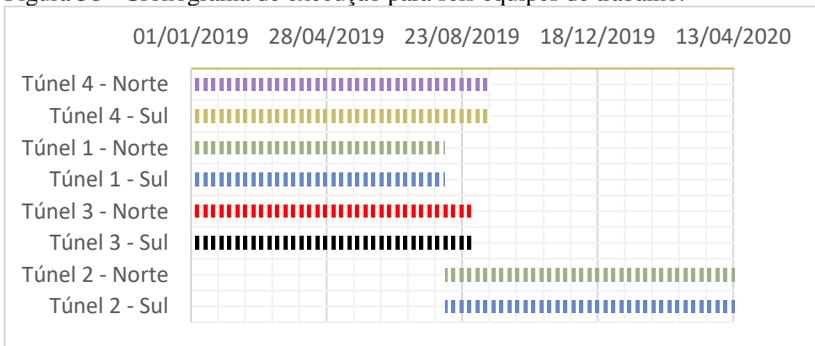


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2.6 Seis (06) Equipes de Trabalho

A estratégia de seis equipes de trabalho resulta na escavação dos túneis 4, 1 e 3 simultaneamente, como mostrado na Figura 58. Novamente, devido ao menor tempo de escavação dos túneis 1, as equipes serão direcionadas para a escavação dos túneis 2. Essa estratégia resulta na conclusão da etapa de escavação dos túneis em meados do mês de abril de 2020.

Figura 58 - Cronograma de execução para seis equipes de trabalho.



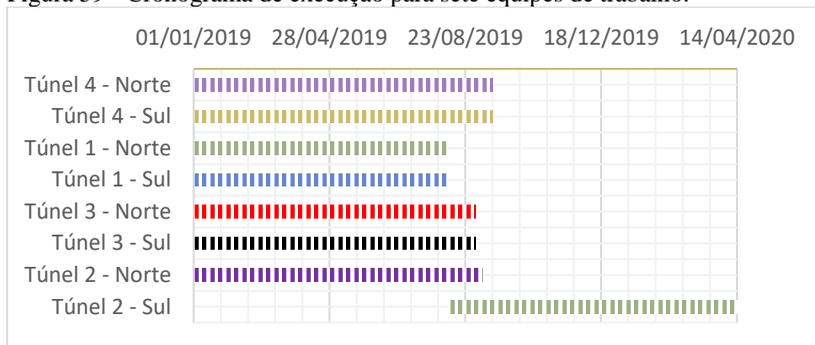
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2.7 Sete (07) Equipes de Trabalho

Na estratégia adotando sete equipes, os túneis 4, 2 e 3, assim como o túnel 2 norte, serão executados simultaneamente. Após a escavação do túnel 1, uma das equipes será direcionada para o túnel 2 sul, encerrando

assim o processo de escavação. Nessas condições, o prazo dessas atividades fica para meados do mês de abril de 2020, como pode ser visto na Figura 59.

Figura 59 - Cronograma de execução para sete equipes de trabalho.

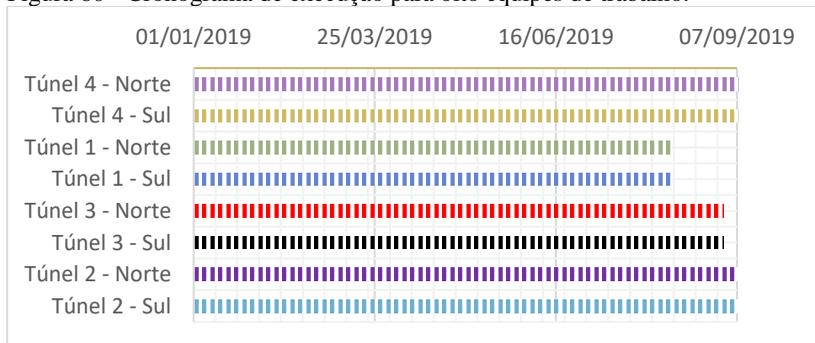


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2.8 Oito (08) Equipes de Trabalho

A estratégia de oito equipes na escavação dos túneis é mostrada na Figura 60. Nela todos os oito túneis são escavados simultaneamente, sendo o prazo de conclusão das atividades definido pelo túnel de maior tempo de escavação, o túnel 4, meados de setembro de 2019.

Figura 60 - Cronograma de execução para oito equipes de trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor

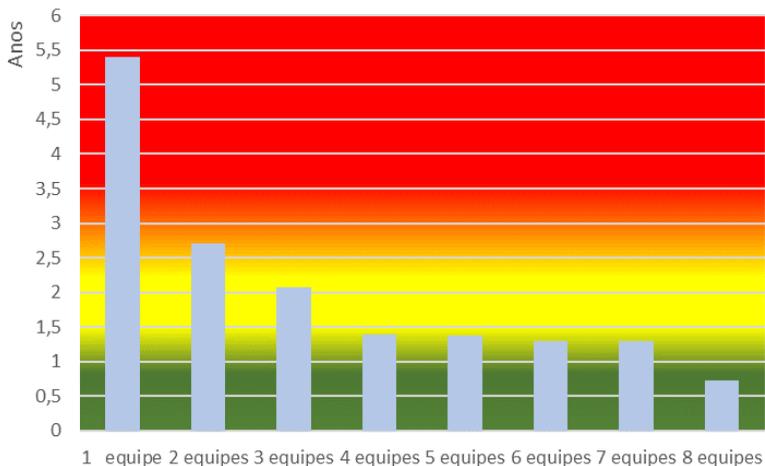
### 4.2.3 Avaliação das estratégias de execução

Com o tempo de execução de cada uma das oito estratégias construtivas idealizadas definidas, deve-se então analisar a relação de cada uma delas com o prazo final de conclusão da obra, de forma a se definir aquelas mais adequadas para determinadas situações. Na Figura 61 é apresentada uma composição com o tempo de escavação de cada uma das estratégias dispostas lado a lado. O gradiente partindo da cor verde para a vermelha busca identificar níveis de alerta quanto aos prazos estipulados. A zona verde indica uma situação confortável, a amarela uma zona de alerta e a vermelha indica uma zona de risco eminente. Sendo assim, a estratégia adotando uma única equipe de trabalho se mostra inviável, pois extrapola por ampla margem o prazo atual de entrega, em dezembro de 2021.

A segunda estratégia, adotando-se duas equipes de trabalho, se mostra dentro do limite de três anos para execução do contorno como um todo, contudo, a margem entre o prazo de escavação e a entrega da obra é de apenas quatro meses, de forma que possíveis atrasos ou imprevistos põem em sério risco o prazo final.

Partindo para a estratégia de três equipes, ela demanda um tempo de escavação próximo a dois anos, deixando uma margem de cerca de onze meses entre a conclusão das atividades e a entrega da obra. Essa diferença permite que possíveis atrasos ou contratempos de menor ordem apresentem pouco risco ao prazo final, sendo então considerada como adequada para o cenário atual.

Figura 61 - Comparação dos tempos de execução de cada umas das estratégias elaboradas.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na estratégia de execução utilizando quatro equipes, o tempo estimado de entrega fica próximo a um ano e meio, tendo uma margem ainda maior do que aquela que adota três equipes, dessa forma, essa abordagem permite contratempos maiores sem prejudicar o prazo de entrega, e assim também sendo considerada adequada para o cenário atual das atividades.

Novamente analisando-se a Figura 61 é possível notar que o aumento no número de equipes, passando de quatro para cinco, seis e sete, não resulta em ganho efetivo de tempo mesmo com a necessidade explicitamente maior de recursos. Dessa forma, essas três estratégias serão desconsideradas, por apresentarem um custo-benefício inferior a estratégia de quatro equipes de trabalho.

A última estratégia a ser analisada, utilizando oito equipes de trabalho, apresenta o menor tempo de execução, cerca de nove meses, e assim apresentado a maior margem para o prazo de entrega da obra, contudo, o custo de utilização dessa abordagem é significativamente maior visto o número de equipes, o que só justifica sua utilização em casos críticos, onde atrasos previamente ocorridos reduzam a margem de tempo para entrega da obra.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mobilidade urbana na Grande Florianópolis apresenta-se com uma perspectiva pessimista para os próximos anos. A falta de investimentos que busquem alterar o cenário atual de priorização do uso de automóvel em detrimento de outros modais, torna a busca por alternativas ainda mais desafiadora. Dentro desse contexto, o Contorno Viário de Florianópolis se mostra como uma alternativa atualmente em execução que busca, ao menos, amenizar os impactos da falta de mobilidade sentidos pela sociedade.

Assim, o Contorno se mostra fundamental para melhorar o trânsito no trecho da BR-101 que corta alguns municípios da Região Metropolitana de Florianópolis. O prazo de entrega é sempre ponto de dúvida por parte da população. Essas dúvidas quanto a credibilidade do prazo de entrega, fazem com que a análise de alguns pontos da obra, como a construção dos túneis, por meio de um método técnico de efetiva credibilidade seja de grande valia para dar uma resposta aos questionamentos da sociedade. Essa avaliação buscou definir valores otimistas para o prazo de execução, sempre considerando condições ideais com relação a equipamentos, geologia e equipe técnica. Assim, foi importante fornecer um embasamento técnico de forma a dar subsídio para a escolha da solução mais adequada para a obra, podendo servir como uma ferramenta para a seleção das empresas que porventura venham a participar da licitação de execução da obra.

As análises realizadas através do método NTNU mostraram um tempo de execução variando de 7,3 meses (Túnel 1) até 8,6 meses (Túnel 4). Essa faixa de valores semelhantes se deve às características tanto geométricas quanto geológicas similares entre eles e condizente com o tempo de escavação observado em obras de mesmo porte pelo país.

Após o tempo de escavação dos túneis, a análise das estratégias de execução é a que cabe maior destaque. O uso de duas equipes de trabalho mostrou-se viável quanto ao prazo atual de entrega da obra, contudo, a pouca margem de tempo faz com que a possibilidade de imprevistos, atrasos por outras questões não-técnicas, tempo requerido para atividades como a finalização dos túneis, dentre outras, tornem essa alternativa de alto risco, com possibilidade de comprometer a entrega da obra. As estratégias com 3 e 4 equipes de execução são aquelas de maior recomendação, tendo uma margem de 11 meses e 18 meses, respectivamente, para o prazo de conclusão da obra. Assim, mesmo que ocorram atrasos de pequena ordem ou imprevistos, o prazo de entrega tem menor chance de ser comprometido. As estratégias de 5, 6 e 7 equipes se

mostram inviáveis, pois mesmo atendendo ao prazo de entrega, a demanda por recursos é muito maior quando comparadas com a alternativa de quatro equipes, sem que esses recursos resultem em um justificável ganho de tempo. Isso se deve ao fato dos caminhos críticos nessas soluções terem tempos semelhantes ao caminho crítico na solução de quatro equipes. A última alternativa, com oito equipes, se mostra a de menor tempo de escavação, gerando uma margem de mais de 2 anos para a conclusão da obra. Contudo, a demanda por recursos dessa alternativa só a tornaria justificável caso outros problemas viessem a ocorrer, como grandes atrasos para o início da obra e problemas burocráticos, contratemplos estes que acabam reduzindo a margem de tempo para entrega da obra e assim limitam o uso das alternativas disponíveis.

Por fim, cabe novamente ressaltar que as análises realizadas foram feitas a partir de suposições, como o início das obras no começo de janeiro de 2019, sem levar em conta o tempo de preparação dos canteiros de obras, da adequação dos emboques, bem como a infraestrutura do túnel, como asfalto, dispositivos de segurança, ventilação, dentre muitos outros. Devido a isso, recomenda-se a adoção da solução de quatro equipes de trabalho nos túneis, solução esta que possui tempo de escavação previsto em cerca de 17 meses, deixando uma margem de tempo segura para a realização das outras atividades mencionadas, reduzindo o risco de as obras dos túneis atrasarem o prazo de entrega do contorno viário.

### 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

O desenvolvimento do trabalho leva a identificação de diversas possibilidades de aprimoramento dos elementos apresentados. Essas melhorias, identificadas a seguir, buscam dar ainda mais confiabilidade e abrangência ao modelo de previsão de desempenho NTNU.

- Comparação das estimativas apresentadas com o desempenho obtido após a escavação dos túneis: essa avaliação serve de parâmetro para a utilização do modelo NTNU em outras obras pelo país, bem como possibilita analisar em quais pontos o método se mostrou preciso ou não, e com isso aprimorá-lo.
- Derivação do modelo NTNU para escavação em diferentes condições geológicas: o método NTNU é totalmente voltado para a escavação em formações rochosas em diversas categorias, porém, principalmente a escavação dos emboques dos túneis, devido à presença de solo ou rocha alterada mole, a

escavação é feita por outros métodos que não o *Drill and Blast*, dessa forma avaliar o tempo de escavação nessas condições, propondo uma metodologia para predição de desempenho em conjunto com o método NTNU tem o potencial de ser uma ferramenta completa na forma de se prever o tempo de escavação de obras subterrâneas.

- Determinação do tempo de execução de outras atividades além da escavação: o tempo total para a execução de um túnel deve levar em conta também o tempo de preparação e adequação dos emboques, instalação de dispositivos de segurança e pavimentação, bem como o descomissionamento das instalações e equipamento usados. Assim, uma análise desses fatores com bases em uma vasta base de dados pode fornecer subsídios para criação de um modelo que além de avaliar o tempo de escavação, consegue estimar o tempo total de execução, de forma metodológica e técnica, auxiliando a sociedade civil na cobrança de governantes e empresas quanto aos atrasos neste tipo de obra.

Essas sugestões podem auxiliar a desenvolver uma ferramenta de predição do tempo de obras subterrâneas em seus principais aspectos. (Contudo, para que esse resultado seja alcançado, é essencial a parceria entre os setores acadêmicos, governos, indústrias e executores de obras, levantando o maior número possível de dados e dialogando com profissionais dentro de todas essas áreas.)



## REFERÊNCIAS

ALESC - ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Contorno da Grande Fpolis: Autopista e ANTT ainda discutem projetos de túneis.** Disponível em: [http://agenciaal.alesc.sc.gov.br/index.php/noticia\\_single/autopista-e-antt-ainda-discutem-projetos-de-tuneis-e-de-36-km-do-contorno-d](http://agenciaal.alesc.sc.gov.br/index.php/noticia_single/autopista-e-antt-ainda-discutem-projetos-de-tuneis-e-de-36-km-do-contorno-d). Diretoria de Comunicação Social, Florianópolis 2017. Acesso em 5 de agosto de 2018.

ANTT, Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Relatórios de Projeto do contorno de Florianópolis.** Brasília, 2017a.

ANTT, Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Desenhos de Projeto do Contorno de Florianópolis.** Brasília, 2017b.

ARTERIS – Autopista Litoral Sul. **O Contorno de Florianópolis.** Disponível em: <http://contornodef Florianopolis.autopistalitoralsul.com.br/o-contorno-de-florianopolis/>. Acesso em 14 de junho de 2018.

BECKER, Helen. **A licitação da Duplicação da BR-101 e seus Reflexos na Exportação do Arroz no Vale do Araranguá, SC.** Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2011. (Trabalho de Conclusão de Curso)

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering.** Wiley, New York, 1989.

BRULAND, Amund. **Hard Rock Tunnel Boring Vol. 8 of 10: Drillability Test Methods** Doctoral Theses at Norwegian University of Science and Trondheim, 1998. (Tese de doutorado)

Caterpillar. **Carregadeira de Rodas 980H.** Especificações Técnicas. 2005

CHAPMAN, David; METJE, Nicole; STARK, Alfred. **Introduction to tunnel construction.** Nova York, Taylor & Francis e-Library, 2010.

CICHINELI, G. Técnica drill and blasting para desmonte de rochas. **Infraestrutura Urbana: Projetos, Custos e Construção**, v. 37, 2014.

CINTRA, Marcos. Os Custos dos Congestionamentos na Cidade de São Paulo. **FGV – São Paulo School of Economics. Working Paper**, abril 2014.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina – Escala 1:500.000. **Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2014.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. NORMA DNIT 003/2002 – PAD: Criação e Cadastramento de Anel ou Contorno Rodoviário – Padronização. **Ministério dos Transportes**, Rio de Janeiro, 2002.

Epiroc. **Boomer E3/E4 Series: Hydraulic face drilling rigs for medium to large drifts and tunnels with cross sections up to 205m<sup>2</sup>**. Epiroc Rock Drills, Data Sheet. Sweden, 2018.

GODARD, J. Why go underground. Urban underground space: a resource for cities. **Actes de la conférence internationale de l'ACUUS**, Torino, 2002.

HIPÓLITO, Christina Martinez. **As Concessões de Rodovias em Santa Catarina**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011. (Tese Doutorado)

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 1970 – Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 1973.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 1980: Dados Gerais – Migração – Instrução – Fecundidade – Mortalidade – Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 1982.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 1991: Resultados do Universo Relativos as Características da População e dos Domicílios – Número 23 - Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 1991.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000: Características gerais da população – Resultados da amostra.** Rio de Janeiro, 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios – Resultados do Universo.** Rio de Janeiro, 2011.

LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY &; MACHADO MEYER. **Relatório PLAMUS - Produto 16 Priorização do Cenário Proposto para a RM da Grande Florianópolis.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2015a.

LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY &; MACHADO MEYER. **Relatório PLAMUS - Produto 19 Relatório Final – Consolidação das Propostas e Plano de Implementação: Volume I – Informação e Diagnóstico.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2015b.

LOGIT ENGENHARIA; STRATEGY &; MACHADO MEYER. **Relatório PLAMUS - Produto 8.5 Resultados das Pesquisas de Campo: Domiciliar de Origem e Destino, Preferência Declarada, Imagem, Linha de Contorno.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2014a.

MPB ENGENHARIA. **Contorno Rodoviário de Florianópolis Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.** Autopista Litoral Sul – Arteris. Florianópolis, agosto 2013.

NETO, C.A.S.C.; SOARES, R.P.; FERREIRA, I.M; POMPERMAYER, F.M.; ROMMINGER, A.E. **Gargalos e Demandas da Infraestrutura Rodoviária e os Investimentos do PAC: Mapeamento IPEA de Obras Rodoviárias.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, março 2011.

NUNES, Izidro Tomaz. **A BR-101 e a Migração para o Litoral em Santa Catarina.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. (Trabalho de Conclusão de Curso)

OHL BRASIL - Obrascon Huarte Lain S/A. **Informe anual 2008.** São Paulo, 2008.

OJIMA, R.; MONTEIRO, F. F.; NASCIMENTO, T. C. L. DO. Urbanização dispersa e mobilidade no contexto metropolitano de Natal: a dinâmica da população e a ampliação do espaço de vida. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2015.

PALAORO, Everton. **ANTT anuncia entrega antecipada do Contorno Viário da Grande Florianópolis**. Disponível em: <https://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/contorno-viario-da-grande-florianopolis-sera-entregue-em-2021>. Notícias do dia Online, Palhoça 2018. Acesso em 20 de agosto de 2018.

R3Ciclo. **Bate-Choco em Tûneis - Rodoanel Norte (Sp)**. Toniolo Busnello, R3Ciclo Demolição & Reciclagem. Disponível em: <http://r3ciclo.com.br/obras/bate-choco-em-tuneis/>. Acesso em 13 de outubro de 2018.

ROSTAMI, J.; OZDEMIR, L.; NILSON, B. Comparison between CSM and NTH hard rock TBM performance prediction models. **Proceedings of Annual Technical Meeting of the Institute of Shaft Drilling Technology**, Las Vegas, 1996. p.1-10.

SANTANGELO, Tatiana. **Análise dos Procedimentos Ambientais na Duplicação da BR-101, Trecho Divisa PR/SC – Entroncamento BR 280**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003. (Dissertação de mestrado)

SANTOS, Rafael Pacheco dos. **Um Conceito de Tuneladora com Jato de Água e Fio Diamantado como Princípio de Corte de Rochas Brandas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017. (Tese de doutorado)

SEBRAE, Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas Santa Catarina. **Santa Catarina em Números: Macrorregião Grande Florianópolis**. Secretaria de estado do desenvolvimento econômico sustentável. Florianópolis, SEBRAE/SC, 2013.

SICRO, Sistema de Custos Referenciais de Obras. **Santa Catarina – maio/2018**. DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Brasília, 2018

SILVA, Guilherme Tavares. **Revestimento de Concreto Extrudado para Túneis. Universidade Federal de Santa Catarina.** Florianópolis, 2018. (Dissertação de mestrado)

SIMIONATO, Vinicius Eduardo. **Concessão Autopista Litoral Sul (BR-116/376/101 Curitiba-Palhoça): Análise Econômica de sua Implementação.** Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. (Trabalho de conclusão de curso)

SOUZA, Eduardo Leite. **Periferização dos Empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida e suas Consequências na Dinâmica Socioespacial e na Mobilidade Urbana da Área Conurbada de Florianópolis.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016. (Dissertação de mestrado)

SPERLING, Daniel; GORDON, Deborah. **Two Billion Cars Transforming a Culture.** Oxford University Press, 2009.

ZARE, Shokrollah. **Drill and Blast Tunneling Blast Design Report 2A-05.** Doctoral Theses at Norwegian University of Science and Trondheim, 2007a. (Tese de doutorado)

ZARE, Shokrollah. **Drill and Blast Tunneling Blast Design Report 2B-05.** Doctoral Theses at Norwegian University of Science and Trondheim, 2007b. (Tese de doutorado)

ZARE, Shokrollah. **Prediction Model and Simulation Tool for Time and Cost of Drill and Blast Tunneling.** Doctoral Theses at Norwegian University of Science and Trondheim, 2007c. (Tese de doutorado)



## **Apêndice I**

O objetivo deste apêndice é apresentar o formulário de implementação do modelo de predição de desempenho NTNU de acordo com a estrutura deste documento.

Empreendimento: Contorno Viário de Florianópolis			
Obra: Túnel 1	Data: 12/11/2018	Assinatura: JP	
Método Predição de Desempenho NTNU			
<b>Tempo de Perfuração</b>			
Seção Transversal	$A_s$	$m^2$	
Nível de treinamento			ZARE (2007a)
<i>Blastability</i>	$SPR$		
Diâmetro da furação	$dh$	mm	
Número de furos	$N_b$		Figura 13
Comprimento perfurado	$lh$	cm	
Correção do comprimento perfurado	$k_{bl}$		Figura 13
Número de furos corrigido	$(N_b \cdot k_{bl})$	$N_h$	
Diâmetro da furação grande	$dg$	mm	Figura 14
Número de furos grandes	$N_g$		Figura 14
Modelo do martelo de perfuração			
Número de martelos de perfuração	$N_m$		
<i>Rock Drillability</i>	$DRI$		
Taxa de penetração para furos de 48 mm	$v_b$	cm/min.	Figura 16
Correção da taxa de penetração dos furos	$k_{hv}$		Figura 17
Taxa de penetração dos furos de detonação	$\frac{v_b \cdot k_{hv}}{100}$	$v_h$	cm/min.
Correção da taxa de penetração dos furos grandes	$k_{gv}$	%	Figura 17
Taxa de penetração dos furos grandes	$\frac{v_b \cdot k_{gv}}{100}$	$v_g$	cm/min.
Tempo de perfuração dos furos de detonação	$\frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m}$	$T_h$	min.
Tempo de perfuração dos furos grande	$\frac{l_g \cdot N_g}{v_g \cdot N_m} \cdot 1,25$	$T_g$	

Tempo de movimento entre furos		$t_f$	min./furo	Figura 18
Tempo total de movimento entre furos	$\frac{t_f \cdot (N_h + 2 \cdot N_g)}{N_m}$	$T_f$	min.	
<i>Rock Wear Quality</i>		<i>RWQ</i>		
Fator de troca de bits		$f_k$		Figura 19
Tempo unitário para troca de bit		$t_k$	min.	ZARE (2007b)
Tempo total para troca de bits	$\frac{l_h \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{100 \cdot N_m}$	$T_k$	min.	
Fator de perda operacional		$f_{sa}$		Figura 20
Tempo extra devido à falta de simultaneidade	$f_{sa} \cdot (T_h + T_g + T_f)$	$T_{sa}$	min.	
Tempo necessário para perfuração	$(T_h + T_g + T_f + T_{sa} + T_k + T_{ka})$	$T_b$	min.	

#### **Tempo de carregamento do material explosivo**

Tipo de explosivos				ZARE (2007b)
Número de linhas de carregamento				
Tempo de carregamento por ciclo		$T_{lb}$	min.	Figura 21
Correção do tempo de carregamento pelo comprimento perfurado		$k_{ll}$	%	Figura 21
Tempo de carregamento por ciclo corrigido	$(T_{lb} \cdot k_{ll})$	$T_l$	min.	

#### **Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação**

Tempo ocioso durante perfuração, carregamento e detonação		$T_{rb}$	min.	Figura 22
Tempo perdido com imprevisto na perfuração, carregamento e detonação	$(T_b + T_l + T_{rb}) \cdot 0.111$	$T_{tb}$	min.	ZARE (2007b)
Composição dos tempos de perfuração, carregamento e detonação	$T_b + T_l + T_{rb} + T_{tb}$	<b>I</b>	min.	

<b>Ventilação</b>			
Tempo de ventilação		<b>II</b>	min. Figura 23

<b>Tempo de carregamento do material detonado</b>			
Equipamento de carregamento			
Equipamento de transporte			
Capacidade de carregamento bruta	$Ql$		asm <sup>3</sup> /h Figura 25
Fator de <i>overbreak</i>	$f\phi$		Figura 24
Avanço efetivo por ciclo	$pr$		% ZARE (2007b)
Volume gerado por ciclo	$\frac{A_s \cdot l_h \cdot f\phi \cdot p_r}{100 \cdot 100}$	$Vr$	asm <sup>3</sup>
Tempo de carregamento por ciclo	$\frac{V_r}{Q_l} \cdot 60$	$Tlt$	min.
Tempo ocioso no carregamento e transporte		$Trl$	min. Figura 26
Tempo perdido com imprevistos durante o carregamento e transporte	$(T_{li} + T_{ri}) \cdot 0.1111$	$Ttl$	min. ZARE (2007b)
Composição do tempo de carregamento e transporte	$T_{li} + T_{rl} + T_{il}$	<b>III</b>	min.

<b>"Bate Choco"</b>			
Tempo de "bate choco" previsto por ciclo		$Tr$	min. Figura 27
Fator de correção do tempo de "bate choco"		$klr$	Figura 27
Tempo de "bate choco" corrigido	$(T_r \cdot k_{lr})$	<b>IV</b>	min.

<b>Ciclo Drill and Blast</b>			
Tempo líquido do ciclo	$(I + II + III + IV)$	$T_{nr}$	min.
Comprimento do Túnel		$L$	metros
Fator de correção devido ao comprimento do túnel e treinamento das equipes		$k_{le}$	Figura 28
Tempo padrão do ciclo	$(T_{nr} + T_n) \cdot k_{le}$	$T_{sr}$	min.
Horas trabalhadas por semana		$hw$	horas Figura 29
Taxa de avanço por semana padrão	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{sr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$		m/semana
Tempo para perfuração dos tirantes		$T_{bb}$	min. Figura 30
Tempo para instalação dos tirantes		$T_{bm}$	min. Figura 30
Tempo para suporte das rochas	$T_s = \frac{T_{bb}}{N_m} + T_{bm}$	$T_s$	min.
Tempo relativo a imprevistos	$T_{sr} \cdot 7\%$	$T_u$	min.
Tempo padrão do ciclo corrigido	$(T_{sr} + T_s + T_u)$	$T_{gr}$	min.
Taxa de avanço semanal corrigida	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{gr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$	$T_{ar}$	m/semana
Tempo total de escavação		$L/T_{ar}$	semanas



## **Apêndice II**

Túnel 1: O objetivo deste apêndice é apresentar o formulário do método de predição NTNU preenchido para o túnel 1 do contorno viário, determinando assim o tempo de escavação desta obra.

Empreendimento: Contorno Viário de Florianópolis				
Obra: Túnel 1		Data: 12/11/2018	Assinatura: JP	
Método Predição de Desempenho NTNU				
<b>Tempo de Perfuração</b>				
Seção Transversal	$A_s$	132	m <sup>2</sup>	
Nível de qualidade		Alta	ZARE (2007a)	
<i>Blastability</i>	<i>SPR</i>	Bom		
Diâmetro da furação	$d_h$	48	mm	
Número de furos	$N_b$	135	Figura 13	
Comprimento perfurado	$l_h$	500	cm	
Correção do comprimento perfurado	$k_{bl}$	1	Figura 13	
Número de furos corrigido	$(N_b \cdot k_{bl})$	$N_h$	135	
Diâmetro da furação grande	$d_g$	76	mm	Figura 14
Número de furos grandes	$N_g$	5	Figura 14	
Modelo do martelo de perfuração		COP 1838		
Número de martelos de perfuração	$N_m$	3		
<i>Rock Drillability</i>	<i>DRI</i>	63,5		
Taxa de penetração para furos de 48 mm	$v_b$	245	cm/min.	Figura 16
Correção da taxa de penetração dos furos	$k_{hv}$	100%	%	Figura 17
Taxa de penetração dos furos de detonação	$\frac{v_b \cdot k_{hv}}{100}$	$v_h$	245	cm/min.
Correção da taxa de penetração dos furos grandes	$k_{gv}$	60%	%	Figura 17
Taxa de penetração dos furos grandes	$\frac{v_b \cdot k_{gv}}{100}$	$v_g$	147	cm/min.
Tempo de perfuração dos furos de detonação	$\frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m}$	$T_h$	91,8	min.
Tempo de perfuração dos furos grande	$\frac{l_h \cdot N_g}{v_g \cdot N_m} \cdot 1,25$	$T_g$	7,1	min.

Tempo de movimento entre furos		$tf$	0,75 min./furo	Figura 18
Tempo total de movimento entre furos	$\frac{t_f \cdot (N_h + 2 \cdot N_g)}{N_m}$	$Tf$	36,3 min.	
<i>Rock Wear Quality</i>		$RWQ$	Alta	
Fator de troca de bits		$fk$	0,04	Figura 19
Tempo unitário para troca de bit		$tk$	3 min.	ZARE (2007b)
Tempo total para troca de bits	$\frac{l_h \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{100 \cdot N_m}$	$Tk$	29 min.	
Fator de perda operacional		$f_{sa}$	0,062	Figura 20
Tempo extra devido a falta de simultaneidade	$f_{sa} \cdot (T_h + T_g + T_f)$	$T_{sa}$	8,4 min.	
Tempo necessário para perfuração	$(T_h + T_g + T_f + T_{st} + T_k + T_{sa})$	$T_b$	172,6 min.	

#### **Tempo de carregamento do material explosivo**

Tipo de explosivos		Emulsão		
Número de linhas de carregamento		2		ZARE (2007b)
Tempo de carregamento por ciclo		$T_{lb}$	58 min.	Figura 21
Correção do tempo de carregamento pelo comprimento perfurado		$k_{ll}$	100% %	Figura 21
Tempo de carregamento por ciclo corrigido	$(T_{lb} \cdot k_{ll})$	$T_l$	58 min.	

#### **Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação**

Tempo ocioso durante perfuração, carregamento e detonação		$Trb$	30 min.	Figura 22
Tempo perdido com imprevisto na perfuração, carregamento e detonação	$(T_b + T_l + T_{rb}) \cdot 0.111$	$T_{tb}$	28,93 min.	ZARE (2007b)
Composição dos tempos de perfuração, carregamento e detonação	$T_b + T_l + T_{rb} + T_{tb}$	<b>I</b>	289,53 min.	

<b>Ventilação</b>					
Tempo de ventilação		<b>II</b>	26	min.	Figura 23
<b>Tempo de carregamento do material detonado</b>					
Equipamento de carregamento		CAT 980G			
Equipamento de transporte		Caminhão 35 ton.			
Capacidade de carregamento bruta	$Ql$	162	asm <sup>3</sup> /h		Figura 25
Fator de <i>overbreak</i>	$f\phi$	1,15			Figura 24
Avanço efetivo por ciclo	$pr$	90%	%		ZARE (2007b)
Volume gerado por ciclo	$\frac{A_s \cdot l_h \cdot f\phi \cdot P_r}{100 \cdot 100}$	$Vr$	683,1	asm <sup>3</sup>	
Tempo de carregamento por ciclo	$\frac{V_r}{Q_l} \cdot 60$	$Tlt$	253	min.	
Tempo ocioso no carregamento e transporte		$Trl$	36	min.	Figura 26
Tempo perdido com imprevistos durante o carregamento e transporte	$(T_{lt} + T_{rl}) \cdot 0.111$	$Ttl$	32,08	min.	ZARE (2007b)
Composição do tempo de carregamento e transporte	$T_{lt} + T_{rl} + T_{tl}$	<b>III</b>	321,1	min.	
<b>"Bate Choco"</b>					
Tempo de "bate choco" previsto por ciclo		$Tr$	60	min.	Figura 27
Fator de correção do tempo de "bate choco"		$klr$	1		Figura 27
Tempo de "bate choco" corrigido	$(T_r \cdot k_{lr})$	<b>IV</b>	60	min.	

<b>Ciclo Drill and Blast</b>				
Tempo líquido do ciclo	$(I + II + III + IV)$	$T_{nr}$	696,63	min.
Comprimento do Túnel		$L$	900	metros
Fator de correção devido ao comprimento do túnel e treinamento das equipes		$k_{le}$	1,06	Figura 28
Tempo padrão do ciclo	$(T_{nr} + T_n) \cdot k_{le}$	$T_{sr}$	738,43	min.
Horas trabalhadas por semana		$hw$	101	horas Figura 29
Taxa de avanço por semana padrão	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{sr}} \cdot \frac{I_h}{100} \cdot \frac{P_r}{100}$		36,93	m/semana
Número de tirantes por ciclo			30,00	tirantes/ciclo
Tempo para perfuração dos tirantes		$T_{bb}$	90	min. Figura 30
Tempo para instalação dos tirantes		$T_{bm}$	70	min. Figura 30
Tempo para suporte da rocha	$T_s = \frac{T_{bb}}{N_m} + T_{bm}$	$T_s$	100	min.
Tempo relativo a imprevistos	$T_{sr} \cdot 7\%$	$T_u$	51,7	min.
Tempo padrão do ciclo corrigido	$(T_{sr} + T_s + T_u)$	$T_{gr}$	890,13	min.
Taxa de avanço semanal corrigida	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{gr}} \cdot \frac{I_h}{100} \cdot \frac{P_r}{100}$	$T_{ar}$	30,6	m/semana
Tempo total de escavação	$(L/T_{ar})/4$		7,3	meses



### **Apêndice III**

Túnel 2: O objetivo deste apêndice é apresentar o formulário do método de predição NTNU preenchido para o túnel 2 do contorno viário, determinando assim o tempo de escavação desta obra.

Empreendimento: Contorno Viário de Florianópolis				
Obra: Túnel 2		Data: 12/11/2018	Assinatura: JP	
Método Predição de Desempenho NTNU				
<b>Tempo de Perfuração</b>				
Seção Transversal		<i>As</i>	132	m <sup>2</sup>
Nível de qualidade			Alta	ZARE (2007a)
<i>Blastability</i>		<i>SPR</i>	Médio	
Diâmetro da furação		<i>dh</i>	48	mm
Número de furos		<i>Nb</i>	165	Figura 13
Comprimento perfurado		<i>lh</i>	500	cm
Correção do comprimento perfurado		<i>kbl</i>	1	Figura 13
Número de furos corrigido	$(N_b \cdot k_{bl})$	<i>Nh</i>	165	
Diâmetro da furação grande		<i>dg</i>	76	mm
Número de furos grandes		<i>Ng</i>	6	Figura 14
Modelo do martelo de perfuração			COP 1838	
Número de martelos de perfuração		<i>Nm</i>	3	
<i>Rock Drillability</i>		<i>DRI</i>	50	Figura 15
Taxa de penetração para furos de 48 mm		<i>vb</i>	210	cm/min. Figura 16
Correção da taxa de penetração dos furos		<i>khv</i>	100%	% Figura 17
Taxa de penetração dos furos de detonação	$\frac{v_b \cdot k_{hv}}{100}$	<i>vh</i>	210	cm/min.
Correção da taxa de penetração dos furos grandes		<i>kgv</i>	60%	% Figura 17
Taxa de penetração dos furos grandes	$\frac{v_b \cdot k_{gv}}{100}$	<i>vg</i>	126	cm/min.
Tempo de perfuração dos furos de detonação	$\frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m}$	<i>Th</i>	131	min.
Tempo de perfuração dos furos grande	$\frac{l_h \cdot N_g}{v_g \cdot N_m} \cdot 1,25$	<i>Tg</i>	9,9	min.

Tempo de movimento entre furos		$t_f$	0,75	min./furo	Figura 18
Tempo total de movimento entre furos	$\frac{t_f \cdot (N_h + 2 \cdot N_g)}{N_m}$	$T_f$	44,3	min.	
Rock Wear Quality		$RWQ$	Alta		
Fator de troca de bits		$fk$	0,04		Figura 19
Tempo unitário para troca de bit		$tk$	3	min.	ZARE (2007b)
Tempo total para troca de bits	$\frac{l_h \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{100 \cdot N_m}$	$T_k$	35,4	min.	
Fator de perda operacional		$fsa$	0,062		Figura 20
Tempo extra devido a falta de simultaneidade	$f_{sa} \cdot (T_h + T_g + T_f)$	$T_{sa}$	11,5	min.	
Tempo necessário para perfuração	$(T_h + T_g + T_f + T_{st} + T_k + T_{sa})$	$T_b$	232,0	min.	

### Tempo de carregamento do material explosivo

Tipo de explosivos		Emulsão			
Número de linhas de carregamento			2		ZARE (2007b)
Tempo de carregamento por ciclo		$T_{lb}$	65	min.	Figura 21
Correção do tempo de carregamento pelo comprimento perfurado		$k_{ll}$	100%	%	Figura 21
Tempo de carregamento por ciclo corrigido	$(T_{lb} \cdot k_{ll})$	$T_l$	65	min.	

### Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação

Tempo ocioso durante perfuração, carregamento e detonação		$T_{rb}$	30	min.	Figura 22
Tempo perdido com imprevisto na perfuração, carregamento e detonação	$(T_b + T_l + T_{rb}) \cdot 0.111$	$T_{tb}$	36,3	min.	ZARE (2007b)
Composição dos tempos de perfuração, carregamento e detonação	$T_b + T_l + T_{rb} + T_{tb}$	<b>I</b>	363,3	min.	

<b>Ventilação</b>					
Tempo de ventilação		<b>II</b>	26	min.	Figura 23
<b>Tempo de carregamento do material detonado</b>					
Equipamento de carregamento		CAT 980G			
Equipamento de transporte		Caminhão 35 ton.			
Capacidade de carregamento bruta	$Ql$	162	asm <sup>3</sup> /h		Figura 25
Fator de <i>overbreak</i>	$f\phi$	1,15			Figura 24
Avanço efetivo por ciclo	$pr$	90%	%		ZARE (2007b)
Volume gerado por ciclo	$\frac{A_s \cdot l_h \cdot f\phi \cdot P_r}{100 \cdot 100}$	$Vr$	683,1	asm <sup>3</sup>	
Tempo de carregamento por ciclo	$\frac{V_r}{Q_l} \cdot 60$	$Tlt$	253	min.	
Tempo ocioso no carregamento e transporte		$Trl$	36	min.	Figura 26
Tempo perdido com imprevistos durante o carregamento e transporte	$(T_{lt} + T_{rl}) \cdot 0.111$	$Ttl$	32,08	min.	ZARE (2007b)
Composição do tempo de carregamento e transporte	$T_{lt} + T_{rl} + T_{il}$	<b>III</b>	321,1	min.	
<b>"Bate Choco"</b>					
Tempo de "bate choco" previsto por ciclo		$Tr$	93	min.	Figura 27
Fator de correção do tempo de "bate choco"		$klr$	1		Figura 27
Tempo de "bate choco" corrigido	$(T_r \cdot k_{lr})$	<b>IV</b>	93	min.	

<b>Ciclo Drill and Blast</b>				
Tempo líquido do ciclo	$(I + II + III + IV)$	$T_{nr}$	803,4	min.
Comprimento do Túnel		$L$	900	metros
Fator de correção devido ao comprimento do túnel e treinamento das equipes		$k_{le}$	1,06	Figura 28
Tempo padrão do ciclo	$(T_{nr} + T_n) \cdot k_{le}$	$T_{sr}$	851,6	min.
Horas trabalhadas por semana		$hw$	101	horas Figura 29
Taxa de avanço por semana padrão	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{sr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$		32,0	m/semana
Número de tirantes por ciclo			30,00	tirantes/ciclo
Tempo para perfuração dos tirantes		$T_{bb}$	90	min. Figura 30
Tempo para instalação dos tirantes		$T_{bm}$	70	min. Figura 30
Tempo para suporte da rocha	$T_s = \frac{T_{bb}}{N_m} + T_{bm}$	$T_s$	100	min.
Tempo relativo a imprevistos	$T_{sr} \cdot 7\%$	$T_u$	59,612	min.
Tempo padrão do ciclo corrigido	$(T_{sr} + T_s + T_u)$	$T_{gr}$	1011,212	min.
Taxa de avanço semanal corrigida	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{gr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$	$T_{ar}$	27,0	m/semana
Tempo total de escavação	$(L/T_{ar})/4$		8,3	meses



## **Apêndice IV**

Túnel 3: O objetivo deste apêndice é apresentar o formulário do método de predição NTNU preenchido para o túnel 3 do contorno viário, determinando assim o tempo de escavação desta obra.

Empreendimento: Contorno Viário de Florianópolis				
Obra: Túnel 3		Data: 12/11/2018	Assinatura: JP	
Método Predição de Desempenho NTNU				
<b>Tempo de Perfuração</b>				
Seção Transversal		<i>As</i>	132	m <sup>2</sup>
Nível de qualidade			Alta	ZARE (2007a)
<i>Blastability</i>		<i>SPR</i>	Médio	
Diâmetro da furação		<i>dh</i>	48	mm
Número de furos		<i>Nb</i>	165	Figura 13
Comprimento perfurado		<i>lh</i>	500	cm
Correção do comprimento perfurado		<i>kbl</i>	1	Figura 13
Número de furos corrigido	$(N_b \cdot k_{bl})$	<i>Nh</i>	165	
Diâmetro da furação grande		<i>dg</i>	76	mm
Número de furos grandes		<i>Ng</i>	6	Figura 14
Modelo do martelo de perfuração			COP 1838	
Número de martelos de perfuração		<i>Nm</i>	3	
<i>Rock Drillability</i>		<i>DRI</i>	50	Figura 15
Taxa de penetração para furos de 48 mm		<i>vb</i>	210	cm/min. Figura 16
Correção da taxa de penetração dos furos		<i>khv</i>	100%	% Figura 17
Taxa de penetração dos furos de detonação	$\frac{v_b \cdot k_{hv}}{100}$	<i>vh</i>	210	cm/min.
Correção da taxa de penetração dos furos grandes		<i>kgv</i>	60%	% Figura 17
Taxa de penetração dos furos grandes	$\frac{v_b \cdot k_{gv}}{100}$	<i>vg</i>	126	cm/min.
Tempo de perfuração dos furos de detonação	$\frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m}$	<i>Th</i>	131	min.
Tempo de perfuração dos furos grande	$\frac{l_h \cdot N_g}{v_g \cdot N_m} \cdot 1,25$	<i>Tg</i>	9,9	min.

Tempo de movimento entre furos		$t_f$	0,75	min./furo	Figura 18
Tempo total de movimento entre furos	$\frac{t_f \cdot (N_h + 2 \cdot N_g)}{N_m}$	$T_f$	44,3	min.	
<i>Rock Wear Quality</i>		<i>RWQ</i>	Alta		
Fator de troca de bits		$f_k$	0,04		Figura 19
Tempo unitário para troca de bit		$t_k$	3	min.	ZARE (2007b)
Tempo total para troca de bits	$\frac{l_h \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{100 \cdot N_m}$	$T_k$	35,4	min.	
Fator de perda operacional		$f_{sa}$	0,062		Figura 20
Tempo extra devido a falta de simultaneidade	$f_{sa} \cdot (T_h + T_g + T_f)$	$T_{sa}$	11,5	min.	
Tempo necessário para perfuração	$(T_h + T_g + T_f + T_{st} + T_k + T_{sa})$	$T_b$	232,0	min.	

### Tempo de carregamento do material explosivo

Tipo de explosivos			Emulsão		
Número de linhas de carregamento			2		ZARE (2007b)
Tempo de carregamento por ciclo		$T_{lb}$	65	min.	Figura 21
Correção do tempo de carregamento pelo comprimento perfurado		$k_{ll}$	100%	%	Figura 21
Tempo de carregamento por ciclo corrigido	$(T_{lb} \cdot k_{ll})$	$T_l$	65	min.	

### Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação

Tempo ocioso durante perfuração, carregamento e detonação		$T_{rb}$	30	min.	Figura 22
Tempo perdido com imprevisto na perfuração, carregamento e detonação	$(T_b + T_l + T_{rb}) \cdot 0.111$	$T_{tb}$	36,3	min.	ZARE (2007b)
Composição dos tempos de perfuração, carregamento e detonação	$T_b + T_l + T_{rb} + T_{tb}$	<b>I</b>	363,3	min.	

<b>Ventilação</b>					
Tempo de ventilação		<b>II</b>	26	min.	Figura 23
<b>Tempo de carregamento do material detonado</b>					
Equipamento de carregamento		CAT 980G			
Equipamento de transporte		Caminhão 35 ton.			
Capacidade de carregamento bruta	$Ql$	162	asm <sup>3</sup> /h		Figura 25
Fator de <i>overbreak</i>	$f\phi$	1,15			Figura 24
Avanço efetivo por ciclo	$pr$	90%	%		ZARE (2007b)
Volume gerado por ciclo	$\frac{A_s \cdot l_h \cdot f\phi \cdot P_r}{100 \cdot 100}$	$Vr$	683,1	asm <sup>3</sup>	
Tempo de carregamento por ciclo	$\frac{V_r}{Q_l} \cdot 60$	$Tlt$	253	min.	
Tempo ocioso no carregamento e transporte		$Trl$	36	min.	Figura 26
Tempo perdido com imprevistos durante o carregamento e transporte	$(T_{lt} + T_{rl}) \cdot 0.111$	$Ttl$	32,08	min.	ZARE (2007b)
Composição do tempo de carregamento e transporte	$T_{lt} + T_{rl} + T_{tl}$	<b>III</b>	321,1	min.	
<b>"Bate Choco"</b>					
Tempo de "bate choco" previsto por ciclo		$Tr$	93	min.	Figura 27
Fator de correção do tempo de "bate choco"		$klr$	1		Figura 27
Tempo de "bate choco" corrigido	$(T_r \cdot k_{lr})$	<b>IV</b>	93	min.	

<b>Ciclo Drill and Blast</b>				
Tempo líquido do ciclo	$(I + II + III + IV)$	$T_{nr}$	803,4	min.
Comprimento do Túnel		$L$	870	metros
Fator de correção devido ao comprimento do túnel e treinamento das equipes		$k_{le}$	1,06	Figura 28
Tempo padrão do ciclo	$(T_{nr} + T_n) \cdot k_{le}$	$T_{sr}$	851,6	min.
Horas trabalhadas por semana		$hw$	101	horas Figura 29
Taxa de avanço por semana padrão	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{sr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$		32,0	m/semana
Número de tirantes por ciclo			30,00	tirantes/ciclo
Tempo para perfuração dos tirantes		$T_{bb}$	90	min. Figura 30
Tempo para instalação dos tirantes		$T_{bm}$	70	min. Figura 30
Tempo para suporte da rocha	$T_s = \frac{T_{bb}}{N_m} + T_{bm}$	$T_s$	100	min.
Tempo relativo a imprevistos	$T_{sr} \cdot 7\%$	$T_u$	59,612	min.
Tempo padrão do ciclo corrigido	$(T_{sr} + T_s + T_u)$	$T_{gr}$	1011,212	min.
Taxa de avanço semanal corrigida	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{gr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$	$T_{ar}$	27,0	m/semana
Tempo total de escavação	$(L/T_{ar})/4$		8,1	meses



## **Apêndice V**

Túnel 4: O objetivo deste apêndice é apresentar o formulário do método de predição NTNU preenchido para o túnel 4 do contorno viário, determinando assim o tempo de escavação desta obra.

Empreendimento: Contorno Viário de Florianópolis				
Obra: Túnel 4		Data: 12/11/2018	Assinatura: JP	
Método Predição de Desempenho NTNU				
<b>Tempo de Perfuração</b>				
Seção Transversal		<i>As</i>	132	m <sup>2</sup>
Nível de qualidade			Alta	ZARE (2007a)
<i>Blastability</i>		<i>SPR</i>	Médio	
Diâmetro da furação		<i>dh</i>	48	mm
Número de furos		<i>Nb</i>	165	Figura 13
Comprimento perfurado		<i>lh</i>	500	cm
Correção do comprimento perfurado		<i>kbl</i>	1	Figura 13
Número de furos corrigido	$(N_b \cdot k_{bl})$	<i>Nh</i>	165	
Diâmetro da furação grande		<i>dg</i>	76	mm
Número de furos grandes		<i>Ng</i>	6	Figura 14
Modelo do martelo de perfuração			COP 1838	
Número de martelos de perfuração		<i>Nm</i>	3	
<i>Rock Drillability</i>		<i>DRI</i>	50	Figura 15
Taxa de penetração para furos de 48 mm		<i>vb</i>	210	cm/min. Figura 16
Correção da taxa de penetração dos furos		<i>khv</i>	100%	% Figura 17
Taxa de penetração dos furos de detonação	$\frac{v_b \cdot k_{hv}}{100}$	<i>vh</i>	210	cm/min.
Correção da taxa de penetração dos furos grandes		<i>kgv</i>	60%	% Figura 17
Taxa de penetração dos furos grandes	$\frac{v_b \cdot k_{gv}}{100}$	<i>vg</i>	126	cm/min.
Tempo de perfuração dos furos de detonação	$\frac{l_h \cdot N_h}{v_h \cdot N_m}$	<i>Th</i>	131	min.
Tempo de perfuração dos furos grande	$\frac{l_h \cdot N_g}{v_g \cdot N_m} \cdot 1,25$	<i>Tg</i>	9,9	min.

Tempo de movimento entre furos		$t_f$	0,75	min./furo	Figura 18
Tempo total de movimento entre furos	$\frac{t_f \cdot (N_h + 2 \cdot N_g)}{N_m}$	$T_f$	44,3	min.	
<i>Rock Wear Quality</i>		<i>RWQ</i>	Alta		
Fator de troca de bits		$f_k$	0,04		Figura 19
Tempo unitário para troca de bit		$t_k$	3	min.	ZARE (2007b)
Tempo total para troca de bits	$\frac{l_h \cdot (N_h + 2 \cdot N_g) \cdot f_k \cdot t_k}{100 \cdot N_m}$	$T_k$	35,4	min.	
Fator de perda operacional		$f_{sa}$	0,062		Figura 20
Tempo extra devido a falta de simultaneidade	$f_{sa} \cdot (T_h + T_g + T_f)$	$T_{sa}$	11,5	min.	
Tempo necessário para perfuração	$(T_h + T_g + T_f + T_{st} + T_k + T_{sa})$	$T_b$	232,0	min.	

### Tempo de carregamento do material explosivo

Tipo de explosivos		Emulsão			
Número de linhas de carregamento			2		ZARE (2007b)
Tempo de carregamento por ciclo		$T_{lb}$	65	min.	Figura 21
Correção do tempo de carregamento pelo comprimento perfurado		$k_{ll}$	100%	%	Figura 21
Tempo de carregamento por ciclo corrigido	$(T_{lb} \cdot k_{ll})$	$T_l$	65	min.	

### Composição - Perfuração, Carregamento e Detonação

Tempo ocioso durante perfuração, carregamento e detonação		$T_{rb}$	30	min.	Figura 22
Tempo perdido com imprevisto na perfuração, carregamento e detonação	$(T_b + T_l + T_{rb}) \cdot 0.111$	$T_{tb}$	36,3	min.	ZARE (2007b)
Composição dos tempos de perfuração, carregamento e detonação	$T_b + T_l + T_{rb} + T_{tb}$	<b>I</b>	363,3	min.	

<b>Ventilação</b>					
Tempo de ventilação		<b>II</b>	26	min.	Figura 23
<b>Tempo de carregamento do material detonado</b>					
Equipamento de carregamento		CAT 980G			
Equipamento de transporte		Caminhão 35 ton.			
Capacidade de carregamento bruta	$Ql$	162	asm <sup>3</sup> /h		Figura 25
Fator de <i>overbreak</i>	$f\phi$	1,15			Figura 24
Avanço efetivo por ciclo	$pr$	90%	%		ZARE (2007b)
Volume gerado por ciclo	$\frac{A_s \cdot l_h \cdot f\phi \cdot P_r}{100 \cdot 100}$	$Vr$	683,1	asm <sup>3</sup>	
Tempo de carregamento por ciclo	$\frac{V_r}{Q_l} \cdot 60$	$Tlt$	253	min.	
Tempo ocioso no carregamento e transporte		$Trl$	36	min.	Figura 26
Tempo perdido com imprevistos durante o carregamento e transporte	$(T_{lt} + T_{rl}) \cdot 0.111$	$Ttl$	32,08	min.	ZARE (2007b)
Composição do tempo de carregamento e transporte	$T_{lt} + T_{rl} + T_{il}$	<b>III</b>	321,1	min.	
<b>"Bate Choco"</b>					
Tempo de "bate choco" previsto por ciclo		$Tr$	93	min.	Figura 27
Fator de correção do tempo de "bate choco"		$klr$	1		Figura 27
Tempo de "bate choco" corrigido	$(T_r \cdot k_{lr})$	<b>IV</b>	93	min.	

<b>Ciclo Drill and Blast</b>				
Tempo líquido do ciclo	$(I + II + III + IV)$	$T_{nr}$	803,4	min.
Comprimento do Túnel		$L$	930	metros
Fator de correção devido ao comprimento do túnel e treinamento das equipes		$k_{le}$	1,06	Figura 28
Tempo padrão do ciclo	$(T_{nr} + T_n) \cdot k_{le}$	$T_{sr}$	851,6	min.
Horas trabalhadas por semana		$hw$	101	horas Figura 29
Taxa de avanço por semana padrão	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{sr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$		32,0	m/semana
Número de tirantes por ciclo			30,00	tirantes/ciclo
Tempo para perfuração dos tirantes		$T_{bb}$	90	min. Figura 30
Tempo para instalação dos tirantes		$T_{bm}$	70	min. Figura 30
Tempo para suporte da rocha	$T_s = \frac{T_{bb}}{N_m} + T_{bm}$	$T_s$	100	min.
Tempo relativo a imprevistos	$T_{sr} \cdot 7\%$	$T_u$	59,612	min.
Tempo padrão do ciclo corrigido	$(T_{sr} + T_s + T_u)$	$T_{gr}$	1011,212	min.
Taxa de avanço semanal corrigida	$\frac{h_w \cdot 60}{T_{gr}} \cdot \frac{l_h}{100} \cdot \frac{p_r}{100}$	$T_{ar}$	27,0	m/semana
Tempo total de escavação	$(L/T_{ar})/4$		8,6	meses