



**RODOANEL METROPOLITANO**  
DE BELO HORIZONTE

# Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de BH

## Estudo das Estruturas dos Túneis

### Resumo

Este documento contém o estudo das Estruturas dos Túneis do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte- Alça Sul, a ser desenvolvido pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade do Governo do Estado de Minas Gerais, em parceria com o Movimento Brasil Competitivo e a Accenture.

Julho, 2021



**MINAS  
GERAIS**  
GOVERNO  
DIFERENTE.  
ESTADO  
EFICIENTE.

**accenture**consulting

**Estudo das Estruturas dos Túneis**

**Data: 15/07/2021**

**Versão: 01**

## **ÍNDICE**

1. Objetivo.....	2
2. Características Gerais.....	3
3. Seções Típicas e Compartimentação.....	5
4. Compartimentação Método Construtivo .....	6
4.1. Túnel .....	6
4.2. Emboques .....	7



Estudo das Estruturas dos Túneis

Data: 15/07/2021

Versão: 01

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Túnel 1 – 1910 m.....	2
Figura 2 – Túnel 1 – 1910 m.....	2
Figura 3 – Leiaute interno – Túneis principais.....	3
Figura 4 – Leiaute interno – Túnel de ligação de pedestres.....	4
Figura 5 – Leiaute interno – Túnel de ligação de veículos .....	4
Figura 6 – Emboque – Rodovia Carvalho Pinto .....	7



Estudo das Estruturas dos Túneis

Data: 15/07/2021

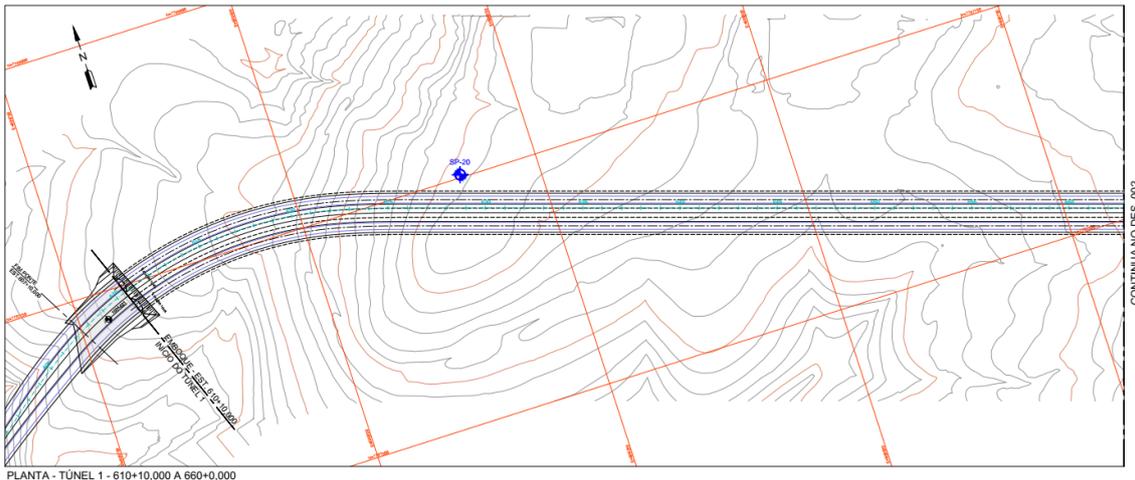
Versão: 01

## LISTA DE TABELAS

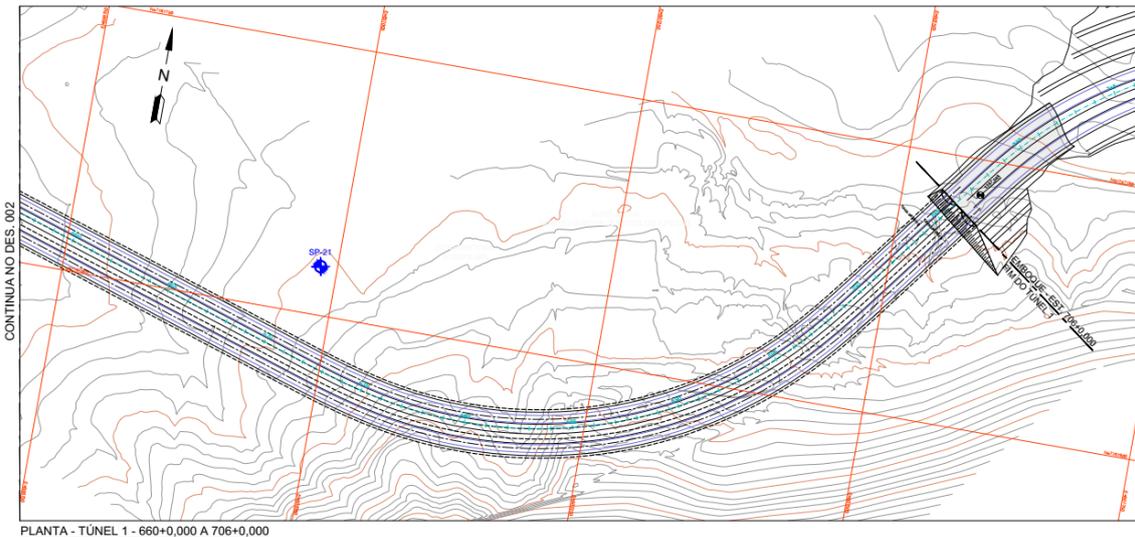
Tabela 1 – Comprimentos dos túneis em metros e número de túneis de ligação por túnel.....	5
---	---

## 1. Objetivo

O objetivo deste documento é a apresentação da estrutura dos túneis que farão parte da Alça Sul - Rodoanel Região Metropolitana de Belo Horizonte:



**FIGURA 1 – TÚNEL 1 – 1910 M**



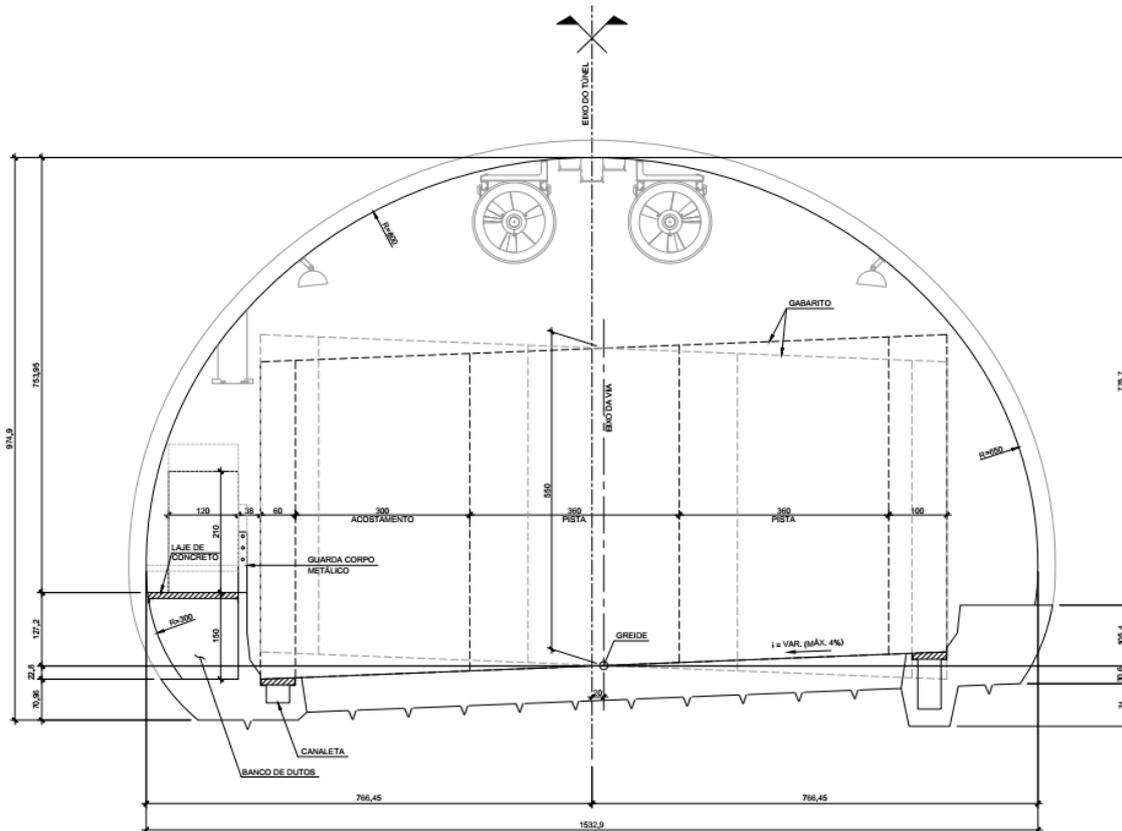
**FIGURA 2 – TÚNEL 1 – 1910 M**

## 2. Características Gerais

Os túneis foram concebidos com o objetivo de transpor os maciços contidos neste trecho. Foi concebido um túnel para cada sentido da via que promove maior segurança para o tráfego e melhores condições para a ventilação.

Devido aos comprimentos longitudinais, serão necessários túneis de interligação (transversais) entre os túneis principais, para serem usados como rotas de fuga e acesso para equipes de emergência.

O leiaute dos túneis principais foi concebido de modo a englobar o gabarito dinâmico, com 2 pistas de 3,60 m de largura, acostamento de 3,00 m, refúgio de 1,00 m, componentes para o sistema de ventilação longitudinal, passeio com 1,20 m de largura (mínima) e sistema de drenagem. Sua geometria externa foi concebida com base em projetos similares e experiências prévias da projetista. A figura abaixo ilustra o gabarito atendido.



LEIAUTE - ELEMENTOS INTERNOS E GEOMETRIA  
ESC. 1:50

FIGURA 3 – LEIAUTE INTERNO – TÚNEIS PRINCIPAIS

## Estudo das Estruturas dos Túneis

Data: 15/07/2021

Versão: 01

Os túneis ligação de pedestres são projetados de forma que seja possível a passagem de pessoas e da ventilação.

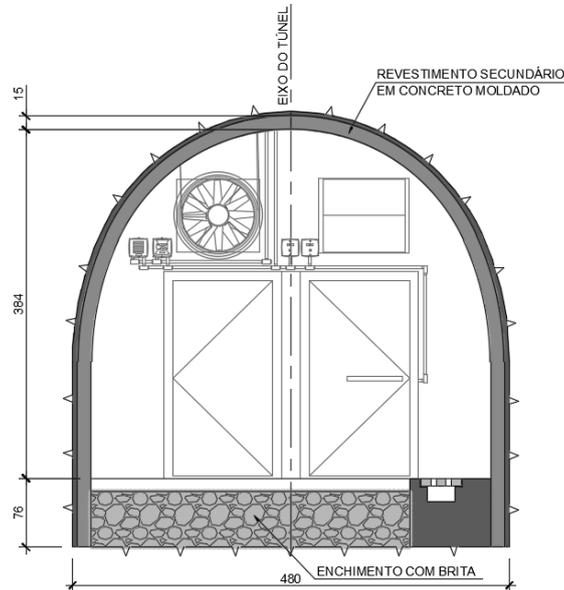


FIGURA 4 – LEIAUTE INTERNO – TÚNEL DE LIGAÇÃO DE PEDESTRES

Os túneis ligação de veículos são projetados de forma que seja possível a passagem de veículos e da ventilação.

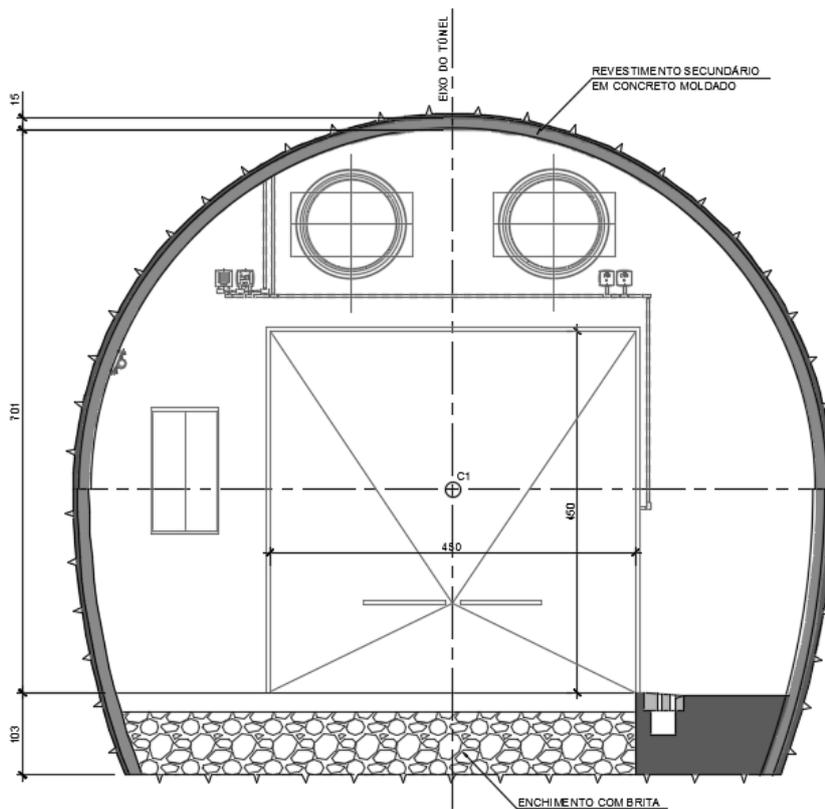


FIGURA 5 – LEIAUTE INTERNO – TÚNEL DE LIGAÇÃO DE VEÍCULOS

### 3. Seções Típicas e Compartimentação

Todas as seções típicas dos túneis principais são compostas por revestimento primário, para a fase de construção, e revestimento secundário, para a fase definitiva. O revestimento secundário, para todas as seções típicas, é composto por 30 cm de concreto moldado com armação em aço CA-50.

O revestimento primário da seção TS (solo) é composto por concreto projetado e cambotas metálicas. O revestimento primário da seção TR (rocha) é composto por concreto projetado e tirantes de aço fixados com resina.

Foram previstos túneis de interligação de pedestres a cada 250 m, e túneis de interligação de veículos a cada 1000 m.

Os túneis de ligação têm comprimento de aproximadamente 20 m, sendo a distância entre os túneis principais. O revestimento secundário para os túneis de ligação tem 15 cm de espessura.

Baseado no estudo geológico, se observou que a maior parte dos túneis atravessará a porção em rocha do maciço, no entanto encontrará regiões de falhas regionais que poderão ser significativas em termos de comprimento.

Para a compartimentação foi inferida uma distribuição de 27% do comprimento para a seção em solo (seção TS) e 73% do comprimento em rocha (seção TR).

A tabela abaixo apresenta o comprimento total, o comprimento em solo e o comprimento em rocha de cada túnel:

**TABELA 1 – COMPRIMENTOS DOS TÚNEIS EM METROS E NÚMERO DE TÚNEIS DE LIGAÇÃO POR TÚNEL**

	TÚNEL 1
SOLO	520m/520m
ROCHA	1390m/1390m
TOTAL	1910m/1910m
Nº TÚNEL DE LIGAÇÃO PEDESTRES	6
Nº TÚNEL DE LIGAÇÃO VEÍCULOS	1

## **4. Compartimentação Método Construtivo**

### **4.1. Túnel**

O comportamento de um maciço durante e após a escavação é função direta do método ou procedimentos de escavação adotados. O projeto dos túneis teve como premissa básica a adoção do método construtivo NATM (New Austrian Tunneling Method, definido por Rabcewicz, 1964) para as escavações. O NATM é um dos métodos de escavação mais difundidos mundialmente e um dos mais adotados no Brasil.

Segundo Bieniawski (1989), o NATM é na verdade uma abordagem ou filosofia de escavação, e não exatamente um método, como a tradução para o inglês (method) faz parecer. O NATM integra a observação – a medida em que se escava e se observa o comportamento do maciço e se aplicam os reforços necessários – com o monitoramento do maciço sob a nova carga resultante da escavação do túnel. O NATM não é a simples aplicação de concreto projetado e tirantes como suporte, e sim uma série de princípios. Muller (1978) listou 22 princípios do NATM, dos quais Bieniawski (1989) lista 7 principais:

1. Mobilização da resistência do próprio maciço rochoso.
2. Suporte inicial, logo após a escavação, com camada inicial de concreto projetado.
3. Monitoramento por meio de medidas de instrumentos.
4. Suporte flexível (concreto projetado, tela metálica e tirantes)
5. Fechamento de arco invertido (invert).
6. Arranjos contratuais adequados ao NATM (para permitir que mudanças no sistema de suporte sejam feitas durante a escavação).
7. Suporte (seção tipo de tratamento) determinado pela classificação do maciço rochoso na frente de escavação. Os pagamentos da empresa construtora são feitos com base na classificação do maciço rochoso.

#### **SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA**

- Solo:

Execução dos tratamentos, enfilagens, pregagem de frente e DHP's;

Escavação da calota, posicionamento da cambota e aplicação do concreto projetado;

Escavação do arco invertido provisório e aplicação de concreto projetado;

Escavação do arco invertido definitivo e aplicação de concreto projetado;

Execução do revestimento secundário de concreto moldado.

## Estudo das Estruturas dos Túneis

Data: 15/07/2021

Versão: 01

- Transição solo/rocha:

Execução dos tratamentos, enfilagens, pregagem de frente e DHP's;

Escavação da calota, posicionamento da cambota e aplicação do concreto projetado;

Escavação do rebaixo em rocha e aplicação dos tirantes

Escavação do arco invertido definitivo e aplicação de concreto projetado;

Execução do revestimento secundário de concreto moldado.

- Rocha:

Escavação da calota (a fogo), aplicação de concreto projetado e execução dos tirantes;

Escavação da bancada (a fogo), aplicação de concreto projetado e execução dos tirantes;

### 4.2. Emboques

Os emboques seguem o conceito de emboque ecológico, pois promove, na medida do possível, a reconstituição da área escavada necessária para construção do túnel. Esta reconstituição é realizada por meio da construção de um túnel falso de aproximadamente 40 m de comprimento, que durante a etapa construtiva da obra serve de proteção contra queda de material, com posterior reaterro conformado com as adjacências da escavação e plantio de vegetação sobre este reaterro. O túnel falso tem outra função além da supracitada, a de conferir maior segurança e rigidez a estrutura na etapa inicial das escavações.

Do ponto de vista de estabilidade os emboques foram concebidos com formas distintas para duas fases: a primeira provisória, com o uso tratamentos e contenções e a segunda definitiva com o reaterro do emboque e consequente contenção definitiva dos taludes. A Figura 6 apresenta um exemplo de aplicação do conceito.



FIGURA 6 – EMBOQUE – RODOVIA CARVALHO PINTO