

Nº 179541

Modelagem numérica aplicada à escavação de túneis NATM em maciços rochosos cristalinos estruturalmente complexos

Felipe Schaefer Santos
Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

*Palestra apresentada no CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS, 6.; LATIN AMERICAN TUNNELLING SEMINAR-LAT, 2025, São Paulo. **Palestra...** 11 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

PROIBIDO REPRODUÇÃO



**6º CONGRESSO BRASILEIRO
DE TÚNEIS E ESTRUTURAS
SUBTERRÂNEAS
SEMINÁRIO INTERNACIONAL
"LATIN AMERICAN TUNNELLING
SEMINAR - LAT 2025"**

10 a 12 de março de 2025

São Paulo-SP

Modelagem numérica aplicada à escavação de túneis NATM em maciços rochosos cristalinos estruturalmente complexos

Felipe Schaefer Santos* (IPT)

Ginaldo Ademar da Cruz Campanha (IGc-USP)

1. Introdução



2. Teoria e Método



3. Resultados



4. Conclusões



1. Introdução



Otimização do uso da superfície



Complexidade de projetos de túneis



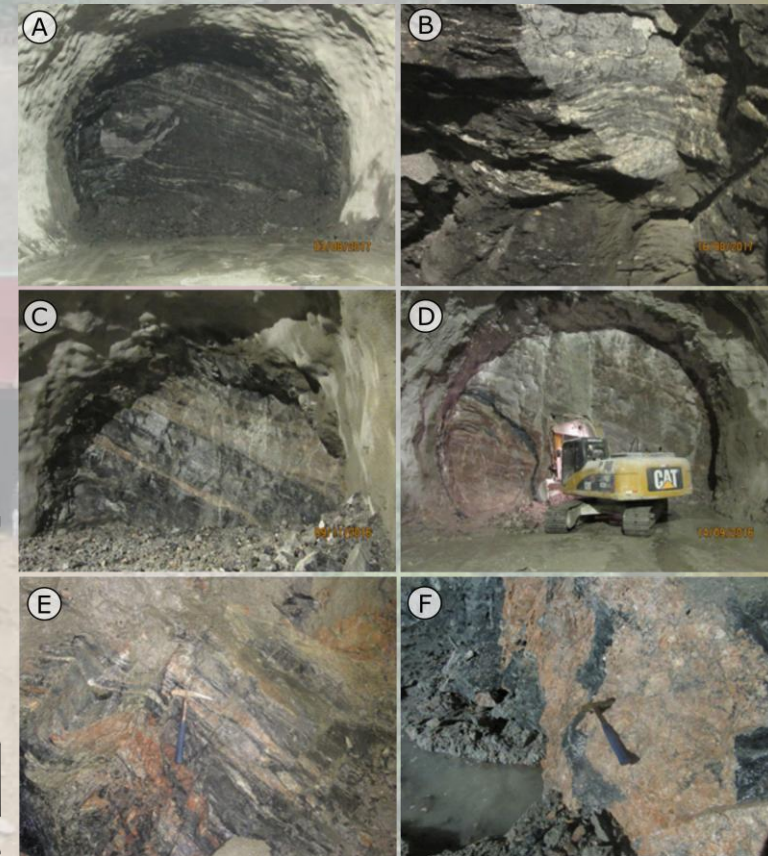
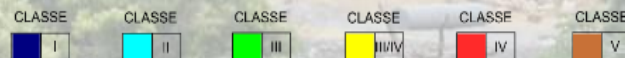
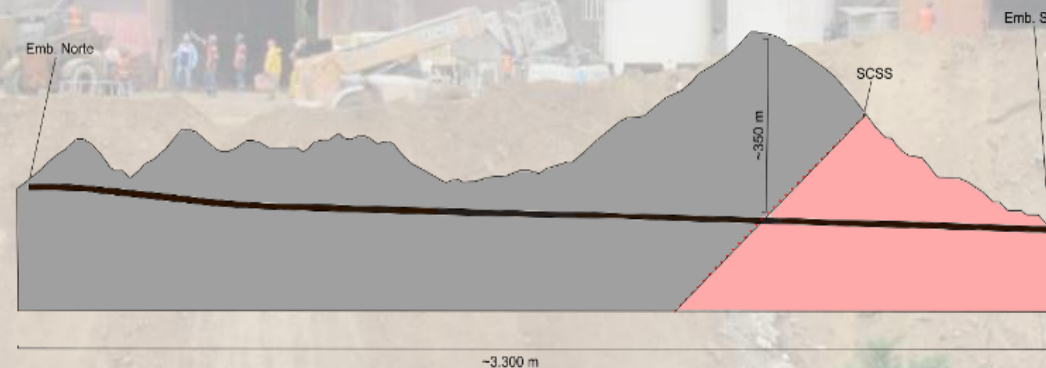
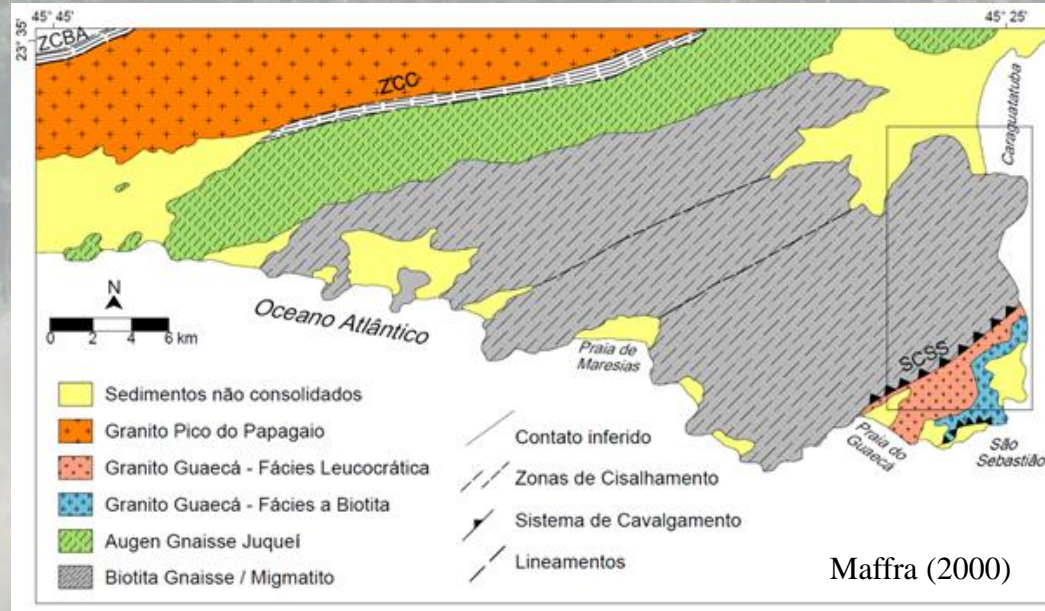
Modelos geológicos verossímeis



Objetivos



Localização



2. Teoria e Método



Levantamento de dados



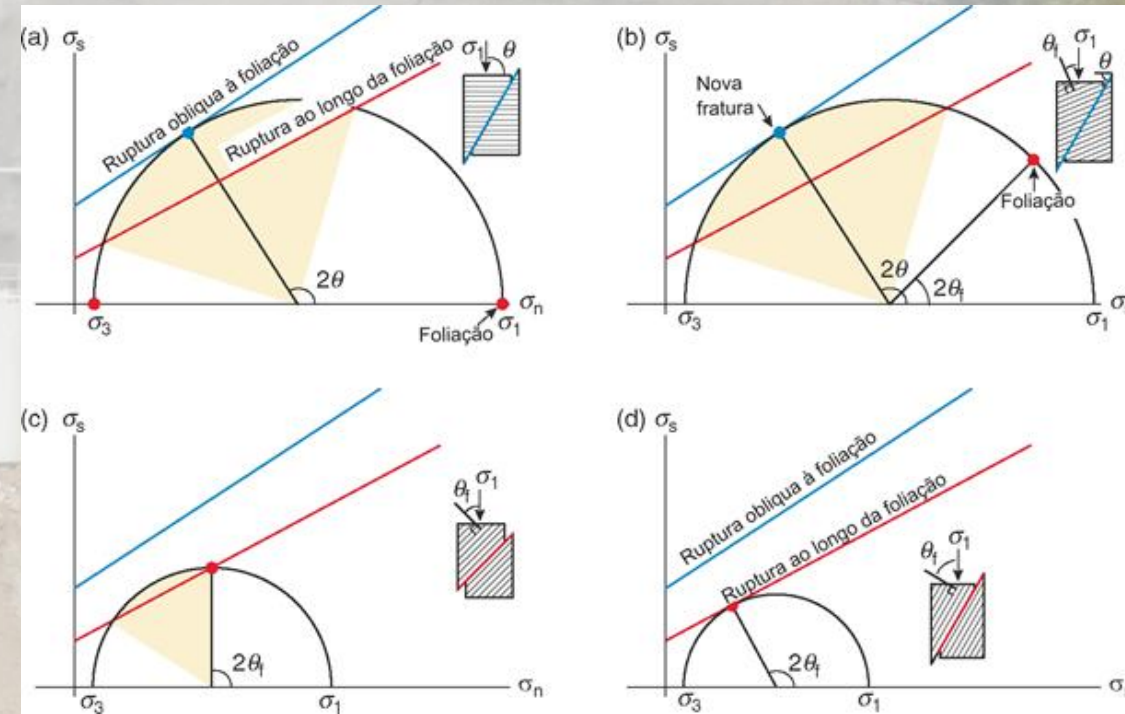
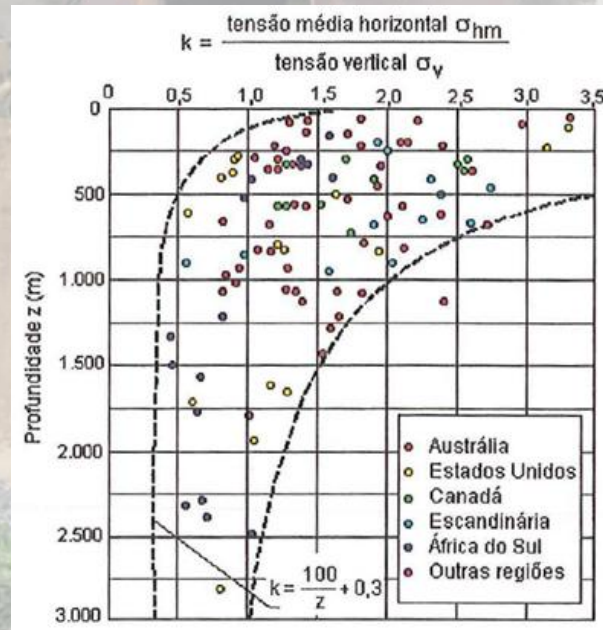
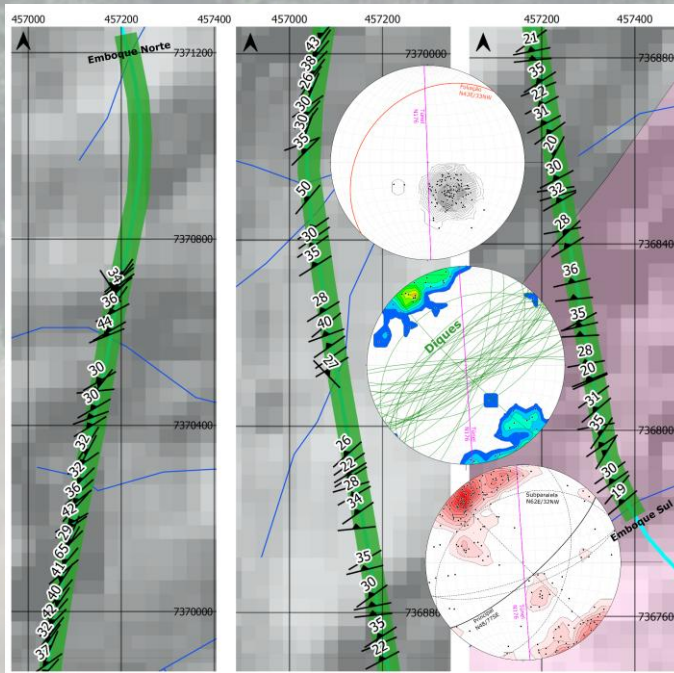
Confecção do Modelo



Complexidades geológicas



Variações dos valores de k



Fossen (2012)

Magalhães (1999) baseado em Brown & Hoek (1978)

2. Teoria e Método



Levantamento de dados



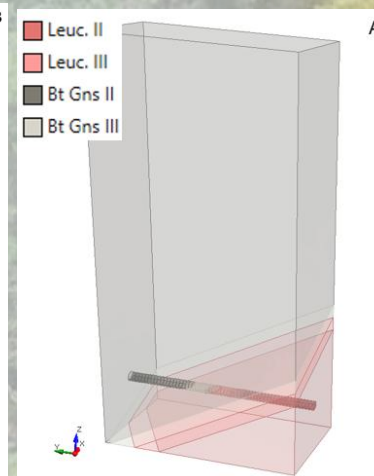
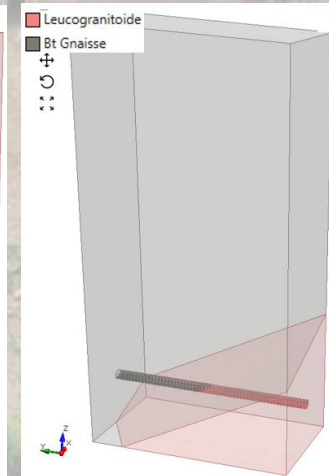
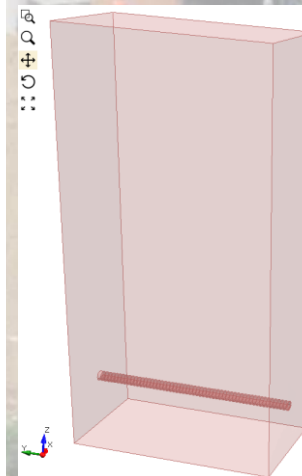
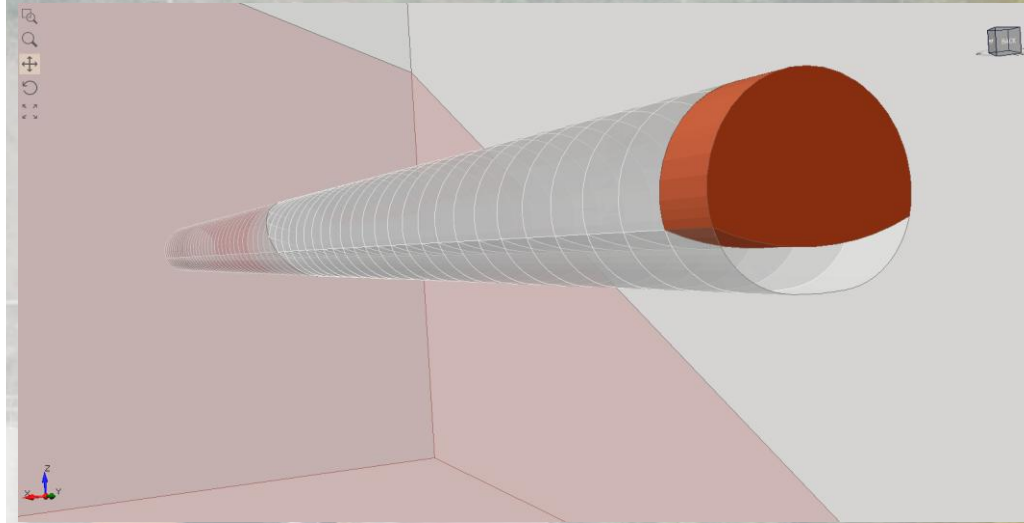
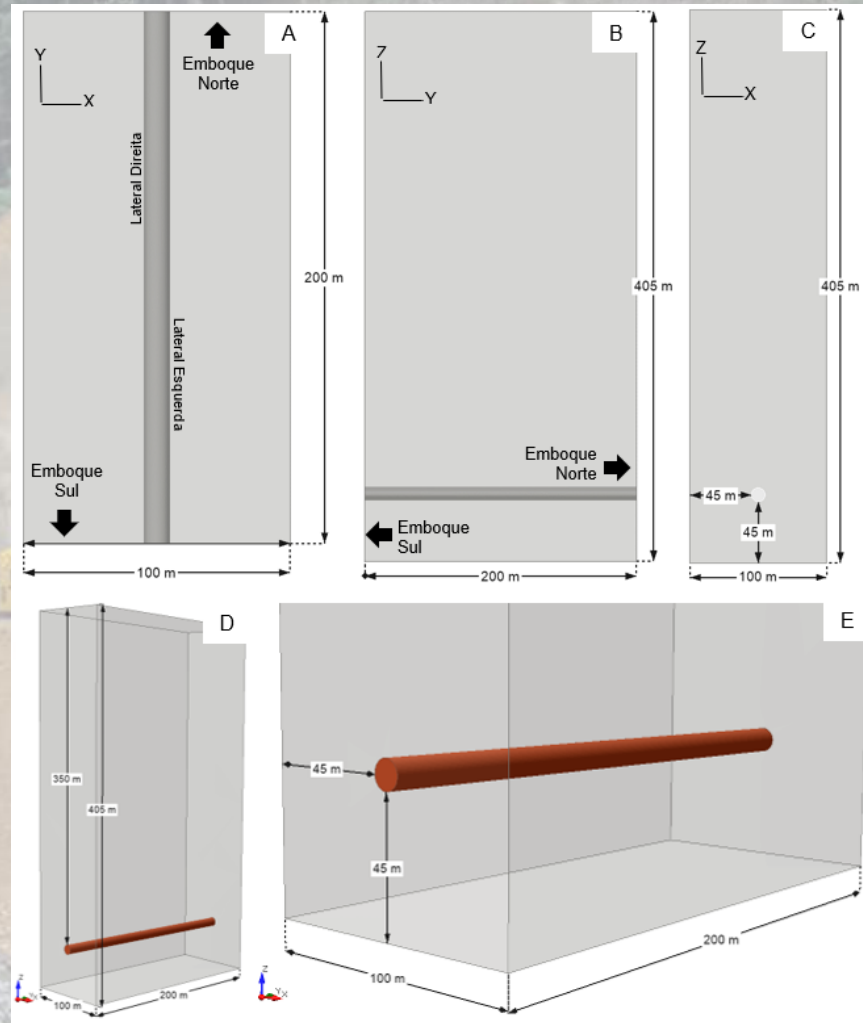
Confecção do Modelo



Complexidades geológicas



Variações dos valores de k



Leucogranitoide
 Bt Gnaiss

Leuc. II
 Leuc. III
 Bt Gns II
 Bt Gns III

2. Teoria e Método



Resumo dos cinco modelos numéricos Modelos

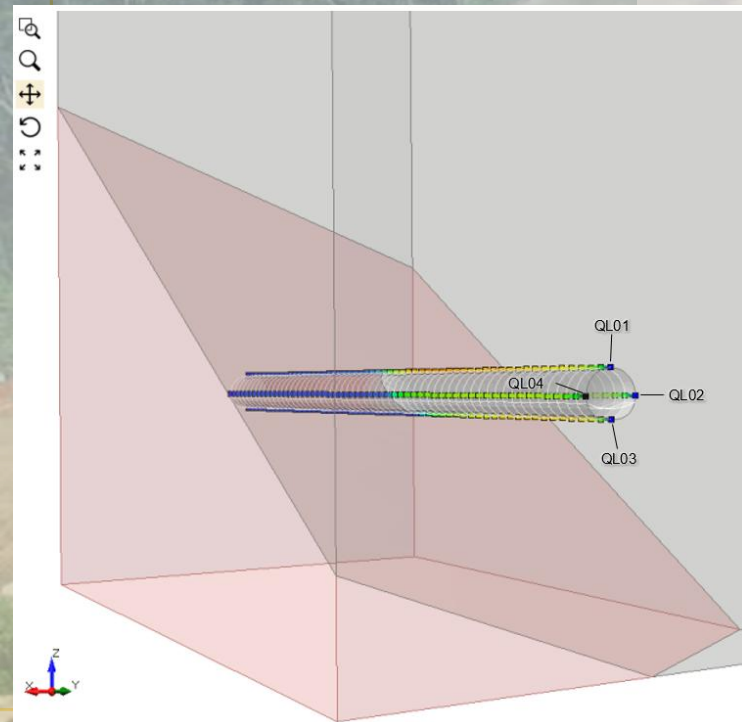


Posição das Query Lines (QL)



Modelo constitutivo e anisotropias

Todos os cinco modelos consideraram o maciço rochoso como **elasto-plástico perfeito** e com superfície de plastificação coincidente com o **critério de ruptura de Mohr-Coulomb** e as **anisotropias** foram consideradas de **maneira indireta**: em **modelos homogêneos e isotrópicos equivalentes contínuos**, por meio **das classificações de maciço (RMR)**.



Modelo	Litologia	Parâmetros				
		ϕ (°)	c (MPa)	E (GPa)	ν	k
1	Leucogranitóide	51	55,1	49,78	0,29	1,0
2	Leucogranitóide	51	55,1	49,78	0,29	1,0
	Biotita Gnaiss	27	14,8	4,72	0,22	1,0
3	Leucogranitóide RMR II	28	4,32	49,78	0,29	1,0
	Leucogranitóide RMR III	25	2,59	36,00	0,21	1,0
	Biotita Gnaiss RMR II	28	1,11	4,72	0,22	1,0
	Biotita Gnaiss RMR III	25	0,67	2,20	0,36	1,0
4	Leucogranitóide RMR II	28	4,32	49,78	0,29	1,5
	Leucogranitóide RMR III	25	2,59	36,00	0,21	1,5
	Biotita Gnaiss RMR II	28	1,11	4,72	0,22	1,5
	Biotita Gnaiss RMR III	25	0,67	2,20	0,36	1,5
5	Leucogranitóide RMR II	28	4,32	49,78	0,29	2,5
	Leucogranitóide RMR III	25	2,59	36,00	0,21	2,5
	Biotita Gnaiss RMR II	28	1,11	4,72	0,22	2,5
	Biotita Gnaiss RMR III	25	0,67	2,20	0,36	2,5

3. Resultados



Deslocamentos totais (qualitativo)



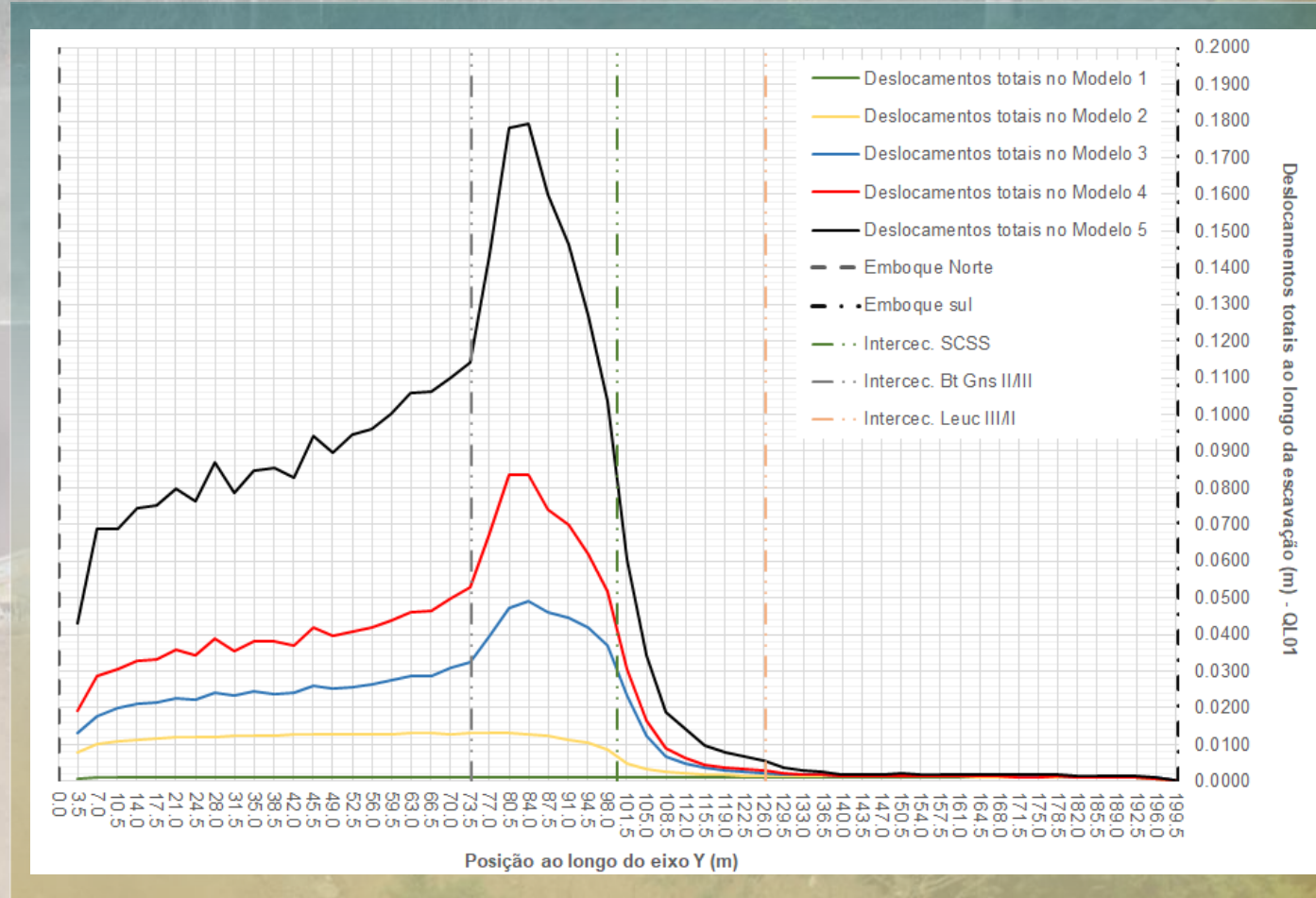
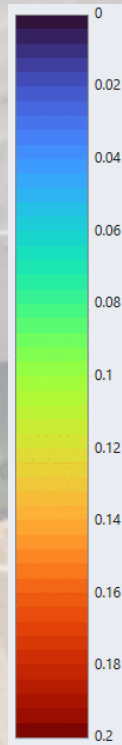
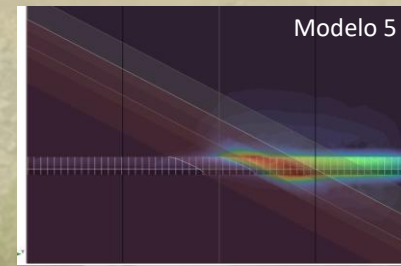
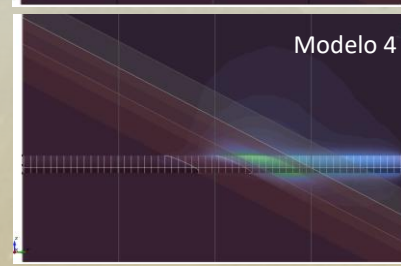
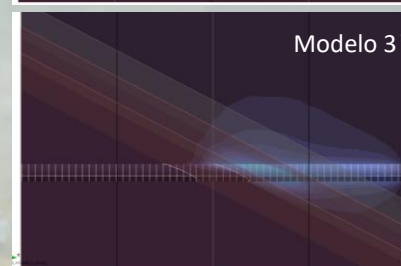
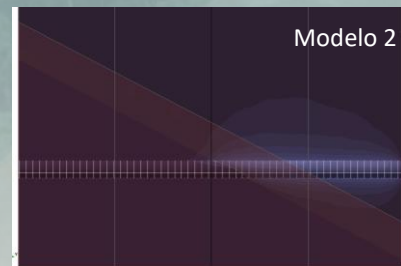
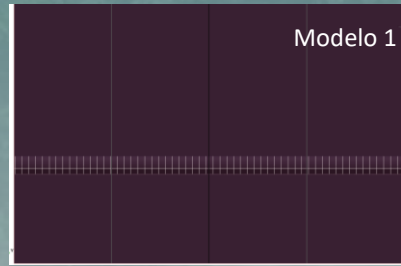
Comportamentos geométricos das curvas similares



Magnitudes diferentes



Anisotropias:
Estruturas geológicas
RMR
k



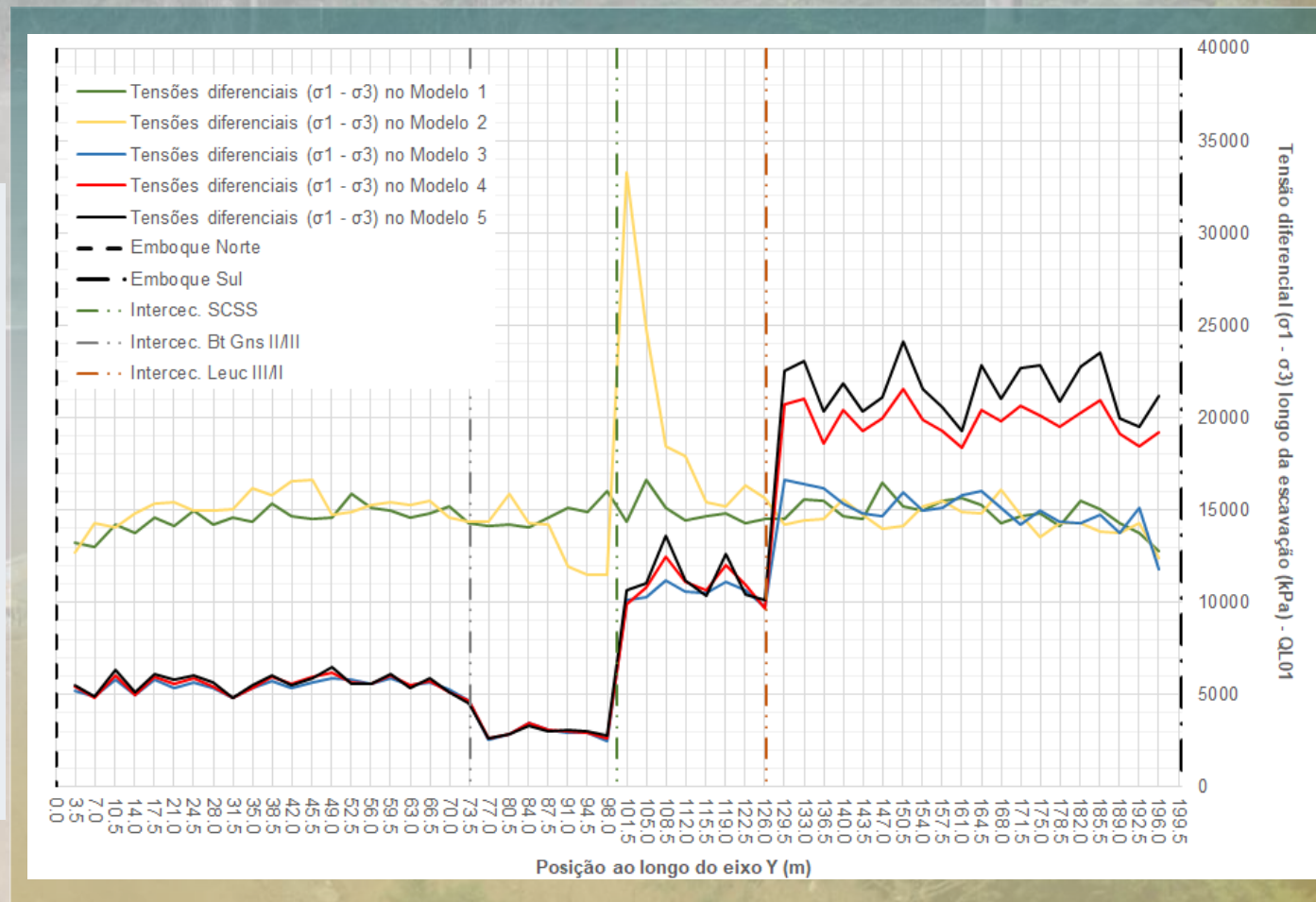
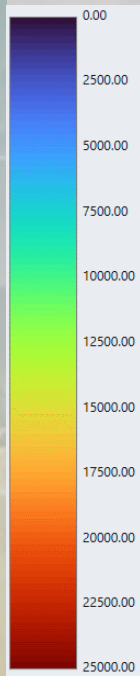
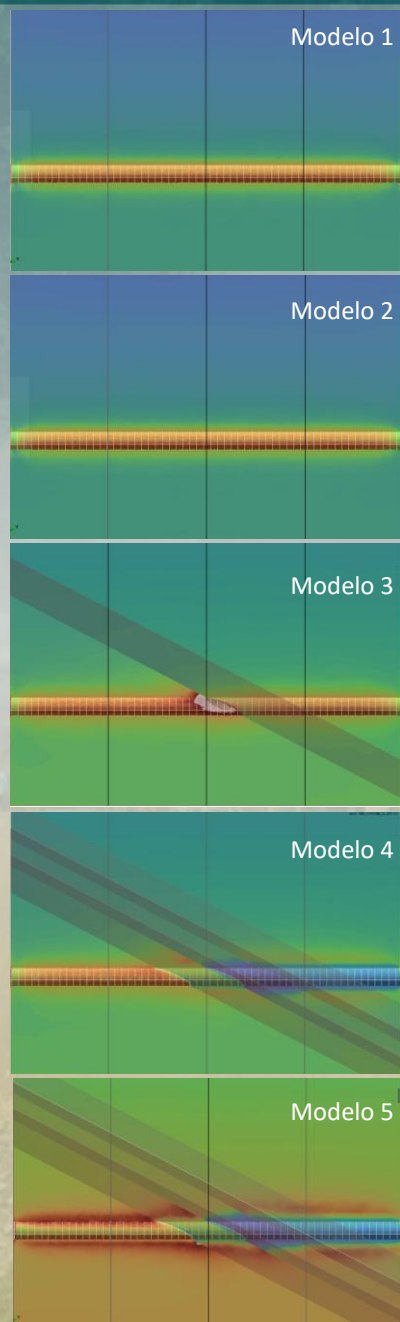
3. Resultados



Relação
(qualitativa)
Tensão ind. vs. k



Relação
(qualitativa)
Tensão ind. vs.
materiais



4. Conclusões



Tensões induzidas finais

Valores de **tensões induzidas finais** são dependentes dos valores das **tensões naturais (k)**, dos **parâmetros de resistência e deformabilidade** que compõem os modelos constitutivos e da **presença de anisotropias estruturais / litológicas**.



Deslocamentos totais

Ao **aumentar o valor de k** ficou flagrada uma **relação positiva** com o **aumento dos deslocamentos** totais observados, **sobretudo** em maciços rochosos de **baixa qualidade geomecânica** (biotita gnaiss classe III do RMR). Nos modelos 3 a 5, os deslocamentos foram geralmente maiores do que os observados nos modelos 1 e 2, nos quais o maciço foi considerado intacto, sem inserção de parâmetros que representassem descontinuidades, portanto, representando a resistência da matriz rochosa, e não do maciço. Os valores de deslocamentos calculados podem diferenciar de duas até dez vezes de um modelo para a outro, em função das complexidades consideradas.



Inserção das complexidades geológico-geotécnicas em modelos numéricos

Devido à **possibilidade tangível** dessas estruturas (**foliações, fraturas, contatos etc.**) serem mapeadas em **escala regional** e local durante o desenvolvimento das obras, e também devido aos **softwares possibilitarem sua inclusão** de maneira rotineira, **não se justifica atualmente a modelagem numérica de obras de infraestrutura subterrânea sem a introdução de informações dessas descontinuidades e anisotropias no campo de tensões**, seja de maneira implícita ou explícita.

Referências


Fossen, H. 2012. *Geologia estrutural (primeira edição)*. São Paulo, Oficina de Textos, 584 p.

Hoek, E., Brown, E.T. 1980. *Underground excavations in rock*. London, E & FN Spon, 527 p.

Hoek, E., Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 34, no. 8, p. 1165-1186.

Maffra, C.Q.T. 2000. *Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: evidências de um domínio transpressivo [Dissertação de Mestrado]*. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 113 p.

Magalhães, F.S. 1999. *Tensões regionais e locais: casos no território brasileiro e padrão geral [Tese de Doutorado]*. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 225 p.

Realização: 

Organização: 
Eventos Especiais