

DNIT

SUBPROJETO 2 - PLATAFORMA
INTEGRADA DE ESTRUTURAÇÃO
ANÁLISE DE DADOS COM USO DE
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL



MANUAL GEOTÉCNICO

Algumas sugestões acerca dos estudos
geotécnicos à luz do novo método de
dimensionamento de pavimentos no Brasil

**Avanços e Desafios para o
Desenvolvimento de um Manual
Geotécnico à Luz de Parâmetros
Mecanístico-Empíricos**

Profa. Suelly Barroso



Laboratório de Mecânica
de Pavimentos

05/12/24



**INSTITUTO
FEDERAL**
Ceará
Campus
Juazeiro
do Norte

SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)**
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos**
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos**
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico**
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico**
- 6 Considerações Finais**



Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

Laboratório de Mecânica dos Pavimentos/CT Asfalto

Profa. Suelly Barroso
suelly@det.ufc.br



Engenheira Civil
1993



Profa. Titular
1998 - presente



**Coordenadora de
Pós-Graduação**
2008-2012

Pós Doc 2
2022



M. Eng
1996



EESC • USP

D. Eng
2002



Pós Doc 1
2015



CT ASFALTO/LMP/UFC



Cerca de 50 pessoas (professores, doutores, mestres, engenheiros, químicos, físicos, etc)

CT ASFALTO/LABORATÓRIO DE SOLOS



GRUPO DE PESQUISA DO PETRAN



Manager Technician



Assis



Ricardo



PhD (03)



Webert



Mateus Brito



Nobre

Researcher (02)



Edson



Bruno

Master (06)



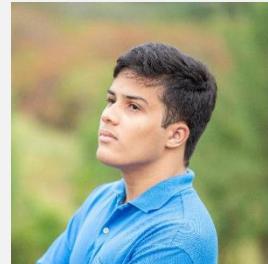
Joyce



Adriano Júnior



Samuel



Mateus Marcial



Igor



Rosa

SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)**
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos**
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos**
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico**
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico**
- 6 Considerações Finais**



SUBPROJETO 2 - PLATAFORMA INTEGRADA DE ESTRUTURAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS COM USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

EQUIPE

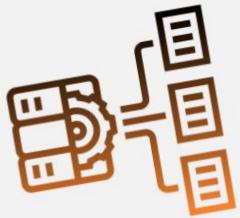
Jorge Barbosa Soares (Coordenador Geral)
Suellen Helena de Araújo Barroso (Coordenadora)

Antônio Júnior Alves Ribeiro (Professor IFCE/Pesquisador)
Carla Beatriz Costa de Araújo (Professora UFC/Pesquisadora)
Sarah Denise Vasconcelos (Professora/UNIFOR)
Adriano Jorge Sombra Júnior (Mestrando/UFC)
Francisco de Assis Franco Vieira (Graduando/UFC)
Mateus Marcial Magalhães Cavalcante (Mestrando/UFC)
Joyce Fernandes Frutuôso (Mestrando/UFC)
Rosa Angélica Saldanha Magalhães Angelim (Mestrando/UFC)
Amanda Maria Gomes Sales Silvestre (Bolsista de IC/IFCE)
Matheus Jesus Ribeiro Araújo (Mestrando/UFC) Samuel José
Celestino de Oliveira (Mestrando/UFC)

Wendel Silva Cabral (Professor UFERSA/Pesquisador)
Antônia Fabiana Marques Almeida (Doutoranda/UFC)
Mateus Silva Brito (Doutorando/UFC)
Igor de Sousa Vieira (Graduado/UFC)
José Wémenson Rabelo Chaves (Doutorando/UFC) Francisco
Carlos Henrique Pio de Oliveira (Doutorando/UFC)
Mariana Gonçalves da Silva (Bolsista de IC/IFCE)
Yhasmim Vitória Vanderlei Dias (Graduanda IFCE)
Flávio Santos Sousa Costa (Graduando IFCE)
José Alex Duarte Rodrigues (Graduando IFCE)

SUBPROJETO 2

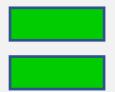
OBJETIVO: Construir uma plataforma digital para geração de modelos e mapas temáticos para tomada de decisão dos gestores do Dnit.



Dados



Processamento

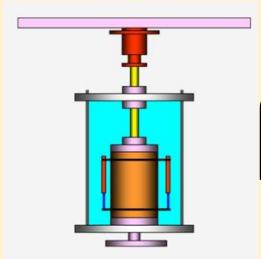


Resultados



Literatura +
Projetos

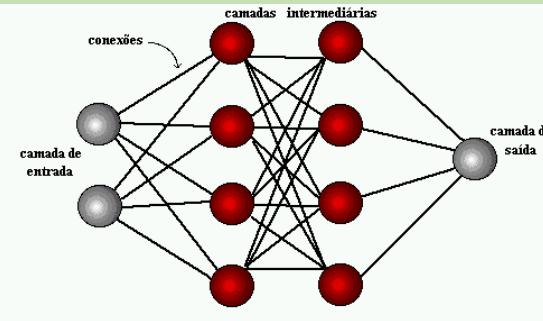
Coleta de
amostras



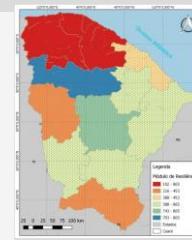
Ensaios



Tabulação
dos Dados



IA



MAPAS/BD

$$MR = 1658,09 - 340,08xy_d + 3,72xCBR - 7,93x#_{10} - 0,32x#_{40} - 1,43x#_{200}$$

MODELOS



MANUAL
GEOTÉCNICO/
CURSOS

ENTREGA 1 - Banco de Dados Geotécnico Preliminar

IDENTIFICAÇÃO	DADOS GERAIS DO SOLO		CLASSIFICAÇÕES					
	ORIGEM	COORDENADAS (UTM - 24S)						
CIDADE	X	Y	Z	HRB	SUCS	MCT	PEDOLOGIA	

CARACTERIZAÇÃO CONVENCIONAL					
LIMITES DE CONSISTÊNCIA			COMPACTAÇÃO		
LL	LP	IP	ENERGIA NORMAL		ENERGIA INTERM.
H _{0t} (%)	MEASmáx (g/cm ³)		H _{0t} (%)	MEASmáx (g/cm ³)	

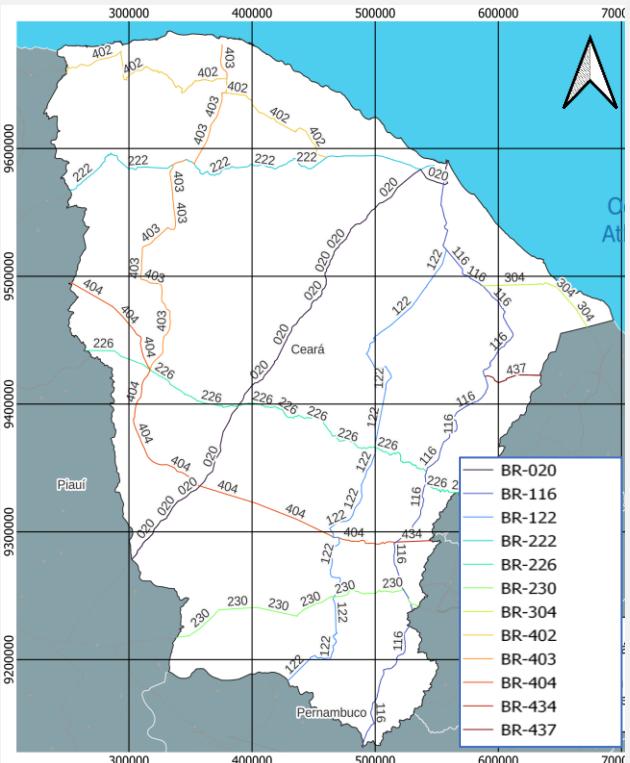
IDENTIFICAÇÃO	DADOS GERAIS DO SOLO		CARACTERIZAÇÃO CONVENCIONAL						CARACTERIZAÇÃO CONVENCIONAL						CARACTERIZAÇÃO CONVENCIONAL						INDICE																		
	ORIGEM	COORDENADAS (UTM - 24S)	GRANULOMETRIA (FRASSANTE)						LIMITES DE CONSISTÊNCIA			COMPACTAÇÃO																											
CIDADE	X	Y	Z	HRB	SUCS	MCT	PEDOLOGIA	g/m ³	-	%	2"	1/2"	1"	3/4"	5/8"	N 4	N 10	N 16	N 30	N 40	N 50	N 100	N 200	SEDIMENTAÇÃO	LL	LP	IP	ENERGIA NORMAL	ENERGIA INTERM.	ENERGIA MODIFIC.	ENERGIA NORMAL	MEASmáx (g/m ³)	Expanção (%)	CBR (1%)	Hmoldo				
1	Equalé	MA2671.560	957903.520	21.08	A-2-A	SM-DC	TAV	Arís	2.642	0	15,4	100	100	100	100	100	99	98	94	86	68	24	22	16	11	0	NP	NP	NP	9,0	1,60	2,00	9,0	1,870	0,00	19,0	8		
2	Fratilé	562761.514	957568.004	11,65	A-2-A	SM-DC	TAV	Arís	2.636	0	16,2	100	100	100	100	100	99	98	93	82	68	26	33	29	19	13	21,8	22,7	5,1	10,2	1,640	3,8	2,000	10,2	1,860	0,00	16,0	8	
3	Fratilé	571521.400	956422.645	11,67	A-3	SP-IV	LA	Arís	2.630	0	16,6	100	100	100	100	100	99	98	96	88	80	40	2	5	4	0	2	NP	NP	NP	6,5	1,620	5,0	1,830	6,9	1,820	0,00	15,0	6
4	Fratilé	524952.048	9539793.051	19,47	A-2-A	SM	NA	Arís	2.653	0	21,0	100	100	100	100	100	99	98	94	87	67	18	14	12	9	7	NP	NP	NP	8,0	1,640	6,2	1,885	7,8	1,860	0,00	16,0	7	
5	Fratilé	524066.246	9538777.763	15,56	A-2-A	SM	LA	Arís	2.654	0	21,0	100	100	100	100	100	99	98	96	89	68	23	13	12	10	9	NP	NP	NP	6,0	1,650	6,5	1,950	5,8	1,940	0,00	12,0	5	
6	Fratilé	55984.054	952224.736	3,64	A-2-A	SM	NA	Arís	2.647	0	23,3	100	100	100	100	100	98	96	93	89	57	25	19	13	5	4	NP	NP	NP	6,6	1,630	5,2	1,960	6,0	1,820	0,00	17,0	6	
7	Ceará	520268.630	96466000.030	23,38	A-2-A	SC-SM	TAV	Arís	2.620	21,2	100	100	100	100	100	96	91	86	80	58	25	22	22	5	4	26	19	7	9,1	2,00	9,5	2,100	8,8	2,001	9,1	2,010	0,00	11,0	6
8	Ceará	520917.092	9649441.581	21,07	A-2-A	SC-SM	LA	Arís	2.620	14,8	100	100	100	100	100	96	93	89	58	28	27	29	5	4	26	20	6	8,9	2,029	9,5	2,060	8,8	2,011	0,00	13,0	8			
9	Ceará	51124.117	9510153.440	07,70	A-2-A	SM	TAV	Arís	2.650	23,0	100	100	100	100	100	95	79	64	50	39	29	24	16	11	7	20	24	4	9,7	1,600	3,4	2,115	9,0	1,990	0,17	20,0	5		
10	Ceará	526604.405	9536258.588	37,32	A-2-A	SM	LA	Arís	2.650	16,5	100	100	100	100	100	99	93	87	82	57	28	23	5	3	NP	NP	NP	7,7	1,936	11,1	1,970	7,6	1,936	0,00	16,0	7			
11	Eusébio	516468.513	957054.960	25,57	A-2-A	SC-SM	LA	Arís	2.650	7,9	100	100	100	100	100	95	90	86	49	25	19	12	4	4	24	19	5	8,5	1,646	10,8	2,025	8,1	2,012	0,00	7,0	8			
12	Ceará	524929.273	9564202.243	19,07	A-2-A	SM	NOVO	Bras	2.640	11,1	100	100	100	100	100	97	92	88	83	65	51	42	26	29	25	34	24	10	14,0	1,734	12,0	2,050	14,3	1,860	0,15	9,0	14		
13	Itaúna	55171.201	955839.807	4,3	A-2-A	SC	NOZ	Bras	2.640	6,7	100	100	100	100	100	91	71	59	43	41	36	30	24	19	17	36	22	14	17,7	1,700	16,4	1,840	16,3	1,832	0,17	1,0	16		
14	Munizague	502215.510	9553939.478	16,7	A-2-A	CL	NOZ	Bras	2.600	11,2	100	100	100	100	100	96	89	82	77	70	66	62	52	44	39	42	26	16	18,7	1,660	16,5	1,860	16,7	1,660	0,25	3,0	18		
15	Munizague	502359.532	9553939.233	13,72	A-2-A	CL	NOZ	Bras	2.600	9,0	100	100	100	100	100	88	78	69	62	55	50	47	40	34	32	42	26	16	14,5	1,645	14,7	1,940	13,9	1,685	0,29	7,0	13		
16	Munizague	523975.624	9553955.074	12,61	A-2-A	SC	NOZ	Bras	2.600	14,0	100	100	100	100	100	95	85	76	69	60	53	48	40	33	31	40	24	16	12,6	1,722	11,8	2,020	12,1	1,852	0,09	6,0	12		
17	Eusébio	516023.053	9560241.489	14,78	A-2-A	ML	NA	Mucumocó	2.650	11,9	100	100	100	100	100	99	92	79	54	43	14	8	NP	NP	NP	10,9	1,703	15,5	1,762	10,9	1,710	0,22	13,0	9					
18	Ceará	514717.744	9562020.046	51	A-2-A	CL	NOZ	Ledôco	2.600	1,8	100	100	100	100	100	98	92	87	80	70	60	55	46	26	26	19	12,0	1,546	12,2	2,000	10,5	1,630	0,02	8,0	18				
19	Munizague	519650.439	9553939.733	14,6	A-2-A	SC	NOZ	Ledôco	2.600	12,5	100	100	100	100	100	99	88	78	68	60	53	43	44	37	20	26	16	13,0	1,644	13,4	1,884	13,0	1,644	0,21	5,0	12			
20	Ceará	504810.044	9512010.024	37,43	A-2-A	CL	NOZ	Phacelio	2.600	0,0	100	100	100	100	100	96	88	82	75	67	62	59	40	40	38	30	24	14	18,1	1,620	12,5	1,991	17,4	1,710	0,01	2,0	19		
21	Ceará	520603.071	957249.324	81	A-2-A	SM	NOV	Phacelio	2.620	14,5	100	100	100	100	100	94	82	72	60	49	41	35	30	25	20	17	14	10,1	1,684	11,5	2,020	12,0	1,897	0,11	10,0	12			
22	Quixelé	540105.036	9512010.042	63,07	A-2-A	SM	NOV	Phacelio	2.620	22,2	100	100	100	100	100	93	73	63	59	44	37	32	25	20	17	14	10	13,1	1,684	11,5	2,020	12,0	1,730	0,24	2,0	14			
23	Quixelé	532054.540	9552020.172	65,2	A-2-A	SM	NOZ	Phacelio	2.640	0,0	100	100	100	100	100	99	89	79	69	60	55	51	49	39	28	20	15	12	1,561	15,6	1,880	17,7	1,704	1,56	2,0	17			
24	Munizague	510144.584	957441.285	14,4	A-2-A	SC	NOV	Phacelio	2.620	16,5	100	100	100	100	100	94	82	71	62	53	47	42	39	28	22	18	14	9,4	1,590	10,4	2,015	9,1	1,890	0,07	6,0	9			
25	Munizague	504045.444	9550939.000	152	A-2-A	SC	NOZ	Phacelio	2.640	10,7	100	100	100	100	100	97	87	76	70	54	41	36	28	16	13	12	22	10	15,9	1,590	11,7	2,030	13,6	1,941	13,9	1,530	0,24	5,0	13
26	Munizague	516151.530	9552655.680	143	A-2-A	SC	NOZ	Phacelio	2.620	0,6	100	100	100	100	100	91	80	70	61	51	44	39	32	21	18	16	12	14,7	1,789	11,9	2,000	14,5	1,867	14,7	1,789	0,08	10	14	
27	Pacatuba	551022.197	9514578.607	71	A-2-A	SC	NOZ	Phacelio	2.620	7,7	100	100	100	100	100	92	82	73	65	55	49	45	37	29	26	22	14												

ENTREGA 1 - Banco de Dados Geotécnico Preliminar - Método

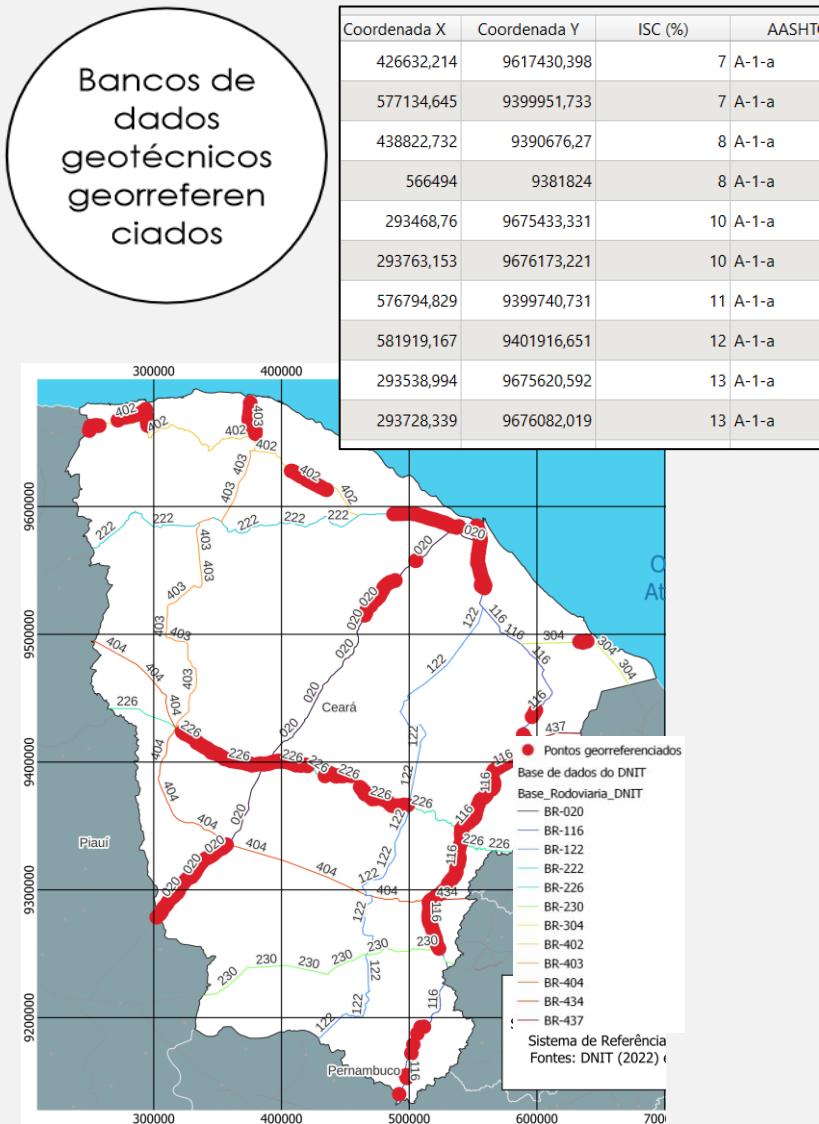


FURO N°	09	10	11	12	13	14	15	16	17
PROFOUNDADE (m)	DE 0,30	0,35	0,40	0,25	0,35	0,35	0,38	0,25	0,30
ATÉ	0,90	0,95	0,90	0,85	0,95	0,95	0,98	0,85	0,90
REGISTRO N°	45	50	55	60	65	70	75	80	85
GRANULOMETRIA PASSANDO %	2" 100	100	100	100	100	100	100	100	100
	1" 100	95	100	100	100	100	100	100	90
	3/8" 80	86	100	71	98	97	98	97	68
Nº 4 73	68	91	60	95	92	93	92	55	
Nº 10 65	62	76	52	90	87	71	73	42	
Nº 40 48	50	55	25	65	62	39	68	22	
Nº 200 32	31	21	6	26	21	26	22	16	
L L	30	26	NL	NL	NL	NL	23	25	26
I P	14	11	NP	NP	NP	NP	10	11	10
I G	1	0	0	0	0	0	0	0	0
E A									
GRUPO H R B	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-2-4
F A I X A									
L O S Â N G E L E S									
G O L P E S	h _{at} 9,6	9,7	9,4	9,6	10,1	8,5	9,8	8,3	9,1
	f _{máx} 2,00	2,03	2,00	2,06	2,12	2,15	2,00	2,14	2,01
EXPANSÃO	0,76	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,59	0,56
I S C	6	15	20	24	24	18	24	18	10
I S									
UMIDADE NATURAL									
QUADRO-RESUMO	SUBLEITO	TABELA 02							
Redivva: BR-222	Data: MAR/90	Des.	Visto:						
Trecho: VIADUTO DE ACESSO A BR-020									
Subtrecho: INTERSEÇÃO COM A CE-225	Esc: 1:50.000								
	D A E R								
	T-319-1/89								

47 projetos (DNIT - Federais)
22 projetos (SOP/CE - Estaduais)

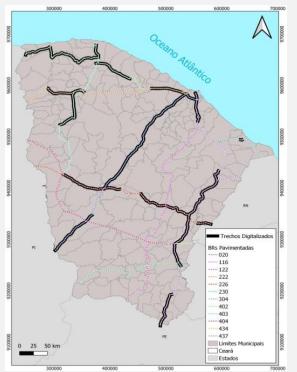


Base Rodoviária Georreferenciada
(9446 amostras – 6359 GEO + 3087)



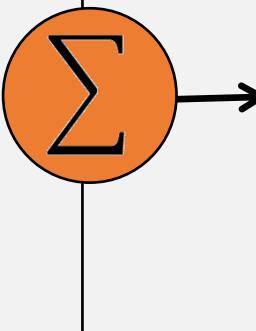
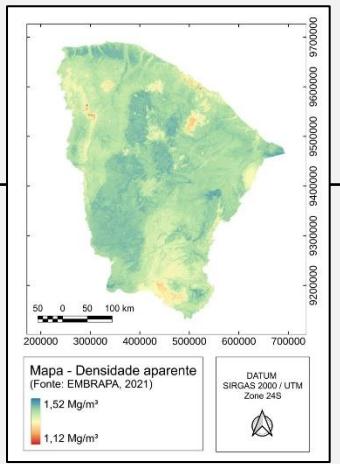
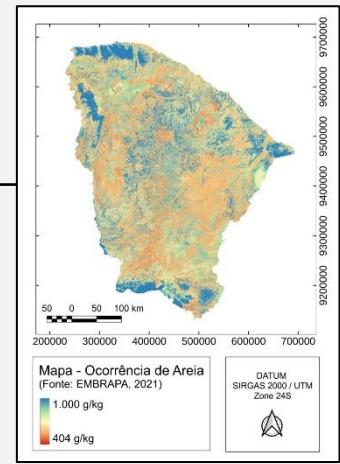
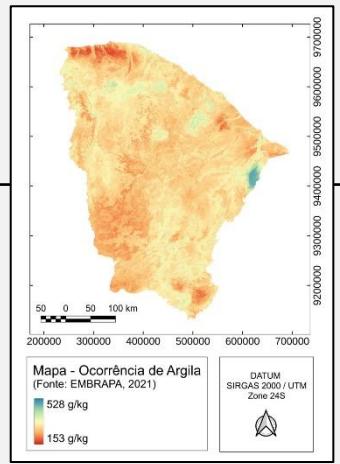
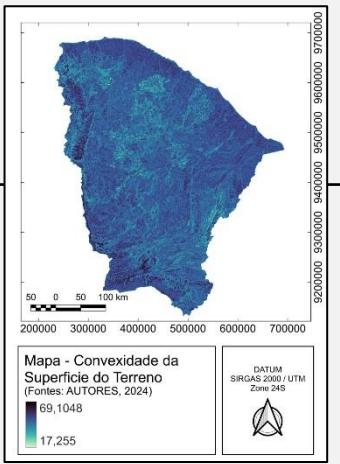
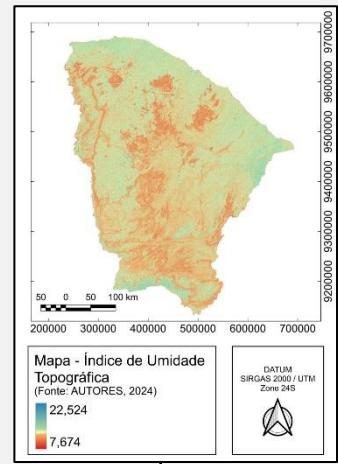
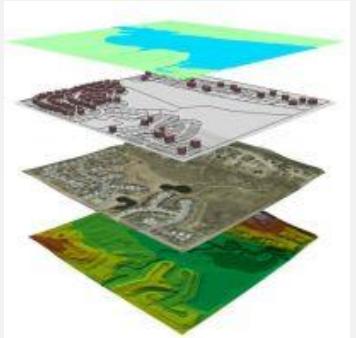
Banco de Dados
Georreferenciado

Coordenada X	Coordenada Y	ISC (%)	AASHTO
426632,214	9617430,398	7	A-1-a
577134,645	9399951,733	7	A-1-a
438822,732	9390676,27	8	A-1-a
566494	9381824	8	A-1-a
293468,76	9675433,331	10	A-1-a
293763,153	9676173,221	10	A-1-a
576794,829	9399740,731	11	A-1-a
581919,167	9401916,651	12	A-1-a
293538,994	9675620,592	13	A-1-a
293728,339	9676082,019	13	A-1-a



ENTREGA 2 - MAPAS TEMÁTICOS PRELIMINARES

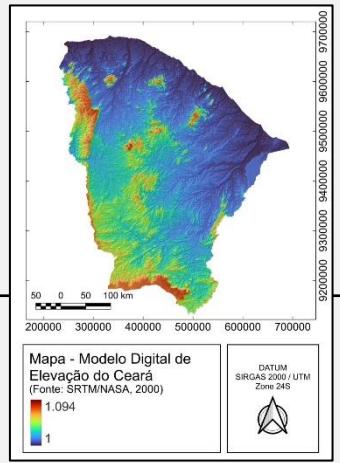
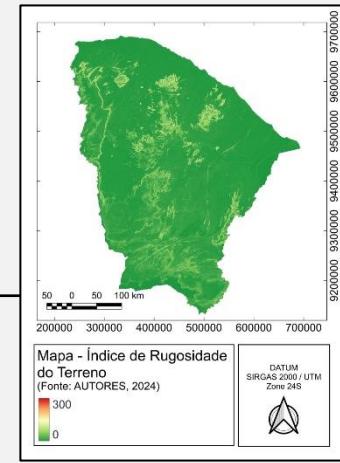
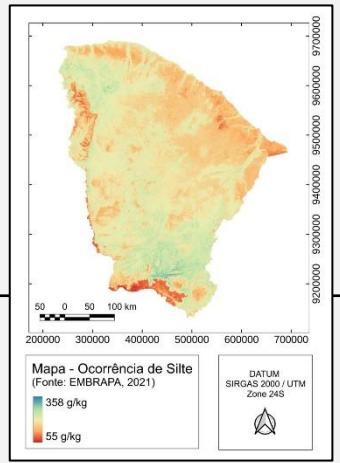
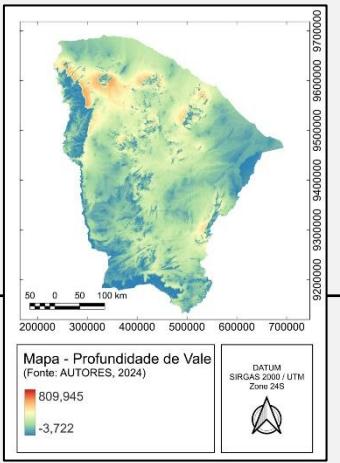
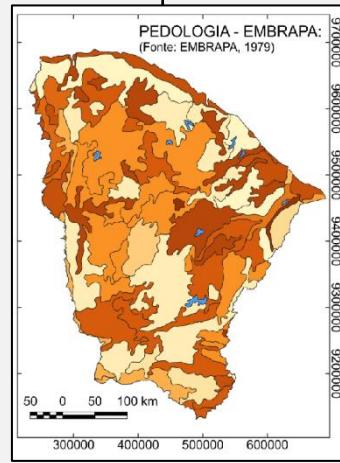
Dados Geotécnicos Existentes
nos projetos (AASHTO e CBR) e Coordenadas
Geográficas



MR

CBR

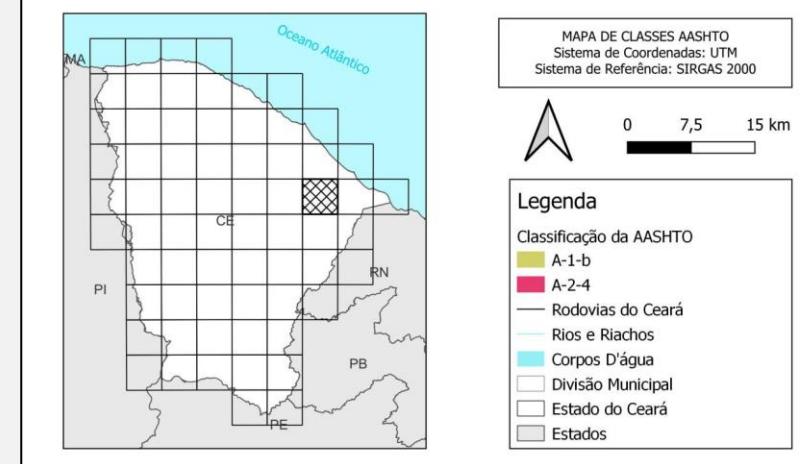
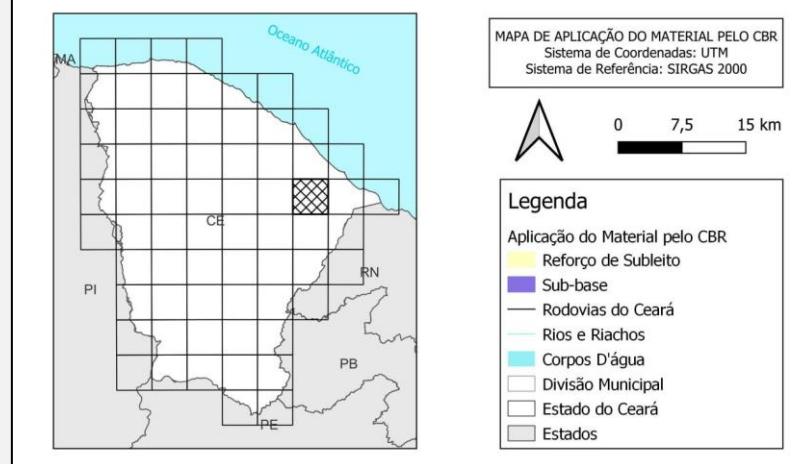
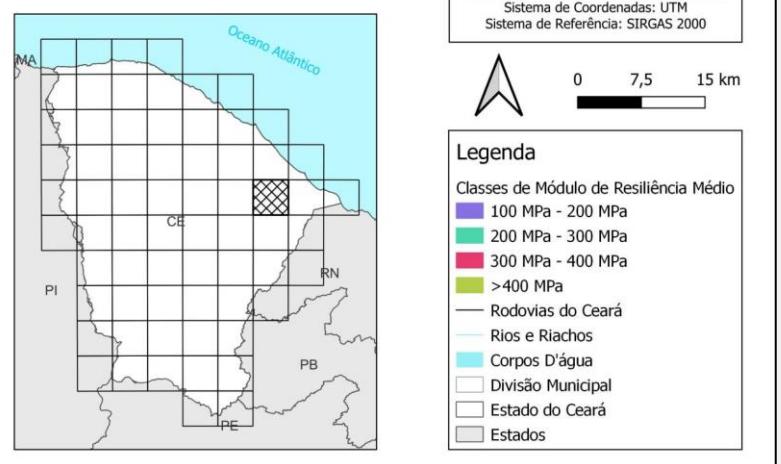
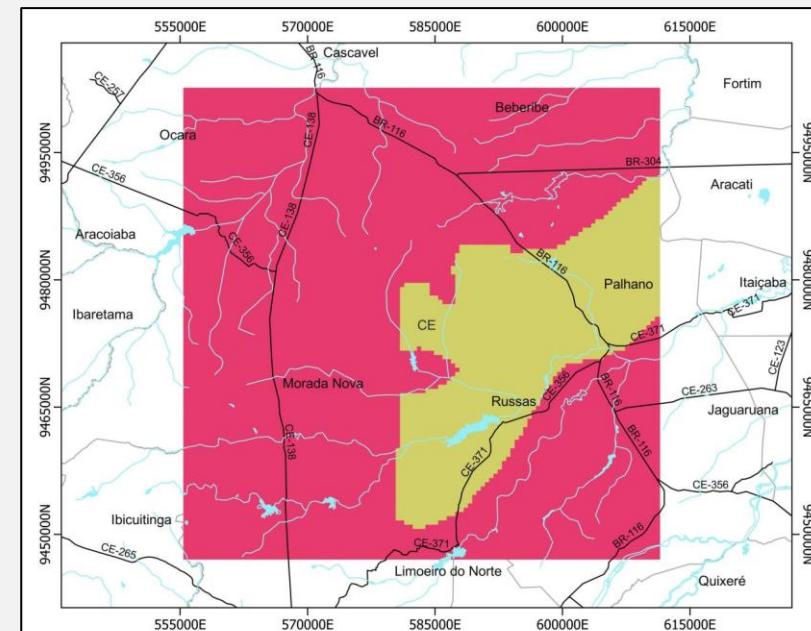
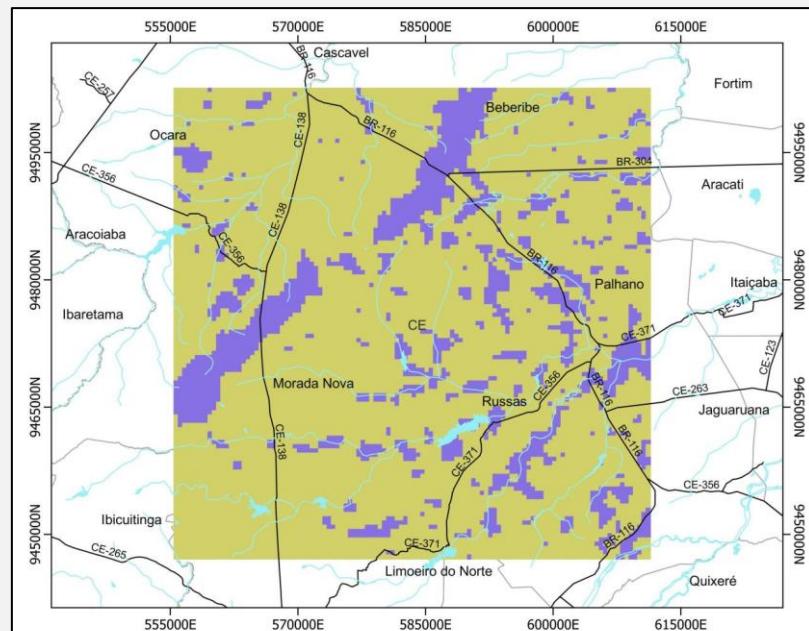
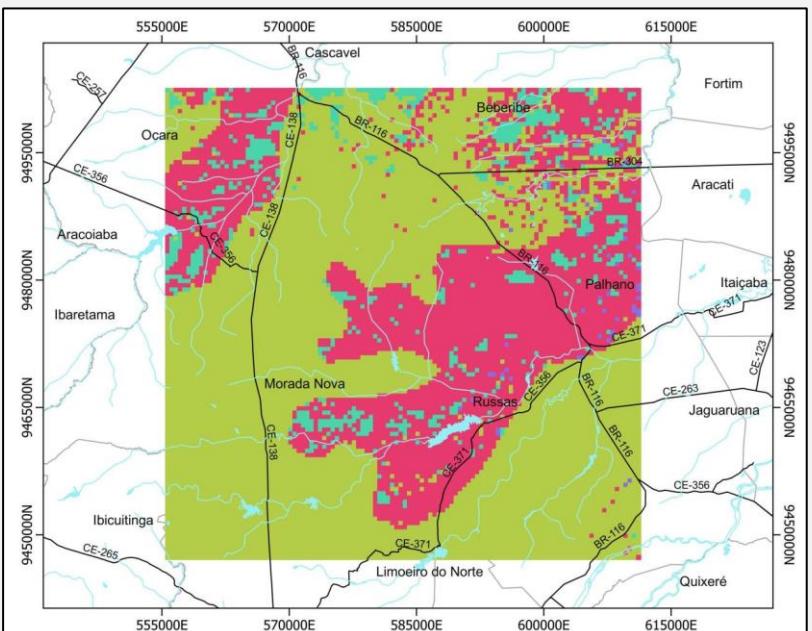
Class
AASHTO



Variáveis Independentes

Variáveis
Modeladas

ENTREGA 2 - MAPAS TEMÁTICOS PRELIMINARES



APLICAÇÕES DA ENTREGA 2 - MAPAS TEMÁTICOS PRELIMINARES

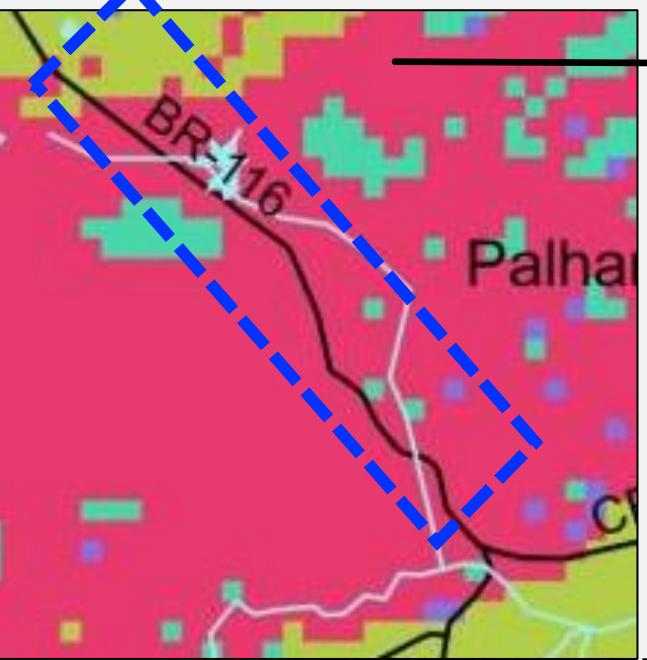
Teste do Modelo no MeDiNa

Tráfego de Sistema Arterial (Alto Volume)

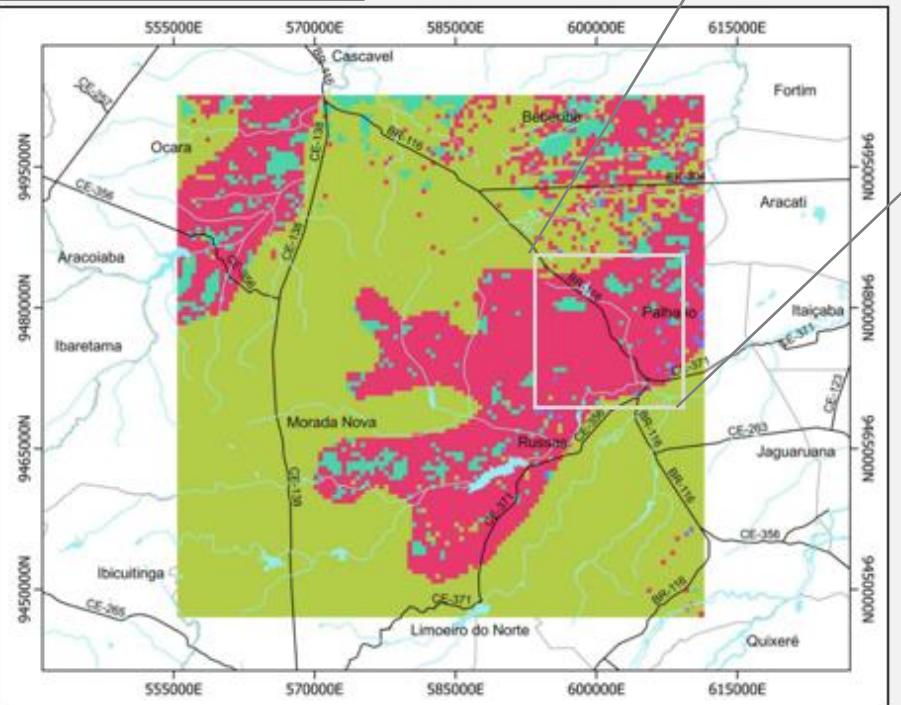
Legenda

Classes de Módulo de Resiliência Médio

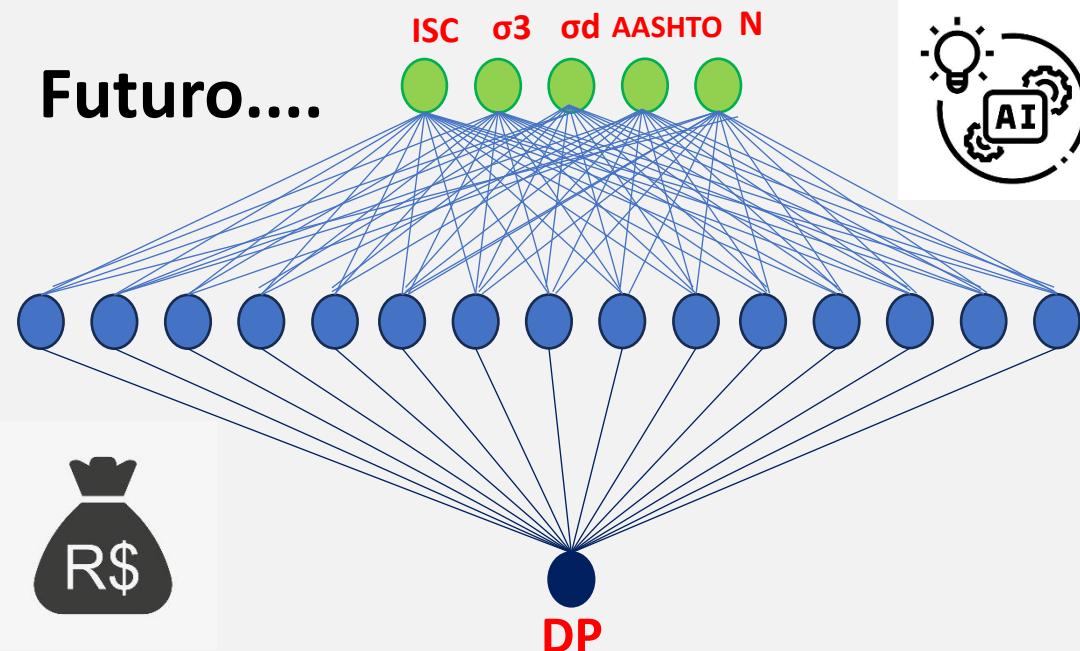
- 100 MPa - 200 MPa
 - 200 MPa - 300 MPa
 - 300 MPa - 400 MPa
 - >400 MPa
- Rodovias do Ceará
— Rios e Riachos
■ Corpos D'água
■ Divisão Municipal
■ Estado do Ceará
■ Estados



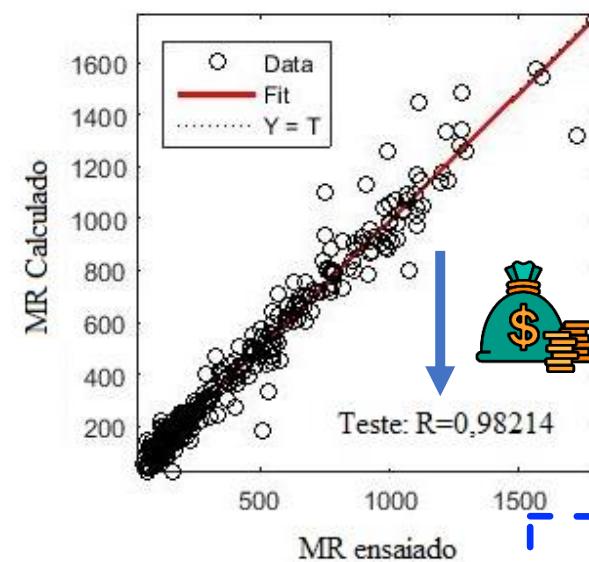
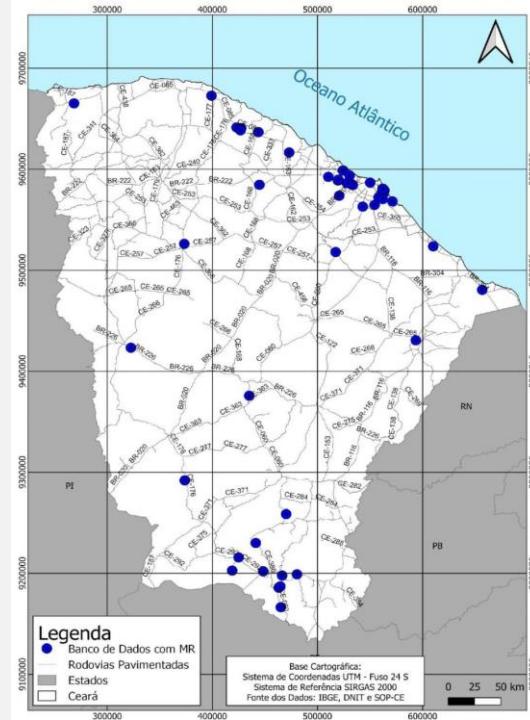
Subleito = 300 MPa



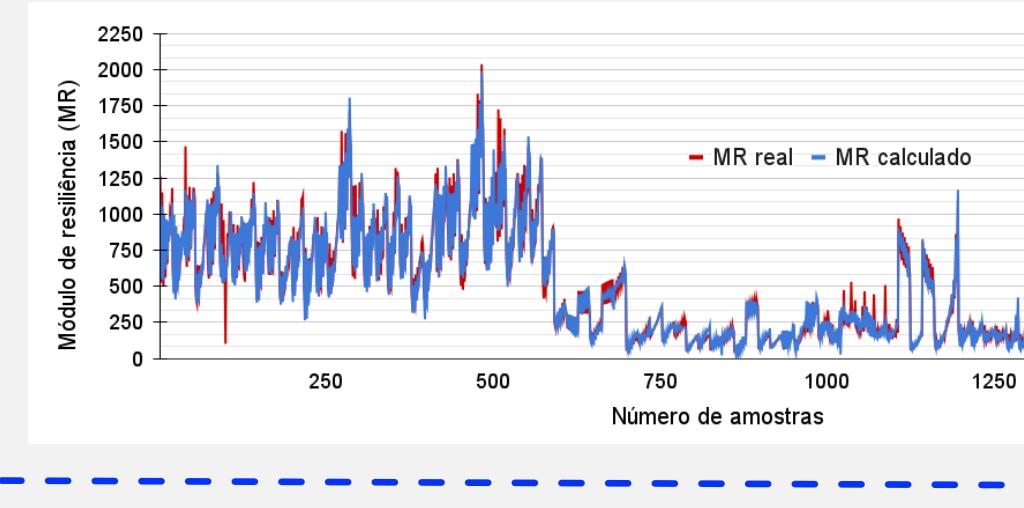
Futuro....



Entrega 3 - Elaboração de Modelos Desenvolvidos com IA

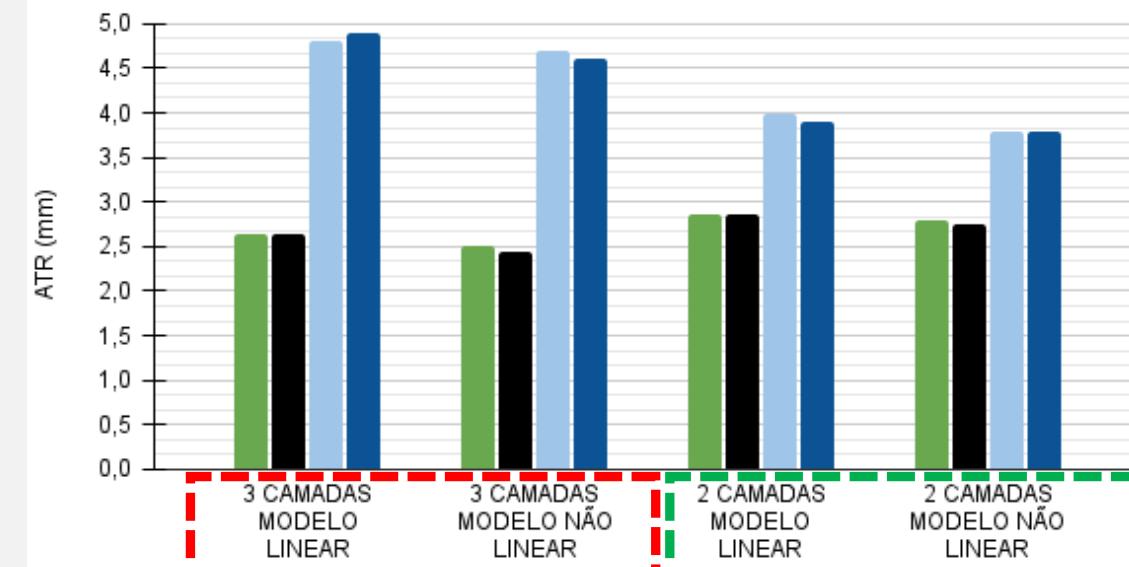
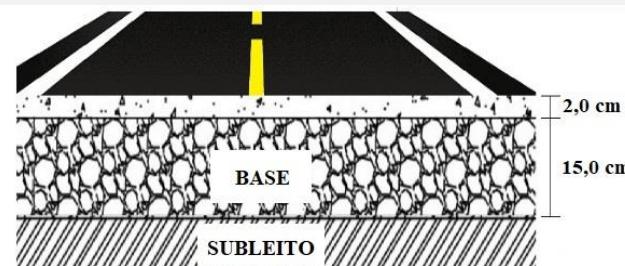
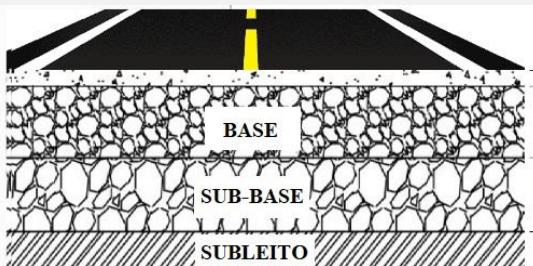


$$MR = f(\text{hot}; \text{IP}; \#25,4; \#9,5; \#4,76; \#2,0; \#0,42; \#0,074)$$

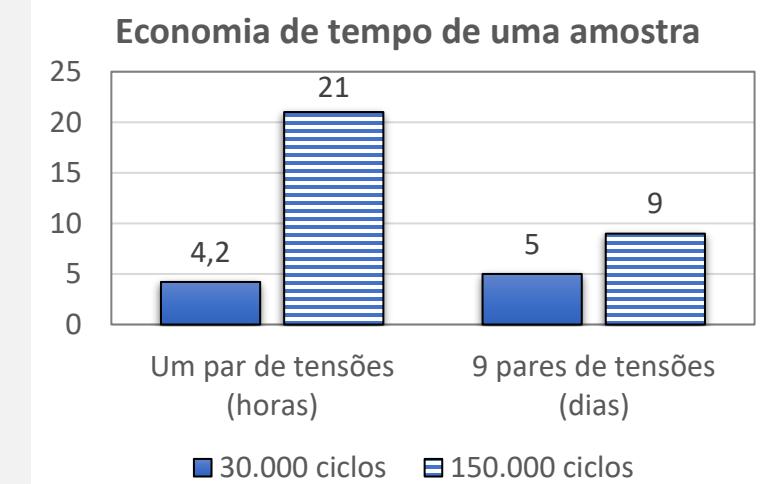
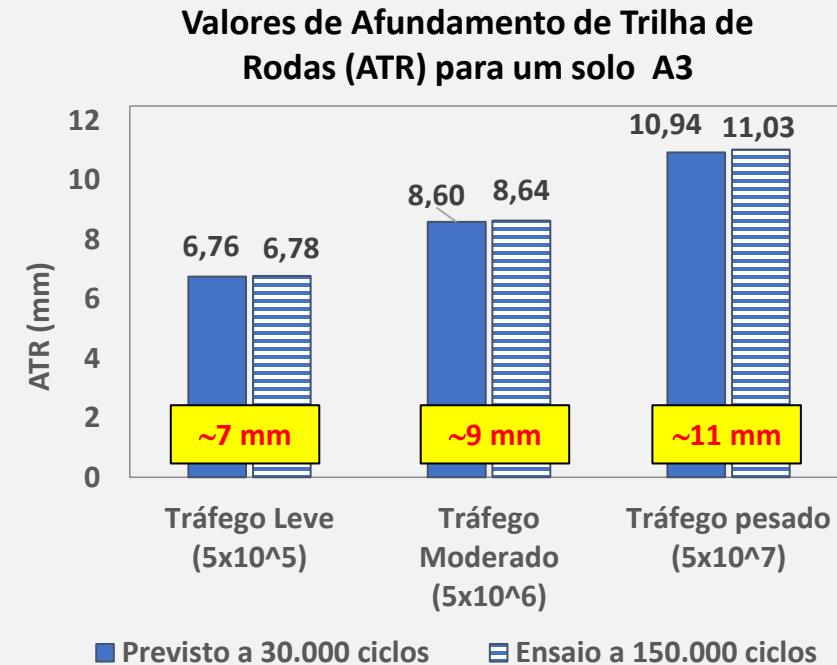
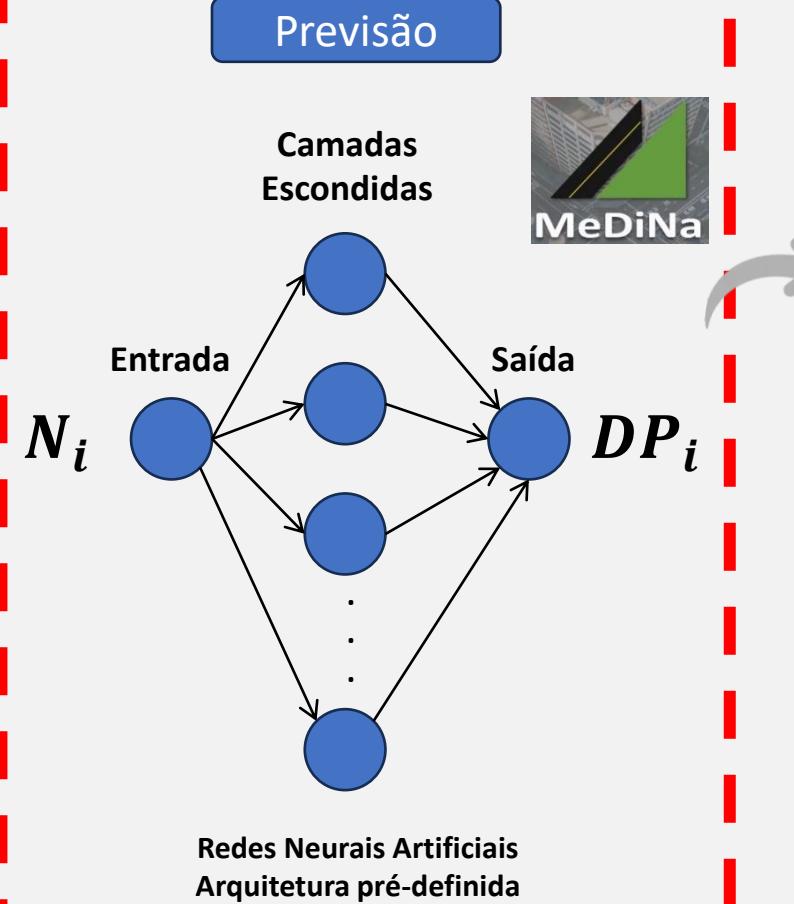
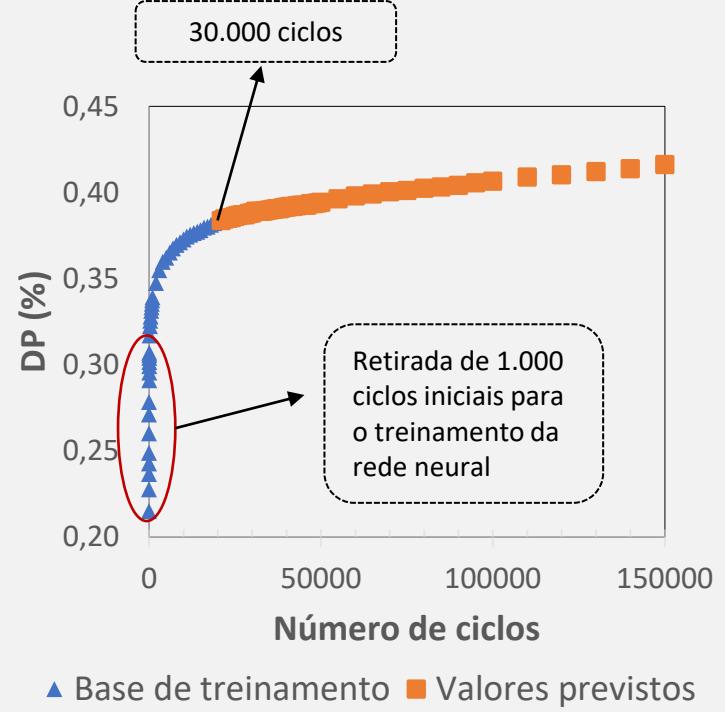


**Teste do Modelo no MeDiNa
Tráfego de Sistema Local (RBVT)**

RBVT - ATR medido nas camadas granulares



Modelos de IA para Redução do Tempo do Ensaio de DP



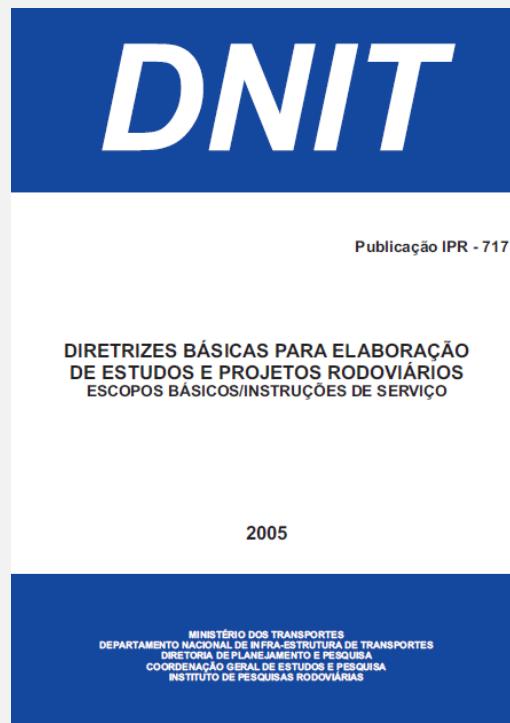
Redução do custo do ensaio?
Redução do tempo de ensaio? 9 dias para 5 dias?

SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)**
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos**
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos**
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico**
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico**
- 6 Considerações Finais**

Estudos Geotécnicos para Projetos de Dimensionamento de Pavimentos

- Para a implantação de uma obra viária, há necessidade de se fazer levantamentos geotécnicos que forneçam subsídios para a execução da terraplenagem, estudos de drenagem e **projetos de dimensionamento de pavimentos.**
 - Estudos Geotécnicos
 - Estudos do Subleito e Estudos de Ocorrências de Materiais para Pavimentação.



**Estudos Geotécnicos
(Anexo B6. IS-206)**



**Projeto de Pavimentação (Subitem 4.3)
Estudos Geotécnicos (Subitem 4.3.1)**

IS 247



NOTA INFORMATIVA

Referência: Instrução de Serviço – IS-247: Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa

As Instruções de Serviços (ISs), que indicam as fases e os procedimentos adotados na elaboração dos estudos e projetos de engenharia rodoviária do DNIT, são apresentadas na Publicação IPR-726: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos / Instruções de Serviço (DNIT, 2006).

Com a implementação do novo método de dimensionamento nacional (MeDiNa), avaliou-se que as atualizações a serem realizadas na Publicação IPR-726 (DNIT, 2006) refletiriam em um extenso cronograma, o que afetaria a aplicação imediata do referido método na Autarquia.

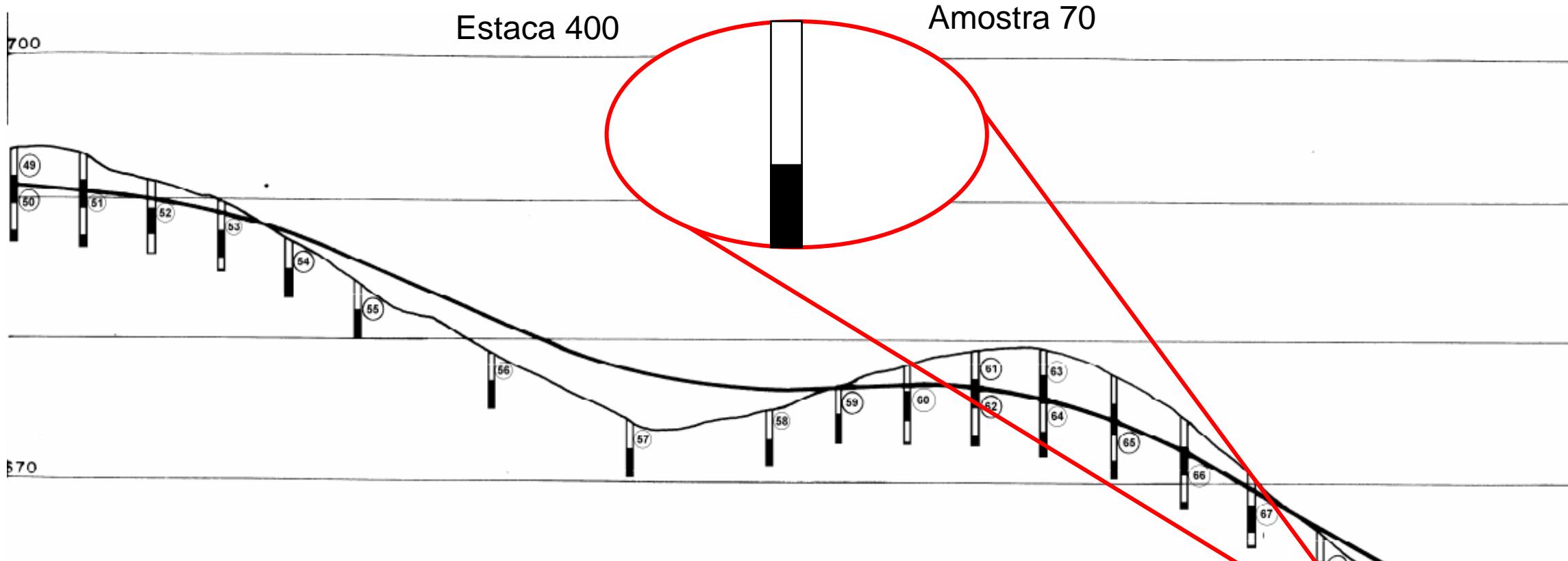
Dessa forma, optou-se pela elaboração de uma Instrução de Serviço particular, para definir aspectos considerados essenciais à adoção do novo método de dimensionamento. O objetivo da referida Instrução é definir e especificar os estudos a serem realizados, visando a implementação do MeDiNa.

De forma geral, baseando-se nas Instruções vigentes, procurou-se alterar ou acrescentar pontos que devem ser utilizados em projetos de implantação rodoviária sob a ótica do método MeDiNa. Para pontos comuns, não relacionados ao método, devem ser verificadas as Instruções de Serviço vigentes, referentes a projetos de pavimentação conforme Publicação IPR-726 (DNIT, 2006), especialmente as relacionadas abaixo:

- IS-202: Estudos Geológicos;
- IS-206: Estudos Geotécnicos;
- IS-211: Projeto de Pavimentação (Pavimentos Flexíveis).

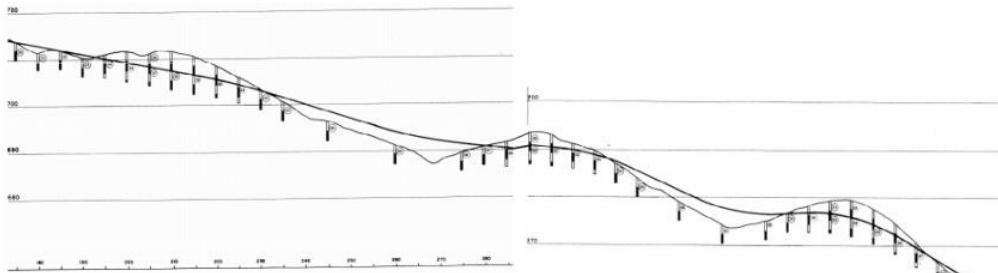
Em relação aos normativos referenciados na IS-247, alerta-se para adoção, pelos projetistas, sempre da versão mais atualizada de cada documento.

Estudos Geotécnicos para Projetos de Dimensionamento de Pavimentos Empíricos



LOCALIZAÇÃO			GRANULOMETRIA			ÍNDICES FÍSICOS		CLASSE HRB	CBR (%)	Exp. (%)
ESTACA	PROF. (m)	AMOSTRA	2	0,42	0,074	LL	IP			
400	0,2-0,8	70	100	100	97	47	13	A-7-5	16	0,9

Estudos Geotécnicos para Projetos de Dimensionamento de Pavimentos Empíricos



$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$X_{\text{MÍN}} = \bar{X} - \frac{1,29 \times \sigma}{\sqrt{N}} - 0,68 \times \sigma$$

$$X_{\text{MÁX}} = \bar{X} + \frac{1,29 \times \sigma}{\sqrt{N}} + 0,68 \times \sigma$$

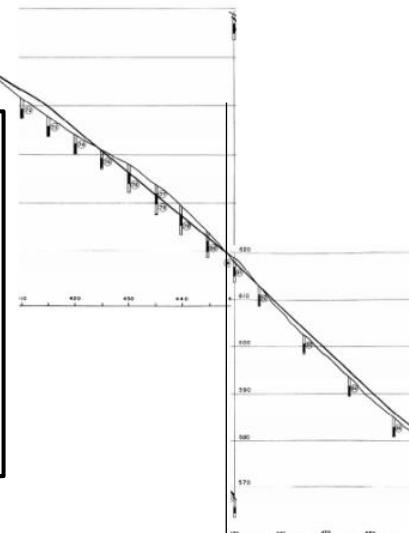
UNIVERSO 1

- Média - 15
- Desvio – 3,81
- ISC max - 18
- ISC min -11

Predominam solos argilosos

ISC de projeto = 16%

UNIVERSO 1



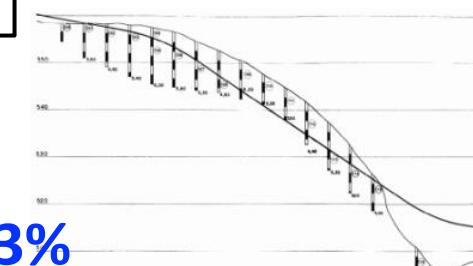
GRUPOS	CLASSIFICAÇÃO GERAL		MATERIAIS GRANULARES (35 % ou menos passando na peneira n.º 200)						MATERIAIS SILTOSOS E ARGILOSOS (mais de 35% passando na peneira de nº200)				
			A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5		A-2-6	A-2-7						
Porcentagem que passa nas peneiras de abertura nominal igual a 2,00 mm 0,42 mm 0,074 mm	50 máx 30 máx 15 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Características da fração que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,42 mm Limite de liquidez (%) Índice de Plasticidade (%)	-	-	-	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín		
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20		
Materiais predominantes	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina		Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom						Regular a mau						

UNIVERSO 2

- Média - 32
- Desvio – 3,20
- ISC max - 35
- ISC min – 28

Predominam solos siltosos

ISC de projeto = 33%



UNIVERSO 2

Estudos Geotécnicos - Atualizações para o Uso do Método Medina – IS 247

Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários

NOTA INFORMATIVA

Referência: Instrução de Serviço – IS-247: Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa

As Instruções de Serviços (ISs), que indicam as fases e os procedimentos adotados na elaboração dos estudos e projetos de engenharia rodoviária do DNIT, são apresentadas na Publicação IPR-726: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos / Instruções de Serviço (DNIT, 2006).

Com a implementação do novo método de dimensionamento nacional (MeDiNa), avaliou-se que as atualizações a serem realizadas na Publicação IPR-726 (DNIT, 2006) refletiriam em um extenso cronograma, o que afetaria a aplicação imediata do referido método na Autarquia.

Dessa forma, optou-se pela elaboração de uma Instrução de Serviço particular, para definir aspectos considerados essenciais à adoção do novo método de dimensionamento. O objetivo da referida Instrução é definir e especificar os estudos a serem realizados, visando a implementação do MeDiNa.

De forma geral, baseando-se nas Instruções vigentes, procurou-se alterar ou acrescentar pontos que devem ser utilizados em projetos de implantação rodoviária sob a ótica do método MeDiNa. Para pontos comuns, não relacionados ao método, devem ser verificadas as Instruções de Serviço vigentes, referentes a projetos de pavimentação conforme Publicação IPR-726 (DNIT, 2006), especialmente as relacionadas abaixo:

- IS-202: Estudos Geológicos;
- IS-206: Estudos Geotécnicos;
- IS-211: Projeto de Pavimentação (Pavimentos Flexíveis).

Em relação aos normativos referenciados na IS-247, alerta-se para adoção, pelos projetistas, sempre da versão mais atualizada de cada documento.

3.1.1.1 ENSAIOS DO SUBLEITO

As amostras coletadas em cada furo, nos diversos horizontes, serão submetidas aos seguintes ensaios, de acordo com a classificação de solos que melhor se adequa a região.

Classificação da AASHTO:

- Granulometria (DNER-ME 080/94);
- Limite de Liquidez (DNER-ME 122/94);
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 082/94).

Classificação MCT:

- Perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94);
- Mini-MCV (DNER-ME 258/94).

Após a caracterização, serão realizados os seguintes ensaios:

- Compactação (DNIT 164/2013-ME);



IS-247: Instrução de Serviço – Estudos para elaboração de projetos de implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa

Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários

5

- Índice de Suporte Califórnia (CBR);
- Expansão (DNIT 172/2016-ME);
- Módulo de Resiliência (MR) (DNIT 134/2018-ME);
- Os segmentos homogêneos serão definidos através do coeficiente de variação máximo de 20 % ($CV = \sigma/\bar{X}$) considerando a média obtida nos 18 pares de tensões em cada ensaio de Módulo de Resiliência (MR). Em 10 % do número de amostras utilizadas nos segmentos homogêneos para ensaios de MR deverão ser executados ensaios de Deformação Permanente (DP) sendo no mínimo 3 amostras (DNIT 179/2018-IE).

Os ensaios de MR e DP poderão ser dispensados para materiais que compõem o aterro da rodovia a serem utilizados em profundidade superior à 2,0 m em relação à camada de regularização do súbleito.

Após a execução dos ensaios deverá ser apresentado um perfil geotécnico com a classificação dos solos utilizada, identificando os pontos das sondagens realizadas no projeto geométrico, a fim de avaliar a potencial variabilidade das condições dos solos.

3.1.2 ESTUDO DE EMPRÉSTIMOS E OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS

Nas ocorrências julgadas aproveitáveis pelos estudos geológico-pedológico, geotécnicos e pela inspeção de campo, serão feitos os seguintes serviços:

- a) Cinco a dez furos de sondagem georreferenciados na periferia e na parte central da área delimitada, convenientemente localizados, até a profundidade necessária ou compatível com os métodos de extração adotados. Em cada furo de sondagem e para cada camada pedológica (se houver variação no material, ao longo da profundidade do furo), será coletada uma amostra suficiente para a realização dos ensaios, de acordo com a classificação de solos que melhor se adequa à região:

Classificação da AASHTO:

- Granulometria (DNER-ME 080/94);
- Limite de Liquidez (DNER-ME 122/94);
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 082/94);
- Equivalente de Areia (DNER-ME 054/97).

Classificação MCT:

- Perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94);
- Mini-MCV (DNER-ME 258/94).

Após a caracterização, serão realizados os seguintes ensaios:

- Compactação (DNIT 164/2013-ME);
- Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Expansão (DNIT 172/2016-ME);
- Módulo de Resiliência (DNIT 134/2018-ME);

IS-247: Instrução de Serviço – Estudos para elaboração de projetos de implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa

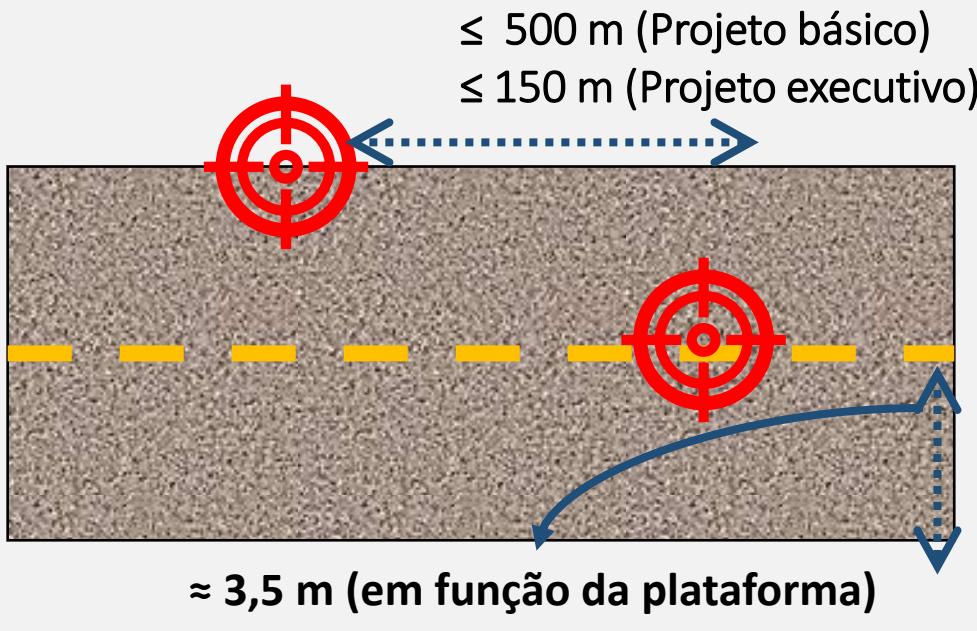
Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários

6

- Considerando os furos de sondagem que apresentem valores de MR com coeficiente de variação ≤ 20 , executar ao menos 1 ensaio de Deformação Permanente (DNIT 179/2018-IE).

Estudos Geotécnicos (IS 247)

Amostragem e Ensaios



Deverá ser verificada qual a mais adequada classificação de solos (MCT ou AASHTO)



Compactação



Índice de Suporte Califórnia



Expansão



Módulo de Resiliência



Deformação Permanente

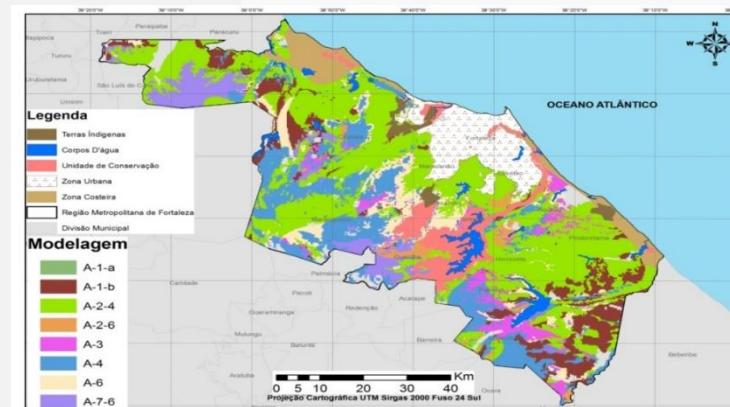
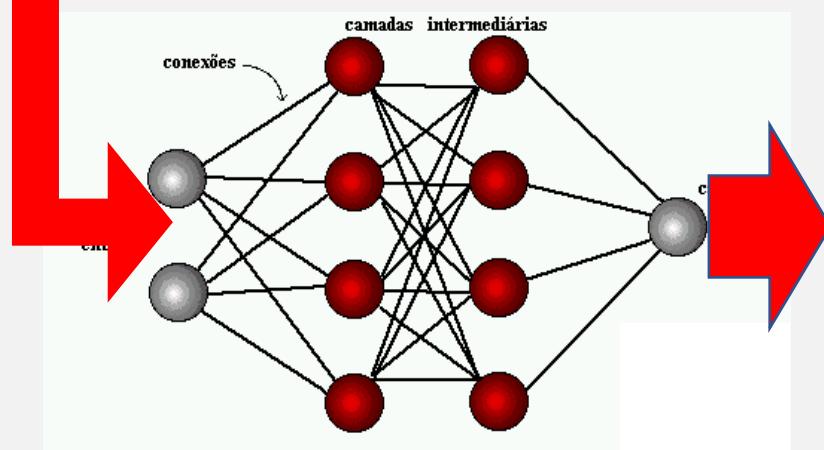
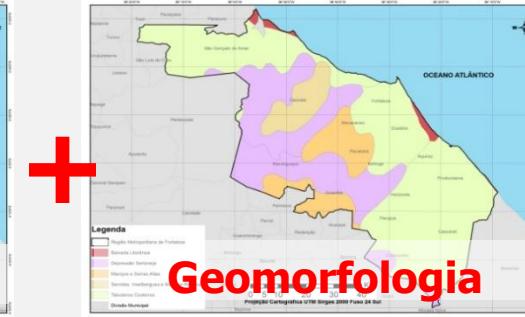
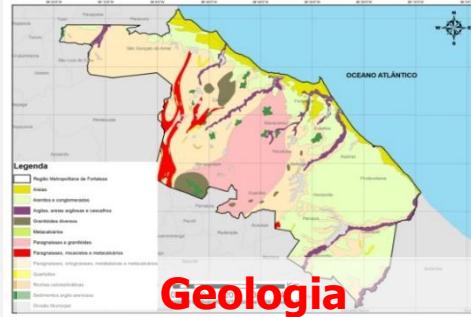
SUBLEITO: Realizado em 10% do número de amostras utilizadas nos segmentos homogêneos para ensaios de MR ($CV \leq 20\%$) deverão ser executados ensaios de DP sendo no **mínimo 3 amostras**
EMPRÉSTIMOS: **no mínimo 1 ensaio de DP**

SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)**
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos**
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos**
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico**
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico**
- 6 Considerações Finais**

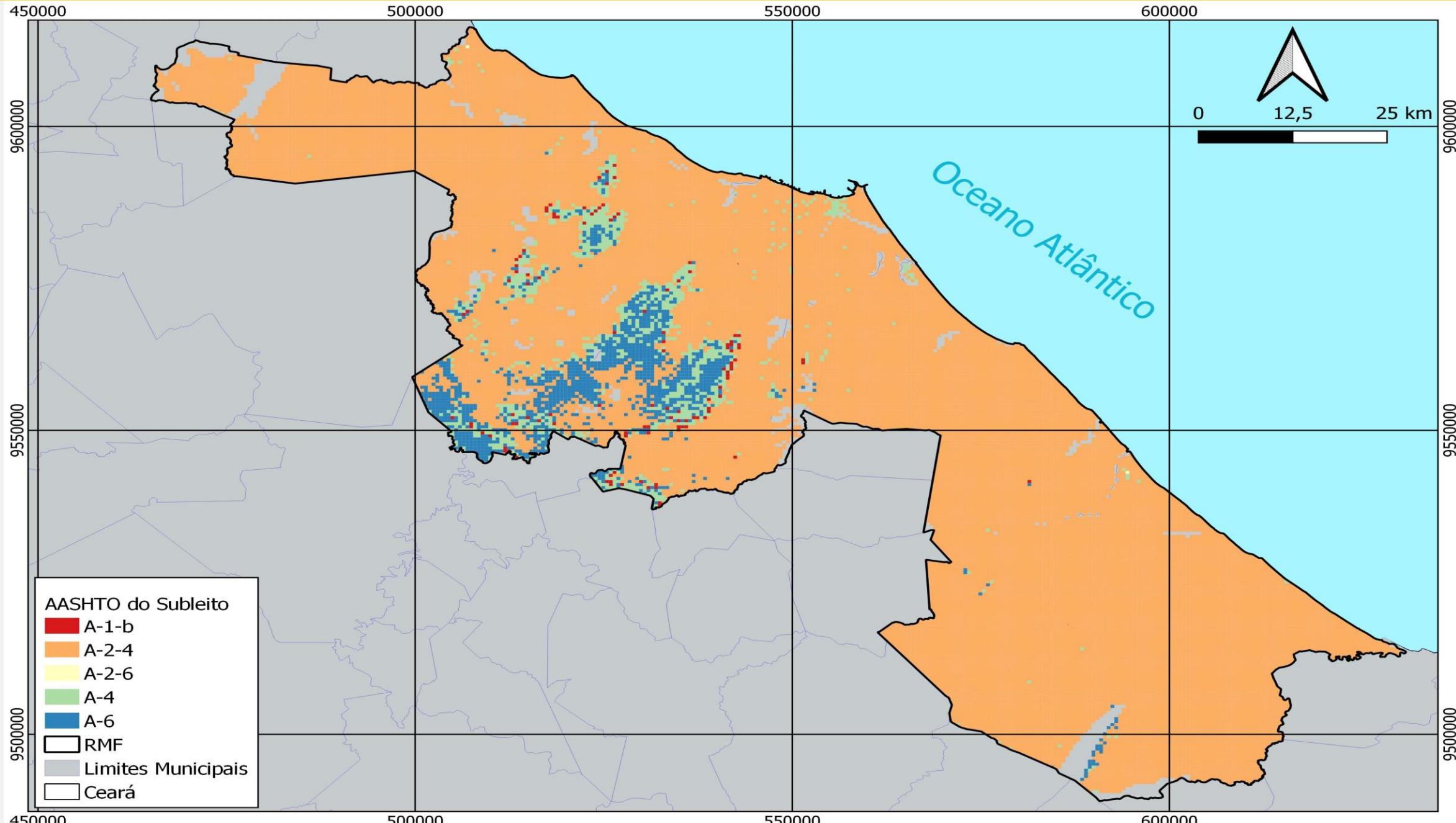
Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

Como correlacionar os diversos ensaios realizados em solos para execução de projetos rodoviários com mapas para planejamento de obras viárias?



Fonte: Tese Ribeiro (2016)

Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos



Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

Como Incluir os Parâmetros de Rigidez em um Possível Mapeamento Geotécnico Rodoviário?

- A inclusão de parâmetros de rigidez para realização do dimensionamento mecanístico-empírico traz à tona **questionamentos sobre como deverão ser realizados os estudos geotécnicos em nível de projeto básico ou executivo.**

Algumas Dificuldades

- Quantidade insuficiente de equipamentos no Brasil para a realização dos ensaios de MR e DP.
- Limitação de escolha de um valor único para o MR e DP em razão do mesmo ser determinado a partir de um modelo geralmente não linear.

$$MR = K_1 \cdot \sigma_3^{k2} \cdot \sigma_d^{k3}$$

$$\epsilon_p^{esp} = \psi_1 \cdot \sigma^3 \psi^2 \cdot \sigma d \psi^3 \cdot N \psi^4$$

- Tempo necessário para a realização dos ensaios de DP conforme a atual norma publicada pelo DNIT.

✓ Cerca de 9 a 18 dias

Método CBR

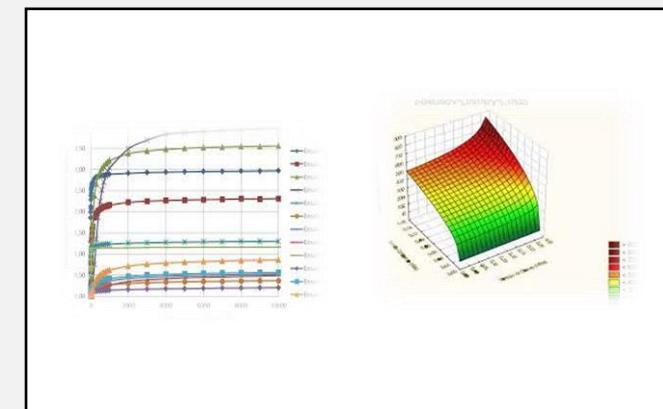


Aproximadamente
R\$ 1.000,00



Método MeDiNa

-MR ≈ R\$ 2.000,00 (1 a 3 horas)
-DP ≈ R\$ 10.000,00 (9 a 18 dias)



Como Incluir os Parâmetros de Rigidez em um Possível Mapeamento Geotécnico Rodoviário?

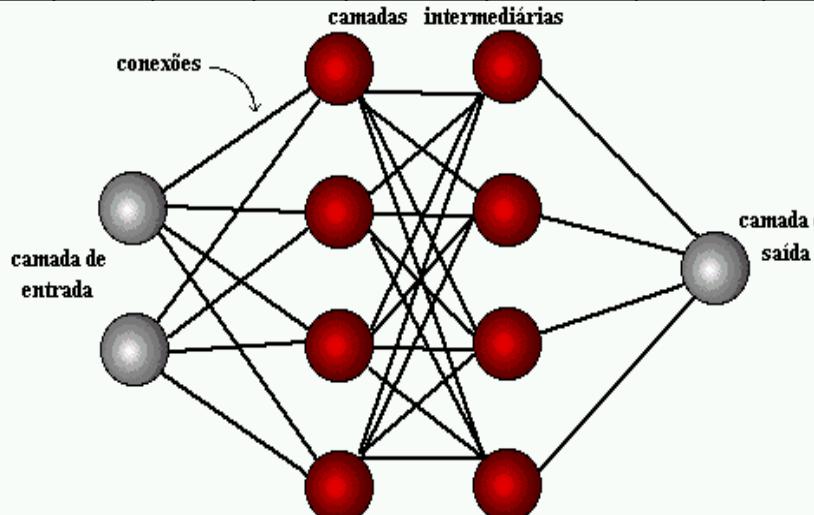
- **Algumas Sugestões**

- Continuação da realização da caracterização dos materiais por meio de ensaios granulométricos, de índices físicos, compactação, **bem como a inclusão dos parâmetros da classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) e a determinação do MR e DP.**
- Redução do tempo para realização dos ensaios de DP.
 - ✓ **10h de ensaio versus 9/18 dias??? Redução de ciclos para 30.000?**
 - ✓ **Aumento da frequência? Uso de IA? Novos protocolos?**
- Para que a **redução da quantidade dos furos seja possível, é importante que se invista na elaboração de mapas geotécnicos**
- **Todas as coletas devem ser obrigatoriamente georreferenciadas** para que se possa ter um banco de dados futuro onde se possam extrair padrões de comportamento (modelos) usando-se ferramentais de IA.

Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

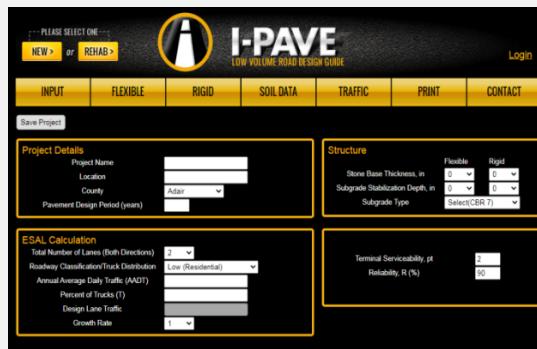
✓ Levantamento de dados de parâmetros de rigidez para criação de banco de dados

AMOSTRAS	OT (%)	DEN (g/cm ³)	CBR (%)	EXP (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	25,4 (#1")	9,5 (#3/8")	4,76 (#4)	2 (#1)	0,42 (#40)	0,074 (#20)	AASHTO	σ_3	σ_d	MR		
1	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,021	0,021	1265,000		
2	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,021	0,041	674,000		
3	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,021	0,062	526,000		
4	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,034	0,034	1150,000		
5	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,034	0,069	555,000		
6	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,034	0,103	504,000		
7	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,051	0,051	972,000		
8	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,051	0,103	566,000		
9	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,051	0,155	569,000		
10	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,069	0,069	957,000		
11	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,069	0,137	652,000		
12	8	2,16	73	0										26	8	A-1-a	0,069	0,206	679,000
13	8	2,16	73	0										26	8	A-1-a	0,103	0,103	891,000
14	8	2,16	73	0										26	8	A-1-a	0,103	0,206	842,000
15	8	2,16	73	0										26	8	A-1-a	0,103	0,309	859,000
16	8	2,16	73	0										26	8	A-1-a	0,137	0,137	1028,000
17	8	2,16	73	0										26	8	A-1-a	0,137	0,275	1009,000
18	8	2,16	73	0										26	8	A-1-a	0,137	0,412	988,000
19	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,021	0,021	1180,000
20	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,021	0,041	625,000
21	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,021	0,062	509,000
22	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,034	0,034	904,000
23	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,034	0,069	484,000
24	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,034	0,103	440,000
25	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,051	0,051	721,000
26	8,3	2,15	64	0										28	11	A-1-a	0,051	0,103	482,000

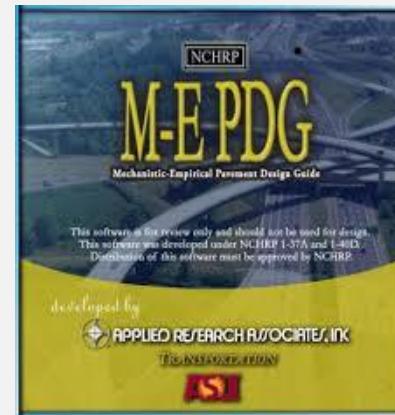


Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

- ✓ Métodos modernos de dimensionamento adotam relações entre PI de solos e CBR/MR/DP



$$M_r (\text{psi}) = 1155 + 555R$$



$$MR = 6,37 + 0,034\% CLAY + 0,45 \times PI - 0,0038\% SILT - 0,244 CLASS$$

- ✓ Carência de modelos de predição de MR e DP para o Brasil;

The background image shows a long, straight asphalt road stretching into a vast, arid landscape under a clear sky. Overlaid on the left side are several input fields for soil properties: Tensão confinante MPa (0,02), Tensão desvio MPa (0,02), Densidade seca (1,6), Limite de liquidez (26), Limite de plasticidade (18), Umidade otm (10,5), Porcentagem passante na peneira N 10 (70,5), Porcentagem passante na peneira N 200 (30,5), Expansão (0,5), and Prever MR. In the center, there is a logo for 'petran' with the text 'Criação Artística'. To the right, there is a logo for 'UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ' with its coat of arms. At the bottom, there is a large 'DNIT' logo with the text 'DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES'.

$$MR (\text{MPa}) = 1658,09 - 340,08 \times \gamma d + 3,72 \times CBR - 7,93 \times \#10 - 0,32 \times \#40 - 1,43 \times \#200$$

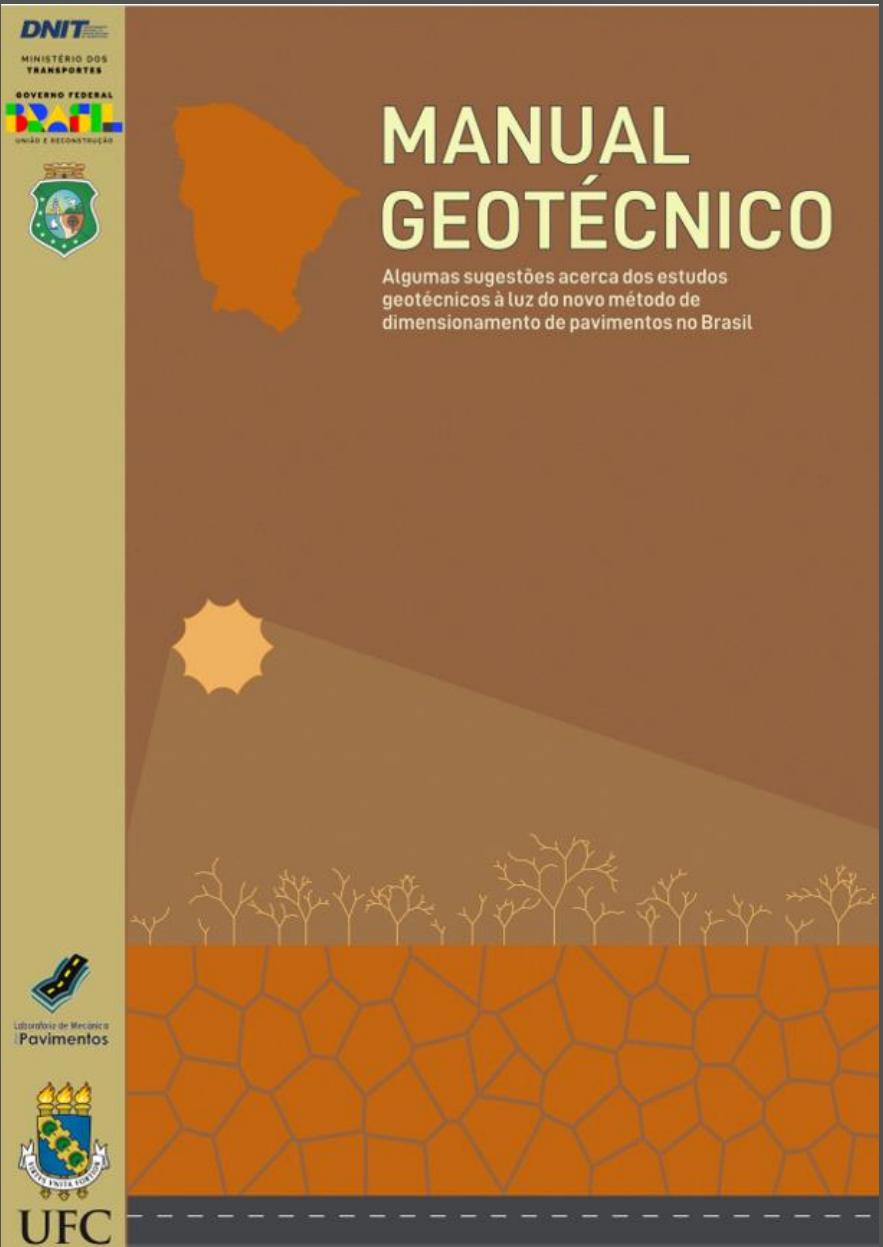
$$MR = 97,18 + 8,24CBR$$

Fonte: DNIT (2022) - Relatório Plataforma Integrada de Estruturação e Análise de Dados com Uso de Inteligência Artificial

SUMÁRIO

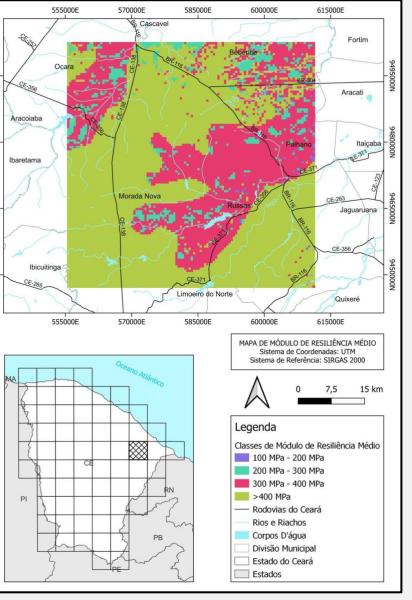
- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)**
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos**
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos**
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico**
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico**
- 6 Considerações Finais**

Manual Geotécnico Preliminar



SUMÁRIO	
1. INTRODUÇÃO/RECOMENDAÇÕES GERAIS	6
2. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO	9
3. ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	12
3.1. Nível 3 – Categoria de Risco Baixo.....	12
3.2. Nível 2 – Categoria de Risco Intermediário.....	15
3.2.1. Estudos de Subleito.....	15
3.2.2. Estudos de Disponibilidade de Materiais	17
3.3. Nível 1 – Categoria de Risco Alto.....	18
3.3.1. Estudos de Subleito.....	18
3.3.2. Estudos de Disponibilidade de Materiais	20
4. PROPOSTAS DE SIMPLIFICAÇÕES PARA OBTENÇÃO DE MR E DP	22
4.1. Modelos de Inteligência Artificial.....	22
4.1.1. Módulo de Resiliência.....	22
4.1.2. Deformação Permanente.....	23
4.2. Propostas de Modificação nos Ensaios de Laboratório.....	23
4.2.1. Ensaio de MR	23
4.2.2. Ensaio de DP	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

INTRODUÇÃO

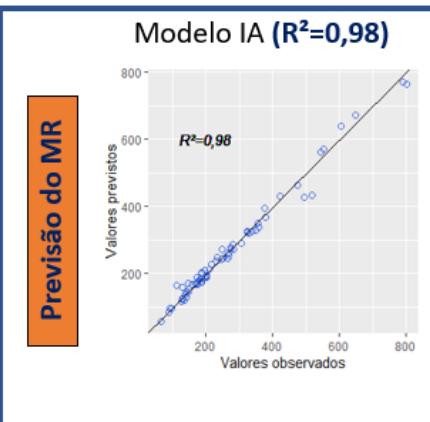


Integração de Dados

Combinação de dados para análise abrangente

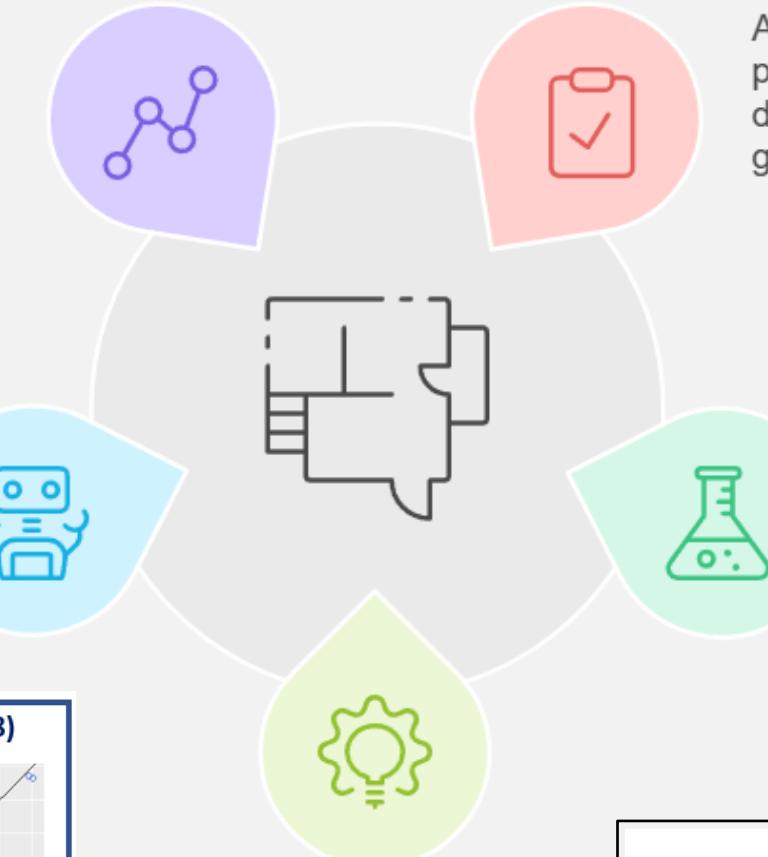
Inteligência Artificial

Uso de IA para previsão de propriedades geotécnicas



Novas Metodologias

Implementação de abordagens inovadoras para eficiência

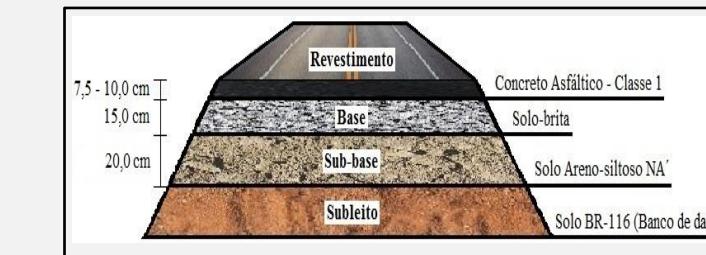


Análise de Risco

Avaliação de riscos potenciais para definição dos estudos geotécnicos

Ensaios Geotécnicos

Realização de ensaios para determinar as propriedades do solo



Tráfego	Tipo de Via	PROJETO EXECUTIVO				PROJETO BÁSICO				ESTUDO DE VIABILIDADE			
		Caracterização Geológico - Geotécnica											
Muito	2	15	15	14	13	10	10	9	8	6	6	5	4
Pesado	1	14	14	13	12	9	9	8	7	5	5	4	3
	0	13	13	12	11	8	8	7	6	4	4	3	2
Pesado	2	14	14	13	12	9	9	8	7	5	5	4	3
	1	13	13	12	11	8	8	7	6	4	4	3	2
	0	12	12	11	10	7	7	6	5	3	3	2	1
Médio	2	13	13	12	11	8	8	7	6	4	4	3	2
	1	12	12	11	10	7	7	6	5	3	3	2	1
	0	11	11	10	9	6	6	5	4	2	2	1	0
Leve	2	12	12	11	10	7	7	6	5	3	3	2	1
	1	11	11	10	9	6	6	5	4	2	2	1	0
	0	10	10	9	8	5	5	4	3	1	1	0	-1
Muito	2	11	11	10	9	6	6	5	4	2	2	1	0
Pesado	1	10	10	9	8	5	5	4	3	1	1	0	-1
	0	9	9	8	7	4	4	3	2	0	0	0	-1

CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO

Categoria de Risco



Tráfego (RT)

Tipos de Vias (RV)

Características Geotécnicas (RGG)

Etapa do Projeto (REP)



Proposta de
Estudo
Geotécnico



Níveis de Estudo

Nível 1

Nível 2

Nível 3

Níveis dos Estudos

Categorias de Riscos

Nível 3

Nível 2

Nível 1

Baixo

Médio

Alto

$$CR = RT + RV + RGG + 2 \times REP$$

CR	Categoria de Risco	Nível
(4 - 12)	Baixo	3
(13 - 18)	Intermediário	2
(19-24)	Alto	1

Tráfego		Vias		Geologia/Geotecnia		Projeto	
Tipo	RT	Tipo	RV	Tipo	RGG	Tipo	REP
Muito Pesado (N > 5 x 10 ⁷)	5	Arterial	3	Mal caracterizadas	4	Projeto Executivo	6
Pesado (10 ⁷ < N ≤ 5 x 10 ⁷)	4	Coletora	2	Problemas geotécnicos	3	Projeto Básico	3
Médio (5 x 10 ⁶ < N ≤ 10 ⁷)	3	Local	1	Caracterização intermediária	2	Estudo de Viabilidade (EVTA)	1
Leve (10 ⁶ < N ≤ 5 x 10 ⁶)	2	-	-	Bem caracterizadas	1	-	-
Muito Leve (N ≤ 10 ⁶)	1	-	-	-	-	-	-

CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO

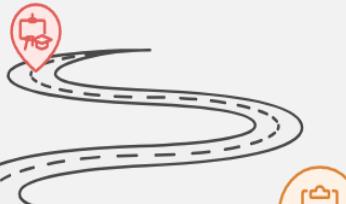
Risco do Tipo de Via (RV)

Sistema	Áreas Urbanas	Áreas Rurais
Arterial RV = 3	Sistema Arterial Principal Sistema Arterial Secundário	Sistema Arterial Principal Sistema Arterial Primário Sistema Arterial Secundário
Coletor RV = 2	Sistema Coletor	Sistema Coletor Primário Sistema Coletor Secundário
Local RV = 1	Sistema Local	Sistema Local

Risco da Etapa de Projeto (REP)

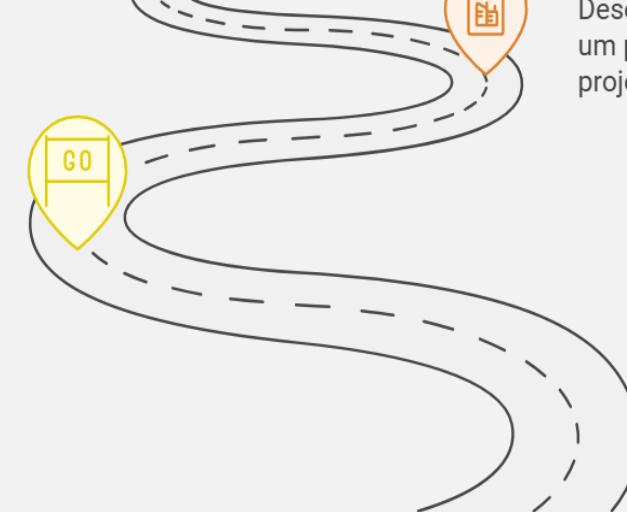
Projeto Executivo (REP=6)

Planejamento detalhado e documentação para construção



Projeto Básico (REP =3)

Desenvolvimento de um plano geral do projeto



Estudo de Viabilidade (REP =1)

Avaliação inicial da viabilidade do projeto

Risco Geológico-Geotécnico (RGG)

RGG = 1

Alta disponibilidade de estudos

Mapas geotécnicos

Ensaios prévios

Modelos geotécnicos

RGG = 3

Baixa disponibilidade de estudos

Sem mapas geotécnicos

RGG = 2

Disponibilidade intermediária de estudos

Mapas de classificação de solos

Ensaios prévios

Modelos geotécnicos

RGG = 4

Solos moles

Solos colapsáveis

Solos expansivos



CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO

Tráfego ¹	Tipo de Via	PROJETO EXECUTIVO				PROJETO BÁSICO				ESTUDO DE VIABILIDADE			
		Caracterização Geológico – Geotécnica				Caracterização Geológico – Geotécnica				Caracterização Geológico - Geotécnica			
		4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Muito Pesado	3	24	23	22	21	18	17	16	15	13	12	11	10
	2	23	22	21	20	17	16	15	14	12	11	10	9
	1	22	21	20	19	16	15	14	13	11	10	9	8
Pesado	3	23	22	21	20	17	16	15	14	12	11	10	9
	2	22	21	20	19	16	15	14	13	11	10	9	8
	1	21	20	19	18	15	14	13	12	10	9	8	7
Médio	3	22	21	20	19	16	15	14	13	11	10	9	8
	2	21	20	19	18	15	14	13	12	10	9	8	7
	1	20	19	18	17	14	13	12	11	9	8	7	6
Leve	3	21	20	19	18	15	14	13	12	10	9	8	7
	2	20	19	18	17	14	13	12	11	9	8	7	6
	1	19	18	17	16	13	12	11	10	8	7	6	5
Muito Leve	3	20	19	18	17	14	13	12	11	9	8	7	6
	2	19	18	17	16	13	12	11	10	8	7	6	5
	1	18	17	16	15	12	11	10	9	7	6	5	4

CR (4 - 12)	Categoria de Risco Baixo	Nível 3
(13 - 18)	Intermediário	2
(19-24)	Alto	1

Riscos	Cores
Alto	Red
Intermediário	Yellow
Baixo	Blue

Recomendação: Independente do CR calculado, pode-se adotar Categoria de Risco Baixa para Estudos de Viabilidade.

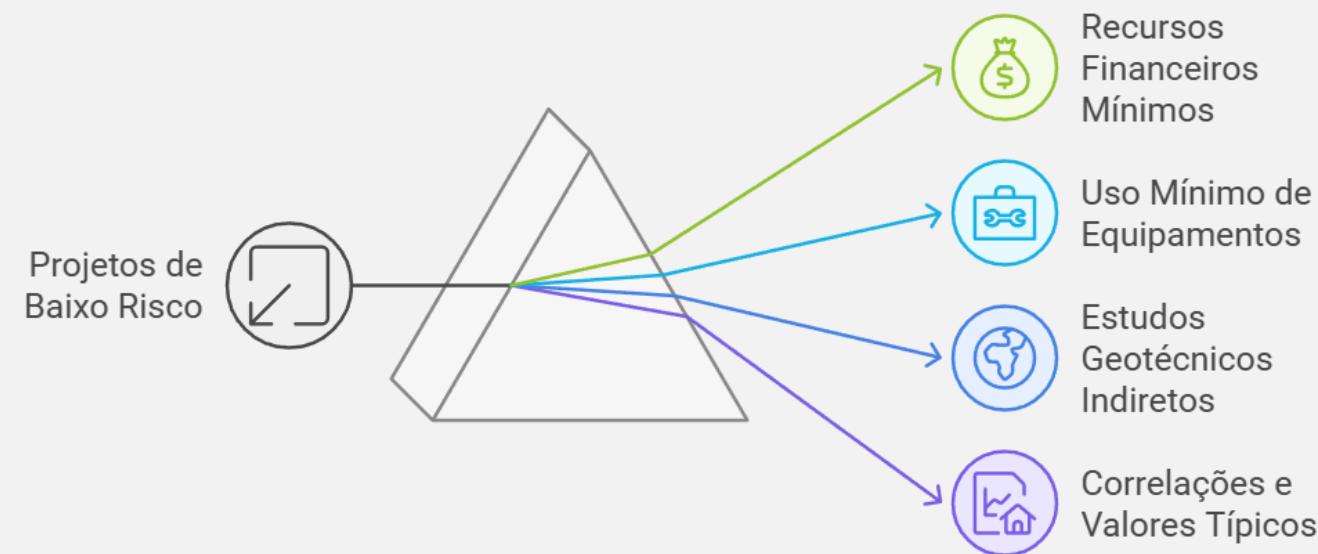
- **EXEMPLO**
 - Tráfego Leve (2)
 - Via Arterial (3)
 - Região Mal Caracterizada (4)
 - Projeto Executivo (6)
 - $RT = 2 + 3 + 4 + 2 \times 6 = 21$
- RISCO ALTO (NÍVEL 1)
(COR VERMELHA)**

ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Especificações dos estudos para as categorias de risco

Categoria de Risco	Nível	Especificações	
Baixo	3	<ul style="list-style-type: none">Utilização de Mapas Geológico – Geotécnicos.Correlações com ensaios básicos (ex. granulometria, CBR).Modelos de IA.	
Intermediário	2	Subleito <ul style="list-style-type: none">Sondagens a cada 500m no máximo.Ensaios de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 3 ensaios de MR e no mínimo 1 DP.	Disponibilidade de Materiais <ul style="list-style-type: none">9 furos no mínimo e no máximo 50m de distância.Ensaios de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 3 ensaios de MR e no mínimo 1 DP.
Alto	1	Subleito <ul style="list-style-type: none">Sondagens a cada 150m no máximo.Ensaios de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 9 ensaios de MR e no mínimo 3 DP.	Disponibilidade de Materiais <ul style="list-style-type: none">Sondagens a cada 30m no máximo.Ensaios de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 9 ensaios de MR e no mínimo 3 DP.

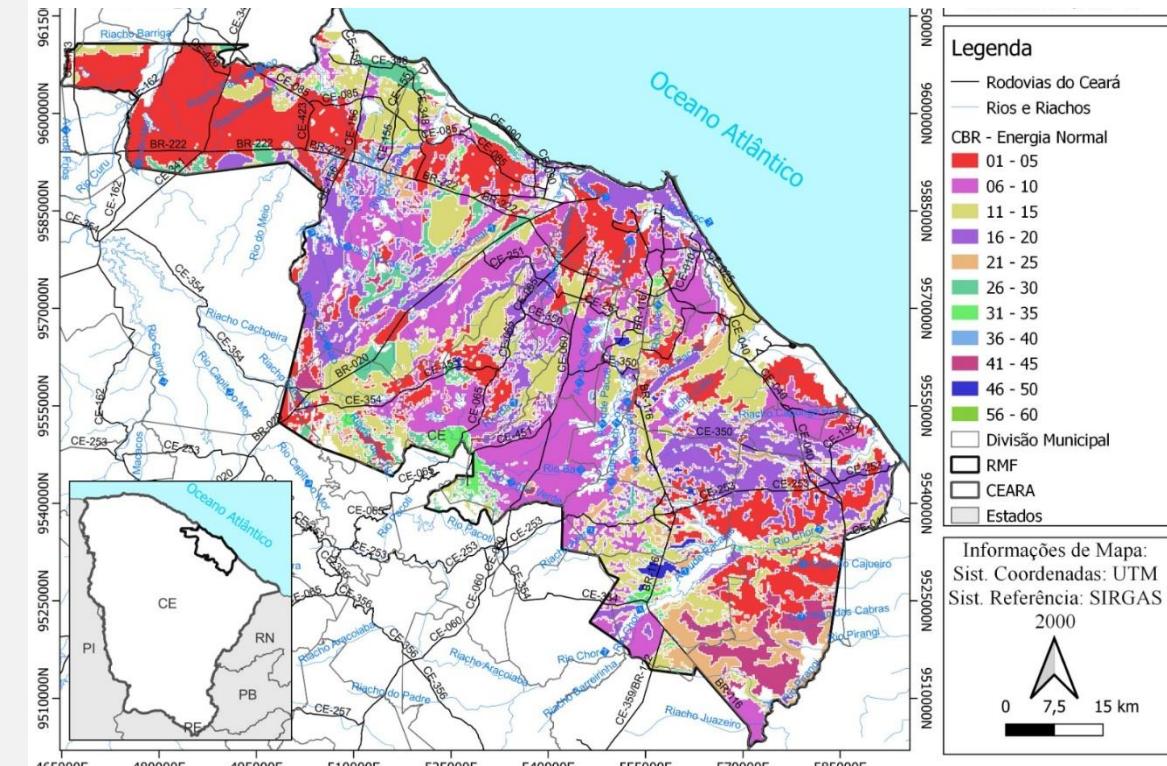
CATEGORIA DE RISCO BAIXO – NÍVEL 3



Valores Típicos de MR do Subleito para cada Classe AASHTO da RMF

Tipos de Subleitos	AASHTO	MR médio(MPa)	MR (MPa)	EP (%)
Granular 1 (G1)	Areia e Areia Siltosa e Argilosa (A-2-4 e A-2-6)	172	150 – 241	67
Granular 2 (G2)	Areia Fina (A-3)	119	106 – 132	40
Siltoso e Argiloso 1 (SA1)	Solos Siltosos (A-4 e A-5)	181	94 – 268	200
Siltoso e Argiloso 2 (SA2)	Solos Argilosos (A-6)	228	196 – 260	43

Mapa de CBR Energia Normal (N) para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)



MODELO DE DP PARA RMF

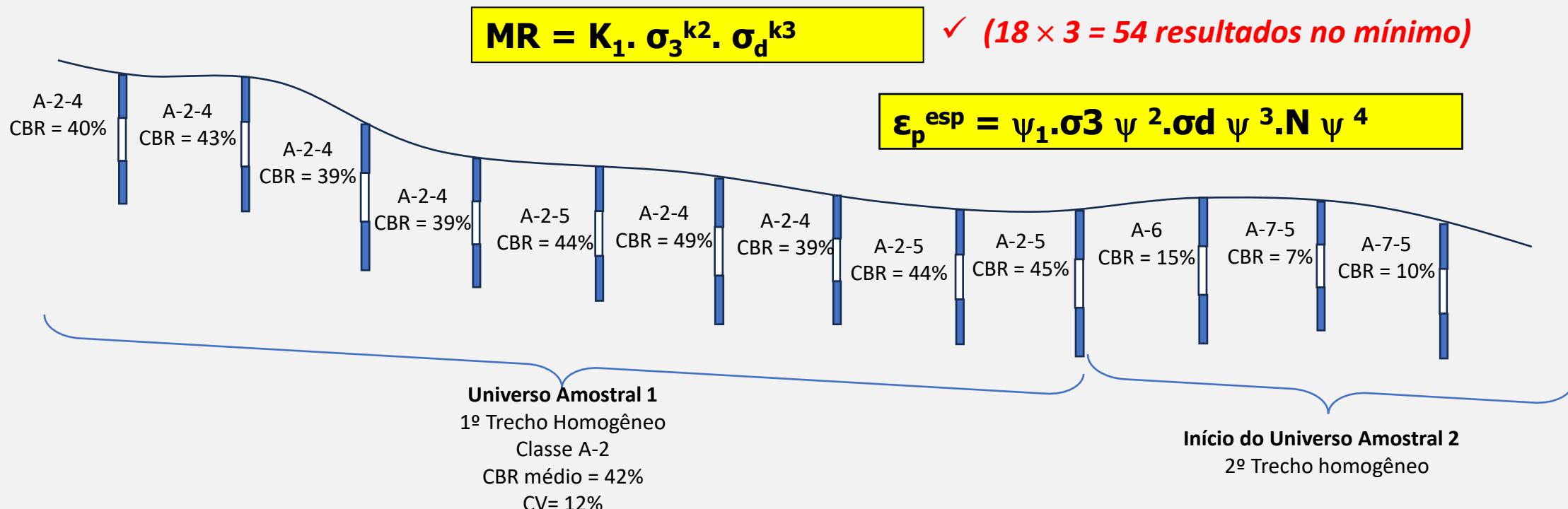
$$DP = 1,263 + 1,725D_{real} - 3,097y_{dmax} + 0,019ISC + 0,008\#40 - 0,015\#200 - 0,082AASHTO + 0,004\sigma_3 + 0,002 \sigma_d \quad (R^2 = 0,68)$$

Obs.: Modelos com correlações mais significativas estão em desenvolvimento.

CATEGORIA DE RISCO INTERMEDIÁRIO – NÍVEL 2

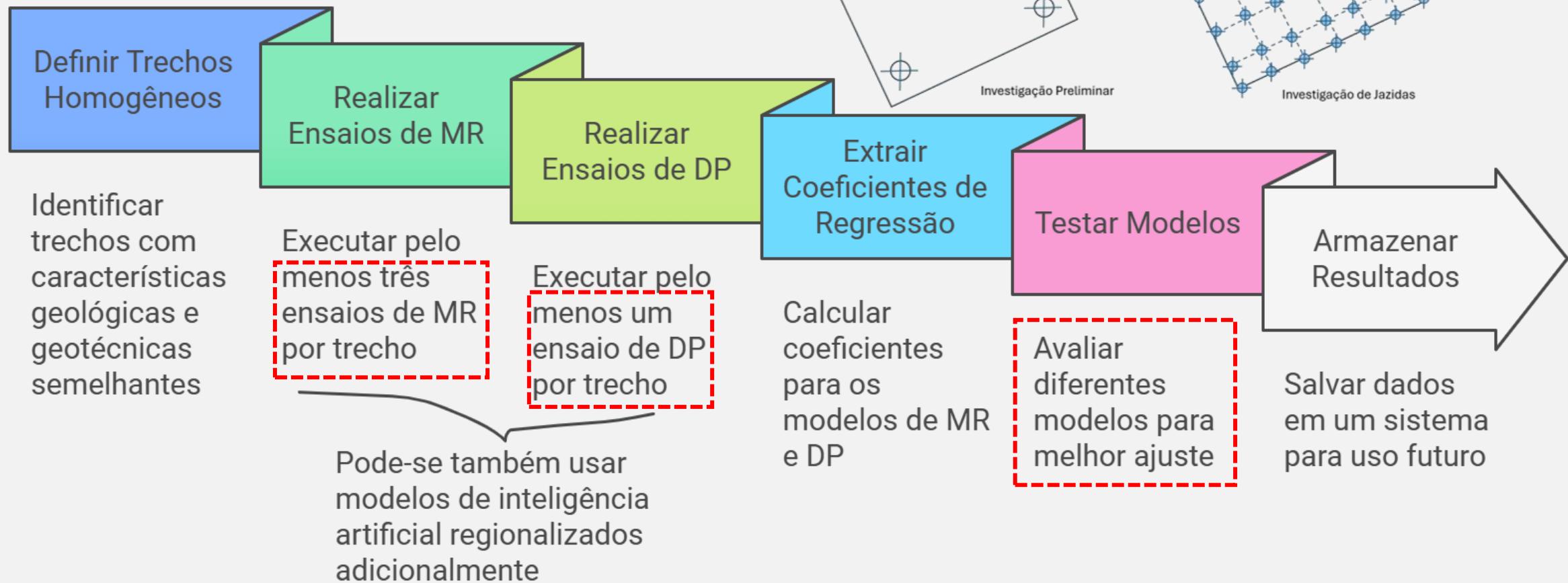
Estudos de Subleito

- ✓ Os universos amostrais serão definidos a partir da **classificação geotécnica do material** e da **análise estatística dos valores de CBR**, considerando no mínimo 9 ensaios com coeficiente de variação (CV) menor que 20%. Ressalta-se que, caso seja elevado o CV entre esses parâmetros, o trecho deve ser dividido e analisado novamente, considerando como aceitável CV menor que 20%. **Os trechos homogêneos devem ser selecionados, adotando-se como limite 20 km conforme recomendado em DNIT (2006).**
- ✓ Para **caracterização do MR**, recomenda-se que sejam realizados no **mínimo 3 ensaios por universo amostra**
- ✓ Para o **ensaio de DP**, recomenda-se no **mínimo 1 ensaio de DP** (DNIT 179/2018-IE) por segmento homogêneo;
- ✓ Para cada trecho homogêneo, extrair os **coeficientes de regressão** do MR (k_1, k_2, k_3 e k_4) e DP (ψ_1, ψ_2, ψ_3 e ψ_4).



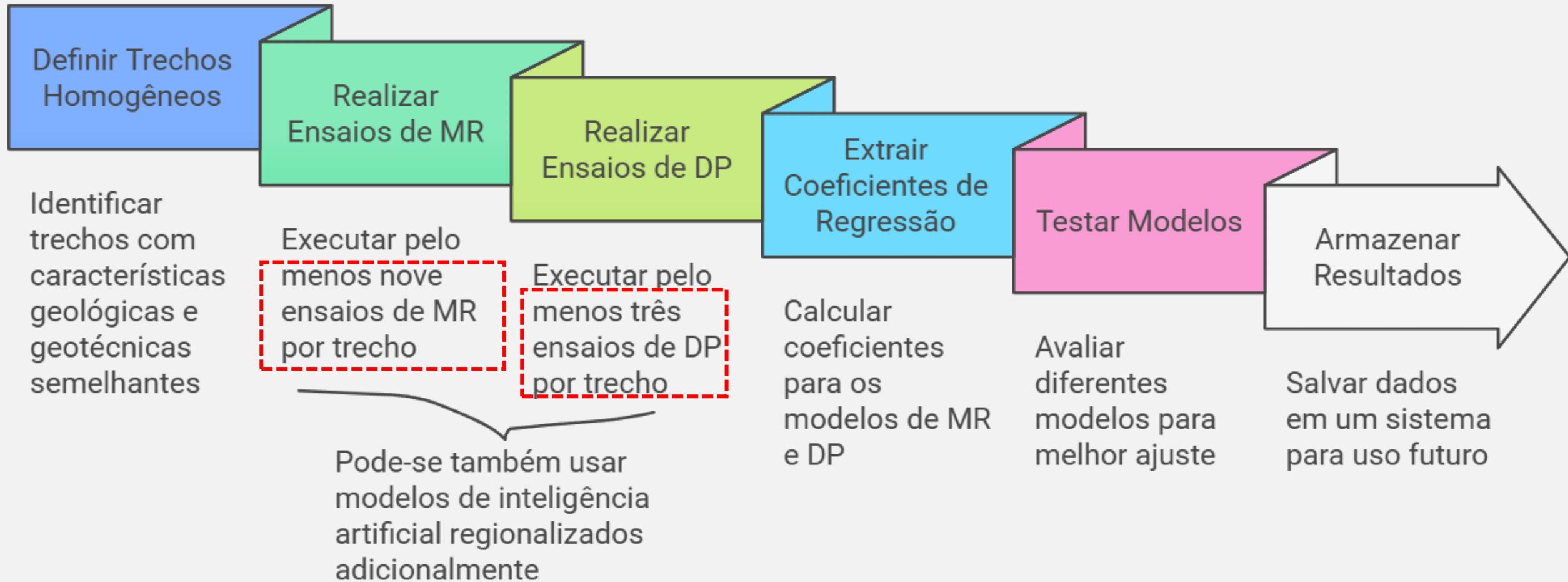
CATEGORIA DE RISCO INTERMEDIÁRIO – NÍVEL 2

Estudos de Disponibilidade de Jazidas



CATEGORIA DE RISCO ALTO – NÍVEL 1

Estudos de Disponibilidade de Jazidas



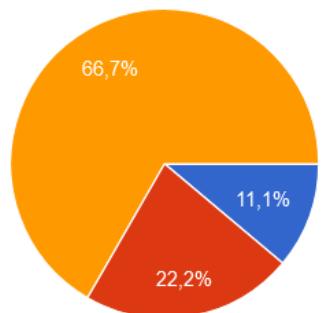
SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)**
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos**
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos**
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico**
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico**
- 6 Considerações Finais**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 11% dos entrevistados tem nível **ALTO** de conhecimento no método MEDINA e ensaios correspondentes
- 67% tem nível **BAIXO**

Capacitação



Necessidade de Correlações

A necessidade de modelos confiáveis que liguem MR e DP a outras propriedades.

- Alto (Conheço a metodologia, sei utilizar o software de aplicação e interpretar os resultados)
- Intermediário (Conheço a metodologia, porém tenho pouco domínio do software e análise dos resultados dos ensaios e...)
- Baixo (Conheço um pouco a metodologia, mas não tenho nenhum domínio do software ou da realização d...)
- Nenhum

Treinamento Especializado

A exigência de treinamento especializado para conduzir e analisar ensaios.



Impactos Econômicos

As implicações financeiras da adoção de novos métodos de teste.

Desafios Logísticos

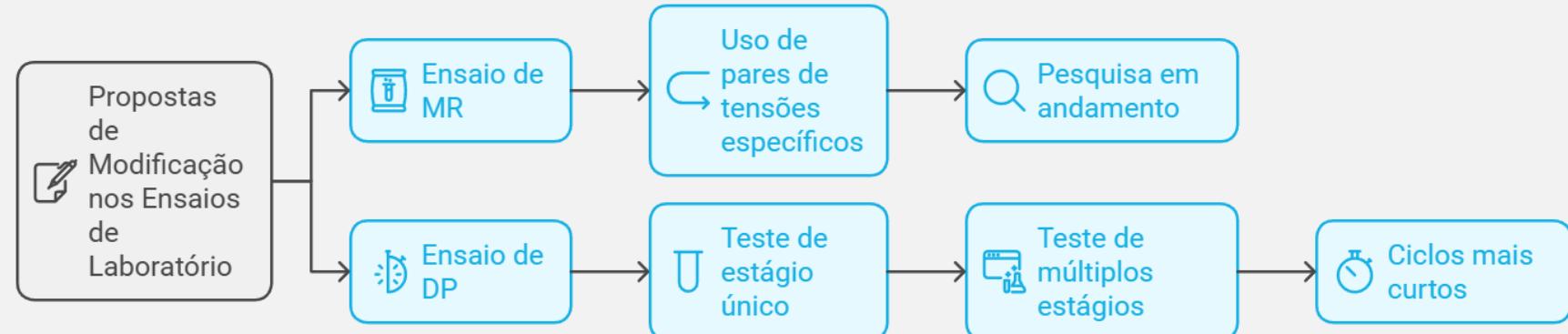
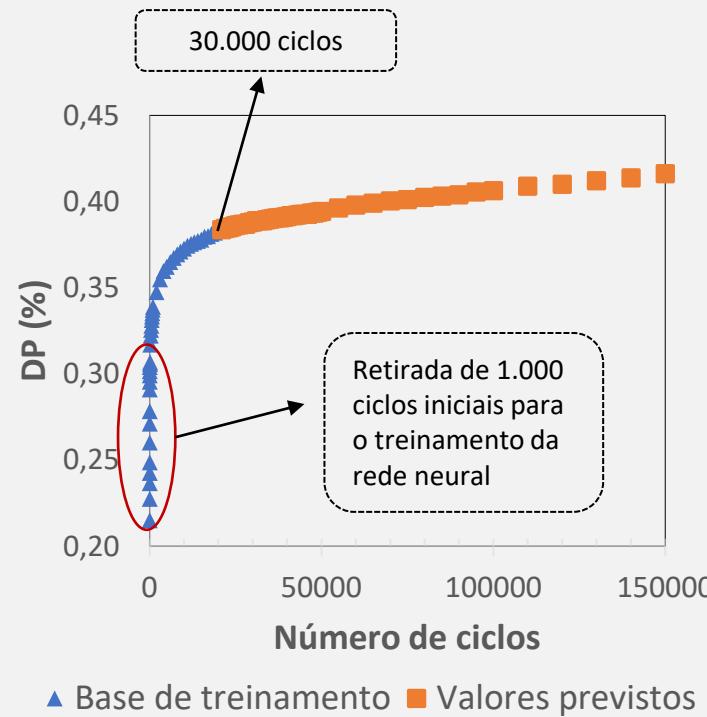
As complexidades envolvidas na organização dos procedimentos de teste.

Custos de Equipamento

As altas despesas associadas a equipamentos de teste sofisticados.

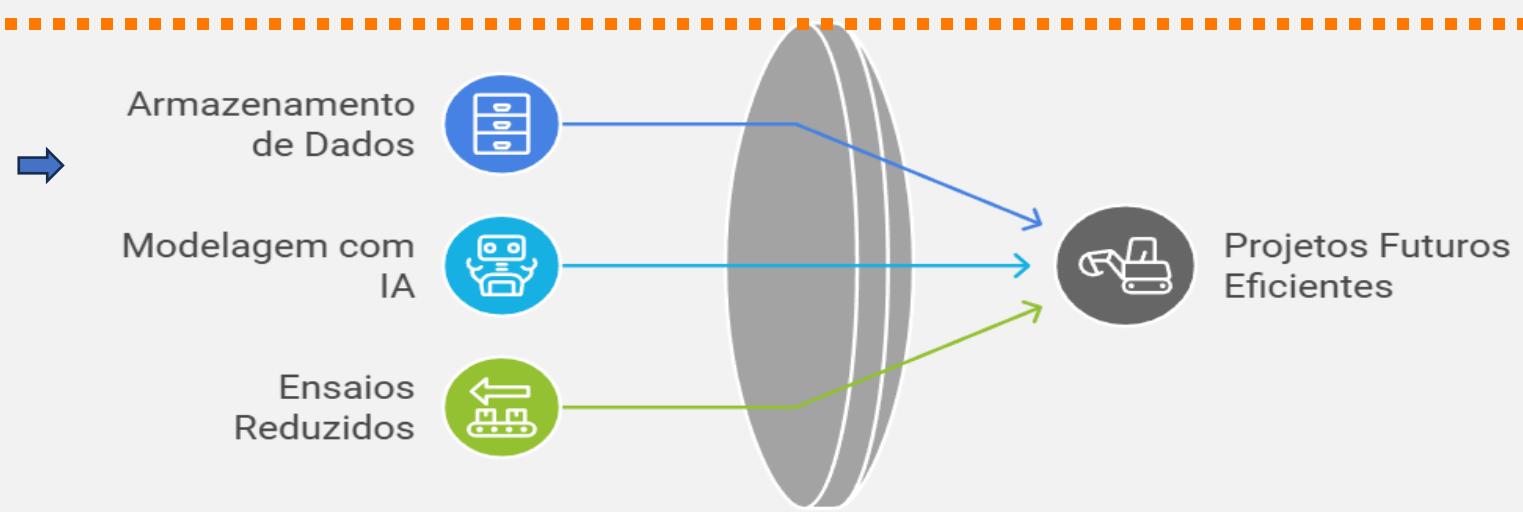
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Propostas de Modificação nos Ensaios de Laboratório



▲ Base de treinamento ■ Valores previstos

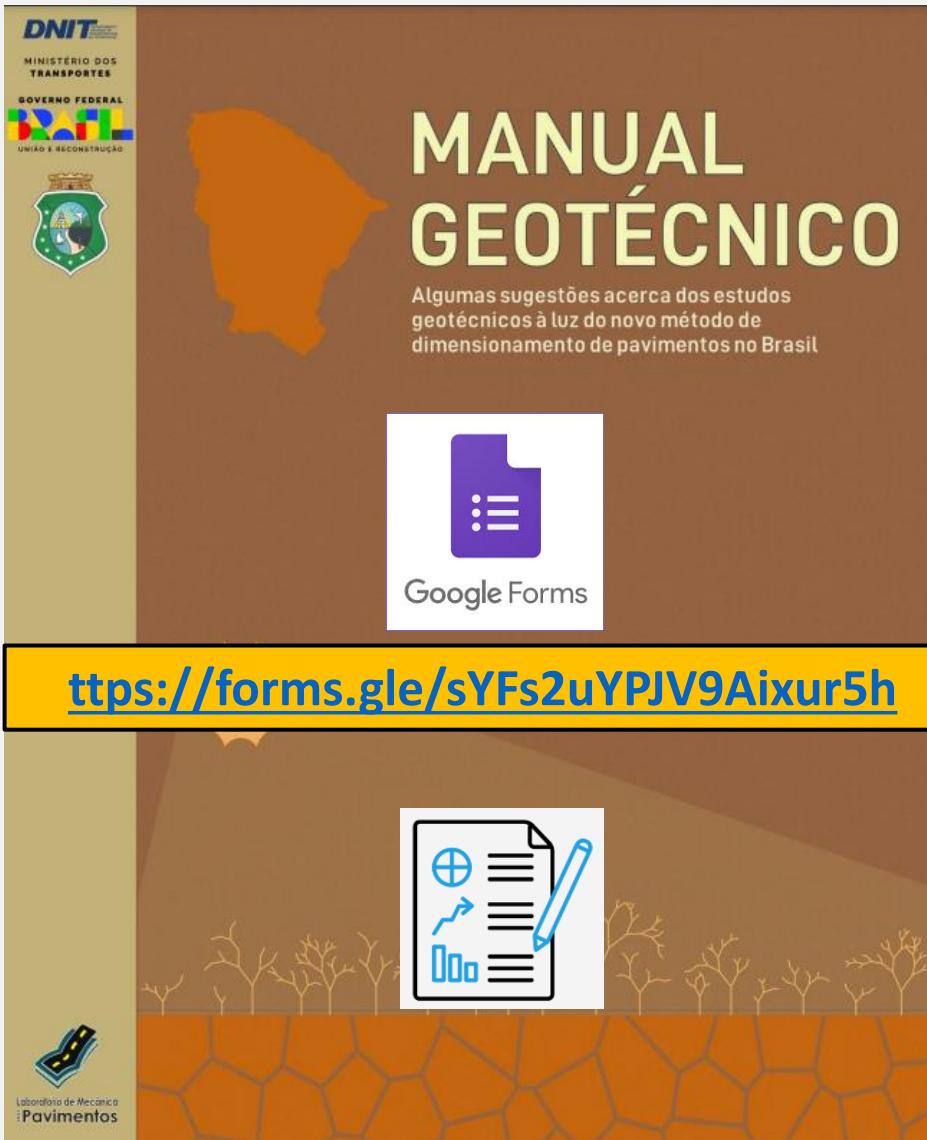
Importante para o FUTURO



Avanços e Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

Profa. Suelly Barroso (suelly@det.ufc.br)

Obrigada!!!
Perguntas?



UFC



DNIT