



26-28 NOVEMBRO 2019
CENTRO DE EVENTOS E CONVENÇÕES BRASIL 21
BRASÍLIA - DF

Título da Palestra: “Pavimento Rígido Econômico em Empreendimento Particular e Redução de Espessuras de Concreto Asfáltico em Pavimentos Semi-rígidos”



Marcílio Augusto Neves
Engenheiro Consultor /
Votorantim Cimentos



Sumário

Parte 1 - Pavimento Rígido Econômico em Empreendimento Particular

1.1. Projetos e Obras com Pavimento Rígido econômico

1.1.1. Corredor da Soja – BR-163/364/MT

1.1. 2. Outros Projetos e Obras com Pavimento Rígido Econômico

1.2. Pavimento Rígido da Via das Indústrias – Empreendimento Particular em Betim/MG

1.3. O que está viabilizando o Pavimento Rígido sob o aspecto econômico

Parte 2 – Redução de Espessuras de Concreto Asfáltico em Pavimentos Semi-rígidos

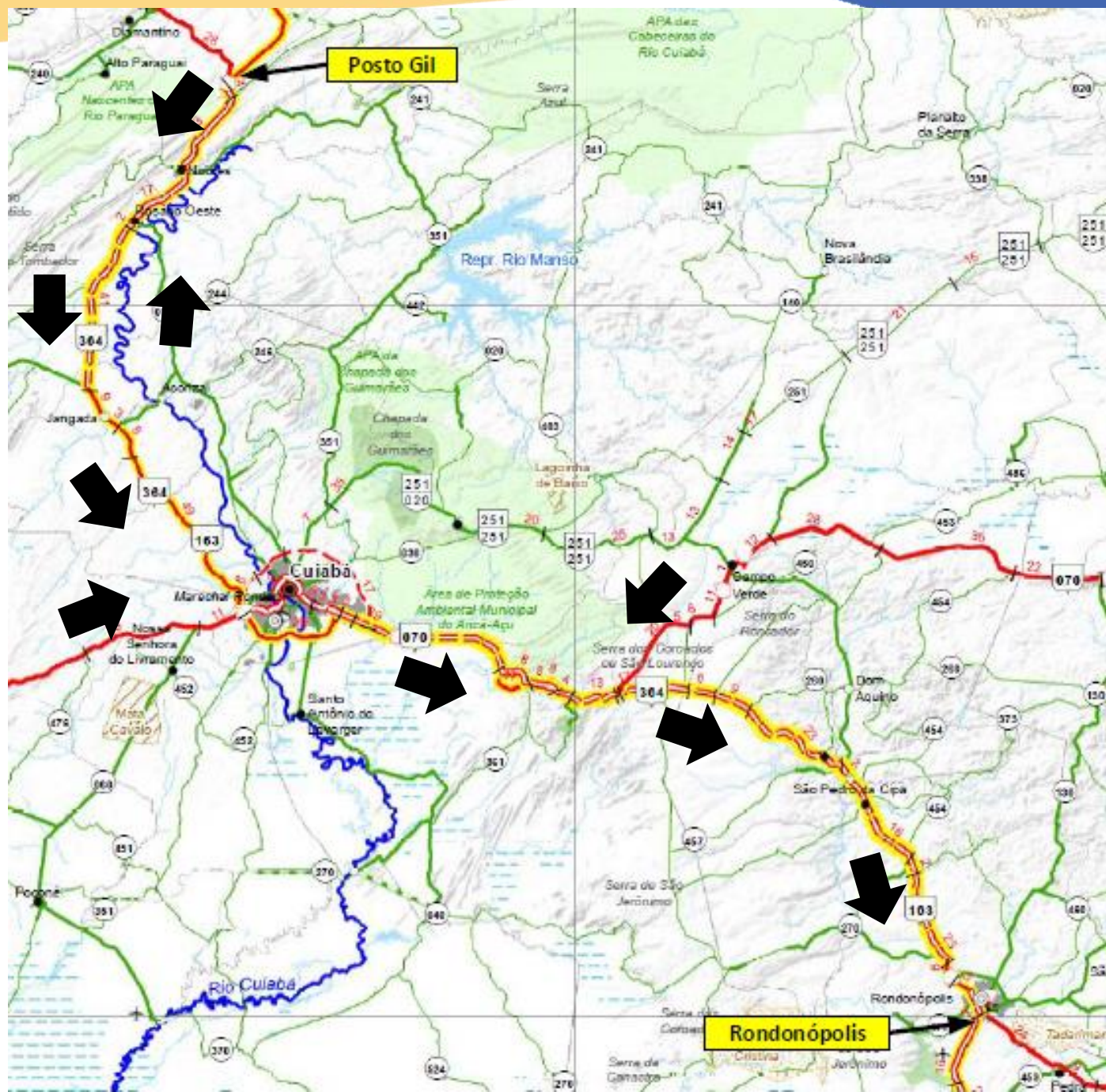
Parte 1 - Pavimento Rígido Econômico em Empreendimento Particular

1.1. Projetos e Obras com Pavimento Rígido econômico

1.1.1. Corredor da Soja – BR-163/364/MT

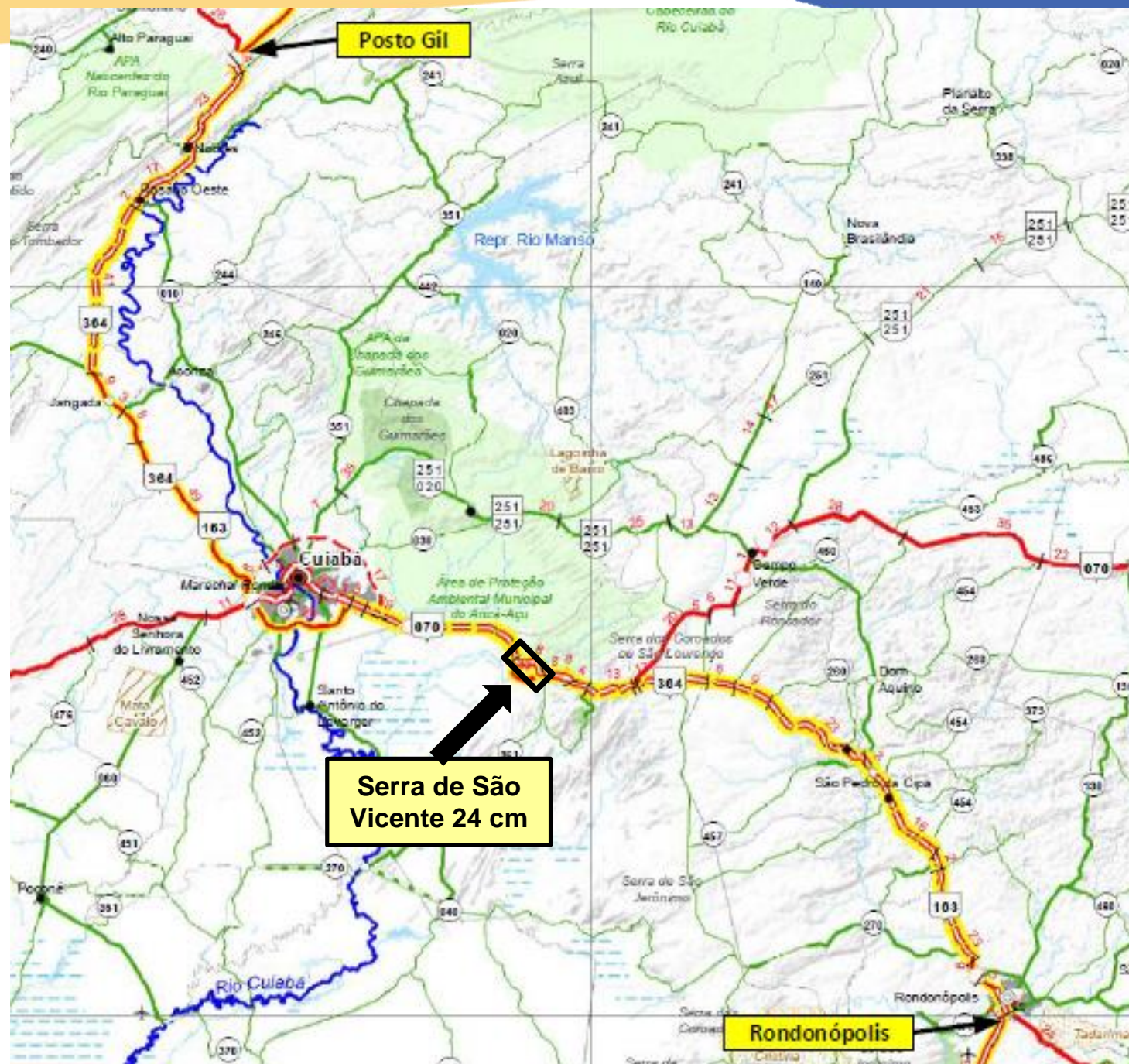


**BR-163/364/MT –
Transporte de Soja
por Bitrens e
Rodotrens**



BR-163/364/MT
– Pavimento Rígido

Serra de São Vicente
Placa = 24 cm



Duplicação da BR-163/MT trecho da Serra da Serra de São Vicente

Obra da Construtora Delta

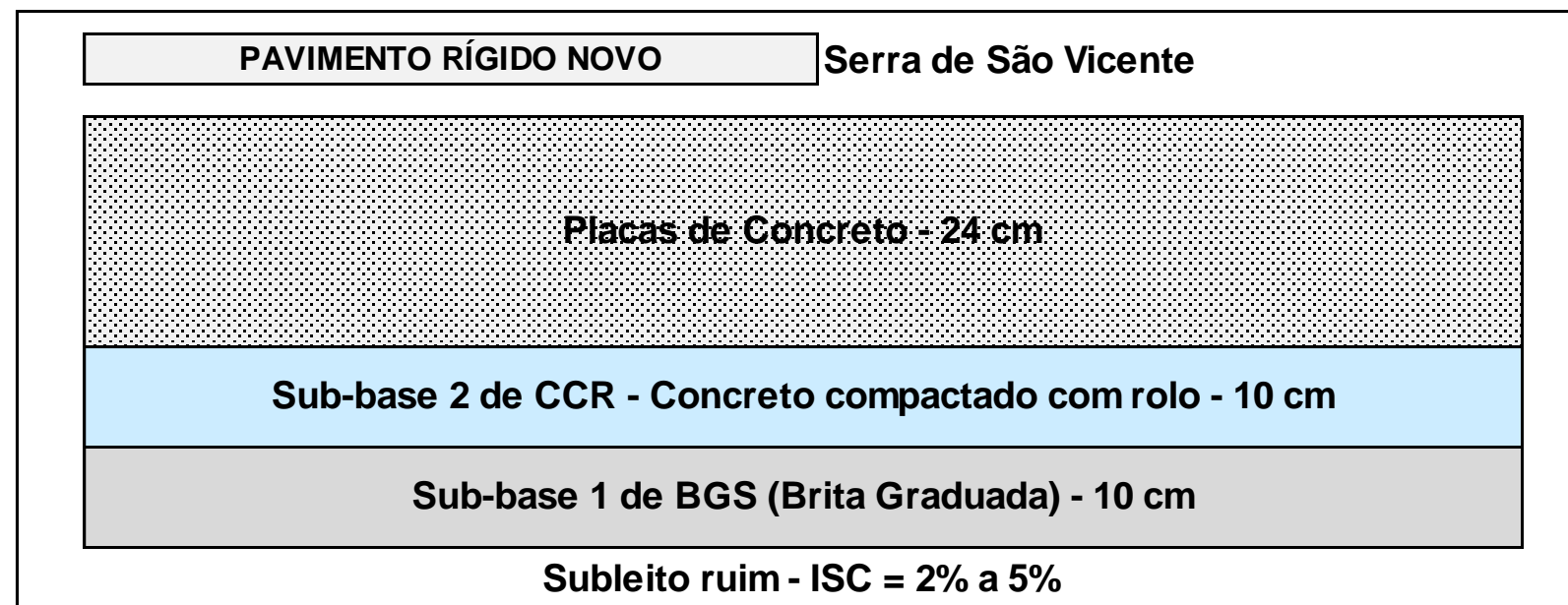
Projeto da ABCP:

Placa de concreto - espessura de 24 cm;

Sub-base 2 de concreto rolado (CCR) - 10 cm de espessura;

Sub-base 1 com BGS (Brita Graduada) - 10 cm de espessura;

Subleito com ISC baixo.

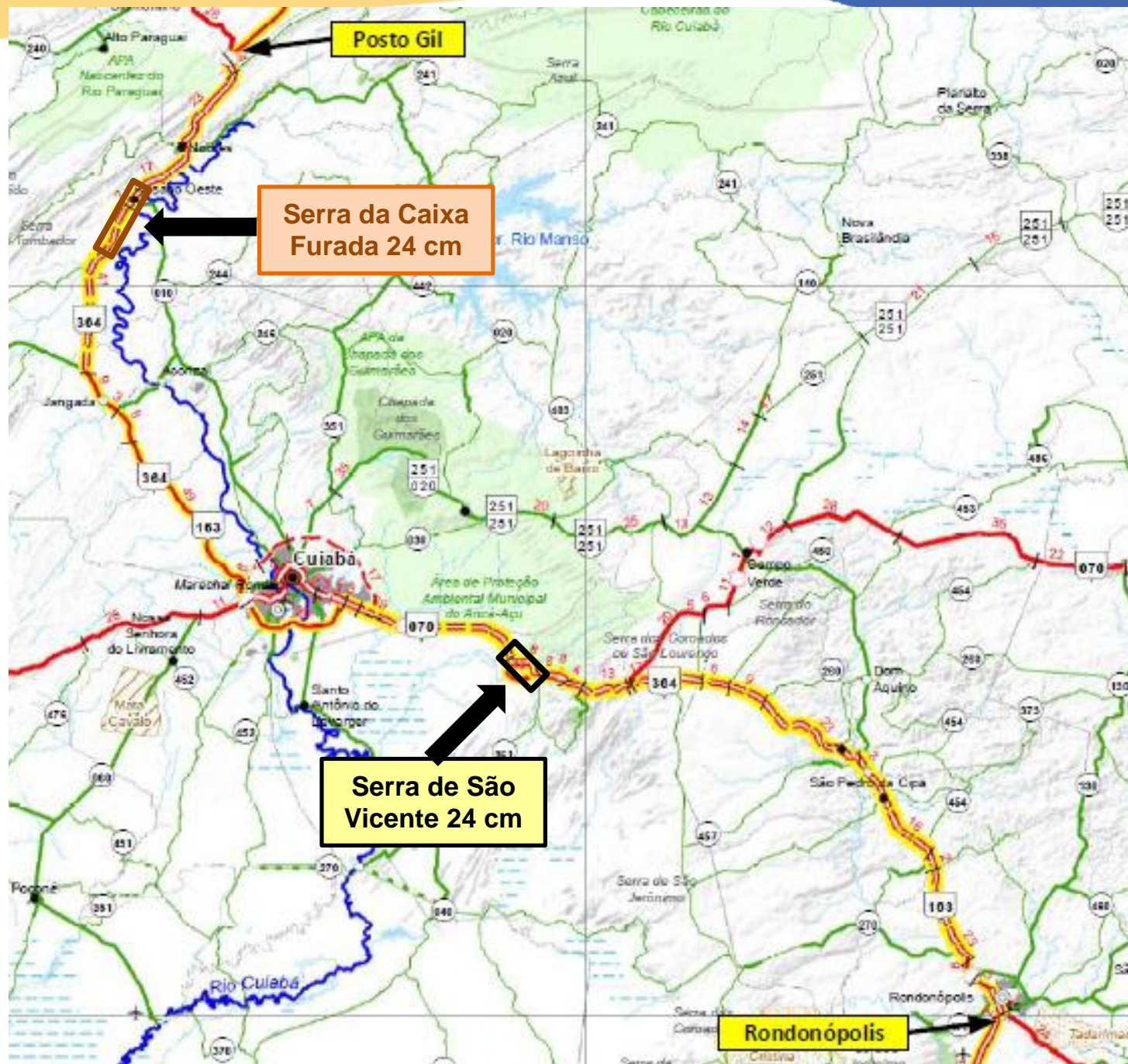


Duplicação da BR-163/MT trecho da Serra da Serra de São Vicente



BR-163/364/MT
– Pavimento Rígido

**Serra da Caixa
Furada**
Placa = 24 cm



Duplicação da BR-163/364/MT trecho Rosário do Oeste - Posto Gil

Obra da Sanches Tripoloni

Serra da Caixa Furada

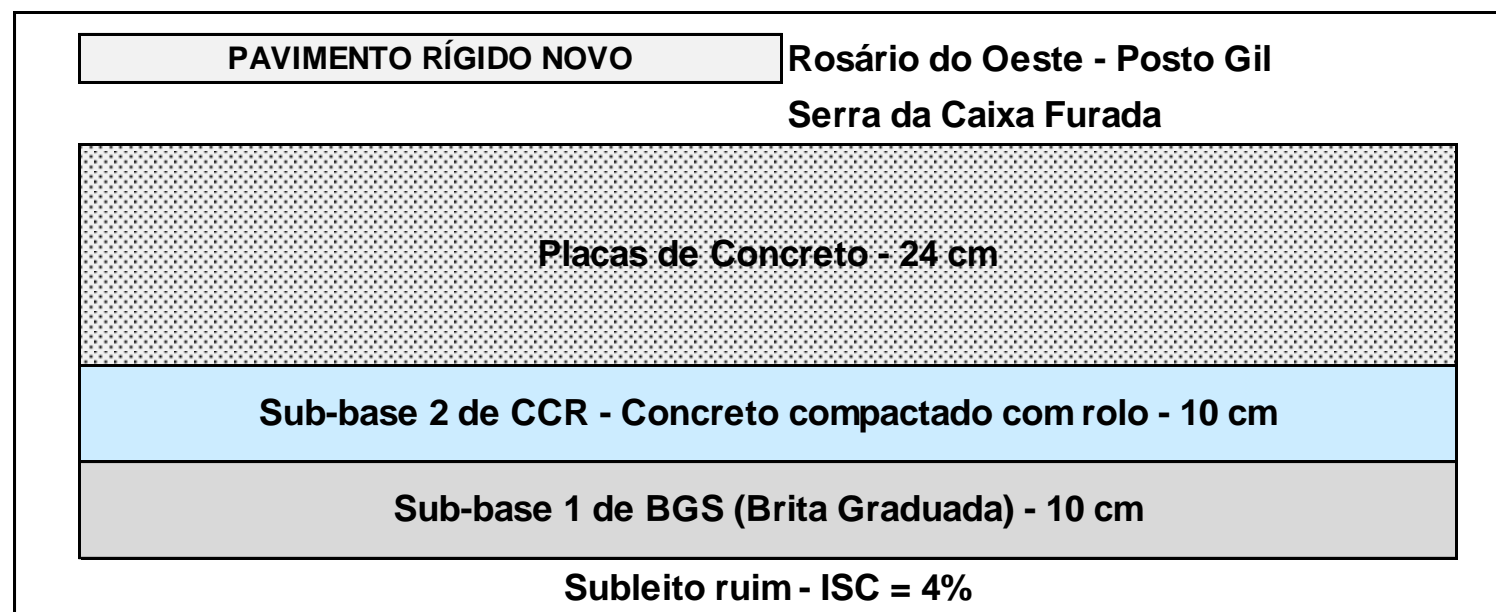
Projeto da ECOPLAN:

Placa de concreto - espessura de 24 cm;

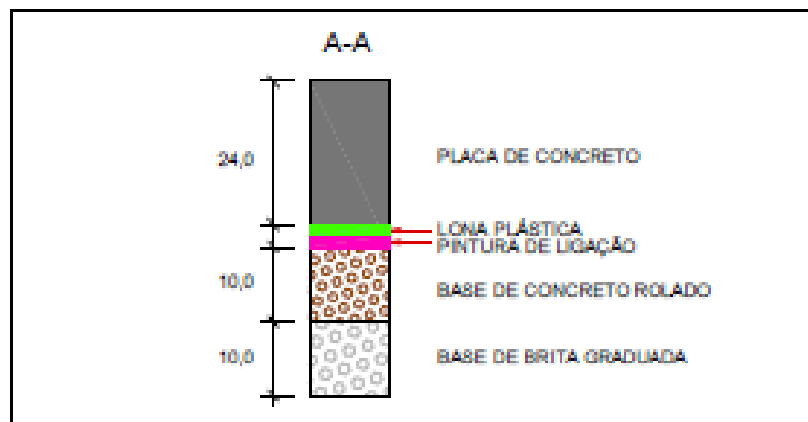
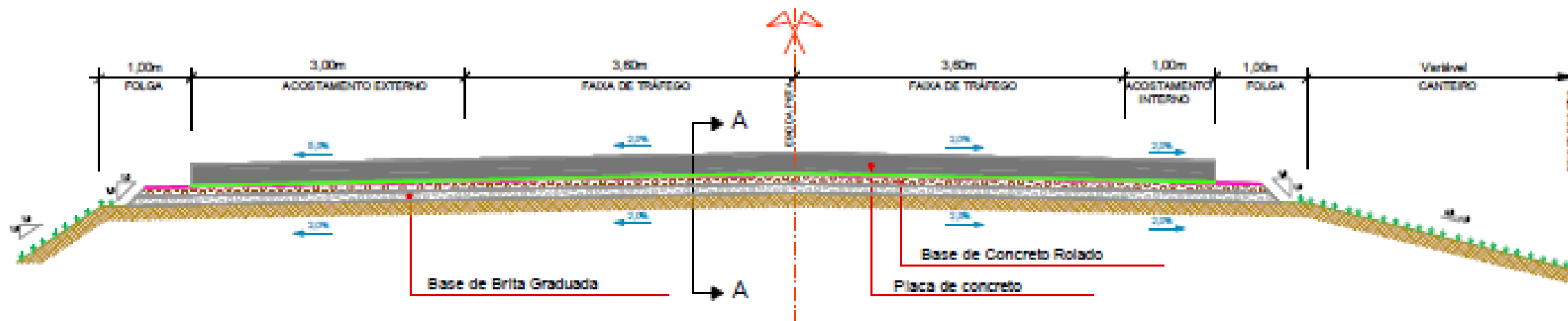
Sub-base 2 de concreto rolado (CCR) - 10 cm de espessura;

Sub-base 1 de BGS (Brita Graduada) - 10 cm de espessura;

Subleito com ISC característico de 4%.



Duplicação da BR-163/364/MT trecho Rosário do Oeste - Posto Gil



a)

Estrutura final do pavimento



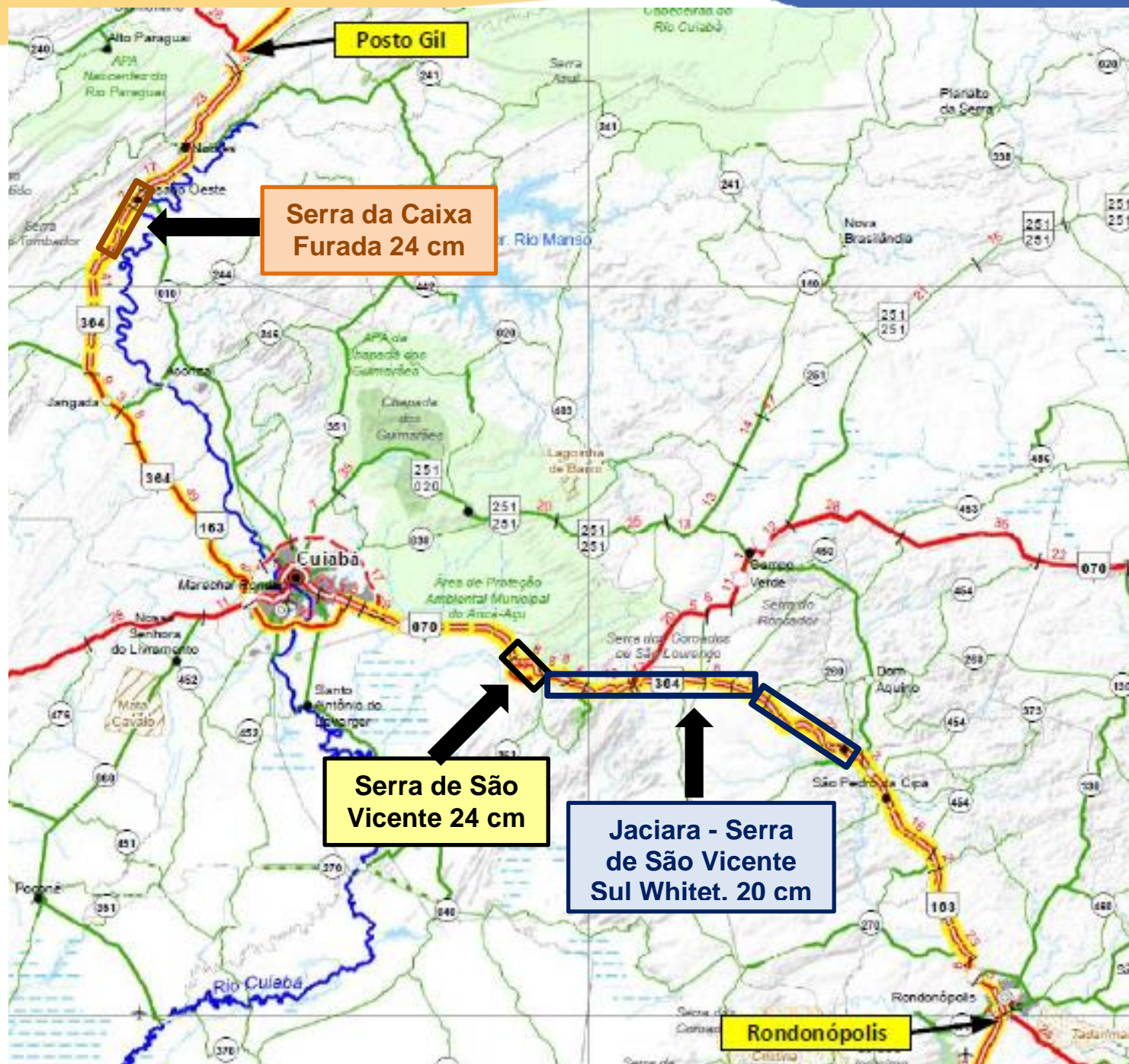
Duplicação da BR-163/364/MT trecho Rosário do Oeste - Posto Gil



BR-163/364/MT
– Pavimento Rígido

Jaciara – Serra de São Vicente

Pista Sul
Whitetopping
Placa = 20 cm



RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Jaciara - Serra de São Vicente

- Obra de Duplicação e Restauração
- Edital de RDC Integrado – Solução de Pavimento Semi-Rígido
- Número N 10 anos = $2,54 \times 10^8$
- Pista Nova – Pavimento Semi-Rígido

Concepção de Pavimento Semi-rígido	
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente com polímero	12,5 cm
BGTC - Brita Graduada tratada com Cimento	20 cm
Sub-base de Solo estabilizado granulometricamente	20 cm

RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Jaciara - Serra de São Vicente

- Restauração da pista existente:
 - Reciclagem + CBUQ com asfalto borracha

Reciclagem de Base com Cimento			Solução 4
FS 1,4 m	Faixa 2 3,6 m	Faixa 1 3,6 m	Acostamento 2,4 m Degrau de 5 cm
CBUQ Faixa C com asfalto-borracha - 5 cm			CBUQ CAP 6,5 cm
CBUQ Faixa B com asfalto-borracha - 6,5 cm			
Reciclagem de Base e revestimento existente com adição de brita e de Cimento - 18 cm			Reciclagem de Base e revestimento existente com adição de brita - 18 cm
Resíduo da Base existente de Solo estabilizado granulometricamente			
Sub-base existente de Solo estabilizado granulometricamente			

Onde se tem revestimento existente com espessura > 10 cm:
Fresagem prévia contínua da pista para deixar 10 cm de CBUQ para reciclar junto com a base.

RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Jaciara - Serra de São Vicente

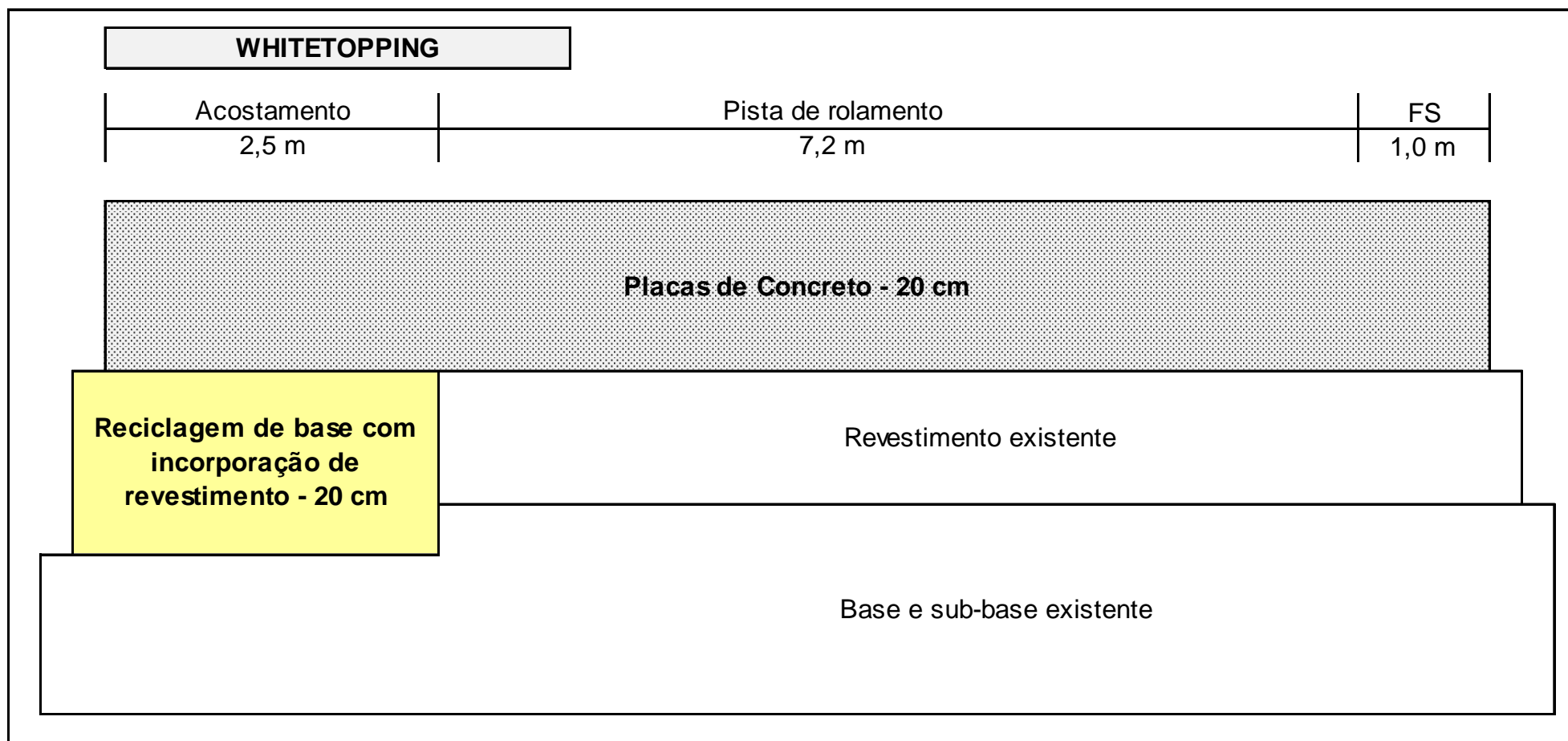
- Restauração da pista existente:
 - Fresagem + Reforço com Geotêxtil e CBUQ (10 a 14 cm).

Fresagem contínua + Rep + Geotextil + Reforço em CBUQ Solução 3			
FS	Faixa 2	Faixa 1	Acostamento
1,4 m	3,6 m	3,6 m	2,4 m
			Degrau de 5 cm
CBUQ Faixa C com asfalto-borracha - 4 a 5 cm			
CBUQ Faixa B com asfalto-borracha - 4 a 7 cm			CBUQ CAP 50/70
Manta de Geotextil RT-09			
Reperfilamento CBUQ Massa Fina 2 cm			Enchimento do degrau com CBUQ
Enchimento CBUQ	Resíduo do CBUQ existente		CBUQ existente
CBUQ			
Base existente de Solo estabilizado granulometricamente			
Sub-base existente de Solo estabilizado granulometricamente			
Freesagem contínua 5 cm em 100% da área			

RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Jaciara - Serra de São Vicente

Projeto – CRG (Giublin) e MARCILIO Eng.

Obra – Sanches Tripoloni



Dimensionamento do Pavimento Rígido – para Pesagem de Eixos

ESTATÍSTICA DE EXCESSO DE CARGA POR EIXO											
Rodovia: BR-163/MT			Balança: Todas as Pesagens Sentido: Sul								
Eixo Simples de Rodas Simples			Eixo Simples de Rodas Duplas			Eixo Tandem Duplo			Eixo Tandem Triplo		
Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%
Sem excesso	< 6 t	66,7%	Sem excesso	< 10 t	67,7%	Sem excesso	< 17 t	26,4%	Sem excesso	< 25,5 t	51,2%
Tolerância de 10%	6 a 6,6 t	29,9%	Tolerância de 10%	10 a 11 t	20,9%	Tolerância de 10%	17 a 18,7 t	50,8%	Tolerância de 10%	25,5 a 28 t	39,5%
Com excesso	> 6,6 t	3,3%	Com excesso	> 11 t	11,4%	Com excesso	> 18,7 t	22,8%	Com excesso	> 28 t	9,3%
Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%

<p>■ < 6 t ■ 6 a 6,6 t ■ > 6,6 t</p>	<p>■ < 10 t ■ 10 a 11 t ■ > 11 t</p>	<p>■ < 17 t ■ 17 a 18,7 t ■ > 18,7 t</p>	<p>■ < 25,5 t ■ 25,5 a 28 t ■ > 28 t</p>
--	--	--	--

RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Jaciara - Serra de São Vicente

Estado do pavimento antes do Whitetopping



RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Jaciara - Serra de São Vicente

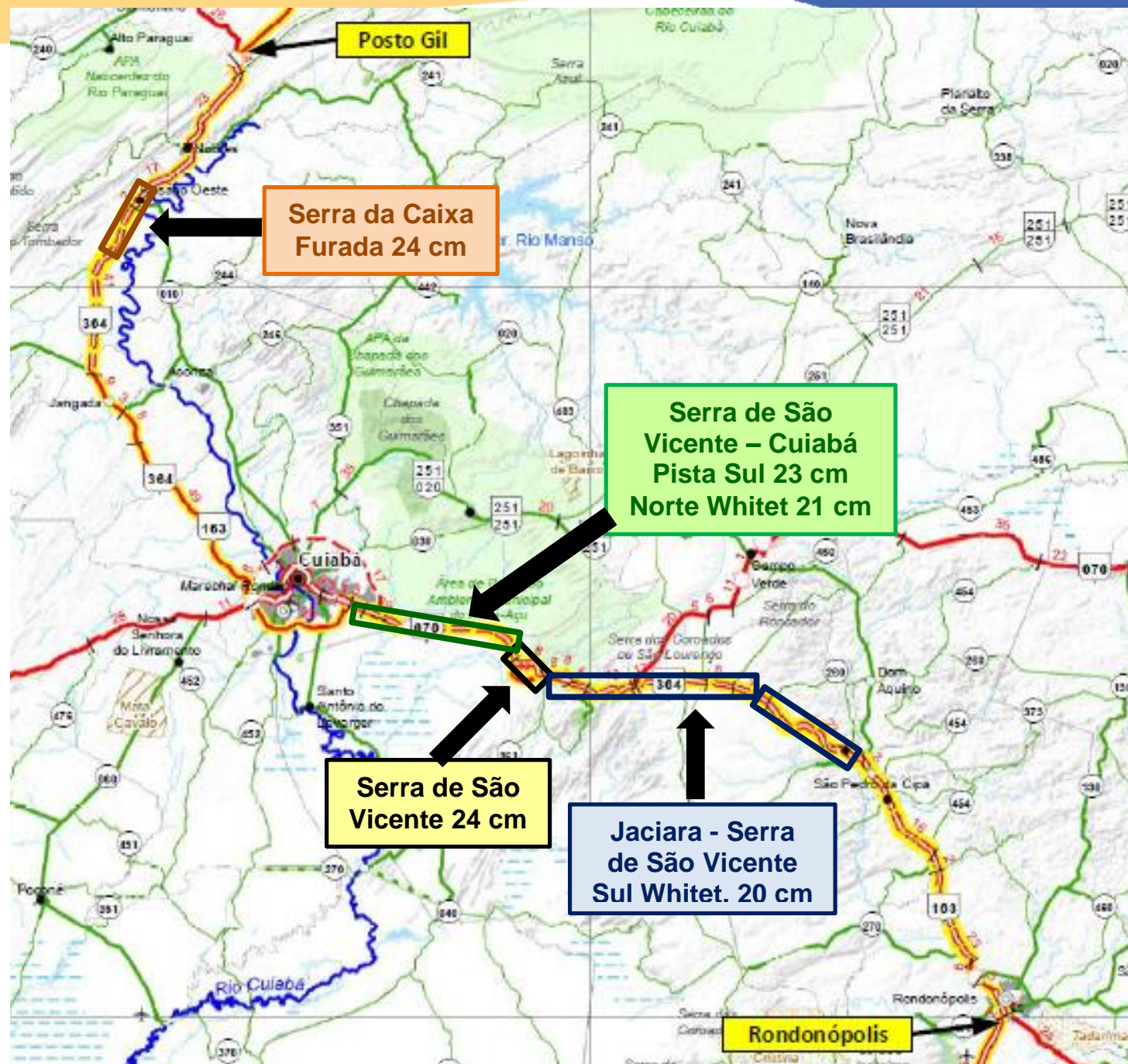
Estado do pavimento após da obra do Whitetopping – 67 km



BR-163/364/MT
– Pavimento Rígido

Serra de São Vicente
- Cuiabá

Pista Sul
Placa = 23 cm
Pista Norte
Whitetopping
Placa = 21 cm



RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Serra de São Vicente - Cuiabá

- Obra de Duplicação e Restauração
- Edital de RDC Integrado – Pavimento Semi-Rígido
- Número N 10 anos
 - **Pista Sul (Soja para porto seco) = $3,48 \times 10^8$**
 - Pista Norte = $1,89 \times 10^8$
- Pista Nova – Pavimento Semi-Rígido com BGTC
- Restauração da pista existente – Reciclagem e BGTC em Pavimento Semi-Rígido

Pavimento Novo - Concepção Semi-rígida		Restauração - Concepção Semi-rígida	
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente com polímero		CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente com polímero	
BGTC - Brita Graduada tratada com Cimento	20 cm	BGTC - Brita Graduada tratada com Cimento	20 cm
Sub-base de BGS - Brita Graduada Simples	20 cm	Reciclagem	20 cm

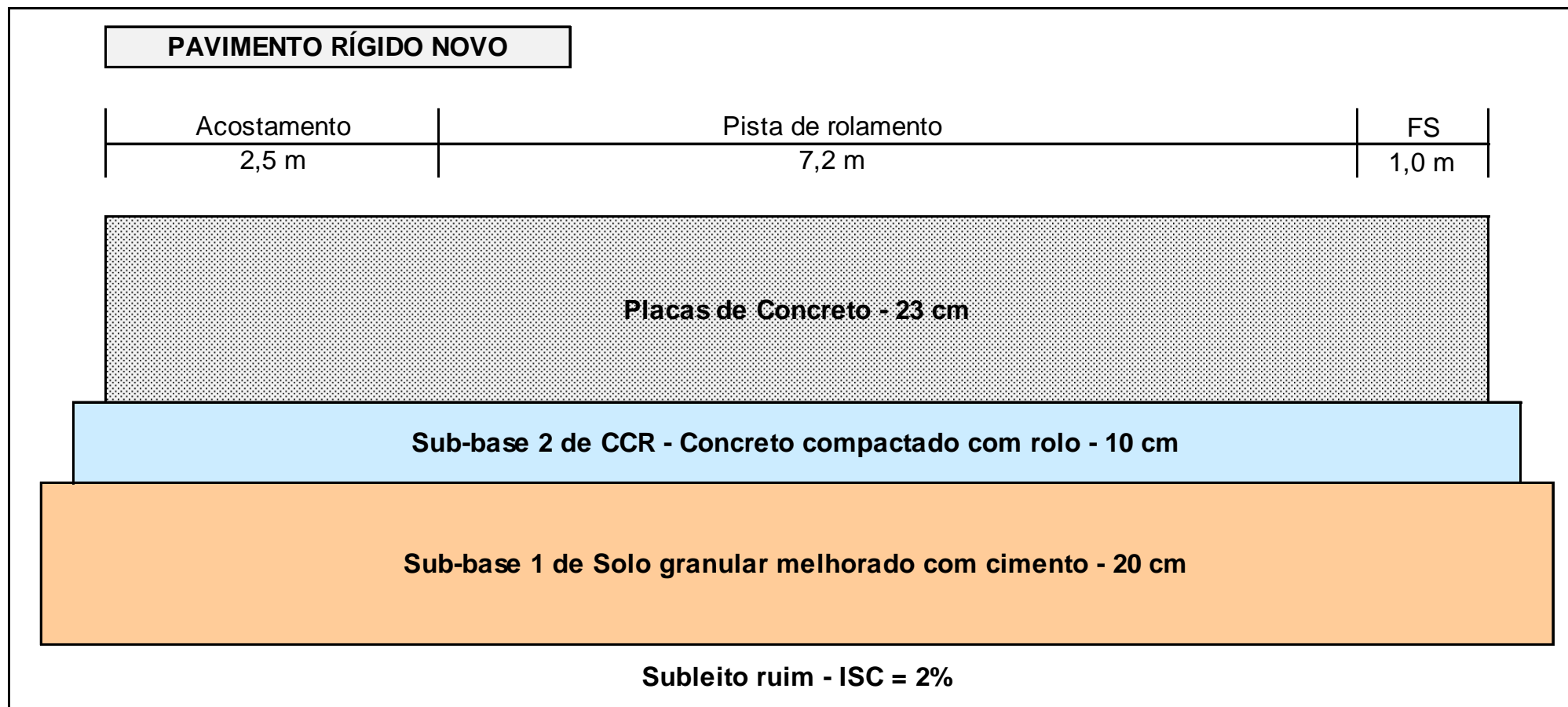


RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Serra de São Vicente - Cuiabá

Projeto – MARCILIO Eng.

Obra – Sanches Tripoloni

Pista Sul – Pavimento Novo para duplicação

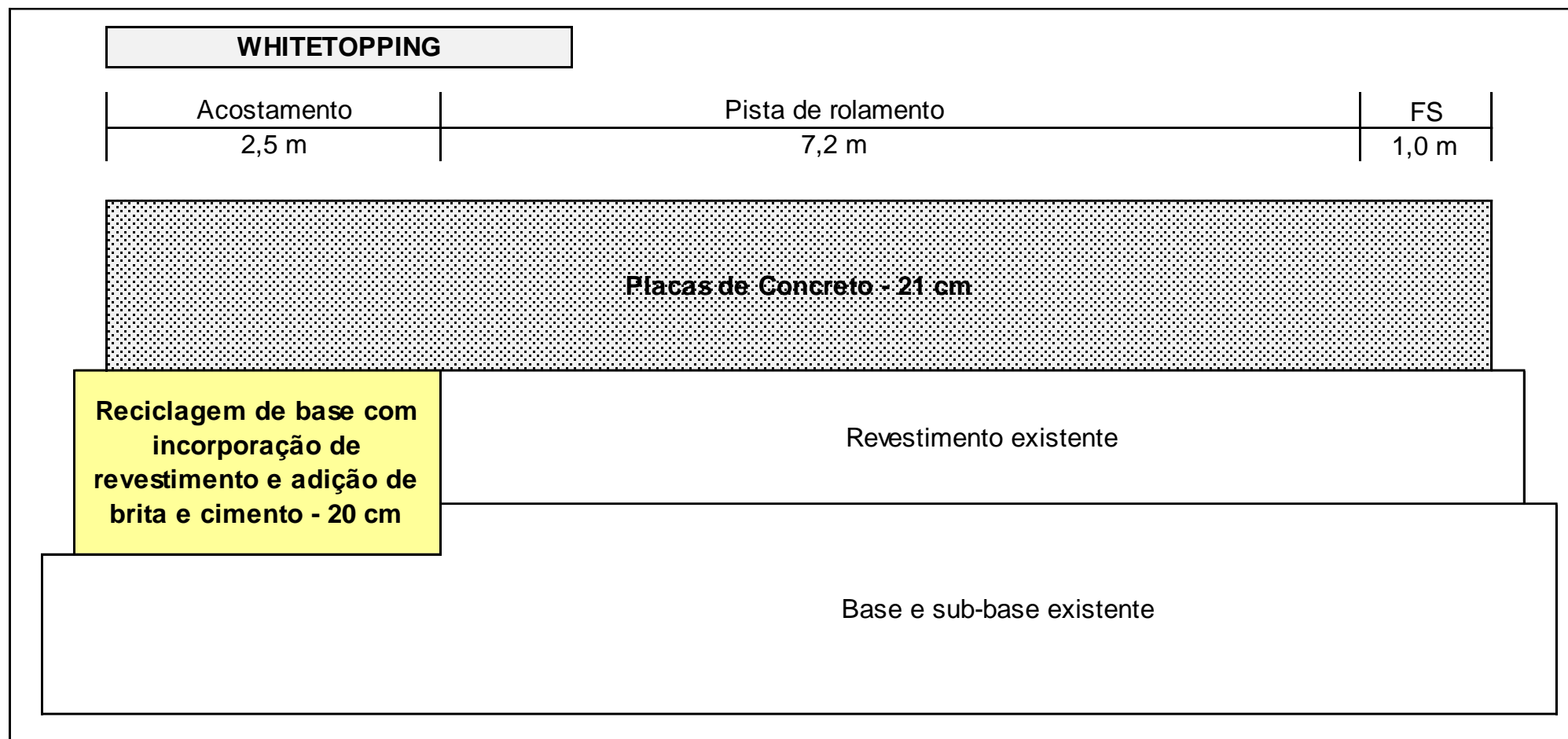


RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Serra de São Vicente - Cuiabá

Projeto – MARCILIO Eng.

Obra – Sanches Tripoloni

Pista Norte – Restauração da pista existente com Whitetopping



Projeto de Pavimento Rígido – para Pesagem de Eixos

ESTATÍSTICA DE EXCESSO DE CARGA POR EIXO											
Rodovia: BR-163/MT			Balança: Todas as Pesagens Sentido: Sul								
Eixo Simples de Rodas Simples			Eixo Simples de Rodas Duplas			Eixo Tandem Duplo			Eixo Tandem Triplo		
Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%
Sem excesso	< 6 t	66,7%	Sem excesso	< 10 t	67,7%	Sem excesso	< 17 t	26,4%	Sem excesso	< 25,5 t	51,2%
Tolerância de 10%	6 a 6,6 t	29,9%	Tolerância de 10%	10 a 11 t	20,9%	Tolerância de 10%	17 a 18,7 t	50,8%	Tolerância de 10%	25,5 a 28 t	39,5%
Com excesso	> 6,6 t	3,3%	Com excesso	> 11 t	11,4%	Com excesso	> 18,7 t	22,8%	Com excesso	> 28 t	9,3%
Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%

<p>■ < 6 t ■ 6 a 6,6 t ■ > 6,6 t</p>	<p>■ < 10 t ■ 10 a 11 t ■ > 11 t</p>	<p>■ < 17 t ■ 17 a 18,7 t ■ > 18,7 t</p>	<p>■ < 25,5 t ■ 25,5 a 28 t ■ > 28 t</p>
--	--	--	--

RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Serra de São Vicente - Cuiabá



RDC da Rodovia BR-163/MT Trecho Serra de São Vicente - Cuiabá



CONTORNO NORTE DE CUIABÁ E VÁRZEA GRANDE | RODOANEL

BR-163/364/MT
– Pavimento Rígido

Contorno Norte de Cuiabá
Licitação SEINFRA
DNIT

Pista Dupla
Placa = 21 cm



SINFRA
SECRETARIA DE
INFRAESTRUTURA
E LOGÍSTICA



GOVERNO DE
MATO GROSSO

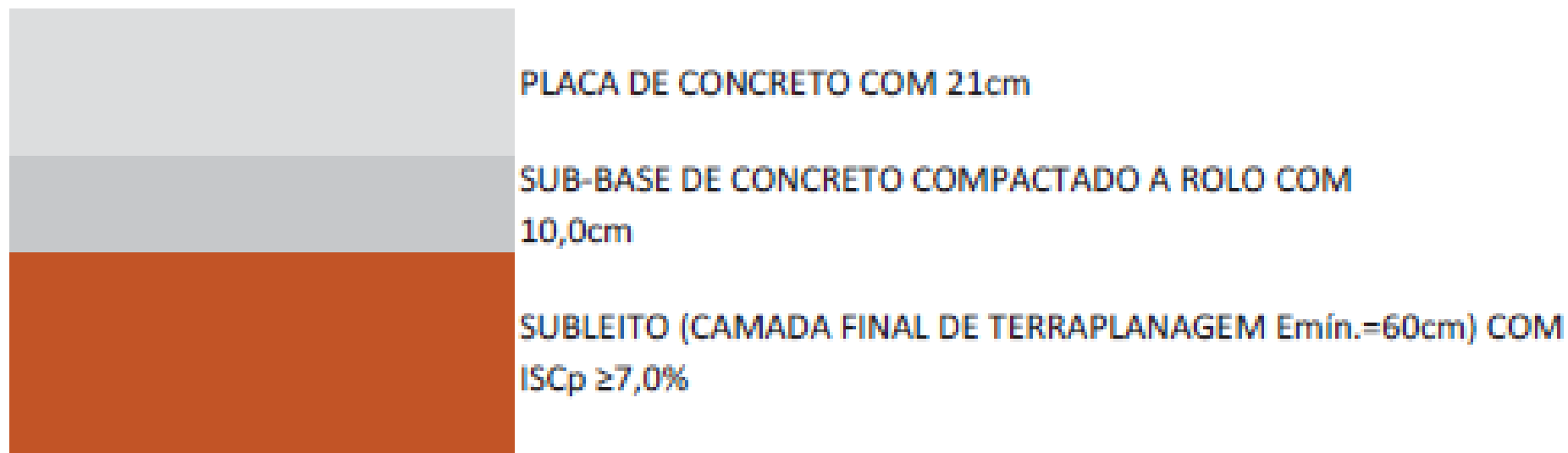
Projeto de Pavimento Rígido – Contorno Norte de Cuiabá

Projeto da SEINFRA/MT – para RDC com DNIT:

Placa de concreto - espessura de 21 cm;

Sub-base de concreto rolado (CCR) - 10 cm de espessura;

Subleito com ISC de 7%.

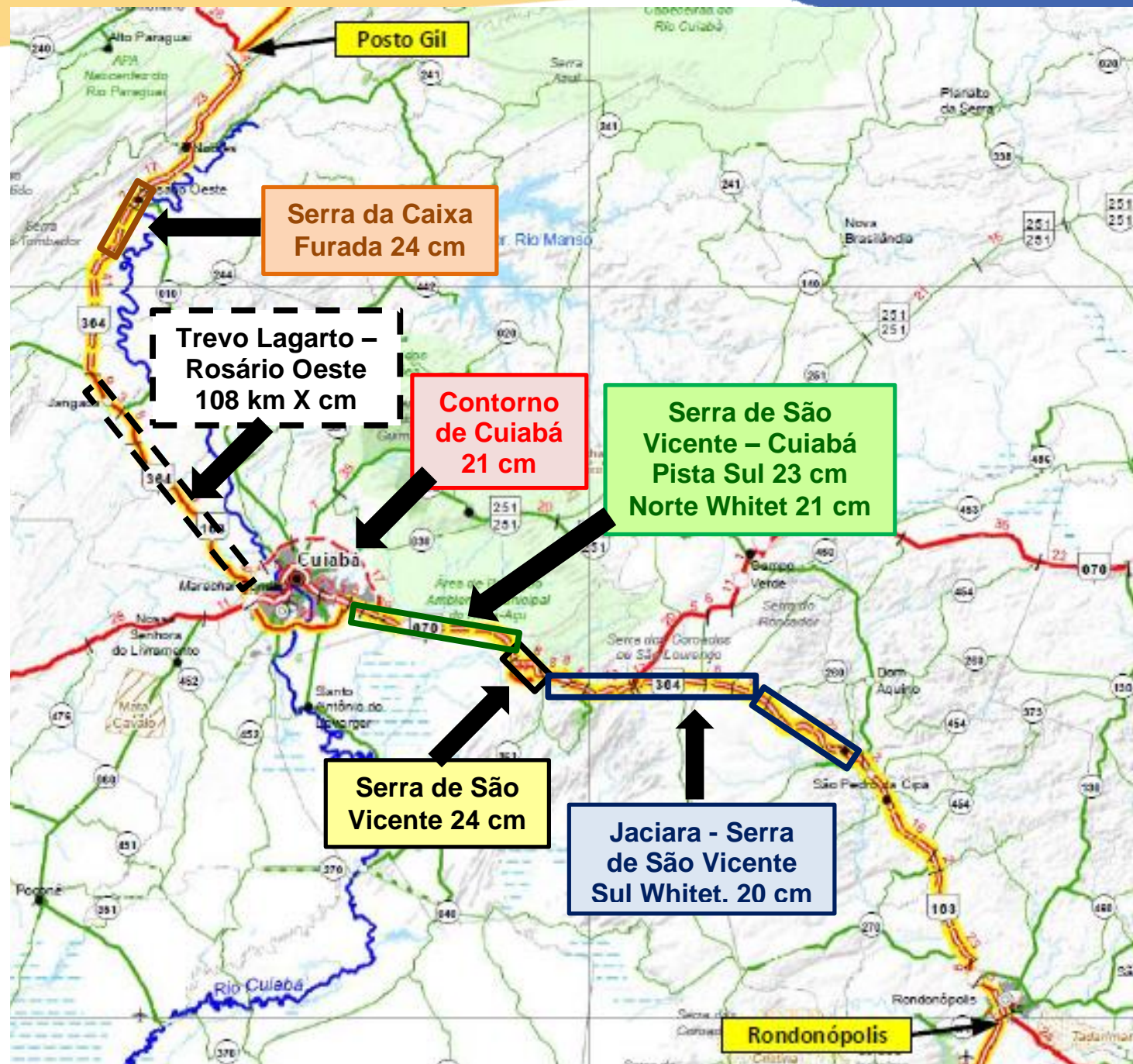


BR-163/364/MT
 – Pavimento Rígido

Concessionária Rota
 do Oeste

Trevo do Lagarto –
 Rosário do Oeste
 108 km

Placa = ?
 Em estudo



Parte 1 - Pavimento Rígido Econômico em Empreendimento Particular

1.1.2. Outros Projetos e Obras com Pavimento Rígido Econômico

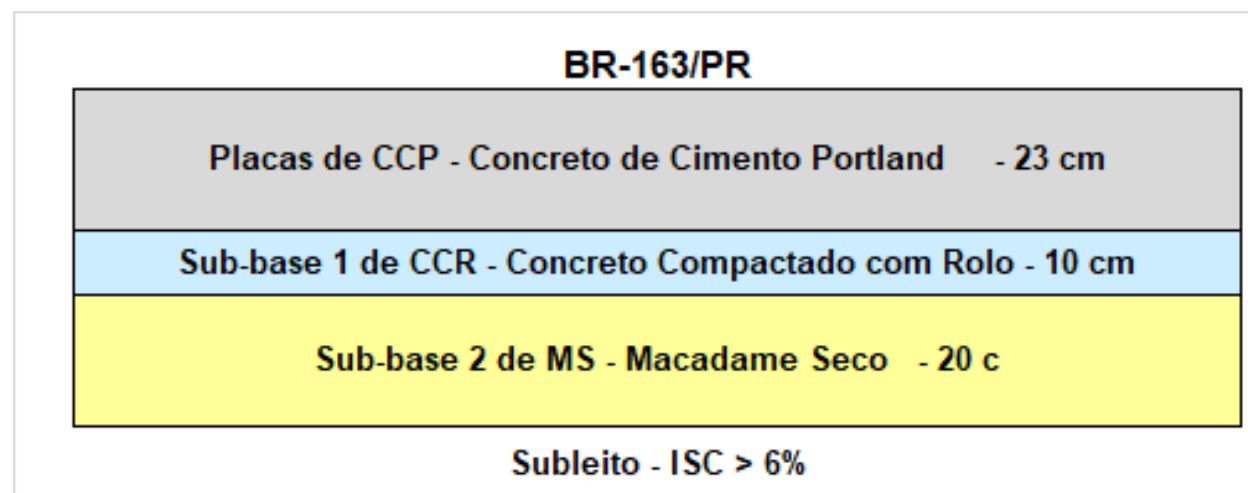


Rodovia BR-163/PR - Trecho Marmelândia – Cascavel (74 km)

- Obra de Duplicação Sanches Tripoloni
- Edital de RDC – Solução de Pavimento Semi-Rígido e Rígido

Dimensionamento para pesagens de eixos na BR-163/PR

ANTEPROJETO DO DNIT	Camadas		Espessuras cm
	Revestimento	Capa - CBUQ Faixa C com CAP modificado por polímero	5,0
Binder - CBUQ Faixa B com CAP 50/70		9,0	
Base	BGTC - Brita Graduda tratada com Cimento	20	
Sub-base	BG - Brita Graduada	20	



Rodovia BR-101/BA – Lotes 3 e 4 – Km 83 ao Km 165 – 82 km

- Obra de Duplicação TORC e EMPA
- Edital de RDC – Solução de Pavimento Rígido

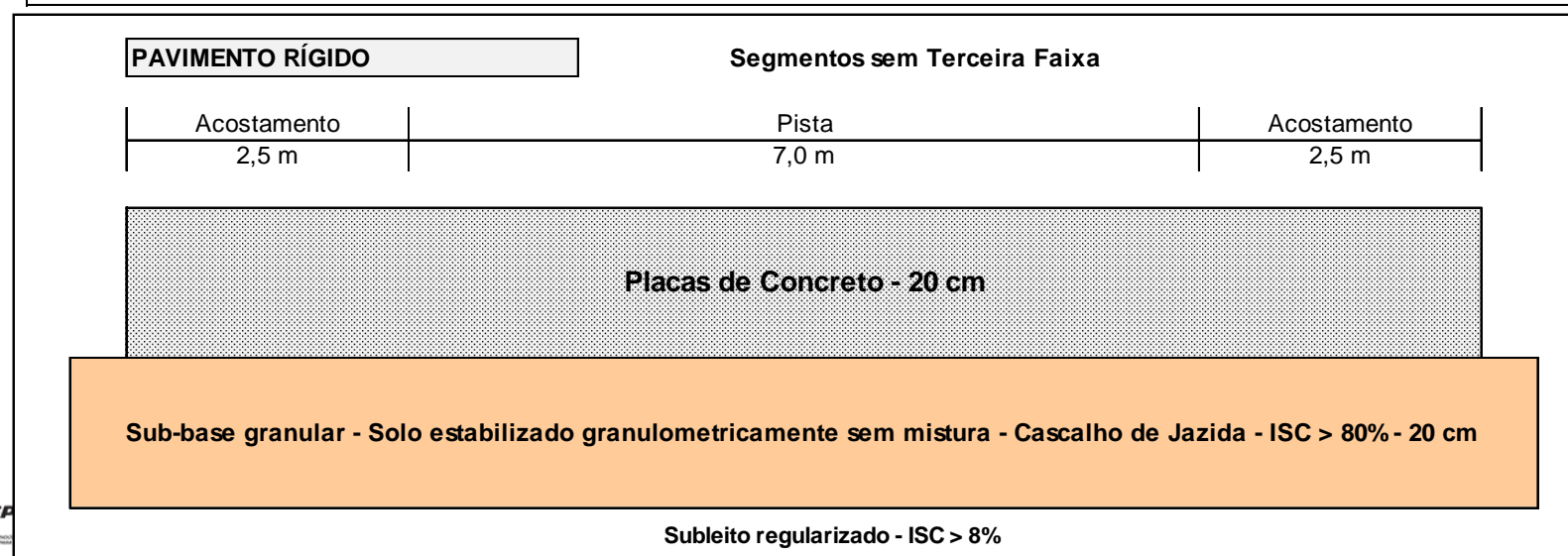
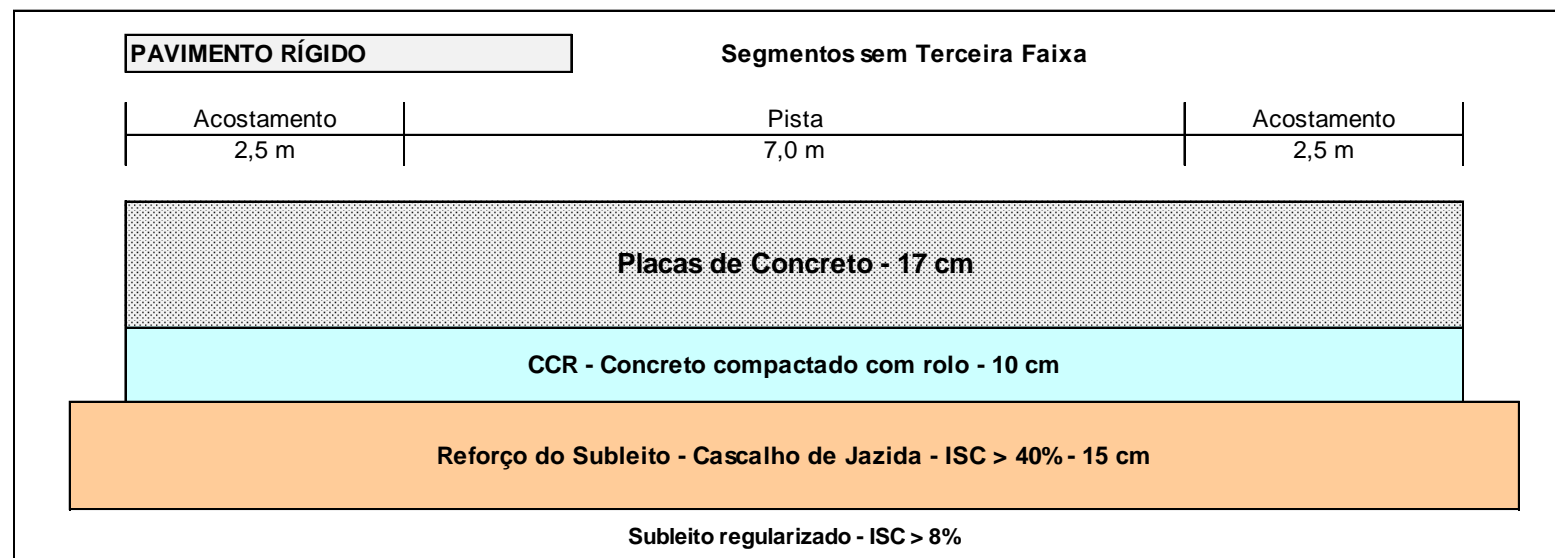
Dimensionamento para dados de pesagens da BR-101/PE

Placa de Concreto	22 cm
Sub-base de SC - Solo-Cimento	16 cm

Projeto de BR-163/PA - Trecho Miritituba - Rurópolis

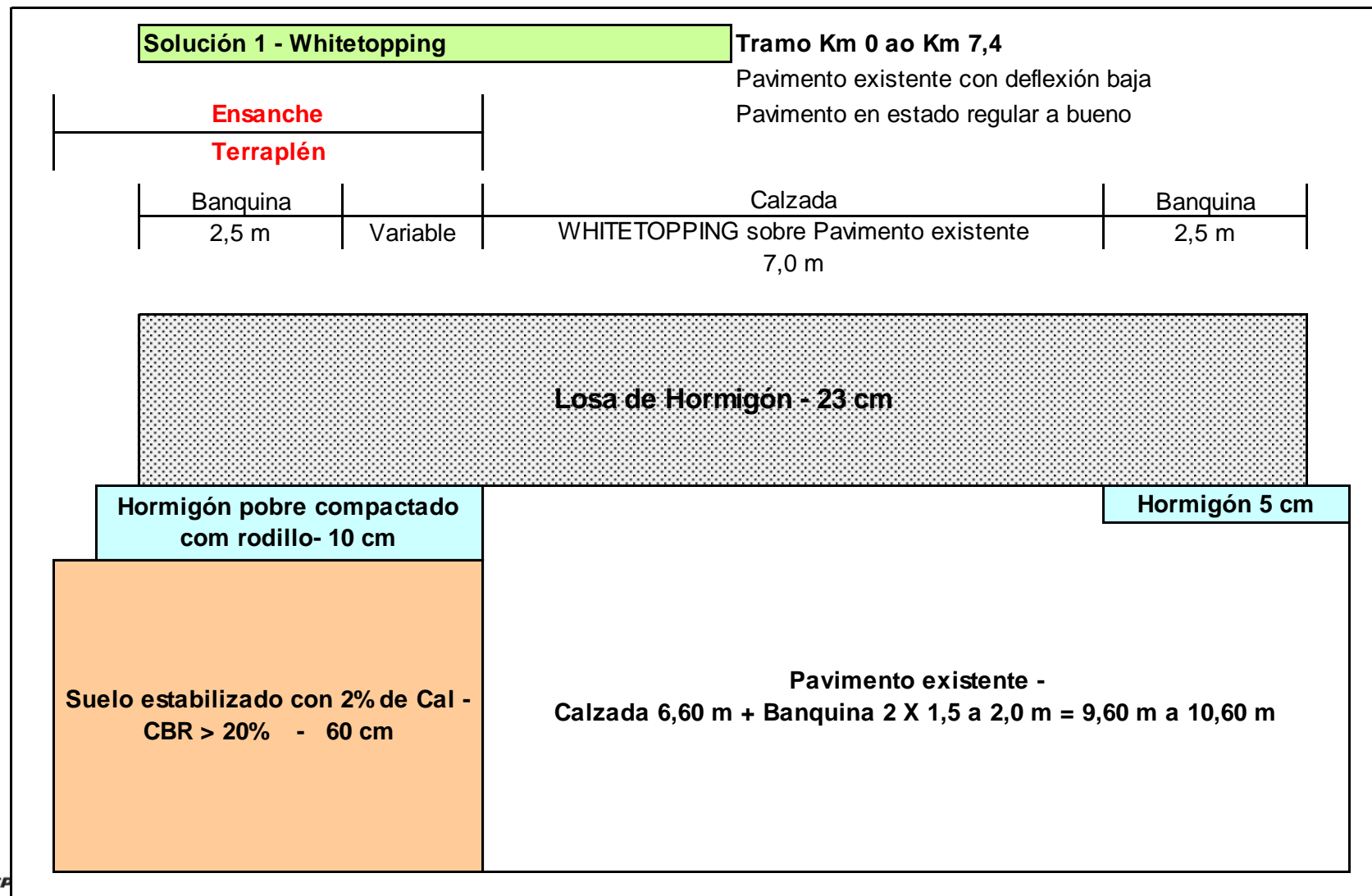
Estudo de Alternativas em Pavimento Rígido

Dimensionamento para pesagens no trecho



Proyecto em Paraguay – Ruta Villeta – Km 40

Aceso a puertos del Rio Paraguay al sul de Asunción – camiones de soja



Parte 1 - Pavimento Rígido Econômico em Empreendimento Particular

1.2. Pavimento Rígido da Via das Indústrias – Empreendimento Particular em Betim/MG



Empreendimento – Via das Indústrias

25 km de vias

Investimento da iniciativa privada e Prefeituras de Betim e Contagem

Sistema viário no entorno de empreendimentos:

Indústrias, serviços de logística e de componentes

Bairros PTB e Jardim Piemonte

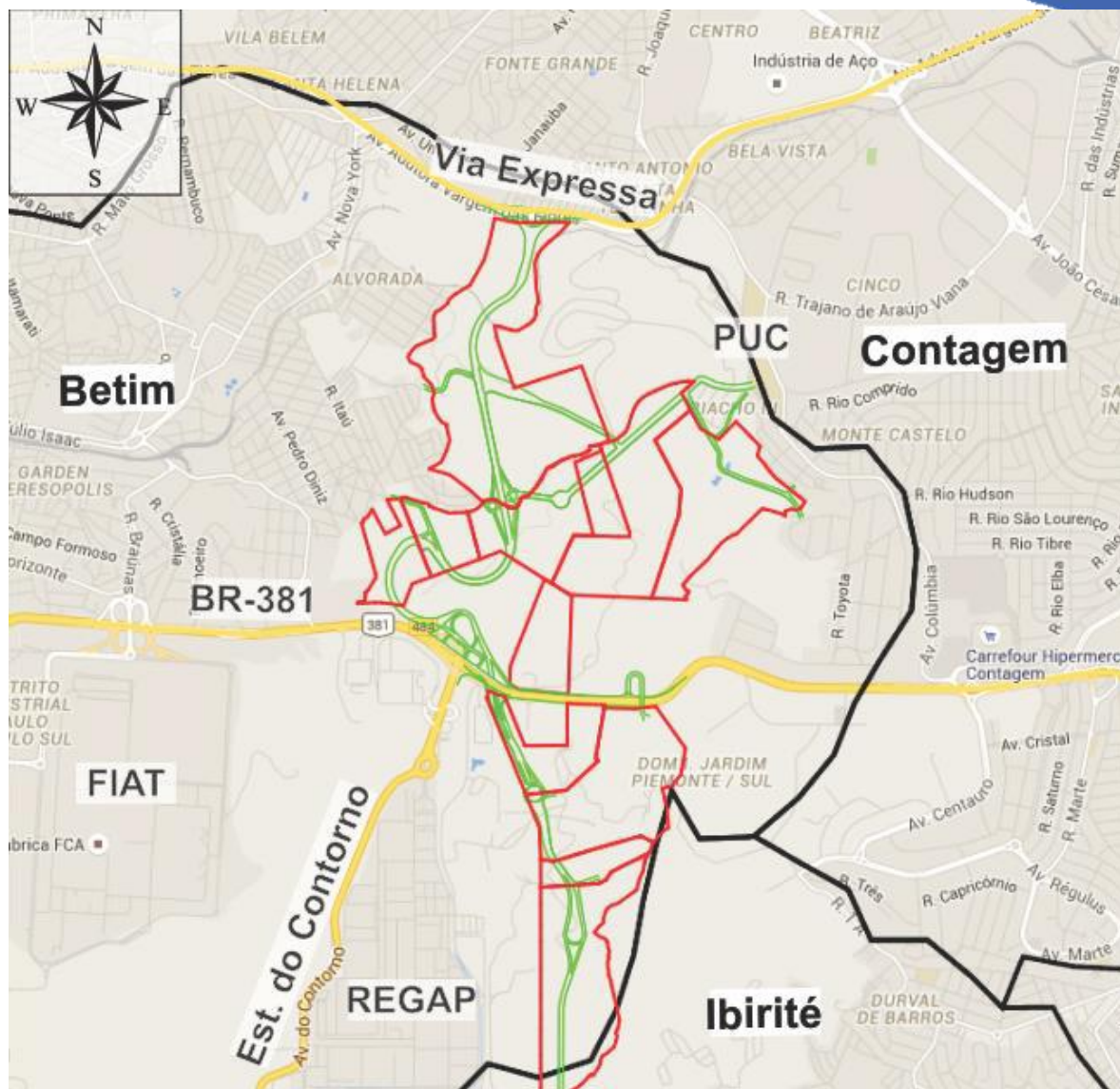
Bacia do Córrego do Pintado

Conexão da BR-381 à Via Expressa

Próximo a REGAP

Área total do terreno é de 3.771 mil m² -

Área construída 2.435 mil m².



Vetor Norte – Projeto de Pavimento Flexível

Projeto da SOLOCAP / TOPGEO

Pavimento flexível com:

- Revestimento – CBUQ com polímero – 8 cm
- Base estabilizada granulometricamente – Brita Graduada – 15 cm
- Sub-base granular – Bica Corrida – 15 cm;
- Reforço de solo com 2% de cal – 20 cm;
- Subleito – ISC de 10%.

Projeto em Pavimento Flexível		
Revestimento	CBUQ com CAP Polímero	8 cm
Base	Estabilizada granulometricamente - Bica Corrida	15 cm
Sub-base	Estabilizada granulometricamente - Bica Corrida	15 cm
Reforço	Solo local com 2% de Cal hidratada	20 cm
Subleito	ISC do Subleito = 10%	

Vetor Norte – trecho 1 – PHV Engenharia

Estudo Econômico de Alternativas em Pavimento Rígido:

I - Alternativa de pavimento rígido convencional com:

- Placa de concreto de Cimento Portland; e
- Sub-base de CCR – Concreto Compactado com Rolo.

II – Alternativa de execução de placa de concreto sobre a estrutura de pavimento flexível já executada em parte da obra, de concepção flexível, compreendendo:

- Placa de concreto de Cimento Portland;
- Imprimação;
- Base de BC - Brita Graduada já executada ou em execução – espessura de 15 cm;
- Sub-base de BC - Bica corrida – espessura de 15 cm.



Estudo de Tráfego

- IMTRAFF – Tráfego Gerado no Empreendimento

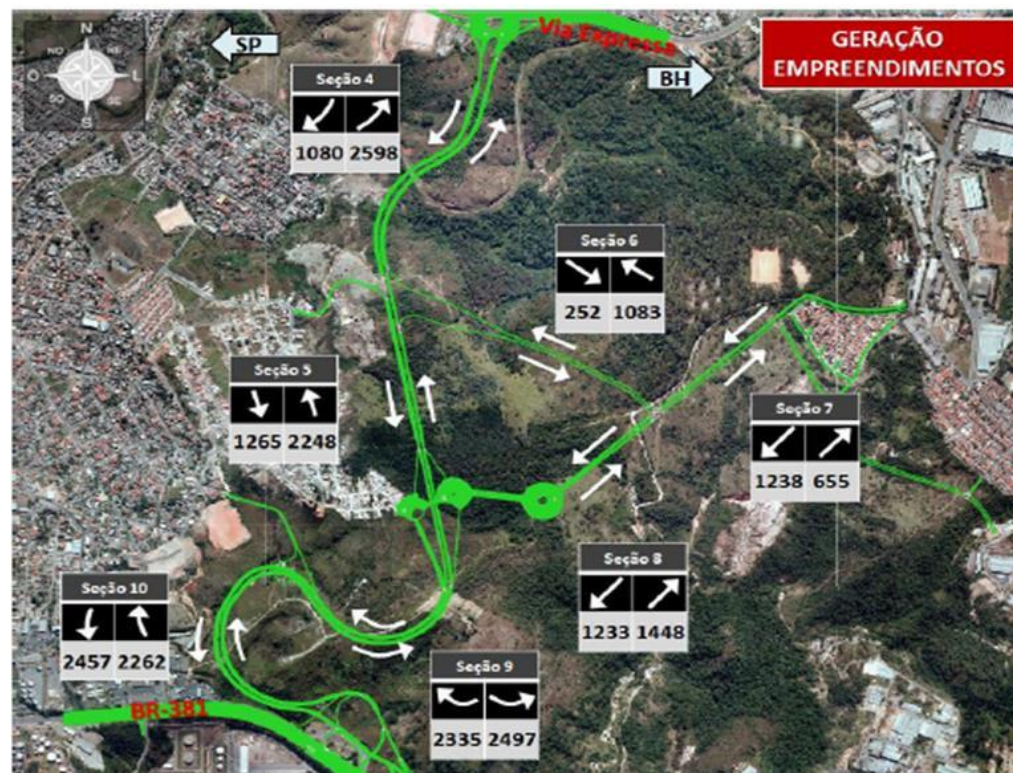


Figura 36: Geração de viagens de todos os 12 empreendimentos esperados (vetor Norte)

- Tráfego desviado das rodovias

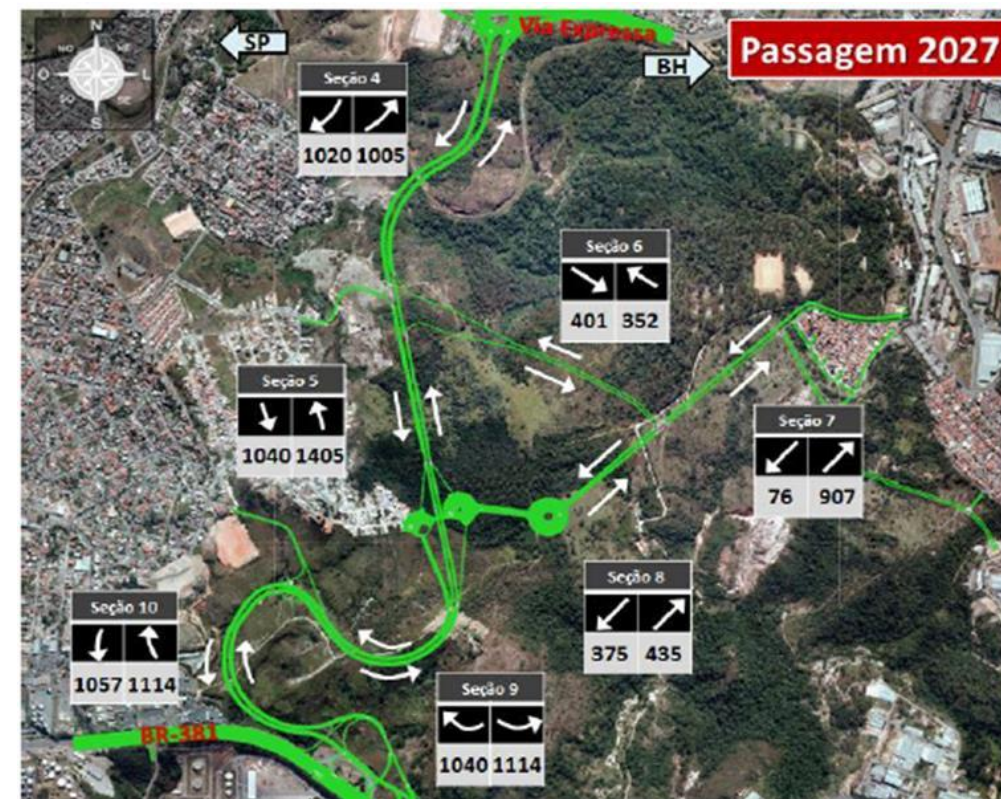


Figura 32: Tráfego de passagem estimado da Via das Indústrias para o cenário futuro (2027)

Estudo de Tráfego

- VMD do DNIT – PNCT – BR-381/MG

VMD - Volume Medio Diário Mensal - 2017 - BR-381												
PLANO NACIONAL DE CONTAGEM DE TRÁFEGO			DNIT		BR-381/MG Km 475							
Dados	Sentido	VMD Comercial	VMDm por Classes									VMD Total
			Ônibus / Caminhão de 2 eixos	Ônibus / Caminhão de 3 eixos	Caminhão de 4 eixos	Caminhão de 5 eixos	Caminhão de 6 eixos	Caminhão de 7 eixos	Caminhão de 8 eixos	Caminhão de 9 eixos	Passeio	
VMD Anual	Sul	8.393	4.415	1.455	1.027	572	746	116	2	61	43.231	51.624
	Norte	9.512	5.491	1.510	956	632	733	134	1	54	46.691	56.203
	Total	17.905	9.906	2.965	1.983	1.204	1.480	250	3	115	89.922	107.827
Composição da frota (%)		16,6%	9,2%	2,7%	1,8%	1,1%	1,4%	0,2%	0,0%	0,1%	83,4%	100,0%

Dimensionamento para Hipóteses de Tráfego

Hipóteses de tráfego = Tráfego desviado da BR-381 + Tráfego Gerado no Empreendimento

ESTUDOS E HIPÓTESES PARA DIMENSIONAMENTO					
Avenida das Indústrias			Vetor Norte - Trecho 1		
Dimensionamento para:					
Tráfego Desviado da BR-381 (de Passagem) + Tráfego Gerado nos Empreendimentos (dfda IMTRAFF)					
Estudo	Hipóteses de desvio de tráfego da BR-382			Desvio Médio semanal	
				Calculado	Adotado
1	Hipótese do Estudo da IMTRAFF - Tráfego de passagem + gerado nos empreendimentos			23%	
2	I	Desvio diário fixo de 10%		10%	10%
3	II	Desvio diário fixo de 20%		20%	20%
4	III	Desvio diário fixo de 10% + Desvio em fechamentos da BR-381 de 1 dia por semana		23%	30%
5	IV	Desvio diário fixo de 10% + Desvio em fechamentos da BR-381 de 2 dias por semana		36%	40%
6	V	Desvio diário fixo de 10% + Desvio em fechamentos da BR-381 de 3 dias por semana		49%	50%
7	Hipótese do Estudo da IMTRAFF - Com Carga Máxima Legal			100%	100%

Frequência de cargas para dimensionamento

Pesagens de eixos dos caminhões na região do projeto.

FREQUÊNCIA DE CARGAS POR EIXOS DA PESAGEM - Histograma de Excesso de Carga por Eixo											
Via: Via das Indústrias			Frequência de Cargas: Pesagem BR-040/MG Km 482								
Eixo Simples de Rodas Simples			Eixo Simples de Rodas Duplas			Eixo Tandem Duplo			Eixo Tandem Triplo		
Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%
Sem excesso	< 6 t	65,7%	Sem excesso	< 10 t	80,3%	Sem excesso	< 17 t	71,9%	Sem excesso	< 25,5 t	49,7%
Tolerância de 10%	6 a 6,6 t	17,7%	Tolerância de 10%	10 a 11 t	11,6%	Tolerância de 10%	17 a 18,7 t	15,8%	Tolerância de 10%	25,5 a 28 t	27,1%
Com excesso	> 6,6 t	16,6%	Com excesso	> 11 t	8,1%	Com excesso	> 18,7 t	12,3%	Com excesso	> 28 t	23,2%
Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%

<p>■ < 6 t ■ 6 a 6,6 t ■ > 6,6 t</p>	<p>■ < 10 t ■ 10 a 11 t ■ > 11 t</p>	<p>■ < 17 t ■ 17 a 18,7 t ■ > 18,7 t</p>	<p>■ < 25,5 t ■ 25,5 a 28 t ■ > 28 t</p>
--	--	--	--

Cargas

Pesagens de eixos dos caminhões na região do projeto.

Frequência por Eixos											
Eixo Simples de Rodas Simples			Eixo Simples de Rodas Duplas			Eixo Tandem Duplo			Eixo Tandem Triplo		
Carga (t)	Freq.	%	Carga (t)	Freq.	%	Carga (t)	Freq.	%	Carga (t)	Freq.	%
1	4	0,0	1	21	0,3	1	0	0,0	1	0	0,0
2	197	2,0	2	93	1,2	2	0	0,0	2	1	0,0
3	671	6,9	3	382	5,1	3	1	0,0	3	0	0,0
4	1216	12,6	4	643	8,6	4	3	0,0	4	0	0,0
5	1848	19,1	5	848	11,4	5	33	0,5	5	1	0,0
6,0	2414	25,0	6	747	10,0	6	245	3,6	6	1	0,0
6,6	1713	17,7	7	771	10,3	7	536	7,9	7	8	0,3
7	943	9,8	8	793	10,6	8	535	7,9	8	26	1,0
8	629	6,5	9	824	11,1	9	390	5,7	9	9	0,3
9	28	0,3	10,0	863	11,6	10	359	5,3	10	10	0,4
10	4	0,0	11,0	866	11,6	11	281	4,1	11	16	0,6
11	1	0,0	12	434	5,8	12	324	4,8	12	19	0,7
12	0	0,0	13	111	1,5	13	408	6,0	13	26	1,0
Soma	9668	100,0	14	35	0,5	14	344	5,1	14	24	0,9
			15	17	0,2	15	381	5,6	15	43	1,6
			16	4	0,1	16	491	7,2	16	62	2,4
			17	0	0,0	17	554	8,1	17	52	2,0
			18	0	0,0	18	613	9,0	18	71	2,7
			19	0	0,0	18,7	463	6,8	19	56	2,1
			20	0	0,0	19	174	2,6	20	94	3,6
			Soma	7452	100,0	20	340	5,0	21	93	3,5
						21	144	2,1	22	103	3,9
						22	62	0,9	23	139	5,3
						23	41	0,6	24	181	6,9
						24	25	0,4	25	183	6,9
						25	16	0,2	25,5	92	3,5
						26	11	0,2	26	135	5,1
						27	15	0,2	27	271	10,3
						28	5	0,1	28	307	11,7
						29	4	0,1	29	277	10,5
						30	0	0,0	30	176	6,7
						31	0	0,0	31	84	3,2
						32	0	0,0	32	43	1,6
						33	0	0,0	33	19	0,7
						34	0	0,0	34	7	0,3
						35	0	0,0	35	2	0,1
						36	0	0,0	36	2	0,1
						Soma	6798	100,0	37	1	0,0
									38	0	0,0
									39	0	0,0
									40	0	0,0
									Soma	2634	100,0

Dimensionamento Método PCA 1984 Sub-base de CCR

Para VMD do
Estudo da IMTRAFF

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO - Cálculo de Solicitações por tipo de Eixo										
Via das Indústrias - Vetor Norte Trecho 1						Estudo: 1 - Estudo de Tráfego da IMTRAFF				
Cargas: Pesagem BR-040/MG Km 482						Fator direcional K: 0,35		Taxa de crescimento: 2,84%		
Projeção do tráfego - VMD por classe de veículos - Bidirecional (dois sentidos)										
ANO	Vida	VMD por classe de Caminhões								VMD comercial
		2 eixos	3 eixos	4 eixos	5 eixos	6 eixos	7 eixos	9 eixos	9 eixos	
		2C	3C	2S2	2S3	3S3	Bitrem 3D4	Rodotrem 3T6	Bitrem 3M6	
2018		4.477	1.340	896	544	669	113	26	26	8.090
2019	1	4.604	1.378	921	559	688	116	27	27	8.320
2020	2	4.734	1.417	948	575	707	120	27	27	8.556
2021	3	4.869	1.457	974	592	727	123	28	28	8.799
2022	4	5.007	1.499	1.002	608	748	126	29	29	9.049
2023	5	5.149	1.541	1.031	626	769	130	30	30	9.306
2024	6	5.296	1.585	1.060	643	791	134	31	31	9.570
2025	7	5.446	1.630	1.090	662	813	137	32	32	9.842
2026	8	5.601	1.676	1.121	681	837	141	33	33	10.122
2027	9	5.760	1.724	1.153	700	860	145	33	33	10.409
2028	10	5.923	1.773	1.186	720	885	150	34	34	10.705
2029	11	6.092	1.823	1.219	740	910	154	35	35	11.009
2030	12	6.265	1.875	1.254	761	936	158	36	36	11.321
2031	13	6.442	1.928	1.289	783	962	163	37	37	11.643
2032	14	6.625	1.983	1.326	805	990	167	38	38	11.973
2033	15	6.814	2.039	1.364	828	1.018	172	40	40	12.313
2034	16	7.007	2.097	1.402	851	1.047	177	41	41	12.663
2035	17	7.206	2.157	1.442	876	1.076	182	42	42	13.023
2036	18	7.411	2.218	1.483	900	1.107	187	43	43	13.393
2037	19	7.621	2.281	1.525	926	1.138	192	44	44	13.773
2038	20	7.838	2.346	1.569	952	1.171	198	45	45	14.164
VMD 20 anos		121.710	36.429	24.359	14.789	18.179	3.073	706	706	219.952
Volume total (365 dias em 20 anos)		44.424.052	13.296.571	8.891.164	5.398.006	6.635.392	1.121.533	257.867	257.867	80.282.451

Dimensionamento Sub-base de CCR

Para VMD do
Estudo da IMTRAFF

Fluxo total por classe de veículos - Período de 20 anos - Monodirecional (um sentido) - para Fator K									
Veículos	2C	3C	2S2	2S3	3S3	3D4	3T6	3M6	Soma
VMD 20 anos	42.598	12.750	8.526	5.176	6.363	1.075	247	247	76.983
Volume total (365 dias em 20 anos)	15.548.418	4.653.800	3.111.907	1.889.302	2.322.387	392.536	90.253	90.253	28.098.858
Eixos por tipo de veículo									
Eixos	2C	3C	2S2	2S3	3S3	3D4	3T6	3M6	Soma
Simple RS	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Simple RD	1		1	1					3
Tandem Duplo		1	1		1	3	4	1	11
Tandem Triplo				1	1			2	4
Solicitações do tráfego por tipo de eixo - Período de 20 anos - Monodirecional (um sentido)									
Eixos	2C	3C	2S2	2S3	3S3	3D4	3T6	3M6	Soma
Simple RS	15.548.418	4.653.800	3.111.907	1.889.302	2.322.387	392.536	90.253	90.253	28.098.858
Simple RD	15.548.418	0	3.111.907	1.889.302	0	0	0	0	20.549.628
Tandem Duplo	0	4.653.800	3.111.907	0	2.322.387	1.177.609	361.013	90.253	11.716.970
Tandem Triplo	0	0	0	1.889.302	2.322.387	0	0	180.507	4.392.196
Solicitações por eixos Totais 20 anos 365 dias por ano									
Eixos								Solicitações	
Simple de Rodas Simple e Duplas								48.648.486	
Tandem Duplos								11.716.970	
Tandem Triplos								4.392.196	
Total								64.757.651	

Dimensionamento Método PCA 1984 Sub-base de CCR

Para VMD do
Estudo da IMTRAFF

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO - Método PCA 1984								
Via das Indústrias - Vetor Norte Trecho 1				Estudo: 1 - Tráfego da IMTRAFF				
Pesagem BR-040/MG Km 482		Fator direcional K: 0,35		Taxa de crescimento: 2,84%				
Modelo Estrutural:				Espessura (cm)		Coeficiente de recalque - K (Mpa/m)		
Revestimento:		Placa de Concreto		21		Do sistema subleito/sub-base (adotado) - K = 144		
Sub-base:		CCR		10		Para CBR do Subleito - K = 49		
		Subleito CBR: 10%		Juntas com Barra de Transferência: Sim				
Dados	Acostamento de Concreto: Sim		Placa (cm) 21		Eixos	Tensão Equival.	Fator de Fadiga	Fator de Erosão
	Período de Projeto (anos) = 20		K = 144		Simples	1,12	0,25	2,26
	Fator de Segurança - Fsc = 1,2				Tandem Duplo	0,93	0,21	2,27
	Concreto - fctM,k (MPa) = 4,5				Tandem Triplo	0,82	0,18	2,28
Eixos	Cargas e Solicitações por Eixos				Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
	Cargas Por Eixo			Número de Repetições Previstas	Número de Repetições Admissível	Consumo de fadiga (%)	Número de Repetições Admissível	Danos Por Erosão (%)
	Intervalo Carga (tf)	Carga (tf)	Carga x Fsc (tf)					
	< 5	5,0	6,0	13.941.159	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	5 a 6	6,0	7,2	7.440.149	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	6 a 7	7,0	8,4	8.066.242	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	7 a 8	8,0	9,6	3.347.008	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	8 a 9	9,0	10,8	2.005.380	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	9 a 10	10,0	12,0	2.040.686	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	10 a 11	11,0	13,2	2.040.686	ilimitado	0,0	15.000.000	13,6
	11 a 12	12,0	14,4	1.021.520	ilimitado	0,0	4.000.000	25,5
	12 a 13	13,0	15,6	261.264	5.000.000	5,2	1.900.000	13,8
	13 a 14	14,0	16,8	82.381	600.000	13,7	1.000.000	8,2
14 a 15	15,0	18,0	40.013	180.000	22,2	630.000	6,4	
15 a 16	16,0	19,2	9.415	70.000	13,4	400.000	2,4	
Subtotal - Eixos Simples					Soma Fadiga:	54,6	Soma erosão:	69,8

Dimensionamento Método PCA 1984 Sub-base de CCR

Para VMD do
Estudo da IMTRAFF

Eixos	Cargas e Solicitações por Eixos				Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
	Cargas Por Eixo			Número de Repetições Previstas	Número de Repetições Admissível	Consumo de fadiga (%)	Número de Repetições Admissível	Danos Por Erosão (%)
	Intervalo Carga (tf)	Carga (tf)	Carga x Fsc (tf)					
Eixos Tandem Duplos	< 10	10,0	12,0	3.000.948	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	10 a 11	11,0	13,2	401.173	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	11 a 12	12,0	14,4	462.563	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	12 a 13	13,0	15,6	582.487	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	13 a 14	14,0	16,8	491.116	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	14 a 15	15,0	18,0	543.940	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	15 a 16	16,0	19,2	700.983	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	16 a 17	17,0	20,4	790.925	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	17 a 18	18,0	21,6	875.157	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	18 a 19	19,0	22,8	909.421	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	19 a 20	20,0	24,0	485.405	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	20 a 21	21,0	25,2	205.583	ilimitado	0,0	30.000.000	0,7
	21 a 22	22,0	26,4	88.515	ilimitado	0,0	12.000.000	0,7
	22 a 23	23,0	27,6	58.534	ilimitado	0,0	7.000.000	0,8
	23 a 24	24,0	28,8	35.692	ilimitado	0,0	3.500.000	1,0
	24 a 25	25,0	30,0	22.843	ilimitado	0,0	2.600.000	0,9
	25 a 26	26,0	31,2	15.704	ilimitado	0,0	2.000.000	0,8
	26 a 27	27,0	32,4	21.415	ilimitado	0,0	1.400.000	1,5
	27 a 28	28,0	33,6	7.138	ilimitado	0,0	1.000.000	0,7
28 a 29	29,0	34,8	5.711	ilimitado	0,0	800.000	0,7	
Subtotal - Eixos Tandem Duplos					Soma Fadiga:	0,0	Soma erosão:	7,9

Dimensionamento Método PCA 1984 Sub-base de CCR

Para VMD do
Estudo da IMTRAFF

Eixos	Cargas e Solicitações por Eixos			Análise de Fadiga		Análise de Erosão		
	Cargas Por Eixo			Número de Repetições Previstas	Número de Repetições Admissível	Consumo de fadiga (%)	Número de Repetições Admissível	Danos Por Erosão (%)
	Intervalo Carga (tf)	Carga (tf)	Carga x Fsc (tf)					
Eixos Tandem Triplos	<15	15,0	18,0	254.141	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	15 a 16	16,0	19,2	85.635	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	16 a 17	17,0	20,4	71.823	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	17 a 18	18,0	21,6	98.065	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	18 a 19	19,0	22,8	77.347	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	19 a 20	20,0	24,0	129.833	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	20 a 21	21,0	25,2	128.452	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	21 a 22	22,0	26,4	142.264	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	22 a 23	23,0	27,6	191.987	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	23 a 24	24,0	28,8	249.998	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	24 a 25	25,0	30,0	252.760	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	25 a 26	26,0	31,2	313.533	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	26 a 27	27,0	32,4	374.306	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	27 a 28	28,0	33,6	424.029	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	28 a 29	29,0	34,8	382.593	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0
	29 a 30	30,0	36,0	243.092	ilimitado	0,0	70.000.000	0,3
	30 a 31	31,0	37,2	116.021	ilimitado	0,0	30.000.000	0,4
	31 a 32	32,0	38,4	59.392	ilimitado	0,0	17.000.000	0,3
	32 a 33	33,0	39,6	26.243	ilimitado	0,0	9.500.000	0,3
	33 a 34	34,0	40,8	9.668	ilimitado	0,0	8.000.000	0,1
34 a 35	35,0	42,0	2.762	ilimitado	0,0	4.500.000	0,1	
35 a 36	36,0	43,2	2.762	ilimitado	0,0	3.300.000	0,1	
36 a 37	37,0	44,4	1.381	ilimitado	0,0	2.700.000	0,1	
Subtotal - Eixos Tandem Triplos					Soma Fadiga:	0,0	Soma erosão:	1,7
Totais (%)				Consumo de Fadiga:		54,6	Dano Erosão:	79,4
Conclusão: 21 cm - Placa SUFICIENTE pela Análise de Fadiga e de Erosão.								

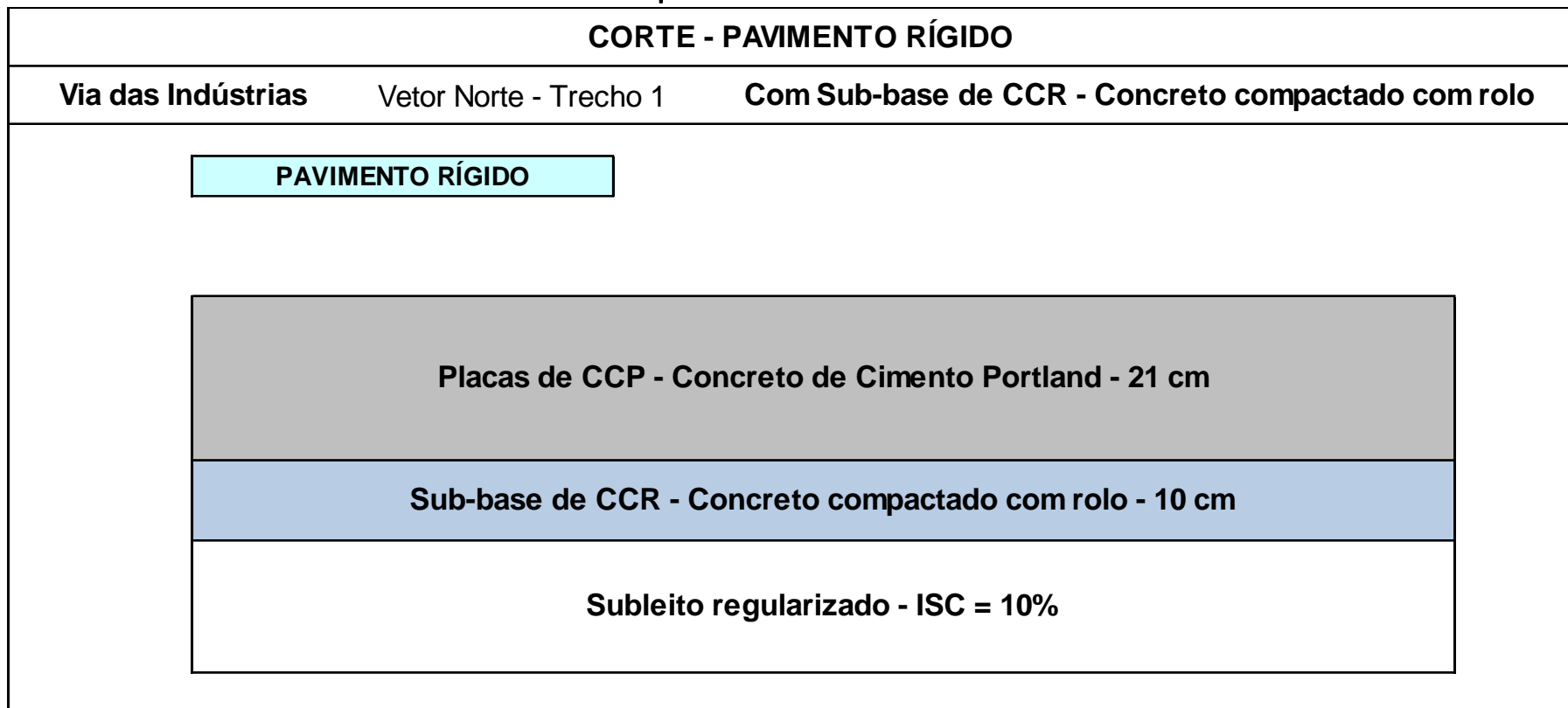
Dimensionamento Sub-base de CCR

Para VMD do
Estudo da IMTRAFF
Análise para
70% com
Carga Máxima Legal com
tolerância de 10%
30% vazios

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO - Método PCA 1984									
Via das Indústrias - Vetor Norte Trecho 1			Estudo: 7 - VMD do Estudo da IMTRAFF e Carga Máxima Legal						
70% com Carga Máxima Legal com a tolerância de			Fator direc. K:	0,35	Taxa de crescimento:	2,84%			
Modelo Estrutural:				Espessura (cm)		Coeficiente de recalque - K (Mpa/m)			
Revestimento:	Placa de Concreto			21	Do sistema subleito/sub-base (adotado) - K = 144				
Sub-base:	CCR			10	Para CBR do Subleito - K = 49				
Subleito		CBR:		10%					
Juntas com Barra de Transferência: Sim									
Dados	Acostamento de Concreto:		Sim	Placa (cm)	Eixos	Tensão Equival.	Fator de Fadiga	Fator de Erosão	
	Período de Projeto (anos) =		20		21	Simplex	1,12	0,25	2,26
	Fator de Segurança - Fsc =		1,2		K =	Tandem Duplo	0,93	0,21	2,27
	Concreto - fctM,k (MPa) =		4,5		144	Tandem Triplo	0,82	0,18	2,28
Eixos	Cargas e Solicitações por Eixos				Análise de Fadiga		Análise de Erosão		
	Cargas Por Eixo			Número de Repetições Previstas	Número de Repetições Admissível	Consumo de fadiga (%)	Número de Repetições Admissível	Danos Por Erosão (%)	
	Intervalo Carga (tf)	Carga (tf)	Carga x Fsc (tf)						
	< 4	4,0	4,8	8.429.657	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0	
	4 a 5	5,0	6,0	6.164.888	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0	
6 a 6,6	6,6	7,9	19.669.200	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0		
10 a 11	11,0	13,2	14.384.739	ilimitado	0,0	18.000.000	79,9		
Subtotal - Eixos Simples					Soma Fadiga:	0,0	Soma erosão:	79,9	
Eixos Tandem	< 6	6,0	7,2	3.515.091	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0	
	17 a 18,7	18,7	22,4	8.201.879	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0	
	Subtotal - Eixos Tandem Duplos					Soma Fadiga:	0,0	Soma erosão:	0,0
Eixos Tandem	< 8	8,0	9,6	1.317.659	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0	
	25,5 a 28	28,0	33,6	3.074.537	ilimitado	0,0	ilimitado	0,0	
	Subtotal - Eixos Tandem Triplos					Soma Fadiga:	0,0	Soma erosão:	0,0
Totais (%)				Consumo de Fadiga:		0,0	Dano Erosão:		
						0,0	79,9		
Conclusão: 21 cm - Placa SUFICIENTE pela Análise de Fadiga e de Erosão.									

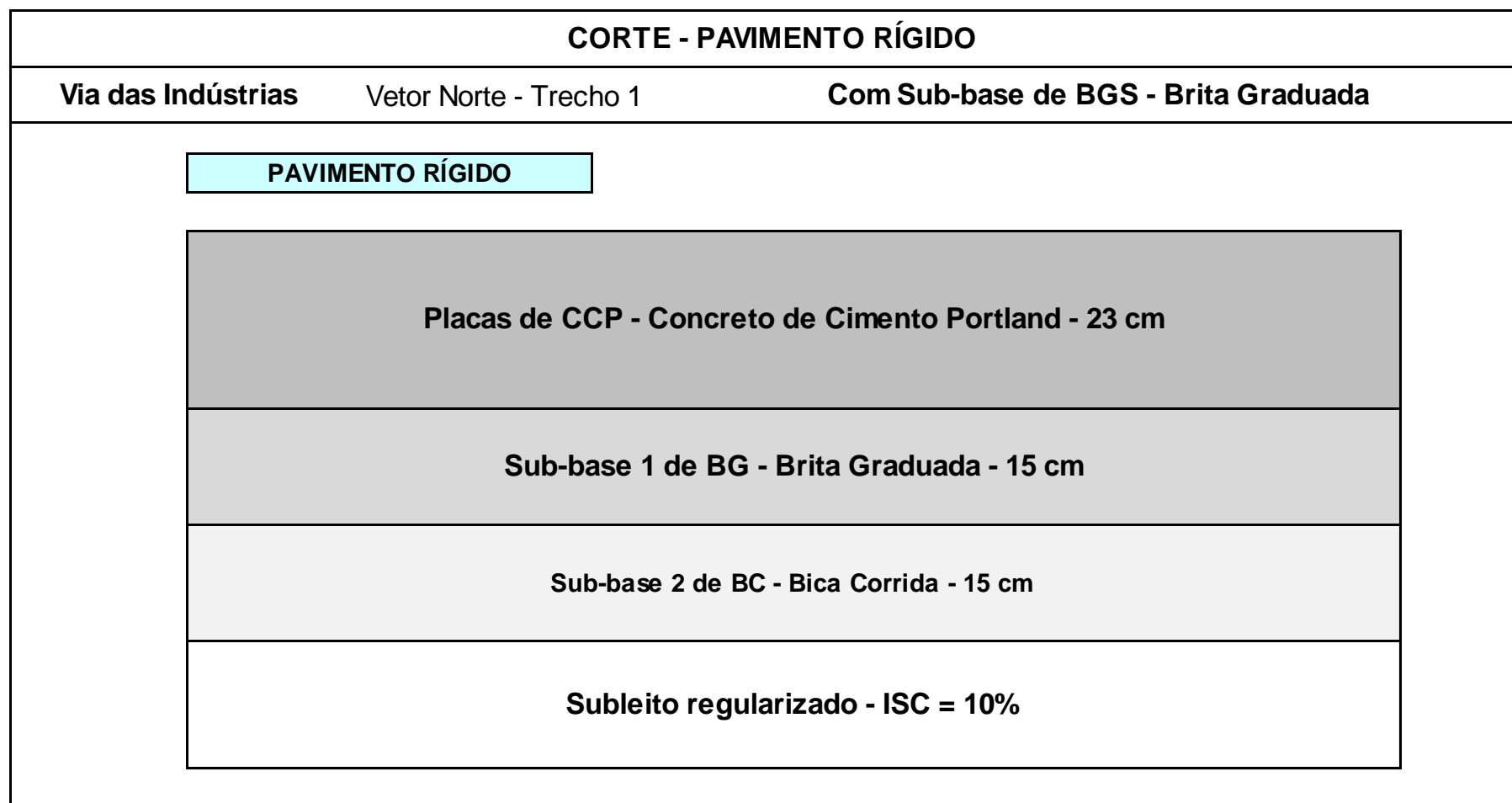
Pavimento Rígido - Dimensionamento - CCR

- Com Sub-base de CCR – Concreto compactado com rolo



Pavimento Rígido – Dimensionamento - BGS

- Com Sub-base de BGS – Brita graduada (já executada)



Dimensionamento de barras de aço

PROJETO DE JUNTAS - BARRAS DE TRANSFERÊNCIA E DE LIGAÇÃO						
Via das Indústrias		Placa de concreto - 21 cm			Sub-base de CCR	
Barras de Transferência - Juntas Transversais - Aço CA-25						
	Espessura da placa cm	Diâmetro da barra - d mm	Comprimento - l cm	Espaçamento - e cm		
	21	25	46	30		
Barras de Ligação - Juntas Longitudinais						
Cálculo do diâmetro das barras de ligação - Aço CA-50						
Espessura da Placa - h cm	Distância entre juntas - b m	Coefficiente de atrito - f m	Peso específico do concreto - γ_c N/m ²	Tensão admissível do aço - S MPa	Área de aço - AS cm ² /m	Diâmetro da barra mm
21	3,6	1,5	24.000	333	0,82	12,5
Diâmetros das barras de Aço			Diâmetro		Área	
			mm	cm	AS	
			12,5	1,25	1,23	
			10	1,00	0,79	
Cálculo do comprimento das barras de ligação - Aço CA-50						
Espessura da Placa - h cm	Diâmetro da barra - d cm	Tensão admissível do aço - S MPa	tensão de aderência - T_b MPa	Comprimento da barra		
				calculado cm	l adotado cm	l/2 cm
21	1,25	333	2,45	88,7	90	45
Resumo de Barras de Ligação - Juntas Longitudinais - Aço CA-50						
	Espessura da placa cm	Diâmetro da barra - d mm	Comprimento - l cm	Comprimento - l/2 cm	Espaçamento - e cm	
	21	12,5	90	45	80	

Estudo de Manutenção

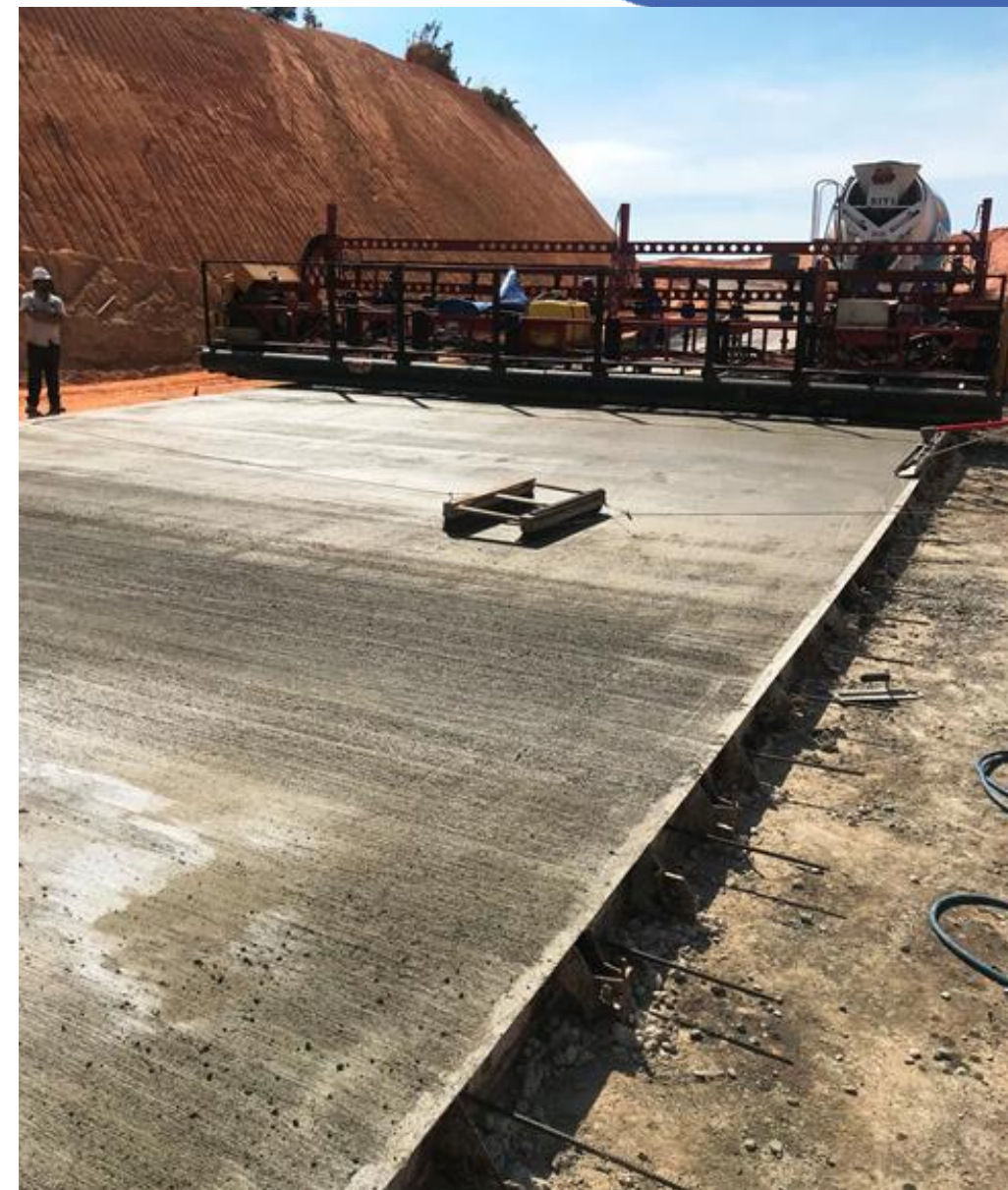
Via das Indústrias		Vetor Norte Trecho 1		MANUTENÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO EXISTENTE										ESTIMATIVA DE QUANTIDADES DE MANUTENÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO															
Cálculo de Área de Pavimento Rígido a manter								CONSUMOS																					
Área de pavimento rígido (m ²)	Local	Quantidades						Espessura de Placa						Consumo de Selagem de junta por m ² de pavimento =						Tela Soldada									
		Estaca Inicial	Estaca Final	Extens. (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Total (m ²)	21 cm						0,54 m/m ²						5,37 kg/m ³									
Total	Pista																												
22.364		Interseções																											
Manutenção		Anos																				Total							
Pavimento Rígido		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20								
		2.019	2.020	2.021	2.022	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030	2.031	2.032	2.033	2.034	2.035	2.036	2.037	2.038								
Plano de manutenção do pavimento rígido - áreas de pavimento rígido a sofrer manutenção por ano																						Periodicidade - a cada 5 anos (aproximadamente)							
Cronograma																													
Área (m ²)						22.364					22.364						22.364											22.364	
Serviços		Quantidades		Quantidades de serviços de manutenção de pavimento rígido																									
Reparos de placas danificadas	% da Área					0,2%					0,2%						0,2%											0,5%	
	Área (m ²)					45					45						45											112	
	Esp. (cm)					21					21						21											21	
	Volume (m ³)					9					9						9											23	52
Ressagem de juntas com selante a frio	% da Área										100%																	100%	
	Área (m ²)										22.364																	22.364	
	Extensão (m)										12.077																	12.077	24.153
Quantidades por anos		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total							
Reparos de placas danificadas:																													
Demolição e remoção de placas de concreto						9					9						9											23	52
Concreto de cimento portland com equipamento de pequeno porte AC/BP						9					9						9											23	52
Tela de aço eletrosoldada - fornecimento, preparo e colocação						50					50						50											126	277
Ressagem de juntas																													
Ressagem de juntas em pavimento de concreto, limpeza e enchimento com											12.077																	12.077	24.153

Pavimento Rígido – Obra

Projeto – MARCÍLIO Eng.

Obra – COMARO

Assistência técnica, treinamento de equipes,
controle e acompanhamento – Giublin (CRG)



Pavimento Rígido – Obra



Pavimento Rígido – Obra



Parte 1 - Pavimento Rígido Econômico em Empreendimento Particular

1.3. O que está viabilizando o Pavimento Rígido sob o aspecto econômico



O que está viabilizando as obras em Pavimento Rígido sob o aspecto econômico?

I - Aumentos constantes dos preços de materiais asfálticos?

II - ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DE ALTERNATIVAS



Comparação de Custos entre Pavimentos

- Flexível
- Semi-rígido
- Rígido

Pavimento Rígido – Geralmente Dimensionamento para Carga Máxima Legal com Tolerância

Projetos geralmente consideram **TODOS OS CAMINHÕES** trafegando com Eixos com Carga Máxima Legal com tolerância de

Antes de 7,5% => Agora de 10%:

- Eixo simples – 10 t => 11 t
- Eixo tandem duplo – 17 t => 18,4 t
- Eixo tandem triplo – 25,5 t => 28 t

PLACAS Com 24 cm

25 cm

26 cm

Pavimento Rígido – Dimensionamento para 100% dos Caminhões com Carga Máxima Legal com Tolerância 10%

Acesso ao Porto de Santos

Rodovia BR-277/PR – Acesso ao Porto de Paranaguá

Rodovias de Mineradoras



Projeto de Pavimento Rígido Econômico – para Pesagem de Eixos

ESTATÍSTICA DE EXCESSO DE CARGA POR EIXO											
Rodovia: BR-163/MT			Balança: Todas as Pesagens Sentido: Sul								
Eixo Simples de Rodas Simples			Eixo Simples de Rodas Duplas			Eixo Tandem Duplo			Eixo Tandem Triplo		
Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%	Situação	Carga	%
Sem excesso	< 6 t	66,7%	Sem excesso	< 10 t	67,7%	Sem excesso	< 17 t	26,4%	Sem excesso	< 25,5 t	51,2%
Tolerância de 10%	6 a 6,6 t	29,9%	Tolerância de 10%	10 a 11 t	20,9%	Tolerância de 10%	17 a 18,7 t	50,8%	Tolerância de 10%	25,5 a 28 t	39,5%
Com excesso	> 6,6 t	3,3%	Com excesso	> 11 t	11,4%	Com excesso	> 18,7 t	22,8%	Com excesso	> 28 t	9,3%
Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%	Total		100,0%

<p>■ < 6 t ■ 6 a 6,6 t ■ > 6,6 t</p>	<p>■ < 10 t ■ 10 a 11 t ■ > 11 t</p>	<p>■ < 17 t ■ 17 a 18,7 t ■ > 18,7 t</p>	<p>■ < 25,5 t ■ 25,5 a 28 t ■ > 28 t</p>
--	--	--	--

Realidade – Cargas por Eixo Variáveis

Eixo Simples de Rodas			Eixo Simples de Rodas			Eixo Tandem Duplo			Eixo Tandem Triplo		
Carga (t)	Freq.	%	Carga (t)	Freq.	%	Carga (t)	Freq.	%	Carga (t)	Freq.	%
1	80	0,9	1	93	5,0	1	1	0,0	1	1	0,0
2	23	0,2	2	19	1,0	2	3	0,0	2	0	0,0
3	83	0,9	3	41	2,2	3	0	0,0	3	0	0,0
4	207	2,2	4	104	5,6	4	0	0,0	4	0	0,0
5	725	7,7	5	122	6,6	5	4	0,0	5	0	0,0
6,0	5162	54,9	6	137	7,4	6	34	0,2	6	1	0,0
6,6	2817	29,9	7	125	6,8	7	153	0,9	7	3	0,0
7	221	2,3	8	118	6,4	8	170	1,0	8	7	0,1
8	72	0,8	9	175	9,5	9	102	0,6	9	4	0,1
9	14	0,1	10,0	317	17,1	10	65	0,4	10	2	0,0
10	6	0,1	11,0	387	20,9	11	86	0,5	11	3	0,0
11	1	0,0	12	140	7,6	12	134	0,8	12	7	0,1
12	0	0,0	13	44	2,4	13	179	1,1	13	7	0,1
Soma	9411	100,0	14	18	1,0	14	122	0,7	14	8	0,1
			15	4	0,2	15	234	1,4	15	13	0,2
			16	2	0,1	16	668	4,0	16	8	0,1
			17	3	0,2	17,0	2506	14,9	17	11	0,2
			18	0	0,0	18	5494	32,6	18	23	0,3
			19	0	0,0	18,7	3071	18,2	19	18	0,3
			20	0	0,0	19	888	5,3	20	32	0,5
			Soma	1849	100,0	20	1830	10,9	21	51	0,8
						21	768	4,6	22	168	2,5
						22	250	1,5	23	450	6,7
						23	51	0,3	24	819	12,2
						24	27	0,2	25	1226	18,2
						25	16	0,1	25,5	581	8,6
						26	8	0,0	26	571	8,5
						27	6	0,0	27	1128	16,8
						28	0	0,0	28	960	14,3
						29	0	0,0	29	452	6,7
						30	0	0,0	30	112	1,7
						31	0	0,0	31	38	0,6
						32	0	0,0	32	8	0,1
						33	0	0,0	33	6	0,1
						34	0	0,0	34	3	0,0
						35	0	0,0	35	3	0,0
						Soma	16866	100,0	Soma	6724	100,0

Calculation of Pavement Thickness

Project Design 2A, two-lane secondary road
 Trial thickness 6.0 in. Doweled joints: yes _____ no
 Subbase-subgrade k 100 pci Concrete shoulder: yes _____ no
 Modulus of rupture, MR 650 psi Design period 40 years
 Load safety factor, LSF 1.0

no subbase

Método PCA 1984 original

Dimensionamento para cargas variadas

Axle load, kips	Multiplied by LSF 1.0	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue, percent	Allowable repetitions	Damage, percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress 4.11 10. Erosion factor 3.40

9. Stress ratio factor 0.632

Single Axles

22	22	130	340	38.2	120,000	0.1
20	20	550	2,000	27.5	210,000	0.3
18	18	2,080	13,000	16.0	380,000	0.5
16	16	5,000	80,000	6.2	740,000	0.7
14	14	7,370	800,000	0.9	1,600,000	0.5
12	12	16,290	Unlimited	0	4,200,000	0.4
10	10	26,930	"	0	15,000,000	0.2
8	8	63,500	"	0	Unlimited	0
6	6	96,180			"	0

11. Equivalent stress 3.48 13. Erosion factor 3.52

12. Stress ratio factor 0.535

Tandem Axles

36	36	550	190,000	0.3	160,000	0.3	
32	32	9,140	2,500,000	0.3	310,000	2.9	
28	28	9,000	Unlimited	0	660,000	1.4	
24	24	5,150	"	0	1,700,000	0.3	
20	20	7,500	"	0	5,400,000	0.1	
16	16	9,860			26,000,000	0	
12	12	18,300			Unlimited	0	
8	8	11,250			"		
				Total	89.4	Total	7.7

Fig. 8. Design 2A.

Pesagem para Dimensionamento

IMPORTANTE -

Dimensionamento de Pavimento Flexível, Semi-Rígido e Rígido:
Frequências de Cargas e Número N calculado:

❑ **com base em Pesagens reais dos eixos no trecho.**

- Com mobilização de Balança Móvel;
- Sem autuação (multa);
- Divulgar que é para Pesquisa!

Pesagem de Eixos de Caminhões
– 7 dias – Máximo R\$ 200.000



Parte 2 – Redução de Espessuras de Concreto Asfáltico em Pavimentos Semi-rígidos



Preços do Asfalto

CNT – agosto/2019

“Estudo da CNT aponta que preço do asfalto aumentou 108% em um ano e meio”.

“No mesmo período, afirma a entidade, o barril do petróleo subiu 33%”.



Reflexo: Custo cada vez mais elevado do CBUQ

Necessidade de Estudo Econômico de Alternativas.



Dimensionamento de Pavimento Asfáltico

Método de dimensionamento do DNER/DNIT

Manual de Pavimentação do DNIT de 2006 - Tabela 32:

“Espessura mínima de Revestimento – A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer se trate de proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer se trate de evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. As espessuras a seguir recomendadas, Tabela 32, **visam especialmente as bases de comportamento puramente granular** e são definidas pelas observações efetuadas”.

Tabela 32 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

Número “N”	Espessura mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Dimensionamento de Pavimento Asfáltico

Método de dimensionamento do DNER/DNIT - Tabela 32:

- “*visam especialmente as bases de comportamento puramente granular*”.
- Em Pavimentos de concepção FLEXÍVEL.
- Com base estabilizada granulometricamente, **configurando uma base de comportamento puramente granular**.

Pavimentos de concepção SEMI-RÍGIDA:

- Base de BGTC – Brita graduada tratada com Cimento ou SC – Solo Cimento.
- Passa-se a não se ter mais uma base de comportamento puramente granular.
- **Não sendo necessário definir a espessura de revestimento na Tabela 32.**
- Espessura de revestimento – definida por Análise Mecânica.

DNIT / TCU

Dimensionamento de Pavimento Asfáltico

DER-SP – Instrução de Projeto IP-DE-P00/001

Tabela 12 – Tipos e Espessuras Mínimas de Revestimento

Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico	Número “N”
Tratamentos superficiais asfálticos duplos e triplos	$N \leq 1 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

Estudo econômico de alternativas – Caso 1

Rodovia Concessionada

Projeto e Obra com Pavimento com concepção Semi-rígida:

- Base de SMC – Solo melhorado com 3% de Cimento (cascalho laterítico)
- Sub-base de SEG – solo estabilizado granulometricamente (cascalho laterítico)

Ensaio de módulos de resiliência em Laboratório

Alternativa estudada – Pavimento com concepção Flexível:

Problema para exploração da jazida de cascalho:

- Base de BGS – Brita graduada – módulo baixo (200 a 250 MPa)
- Sub-base de MS – Macadame Seco

Dimensionamentos por Análise Mecânica



Caso 1 Dimensionamento

Alternativa Semi-rígida

Base de SMC
Cimento = 3%
Resistência à
Compressão
2,5 MPa

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO POR ANÁLISE MECANÍSTICA

Pavimento SEMI-RÍGIDO

1) Modelo Estrutural e Tráfego		Módulos em Mpa	Poisson	Espessura (cm)
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	ϵ_t	E1 = 2.857	m1 = 0,30	H1 = 9
TSD - Tratamento Superficial Duplo				
Base de SMC - Solo Melhorado com 3% de Cimento	σ_t	E2 = 1.491	m2 = 0,20	H2 = 20
Sub-base de SEG - Solo estabilizado granulometricamente (cascalho)	ϵ_v	E3 = 567	m3 = 0,35	H3 = 20
Subleito - ISC > 12%		E4 = 120	m4 = 0,40	H4 = ∞

Período projeto (anos):	10	Número N (USACE) =	5,10E+07	Número N (AASHTO) =	1,01E+07
-------------------------	----	--------------------	----------	---------------------	----------

2) Esforços Limites - Tensões, Deformações e Deflexão

Critério de Fadiga do revestimento:		Deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento ϵ_t		
Equação	k	n	ϵ_t limite	$N = K \times \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^n \quad \epsilon_t = A * N^B$
FHWA 1976	1,092E-06	3,512	2,03E-04	Adotado: ϵ_t limite = 2,03E-04 Equação: FHWA 1976
Asphalt Institute	2,961E-05	3,291	3,13E-04	
Pinto & Preussler	2,85E-07	3,69	2,13E-04	

Critério de Deformação no subleito:		Deformação específica de compressão no topo do subleito ϵ_v		
Equação	k	n	ϵ_v limite	$N = K \times \left(\frac{1}{\epsilon_v}\right)^n \quad \epsilon_v = A * N^B$
Dormon & Metcalf	6,069E-10	4,762	2,79E-04	Adotado: ϵ_v limite = 2,01E-04 Equação: The Asphalt Institute
Shell (Claessen et all)	6,15E-07	4,00	3,31E-04	
The Asphalt Institute (Santucci)	1,338E-09	4,484	2,01E-04	

Critério de Deflexão admissível:		Deflexão máxima sobre o revestimento (0,01 mm) D_o		
Equação	K	n	Dadm	$\log D_{adm} = k - n \times \log N$ $SR = Dadm \times 0,5 \quad Nf = 10^{\left(\frac{3,01 - (\log(D_o))}{0,176}\right)}$
Procedimento DNER-PRO 011/79	3,01	0,174	47	Adotado: Dadm = 23,3
Procedimento DNER-PRO 269/94	3,15	0,188	50	

Critério de Fadiga da base rígida:		Tensão de tração na base rígida com cimento (MPa) σ_t				$SR = \frac{\sigma_t}{\sigma_R}$
Equação	σ_R - tensão de ruptura de tração	A	B	σ_R (Mpa)	σ limite (MPa)	$N = 10^{\left(\frac{SR-A}{B}\right)}$ $SR = A + (B \times \log N)$
Modelo de Ceratti para Solo-cimento		94,76	-2,50	0,50	0,38	

Caso 1 Dimensionamento

Alternativa Semi-rígida

Base de SMC
Cimento = 3%
Resistência à
Compressão
2,5 MPa

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO POR ANÁLISE MECANÍSTICA					Pavimento SEMI-RÍGIDO		
1) Modelo Estrutural e Tráfego		Módulos em Mpa		Poisson	Espessura (cm)		
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente		ϵt	E1 = 2.857	m1 = 0,30	H1 = 9		
TSD - Tratamento Superficial Duplo							
Base de SMC - Solo Melhorado com 3% de Cimento		σt	E2 = 1.491	m2 = 0,20	H2 = 20		
Sub-base de SEG - Solo estabilizado granulometricamente (cascalho)		ϵv	E3 = 567	m3 = 0,35	H3 = 20		
Subleito - ISC > 12%			E4 = 120	m4 = 0,40	H4 = ∞		
Período projeto (anos):	10	Número N (USACE) =	5,10E+07	Número N (AASHTO) =	1,01E+07		
3) Verificação dos Esforços e Cálculo da Vida Útil (durabilidade) para cada Critério					(*) Tração + / Compressão -		
Critérios	Equações	Esforços calculados	Esforços limites	Atende?	Número Nf	Número N 10 anos	Vida útil (anos)
<u>Fadiga do revestimento:</u> Deformação específica de tração na fibra inferior do CBUQ ϵt (*)	FHWA 1976	$\epsilon t = 3,97E-05$	2,03E-04	Atende	3,14E+09	1,01E+07	> 10 anos
<u>Deformação no subleito:</u> Deformação específica de compressão - topo do subleito ϵv	Asphalt Institute	$\epsilon v = 1,92E-04$	2,01E-04	Atende	6,25E+07	5,10E+07	> 10 anos
<u>Deflexão admissível:</u> Deflexão máxima sobre o revestimento (0,01 mm) D_o	DNER-PRO 011/79	$D_o = 22,6$	23,3	Atende	3,30E+09	5,10E+07	> 10 anos
<u>Fadiga da base rígida:</u> Tensão de tração na base rígida com cimento (MPa) σt	Ceratti (solo-cimento)	$\sigma t = 0,12$	0,38	Atende	2,74E+28	5,10E+07	> 10 anos
Conclusão:	Solução atende aos critérios de análise para espessura de CBUQ de:						9 cm

Caso 1

Dimensionamento

Alternativa

Flexível

Base de BGS

Brita Graduada

Sem coesão –

Módulo baixo

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO POR ANÁLISE MECANÍSTICA

Pavimento FLEXÍVEL

1) Modelo Estrutural e Tráfego		Módulos em Mpa	Poisson	Espessura (cm)
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	ϵ_t ↔	E1 = 2.857	m1 = 0,30	H1 = 13,0
Base de BGS - Brita Graduada Simples	σ_t ↔	E2 = 250	m2 = 0,35	H2 = 20
Sub-base de MS - Macadame Seco	ϵ_v ↓	E3 = 200	m3 = 0,35	H3 = 40
Subleito - ISC > 12%		E4 = 120	m4 = 0,40	H4 = ∞

Estudo	1	Base de BGS - Brita Graduada -	Módulo = 250 MPa
--------	---	--------------------------------	------------------

Período projeto (anos):	10	Número N (USACE) =	5,10E+07	Número N (AASHTO) =	1,01E+07
-------------------------	----	--------------------	----------	---------------------	----------

2) Esforços Limites - Tensões, Deformações e Deflexão

Critério de Fadiga do revestimento:		Deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento ϵ_t		
Equação	k	n	ϵ_t limite	$N = K \times \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^n$ $\epsilon_t = A * N^B$
FHWA 1976	1,092E-06	3,512	2,03E-04	
Asphalt Institute	2,961E-05	3,291	3,13E-04	Adotado: ϵ_t limite = 2,03E-04
Pinto & Preussler	2,85E-07	3,69	2,13E-04	Equação: FHWA 1976

Critério de Deformação no subleito:		Deformação específica de compressão no topo do subleito ϵ_v		
Equação	k	n	ϵ_v limite	$N = K \times \left(\frac{1}{\epsilon_v}\right)^n$ $\epsilon_v = A * N^B$
Dormon & Metcalf	6,069E-10	4,762	2,79E-04	
Shell (Claessen et all)	6,15E-07	4,00	3,31E-04	Adotado: ϵ_v limite = 2,01E-04
The Asphalt Institute (Santucci)	1,338E-09	4,484	2,01E-04	Equação: The Asphalt Institute

Critério de Deflexão admissível:		Deflexão máxima sobre o revestimento (0,01 mm) Do		
Equação	K	n	Dadm	$\log D_{adm} = k - n \times \log N$ $N_f = 10^{\left(\frac{3,01 - (\log(D_c))}{0,176}\right)}$
Procedimento DNER-PRO 011/79	3,01	0,174	47	
Procedimento DNER-PRO 269/94	3,15	0,188	50	Adotado: Dadm = 46,7

Caso 1
Dimensionamento

Alternativa
Flexível

Base de BGS
Brita Graduada
Sem coesão –
Módulo baixo

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO POR ANÁLISE MECANÍSTICA					Pavimento FLEXÍVEL		
1) Modelo Estrutural e Tráfego		Módulos em Mpa	Poisson	Espessura (cm)			
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	ϵ_t	E1 = 2.857	m1 = 0,30	H1 = 13,0			
Base de BGS - Brita Graduada Simples	σ_t	E2 = 250	m2 = 0,35	H2 = 20			
Sub-base de MS - Macadame Seco	ϵ_v	E3 = 200	m3 = 0,35	H3 = 40			
Subleito - ISC > 12%		E4 = 120	m4 = 0,40	H4 = ∞			
Estudo	1	Base de BGS - Brita Graduada -		Módulo = 250 MPa			
Período projeto (anos):	10	Número N (USACE) =	5,10E+07	Número N (AASHTO) =	1,01E+07		
3) Verificação dos Esforços e Cálculo da Vida Útil (durabilidade) para cada Critério					(*) Tração + / Compressão -		
Critérios	Equações	Esforços calculados	Esforços limites	Atende?	Número Nf	Número N 10 anos	Vida útil (anos)
<u>Fadiga do revestimento:</u> Deformação específica de tração na fibra inferior do CBUQ ϵ_t (*)	FHWA 1976	$\epsilon_t = 2,01E-04$	2,03E-04	Atende	1,04E+07	1,01E+07	10 anos
<u>Deformação no subleito:</u> Deformação específica de compressão - topo do subleito ϵ_v	Asphalt Institute	$\epsilon_v = 1,68E-04$	2,01E-04	Atende	1,12E+08	5,10E+07	> 10 anos
<u>Deflexão admissível:</u> Deflexão máxima sobre o revestimento (0,01 mm) Do	DNER-PRO 011/79	Do = 32,1	46,7	Atende	4,36E+08	5,10E+07	> 10 anos
Conclusão:	Solução atende aos critérios de análise para espessura de CBUQ de:					13	cm

Estudo econômico de alternativas – Caso 1

Pelo Método do DNIT

Número $N = 5,01 \times 10^7 \Rightarrow$ **Tabela 32 (DNIT) \Rightarrow 12,5 cm de CBUQ**

Alternativa - concepção Semi-rígida		Alternativa - concepção Flexível	
Camadas	Espessura (cm)	Camadas	Espessura (cm)
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	9	CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	13
TSD - Tratamento Superficial Duplo	2	Base de BGS - Brita Graduada Simples	20
Base de SMC - Solo Melhorado com Cimento (Laterita com Cimento)	20	Sub-base de MS - Macadame Seco	40
Sub-base de SEG - Solo estabilizado granulometricamente sem mistura (cascalho)	20		

Subleito - ISC > 12%

Subleito - ISC > 12%

Estudo econômico – Caso 1

Pela TPU do DER-SP

ESTUDO ECONÔMICO DE ALTERNATIVAS - Por m2 de pista					Preços unitários da TPU/DER-SP de dezembro/2018				
Alternativas de Pavimento - CASO 1		Alternativa SEMI-RÍGIDA				Alternativa FLEXÍVEL			
Itens	Unidade	Esp. (cm)	Quantidade	Preço Unitário	Preço R\$ por km	Esp. (cm)	Quantidade	Preço Unitário	Preço R\$ por km
MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EI	m2		1,00	1,87	1,87		1,00	1,87	1,87
Sub-BASE DE SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE	m3	20	0,20	53,82	10,76				
SUB-BASE DE MACADAME SECO	m3					40	0,40	190,21	76,08
BASE DE SOLO CIMRENTO 3%	m3	20	0,20	99,94	19,99				
BASE BRITA GRADUADA SIMPLES	m3					20	0,20	202,00	40,40
IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2		1,00	10,14	10,14		1,00	10,14	10,14
TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO	m3	2	0,02	789,87	15,80				
IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2		2,00	3,67	7,34		2,00	3,67	7,34
CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POR POLIMERO	m3	9	0,09	1.207,93	108,71	13	0,13	1.207,93	157,03
Total da Alternativa:					R\$/m2 de pista			R\$/m2 de pista	292,86

Estudo econômico de alternativas – Caso 2

Rodovia Federal

Ensaio de módulos de resiliência em Laboratório

Alternativa de Pavimento com concepção Semi-rígida:

- Base de BGTC – Brita Graduada tratada com 3% de Cimento
- Sub-base de Solo-brita - SEG – solo estabilizado granulometricamente

Alternativa de Pavimento com concepção Flexível:

- Base de BGS – Brita graduada – módulo baixo (180 MPa)
- Sub-base de Solo-brita - SEG – solo estabilizado granulometricamente

Dimensionamentos por Análise Mecânica



Estudo econômico de alternativas – Caso 2

Análise mecânica para Módulos **obtidos em ensaios**

1) Modelo Estrutural e Tráfego		Módulos em Mpa
CBUQ - Concreto betuminoso usinado a quente	ϵ_t ↔	E1 = 4.240
TSD - Tratamento Superficial Duplo		
Base de BGTC - Brita Graduada tratada com Cimento	σ_t ↔	E2 = 10.144
Sub-base de Solo-brita (Solo estabilizado granulometricamente)	ϵ_v ↓	E3 = 263
Subleito		E4 = 163

1) Modelo Estrutural e Tráfego		Módulos em Mpa
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	ϵ_t ↔	E1 = 4.240
Base de BGS - Brita Graduada Simples		E2 = 180
Sub-base de Solo-brita (Solo estabilizado granulometricamente)	ϵ_v ↓	E3 = 263
Subleito		E4 = 163

Estudo econômico de alternativas – Caso 2

Pelo Método do DNIT

Número $N = 7,60 \times 10^7$ => **Tabela 32 (DNIT)** => **12,5 cm de CBUQ**

Alternativa - concepção Semi-rígida		Alternativa - concepção Flexível	
Camadas	Espessura (cm)	Camadas	Espessura (cm)
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	10,5	CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	15
TSD - Tratamento Superficial Duplo	2		
Base de BGTC - Brita Graduada tratada com Cimento	20	Base de BGS - Brita Graduada Simples	20
Sub-base de Solo-brita (Solo estabilizado granulometricamente)	20	Sub-base de Solo-brita (Solo estabilizado granulometricamente)	20

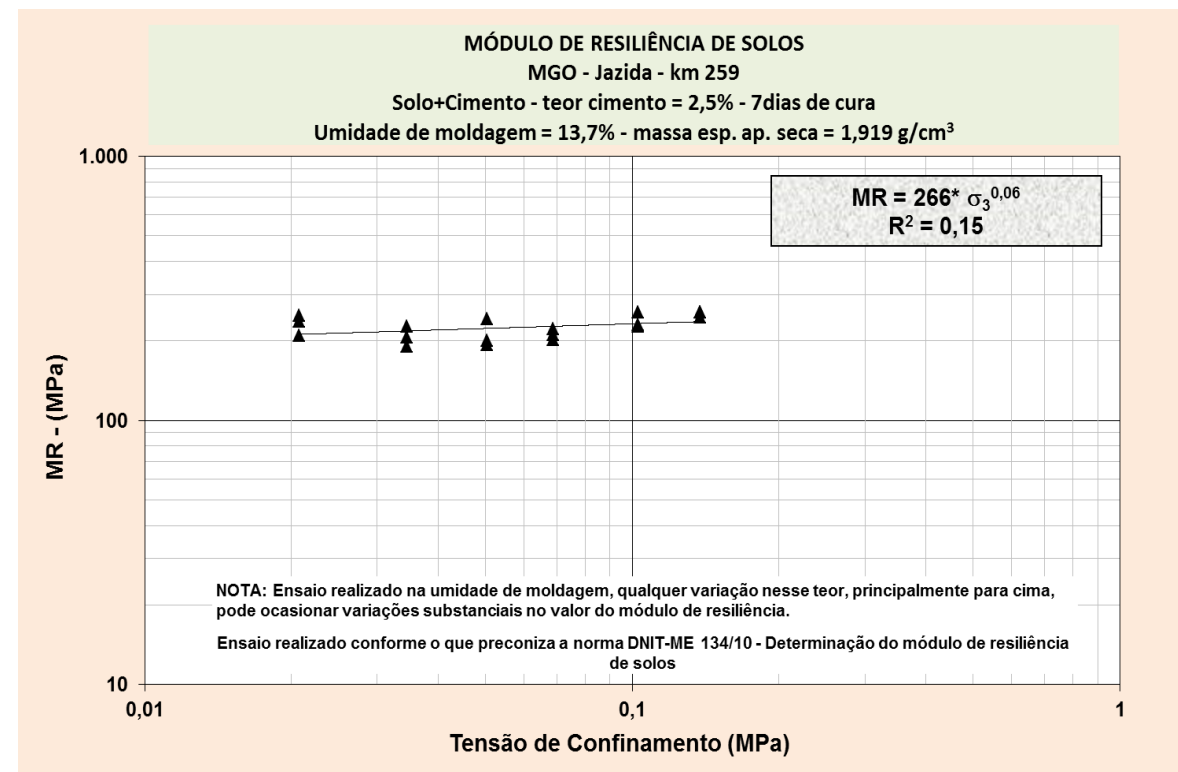
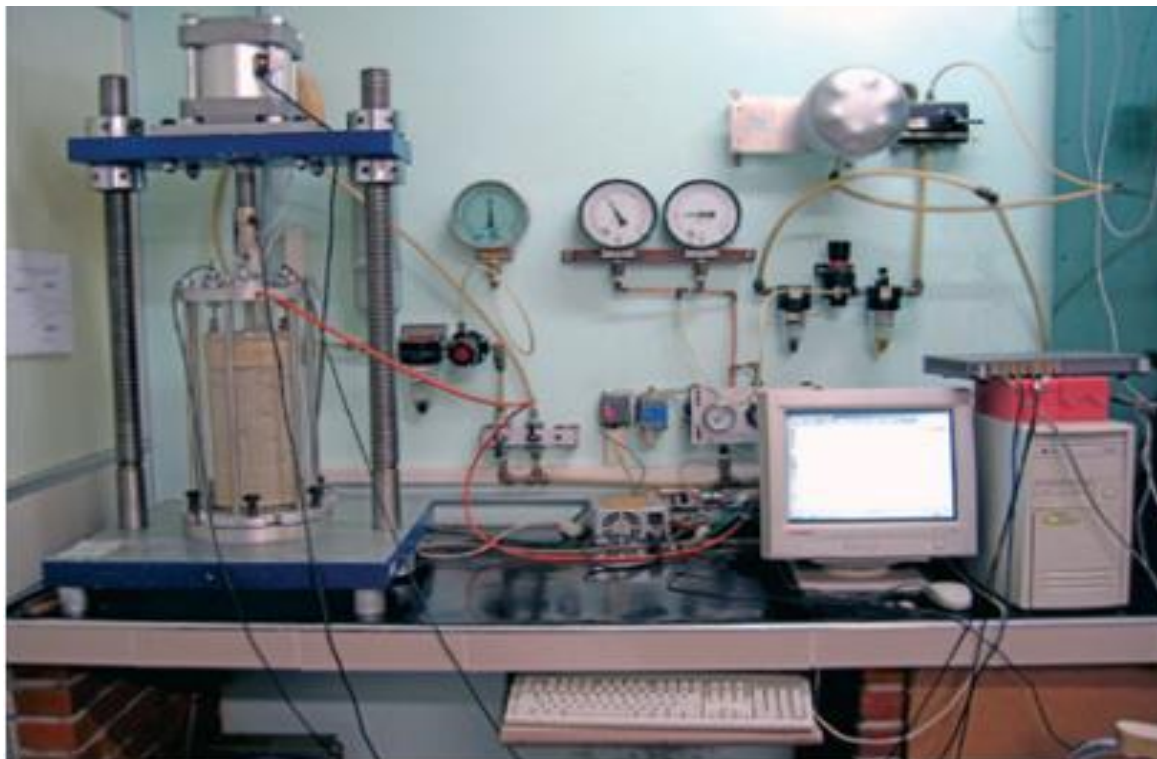
Subleito - ISC > 10%

Estudo econômico – Caso 2

Pela TPU do DER-SP

ESTUDO ECONÔMICO DE ALTERNATIVAS - Por m2 de pista					Preços unitários da TPU/DER-SP de dezembro/2018				
Alternativas de Pavimento - CASO 2		Alternativa SEMI-RÍGIDA				Alternativa FLEXÍVEL			
Itens	Unidade	Esp. (cm)	Quantidade	Preço Unitário	Preço R\$ por km	Esp. (cm)	Quantidade	Preço Unitário	Preço R\$ por km
MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EI	m2		1,00	1,87	1,87		1,00	1,87	1,87
SUB BASE DE SOLO BRITA 50% BRITA	m3	20	0,20	139,34	27,87	20	0,20	139,34	27,87
BASE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO 3%VOL	m3	20	0,20	224,52	44,90				
BASE BRITA GRADUADA SIMPLES	m3					20	0,20	202,00	40,40
IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2		1,00	10,14	10,14		1,00	10,14	10,14
TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO	m3	2	0,02	789,87	15,80				
IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2		2,00	3,67	7,34		2,00	3,67	7,34
CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POR POLIMERO	m3	10,5	0,105	1.207,93	126,83	15	0,15	1.207,93	181,19
Total da Alternativa:				R\$/m2 de pista				R\$/m2 de pista	
				234,75				268,81	

Análise Mecânica – para Ensaio de Módulos



Análise Mecânica – para Ensaios de Módulos

IMPORTANTE – Ensaios de Módulos de Resiliência de:

- Subleito ou empréstimos (amostragem);
- Solos de jazidas e misturas;
- Ou BGS – Brita Graduada e BGTC;
- CBUQ
 - Para Corpos de prova da dosagem (obra)
 - Ou de CP extraído em pista na região.

Solos, BGS e BGTC:

- Compactação energia normal – R\$ 150 a R\$ 300
- Módulo de Resiliência – R\$ 700 a R\$ 800

CBUQ:

- Módulo de Resiliência – R\$ 550 a 600

Hoje temos Laboratórios comerciais fazendo ensaios de Módulos de Resiliência com rapidez.



26-28 NOVEMBRO 2019
CENTRO DE EVENTOS E CONVENÇÕES BRASIL 21
BRASÍLIA - DF

Obrigado!



Marcílio
engenharia

Marcílio Augusto Neves
Engenheiro Consultor
marcilio@marcilio.eng.br