

UNIVERSIDADE FUMEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATU SENSU*
ESPECIALIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO E RESTAURAÇÃO RODOVIÁRIA

Vinícius Antônio Florentino Camargo

**PROJETO DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO: Pavimentação Rígida com
Abordagem em Concreto com Adição de Fibras**

Prof. Orientador: Dalter Godinho

Belo Horizonte
Novembro/2015

VINÍCIUS ANTÔNIO FLORENTINO CAMARGO

**PROJETO DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO: Pavimentação Rígida com
Abordagem em Concreto com Adição de Fibras**

Trabalho de Final de Curso apresentado ao
Programa de Pós-Graduação *Latu Sensu* em
Pavimentação e Restauração Rodoviária da
Universidade Fumec como requisito parcial
para obtenção do título de Especialista

Belo Horizonte
Novembro/2015

À Karina e Maria Isabel,
fontes de inspiração diária.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por minha vida, esposa e filha, a meus pais Eutálio e Maria Tereza pelo esforço sem medida, aos docentes Eng. José Flávio do Nascimento e Eng. Dalter Godinho pela dedicação e disponibilidade, e ao Eng. Cláudio Albernaz pelo exemplo de dedicação ao saber científico.

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar um projeto completo de pavimentação rígida. Em primeiro lugar será exposto o estudo do tráfego visando prever as solicitações a serem impostas no pavimento; em seguida serão estudados os materiais do subleito, a partir dos quais será determinado o Índice de Suporte Califórnia de projeto para cada segmento homogêneo definido em relação aos furos do plano de sondagem, executada ao longo do traçado. Será realizado o dimensionamento e detalhamento do revestimento, da sub-base e das juntas. Do mesmo modo será contemplado o seu aspecto construtivo, quantitativos e preços, apresentando, além disso, uma abordagem a respeito da adição de fibras ao concreto. O desenvolvimento do trabalho está embasado nas normas vigentes, com destaque para o arcabouço normativo do DNIT e, particularmente para o dimensionamento do pavimento, considera-se o método de dimensionamento PCA/84 (The Portland Cement Association). Desta forma, será possível cotejar os aspectos mínimos necessários ao desenvolvimento de um projeto de pavimentos rígidos para rodovia e ao mesmo tempo consolidar o referencial teórico obtido.

LISTA DE FIGURAS

3.1- Estruturas de pavimento flexível e rígido

3.2- Barras de transferência

4.1.1- Cálculo do Volume Diário Final (V_p)

4.1.2 - Solicitações de eixos por tipo de veículo

4.1.3 – Número de eixos total e número de solicitações por tipo de eixo

4.1.4 – Classificação de veículos pela configuração dos eixos – DER/MG –2013

4.1.5 – Classificação de veículos pela configuração dos eixos – DER/MG - 2013

4.2.1 – Quadro resumo de ensaios: segmentos homogêneos

4.2.2 – Quadro resumo de ensaios: segmentos homogêneos

4.2.3 – Quadro resumo de ensaios: segmentos homogêneos

4.2.4 – Quadro resumo de ensaios: saneamento amostral

4.2.5 – Quadro resumo de ensaios: saneamento amostral

4.2.6 – Quadro resumo de ensaios: saneamento amostral

4.2.7 – Quadro Resumo – Amostras Saneadas

4.2.8 – Quadro Resumo – Amostras Saneadas

4.2.9 – Gráfico Resumo de Ensaios: Amostras Saneadas

4.10 - Gráfico Nº de amostras x ISC

4.2.10 - Gráfico Nº de amostras x ISC

4.2.11- Gráfico Nº de amostras x ISC

Figura 4.2.12: Gráfico de ISC x Estacas com sobreposição dos valores de ISCproj. para cada segmento homogêneo.

4.2.13 - Gráfico de ISC x Estacas: definição do ISCproj. através do gráfico

4.4.1 - Linear de solução do pavimento

4.4.2 - Seção transversal do pavimento

4.4.3 - Quadro de Quantidades

4.4.4 - Quadro de Quantidades

4.4.5 - Pavimentadora de concreto TCM 1800 de fôrmas deslizantes

5.1 – Fibras em aço tipo Wirand

5.2 – Fibra em polipropileno fibriladas e em monofilamento

5.3 – Diagrama tensão x deformação comparativo para as fibras de baixo e alto módulo

5.4 – Valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade para diversos

tipos de fibras e matrizes (BENTUR & MINDESS, 1990) apud (DOMINGUES, 2005)

5.5 – Curvas médias de carga por deflexão obtidas no ensaio de tração na flexão de concretos de $f_{ck} = 20$ MPa e com diferentes consumos de fibra de aço (FIGUEIREDO, NUNES & TANESI, 2000)

LISTA DE TABELAS / QUADROS

Quadro 3.1: Tipos de cimento Portland

Quadro 3.2: Denominações comerciais de agregados

QUADRO 4.3.1: Resumo dos estudos de tráfego

QUADRO 4.3.2: Resumo dos valores

Tabela 4.1: Adaptação do resumo de informações de tráfego disponibilizado pelo orientador

Tabela 4.2: Distribuição de carga de acordo com a frequência de solicitação

Tabela 4.2.1: coeficiente de risco associado ao tamanho da amostra

Tabela 4.2.2: Memória de Cálculo – SH1

Tabela 4.2.3: Sequência de saneamento amostral – SH1

Tabela 4.2.4: Memória de Cálculo – SH2

Tabela 4.2.5: Sequência de saneamento amostral – SH2

Tabela 4.2.6: Memória de Cálculo – SH3

Tabela 4.2.7: Sequência de saneamento amostral – SH3

Tabela 4.2.8: Locais de substituição do material do subleito definidos pelos valores de ISC e Expansão

Tabela 4.2.9: Locais de ocorrência de impenetrável ao trado

LISTA DE SIGLAS

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte

PCA – The Portland Cement Association

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

SNV – Sistema Nacional de Viação

FUMEC – Fundação Mineira de Educação e Cultura

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

PDL – Penetrômetro Dinâmico Leve

SICRO – Sistema de Custos Rodoviários

DER/MG – Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	<i>Definição do Problema.....</i>	9
1.2	<i>Justificativa.....</i>	10
1.3	<i>Objetivos.....</i>	10
1.4	<i>Metodologia.....</i>	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1	<i>Introdução.....</i>	12
3.2	<i>Materiais e métodos: referenciais normativos.....</i>	13
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	20
4.1	<i>Estudo de Tráfego.....</i>	20
4.2	<i>Estudos do Subleito.....</i>	26
	<i>4.2.1 – Introdução.....</i>	26
	<i>4.2.2 – Plano de Sondagem.....</i>	27
	<i>4.2.3 – Quadro Resumo – Segmentos homogêneos.....</i>	27
	<i>4.2.4 Quadro Resumo – Saneamento Amostral.....</i>	31
	<i>4.2.5 Determinação da Resistência Característica do Subleito (ISCproj).....</i>	38
	<i>4.2.5.1 Determinação da Resistência Característica do Subleito através do Método da Análise Estatística.....</i>	38
	<i>4.2.5.2 Determinação da Resistência Característica do Subleito através do Método do Gráfico de Resultados de Ensaio.....</i>	45
	<i>4.2.5.3 Discussão dos Resultados.....</i>	46
	<i>4.2.6 Determinação dos Intervalos de Substituição do Material do Subleito.....</i>	46
	<i>4.2.7 Determinação dos Intervalos de Delineamento de Superfície Rochosa ao Nível do Subleito.....</i>	47
4.3	<i>Dimensionamento.....</i>	48
4.4	<i>Estrutura: Detalhamento do Pavimento.....</i>	60
	<i>4.4.1 Linear do Pavimento e Seção Transversal.....</i>	60
	<i>4.4.2 Quadro de Quantidades e Orçamento.....</i>	60
	<i>4.4.3 Aspectos Construtivos.....</i>	65
5	ABORDAGEM ESPECÍFICA: CONCRETO COM FIBRAS.....	66
6	REFERÊNCIAS.....	84
7	ANEXOS.....	86

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Rodoviária tem papel importante no contexto econômico e logístico do país. Segundo o Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT), coordenado conjuntamente pelo Ministério dos Transportes e pelo Ministério da Defesa, o transporte de cargas rodoviário responde por aproximadamente 58% do total brasileiro, seguido do ferroviário (25%), aquaviário (13%), dutoviário (3%) e aéreo (1%). Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, em 2008 os serviços de transporte rodoviário de passageiros foram responsáveis pela movimentação de 140 milhões de usuários. Ainda segundo a agência, 1.615.211 veículos constam no Registro Nacional de Transporte Rodoviário de Cargas – RNTRC – dentre transportadores autônomos, cooperativas ou empresas.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT – informa que 80,4% da rede do Sistema Nacional de Viação (SNV) é pavimentada, o que corresponde a aproximadamente 200.000 km de extensão. O estado de Minas Gerais possui uma malha de aproximadamente 23.000 km, ou seja, em torno de 11,5% da malha pavimentada nacional.

Nota-se, portanto, a importância da estrutura rodoviária no desenvolvimento econômico do país. Dessa forma é necessário dimensionar estruturas de pavimentação rodoviária que atendam aos usuários em termos de segurança e desempenho, bem como apresentar um projeto que se respalde na boa técnica e referencial normativo ao menor custo possível. A pavimentação rígida com uso de concreto de cimento Portland apresenta-se como uma possibilidade para tal intento.

1.1 Definição do Problema

Desenvolver um projeto completo de pavimentação rodoviária, cabendo levantar quais são os estudos necessários ao seu embasamento, bem como o dimensionamento do pavimento rígido.

1.2 Justificativa

O presente estudo está sendo realizado visando consolidar conhecimentos acerca do projeto de pavimentos rígidos, além de servir como requisito parcial na obtenção do título de especialista em Pavimentação e Restauração Rodoviária pela Universidade FUMEC.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos:

- consolidar o referencial teórico referente ao desenvolvimento do projeto de pavimentação rodoviária, especificamente utilizando-se das técnicas de pavimentação rígida.
- apresentar um projeto completo, culminando no dimensionamento de uma estrutura de um pavimento rígido conforma as normas vigentes.

1.4 Metodologia

O desenvolvimento do presente trabalho se baseará na pesquisa bibliográfica bem como nos dados de outros estudos subjacentes ao escopo do dimensionamento, quais sejam estudos de tráfego e dos materiais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico adotado contempla o arcabouço normativo atualizado (especificações de serviço, métodos de ensaio) bem como publicações técnicas (periódicos, manuais técnicos, literatura técnica publicada).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

A pavimentação rodoviária no Brasil observou uma grande evolução de longa data graças à experiência obtida tanto pelos órgãos rodoviários do governo quanto pelas pesquisas dos diversos centros acadêmicos existentes. Em que pese também uma maior interação entre as áreas técnicas do Brasil e de outros países, particularmente os Estados Unidos, firmada desde a década de 1950 até os dias de hoje.

Dentre as áreas técnicas citadas, pode-se citar, por exemplo, a análise dos materiais, quer sejam os solos dos subleitos do corpo estradal, quer sejam os agregados e aglomerantes componentes dos concretos hidráulicos, dentre outros. Além disso, pode-se constatar a permuta de informações no que se refere às especificações, métodos de ensaio, controle tecnológico e de dimensionamento da estrutura do pavimento, as quais sempre estão em evolução. Obviamente a diferente constituição de solos de cada país torna obrigatória uma intensa campanha de estudos teóricos e práticos, que, aliada à prática corrente de engenharia, irão viabilizar adaptações necessárias e fornecer confiabilidade aos métodos e normas correntes considerando-se uma constante atualização.

De maneira geral, para aplicação em projeto de pavimentação, podemos subdividir os materiais em Terrosos, Pétreos e Diversos, conforme Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT, 2006). No contexto da pavimentação rígida podem-se listar, por exemplo, os solos argilosos e siltosos, as britas graduadas, o cimento Portland, a areia. Como materiais diversos, podemos citar os aditivos para concretos aceleradores e retardadores de pega, incorporadores de ar, plastificantes e superplastificantes, fibras de aço, dentre outros.

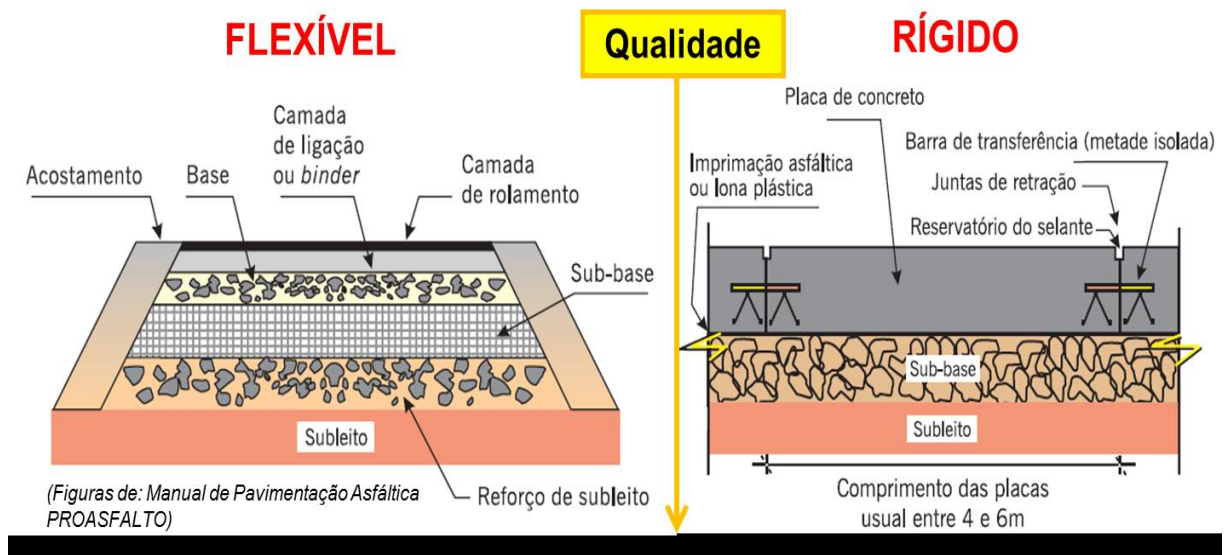
Conforme define o Manual de Pavimentação do DNIT,

“Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço

considerado teoricamente como infinito, [...] a qual é designada de subleito (DNIT, 2006)”.

Ainda, segundo o órgão, os pavimentos podem ser classificados em flexíveis, semi-rígidos e rígidos, sendo este último objeto de estudo do presente trabalho. O pavimento rígido é constituído geralmente de revestimento e sub-base apoiados sobre o subleito. É importante frisar que, diferente do pavimento flexível, o revestimento também tem função de camada de base do pavimento. (Fig. 3.1). Nos pavimentos rígidos o revestimento é constituído de agregados, aglomerante (cimento Portland), areia e água, proporcionalmente dosados de maneira a resultar em um concreto hidráulico de resistência mínima especificada.

Figura 3.1: Estruturas de pavimento flexível e rígido



Fonte: Manual de Pavimentação Asfáltica – PROASFALTO

Além disso, os pavimentos rígidos são executados em placas e apresentam como elemento de ligação relativa as barras de transferência longitudinal (Fig. 3.2). E no sentido transversal são previstas juntas serradas.

Podem ser citadas várias fontes de referenciais teóricos no Brasil no que tange aos estudos dos materiais e métodos de dimensionamento dos pavimentos rodoviários em concreto. Dentre as quais, temos as publicações do DNIT e as da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), as quais podem também referenciar as

normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), bem como normas de outros países, por exemplo, a *United States Army Corps of Engineers* (USACE), a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), dentre outros.

Figura 3.2: Barras de transferência



Fonte: Apresentação técnica de trabalho obtida no site

http://www.ct.ufpb.br/ricardo/ricardo/aulas/top_engciv_SGP/manutencao_reabilitacao/2014sgp_manutencao%20e%20reabilitacao%20em%20pavimentos.pdf

Será apresentado, a seguir, um extrato do referencial necessário ao desenvolvimento de um projeto de pavimento rígido com foco nos materiais e nos métodos.

3.2 Materiais e métodos: referenciais normativos

A ABCP, em sua publicação *Materiais para Pavimento de Concreto Simples* (1999), discorre sobre os aspectos técnicos dos componentes do concreto simples no contexto da pavimentação rodoviária, quais sejam o cimento portland, os agregados, a água, os aditivos, materiais para cura, materiais selantes e de enchimento de juntas, finalizando com uma abordagem no proporcionamento dos mesmos.

Segundo a publicação, os cimentos portland comuns, definidos como

“aglomerantes hidráulicos obtidos da moagem do clínquer resultante da calcinação até a fusão incipiente de uma mistura íntima e bem

proporcionada de materiais calcários e argilosos, com adição, durante a moagem, de uma ou mais formas de sulfato de cálcio” (Pitta et. al, 1999),

devem obedecer a norma brasileira NBR 5732. Os cimentos Portland mais utilizados e disponíveis no mercado brasileiro são divididos, de maneira sucinta, da seguinte forma (QUADRO 3.1):

Quadro 3.1 – Tipos de cimento portland

Tipos de cimento portland	Descrição	Classes
CPS	Cimento portland simples. Recebe adição de gesso e de até 5% de material carbonático.	CP I-25, CPI-32 e CP I 40
CPE	Cimento portland com escória, com adição de até 5% de material carbonático e até 10% de escória.	CP II-E-25, CP II-E-32, CP II-E-40
CPZ	Cimento portland com pozolana, com adição de até 5% de material carbonático e até 10% de pozolana.	CP II-Z-25, CP II-Z-32, CP II-Z-40
POZ	Cimento portland pozolânico, recebe, após a calcinação. além do gesso, porcentagem entre 15% e 40% de material pozolânico.	CP IV-25 e CP IV-32
AF	Cimento portland de alto forno, em que são agregados, antes da moagem, gesso e escória básica granulada de alto-forno (35% a 70% em massa)	CP III-25, CP III-32, CP III-40

Fonte: Adaptado de Materiais para Pavimento de Concreto Simples (Pitta et al. 1999) e da Especificação de Material DNER-EM 036/95.

Sugere-se consultar também as definições constantes na Especificação de Material DNIT 050/2004 – EM – Pavimento Rígido – Cimento Portland.

Ainda segundo tal publicação, os três últimos tipos são os mais utilizados na execução de pavimentos de concreto no Brasil, havendo também disponível de uso, com precaução, do cimento portland CP V-ARI (Alta Resistência Inicial – NBR 5733) e o cimento portland MRS (moderada resistência aos sulfatos e moderado calor de hidratação – NBR 5737). Além disso, é possível realizar a abordagem sob vários aspectos do cimento Portland, tais como sua constituição química, arranjo cristalino, mecanismos de hidratação e de pega, além de fatores que influenciam seu endurecimento, relação água-cimento, resistência a várias idades, finura, umidade, temperatura, calor de hidratação, retração hidráulica e plástica, dentre outros. Sob o aspecto das especificações e ensaios, pode-se citar:

- Determinação da Finura do Cimento e Tempo de Início e Final de Pega com o aparelho de *Vicat* (NBR 7215);
- Superfície Específica (NBR 7224);
- Expansibilidade ou Estabilidade de Volume com o uso das agulhas de *Le Chatelier* (NBR 7215);
- Resistência à compressão (NBR 7215) de corpos de prova cilíndricos.
- DNER-EM 036/95 – Especificação de Material: Cimento Portland, recebimento e aceitação (DNER é o atual DNIT).

Sabe-se que os agregados ocupam, aproximadamente, três quartos do volume do concreto. Facilmente, desta forma, demonstra-se a importância de conhecer profundamente as suas características e limitações técnicas, através de análises e ensaios normatizados, uma vez que tais características terão influência direta no desempenho do concreto.

Quanto à dimensão, os agregados para concreto de cimento podem ser graúdos ou miúdos, conforme definições contidas nas especificações de materiais DNER-EM 037/97 e DNER-EM 038/97:

- Agregados graúdos: materiais granulares provenientes de rochas, comprovadamente inertes e de características semelhantes, [...] cujos grãos passam na peneira com malha quadrada de abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na

peneira de 4,8 mm, tais como seixo rolado, cascalho e pedra britada (DNER, 1997).

- Agregados miúdos: areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira de 4,8 mm e ficam retidos na peneira de 0,075 mm (DNER, 1997). Por razões comerciais, denominam-se certos grupos de agregados em relação à dimensão (vide QUADRO 3.2). A figura 3.3 ilustra estas subdivisões comerciais.

Quadro 3.2 – Denominações comerciais de agregados

Agregado	Definição comercial
Filler	Material passado na peneira de 0,075mm
Areia	Material encontrado em estado natural com dimensão máxima menor do que 4,8 mm
Pedrisco	Material obtido por fragmentação de rocha, com dimensão máxima menor do que 4,8 mm
Seixo rolado	Agregado de forma arredondada encontrado em leito de rios ou em jazidas, que fica retido na peneira de 4,8 mm.
Brita:	Material obtido por trituração de rocha, com dimensão mínima superior a 4,8 mm.
Brita Zero	Dimensão entre 4,8 mm e 9,5 mm
Brita 1	Dimensão entre 9,5 mm a 19 mm
Brita 2	Dimensão entre 19 mm a 38 mm
Brita 3	Dimensão entre 38 mm a 76 mm
Pedra de Mão	Dimensão maior que 76 mm

Fonte: Adaptado de Materiais para Pavimento de Concreto Simples (Pitta et al. 1999).

Figura 3.3: Subdivisão comercial dos agregados



Fonte: site da empresa vmsareiaebrita.com.br

A caracterização física e mecânica dos agregados será regida por uma série de especificações, dentre as quais se podem citar:

- DNER-ME 035/98 - Agregados - determinação da abrasão “Los Angeles”
- DNER-ME 083/98 - Agregados - análise granulométrica
- DNER-ME 089/94 - Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio
- DNER-ME 197/97 - Agregados - determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos
- DNER-ME 266/97 - Agregados - determinação do teor de materiais pulverulentos
- ABNT - NBR-7218/87 - Agregado - determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis - Método de ensaio
- ASTM C123 - 04 Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate
- DNIT 055/2004-ME – Pavimento Rígido - Prova de carga estática para determinação do coeficiente de recalque de subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimentos.
- DNER-PRO 120/97 - Coleta de amostras de agregados
- NBR 7221 Agregado - Índice de desempenho de agregado miúdo contendo impurezas orgânicas - Método de ensaio
- DNER-ME 091/98 - Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

A água é outro importante componente de fundamental importância na obtenção de um concreto adequado ao projeto desenvolvido, principalmente tendo em vista que a fonte de água disponível pode ser as mais variadas possíveis, como água do mar, águas, residuais industriais, águas de brejos, de poços ou até de rios *in natura*, dentre outras. Vale ressaltar alguns aspectos considerados principais que podem influenciar o desempenho do concreto.

A norma DNIT 036/2004 – ME – Água para amassamento do concreto de cimento Portland – Ensaio Químico estabelece os ensaios necessários para determinar as propriedades e as substâncias dissolvidas em dada água com uso previsto para concreto de pavimentos rígidos, tais como Matéria Orgânica, Resíduo Sólido, pH, Teor de Sulfatos e de Cloretos.

Tem-se também a norma DNIT 037/2004 - ME – Água para amassamento do concreto de cimento Portland – Ensaio comparativo, a qual se utiliza de água destilada, denominada água de referência, para gerar um concreto designado como padrão, a partir do qual serão comparados os resultados de ensaios com a água disponível para o concreto a ser executado na pavimentação rígida de rodovias. Comparam-se então os resultados do tempo de pega e de resistência à compressão para a tomada de decisão quanto à aprovação do uso da água disponível. A NBR 7215, segundo PITTA et.al, apresenta os parâmetros estabelecidos tanto para análise química quanto para a comparativa.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 ESTUDOS DE TRÁFEGO

Apresentaremos neste item a estimativa de veículos que solicitarão o trecho estudado, denominado Estudos de Tráfego o qual será utilizado para subsidiar o dimensionamento do pavimento.

Para tanto foram procedidas “Contagens Volumétricas e Classificatórias” para caracterização do tráfego atual da rodovia permitindo assim a sua projeção futura. Nestas constam o Volume Médio Anual de Tráfego para o ano inicial de estudo para cada configuração de veículo, bem como o percentual de ocorrência de cada configuração.

Para o presente estudo será previsto, para um período de projeto de 20 anos, um acréscimo de tráfego desviado e tráfego gerado igual a 10% cada. A tabela 4.1 apresenta o exposto de forma sucinta.

Tabela 4.1: Adaptação do resumo de informações de tráfego disponibilizado pelo orientador

CLASSIFICAÇÃO / CONFIGURAÇÃO DOS VEÍCULOS	VMDAT 2012		TOTAL IDA+VOLTA	Ocorrência (%)	TRÁFEGO		VDMAT 2012	
	IDA	VOLTA			DESVIADO	GERADO		
MOTO	148	160	308	13,44	30,8	30,8	370	
PASSEIO	448	440	888	38,74	88,8	88,8	1066	
UTILITÁRIO	95	97	192	8,38	19,2	19,2	230	
ÔNIBUS 2C	62	66	128	5,58	12,8	12,8	154	
CAMINHÃO 2C	104	106	210	9,16	21	21	252	
CAMINHÃO 3C	94	97	191	8,33	19,1	19,1	229	
SEMI-REBOQUE 2S3	76	81	157	6,85	15,7	15,7	188	
SEMI-REBOQUE 3S3	18	21	39	1,70	3,9	3,9	47	
SEMI-REBOQUE 2I3	12	9	21	0,92	2,1	2,1	25	
REBOQUE 2C3	10	8	18	0,79	1,8	1,8	22	
BITREM 3S2S2	54	59	113	4,93	11,3	11,3	136	
RODOTREM 3S2C4	11	16	27	1,18	2,7	2,7	32	
TOTAL	1132	1160	2292	100,00	229	229	2750	=V0 (veic/di)
VMD COMERCIAL	441	463						

Logo, podemos ver que o Volume Médio Diário Inicial foi de 2750 veículos por dia (V_0). Dessa forma, pode-se obter o valor do Volume Diário Final (V_p) através da equação mostrada na Figura 1, considerando-se uma progressão geométrica.

Figura 4.1 – Cálculo do Volume Diário Final (V_p)

Cálculo do Volume Diário Final (V_p)				
$V_0=$	2.750	veic/dia		
$P=$	20	anos		
taxa $t=$	3,6	% a.a.	(Progressão Geométrica)	
$V_p=$	5.386	veic/dia	onde $V_p = V_0 \cdot (1+t)^{(P-1)}$	

Fonte: Realizado pelo autor

Determinação do Número N_v

O número total de veículos para o final do período de projeto calculado é

Cálculo do Número de Veículos totais para o final do período de projeto (N_v)				
$N_v=$	28.683.369	veículos		

Para o dimensionamento de pavimentos rígidos iremos analisar as solicitações previstas de acordo com cada tipo de eixo. Desta forma, as solicitações previstas serão apresentadas a seguir na Figura 2. Já a Figura 3 mostra o número de eixos total, bem como o número de solicitações por tipo de eixo. Vale ressaltar que o memorial de cálculo encontra-se no apêndice do presente trabalho. Como auxílio na análise nos valem as Figuras 4 e 5 que mostram a classificação de veículos pela configuração dos eixos segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DER/MG. Enfim, na Tabela 4.2 é apresentada a distribuição de carga de acordo com a frequência de solicitação, culminando no número de solicitações.

Figura 4.2 – Solicitações de eixos por tipo de veículo

Solicitações de eixos por tipo de veículos			
ÔNIBUS 2C			
Fator de eixo =	2		
$N = \% * N_v * FE$	3.203.727		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
CAMINHÃO 2C			
Fator de eixo =	2		
$N = \% * N_v * FE$	5.256.115		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
CAMINHÃO 3C			
Fator de eixo =	2		
$N = \% * N_v * FE$	4.780.561		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
SEMI-REBOQUE 2S3			
Fator de eixo =	3		
$N = \% * N_v * FE$	5.894.357		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
SEMI-REBOQUE 3S3			
Fator de eixo =	3		
$N = \% * N_v * FE$	1.464.203		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
SEMI-REBOQUE 2I3			
Fator de eixo =	5		
$N = \% * N_v * FE$	1.314.029		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
REBOQUE 2C3			
Fator de eixo =	4		
$N = \% * N_v * FE$	901.048		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
BITREM 3S2S2			
Fator de eixo =	4		
$N = \% * N_v * FE$	5.656.581		
Solicitações de eixos por tipo de veículos			
RODOTREM 3S2C4			
Fator de eixo =	5		
$N = \% * N_v * FE$	1.689.465		

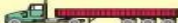
Fonte: Realizado pelo autor.

Figura 4.3 – Número de eixos total e número de solicitações por tipo de eixo

Número de Eixos Total				
NET=	30.160.087			
Número de Solicitações por Tipo de Eixos				
NES=	19.009.615			
NTD=	8.697.618			
NTT=	2.452.854			

Fonte: Realizado pelo autor.

Figura 4.4 – Classificação de veículos pela configuração dos eixos – DER/MG - 2013

 DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS				
MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA Volume I – Estudos de Tráfego, Capacidade e Níveis de Serviço				
ESTADO DE MINAS GERAIS DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM				
ET-CVCE-01 - CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS PELA CONFIGURAÇÃO DOS EIXOS				
MOTO				
PASSEIO		UTILITÁRIOS		
ÔNIBUS	COLETIVO URBANO		2C	
			COLETIVO INTERMUNICIPAL	
	3C - TRIBUS			
			4CB	
CAMINHÕES	2C			
	3C			
	4CD			
REBOQUES	2C2			
	2C3			
	3C2			
	3C3			
SEMI-REBOQUES	2S1			
	2S2			
	2S3			
	3S1			
Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais Diretoria de Projetos – DER/MG - 2013				
I/ 41				
23/01/2013				

Fonte: Manual de Estudo de Tráfego do DER/MG.

Figura 4.5 – Classificação de veículos pela configuração dos eixos – DER/MG - 2013



DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM
DO ESTADO DE MINAS GERAIS

MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA

Volume I – Estudos de Tráfego, Capacidade e Níveis de Serviço

ESTADO DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM

ET-CVCE-02 - CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS PELA CONFIGURAÇÃO DOS EIXOS				
SEMI-REBOQUES	3S2			
	3S3			
	2I2		EIXOS TRASEIROS DO SEMI-REBOQUE ISOLADOS	
	2I3		EIXOS TRASEIROS DO SEMI-REBOQUE ISOLADOS	
	2J3		EIXOS TRASEIROS DO SEMI-REBOQUE 1º ISOLADO/ 2º TANDEM DUPLO	
	3I2		EIXOS TRASEIROS DO SEMI-REBOQUE ISOLADOS	
	3I3		EIXOS TRASEIROS DO SEMI-REBOQUE ISOLADOS	
	3J3		EIXOS TRASEIROS DO SEMI-REBOQUE 1º ISOLADO/ 2º TANDEM DUPLO	
COMBINAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGA (CVC)	BITREM 3S2S2			
	RODOTREM 3S2C4			
	TRITREM 3S2S2S2			

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais
Diretoria de Projetos – DER/MG - 2013

I/ 42

23/01/2013

Fonte: Manual de Estudo de Tráfego do DER/MG.

Tabela 4.2: Distribuição de carga de acordo com a frequência de solicitação

Número de Solicitações por Tipo de Eixos		
NES=	19.009.615	
NTD=	8.697.618	
NTT=	2.452.854	
Carga (kN)	Frequência (%)	Número de Solicitações
Eixo Simples		
130	5	950.481
120	10	1.900.961
110	15	2.851.442
80	40	7.603.846
70	10	1.900.961
60	20	3.801.923
Eixo Tandem Duplo		
190	10	869.762
180	20	1.739.524
170	50	4.348.809
160	20	1.739.524
Eixo Tandem Triplo		
270	10	245.285
260	30	735.856
250	60	1.471.712

4.2 ESTUDOS DO SUBLEITO

4.2.1 Introdução

Os estudos geotécnicos do subleito, inseridos no contexto da Engenharia Rodoviária, são considerados fonte de elementos para elaboração dos projetos de Pavimentação, Terraplenagem e Drenagem. O critério de realização dos estudos constam de referenciais normativos e especificações, dentre os quais podemos citar o MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA Volume IV – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

Uma vez dispondo-se do traçado geométrico consolidado e de um reconhecimento geológico-geotécnico de campo do trecho estudado, procede-se à realização de sondagem devidamente planejada. Em seguida realizam-se coletas de amostras representativas do solo ao nível do subleito visando avaliar suas características físico-mecânicas dos horizontes de solos locais através de ensaios de laboratório.

Assim procedendo obtém-se elementos suficientes para definir a resistência característica do solo ao nível do subleito, revelar se haverá necessidade de substituir-se determinado volume de material com consequente demanda para empréstimo, além de fornecer uma previsão referente à escavabilidade dos horizontes encontrados.

Logo, neste capítulo será apresentada a definição da Resistência Característica do subleito (ISC_{proj}) assim como as etapas necessárias para a obtenção deste parâmetro, quais sejam: definição dos segmentos de comportamento estrutural homogêneo, definição da resistência característica do subleito para cada segmento homogêneo pelos critérios de análise estatística e pelo critério do gráfico de resultados de ensaios. Consequentemente será possível definir a listagem dos segmentos de substituição do subleito (estacas inicial e final), profundidade e resistência mínima do material de empréstimo e do mesmo modo a listagem dos segmentos de corte em rocha e/ou rebaixo de subleito em rocha.

4.2.2 Plano de Sondagem

Uma vez realizado o reconhecimento geológico-geotécnico da faixa de projeto e, dispondo-se das informações do projeto geométrico - materializadas em plantas, seções transversais, perfis longitudinais - efetua-se o plano de sondagem do subleito. Nele será definido, *a priori*, o número de furos e a localização referenciada dos mesmos pelo estaqueamento projetado (espaçamento relativo e distribuição ao longo do projeto), tendo como orientação as características de cada unidade geológico-geotécnica observadas.

Quanto ao tipo de furo é de praxe indicar o trado (manual ou mecânico) de forma geral e furos de penetrômetro dinâmico leve (PDL) para trechos com ocorrência de solo mole. Não obstante, avalia-se a necessidade de complementação por sondagem mista.

Foi fornecido perfil longitudinal, referente ao Projeto 05, sobre o qual lançaram-se furos de sondagem de acordo com os critérios previstos no MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA Volume IV – Estudos Geológicos e Geotécnicos - 4.1.3. Investigações Geotécnicas de Campo e Realização de Ensaios em Laboratório. O perfil com os furos lançados encontra-se em anexo.

4.2.3 Quadro Resumo – Segmentos Homogêneos

Para a realização do presente trabalho foi fornecido o Quadro Resumo de Ensaios, o qual apresenta os resultados de ensaio de caracterização físico-mecânica dos materiais do subleito, quais sejam:

- Limite de Liquidez (DNER-ME 122/94)
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 082/94)
- Granulometria por peneiramento (DNER-ME 080/94)
- Compactação na Energia especificada (DNER-ME 162/94)
- Índice de Suporte Califórnia (DNER-ME049-94)

Vale ressaltar que os valores de ISC e expansão obtidos encontram-se nas condições ótimas de compactação. A partir da análise do quadro resumo é possível verificar que, na região estudada e ao nível do subleito, existe predominância de solos finos (argilosos e siltosos) com ocorrência eventual de materiais granulares e de impenetrável ao trado. Além disso, analisando os valores de ISC e expansão ao longo do trecho, foi possível estabelecer 03 (três) segmentos considerados homogêneos, conforme podemos visualizar nas figuras abaixo.

FIGURA 4.2.1 – Quadro resumo de ensaios: segmentos homogêneos

Pós Graduação										ESTUDOS GEOTÉCNICOS - FOLHA RESUMO DE ENSAIOS										SUBLEITO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
FUMEC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Rodovia	Ligação	Estaca	Pos	Trecho	Tratamento Prático	Escala					Estado					5					Ext.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
REG	FUR	ESTACA	POS	PROF (m)	LL	IP	GRANULOMETRIA (% passando)					IG					Class					DENIS				EXP				ISC				MATERIAL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
				Inicial	Final		2"	1"	3/8"	#4	#10	#40	#200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

Fonte: Realizado pelo autor.

FIGURA 4.2.2 – Quadro resumo de ensaios: segmentos homogêneos

33	29	196	E	0,00	3,00	51,2	22,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,9	89,9	80,9			13	28,8	1862	0,41	14
34	29	196	E	3,00	5,00	NL	NP	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	98,4	75,9			13	17,4	1543	4,80	4
35	30	200	E	0,00	2,50	51,6	19,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,4	95,2	81,4			13	27,5	1833	0,29	11
36	31	204	E	0,00	3,50	52,4	22,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	92,7	85,4			13	30,3	1804	0,49	10
37	32	208	E	0,00	3,00	49,9	18,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	99,2	94,5	88,1			13	31,3	1799	0,38	11
38	33	212	E	0,00	2,50	47,4	15,9	100	100	100	100	100	100	94,8	90,2	80,1			13	27,4	1825	0,23	15
39	34	226	E	0,00	2,10	35,8	10,9	100	100	93,1	79,8	70,8	60,4	37,2					13	14,0	1853	0,00	16
40	34	226	E	2,10															13				
41	35	229	E	0,00	2,40	37,9	8,9	100	100	94,6	80,7	74,8	66,4	42,3					13	15,2	1804	0,12	14
42	35	229	E	2,40															13				
43	36	237	E	0,00	3,50	44,2	12,8	100	100	100	94,8	84,8	79,3	68,4					13	19,5	1788	0,45	9
44	37	241	E	0,00	1,50	40,8	14,4	100	100	100	91,5	86,8	80,7	62,4					13	18,2	1805	0,25	14
45	38	245	E	0,00	3,50	42,9	16,3	100	100	100	95,6	90,9	84,7	69,2					13	22,2	1825	0,15	14
46	39	257	E	0,00	3,00	38,5	12,9	100	100	100	96,3	91,5	84,5	55,2					13	18,6	1789	0,07	12
47	39	257	E	3,00	4,50	NL	NP	93	76,4	53,4	41,4	31,6	25,2	13,4					13	8,1	2019	0,00	41
48	40	261	E	0,00	3,00	35,4	13,1	100	100	98,2	95,9	94,3	89,8	50,4					13	17,1	1757	0,07	13
49	41	274	BE	0,00	1,50	29,4	NP	100	100	100	98,1	95,1	91,2	84,5					13	19,9	1456	3,59	4
50	42	287	E	0,00	3,50	32,7	NP	100	89,3	81,6	81	79,8	74	38					13	17,1	1686	0,04	11
51	43	291	E	0,00	1,50	33,4	5,9	100	99	94,6	89,2	81,9	79,3	45,2					13	19,1	1699	0,25	10
52	44	305	BD	0,00	1,00	35,0	NP	100	100	90,7	83,9	78,6	66,9	36,5					13	12,1	1871	0,38	27
53	45	315	BD	0,00	2,50	NL	NP	100,0	100,0	100,0	99,0	97,0	79,0	35,9					13	13,3	1650	0,85	17
54	46	324	E	0,00	1,50	NL	NP	100,0	100,0	100,0	100,0	95,3	84,6	37,0					13	12,4	1678	0,70	21
55	47	328	E	0,00	3,50	32,3	NP	100,0	100,0	99,0	97,0	92,8	84,8	40,9					13	12,8	1809	0,16	45
56	48	339	E	0,00	3,00	31,0	10,8	100,0	100,0	100,0	99,8	99,3	92,3	31,1					13	14,0	1704	0,06	19
57	49	343	E	0,00	2,00	27,4	NP	100,0	89,8	79,1	76,1	72,5	64,1	31,2					13	13,9	1862	0,38	16
58	50	351	E	0,00	2,50	26,4	NP	100,0	100,0	98,6	98,0	96,1	82,6	48,1					13	20,3	1636	0,38	17
59	51	354	E	0,00	3,00	38,4	5,6	100,0	100,0	100,0	100,0	87,4	68,6	57,2					13	19,5	1723	0,87	19
60	52	368	E	0,00	2,50	43,2	20,2	100,0	100,0	100,0	99,8	99,2	92,0	54,0					13	18,4	1673	0,03	16
61	52	368	E	2,50	4,00	44,0	NP	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	84,2	46,7					13	15,7	1705	2,48	6
62	53	371	E	0,00	3,00	42,3	NP	100,0	91,7	72,4	65,8	59,9	48,2	28,4					13	11,4	1937	0,12	22
63	53	371	E	3,00	6,00	40,9	NP	100	100	100	100	99,8	88	50,7					13	14,2	1820	3,23	5
64	53	371	E	6,00	8,00	NL	NP	100	100	100	99,2	98,6	92,6	55,4					13	13,7	1708	6,42	3
65	54	375	E	0,00	3,00	32,6	5,9	100	100	99,2	97,4	95	89	71,8					13	22,2	1624	0,34	14
66	54	375	E	3,00	4,00	NL	NP	100,0	100,0	99,8	99,2	98,8	95,3	67,1					13	21,9	1586	2,85	9

Fonte: Realizado pelo autor.

FIGURA 4.2.3 – Quadro resumo de ensaios: segmentos homogêneos

66	54	375	E	3,00	4,00	NL	NP	100,0	100,0	99,8	99,2	98,8	95,3	67,1			13	21,9	1586	2,85	9
67	55	379	E	0,00	1,50	45,0	17,0	100	80,8	70,7	67,7	66,1	59,1	44,4			13	25,2	1472	0,08	21
68	56	384	E	0,00	1,00	NL	NP	100	100	88,2	82,3	73,7	60,1	31,3			13	8,2	1930	0,00	19
69	57	394	BE	0,00	2,50	50,4	NP	100	100	100	98,4	96,3	85,9	54,6			13	17,1	1653	0,24	14
70	58	397	E	0,00	2,50	NL	NP	100	87,4	78,1	76,4	73,6	62,6	32,9			13	10,9	1817	0,00	37
71	59	401	E	0,00	1,00	NL	NP	100	100	100	100	100	89,4	47,5			13	16,5	1686	1,02	16
72	60	407	BD	0,00	1,00	38,9	NP	100	100	100	88,1	76,5	61,4	41,9			13	21,5	1727	0,87	24
73	61	416	BD	0,00	2,50	41,2	NP	100	100	100	90,3	80,7	66,4	52,1			13	19,9	1690	0,23	17
74	62	420	E	0,00	3,00	44,8	5,6	100	100	100	100	92,5	80,5	54,1			13	17,7	1725	0,15	18
75	63	442	E	0,00	2,20	45,9	13,6	100	100	99,8	94,5	88,7	84,3	74,5			13	22,8	1787	0,05	14
76	63	442	E	2,20																	
77	64	451	E	0,00	2,00	44,2	9,4	100	100	100	100	89,2	80,9	72,5			0	21,8	1702	0,09	10
78	65	463	E	0,00	1,00	45,1	15,8	100	100	100	100	98,5	91,6	84,5			0	27,9	1645	0,12	9
79	66	467	E	0,00	3,00	49,9	16,9	100	100	100	98,5	95,6	89,6	78,4			0	25,6	1725	0,09	15
80	66	467	E	3,00	6,50	43,9	NP	100	100	100	99,3	94,5	90,9	84,9			0	15,9	1586	3,45	5
81	67	471	E	0,00	2,50	48,4	14,8	100	100	100	100	95,6	87,8	81,9			0	24,9	1609	0,36	9
82	68	485	E	0,00	2,80	44,5	21,5	100	100	100	100	100	88,9	75,9			0	22,4	1725	0,08	19
83	68	485	E	2,80													0				
84	69	489	E	0,00	2,00	49,8	22,9	100	100	100	100	98,8	90,2	78,9			0	23,2	1755	0,10	17
85	69	489	E	2,00													0				
86	70	498	E	0,00	1,00	40,6	18,1	100	100	100	100	100	88,9	74,5			0	21,3	1725	0,15	11
87	71	501	E	0,00	2,50	41,6	19,8	100	100	100	100	100	96,4	84,2			0	28,6	1763	0,32	11
88	72	505	E	0,00	3,00	47,2	23,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,6	93,4	60,1			0	18,4	1589	0,60	21
89	72	505	E	3,00	5,50	35,1	14,8	100,0	92,3	87,8	86,3	84,3	77,1	38,2			0	15,2	1649	1,22	24

Fonte: Realizado pelo autor.

4.2.4 Quadro Resumo – Saneamento Amostral

Neste momento faz-se necessário realizar uma análise pormenorizada dos dados do Quadro Resumo, visando delimitar as amostras que serão utilizadas para compor o subconjunto amostral, que será utilizado para o cálculo da Resistência Característica do subleito (ISC_{proj}).

Primeiramente deverão ser excluídos os intervalos com previsão de substituição de solo, que contemplam aqueles ensaios cujo resultado de ensaio atendam aos seguintes requisitos (ver observações nas Figuras 4.2.4, 4.2.5 e 4.2.6):

- $ISC < 5,0\%$
- $EXP > 2,0\%$

Em seguida devem-se escolher aqueles resultados de ensaio cujos horizontes coincidem com a profundidade do greide de projeto. Também serão retirados do subconjunto amostral aqueles intervalos em que constam impenetrável ao trado em profundidade superior à do greide.

Assim sendo, aplicando as observações acima ao Quadro Resumo de Ensaio das figuras 4.1, 4.2 e 4.3, resultam as figuras a seguir 4.4, 4.5 e 4.6. Já as Figuras 4.7 e 4.8 apresentam o Quadro Resumo Final, com o saneamento amostral completo e a subdivisão em segmentos homogêneos. A figura 4.9, enfim, apresenta graficamente os resultados de ensaio de forma geral para o Quadro Resumo Final.

FIGURA 4.2.4 – Quadro resumo de ensaios: saneamento amostral

ESTUDOS GEOTÉCNICOS - FOLHA RESUMO DE ENSAIOS N° 05														SUBLEITO								
Rodovia:		Trecho: ITABIRA - SENHORA DO CARMO				Aluno: VINICIUS ANTONÍO FLORENTINO CAMARGO										12/09/2015						
REG	FUR	ESTACA	POS.	PROF. (m)		LL	IP	GRANULOMETRIA (% passando)				IG	Class.	COMPACTAÇÃO		EXP	ISC	OBSERVAÇÃO / Critério de Exclusão				
				Inicial	Final			2"	1"	#4	#10			#40	#200				Gol- pes	Hólm %	DENS. kg/m³	%
1	1	2	BE	0,00	1,00	50,2	19,9	100	100	100	99,1	97,3	90,1	71,2	A-4	13	26,1	1722	0,38	14	SEGMENTO 01	
2	2	8	BD	0,00	1,00	45,8	17,4	100	100	100	99,7	98,7	86,8	64,8	A-4	13	25,4	1702	0,46	15		
3	3	16	BD	0,00	2,00	43,2	15,1	100	100	100	100,0	94,5	82,5	61,2	A-4	13	24,3	1699	0,21	16		
4	4	24	BE	0,00	1,00	38,7	10,8	100	100	94,2	88,4	66,3	49,9	38,6	A-4	13	16,8	2169	0,08	23		
5	5	35	BD	0,00	2,00	NL	NP	100	97,4	80,6	68,4	50,1	35,7	24,7	A-4	13	8,3	2969	0,04	39		
6	6	44	BD	0,00	2,00	24,2	NP	100	95,1	80,2	68,7	57	42,9	25,4	A-4	13	13,6	2118	0,08	33		
7	7	49	BD	0,00	2,00	NL	NP	100	100	100	99,8	95,1	59,4	33,4	A-4	13	10,0	1641	0,40	31		
8	8	53	BE	0,00	3,50	41,5	NP	100	100	94,5	92,4	88,6	76,9	38,4	A-4	13	12,3	1855	0,57	39		
9	9	60	BD	0,00	2,00	44,2	NP	100	100	93,8	89,9	80,4	70,6	43,3	A-4	13	14,3	1846	0,36	29		
10	10	68	BD	0,00	1,50	46,7	11,3	100	100	98,8	94,3	84,5	79,9	57,4	A-4	13	16,8	1822	0,25	18		
11	11	76	BD	0,00	1,00	44,9	14,3	100	100	100	96,8	92,4	88,3	66,2	A-6	13	18,6	1801	0,23	16		
12	12	83	BE	0,00	1,50	48,5	12,9	100	100	100	99,1	92,8	87,2	69,3	A-4	13	19,1	1798	0,33	15		
13	13	91	BE	0,00	2,00	44,3	14,9	100	100	100	98,2	94,5	88,9	62,4	A-4	13	17,2	1788	0,45	14		
14	14	98	BD	0,00	1,00	41,0	15,6	100	100	100	97,5	91,6	87,6	68,9	A-4	13	19,5	1809	0,21	17		
15	15	108	BD	0,00	2,00	44,9	16,3	100	100	100	99,6	92,4	86,9	64,5	A-4	13	18,8	1798	0,56	14		
16	16	118	BE	0,00	2,50	39,9	12,5	100	100	99,3	98	94,9	89,7	55,1	A-7-5	13	15,8	1692	0,78	13		
17	17	126	BD	0,00	1,00	47,8	16,3	100	100	100	98,1	93,8	86,4	64,9	A-4	13	18,4	1853	0,32	19		
18	18	135	BE	0,00	2,00	49,9	17,5	100	100	100	99,2	94,8	89,6	66,7	A-7-5	13	19,1	1843	0,25	16		
19	19	143	BE	0,00	1,00	47,5	16,9	100	100	100	98,7	93,8	92,1	71,3	A-7-5	13	19,4	1801	0,15	14		
20	20	150	BD	0,00	2,00	46,9	14,8	100	100	100	99,3	96,4	88,9	66,8	A-7-5	13	18,7	1829	0,28	16		
21	21	154	BE	0,00	3,50	56,0	12,1	100	100	99,8	99	98	94,1	61,8	A-4	13	21,5	1600	0,42	19		
22	22	158	BD	0,00	2,00	44,3	16,3	100	100	99,4	98,9	93,4	92,1	72,3	A-4	13	24,3	1622	0,23	16		
23	23	162	BE	0,00	1,00	49,1	18,8	100	100	94,8	92,9	89,2	82,0	61,0	A-4	13	23,4	1699	0,22	17		
24	24	174	BE	0,00	3,00	44,8	17,4	100	100	100	94,9	87,9	79,9	65,3		13	22,1	1724	0,39	16	HOR	
25	24	174	E	3,00	5,00	26,4	5,1	100	100	97,2	94,4	91,6	87,0	59,0	A-7-5	13	19,8	1614	0,58	10	SEGMENTO 02	
26	25	178	E	0,00	3,00	39,9	12,8	100	100	100	99,2	94,8	88,9	68,9	A-7-5	13	24,8	1738	0,35	11		
27	25	178	E	3,00	4,00	NL	NP	100	100	98,8	97,8	95,5	81,5	40,9	A-2-4	13	11,7	1714	0,29	19		
28	26	182	E	0,00	2,30	36,6	9,1	100	100	99,2	91,3	84,9	77,3	56,3	A-4	13	13,6	1688	0,45	16		HOR
29	26	182	E	2,30	4,50	NL	NP	100	100	98,7	96,0	90,3	80,5	64,7	A-7-5	13	19,9	1634	1,39	10		
30	27	188	E	0,00	2,50	43,9	18,8	100	100	100	99,5	92,5	86,9	66,7	A-4	13	25,9	1825	0,23	18		

Fonte: Realizado pelo autor.

FIGURA 4.2.5 – Quadro resumo de ensaios: saneamento amostral

ESTUDOS GEOTÉCNICOS - FOLHA RESUMO DE ENSAIOS N° 05														SUBLEITO							
Rodovia:		Trecho:				Aluno: VINICIUS ANTÔNIO FLORENTINO CAMARGO				12/09/2015											
REG	FUR	ESTACA	POS.	PROF. (m)		LL	IP	GRANULOMETRIA (% passando)					Class.	COMPACTAÇÃO			EXP	ISC	OBSERVAÇÃO / Critério de Exclução		
				Inicial	Final			2"	1"	#4	#10	#40	#200	IG	Ø	Gol- pes	Hótlim %	DENS. kg/m³	%	%	
31	28	192	E	0,00	3,00	49,8		100,0	100,0	100,0	100,0	94,8	90,7	78,5		13	29,9	1801	0,36	13	HOR
32	28	192	E	3,00	4,50	NL	NP	100,0	100,0	100,0	99,4	99,2	97,1	61,7		13	19,1	1531	4,43	4	ISC/EXP
33	29	196	E	0,00	3,00	51,2	22,5	100,0	100,0	100,0	100,0	95,9	89,9	80,9		13	28,8	1862	0,41	14	HOR
34	29	196	E	3,00	5,00	NL	NP	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	98,4	75,9		13	17,4	1543	4,80	4	ISC/EXP
35	30	200	E	0,00	2,50	51,6	19,8	100,0	100,0	100,0	100,0	98,4	95,2	81,4		13	27,5	1833	0,29	11	
36	31	204	E	0,00	3,50	52,4	22,7	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	92,7	85,4		13	30,3	1804	0,49	10	
37	32	208	E	0,00	3,00	49,9	18,4	100,0	100,0	100,0	99,8	99,2	94,5	88,1		13	31,3	1799	0,38	11	
38	33	212	E	0,00	2,50	47,4	15,9	100	100	100	100	94,8	90,2	80,1		13	27,4	1825	0,23	15	
39	34	226	E	0,00	2,10	35,8	10,9	100	100	93,1	79,8	70,8	60,4	37,2		13	14,0	1853	0,00	16	IMP
40	34	226	E	2,10												13					IMP
41	35	229	E	0,00	2,40	37,9	8,9	100	100	94,6	80,7	74,8	66,4	42,3		13	15,2	1804	0,12	14	IMP
42	35	229	E	2,40												13					IMP
43	36	237	E	0,00	3,50	44,2	12,8	100	100	100	94,8	84,8	79,3	68,4		13	19,5	1788	0,45	9	
44	37	241	E	0,00	1,50	40,8	14,4	100	100	100	91,5	86,8	80,7	62,4		13	18,2	1805	0,25	14	
45	38	245	E	0,00	3,50	42,9	16,3	100	100	100	95,6	90,9	84,7	69,2		13	22,2	1825	0,15	14	
46	39	257	E	0,00	3,00	38,5	12,9	100	100	100	96,3	91,5	84,5	55,2		13	18,6	1789	0,07	12	HOR
47	39	257	E	3,00	4,50	NL	NP	93	76,4	53,4	41,4	31,6	25,2	13,4		13	8,1	2019	0,00	41	
48	40	261	E	0,00	3,00	35,4	13,1	100	100	98,2	95,9	94,3	89,8	50,4		13	17,1	1757	0,07	13	
49	41	274	BE	0,00	1,50	29,4	NP	100	100	100	98,1	95,1	91,2	84,5		13	19,9	1456	3,59	4	ISC/EXP
50	42	287	E	0,00	3,50	32,7	NP	100	100	89,3	81,6	81	79,8	74		13	17,1	1686	0,04	11	
51	43	291	E	0,00	1,50	33,4	5,9	100	99	94,6	89,2	81,9	79,3	45,2		13	19,1	1699	0,25	10	SEGMENTO 03
52	44	305	BD	0,00	1,00	35,0	NP	100	100	90,7	83,9	78,6	66,9	36,5		13	12,1	1871	0,38	27	
53	45	315	BD	0,00	2,50	NL	NP	100,0	100,0	100,0	99,0	97,0	79,0	35,9		13	13,3	1650	0,85	17	
54	46	324	E	0,00	1,50	NL	NP	100,0	100,0	100,0	100,0	95,3	84,6	37,0		13	12,4	1678	0,70	21	
55	47	328	E	0,00	3,50	32,3	NP	100,0	100,0	99,0	97,0	92,8	84,8	40,9		13	12,8	1809	0,16	45	
56	48	339	E	0,00	3,00	31,0	10,8	100,0	100,0	100,0	99,8	99,3	92,3	31,1		13	14,0	1704	0,06	19	
57	49	343	E	0,00	2,00	27,4	NP	100,0	100,0	89,8	79,1	72,5	64,1	31,2		13	13,9	1862	0,38	16	
58	50	351	E	0,00	2,50	26,4	NP	100,0	100,0	98,6	98,0	96,1	82,6	48,1		13	20,3	1636	0,38	17	
59	51	354	E	0,00	3,00	38,4	5,6	100,0	100,0	100,0	100,0	87,4	68,6	57,2		13	19,5	1723	0,87	19	
60	52	368	E	0,00	2,50	43,2	20,2	100,0	100,0	100,0	99,8	99,2	92,0	54,0		13	18,4	1673	0,03	16	HOR

Fonte: Realizado pelo autor.

FIGURA 4.2.6 – Quadro resumo de ensaios: saneamento amostral

ESTUDOS GEOTÉCNICOS - FOLHA RESUMO DE ENSAIOS N° 05										SUBLEITO															
Rodovia:		Trecho:		ITABIRA - SENHORA DO CARMO		Aluno: VINICIUS ANTÔNIO FLORENTINO CAMARGO						12/09/2015													
REG	FUR	ESTACA	POS.	PROF.(m)		LL	IP	GRANULOMETRIA (% passando)					Class.	COMPACTAÇÃO			EXP	ISC	OBSERVAÇÃO / Critério de Exclução						
				Inicial	Final			2"	1"	#4	#10	#40		#200	Gol- pes	Hótlim %				DENS. kg/m³	%				
61	52	368	E	2,50	4,00	44,0	NP	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	84,2	46,7	A-7-5	13	15,7	1705	2,48	6	ISC/EXP				
62	53	371	E	0,00	3,00	42,3	NP	100,0	91,7	72,4	65,8	59,9	48,2	28,4	A-7-5	13	11,4	1937	0,12	22	HOR				
63	53	371	E	3,00	6,00	40,9	NP	100	100	100	100	99,8	88	50,7	A-7-5	13	14,2	1820	3,23	5	ISC/EXP				
64	53	371	E	6,00	8,00	NL	NP	100	100	100	99,2	98,6	92,6	55,4	A-7-6	13	13,7	1708	6,42	3	ISC/EXP				
65	54	375	E	0,00	3,00	32,6	5,9	100	99,2	97,4	95	89	71,8	A-7-5	13	22,2	1624	0,34	14	HOR					
66	54	375	E	3,00	4,00	NL	NP	100,0	100,0	99,8	99,2	98,8	95,3	67,1	A-7-6	13	21,9	1586	2,85	9	ISC/EXP				
67	55	379	E	0,00	1,50	45,0	17,0	100	80,8	70,7	67,7	66,1	59,1	44,4	A-6	13	25,2	1472	0,08	21					
68	56	384	E	0,00	1,00	NL	NP	100	100	88,2	82,3	73,7	60,1	31,3	A-7-6	13	8,2	1930	0,00	19					
69	57	394	BE	0,00	2,50	50,4	NP	100	100	100	98,4	96,3	85,9	54,6	A-6	13	17,1	1653	0,24	14					
70	58	397	E	0,00	2,50	NL	NP	100	87,4	78,1	76,4	73,6	62,6	32,9	A-6	13	10,9	1817	0,00	37					
71	59	401	E	0,00	1,00	NL	NP	100	100	100	100	100	89,4	47,5	A-4	13	16,5	1686	1,02	16					
72	60	407	BD	0,00	1,00	38,9	NP	100	100	100	88,1	76,5	61,4	41,9	A-5	13	21,5	1727	0,87	24					
73	61	416	BD	0,00	2,50	41,2	NP	100	100	100	90,3	80,7	66,4	52,1	A-6	13	19,9	1690	0,23	17					
74	62	420	E	0,00	3,00	44,8	5,6	100	100	100	100	92,5	80,5	54,1	A-7-6	13	17,7	1725	0,15	18	IMP				
75	63	442	E	0,00	2,20	45,9	13,6	100	100	99,8	94,5	88,7	84,3	74,5	A-7-6	13	22,8	1787	0,05	14	IMP				
76	63	442	E	2,20		IMP TRADO																			
77	64	451	E	0,00	2,00	44,2	9,4	100	100	100	100	89,2	80,9	72,5	A-4		0	21,8	1702	0,09	10				
78	65	463	E	0,00	1,00	45,1	15,8	100	100	100	100	98,5	91,6	84,5	A-7-5		0	27,9	1645	0,12	9				
79	66	467	E	0,00	3,00	49,9	16,9	100	100	100	98,5	95,6	89,6	78,4			0	25,6	1725	0,09	15	HOR			
80	66	467	E	3,00	6,50	43,9	NP	100	100	100	99,3	94,5	90,9	84,9				15,9	1586	3,45	5	ISC/EXP			
81	67	471	E	0,00	2,50	48,4	14,8	100	100	100	100	95,6	87,8	81,9			0	24,9	1609	0,36	9				
82	68	485	E	0,00	2,80	44,5	21,5	100	100	100	100	100	88,9	75,9			0	22,4	1725	0,08	19	IMP			
83	68	485	E	2,80		IMP TRADO													0						IMP
84	69	489	E	0,00	2,00	49,8	22,9	100	100	100	100	98,8	90,2	78,9			0	23,2	1755	0,10	17	IMP			
85	69	489	E	2,00		IMP TRADO													0						IMP
86	70	498	E	0,00	1,00	40,6	18,1	100	100	100	100	100	88,9	74,5			0	21,3	1725	0,15	11				
87	71	501	E	0,00	2,50	41,6	19,8	100	100	100	100	100	96,4	84,2			0	28,6	1763	0,32	11				
88	72	505	E	0,00	3,00	47,2	23,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,6	93,4	60,1			0	18,4	1589	0,60	21	HOR			
89	72	505	E	3,00	5,50	35,1	14,8	100,0	92,3	87,8	86,3	84,3	77,1	38,2			0	15,2	1649	1,22	24				

Fonte: Realizado pelo autor.

FIGURA 4.2.7 – Quadro Resumo – Amostras Saneadas

ESTUDOS GEOTÉCNICOS - FOLHA RESUMO DE ENSAIOS										SUBLEITO											
Rodovia:		Trecho:		ITABIRA - SENHORA DO CARMO		Aluno: VINICIUS ANTÔNIO FLORENTINO CAMARGO										12/09/2015					
REG	FUR	ESTACA	POS.	PROF.(m)		LL	IP	GRANULOMETRIA (% passando)					IG	Class.	δ	COMPACTAÇÃO		EXP	ISC	OBSERVAÇÃO / Critério de Exclusão	
				Final	Initial			2"	1"	#4	#10	#40				#200	Gol- pes				Hólim %
SEGMENTO 01																					
1	1	2	BE	0,00	1,00	50,2	19,9	100	100	100	99,1	97,3	90,1	71,2	A-4		13	26,1	1722	0,38	14
2	2	8	BD	0,00	1,00	45,8	17,4	100,0	100,0	100,0	99,7	98,7	86,8	64,8	A-4		13	25,4	1702	0,46	15
3	3	16	BD	0,00	2,00	43,2	15,1	100,0	100,0	100,0	100,0	94,5	82,5	61,2	A-4		13	24,3	1699	0,21	16
4	4	24	BE	0,00	1,00	38,7	10,8	100,0	100,0	94,2	88,4	66,3	49,9	38,6	A-4		13	16,8	2169	0,08	23
5	5	35	BD	0,00	2,00	NL	NP	100,0	97,4	80,6	68,4	50,1	35,7	24,7	A-4		13	8,3	2989	0,04	39
6	6	44	BD	0,00	2,00	24,2	NP	100	95,1	80,2	68,7	57	42,9	25,4	A-4		13	13,6	2118	0,08	33
7	7	49	BD	0,00	2,00	NL	NP	100	100	100	99,8	95,1	59,4	33,4	A-4		13	10,0	1641	0,40	31
8	8	53	BE	0,00	3,50	41,5	NP	100	100	94,5	92,4	88,6	76,9	38,4	A-4		13	12,3	1855	0,57	39
9	9	60	BD	0,00	2,00	44,2	NP	100	100	93,8	89,9	80,4	70,6	43,3	A-4		13	14,3	1846	0,36	29
10	10	68	BD	0,00	1,50	46,7	11,3	100	100	98,8	94,3	84,5	79,9	57,4	A-4		13	16,8	1822	0,25	18
11	11	76	BD	0,00	1,00	44,9	14,3	100	100	100	96,8	92,4	88,3	66,2	A-6		13	18,6	1801	0,23	16
12	12	83	BE	0,00	1,50	48,5	12,9	100	100	100	99,1	92,8	87,2	69,3	A-4		13	19,1	1798	0,33	15
13	13	91	BE	0,00	2,00	44,3	14,9	100	100	100	98,2	94,5	88,9	62,4	A-4		13	17,2	1788	0,45	14
14	14	98	BD	0,00	1,00	41,0	15,6	100	100	100	97,5	91,6	87,6	68,9	A-4		13	19,5	1809	0,21	17
15	15	108	BD	0,00	2,00	44,9	16,3	100	100	100	99,6	92,4	86,9	64,5	A-4		13	18,8	1798	0,56	14
16	16	118	BE	0,00	2,50	39,9	12,5	100	100	99,3	98	94,9	89,7	55,1	A-7-5		13	15,8	1692	0,78	13
17	17	126	BD	0,00	1,00	47,8	17,5	100	100	100	98,1	93,8	86,4	64,9	A-4		13	18,4	1853	0,32	19
18	18	135	BE	0,00	2,00	49,9	17,3	100	100	100	99,2	94,8	89,6	66,7	A-7-5		13	19,1	1843	0,25	16
19	19	143	BE	0,00	1,00	47,5	16,9	100	100	100	98,7	93,8	92,1	71,3	A-7-5		13	19,4	1801	0,15	14
20	20	150	BD	0,00	2,00	46,9	14,8	100	100	100	99,3	96,4	88,9	66,8	A-7-5		13	18,7	1829	0,28	16
21	21	154	BE	0,00	3,50	56,0	12,1	100	100	99,8	99	98	94,1	61,8	A-4		13	21,5	1600	0,42	19
22	22	158	BD	0,00	2,00	44,3	16,3	100	100	99,4	98,9	93,4	92,1	72,3	A-4		13	24,3	1622	0,23	16
23	23	162	BE	0,00	1,00	49,1	18,8	100,0	100,0	94,8	92,9	89,2	82,0	61,0	A-4		13	23,4	1699	0,22	17
25	24	174	E	3,00	5,00	26,4	5,1	100,0	100,0	97,2	94,4	91,6	87,0	59,0	A-7-5		13	19,8	1614	0,58	10
26	25	178	E	0,00	3,00	39,9	12,8	100,0	100,0	100,0	99,2	94,8	88,9	68,9	A-7-5		13	24,8	1738	0,35	11
27	25	178	E	3,00	4,00	NL	NP	100	100	98,8	97,8	95,5	81,5	40,9	A-2-4		13	11,7	1714	0,29	19
29	26	182	E	2,30	4,50	NL	NP	100,0	100,0	98,7	96,0	90,3	80,5	64,7	A-7-5		13	19,9	1634	1,39	10
30	27	188	E	0,00	2,50	43,9	18,8	100,0	100,0	100,0	99,5	92,5	86,9	66,7	A-4		13	25,9	1825	0,23	18
35	30	200	E	0,00	2,50	51,6	19,8	100,0	100,0	100,0	100,0	98,4	95,2	81,4	A-2-4		13	27,5	1833	0,29	11
36	31	204	E	0,00	3,50	52,4	22,7	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	92,7	85,4			13	30,3	1804	0,49	10
SEGMENTO 02																					

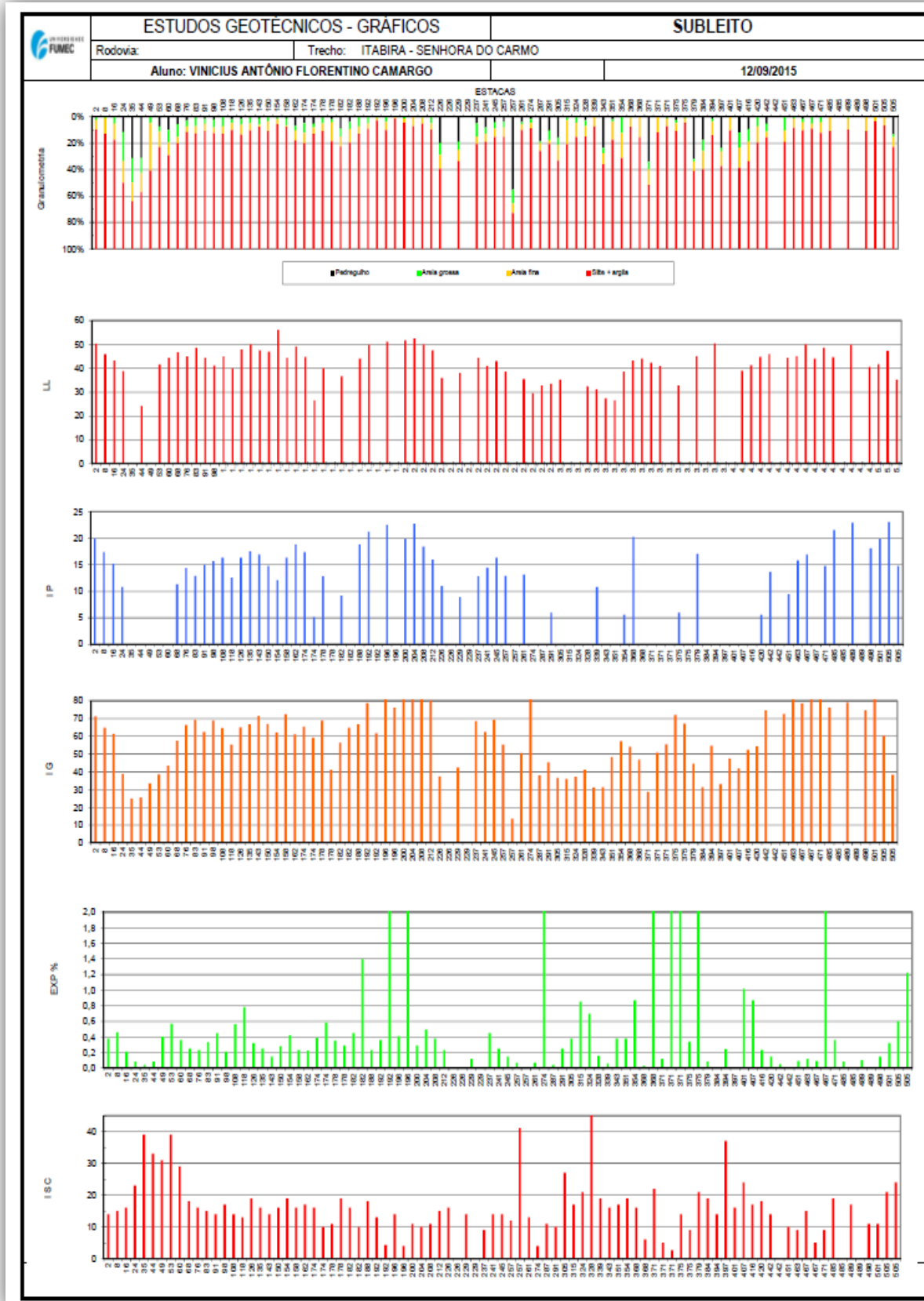
Fonte: Realizado pelo autor.

FIGURA 4.2.8 – Quadro Resumo – Amostras Saneadas

ESTUDOS GEOTÉCNICOS - FOLHA RESUMO DE ENSAIOS										SUBLEITO											
Rodovia:		Trecho: ITABIRA - SENHORA DO CARMO				Aluno: VINICIUS ANTÔNIO FLORENTINO CAMARGO										12/09/2015					
REG	FUR	ESTACA	POS.	PROF. (m)		LL	IP	GRANULOMETRIA (% passando)					IG	Class.	COMPACTAÇÃO			EXP	ISC	OBSERVAÇÃO / Critério de Exclusão	
				Inicial	Final			2"	1"	#4	#10	#40			#200	Gol- pes	Hótím %				DENS. kg/m ³
37	32	208	E	0,00	3,00	49,9	18,4	100,0	100,0	100,0	99,8	99,2	94,5	88,1	A-2,4	13	31,3	1799	0,38	11	
38	33	212	E	0,00	2,50	47,4	15,9	100	100	100	100	94,8	90,2	80,1	A-7-5	13	27,4	1825	0,23	15	
43	36	237	E	0,00	3,50	44,2	12,8	100	100	100	94,8	84,8	79,3	68,4	A-4	13	19,5	1788	0,45	9	
44	37	241	E	0,00	1,50	40,8	14,4	100	100	100	91,5	86,8	80,7	62,4	A-4	13	18,2	1805	0,25	14	
45	38	245	E	0,00	3,50	42,9	16,3	100	100	100	95,6	90,9	84,7	69,2	A-4	13	22,2	1825	0,15	14	
47	39	257	E	3,00	4,50	NL	NP	93	76,4	53,4	41,4	31,6	25,2	13,4	A-4	13	8,1	2019	0,00	41	
48	40	261	E	0,00	3,00	35,4	13,1	100	100	98,2	95,9	94,3	89,8	50,4	A-4	13	17,1	1757	0,07	13	
50	42	287	E	0,00	3,50	32,7	NP	100	89,3	81,6	81	79,8	74	38	A-4	13	17,1	1686	0,04	11	
51	43	291	E	0,00	1,50	33,4	5,9	100	99	94,6	89,2	81,9	79,3	45,2	A-4	13	19,1	1699	0,25	10	
52	44	305	BD	0,00	1,00	35,0	NP	100	100	90,7	83,9	78,6	66,9	36,5	A-4	13	12,1	1871	0,38	27	
53	45	315	BD	0,00	2,50	NL	NP	100,0	100,0	100,0	99,0	97,0	79,0	35,9	A-4	13	13,3	1650	0,85	17	
54	46	324	E	0,00	1,50	NL	NP	100,0	100,0	100,0	100,0	95,3	84,6	37,0	A-7-5	13	12,4	1678	0,70	21	
55	47	328	E	0,00	3,50	32,3	NP	100,0	100,0	99,0	97,0	92,8	84,8	40,9	A-6	13	12,8	1809	0,16	45	
56	48	339	E	0,00	3,00	31,0	10,8	100,0	100,0	100,0	99,8	99,3	92,3	31,1	A-7-6	13	14,0	1704	0,06	19	
57	49	343	E	0,00	2,00	27,4	NP	100,0	89,8	79,1	76,1	72,5	64,1	31,2	A-2-4	13	13,9	1862	0,38	16	
58	50	351	E	0,00	2,50	26,4	NP	100,0	100,0	98,6	98,0	96,1	82,6	48,1		13	20,3	1636	0,38	17	
59	51	354	E	0,00	3,00	38,4	5,6	100,0	100,0	100,0	100,0	87,4	68,6	57,2	A-2-4	13	19,5	1723	0,87	19	
67	55	379	E	0,00	1,50	45,0	17,0	100	80,8	70,7	67,7	66,1	59,1	44,4	A-6	13	25,2	1472	0,08	21	
68	56	384	E	0,00	1,00	NL	NP	100	100	88,2	82,3	73,7	60,1	31,3	A-7-6	13	8,2	1930	0,00	19	
69	57	394	BE	0,00	2,50	50,4	NP	100	100	100	98,4	96,3	85,9	54,6	A-6	13	17,1	1653	0,24	14	
70	58	397	E	0,00	2,50	NL	NP	100	87,4	78,1	76,4	73,6	62,6	32,9	A-6	13	10,9	1817	0,00	37	
71	59	401	E	0,00	1,00	NL	NP	100	100	100	100	100	89,4	47,5	A-4	13	16,5	1686	1,02	16	
72	60	407	BD	0,00	1,00	38,9	NP	100	100	100	88,1	76,5	61,4	41,9	A-5	13	21,5	1727	0,87	24	
73	61	416	BD	0,00	2,50	41,2	NP	100	100	100	90,3	80,7	66,4	52,1	A-6	13	19,9	1690	0,23	17	
74	62	420	E	0,00	3,00	44,8	5,6	100	100	100	100	92,5	80,5	54,1	A-7-6	13	17,7	1725	0,15	18	
77	64	451	E	0,00	2,00	44,2	9,4	100	100	100	100	89,2	80,9	72,5	A-4	13	21,8	1702	0,09	10	
78	65	463	E	0,00	1,00	45,1	15,8	100	100	100	100	98,5	91,6	84,5	A-7-5	13	27,9	1645	0,12	9	
81	67	471	E	0,00	2,50	48,4	14,8	100	100	100	100	95,6	87,8	81,9		13	24,9	1609	0,36	9	
86	70	498	E	0,00	1,00	40,6	18,1	100	100	100	100	100	88,9	74,5		13	21,3	1725	0,15	11	
87	71	501	E	0,00	2,50	41,6	19,8	100	100	100	100	100	96,4	84,2		13	28,6	1763	0,32	11	
89	72	505	E	3,00	5,50	35,1	14,8	100,0	92,3	87,8	86,3	84,3	77,1	38,2		13	15,2	1649	1,22	24	

Fonte: Realizado pelo autor.

FIGURA 4.2.9 – Gráfico Resumo de Ensaios: Amostras Saneadas



Fonte: Realizado pelo autor.

4.2.5 Determinação da Resistência Característica do Subleito (ISCproj)

Uma vez tendo em mãos o quadro resumo de ensaios amostral é possível definir a resistência característica do material do subleito (ISCproj), podendo valer-se, para tanto, da análise estatística e da análise gráfica, ambas apresentadas a seguir.

4.2.5.1 Determinação da Resistência Característica do Subleito através do Método da Análise Estatística

A determinação do ISCproj se utilizará dos resultados de ensaio de Índice de Suporte Califórnia realizado em cada amostra. Além disso tal determinação correlaciona o ISCproj à parâmetros estatísticos, como a média e o desvio-padrão amostral, além de atribuir um coeficiente de risco, de acordo com o tamanho da amostra. A relação é a seguinte:

$$ISC_{proj} = X_{min} = X_{média} - K \cdot S,$$

onde

- $X_{média}$ é a média aritmética dos n elementos da amostra estudada;
- S é o desvio-padrão da amostra, dado pela fórmula $[\sum ((x_i - X_{média})^2) / (n-1)]^{1/2}$;
- K é o coeficiente de risco associado ao tamanho da amostra, dado pela tabela abaixo:

Tabela 4.2.1: coeficiente de risco associado ao tamanho da amostra.

N	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
K	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,185	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,05	1,04	1,025	1,01

Fonte: Realizado pelo autor.

A sistemática de cálculo consiste em calcular $X_{média}$ e S utilizando-se inicialmente de todos os n elementos de ISC de dado segmento homogêneo resultando o valor do $X_{mín}$. Logo, expurga-se um elemento da amostra e recalcula-se novo $X_{mín}$ para $n-1$ elementos, e assim sucessivamente, até que se encontre o maior valor $X_{mín}$, o qual será considerado o ISC_{proj} . O critério de expurgo de elementos da amostra é o

seguinte: caso não haja na amostra elemento menor que $0,80 \cdot X_{\min}$, expurga-se o maior valor de ISC da amostra e, caso contrário, expurga-se o menor valor.

Efetuada-se os procedimentos supracitados, apresentamos a seguir o valor do ISC_{proj} para cada um dos 03 (três) segmentos homogêneo, com a respectiva memória de cálculo, sequência de saneamento amostral e ilustração gráfica.

- Segmento Homogêneo SH1: EST. 0 a EST. 162

Tabela 4.2.2: Memória de Cálculo – SH1

Cálculos						
Segmento	N	xmédio	S (desvpad)	K	ISCproj = X min	0,80*X min
1	23	20,1	8,11	1,003	12,0	9,6
1	22	19,3	7,16	1,005	12,1	9,7
1	21	18,3	5,78	1,01	12,5	10,0
1	20	17,6	4,83	1,025	12,7	10,1
1	19	16,9	3,75	1,04	13,0	10,4
1	18	16,2	2,41	1,05	13,7	10,9
1	17	15,8	1,78	1,06	13,94	11,15
1	16	15,6	1,63	1,08	13,87	11,09
1	15	15,4	1,40	1,1	13,86	11,08
1	14	15,2	1,25	1,11	13,83	11,06
1	13	15,1	1,19	1,13	13,74	10,99

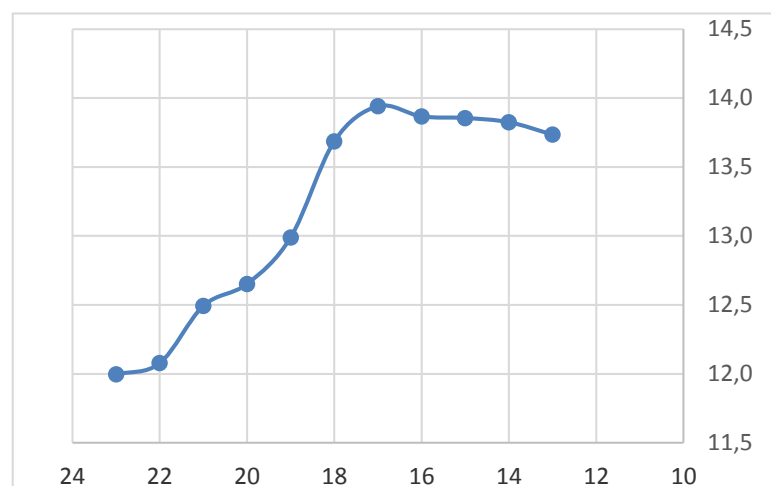
Fonte: Realizado pelo autor.

Tabela 4.2.3: Sequência de saneamento amostral – SH1

Segm.	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
23	23	23	23	23	23	23					
39	39										
33	33	33	33								
31	31	31	31	31							
39	39	39									
29	29	29	29	29	29						
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
19	19	19	19	19	19	19	19	19			
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19		
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

Fonte: Realizado pelo autor.

Figura 4.10: Gráfico Nº de amostras x ISC



Fonte: Realizado pelo autor.

Logo, conclui-se que o $ISC^{SH.1}_{proj} = 14,0\%$.

- Segmento Homogêneo SH2: EST. 162 a EST. 287

Tabela 4.2.4: Memória de Cálculo – SH2

Cálculos						
Segmento	N	xmédio	S (desvpad)	K	ISCproj = X min	0,80*X min
1	15	14,5	7,92	1,100	5,76	4,6
1	14	12,6	3,08	1,11	9,15	7,3
1	13	12,1	2,56	1,13	9,18	7,3
1	12	11,6	1,93	1,16	9,35	7,5
1	11	11,3	1,68	1,185	9,28	7,4
1	10	11,0	1,49	1,21	9,20	7,4
1	9	10,7	1,12	1,25	9,27	7,42
1	8	10,4	0,74	1,31	9,40	7,52
1	7	10,3	0,76	1,36	9,26	7,41
1	6	10,2	0,75	1,41	9,11	7,28
1	5	10,0	0,71	1,55	8,90	7,12

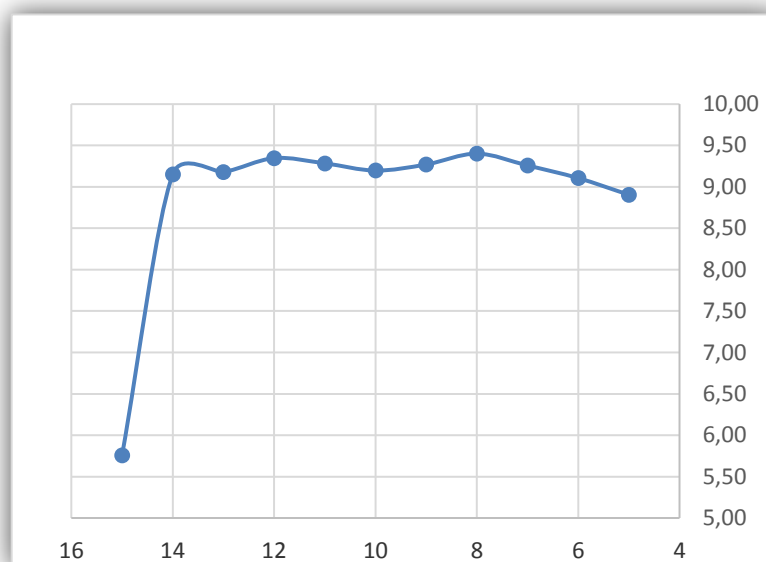
Fonte: Realizado pelo autor.

Tabela 4.2.5: Sequência de saneamento amostral – SH2

Segm.	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11			
19	19	19									
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
18	18	18	18								
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11		
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
15	15	15	15	15							
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
14	14	14	14	14	14						
14	14	14	14	14	14	14					
41	41										
13	13	13	13	13	13	13	13				
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Fonte: Realizado pelo autor.

Figura 4.2.10: Gráfico Nº de amostras x ISC



Fonte: Realizado pelo autor.

Logo, conclui-se que o $ISC_{proj}^{SH.2} = 9,5\%$.

- Segmento Homogêneo SH3: EST. 287 a EST. 505

Tabela 4.2.6: Memória de Cálculo – SH3

Cálculos						
Segmento	N	xmédio	S (desvpad)	K	ISCproj = X min	0,80*X min
1	23	18,7	8,70	1,003	10,01	8,01
1	22	17,5	6,71	1,005	10,80	8,64
1	21	16,6	5,24	1,01	11,33	9,06
1	20	17,0	5,07	1,025	11,81	9,44
1	19	17,4	4,83	1,04	12,39	9,91
1	18	16,9	4,36	1,05	12,31	9,85
1	17	16,5	4,11	1,06	12,11	9,69
1	16	16,0	3,74	1,08	11,96	9,57

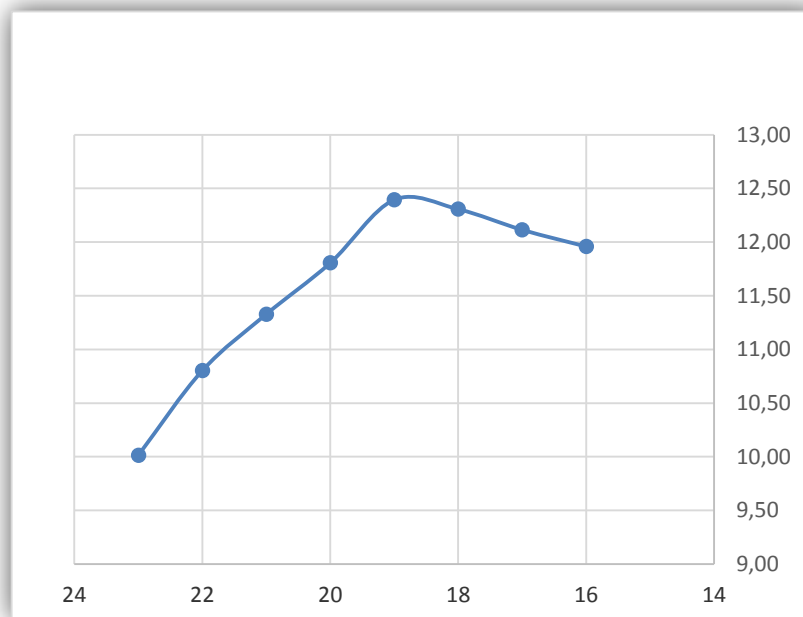
Fonte: Realizado pelo autor.

Tabela 4.2.7: Sequência de saneamento amostral – SH3

Segm.	N	N	N	N	N	N	N	N
1	23	22	21	20	19	18	17	16
10	10	10	10	10	10	10	10	10
27	27	27	27	27	27			
17	17	17	17	17	17	17	17	17
21	21	21	21	21	21	21	21	21
45	45							
19	19	19	19	19	19	19	19	19
16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17
19	19	19	19	19	19	19	19	19
21	21	21	21	21	21	21	21	21
19	19	19	19	19	19	19	19	19
14	14	14	14	14	14	14	14	14
37	37	37						
16	16	16	16	16	16	16	16	16
24	24	24	24	24	24	24		
17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18
10	10	10	10	10	10	10	10	10
9	9	9	9					
9	9	9	9	9				
11	11	11	11	11	11	11	11	11
11	11	11	11	11	11	11	11	11
24	24	24	24	24	24	24	24	

Fonte: Realizado pelo autor.

Figura 4.2.11: Gráfico N° de amostras x ISC

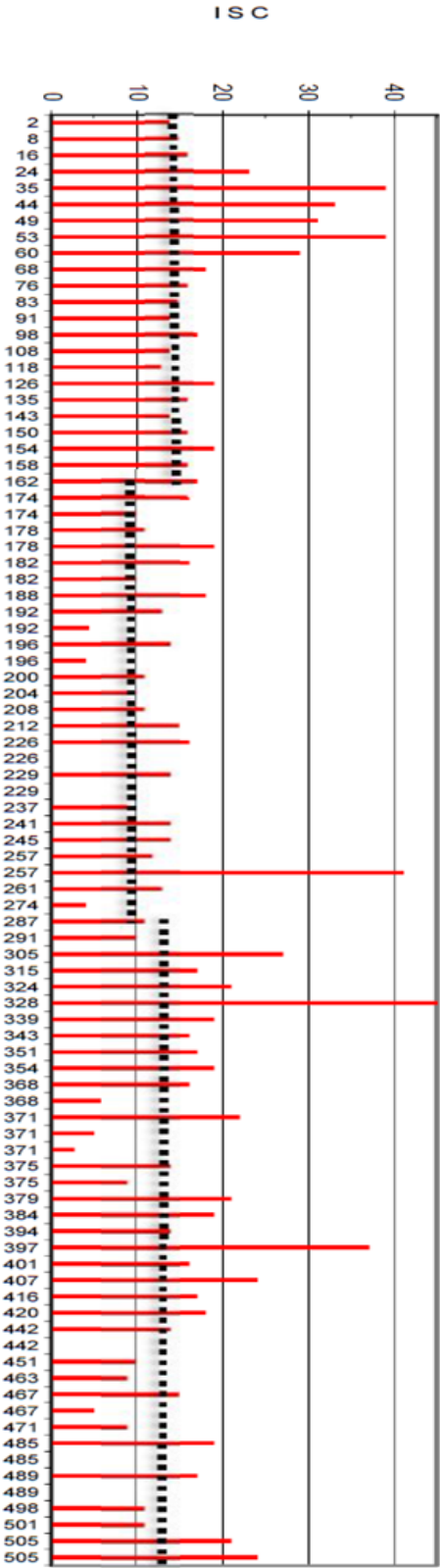


Fonte: Realizado pelo autor.

Logo, conclui-se que o $ISC_{proj}^{SH.3} = 12,5\%$

Podemos visualizar graficamente (Figura 4.13), ao longo do estaqueamento, os segmentos homogêneos e respectivos valores de $ISC_{proj}(\%)$ lançados sobre os valores de ISC (%) dos ensaios.

Figura 4.2.12: Gráfico de ISC x Estacas com sobreposição dos valores de ISCproj. para cada segmento homogêneo.

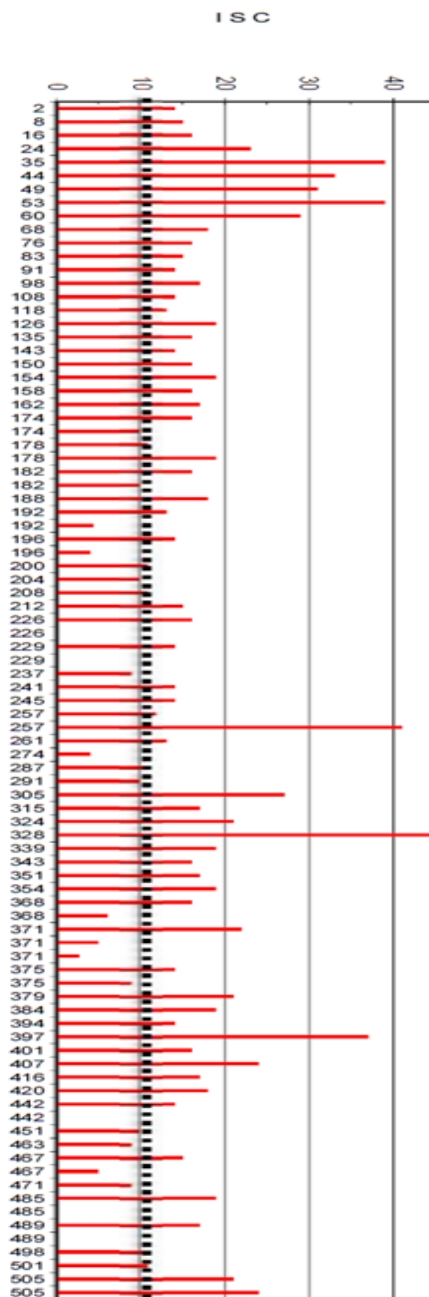


Fonte: Realizado pelo autor.

4.2.5.2 Determinação da Resistência Característica do Subleito através do Método do Gráfico de Resultados de Ensaio

A determinação da resistência característica do subleito, neste caso, é realizada pela análise visual do gráfico dos resultados de ensaio de ISC. Portanto, analisando a Figura 4.2.14 abaixo pode-se concluir que $ISC_{proj.} = 10,5\%$.

Figura 4.2.13: Gráfico de ISC x Estacas: definição do $ISC_{proj.}$ através do gráfico



Fonte: Realizado pelo autor.

4.2.5.3 Discussão dos Resultados

Ao confrontarmos os métodos estatístico e gráfico pode-se concluir que este é de certa forma mais subjetivo, podendo apresentar valores distintos conforme o projetista, além de gerar uma análise menos pormenorizada com consequências na concepção da estrutura do pavimento a ser projetado, implicando possivelmente até em aumento de custos. Assim sendo, conclui-se ser vantajoso valer-se do método estatístico para a obtenção do ISC_{proj} .

4.2.6 Determinação dos Intervalos de Substituição do Material do Subleito

Conforme comentado anteriormente, aqueles materiais do subleito coincidentes ao greide projetado que apresentarem $ISC < 5,0\%$ e/ou expansão $> 2,0\%$ serão removidos, sendo disposto em áreas apropriadas denominadas “bota-fora”. Vale ressaltar que o volume substituído será compensado com material proveniente de compensação lateral de cortes ao longo do eixo projetado ou de jazidas de solos, desde de que atendam às especificações e ao ISC_{proj} definido para aquele intervalo. Logo, analisando o Quadro Resumo fornecido inicialmente é possível observar intervalos que atendem ao critério para substituição:

Tabela 4.2.8: Locais de substituição do material do subleito definidos pelos valores de ISC e Expansão

FURO	ESTACA	EXP (%)	ISC (%)	Profundidade de Substituição (cm)
28	72	4,43	4,0	60
29	196	4,80	4,0	60
41	274	3,59	4,0	60
52	368	2,48	6,0	60
53	371	6,42	3,0	60
54	375	2,85	9,0	60
66	467	3,45	5,0	60

Fonte: Realizado pelo autor.

4.2.7 Determinação dos Intervalos de Delineamento de Superfície Rochosa ao Nível do Subleito

É possível através de inspeção visual ou de análise da sondagem realizada determinar intervalos nos quais podem ocorrer superfície rochosa ao longo do greide projetado, a partir dos quais poderão ser determinados volumes de corte de materiais - rochosos ou impenetráveis ao trado. Analisando-se o quadro resumo fornecido foi possível observar a ocorrência de impenetrável ao trado em alguns locais, listados na Tabela 4.9 abaixo. Cabe destacar que as profundidades ali elencadas são consideradas a partir da cota do terreno natural sondado.

Tabela 4.2.9: Locais de ocorrência de impenetrável ao trado

FURO	ESTACA	PROFUNDIDADE
		DO IMPENETRÁVEL(m)
34	226	2,10
35	229	2,40
63	442	2,20
68	485	2,80
69	489	2,00

Fonte: Realizado pelo autor.

Observou-se que nos locais listados haverá necessidade de corte em material impenetrável ao trado, haja vista que a profundidade do mesmo é inferior à profundidade prevista para o greide.

Segundo o MANUAL DE PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA Volume IV – Estudos Geológicos e Geotécnicos deve-se realizar um procedimento denominado *Delineamento da Superfície Rochosa ao nível do Subleito* visando definir a superfície rochosa a ser cortada para implantação da rodovia e conseqüentemente sua estimativa de volume. Este procedimento não faz parte do escopo do presente trabalho.

4.3 Dimensionamento: Pavimentação Rígida

O método de dimensionamento de pavimentos rígidos da (PCA) basicamente incorpora um modelo de análise de fadiga e de erosão. Os fundamentos do método da Portland Cement Association de 1984 estão descritos no Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT e na publicação da ABCP denominada ET-97 – Estudo Técnico: Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos pelo Método da PCA/1984.

Tendo em vista os Estudos de Tráfego apresentados no item 4.1 do presente trabalho, obtivemos o número de solicitações por cada tipo de eixo (simples, tandem duplo e tandem triplo) assim como o número de solicitações para cada carga com a respectiva frequência percentual (vide QUADRO 4.3.1).

QUADRO 4.3.1: Resumo dos estudos de tráfego

Número de Solicitações por Tipo de Eixos		
NES=	19.009.615	
NTD=	8.697.618	
NTT=	2.452.854	
Carga (kN)	Frequência (%)	Número de Solicitações
Eixo Simples		
130	5	950.481
120	10	1.900.961
110	15	2.851.442
80	40	7.603.846
70	10	1.900.961
60	20	3.801.923
Eixo Tandem Duplo		
190	10	869.762
180	20	1.739.524
170	50	4.348.809
160	20	1.739.524
Eixo Tandem Triplo		
270	10	245.285
260	30	735.856
250	60	1.471.712

Fonte: Realizado pelo autor.

Estes estudos de tráfego servirão para subsidiar o dimensionamento do pavimento rígido. Cabe lembrar que nos estudos do subleito foram obtidos 03 (três) segmentos

homogêneos em termos de ISCproj, portanto o dimensionamento do trecho estudado terá, a priori, três estruturas a dimensionar. A seguir serão apresentadas, no contexto do referencial teórico do dimensionamento dos pavimentos, as premissas adotadas na execução do dimensionamento da estrutura do presente projeto.

Em primeiro lugar definiu-se a espessura e o tipo de material da sub-base a ser adotada para a estrutura do pavimento. Para o presente estudo escolheu-se adotar sub-base de concreto rolado. A ET-97 (ABCP, 1998) preconiza um quadro que relaciona o ISC do subleito com o coeficiente de recalque no topo do sistema para vários tipos de espessura e de materiais da sub-base. Dessa forma, para o presente estudo utilizou-se do QUADRO 4 da ET-97 (ABCP, 1998) do referido estudo técnico e, dessa forma, obteve-se o exposto no QUADRO 4.3.2:

QUADRO 4.3.2: Resumo dos valores

Adotando-se uma sub-base de concreto rolado de espessura igual a 10,0 cm, temos:			
ksubleito			
Segmento Homog.	ISCproj (%)	Ksubleito (Mpa/m)	Ksist (Mpa/m)
1	14	56	158
2	9,5	49	144
3	12,5	54	154

Fonte: Realizado pelo autor.

No que se refere ao Fator de Segurança para as cargas solicitantes, adotou-se segundo o item 3.3.10 da ET-97 (ABCP, 1998), o valor de 1,2, que considera uma grande frequência de caminhões, conforme observado no QUADRO 4.3.1 do presente trabalho. Adotaram-se também juntas com barra de transferência e acostamento de concreto para a estrutura do pavimento. A resistência característica do concreto ($f_{ctM,k}$) medida aos 28 dias adotada é de 4,5 MPa.

Segue a seqüência de cálculos, para cada segmento homogêneo, conforme o manual citado. O memorial de cálculo encontra-se no ANEXO do presente trabalho.

- Segmento Homogêneo 01: Espessura do revestimento = 22,0 cm

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA/84						
PROJETO:	Itabira - Senhora do Carmo - Segm. Homog 01					
ESPESSURA (cm)	22	Juntas com Barra de Transferência	sim	x	não	
KSIST (Mpa/m)	158	Acostamento de Concreto	sim	x	não	
Resist. Caract. à tração na Flexão - fctM,k (Mpa)	4,5	Período de Projeto	20	anos		
		Fator de Segurança de Cargas - Fsc	1,2			
Cargas por eixo (KN)	Cargas por eixo X Fsc (KN)	Número de Repetições previstas	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Número de Repetições Admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	Número de Repetições Admissíveis	Danos por erosão (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples	8 - Tensão Equivalente =	1,03	9 - Fator de Fadiga =	0,23	10 - Fator de Erosão =	2,19
130	156	950.481	Infinito	0	4.200.000	22,6
120	144	1.900.961	Infinito	0	15.000.000	12,7
110	132	2.851.442	Infinito	0	Infinito	0,0
80	96	7.603.846	Infinito	0	Infinito	0,0
70	84	1.900.961	Infinito	0	Infinito	0,0
60	72	3.801.923	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Duplos	8 - Tensão Equivalente =	0,865	9 - Fator de Fadiga =	0,19	10 - Fator de Erosão =	2,20
190	228	869.762	Infinito	0	Infinito	0,0
180	216	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
170	204	4.348.809	Infinito	0	Infinito	0,0
160	192	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Triplos	8 - Tensão Equivalente = *	0,7	9 - Fator de Fadiga =	0,16	10 - Fator de Erosão =	2,23
270	108	245.285	Infinito	0	Infinito	0,0
260	104	735.856	Infinito	0	Infinito	0,0
250	100	1.471.712	Infinito	0	Infinito	0,0
			TOTAL	0	TOTAL	35,3
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						

- Segmento Homogêneo 01: Espessura do revestimento = 21,0 cm

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA/84						
PROJETO:	Itabira - Senhora do Carmo - Segm. Homog 01					
ESPESSURA (cm)	21	Juntas com Barra de Transferência	sim	x	não	
KSIST (Mpa/m)	158	Acostamento de Concreto	sim	x	não	
Resist. Caract. à tração na Flexão - fctM,k (Mpa)	4,5	Período de Projeto	20	anos		
		Fator de Segurança de Cargas - Fsc	1,2			
Cargas por eixo (KN)	Cargas por eixo X Fsc (KN)	Número de Repetições previstas	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Número de Repetições Admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	Número de Repetições Admissíveis	Danos por erosão (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples	8 - Tensão Equivalente =	1,10	9 - Fator de Fadiga =	0,24	10 - Fator de Erosão =	2,23
130	156	950.481	Infinito	0	2.000.000	47,5
120	144	1.900.961	Infinito	0	4.750.000	40,0
110	132	2.851.442	Infinito	0	18.000.000	15,8
80	96	7.603.846	Infinito	0	Infinito	0,0
70	84	1.900.961	Infinito	0	Infinito	0,0
60	72	3.801.923	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Duplos	8 - Tensão Equivalente =	0,915	9 - Fator de Fadiga =	0,20	10 - Fator de Erosão =	2,24
190	228	869.762	Infinito	0		
180	216	1.739.524	Infinito	0		
170	204	4.348.809	Infinito	0		
160	192	1.739.524	Infinito	0		
Eixos Triplos	8 - Tensão Equivalente = *	0,75	9 - Fator de Fadiga =	0,17	10 - Fator de Erosão =	2,255
270	108	245.285	Infinito	0		
260	104	735.856	Infinito	0		
250	100	1.471.712	Infinito	0		
			TOTAL	0	TOTAL	103,4
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						
A análise de erosão demonstrou que apenas as repetições previstas para o eixo simples já são causadoras de mais de 100% de danos por erosão. Logo conclui-se que a espessura de 21 cm não é suficiente.						

Segmento Homogêneo 01 – Discussão dos resultados

A primeira tentativa (espessura igual a 22,0 cm) resultou em nenhum consumo de fadiga e 35,3% de consumo de danos por erosão, sendo que o máximo admitido é de 100% para cada caso. Uma vez identificada uma disponibilidade de consumo, realizou-se o cálculo novamente com uma espessura inferior, igual a 21,0 cm. Neste caso, observou-se que o resultado de consumo de danos por erosão (103,4%) ultrapassou o limite máximo de 100%, do que apreendemos que a adoção desta espessura foi reprovada. Além disso, a análise demonstrou que apenas a parcela referente aos eixos simples foi suficiente para causar tal dano. Desta forma, pode-se concluir que a espessura a ser adotada é de 22,0 cm.

- Segmento Homogêneo 02: Espessura do revestimento = 23,0 cm

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA/84						
PROJETO:	Itabira - Senhora do Carmo - Segm. Homog 02					
ESPESSURA (cm)	23	Juntas com Barra de Transferência	sim	x	não	
KSIST (Mpa/m)	144	Acostamento de Concreto	sim	x	não	
Resist. Caract. à tração na Flexão - fctM,k (Mpa)	4,5	Período de Projeto	20	anos		
		Fator de Segurança de Cargas - Fsc	1,2			
Cargas por eixo (KN)	Cargas por eixo X Fsc (KN)	Número de Repetições previstas	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Número de Repetições Admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	Número de Repetições Admissíveis	Danos por erosão (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples	8 - Tensão Equivalente =	0,99	9 - Fator de Fadiga =	0,22	10 - Fator de Erosão =	2,15
130	156	950.481	Infinito	0	6.000.000	15,8
120	144	1.900.961	Infinito	0	22.000.000	8,6
110	132	2.851.442	Infinito	0	Infinito	0,0
80	96	7.603.846	Infinito	0	Infinito	0,0
70	84	1.900.961	Infinito	0	Infinito	0,0
60	72	3.801.923	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Duplos	8 - Tensão Equivalente =	0,83	9 - Fator de Fadiga =	0,18	10 - Fator de Erosão =	2,18
190	228	869.762	Infinito	0	Infinito	0,0
180	216	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
170	204	4.348.809	Infinito	0	Infinito	0,0
160	192	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Triplos	8 - Tensão Equivalente = *	0,67	9 - Fator de Fadiga =	0,15	10 - Fator de Erosão =	2,21
270	108	245.285	Infinito	0	Infinito	0,0
260	104	735.856	Infinito	0	Infinito	0,0
250	100	1.471.712	Infinito	0	Infinito	0,0
			TOTAL	0	TOTAL	24,5
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						

- Segmento Homogêneo 02: Espessura do revestimento = 22,0 cm

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA/84						
PROJETO:	Itabora - Senhora do Carmo - Segm. Homog 02					
ESPESSURA (cm)	22	Juntas com Barra de Transferência	sim	x	não	
KSIST (Mpa/m)	144	Acostamento de Concreto	sim	x	não	
Resist. Caract. à tração na Flexão - $f_{ctM,k}$ (Mpa)	4,5	Período de Projeto	20	anos		
		Fator de Segurança de Cargas - Fsc	1,2			
Cargas por eixo (KN)	Cargas por eixo X Fsc (KN)	Número de Repetições previstas	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Número de Repetições Admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	Número de Repetições Admissíveis	Danos por erosão (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples	8 - Tensão Equivalente =	1,05	9 - Fator de Fadiga =	0,23	10 - Fator de Erosão =	2,20
130	156	950.481	Infinito	0,0	3.400.000	28,0
120	144	1.900.961	Infinito	0,0	9.000.000	21,1
110	132	2.851.442	Infinito	0,0	50.000.000	5,7
80	96	7.603.846	Infinito	0,0	Infinito	0,0
70	84	1.900.961	Infinito	0,0	Infinito	0,0
60	72	3.801.923	Infinito	0,0	Infinito	0,0
Eixos Duplos	8 - Tensão Equivalente =	0,88	9 - Fator de Fadiga =	0,20	10 - Fator de Erosão =	2,22
190	228	869.762	Infinito	0	Infinito	0,0
180	216	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
170	204	4.348.809	Infinito	0	Infinito	0,0
160	192	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Triplos	8 - Tensão Equivalente = *	0,71	9 - Fator de Fadiga =	0,16	10 - Fator de Erosão =	2,25
270	108	245.285	Infinito	0	Infinito	0,0
260	104	735.856	Infinito	0	Infinito	0,0
250	100	1.471.712	Infinito	0	Infinito	0,0
			TOTAL	0,0	TOTAL	54,8
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						

- Segmento Homogêneo 02: Espessura do revestimento = 21,0 cm

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA/84						
PROJETO:	Itabira - Senhora do Carmo - Segm. Homog 02					
ESPESSURA (cm)	21	Juntas com Barra de Transferência	sim	x	não	
KsIST (Mpa/m)	144	Acostamento de Concreto	sim	x	não	
Resist. Caract. à tração na Flexão - fctM,k (Mpa)	4,5	Período de Projeto	20	anos		
		Fator de Segurança de Cargas - Fsc	1,2			
Cargas por eixo (KN)	Cargas por eixo X Fsc (KN)	Número de Repetições previstas	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Número de Repetições Admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	Número de Repetições Admissíveis	Danos por erosão (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples	8 - Tensão Equivalente =	1,12	9 - Fator de Fadiga =	0,25	10 - Fator de Erosão =	2,26
130	156	950.481	2.000.000	47,5	1.600.000	59,4
120	144	1.900.961	Infinito	0	3.000.000	63,4
110	132	2.851.442	Infinito	0	8.000.000	35,6
80	96	7.603.846	Infinito	0	Infinito	0,0
70	84	1.900.961	Infinito	0	Infinito	0,0
60	72	3.801.923	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Duplos	8 - Tensão Equivalente =	0,93	9 - Fator de Fadiga =	0,21	10 - Fator de Erosão =	2,26
190	228	869.762	Infinito	0	Infinito	0,0
180	216	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
170	204	4.348.809	Infinito	0	Infinito	0,0
160	192	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Triplos	8 - Tensão Equivalente = *	0,76	9 - Fator de Fadiga =	0,17	10 - Fator de Erosão =	2,28
270	108	245.285	Infinito	0	Infinito	0,0
260	104	735.856	Infinito	0	Infinito	0,0
250	100	1.471.712	Infinito	0	Infinito	0,0
			TOTAL	47,5	TOTAL	158,4
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						

Segmento Homogêneo 02 – Discussão dos resultados

A primeira tentativa (espessura igual a 23,0 cm) resultou em nenhum consumo de fadiga e 24,5% de consumo de danos por erosão, sendo que o máximo admitido é de 100% para cada caso. Uma vez identificada uma disponibilidade de consumo, realizou-se o cálculo novamente com uma espessura inferior, igual a 22,0 cm. Então se observou um aumento no consumo de danos por erosão para 54,8%, sem apresentar, no entanto, nenhum incremento de consumo de danos por fadiga. Em seguida, havendo ainda disponibilidade de consumo de danos por erosão, procedeu-se ao cálculo da estrutura com espessura igual a 21,0 cm. Neste caso, observou-se que o resultado de consumo de danos por erosão (158,4%) ultrapassou o limite máximo de 100%, do que apreendemos que a adoção desta espessura foi reprovada. Além disso, observou-se um incremento do consumo de danos por fadiga igual a 47,5%. Mas o critério é claro e preconiza que deve haver a disponibilidade de consumo em relação tanto a fadiga quanto a erosão, o que não ocorreu neste caso. Desta forma, pode-se concluir que a espessura de revestimento a ser adotada é de 22,0 cm.

- Segmento Homogêneo 03: Espessura do revestimento = 22,0 cm

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA/84						
PROJETO:	Itabira - Senhora do Carmo - Segm. Homog 03					
ESPESSURA (cm)	22	Juntas com Barra de Transferência	sim	x	não	
KSIST (Mpa/m)	154	Acostamento de Concreto	sim	x	não	
Resist. Caract. à tração na Flexão - fctM,k (Mpa)	4,5	Período de Projeto	20	anos		
		Fator de Segurança de Cargas - Fsc	1,2			
Cargas por eixo (KN)	Cargas por eixo X Fsc (KN)	Número de Repetições previstas	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Número de Repetições Admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	Número de Repetições Admissíveis	Danos por erosão (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples	8 - Tensão Equivalente =	1,03	9 - Fator de Fadiga =	0,23	10 - Fator de Erosão =	2,19
130	156	950.481	Infinito	0	4.100.000	23,2
120	144	1.900.961	Infinito	0	14.000.000	13,6
110	132	2.851.442	Infinito	0	Infinito	0,0
80	96	7.603.846	Infinito	0	Infinito	0,0
70	84	1.900.961	Infinito	0	Infinito	0,0
60	72	3.801.923	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Duplos	8 - Tensão Equivalente =	0,865	9 - Fator de Fadiga =	0,19	10 - Fator de Erosão =	2,20
190	228	869.762	Infinito	0	Infinito	0,0
180	216	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
170	204	4.348.809	Infinito	0	Infinito	0,0
160	192	1.739.524	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Triplos	8 - Tensão Equivalente = *	0,7	9 - Fator de Fadiga =	0,16	10 - Fator de Erosão =	2,23
270	108	245.285	Infinito	0	Infinito	0,0
260	104	735.856	Infinito	0	Infinito	0,0
250	100	1.471.712	Infinito	0	Infinito	0,0
			TOTAL	0	TOTAL	36,8
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						

- Segmento Homogêneo 03: Espessura do revestimento = 21,0 cm

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA/84						
PROJETO:	Itabira - Senhora do Carmo - Segm. Homog 03					
ESPESSURA (cm)	21	Juntas com Barra de Transferência	sim	x	não	
KSIST (Mpa/m)	154	Acostamento de Concreto	sim	x	não	
Resist. Caract. à tração na Flexão - fctM,k (Mpa)	4,5	Período de Projeto	20	anos		
		Fator de Segurança de Cargas - Fsc	1,2			
Cargas por eixo (KN)	Cargas por eixo X Fsc (KN)	Número de Repetições previstas	Análise de Fadiga		Análise de Erosão	
			Número de Repetições Admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	Número de Repetições Admissíveis	Danos por erosão (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples	8 - Tensão Equivalente =	1,10	9 - Fator de Fadiga =	0,24	10 - Fator de Erosão =	2,23
130	156	950.481	Infinito	0	1.900.000	50,0
120	144	1.900.961	Infinito	0	4.500.000	42,2
110	132	2.851.442	Infinito	0	16.000.000	17,8
80	96	7.603.846	Infinito	0	Infinito	0,0
70	84	1.900.961	Infinito	0	Infinito	0,0
60	72	3.801.923	Infinito	0	Infinito	0,0
Eixos Duplos	8 - Tensão Equivalente =	0,915	9 - Fator de Fadiga =	0,20	10 - Fator de Erosão =	2,24
190	228	869.762	Infinito	0		
180	216	1.739.524	Infinito	0		
170	204	4.348.809	Infinito	0		
160	192	1.739.524	Infinito	0		
Eixos Triplos	8 - Tensão Equivalente = *	0,75	9 - Fator de Fadiga =	0,17	10 - Fator de Erosão =	2,255
270	108	245.285	Infinito	0		
260	104	735.856	Infinito	0		
250	100	1.471.712	Infinito	0		
			TOTAL	0	TOTAL	110,1
* Por artifício de cálculo, divide-se a tensão equivalente dos eixos triplos por 3 e adota-se o mesmo ábaco da análise de fadiga do eixo simples						
A análise de erosão demonstrou que apenas as repetições previstas para o eixo simples já são causadoras de mais de 100% de danos por erosão. Logo conclui-se que a espessura de 21 cm não é suficiente.						

Segmento Homogêneo 03 – Discussão dos resultados

A primeira tentativa (espessura igual a 22,0 cm) resultou em nenhum consumo de fadiga e 36,8% de consumo de danos por erosão, sendo que o máximo admitido é de 100% para cada caso. Uma vez identificada uma disponibilidade de consumo, realizou-se o cálculo novamente com uma espessura inferior, igual a 21,0 cm. Neste caso, observou-se que o resultado de consumo de danos por erosão (110,1%) ultrapassou o limite máximo de 100%, do que apreendemos que a adoção desta espessura foi reprovada. Além disso, a análise demonstrou que apenas a parcela referente aos eixos simples foi suficiente para causar tal dano. Desta forma, pode-se concluir que a espessura a ser adotada é de 22,0 cm.

4.4 Estrutura: Detalhamento do Pavimento

4.4.1 Linear do Pavimento e Seção transversal

Analizando o item 4.3 do presente trabalho observamos que a estrutura foi dimensionada segundo 03 (três) segmentos homogêneos, obtidos nos estudos do subleito (item 4.2) conforme já informado anteriormente. Assim sendo, pode-se apresentar um linear de solução referente ao trecho estudado bem como a seção transversal do pavimento, conforme vemos na Figura 4.4.1 a seguir, além do detalhamento das barras de transferência longitudinais e transversais (Vide Figura 4.4.2)

4.4.2 Quadro de Quantidades e Orçamento

Para auxiliar na realização do Quadro de Quantidades, temos que a extensão total do trecho é de $505 \text{ estacas} \times 20,0 \text{ m} = 10.100 \text{ m}$. Logo, a área de revestimento será de $10.100 \text{ m} \times 7,20 \text{ m} = 72.720 \text{ m}^2$ e seu volume será de $72.720 \text{ m}^2 \times 0,22 \text{ m} = 16.000 \text{ m}^3$.

Já a largura da plataforma a considerar os cálculos de sub-base e regularização de subleito será 13,8 m. Logo, temos $13,8 \text{ m} \times 10.100 \text{ m} = 139.380 \text{ m}^2$ de área. Dessa forma, o volume geométrico de concreto rolado necessário para a sub-base será de $139.380 \text{ m}^2 \times 0,10 \text{ m} = 13.940 \text{ m}^3$.

As figuras 4.4.3 e 4.4.4 apresentam o Quadro de Quantidades com respectivo preço de cada serviço previsto, segundo o projeto desenvolvido no presente trabalho. Vale ressaltar que os referenciais de preço foram obtidos na versão para o estado de Minas Gerais, período de março de 2015, do SICRO (Sistema de Custos Rodoviários) disponibilizado e atualizado pelo DNIT.

Figura 4.4.1: Linear de solução do pavimento e seção típica.

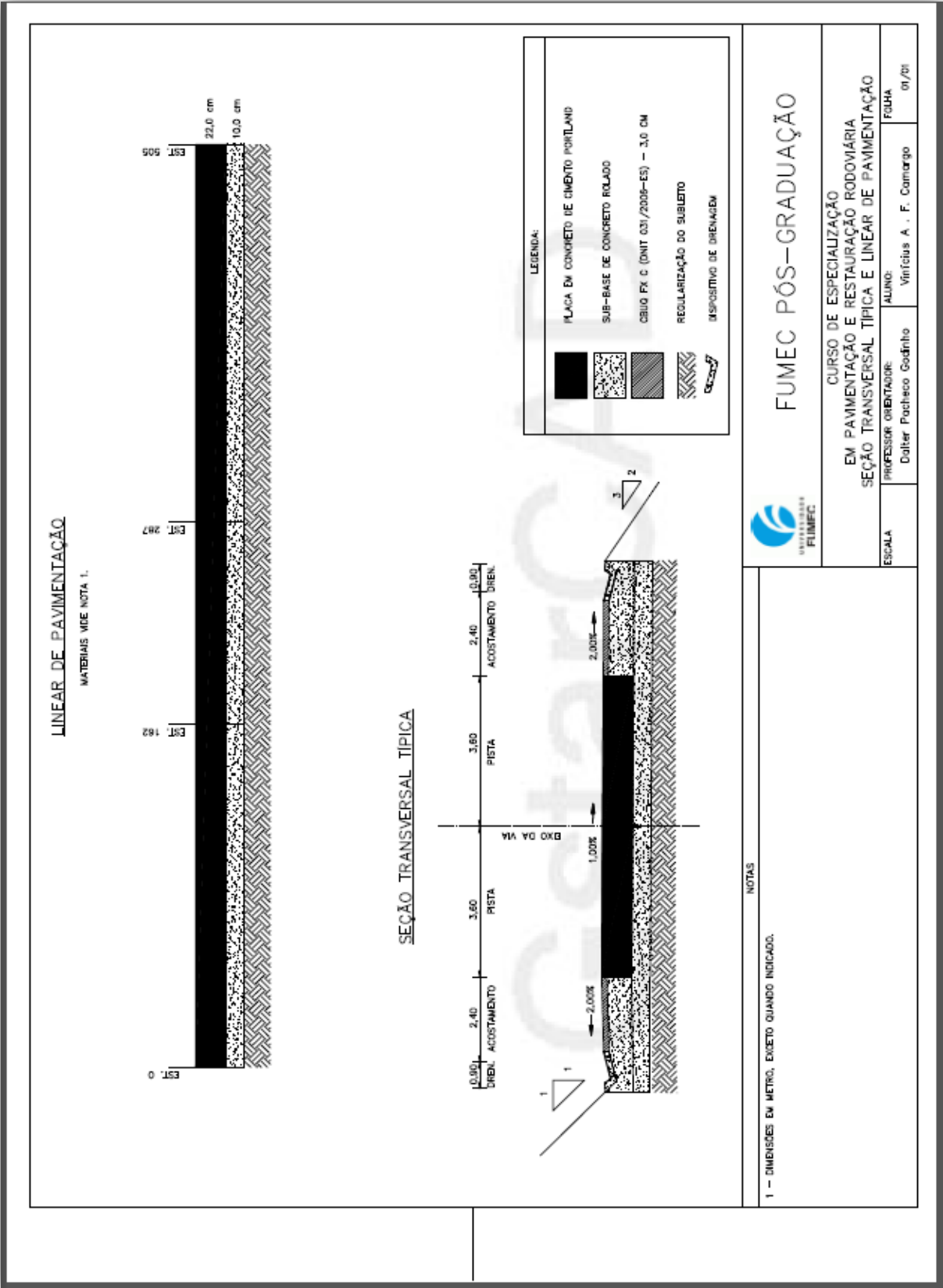
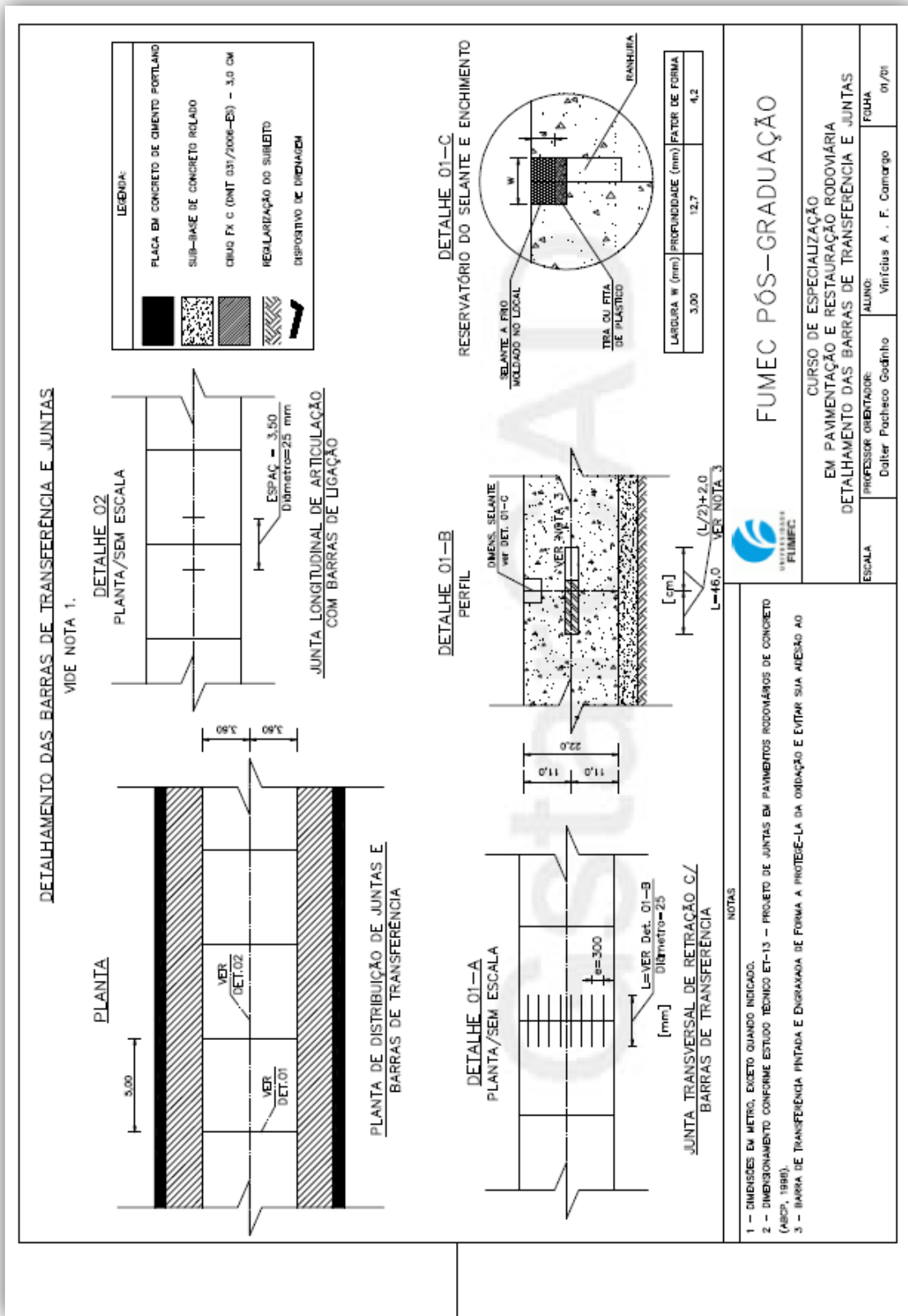


Figura 4.4.2: Detalhamento das Barras de Transferência e das Juntas



Fonte: Realizado pelo autor

Figura 4.4.3: Quadro de Quantidades

UNIVERSIDADE FUMEC		QUADRO DE QUANTIDADES - ALUNO: VINÍCIUS ANTÔNIO FLORENTINO CAMARGO		NOV/2015		POIS GRADUAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO E RESTAURAÇÃO RODOVIÁRIA		2014/2015	
CLIENTE: CIMENTA ENGENHARIA		ORIENTADOR: PROF. DALTER GODINHO				Planilha de Quantidades e Preços		Doc No.: 0001	
Projeto No.: H308070						Rev: A. Page: 2		Série Completa: 2.17	
ÁREA	ITEM	Código	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL		
	1		PAVIMENTAÇÃO						
	1.1		Mobilização de Pessoal e Equipamentos						
	1.1.1		Mobilização de pessoal e equipamentos	vb	1,00	1,00	R\$ 1,00		
	1.1.2		Construção completa de canteiro de obras	vb	1,00	1,00	R\$ 1,00		
	1.1.3		Manutenção e operação de canteiro de obras	vbmês	1,00	1,00	R\$ 1,00		
	1.1.4		Desmobilização de pessoal e equipamentos	vb	1,00	1,00	R\$ 1,00		
	1.1.5		Desmobilização do canteiro de obras	vb	1,00	1,00	R\$ 1,00		
	1.2		Serviços Preliminares						
	1.2.1		Escavação, carga e transporte de camada de solo superficial (esp =30cm) para a área de descarte - DMT<=3km	m3	41.814,00	12,82	R\$ 536.055,48		
	1.2.2		Momento extraordinário de transporte de camada de solo superficial (esp =30cm) para a área de descarte - DMT<3km	m3xkm	125.442,00	0,55	R\$ 68.993,10		
	1.2.3		Desmatamento e limpeza de materiais orgânicos como folhas e galhos pequenos - DMT <=15km	m2	139.380,00	0,30	R\$ 41.814,00		
	1.2.4		Momento extraordinário de transporte para materiais orgânicos - DMT<15km	m3xkm	418.140,00	0,37	R\$ 154.711,80		
	1.3		Serviços em Terra						
	1.3.1		Terraplenagem (Volumes Geométricos)						
	1.3.1.1		Regularização do Subleito com Motorveladora	m2	72.720,00	0,77	R\$ 55.994,40		
	1.3.1.1		Escavação, carga, transporte, descarga e espalhamento de material de 1ª categoria - DMT<=1km (SUBSTITUIÇÃO SUBLEITO)	m3	11.592,00	11,38	R\$ 131.916,96		
	1.3.1.2		Momento extraordinário de transporte de material de 1ª categoria - DMT>1km	m3xkm	34.776,00	0,72	R\$ 25.038,72		
	1.3.1.5		Escavação, carga, transporte, descarga e espalhamento de material de 3ª categoria - DMT<=1km	m3	6.000,00	24,09	R\$ 144.540,00		
	1.3.1.6		Momento extraordinário de transporte de material de 3ª categoria - DMT>1km	m3xkm	18.000,00	0,83	R\$ 14.940,00		
	1.3.1.7		Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1ª categoria - DMT <= 1km - (Emprestimo)	m3	11.592,00	11,38	R\$ 131.916,96		
	1.3.1.8		Compactação de aterro, sem controle de grau de compactação (MATERIAL DE BOTA FORA)	m3	11.592,00	1,83	R\$ 21.213,36		
	1.3.1.9		Compactação de aterro, a 100% do Proctor Normal	m3	11.592,00	2,70	R\$ 31.298,40		
	1.4		Revestimento em Concreto Simples						
	1.4.1		Concreto dosado em Usina						
	1.4.1.1		Concreto hidráulico de Cimento Portland com forma deslizante (com resistência característica > 4,5 Mpa) (Revestimento)	m3	16.000,00	188,37	R\$ 3.013.920,00		
	1.4.1.2		Concreto Rolado para Sub-base e=10cm	m3	13.940,00	92,96	R\$ 1.295.862,40		
	1.4.1.3		Solo melhorado com cimento (Acostamento)	m3	10.665,60	56,21	R\$ 599.513,38		
	1.4.1.4		Usinagem de Solo melhorado com cimento	m3	10.665,60	41,35	R\$ 441.022,56		

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 4.4.4: Quadro de Quantidades

			QUADRO DE QUANTIDADES - ALUNO: VINÍCIUS ANTÔNIO FLORENTINO CAMARGO ORIENTADOR: PROF. DALTER GODINHO			NOV/2015			POS GRADUAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO E RESTAURAÇÃO RODOVIÁRIA 2014/2015		
CLIENTE: CIMENTA ENGENHARIA Projeto No.: 403870									Planilha de Quantidades e Preços Doc. No.: 0007 Rev. A, Page: 313 Folha Completa: 313		
ÁREA	ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES			UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL		
			MATERIAL PROVENIENTE DOS TRECHOS DE IMPENETRÁVEL É IGUAL A 5 LOCAIS * 12 M DE LARG * 40 M * PROF MÉDIA DE 2,50 M * 2 = 6000 M3. OS PREÇOS UNITÁRIOS NÃO CONSIDERAM BDI.								

Fonte: Realizado pelo autor

4.4.3 Aspectos Construtivos

Para a execução do projeto desenvolvido no presente trabalho concebeu-se o uso de fôrmas deslizantes. A principal referência normativa a ser utilizada deve ser o Estudo Técnico ET-81 – Construção de Pavimentos Simples, o qual é bem abrangente no que se refere aos vários componentes da obra, tais como o preparo da fundação, os equipamentos utilizados para construção, a confecção e assentamento das fôrmas, a usinagem, lançamento e espalhamento do concreto, as juntas, até o controle tecnológico.

A Figura 4.4.5 a seguir ilustra uma pavimentadora de fôrmas deslizantes de alta produtividade, que reúne as funções de recepção, distribuição, regularização, adensamento e texturização superficial do concreto lançado. Podemos notar na figura o nivelamento por fio-guia através do qual o sistema eletrônico do equipamento direciona o sentido de execução.

Figura 4.4.5: Pavimentadora de concreto TCM 1800 de fôrmas deslizantes



Fonte: Deltamaq Equipamentos – www.deltamaq.com.br

5 Abordagem Específica: Concreto com Fibras

Segundo Mehta (1994), concreto “é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados”.

O concreto é o segundo material mais consumido pelo ser humano, perdendo apenas para a água (*Brunauer & Copeland (1964) apud Mehta & Monteiro (1994) Malhotra (1999) apud Isaia et al. (2005)*). É indispensável na construção civil, devido a fatores como facilidade de moldagem, durabilidade diante das intempéries, menor necessidade de manutenção em comparação a outros materiais, apresentando, no entanto, limitações comportamentais no que se refere à baixa capacidade de deformação até a ruptura. Além disso, observa-se no concreto, de forma geral, reduzida resistência à tração em comparação à sua resistência à compressão. Uma maneira de reduzir tais limitações é a adição de fibras ao concreto.

A mistura de fibras ao concreto resulta em um compósito constituído de, no mínimo, duas fases principais, em que o concreto é definido como a matriz. As fibras são produzidas a partir de materiais como aço, polipropileno, náilon, vidro, podendo até vir a ser produzidas de materiais reciclados como o resíduo de garrafas PET (MENESES, 2011).

Tipos de Fibras

As fibras podem ser fornecidas em pentes – coladas – ou soltas, no caso das fibras de aço (Figura 5.1). Já as de polipropileno basicamente são fornecidas em monofilamento ou fibriladas (Figura 5.2).

Figura 5.1 – Fibras em aço tipo Wirand



Figura 5.2 – Fibra em polipropileno fibriladas e em monofilamento



As fibras podem proporcionar ao concreto um incremento em duas propriedades importantes na definição da capacidade de reforço: módulo de elasticidade e resistência mecânica.

Existem as fibras denominadas fibras de Baixo Módulo, como as de náilon e de polipropileno, que possuem módulo de elasticidade inferior ao do concreto endurecido. Estas proporcionam incremento de resistência nas primeiras horas após o lançamento do concreto, e vai diminuindo à medida que a matriz vai endurecendo com seu conseqüente ganho de resistência e módulo. Já as fibras de Alto Módulo, como as de aço, possuem módulo de elasticidade superior ao do matriz, o que lhes confere a capacidade de reforço pós-fissuração da matriz. Os comportamentos citados estão ilustrados na Figura 3.

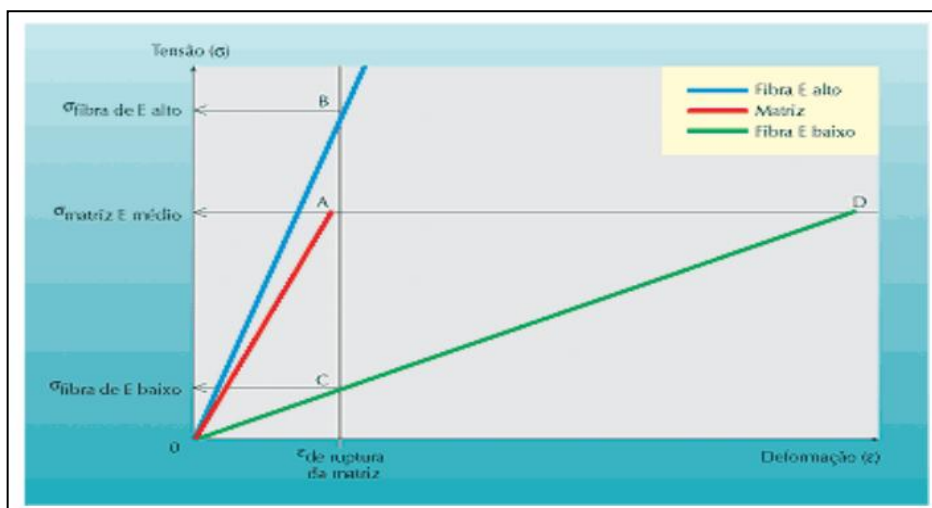


Figura 5.3 – Diagrama tensão x deformação comparativo para as fibras de baixo e alto módulo

Na Figura 5.4 são demonstrados os comportamentos citados anteriormente na relação fibra-matriz quando solicitado. Pode-se observar que a fibra de baixo módulo permite uma maior deformação após a ruptura da matriz, não podendo, portanto, oferecer ganho de resistência. Já a fibra de alto módulo, no momento da ruptura, apresenta capacidade de se expor a um alto nível de tensão, podendo atuar como reforço após este momento. Este comportamento é típico do comportamento das fibras de aço na matriz concreto, por exemplo, para pavimentação rígida. O papel exercido pelas fibras neste caso é o de ponte de transferência de tensão pelas fissuras, daí a resulta a interação fibra-matriz. Na Figura 5.4 são apresentados os valores de resistência mecânica e do módulo de elasticidade para vários tipos de fibras.

Material	Diâmetro (μm)	Densidade (g/cm³)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5-500	7,84	190-210	0,5-2,0	0,5-3,5
Vidro	9-15	2,60	70-80	2-4	2-3,5
Amianto	0,02-0,4	2,6	160-200	3-3,5	2-3
Polipropileno	20-200	0,9	1-7,7	0,5-0,75	8,0
Kevlar	10	1,45	65-133	3,6	2,1-4,0
Carbono	9	1,9	230	2,6	1,0
Nylon	-	1,1	4,0	0,9	13-15
Celulose	-	1,2	10	0,3-0,5	-
Acrílico	18	1,18	14-19,5	0,4-1,0	3
Polietileno	-	0,95	0,3	0,7x10 ³	10
Fibra de madeira	-	1,5	71	0,9	-
Sisal	10-50	1-50	-	0,8	3,0
Matriz de cimento (para comparação)	-	2,50	10-45	3,7	0,02

Figura 5.4 – Valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade para diversos tipos de fibras e matrizes (BENTUR & MINDESS, 1990) apud (DOMINGUES, 2005)

Logo, quando o concreto estiver no estado fresco e em início de endurecimento as fibras de baixo módulo de elasticidade e baixa resistência – como as fibras de náilon e polipropileno - serão mais eficientes, por exemplo, na minimização de fissuração plástica em pavimentos, o que não significa prescindir da realização de uma boa cura. E as fibras que possuem alto módulo de elasticidade e alta resistência, como as de aço, terão um papel importante como reforço do concreto endurecido.

O comprometimento da resistência do concreto quando submetido à tração é muito superior à situação em que o mesmo é comprimido. À medida que a tensão de tração aplicada aumenta mais acentuada se demonstra tal situação, concorrendo para o desenvolvimento de fissuras. E cada nova fissura proporciona um decréscimo da área disponível para a diluição dos carregamentos, ocasionando, dessa forma, um aumento e uma concentração de tensões na extremidade de cada uma delas.

Então, após a propagação de várias fissuras elas se unem até um comprimento crítico, levando-se a uma situação de ruptura. A adição de fibras ao concreto poderá atuar na minimização deste comportamento frágil, desde que se faça uma escolha da melhor fibra para a situação e uma dosagem apropriada. Assim procedendo, a concentração de tensões anteriormente citada será minimizada pelas fibras, concorrendo para uma dada resistência pós-fissuração da matriz. Além disso, pelo fato de as fibras estarem distribuídas aleatoriamente no concreto, toda a peça será reforçada ao invés de uma dada posição preferencial.

Fibras: aspectos tecnológicos

Cabe destacar alguns aspectos tecnológicos fundamentais das fibras que influenciam no desempenho do concreto: teor de fibras, geometria das fibras:

- em primeiro lugar, o teor de fibras irá influenciar diretamente a capacidade de reforço do concreto, pois quanto maior o teor, mais fibras possivelmente atuarão

como ponte de transferência de tensões ao longo das fissuras, já explicado anteriormente. Além disso, pode-se verificar através do ensaio de laboratório de tração na flexão com deslocamento controlado que o aumento do teor de fibras proporciona um “patamar” de escoamento maior (Figura 5).

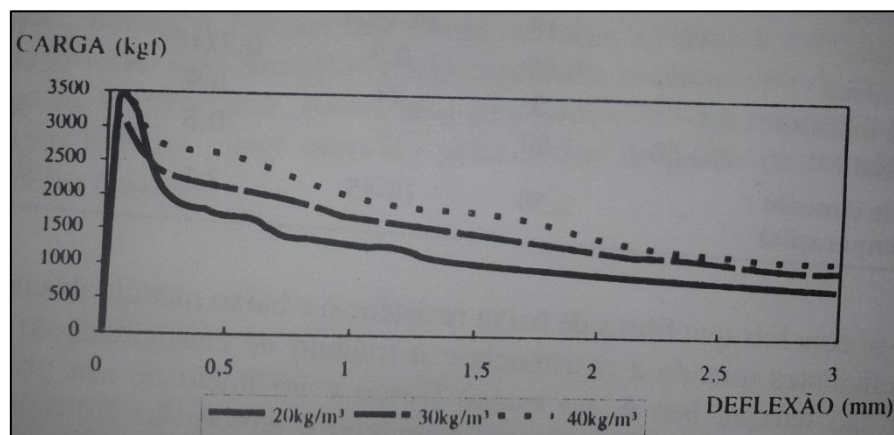


Figura 5.5 – Curvas médias de carga por deflexão obtidas no ensaio de tração na flexão de concretos de $f_{ck} = 20$ MPa e com diferentes consumos de fibra de aço (FIGUEIREDO, NUNES & TANESI, 2000)

Aliás, este ensaio é o principal meio de controle da capacidade de reforço das fibras. Para tanto, trata-se de flexionar um corpo de prova prismático bi apoiado, com objetivo de se obter uma relação Deflexão (mm) x Carga (kN), cuja área sob a curva resulta na Tenacidade (capacidade de absorção de carga sob deformação, medida em $\text{kgf}\cdot\text{cm}$). O método de determinação da Tenacidade mais empregado no Brasil é o preconizado na JSCE-SF4, (1984) da Japan Society of Civil Engineers, cujo esquema está ilustrado na Figura 6.

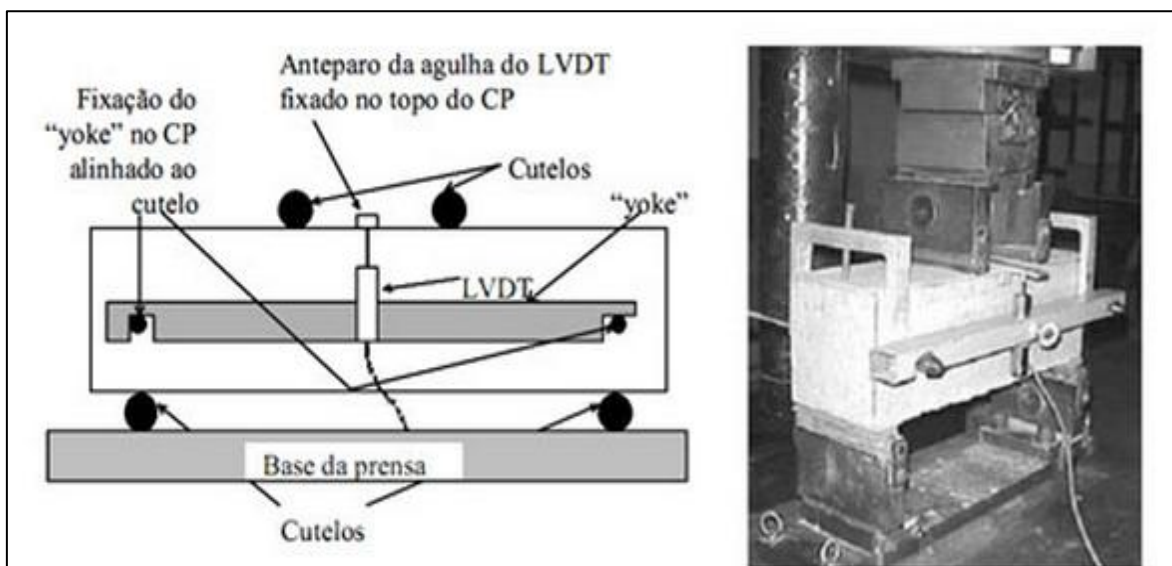


Figura 5.6 – Esquema do ensaio de tração na flexão para determinação da tenacidade de concretos reforçados com fibras, conforme JSCE-SF4, (1984) da Japan Society of Civil Engineers

- em segundo lugar, a geometria das fibras (comprimento, área da seção transversal), a qual apresenta como referência o denominado *fator de forma*, que é a relação entre o comprimento da fibra e o diâmetro do círculo equivalente à área da seção transversal. Isto quer dizer que aumentar o comprimento ou reduzir a seção transversal resulta em um aumento do fator de forma. E quanto maior, maior será a capacidade resistente pós-fissuração do concreto. Conforme podemos ver ilustrado na Figura 5.7, uma fibra mais longa apresentou maior curva média de carga por deflexão no ensaio de tração na flexão em um dado concreto de $f_{ck} = 30$ MPa, em que utilizou-se a fibra A (36 mm de comprimento) e a fibra B (42 mm), ambas de mesma seção transversal.

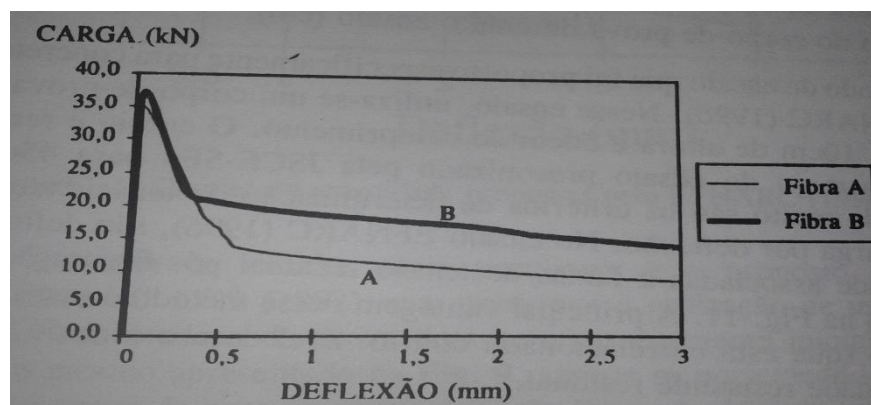


Figura 5.7 – Comparativo de carga por deflexão para certa fibra de comprimentos diferentes (adaptado de FIGUEIREDO, CECCATO & TORNERI, 1997)

Ensaio em placas

Segundo a *EFNARC* (Experts for Especialised Construction and Concrete Systems), o ensaio de punção de placas é tradicionalmente utilizado no Brasil, o qual consiste no puncionamento de uma placa quadrada com 600 mm de borda e 500 mm de vão central, apoiada em seus quatro lados, como apresentado na Figura 5.8. Esse ensaio permite a caracterização comparativa da tenacidade dos compósitos de concreto reforçado com fibras de aço e tela metálica e possibilita a avaliação comparativa de desempenho em diferentes tipos de reforço. Este fato é muito útil quando não se dispõe de uma metodologia de dimensionamento do concreto reforçado com fibras para a comparação de equivalência ou superioridade desta tecnologia.

O ensaio de punção de placas apresenta, no entanto uma série de dificuldades com o fato de a placa de ensaio ser muito pesada, aproximando-se dos 100 Kg, dificultando assim a execução desse ensaio do ponto de vista da segurança do trabalho. Como a placa fica sujeita ao esforço de projeção (impacto do jato de concreto), acaba por apresentar deformação que dificulta as condições de apoio e, conseqüentemente, concentra os esforços durante o ensaio.

O autor *Figueiredo (1997)* fez uma série de recomendações para a otimização do ensaio de punção de placas proposto pela *EFNARC (1996)*. Essas recomendações foram implantadas por laboratórios de controle brasileiros, e algumas delas merecem destaque. Primeira recomendação diz respeito a medida da deflexão que deve ser realizada por um LVDT posicionado na parte inferior da placa, cuja suporte deve ser fixar na parte superior da alma do perfil de apoio da placa (Figura 8). A adoção deste procedimento visa diminuir ao máximo a parcela de deformação relativa ao suporte, lida pelo equipamento, e pode ser aplicada no ensaio de outros tipos de placas.

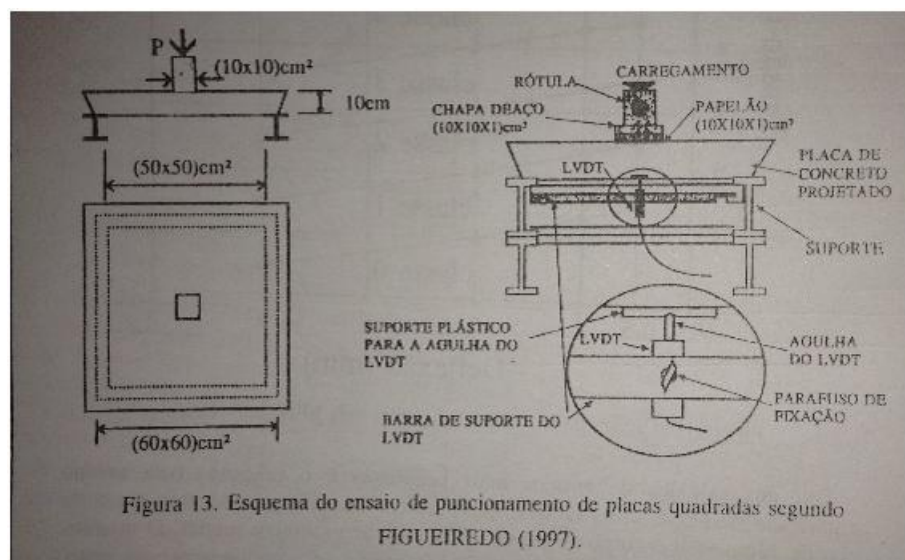


Figura 5.8 – Ensaio de punção: esquema de montagem

É recomendável também que a garantia de um apoio contínuo da placa sobre o suporte seja feita com encunhamento metálico e não com argamassa, como recomenda a EFNARC (1996), uma vez que a placa apresenta deformações superficiais com muita frequência e alerta as condições iniciais de leitura. Para isso, deve-se evitar que a placa seja posicionada como recomenda a EFNARC (1996), que orienta a face rugosa (parte externa da placa) para baixo, apoiada diretamente no suporte. No entanto, apoiar a placa pela face lisa reproduz o esforço de um tirante no revestimento de um túnel. Portanto, este procedimento é mais realista e minimiza os problemas de apoio.

Esse ensaio permite também diferenciar o comportamento do material. Na figura 5.9, são apresentados gráficos de punção de quatro placas de concreto projetado reforçado com 30 Kg/m³ de fibras de aço e outros quatro com 50 Kg/m³.

Percebe-se que, para os níveis mais básicos de deflexão, ocorre o aparecimento de múltiplas fissuras, gerando alguns picos e quedas no gráfico. A partir de certo momento, o número de fissuras se estabiliza e o trabalho dissipado no ensaio consiste em uma anulação relativa de abertura das mesmas ocasionando o arrancamento das fibras. À medida que a fissura abre, diminui a ancoragem das fibras, e a capacidade de suporte de carga diminui. Com base nas curvas de carga

por deflexão obtidas no ensaio de punção de placa determinam-se as curvas de absorção de energia com a deflexão. Essas curvas consistem na integração da área sob a curva de carga por deflexão, e os resultados são normalmente apresentados em J (Joules). Os gráficos da Figura 5.10 apresentam as curvas de absorção de energia obtidas a partir do gráfico da Figura 5.9.

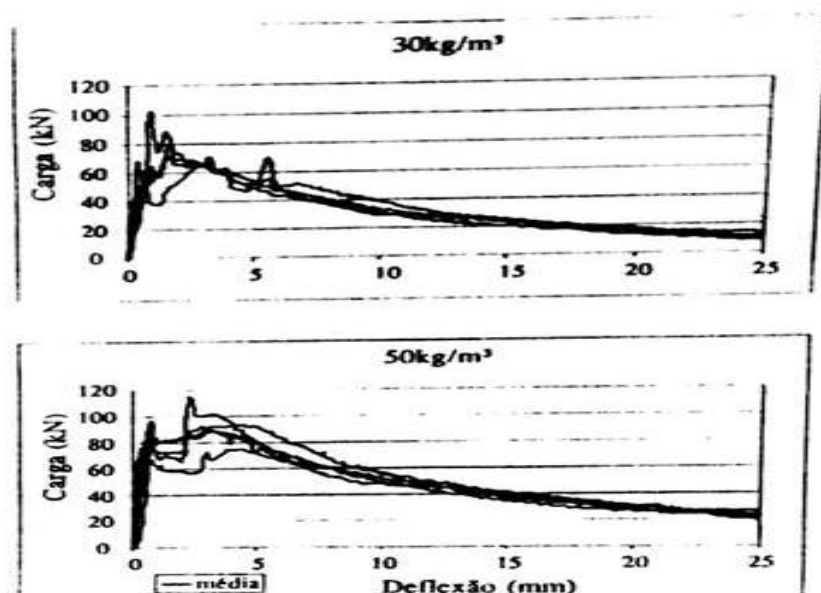


Figura 5.9 - Curvas de carga por deflexão obtida no ensaio de punção de placas com concreto projetado reforçados com 30 kg/m³ e 50 kg/m³ de fibras de aço.

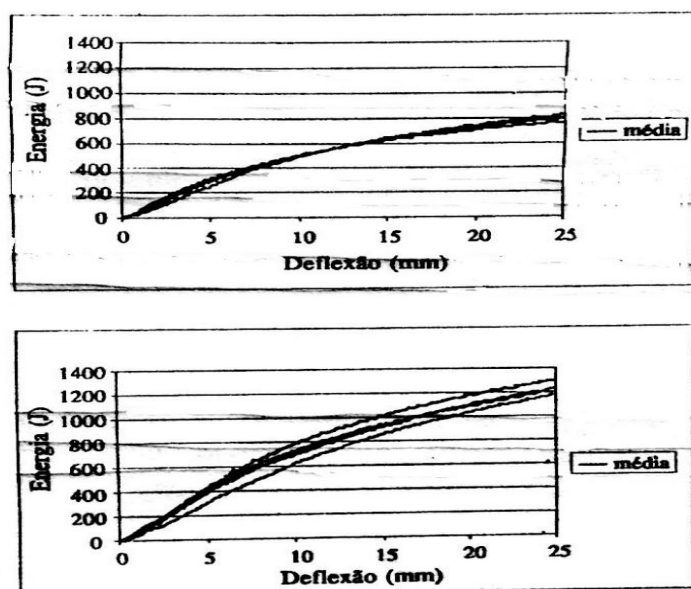


Figura 5.10 - Curvas de absorção por deflexão obtida no ensaio de punção de placas com concreto projetado reforçados com 30 kg/m³ e 50 kg/m³ de fibras de aço.

O nível de deflexão imposto pela *EFNARC*, de 25 mm, é muito elevado. No entanto, é perfeitamente possível analisarem-se os resultados para menores níveis de deflexão. Em um estudo feito considerando a energia absorvida até uma deflexão de 7 mm (*FIGUEIREDO,1997*), foi possível diferenciar o desempenho das fibras segundo o teor utilizado. Um exemplo do resultado comparativo se encontra na fig 11, em que se apresentam resultados obtidos com telas metálicas e com fibras de aço. A tela T1 possuía 4,5 mm de diâmetro médio de fio e malha quadrada de abertura 15 cm, enquanto a tela T2 possuía 5 mm de diâmetro médio de fio e malha também quadrada com abertura de 10 cm. Na figura 5.11, mostra-se que a fibra pode apresentar um desempenho superior ao das telas reforçadas com tela metálica dependendo do teor de fibra utilizado.

Apesar de os ensaios de tração na flexão e de punção de placas terem sido concebidos para concreto reforçado com fibras de aço, são plenamente aplicáveis a qualquer outro tipo de fibra que venha a ser utilizado como reforço para o concreto. Assim, se uma fibra responde bem ao ensaio de tração na flexão, como uma de aço, muito provavelmente terá desempenho equivalente na estrutura.

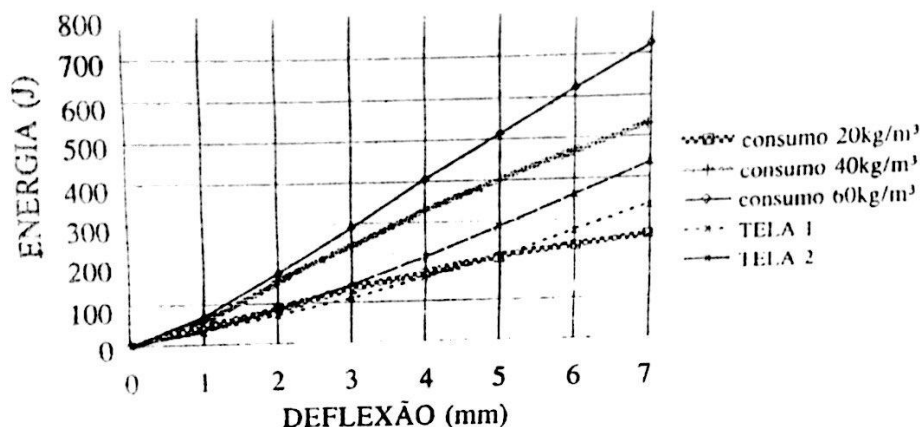


Figura 5.11 - Resultado obtidos com ensaio de punção de placas de concreto projetado reforçado com fibras de aço em diversos teores e dois tipos de tela metálica (*FIGUEIREDO,1997*).

Trabalhabilidade e mistura

Além do efeito de contenção de fissuras no concreto endurecido, a adição de fibras altera as condições de consistência do concreto e, conseqüentemente, a sua

trabalhabilidade. Essas alterações independem do material que compõe a fibras, pois o que afeta o comportamento do material no estado fresco e, principalmente, a geometria da fibra. Isso ocorre porque, ao se adicionarem fibras ao concreto está-se adicionando também uma grande área superficial que demanda água de molhagem.

Assim, fibras de maior área superficial demandarão maior quantidade de água de molhagem, produzindo aumento de coesão e perda de mobilidade do compósito no estado fresco. Fibras mais longas também contribuem para a redução da perda de mobilidade da mistura por dificultar a movimentação das partículas de maiores dimensões, como é o caso dos agregados. Por exemplo, se forem adicionados 50 kg de fibras de aço com ancoragem em gancho, com 30 mm de comprimento e seção circular com diâmetro de 0,5 mm em um metro cúbico de concreto, haverá uma nova área de molhagem de, aproximadamente, 50 m².

Dessa forma, ter-se-á uma menor quantidade de água disponível para fluidificar a mistura. Por isso, fica claro que, quanto menor for o diâmetro da fibra, maior será a influência de sua incorporação na perda de fluidez na mistura. O ACI 544.3R (ACI, 1993) recomenda três diferentes métodos para a avaliação da trabalhabilidade do concreto com fibras, descritos a seguir.

O primeiro e mais simples é o método do abatimento do tronco de cone (NBR 7223), o qual não se mostra eficiente para um teor de fibras e muito elevado. O segundo método é o que mede a fluidez do concreto com fibras submetidas à vibração e forçado a descer por um cone de abatimento invertido (ASTM C995-94, 1994). Este método, no entanto, apresenta grandes dificuldades para a sua aplicação (CECCATO, 1998). Por último, há a indicação da utilização do ensaio Vebe da American Concrete Institute para determinação dos parâmetros de trabalhabilidade do concreto com fibras (ACI 211.3/87).

Já se comprovou que a adição de baixos teores de fibras altera pouco as condições de trabalhabilidade, mas sem, necessariamente, reduzir a compactação do material (CECCATO, 1998). Para teores de fibras inferiores a 60 kg/m³, o ensaio de abatimento do tronco de cone mostrou-se adequado para a medida da consistência

de concretos reforçados com fibras. O mesmo pesquisador comprovou que experimentalmente a influência do teor de fibra e do fator de forma na trabalhabilidade do material.

Na Figura 12 encontra-se apresentado o gráfico obtido no ensaio Vebe de concretos reforçados com fibras de diferentes fatores de forma e em vários teores. Nota-se claramente que, à medida que se aumenta o teor de fibras, aumenta-se o tempo de compactação dado pelo Vebe, devido à maior coesão do material. O aumento será mais intenso quanto maior for o fator de forma da fibra utilizada.

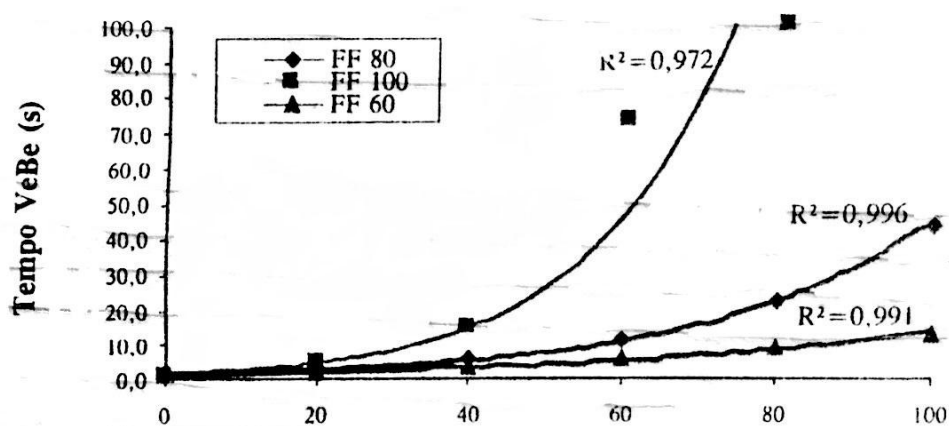


Figura 5.12 - Influência do fator de forma das fibras na compactabilidade do concreto reforçado com diferentes teores de fibra (CECCATO, 1998).

Um problema associado à aplicação dos concretos com fibras é o aparecimento dos chamados ouriços. Os ouriços são bolas formadas por fibras aglomeradas, como apresentada na Figura 5.13. No caso da incorporação de ouriço no concreto serão produzidos não só uma redução do teor de fibras homogeneamente distribuído, como também um ponto fraco (muito poroso) no local onde cada ouriço se alojar. No caso do concreto projetado, se alguma proteção não foi providenciada, os ouriços produzirão entupimento de mangotes, com sérios riscos à operação do processo.

As causas de formação de ouriços estão invariavelmente associadas às misturas inadequadas do material. Fibras de maior fator de forma produzem um maior risco de embolamento. No entanto, se a fibra for adicionada à betoneira de maneira descuidada, virando-se o saco ou caixa de fibras de uma só vez, por exemplo, o

risco será muitas vezes maior. Por isso, recomenda-se lançar a fibra em taxas controladas junto com os agregados, homogeneizando a mistura antes do lançamento do cimento. Outra alternativa para minimizar esse efeito é a utilização das fibras coladas em pentes, como alguns fornecedores disponibilizam. Quando são misturadas ao concreto, os pentes têm suas colas dissolvidas, permitindo uma homogeneização facilitada para o compósito. Vale ressaltar que, em algumas aplicações específicas como o concreto projetado, pré-moldado, etc., o aumento da coesão e perda de mobilidade do concreto significa uma melhora na trabalhabilidade, uma vez que minimiza riscos de deslocamentos e garante a estabilidade dimensional do concreto recém desformado. Por isso, é comum o emprego de fibras poliméricas como as de polipropileno e náilon para se aumentar a coesão do material quando isso é desejado. Além disso, a adição das fibras poliméricas reduz a taxa de exsudação do concreto (FIGUEIREDO, TANESI, NINCE, 2002), diminuindo a retração global do material por dificultar a movimentação de água no seu interior.



Figura 5.13 - Ouriço formado por fibras de aço mal misturadas ao concreto. (Fonte: www.petrusengenharia.com.br)

Resistência a compressão

O objetivo da adição de fibras ao concreto não é alterar a sua resistência a compressão. No entanto, como as fibras atuam como ponte de transferência de

ensões pelas fissuras, sejam elas produzidas por esforços de tração ou cisalhamento como ocorre no ensaio de compressão, o concreto também apresentara um ganho quanto a tenacidade na compressão. Este comportamento pode ser medido segundo o procedimento de ensaio escrito pela JSCE (JSCES-F5, 1984), cuja esquema se encontra apresentado na Figura 5.14. O acoplamento de dois LVDTs ao corpo-de-prova exigidos nos ensaios tem como objetivo de levantar a curva de carga por de deformação axial.

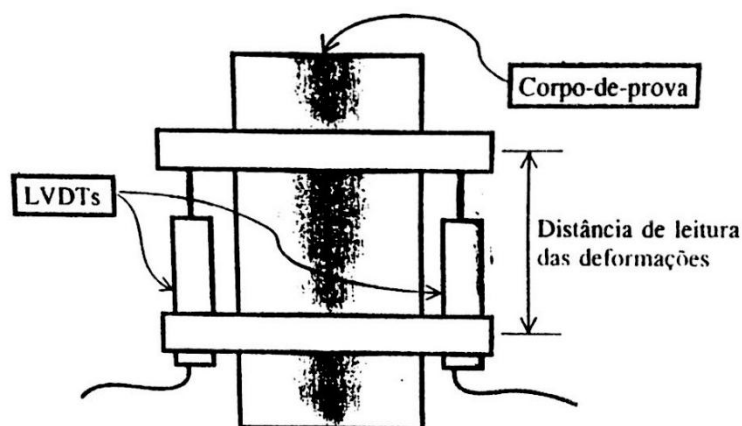


Figura 14 - Esquema de ensaio para a determinação da tenacidade na compressão (JSCE-SF5,1984b).

Da mesma forma que a tenacidade medida no ensaio de tração na flexão, tenacidade medida na compressão e o controle da fissuração apresentarão um ganho quanto da utilização de um teor maior de fibras, ou mesmo fibras com maior fator de forma. Em seu estudo experimental, Zangelmi Jr.(1999) não encontrou variação significativa nas características elásticas nem mesmo nos valores de resistência do concreto quando do aumento do teor de fibras. Os gastos energéticos pós-fissurações por compressão da matriz também apresentara diferenças significativas em função de um direcionamento preferencial da fibra.

No caso do concreto projetado, existe uma clara tendência ao direcionamento preferencial da fibra segundo o plano de direção (ARMELIN E HELENE, 1995), conforme apresentado na figura 5.15. Tal efeito induza uma anisotropia para o material no que se refere ao consumo energético pós-fissuração. Assim, se o concreto for comprimido no sentido perpendicular ao plano de projeção,

apresentaram maior gasto energético pós-fissuração do que o concreto comprimido no sentido paralelo ao plano projetado.

Dosagem do Concreto com Fibras

As fibras de aço têm um papel muito importante na definição do custo do concreto. Mesmo com consumo regulares, da ordem de 40 kg/m³, o custo por metro cúbico do concreto pode até dobrar. Assim, para se garantir a sua viabilidade econômica, deve-se lançar mão de metodologias de dosagem que otimizem o seu consumo, isto é, que definam o mínimo consumo necessário para atender as exigências de desempenho. Cabe lembrar que essa visibilidade econômica não está única e exclusivamente atrelada ao seu custo unitário, mas na economia global que ele pode proporcionar. Na prática, principalmente internacional, não é raro se fixarem traços, independentemente das características da matriz e das fibras (MEHTA & MONTEIRO, 1994; MORGAN, 1995). Isto é relativamente freqüente no Brasil, onde é de praxe especificar as fibras de aço num consumo fixo de 30 kg/m³, independentemente do tipo utilizado, o que pode comprometer severamente o desempenho da estrutura. Da mesma forma, as fibras poliméricas também são especificadas apenas fixando-se um consumo de 600g a 1000g por metro cúbico de concreto, o que ocorre para qualquer condição do concreto.

Como ocorre para o concreto plástico simples, a dosagem do concreto com fibras deve começar com a determinação de um teor de argamassa adequado. O teor é invariavelmente superior ao do concreto simples. Pelo fato de a fibra ficar embutida na argamassa do concreto. Assim, quanto maior o consumo de fibras, maior será o teor de argamassa necessário para envolvê-las de maneira adequada e garantir a aplicação do material. Além disso, o aumento da área de molhagem demandará maior consumo de água para se obter o mesmo nível de abatimento de tronco de cone. Outra alternativa seria utilizar um aditivo plastificante.

Aplicações Principais

Concreto pra pavimentação: a utilização dos concretos reforçados com fibras de aço em pavimentação é uma das principais aplicações no Brasil, ao lado do revestimento

de túneis. Isso se deve a algumas vantagens tecnológicas do uso de fibras de aço em pavimentos. A primeira vantagem reside no fato de se eliminar a etapa de colocação da armadura, o que reduz o tempo total de execução da obra e o número de operários necessários para tal. Há também uma economia de espaço na obra, uma vez que não é necessário estocar a armadura.

As fibras não requerem o uso de espaçadores e, no caso de se utilizar um concreto com consistência adequada e sem excesso de vibração, garantem o reforço de toda a espessura de concreto do pavimento. Isso nem sempre ocorre com o uso de telas metálicas, que podem ser deslocadas com a passagem de carrinhos de mão saindo da posição prevista em projetos. Existe uma maior facilidade de acesso na obra, podendo-se, em alguns casos, atingir o local de lançamento do concreto com o próprio caminhão betoneira, o que é quase sempre impossível quando da utilização de telas metálicas.

As fibras também permitem o corte das juntas de dilatação sem a necessidade de barras de transferência pré- instaladas. Além disso, as fibras reforçam as bordas das juntas minimizando o efeito de lascamento nessa região e não representa restrição quanto à mecanização da execução do pavimento.

No entanto, nem tudo é vantagem no uso das fibras. Como toda tecnologia, o concreto reforçado com fibras possui suas limitações e até desvantagens. Se por um lado a fibra minimiza o quadro geral de fissuração do pavimento, por outro lado isto contribui para o aumento do risco de empenamento do pavimento por retração diferencial. Portanto, a observação dos cuidados relativos à cura é fundamental. Mesmo após a realização do correto acabamento superficial do pavimento, algumas fibras ficam na superfície do concreto. Essas fibras estarão particularmente susceptíveis a corrosão, o que provocará o aparecimento de certo número de pontos de ferrugem, prejudicando o aspecto estético do pavimento. Além disso, se houver algum problema que requeira a demolição do pavimento, a exigência de energia para isso será muitas vezes maior, implicando um consumo de tempo muito maior do que aquele associado à armadura convencional.

Concreto para revestimento túneis: existem dois tipos de concretos utilizados para o revestimento de túneis em que as fibras têm um largo emprego: o concreto projetado e o pré-moldado. No caso do concreto projetado, há uma forte restrição com relação ao comprimento da fibra, uma vez que o concreto deverá passar por uma tubulação. O *ACI (1984)* recomenda que o comprimento da fibra seja metade do diâmetro interno do mangote. Como os mangotes têm diâmetro da ordem de 63,5mm, o comprimento máximo da fibra seria de 32 mm. A utilização de fibra no concreto projetado ocorre para revestimento de túneis urbanos, metroviários, de desvio e adução e interceptores de esgoto principalmente. Isso se deve a uma série de vantagens tecnológicas. A primeira delas é o fato de o concreto projetado reforçado com fibra poder ser aplicado imediatamente após a escavação com menor risco de acidentes por desprendimento de parte do maciço.

Além disso, a velocidade de execução do túnel é aumentada pela eliminação de fase de instalação da tela metálica. Porém, uma vantagem do uso das fibras é o fato de, ao se acelerar a execução da obra de túneis com revestimento em concreto projetado, haverá uma maior exigência quanto à resistência inicial (*CELESTINO,1996*). Normalmente, tem-se uma grande fissuração associada ao revestimento primário de concreto projetado que deve acomodar as grandes deformações iniciais do maciço recém-escavado. Essa figuração é reduzida com a utilização das fibras que impedem a sua propagação, aumentando a durabilidade do revestimento devido a redução da fissuração, que é o caminho referencial de entrada de agentes agressivos no túnel (*FIGUEIREDO, 1997*). No entanto como as fibras são refletidas preferencialmente, existe o risco de se ter uma perda muito grande desse material, principalmente quando o processo utilizado é o de via seca. Devido a isso, o controle da tenacidade do concreto projetado, como ocorre com as outras propriedades mecânicas, deve ser feito a partir de testemunhos extraídos de placas projetadas convenientemente, dado que é impossível reduzir as características do material em corpos-de-prova moldados convencionalmente.

A indústria de pré-moldados é outro grande campo de aplicação dos concretos com fibras devido a maior velocidade de produção que seu uso proporciona. As vantagens do uso de fibras, nesse caso, são as mesmas apontadas para a produção

de anéis segmentados para o revestimento de tuneis. O uso dos concretos reforçados com fibras de aço para a produção de tubos de esgoto é um dos mais promissores e já teve comprovação para isso no Brasil (*CHAMA NETO & FIGUEIREDO, 2003*), além de já contar com norma europeia especifica.

Referências

AVALIAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE PET SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS - Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Natal/RN - 2011.

Site <http://concrefiber.com.br/produto>

Artigo: **Concreto com fibras de polipropileno (CFP)** Antonio Domingues de Figueiredo Professor doutor antonio.figueiredo@poli.usp.br
Jussara Tanesi Pesquisadora doutoranda jussara.tanesi@poli.usp.br
Andréia Azeredo Nince Pesquisadora doutoranda andreia.nince@poli.usp.br - Antônio Domingues de Figueiredo – USP - 2005

CONCRETO: MICROESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS - P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro ; Editora: Nicole Pagan Hasparyk 2014 2ª edição
- DE FIGUEIREDO, Antonio D.; NUNES, Nelson L.; TANESI, Jussara. Mix design analysis on steel fiber reinforced concrete. In: ROSSI, P.; CHANVILLARD, G. (Ed.). **Fifth International RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concrete (FRC)**. RILEM Publications SARL, 2000. p. 103-118.

Vanderlei, Romel Dias. *UTILIZAÇÃO DE CONCRETOS ESPECIAIS EM OBRAS URBANAS*. Diss. Universidade Estadual de Maringá, 1994.

GENCEL, O., et al. "Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres." *Materials Research Innovations* 15.3 (2011): 216-225.

DE FIGUEIREDO, Antônio Domingues. **Concreto com fibras de aço**. EPUSP, 2000.

TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS. "NBR 7223: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone." *Rio de Janeiro* (1992).

FERREIRA, DANIELI APARECIDA, & CELESTINO, TARCISIO BARRETO. "A INSTRUMENTAÇÃO DE SUPORTES DE TÚNEIS EM CONCRETO PROJETADO." 1996.

FIGUEIREDO, AD, et al. "Avaliação de metodologia de ensaio de tubos de concreto reforçado com fibras para esgoto." *Concreto (São Paulo). Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON)* 34 (2007): 44-51.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária – Volume I – Estudos de Tráfego, Capacidade e Níveis de Serviço.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – IPR-723 - Manual de Estudos de Tráfego - 2006

Notas de aula e exposição docente: material disponibilizado pelos. José Flávio do Nascimento e Prof. Eng. MSc. Dalter Pacheco Godinho.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. **Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária – Volume IV – estudos geológicos e geotécnicos.**

PINTO, Carlos de Souza. "Curso básico de mecânica dos solos." *São Paulo: Oficina de Textos* (2000).

PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: formação básica para engenheiros. Petrobrás, 2007.

MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – DNIT, 2004.

ANEXOS

1 - MEMÓRIA DE CÁLCULO DO ESTUDO DE TRÁFEGO

Memória de Cálculo – Eixo Simples

Área de Transferência		Fonte	Alinhamento	Número									
CORREL	:	$\times$ $\checkmark$ f_x	$=C341+C345+(C349*0,5)+(C365*(3/4))+(C353*(2/3))+(C357*(1/3))+C361+(C369*(1/4))+(C373*(1/5))$										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
338	Solicitações de eixos por tipo de veículos				Nº de eixos								
339	ÔNIBUS 2C				Simple	2							
340	Fator de eixo =	2			TD	0							
341	N=%*Nv*FE	3.203.727			TT	0							
342	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
343	CAMINHÃO 2C				Simple	2							
344	Fator de eixo =	2			TD	0							
345	N=%*Nv*FE	5.256.115			TT	0							
346	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
347	CAMINHÃO 3C				Simple	1							
348	Fator de eixo =	2			TD	1							
349	N=%*Nv*FE	4.780.561			TT	0							
350	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
351	SEMI-REBOQUE 2S3				Simple	2							
352	Fator de eixo =	3			TD	0							
353	N=%*Nv*FE	5.894.357			TT	1							
354	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
355	SEMI-REBOQUE 3S3				Simple	1							
356	Fator de eixo =	3			TD	2							
357	N=%*Nv*FE	1.464.203			TT	0							
358	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
359	SEMI-REBOQUE 2I3				Simple	5							
360	Fator de eixo =	5			TD	0							
361	N=%*Nv*FE	1.314.029			TT	0							
362	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
363	REBOQUE 2C3				Simple	3							
364	Fator de eixo =	4			TD	1							
365	N=%*Nv*FE	901.048			TT	0							
366	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
367	BITREM 3S2S2				Simple	1							
368	Fator de eixo =	4			TD	3							
369	N=%*Nv*FE	5.656.581			TT	0							
370	Solicitações de eixos por tipo de veículos												
371	RODOTREM 3S2C4				Simple	1							
372	Fator de eixo =	5			TD	4							
373	N=%*Nv*FE	1.689.465			TT	0							
374	Número de Eixos Total												
375	NET=	30.160.087											
376	Número de Solicitações por Tipo de Eixos												
377	NES=	$=C341+C345+(C349*0,5)+(C365*(3/4))+(C353*(2/3))+(C357*(1/3))+C361+(C369*(1/4))+(C373*(1/5))$											
378	NTD=	8.697.618											
379	NTT=	2.452.854											
		NUMERO N	Plan1	DIMENSIONAMENTO TENTATIVA1									

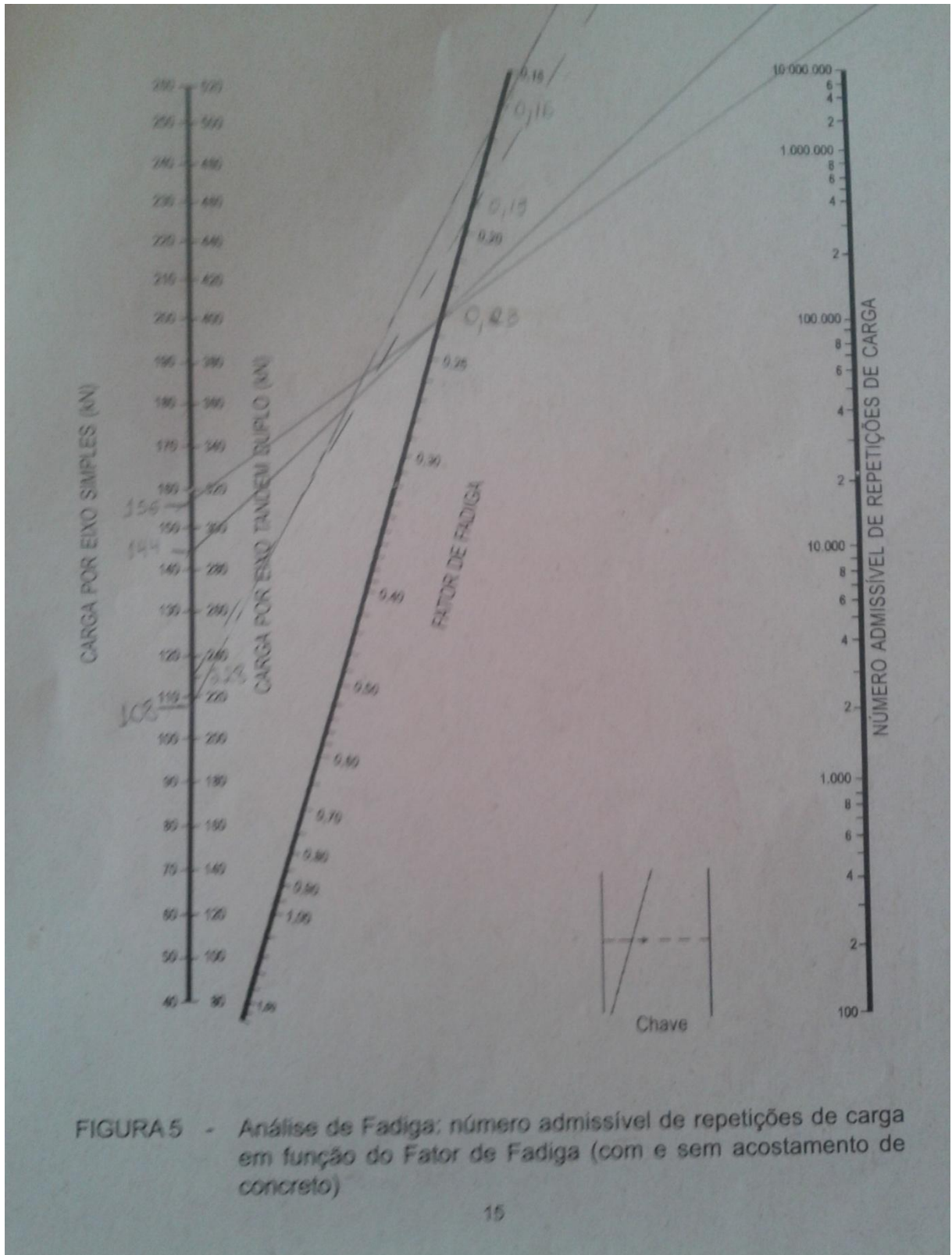
Memória de Cálculo – Eixo Tandem Duplo

CORREL		:	$\times$	$\checkmark$	f_x	=(C349*(1/2))+(C365*(1/4))+(C357*(1/3))+(C369*(3/4))+(C373*(4/5))					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
338	Solicitações de eixos por tipo de veículos					Nº de eixos					
339	ÔNIBUS 2C					Simple	2				
340	Fator de eixo =	2				TD	0				
341	N=%*Nv*FE	3.203.727				TT	0				
342	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
343	CAMINHÃO 2C					Simple	2				
344	Fator de eixo =	2				TD	0				
345	N=%*Nv*FE	5.256.115				TT	0				
346	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
347	CAMINHÃO 3C					Simple	1				
348	Fator de eixo =	2				TD	1				
349	N=%*Nv*FE	4.780.561				TT	0				
350	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
351	SEMI-REBOQUE 2S3					Simple	2				
352	Fator de eixo =	3				TD	0				
353	N=%*Nv*FE	5.894.357				TT	1				
354	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
355	SEMI-REBOQUE 3S3					Simple	1				
356	Fator de eixo =	3				TD	2				
357	N=%*Nv*FE	1.464.203				TT	0				
358	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
359	SEMI-REBOQUE 2I3					Simple	5				
360	Fator de eixo =	5				TD	0				
361	N=%*Nv*FE	1.314.029				TT	0				
362	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
363	REBOQUE 2C3					Simple	3				
364	Fator de eixo =	4				TD	1				
365	N=%*Nv*FE	901.048				TT	0				
366	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
367	BITREM 3S2S2					Simple	1				
368	Fator de eixo =	4				TD	3				
369	N=%*Nv*FE	5.656.581				TT	0				
370	Solicitações de eixos por tipo de veículos										
371	RODOTREM 3S2C4					Simple	1				
372	Fator de eixo =	5				TD	4				
373	N=%*Nv*FE	1.689.465				TT	0				
374	Número de Eixos Total										
375	NET=	30.160.087									
376	Número de Solicitações por Tipo de Eixos										
377	NES=	19.009.615									
378	NTD=	=(C349*(1/2))+									
379	NTT=	2.452.854									
		NUMERO N	Plan1	DIMENSIONAMENTO TENTATIVA1		+					

Memória de Cálculo – Eixo Tandem Triplo

CORREL		:	X	✓	f_x	=(C353*(1/3))+(C357*(1/3))			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
338	Solicitações de eixos por tipo de veículos					Nº de eixos			
339	ÔNIBUS 2C					Simple	2		
340	Fator de eixo =	2				TD	0		
341	N=%*Nv*FE	3.203.727				TT	0		
342	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
343	CAMINHÃO 2C					Simple	2		
344	Fator de eixo =	2				TD	0		
345	N=%*Nv*FE	5.256.115				TT	0		
346	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
347	CAMINHÃO 3C					Simple	1		
348	Fator de eixo =	2				TD	1		
349	N=%*Nv*FE	4.780.561				TT	0		
350	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
351	SEMI-REBOQUE 2S3					Simple	2		
352	Fator de eixo =	3				TD	0		
353	N=%*Nv*FE	5.894.357				TT	1		
354	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
355	SEMI-REBOQUE 3S3					Simple	1		
356	Fator de eixo =	3				TD	2		
357	N=%*Nv*FE	1.464.203				TT	0		
358	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
359	SEMI-REBOQUE 2I3					Simple	5		
360	Fator de eixo =	5				TD	0		
361	N=%*Nv*FE	1.314.029				TT	0		
362	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
363	REBOQUE 2C3					Simple	3		
364	Fator de eixo =	4				TD	1		
365	N=%*Nv*FE	901.048				TT	0		
366	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
367	BITREM 3S2S2					Simple	1		
368	Fator de eixo =	4				TD	3		
369	N=%*Nv*FE	5.656.581				TT	0		
370	Solicitações de eixos por tipo de veículos								
371	RODOTREM 3S2C4					Simple	1		
372	Fator de eixo =	5				TD	4		
373	N=%*Nv*FE	1.689.465				TT	0		
374	Número de Eixos Total								
375	NET=	30.160.087							
376	Número de Solicitações por Tipo de Eixos								
377	NES=	19.009.615							
378	NTD=	8.697.618							
379	NTT=	1/3)+(C357*(1/3)							
		NUMERO N	Plan1	DIMENSIONAMENTO TENTATIVA1					

2 - MEMÓRIA DE CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO



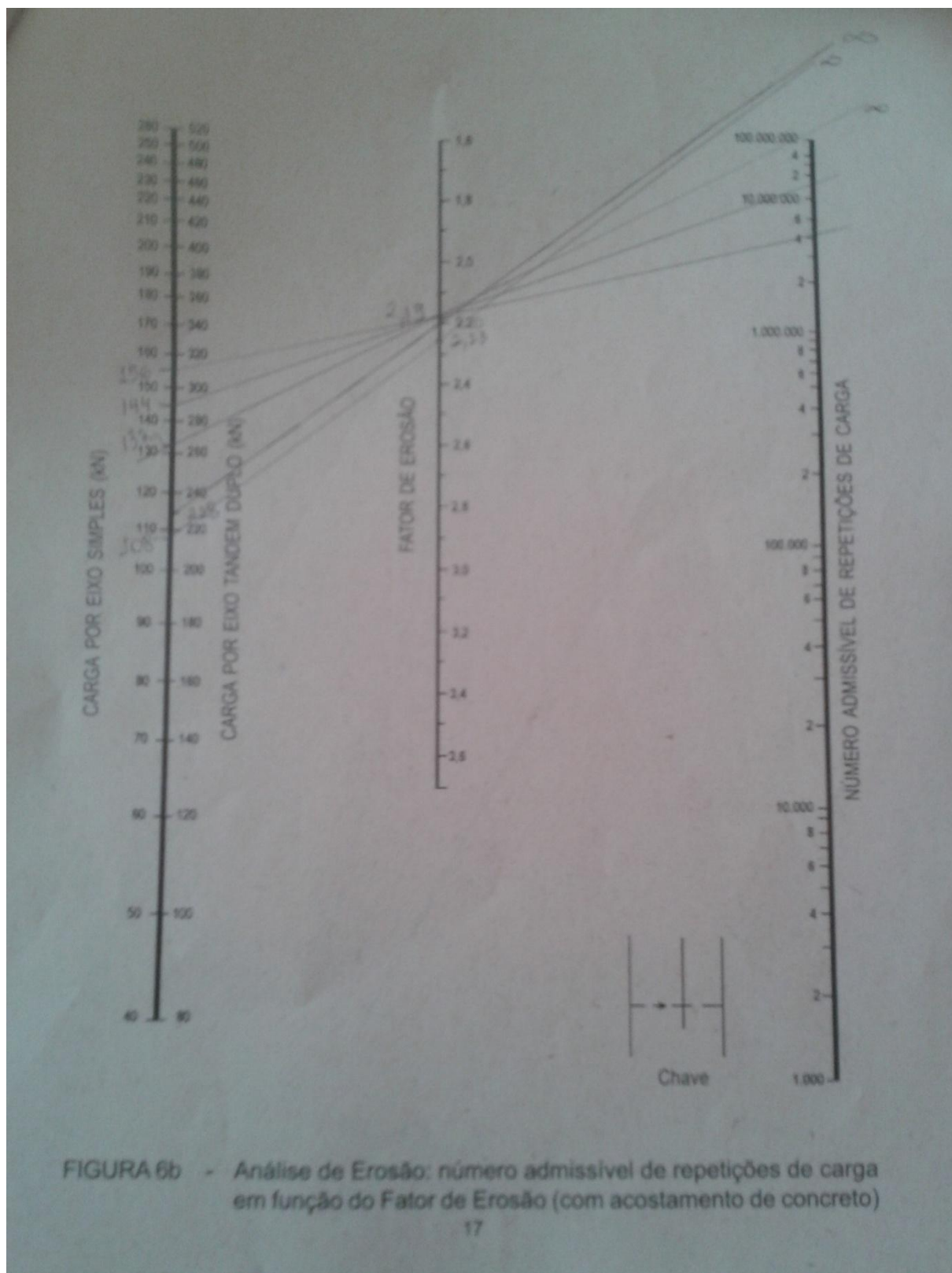


FIGURA 6b - Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto)

QUADRO 5b - Tensão equivalente - Com acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	4,18/3,48	3,65/3,10	3,37/2,94	3,19/2,85	2,85/2,74	2,72/2,72
11	3,68/3,07	3,23/2,71	2,99/2,56	2,83/2,47	2,55/2,35	2,43/2,32
12	3,28/2,75	2,88/2,41	2,67/2,26	2,54/2,17	2,29/2,05	2,19/2,02
13	2,95/2,49	2,60/2,17	2,41/2,02	2,29/1,94	2,07/1,82	1,99/1,78
14	2,68/2,27	2,36/1,97	2,19/1,83	2,08/1,75	1,89/1,63	1,81/1,59
15	2,44/2,08	2,15/1,80	2,00/1,67	1,90/1,59	1,73/1,48	1,66/1,44
16	2,24/1,93	1,97/1,66	1,84/1,53	1,75/1,46	1,59/1,35	1,53/1,31
17	2,06/1,79	1,82/1,54	1,70/1,42	1,62/1,35	1,48/1,24	1,42/1,20
18	1,91/1,67	1,69/1,43	1,57/1,32	1,50/1,25	1,37/1,15	1,32/1,11
19	1,77/1,57	1,57/1,34	1,46/1,23	1,40/1,17	1,28/1,07	1,23/1,03
20	1,65/1,48	1,46/1,26	1,37/1,16	1,30/1,10	1,19/1,00	1,15/0,96
21	1,55/1,40	1,37/1,19	1,28/1,09	1,22/1,03	1,12/0,93	1,08/0,90
22	1,45/1,32	1,29/1,12	1,20/1,03	1,15/0,97	1,05/0,88	1,01/0,85
23	1,37/1,26	1,21/1,07	1,13/0,98	1,08/0,92	0,99/0,83	0,96/0,80
24	1,29/1,20	1,15/1,01	1,07/0,93	1,02/0,87	0,94/0,79	0,90/0,76
25	1,22/1,14	1,08/0,97	1,01/0,88	0,97/0,83	0,89/0,75	0,86/0,72
26	1,16/1,09	1,03/0,92	0,96/0,84	0,92/0,79	0,84/0,71	0,81/0,68
27	1,10/1,04	0,98/0,88	0,91/0,81	0,87/0,76	0,80/0,68	0,77/0,65
28	1,05/1,00	0,93/0,85	0,87/0,77	0,83/0,73	0,76/0,65	0,74/0,62
29	1,00/0,96	0,89/0,81	0,83/0,74	0,79/0,70	0,73/0,62	0,70/0,60
30	0,95/0,93	0,85/0,78	0,79/0,71	0,76/0,67	0,70/0,60	0,67/0,57
31	0,91/0,89	0,81/0,75	0,76/0,69	0,72/0,64	0,67/0,58	0,64/0,55
32	0,87/0,86	0,78/0,73	0,73/0,66	0,69/0,62	0,64/0,55	0,62/0,53
33	0,84/0,83	0,74/0,70	0,70/0,64	0,67/0,60	0,61/0,53	0,59/0,51
34	0,80/0,80	0,71/0,68	0,67/0,62	0,64/0,58	0,59/0,52	0,57/0,49
35	0,77/0,78	0,69/0,66	0,64/0,60	0,61/0,56	0,57/0,50	0,55/0,47

$$e = \frac{22}{\text{cm}}$$

$$1,05 - 1,01(ES)$$

$$0,88 - 0,95(TD)$$

$$0,865$$

$$e = \frac{20}{\text{cm}}$$

$$1,17$$

$$0,98$$

$$0,96$$

$$0,95$$

$$0,94$$

QUADRO 5c - Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Sem acostamento de concreto/Com acostamento de concreto)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,36/2,87	3,10/2,67	3,02/2,60	2,98/2,57	2,94/2,56	2,93/2,57
11	2,92/2,50	2,64/2,29	2,55/2,22	2,50/2,18	2,45/2,16	2,44/2,16
12	2,60/2,20	2,30/2,00	2,20/1,93	2,14/1,89	2,08/1,85	2,07/1,85
13	2,35/1,97	2,04/1,78	1,93/1,70	1,87/1,66	1,80/1,61	1,78/1,61
14	2,15/1,78	1,83/1,59	1,72/1,52	1,65/1,48	1,58/1,43	1,55/1,42
15	1,99/1,62	1,67/1,44	1,55/1,37	1,48/1,33	1,40/1,27	1,37/1,26
16	1,85/1,49	1,54/1,32	1,41/1,24	1,34/1,20	1,25/1,15	1,23/1,13
17	1,73/1,38	1,43/1,21	1,30/1,14	1,23/1,10	1,14/1,04	1,11/1,03
18	1,62/1,28	1,34/1,12	1,21/1,05	1,14/1,01	1,04/0,96	1,01/0,94
19	1,53/1,19	1,26/1,04	1,13/0,98	1,06/0,94	0,96/0,88	0,92/0,86
20	1,45/1,12	1,19/0,98	1,07/0,91	0,99/0,87	0,89/0,82	0,85/0,80
21	1,37/1,05	1,13/0,92	1,01/0,85	0,93/0,81	0,83/0,76	0,79/0,74
22	1,30/0,99	1,07/0,86	0,95/0,80	0,88/0,76	0,78/0,71	0,74/0,69
23	1,24/0,93	1,02/0,81	0,91/0,76	0,84/0,72	0,73/0,67	0,70/0,65
24	1,18/0,88	0,97/0,77	0,87/0,71	0,80/0,68	0,69/0,63	0,66/0,61
25	1,13/0,84	0,93/0,73	0,83/0,68	0,76/0,64	0,66/0,59	0,62/0,57
26	1,07/0,79	0,89/0,70	0,79/0,64	0,73/0,61	0,63/0,56	0,59/0,54
27	1,02/0,75	0,86/0,66	0,76/0,61	0,70/0,58	0,60/0,53	0,57/0,52
28	0,98/0,72	0,82/0,63	0,73/0,59	0,67/0,56	0,58/0,51	0,54/0,49
29	0,93/0,68	0,79/0,60	0,71/0,56	0,65/0,53	0,55/0,49	0,52/0,47
30	0,89/0,65	0,76/0,58	0,68/0,54	0,63/0,51	0,53/0,46	0,50/0,45
31	0,85/0,62	0,73/0,55	0,66/0,51	0,60/0,49	0,51/0,44	0,48/0,43
32	0,81/0,59	0,70/0,53	0,63/0,49	0,58/0,47	0,50/0,43	0,46/0,41
33	0,77/0,57	0,68/0,51	0,61/0,47	0,56/0,45	0,48/0,41	0,45/0,39
34	0,73/0,54	0,65/0,49	0,59/0,46	0,55/0,43	0,46/0,39	0,43/0,38
35	0,70/0,52	0,63/0,47	0,57/0,44	0,53/0,42	0,45/0,38	0,42/0,36

0,71 + 0,69 = 1,40
 e=22
 8
 0,70
 e=20 0,82 0,81 0,80
 c/ acostam
 c/ acostam

QUADRO 7b - Fatores de erosão - Juntas trasversais com barras de transferência e acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,27/3,25	3,24/3,17	3,22/3,14	3,21/3,12	3,17/3,11	3,15/3,11
11	3,16/3,16	3,12/3,07	3,10/3,03	3,09/3,00	3,05/2,98	3,03/2,97
12	3,05/3,08	3,01/2,98	2,99/2,93	2,98/2,90	2,94/2,86	2,92/2,84
13	2,96/3,01	2,92/2,90	2,89/2,85	2,88/2,81	2,84/2,76	2,82/2,74
14	2,87/2,94	2,82/2,83	2,80/2,77	2,78/2,74	2,75/2,67	2,73/2,65
15	2,79/2,88	2,74/2,77	2,72/2,71	2,70/2,67	2,67/2,60	2,65/2,57
16	2,71/2,82	2,66/2,71	2,64/2,65	2,62/2,60	2,59/2,53	2,57/2,50
17	2,64/2,77	2,59/2,65	2,57/2,59	2,55/2,55	2,51/2,46	2,49/2,43
18	2,57/2,72	2,52/2,60	2,50/2,54	2,48/2,49	2,44/2,41	2,42/2,37
19	2,51/2,67	2,46/2,56	2,43/2,49	2,41/2,44	2,38/2,35	2,36/2,32
20	2,45/2,63	2,40/2,51	2,37/2,44	2,35/2,40	2,31/2,31	2,30/2,27
21	2,39/2,58	2,34/2,47	2,31/2,40	2,29/2,35	2,26/2,26	2,24/2,22
22	2,34/2,54	2,29/2,43	2,26/2,36	2,24/2,31	2,20/2,22	2,18/2,18
23	2,29/2,50	2,23/2,39	2,21/2,32	2,19/2,27	2,15/2,18	2,13/2,13
24	2,24/2,46	2,18/2,35	2,16/2,28	2,13/2,23	2,10/2,14	2,08/2,10
25	2,19/2,43	2,14/2,31	2,11/2,24	2,09/2,20	2,05/2,10	2,03/2,06
26	2,15/2,39	2,09/2,28	2,06/2,21	2,04/2,16	2,00/2,07	1,98/2,02
27	2,10/2,36	2,05/2,24	2,02/2,18	2,00/2,13	1,96/2,03	1,94/1,99
28	2,06/2,32	2,01/2,21	1,98/2,14	1,95/2,10	1,91/2,00	1,89/1,96
29	2,02/2,29	1,97/2,18	1,93/2,11	1,91/2,06	1,87/1,97	1,85/1,93
30	1,98/2,26	1,93/2,15	1,90/2,08	1,87/2,03	1,83/1,94	1,81/1,90
31	1,95/2,23	1,89/2,12	1,86/2,05	1,84/2,01	1,79/1,91	1,77/1,87
32	1,91/2,20	1,85/2,09	1,82/2,03	1,80/1,98	1,76/1,88	1,74/1,84
33	1,87/2,17	1,82/2,06	1,78/2,00	1,76/1,95	1,72/1,86	1,70/1,81
34	1,84/2,15	1,78/2,04	1,75/1,97	1,73/1,92	1,69/1,83	1,67/1,79
35	1,81/2,12	1,75/2,01	1,72/1,95	1,69/1,90	1,65/1,80	1,63/1,76

$e=20$ } ES 2,31 $\frac{2,305}{2,30}$ $\frac{12}{2,30}$
 TD 2,31 $\frac{2,29}{2,27}$

$e=22$ } EIXO SIMPLES 2,20 $\frac{2,19}{2,18}$
 EIXO DUPLO 2,22 $\frac{2,20}{2,18}$

QUADRO 8b - Fatores de erosão para eixos tandem triplos - Juntas transversais com barras de transferência (Sem acostamento de concreto / Com acostamento de concreto)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,86/3,27	3,80/3,17	3,75/3,13	3,71/3,12	3,62/3,07	3,56/3,03
11	3,76/3,19	3,69/3,07	3,65/3,02	3,62/3,00	3,53/2,95	3,48/2,92
12	3,68/3,12	3,60/2,99	3,56/2,93	3,52/2,90	3,45/2,85	3,40/2,82
13	3,60/3,06	3,51/2,92	3,47/2,85	3,44/2,81	3,37/2,76	3,33/2,73
14	3,53/3,00	3,43/2,86	3,39/2,78	3,36/2,74	3,29/2,67	3,26/2,64
15	3,47/2,95	3,36/2,80	3,31/2,73	3,28/2,67	3,22/2,59	3,19/2,56
16	3,41/2,91	3,30/2,76	3,25/2,67	3,21/2,62	3,15/2,52	3,12/2,49
17	3,35/2,86	3,24/2,71	3,19/2,62	3,15/2,57	3,08/2,47	3,05/2,43
18	3,30/2,82	3,19/2,67	3,13/2,58	3,09/2,52	3,02/2,41	2,99/2,37
19	3,25/2,79	3,14/2,63	3,08/2,54	3,04/2,48	2,96/2,37	2,93/2,32
20	3,21/2,75	3,09/2,59	3,03/2,50	2,99/2,44	2,91/2,32	2,88/2,28
21	3,16/2,72	3,05/2,56	2,99/2,47	2,94/2,40	2,86/2,28	2,83/2,23
22	3,12/2,68	3,01/2,53	2,94/2,43	2,90/2,37	2,82/2,25	2,78/2,20
23	3,08/2,65	2,97/2,49	2,90/2,40	2,86/2,34	2,77/2,21	2,74/2,16
24	3,05/2,62	2,93/2,46	2,86/2,37	2,82/2,31	2,73/2,18	2,69/2,13
25	3,01/2,59	2,89/2,44	2,83/2,34	2,78/2,28	2,69/2,15	2,65/2,10
26	2,98/2,57	2,86/2,41	2,79/2,32	2,74/2,25	2,66/2,12	2,62/2,07
27	2,94/2,54	2,82/2,38	2,76/2,29	2,71/2,22	2,62/2,10	2,58/2,04
28	2,91/2,51	2,79/2,36	2,72/2,26	2,68/2,20	2,59/2,07	2,55/2,01
29	2,88/2,49	2,76/2,33	2,69/2,24	2,65/2,17	2,55/2,04	2,51/1,99
30	2,85/2,47	2,73/2,31	2,66/2,22	2,62/2,15	2,52/2,02	2,48/1,96
31	2,82/2,44	2,70/2,29	2,63/2,19	2,59/2,13	2,49/2,00	2,45/1,94
32	2,80/2,42	2,68/2,26	2,61/2,17	2,56/2,10	2,46/1,97	2,42/1,92
33	2,77/2,40	2,65/2,24	2,58/2,15	2,53/2,08	2,44/1,95	2,40/1,89
34	2,74/2,38	2,62/2,22	2,55/2,13	2,50/2,06	2,41/1,93	2,37/1,87
35	2,72/2,36	2,60/2,20	2,53/2,11	2,48/2,04	2,38/1,91	2,34/1,85

14

e = 27

e = 20

Eixo triplo
C/ ACOSTAM.

"

2,25 2,23
2,25 2,20
2,37 2,30
2,28

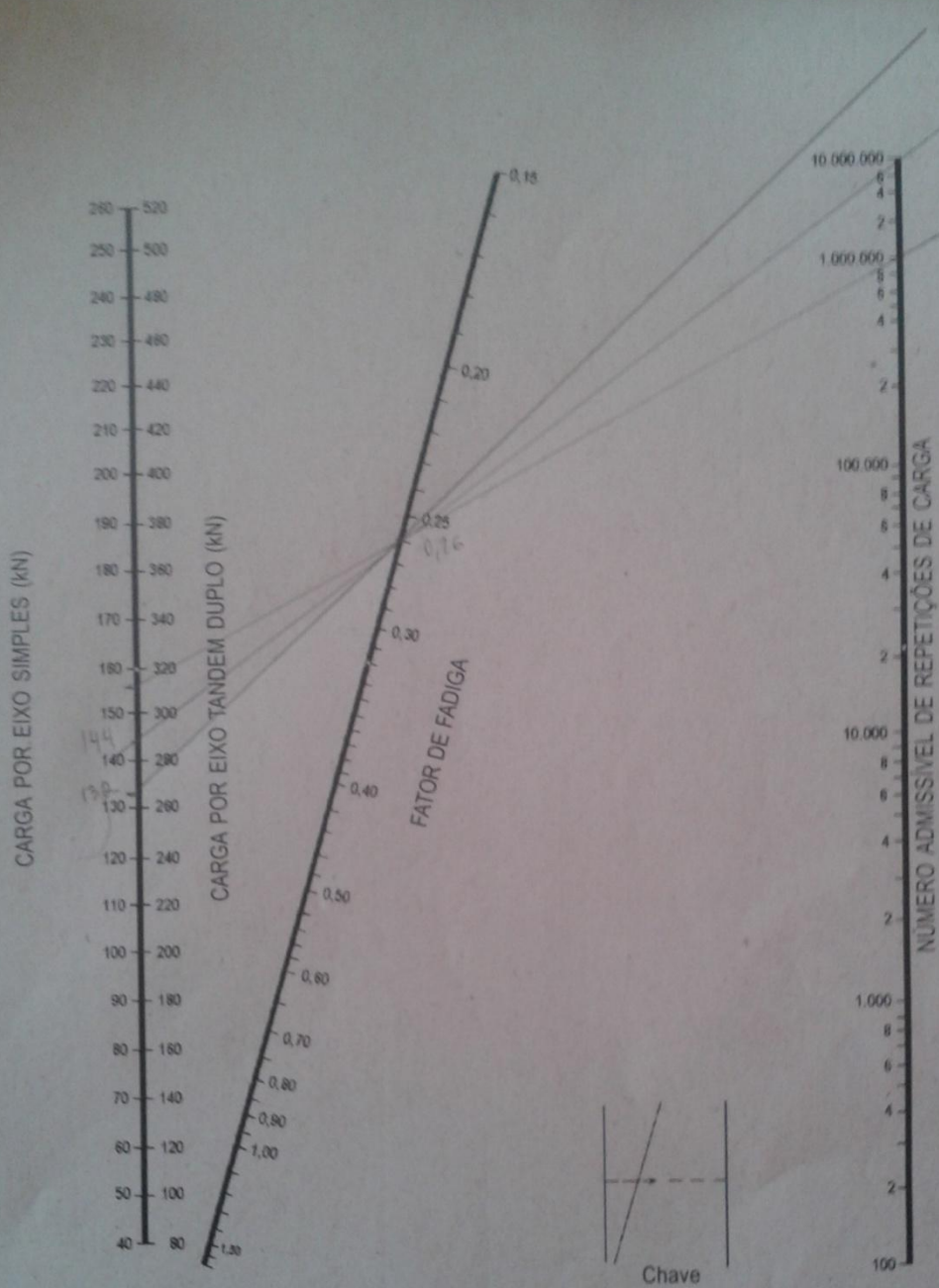


FIGURA 5 - Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com e sem acostamento de concreto)

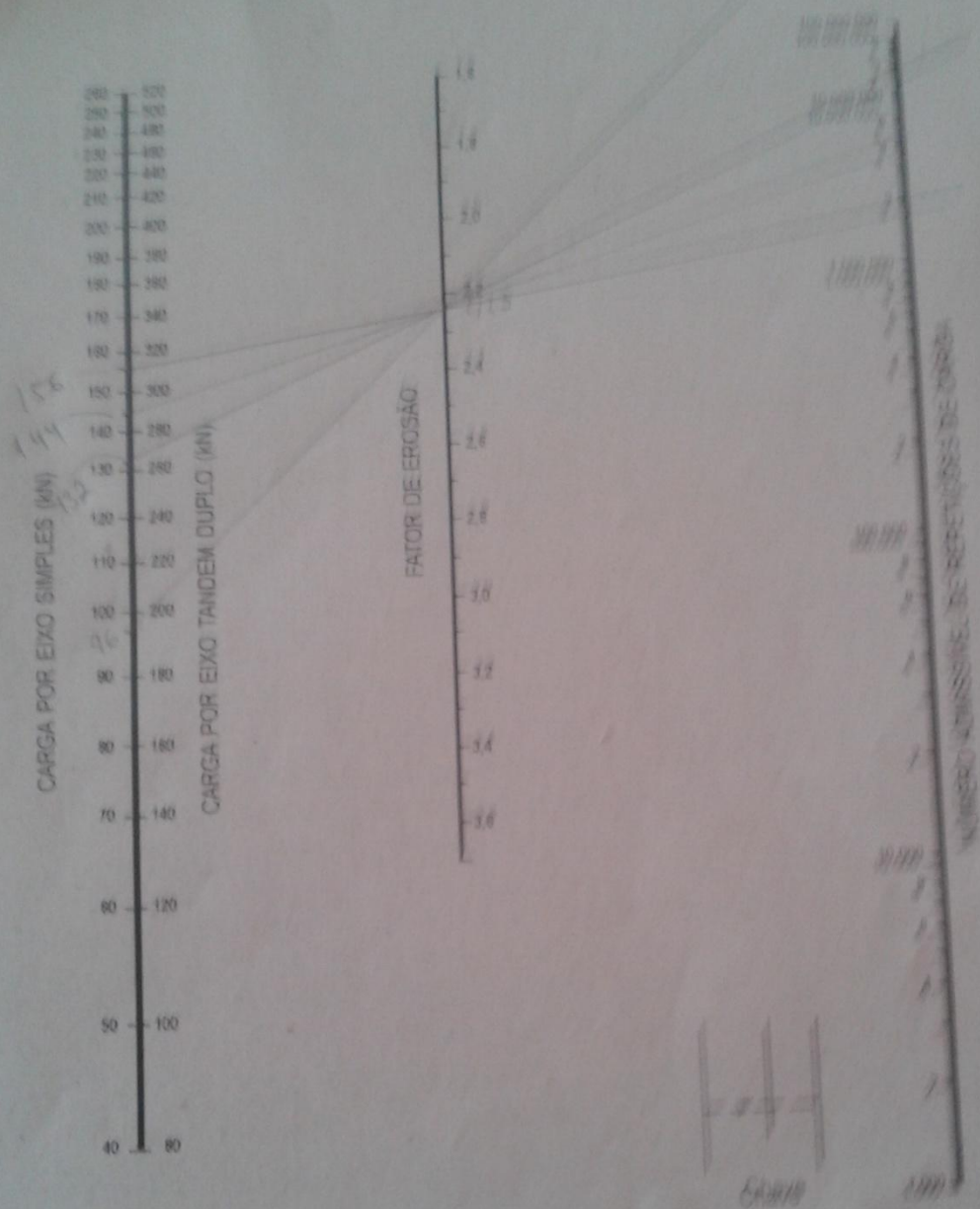


FIGURA 6b - Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto)

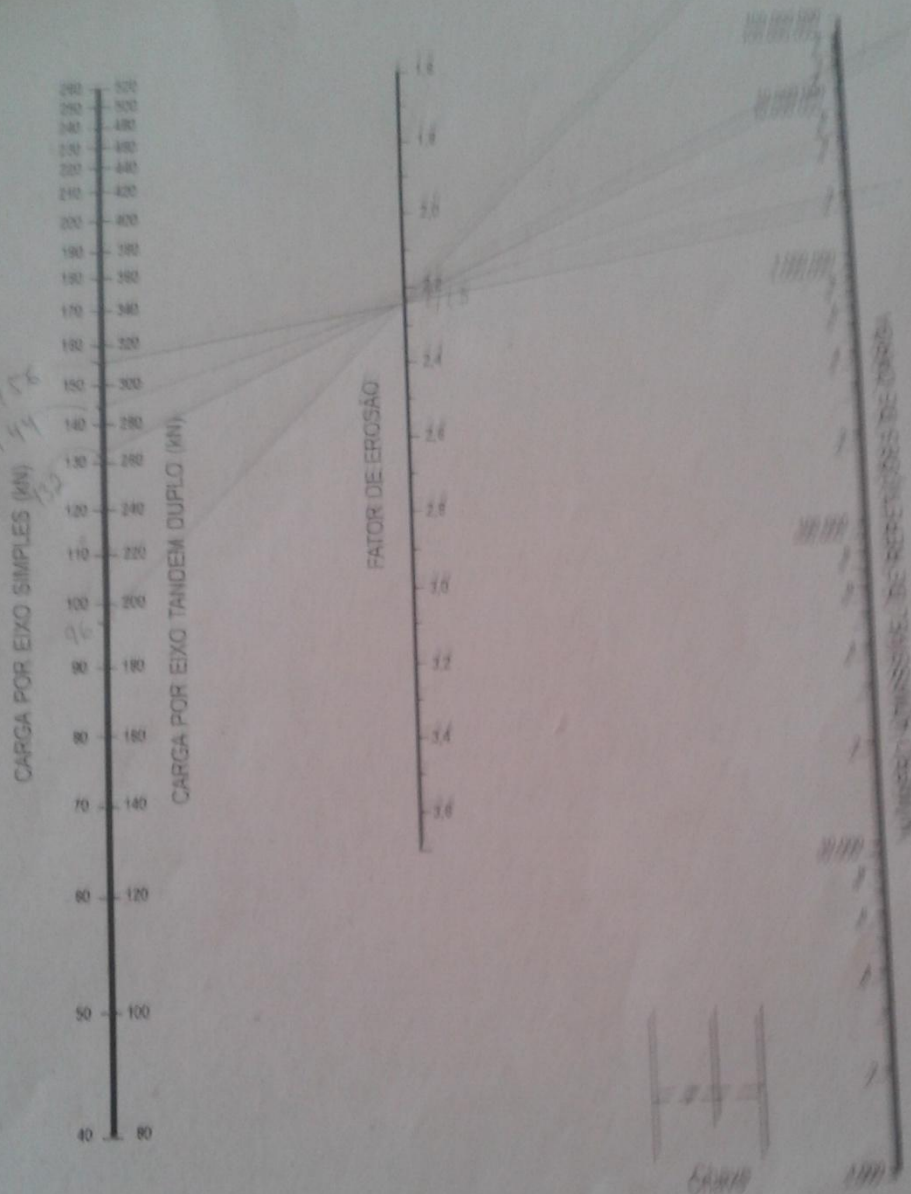


FIGURA 6b - Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de 5 cm/m²)

concreto do pavimento, no **Apêndice 1**, e recomenda que não se empregue o critério de simples aumento de k quando deseje-se respeitar estritamente o método PCA/84. Entretanto, para possibilitar ao projetista uma opção pessoal, mostram-se no **Quadro 4** os valores de k no topo de um sistema de fundação dotado de sub-base não aderida de concreto rolado.

QUADRO 4 - Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto rolado
(Fonte: Adaptado da Referência 44)

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (Mpa/m), para espessuras de sub-base iguais a (cm)		
CBR (%)	k (MPa/m)	10	12,5	15
2	16	65	77	98
3	24	87	101	126
4	30	101	118	145
5	34	111	128	158
6	38	120	138	169
7	41	127	145	177
8	44	133	152	186
9	47	140	159	194
10	49	144	164	199
11	51	148	168	204
12	53	152	173	209
13	54	154	175	211
14	56	158	179	216
15	57	160	182	219
16	59	164	186	224
17	60	166	188	226
18	61	168	190	229
19	62	170	192	231
20	63	172	194	233

QUADRO 5b - Tensão equivalente - Com acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	4,18/3,48	3,65/3,10	3,37/2,94	3,19/2,85	2,85/2,74	2,72/2,72
11	3,68/3,07	3,23/2,71	2,99/2,56	2,83/2,47	2,55/2,35	2,43/2,32
12	3,28/2,75	2,88/2,41	2,67/2,26	2,54/2,17	2,29/2,05	2,19/2,02
13	2,95/2,49	2,60/2,17	2,41/2,02	2,29/1,94	2,07/1,82	1,99/1,78
14	2,68/2,27	2,36/1,97	2,19/1,83	2,08/1,75	1,89/1,63	1,81/1,59
15	2,44/2,08	2,15/1,80	2,00/1,67	1,90/1,59	1,73/1,48	1,66/1,44
16	2,24/1,93	1,97/1,66	1,84/1,53	1,75/1,46	1,59/1,35	1,53/1,31
17	2,06/1,79	1,82/1,54	1,70/1,42	1,62/1,35	1,48/1,24	1,42/1,20
18	1,91/1,67	1,69/1,43	1,57/1,32	1,50/1,25	1,37/1,15	1,32/1,11
19	1,77/1,57	1,57/1,34	1,46/1,23	1,40/1,17	1,28/1,07	1,23/1,03
20	1,65/1,48	1,46/1,26	1,37/1,16	1,30/1,10	1,19/1,00	1,15/0,96
21	1,55/1,40	1,37/1,19	1,28/1,09	1,22/1,03	1,12/0,93	1,08/0,90
22	1,45/1,32	1,29/1,12	1,20/1,03	1,15/0,97	1,05/0,88	1,01/0,85
23	1,37/1,26	1,21/1,07	1,13/0,98	1,08/0,92	0,99/0,83	0,98/0,80
24	1,29/1,20	1,15/1,01	1,07/0,93	1,02/0,87	0,94/0,79	0,90/0,76
25	1,22/1,14	1,08/0,97	1,01/0,88	0,97/0,83	0,89/0,75	0,86/0,72
26	1,16/1,09	1,03/0,92	0,96/0,84	0,92/0,79	0,84/0,71	0,81/0,68
27	1,10/1,04	0,98/0,88	0,91/0,81	0,87/0,76	0,80/0,68	0,77/0,65
28	1,05/1,00	0,93/0,85	0,87/0,77	0,83/0,73	0,76/0,65	0,74/0,62
29	1,00/0,96	0,89/0,81	0,83/0,74	0,79/0,70	0,73/0,62	0,70/0,60
30	0,95/0,93	0,85/0,78	0,79/0,71	0,76/0,67	0,70/0,60	0,67/0,57
31	0,91/0,89	0,81/0,75	0,76/0,69	0,72/0,64	0,67/0,58	0,64/0,55
32	0,87/0,86	0,78/0,73	0,73/0,66	0,69/0,62	0,64/0,55	0,62/0,53
33	0,84/0,83	0,74/0,70	0,70/0,64	0,67/0,60	0,61/0,53	0,59/0,51
34	0,80/0,80	0,71/0,68	0,67/0,62	0,64/0,58	0,59/0,52	0,57/0,49
35	0,77/0,78	0,69/0,66	0,64/0,60	0,61/0,56	0,57/0,50	0,55/0,47

$e = 25 \text{ cm}$
US: 0,99 a 0,86 $\rightarrow 70 = 0,83$
 $4 \rightarrow x$
 $90 \rightarrow 0,03$
 $\therefore x = 0,003$
 Logo, Adotar 0,99

QUADRO 5c - Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Sem acostamento de concreto/Com acostamento de concreto)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,36/2,87	3,10/2,67	3,02/2,60	2,98/2,57	2,94/2,56	2,93/2,57
11	2,92/2,50	2,64/2,29	2,55/2,22	2,50/2,18	2,45/2,16	2,44/2,16
12	2,60/2,20	2,30/2,00	2,20/1,93	2,14/1,89	2,08/1,85	2,07/1,85
13	2,35/1,97	2,04/1,78	1,93/1,70	1,87/1,66	1,80/1,61	1,78/1,61
14	2,15/1,78	1,83/1,59	1,72/1,52	1,65/1,48	1,58/1,43	1,55/1,42
15	1,99/1,62	1,67/1,44	1,55/1,37	1,48/1,33	1,40/1,27	1,37/1,26
16	1,85/1,49	1,54/1,32	1,41/1,24	1,34/1,20	1,25/1,15	1,23/1,13
17	1,73/1,38	1,43/1,21	1,30/1,14	1,23/1,10	1,14/1,04	1,11/1,03
18	1,62/1,28	1,34/1,12	1,21/1,05	1,14/1,01	1,04/0,96	1,01/0,94
19	1,53/1,19	1,26/1,04	1,13/0,98	1,06/0,94	0,96/0,88	0,92/0,86
20	1,45/1,12	1,19/0,98	1,07/0,91	0,99/0,87	0,89/0,82	0,85/0,80
21	1,37/1,05	1,13/0,92	1,01/0,85	0,93/0,81	0,83/0,76	0,79/0,74
22	1,30/0,99	1,07/0,86	0,95/0,80	0,88/0,76	0,78/0,71	0,74/0,69
23	1,24/0,93	1,02/0,81	0,91/0,76	0,84/0,72	0,73/0,67	0,70/0,65
24	1,18/0,88	0,97/0,77	0,87/0,71	0,80/0,68	0,69/0,63	0,66/0,61
25	1,13/0,84	0,93/0,73	0,83/0,68	0,76/0,64	0,66/0,59	0,62/0,57
26	1,07/0,79	0,89/0,70	0,79/0,64	0,73/0,61	0,63/0,56	0,59/0,54
27	1,02/0,75	0,86/0,66	0,76/0,61	0,70/0,58	0,60/0,53	0,57/0,52
28	0,98/0,72	0,82/0,63	0,73/0,59	0,67/0,56	0,58/0,51	0,54/0,49
29	0,93/0,68	0,79/0,60	0,71/0,56	0,65/0,53	0,55/0,49	0,52/0,47
30	0,89/0,65	0,76/0,58	0,68/0,54	0,63/0,51	0,53/0,46	0,50/0,45
31	0,85/0,62	0,73/0,55	0,66/0,51	0,60/0,49	0,51/0,44	0,48/0,43
32	0,81/0,59	0,70/0,53	0,63/0,49	0,58/0,47	0,50/0,43	0,46/0,41
33	0,77/0,57	0,68/0,51	0,61/0,47	0,56/0,45	0,48/0,41	0,45/0,39
34	0,73/0,54	0,65/0,49	0,59/0,46	0,55/0,43	0,46/0,39	0,43/0,38
35	0,70/0,52	0,63/0,47	0,57/0,44	0,53/0,42	0,45/0,38	0,42/0,36

TT = 0,67

c/ acostam.

8

QUADRO 7b - Fatores de erosão - Juntas trasversais com barras de transferência e acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m) 144					
	20	40	60	80	140	180
10	3,27/3,25	3,24/3,17	3,22/3,14	3,21/3,12	3,17/3,11	3,15/3,11
11	3,16/3,16	3,12/3,07	3,10/3,03	3,09/3,00	3,05/2,98	3,03/2,97
12	3,05/3,08	3,01/2,98	2,99/2,93	2,98/2,90	2,94/2,86	2,92/2,84
13	2,96/3,01	2,92/2,90	2,89/2,85	2,88/2,81	2,84/2,76	2,82/2,74
14	2,87/2,94	2,82/2,83	2,80/2,77	2,78/2,74	2,75/2,67	2,73/2,65
15	2,79/2,88	2,74/2,77	2,72/2,71	2,70/2,67	2,67/2,60	2,65/2,57
16	2,71/2,82	2,66/2,71	2,64/2,65	2,62/2,60	2,59/2,53	2,57/2,50
17	2,64/2,77	2,59/2,65	2,57/2,59	2,55/2,55	2,51/2,46	2,49/2,43
18	2,57/2,72	2,52/2,60	2,50/2,54	2,48/2,49	2,44/2,41	2,42/2,37
19	2,51/2,67	2,46/2,56	2,43/2,49	2,41/2,44	2,38/2,35	2,36/2,32
20	2,45/2,63	2,40/2,51	2,37/2,44	2,35/2,40	2,31/2,31	2,30/2,27
21	2,39/2,58	2,34/2,47	2,31/2,40	2,29/2,35	2,26/2,26	2,24/2,22
22	2,34/2,54	2,29/2,43	2,26/2,36	2,24/2,31	2,20/2,22	2,18/2,18
23	2,29/2,50	2,23/2,39	2,21/2,32	2,19/2,27	2,15/2,18	2,13/2,13
24	2,24/2,46	2,18/2,35	2,16/2,28	2,13/2,23	2,10/2,14	2,08/2,10
25	2,19/2,43	2,14/2,31	2,11/2,24	2,09/2,20	2,05/2,10	2,03/2,06
26	2,15/2,39	2,09/2,28	2,06/2,21	2,04/2,16	2,00/2,07	1,98/2,02
27	2,10/2,36	2,05/2,24	2,02/2,18	2,00/2,13	1,96/2,03	1,94/1,99
28	2,06/2,32	2,01/2,21	1,98/2,14	1,95/2,10	1,91/2,00	1,89/1,96
29	2,02/2,29	1,97/2,18	1,93/2,11	1,91/2,06	1,87/1,97	1,85/1,93
30	1,98/2,26	1,93/2,15	1,90/2,08	1,87/2,03	1,83/1,94	1,81/1,90
31	1,95/2,23	1,89/2,12	1,86/2,05	1,84/2,01	1,79/1,91	1,77/1,87
32	1,91/2,20	1,85/2,09	1,82/2,03	1,80/1,98	1,76/1,88	1,74/1,84
33	1,87/2,17	1,82/2,06	1,78/2,00	1,76/1,95	1,72/1,86	1,70/1,81
34	1,84/2,15	1,78/2,04	1,75/1,97	1,73/1,92	1,69/1,83	1,67/1,79
35	1,81/2,12	1,75/2,01	1,72/1,95	1,69/1,90	1,65/1,80	1,63/1,76

QUADRO 8b - Fatores de erosão para eixos tandem triplos - Juntas transversais com barras de transferência (Sem acostamento de concreto / Com acostamento de concreto)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,86/3,27	3,80/3,17	3,75/3,13	3,71/3,12	3,62/3,07	3,56/3,03
11	3,76/3,19	3,69/3,07	3,65/3,02	3,62/3,00	3,53/2,95	3,48/2,92
12	3,68/3,12	3,60/2,99	3,56/2,93	3,52/2,90	3,45/2,85	3,40/2,82
13	3,60/3,06	3,51/2,92	3,47/2,85	3,44/2,81	3,37/2,76	3,33/2,73
14	3,53/3,00	3,43/2,86	3,39/2,78	3,36/2,74	3,29/2,67	3,26/2,64
15	3,47/2,95	3,36/2,80	3,31/2,73	3,28/2,67	3,22/2,59	3,19/2,56
16	3,41/2,91	3,30/2,76	3,25/2,67	3,21/2,62	3,15/2,52	3,12/2,49
17	3,35/2,86	3,24/2,71	3,19/2,62	3,15/2,57	3,08/2,47	3,05/2,43
18	3,30/2,82	3,19/2,67	3,13/2,58	3,09/2,52	3,02/2,41	2,99/2,37
19	3,25/2,79	3,14/2,63	3,08/2,54	3,04/2,48	2,96/2,37	2,93/2,32
20	3,21/2,75	3,09/2,59	3,03/2,50	2,99/2,44	2,91/2,32	2,88/2,28
21	3,16/2,72	3,05/2,56	2,99/2,47	2,94/2,40	2,86/2,28	2,83/2,23
22	3,12/2,68	3,01/2,53	2,94/2,43	2,90/2,37	2,82/2,25	2,78/2,20
23	3,08/2,65	2,97/2,49	2,90/2,40	2,86/2,34	2,77/2,21	2,74/2,16
24	3,05/2,62	2,93/2,46	2,86/2,37	2,82/2,31	2,73/2,18	2,69/2,13
25	3,01/2,59	2,89/2,44	2,83/2,34	2,78/2,28	2,69/2,15	2,65/2,10
26	2,98/2,57	2,86/2,41	2,79/2,32	2,74/2,25	2,66/2,12	2,62/2,07
27	2,94/2,54	2,82/2,38	2,76/2,29	2,71/2,22	2,62/2,10	2,58/2,04
28	2,91/2,51	2,79/2,36	2,72/2,26	2,68/2,20	2,59/2,07	2,55/2,01
29	2,88/2,49	2,76/2,33	2,69/2,24	2,65/2,17	2,55/2,04	2,51/1,99
30	2,85/2,47	2,73/2,31	2,66/2,22	2,62/2,15	2,52/2,02	2,48/1,96
31	2,82/2,44	2,70/2,29	2,63/2,19	2,59/2,13	2,49/2,00	2,45/1,94
32	2,80/2,42	2,68/2,26	2,61/2,17	2,56/2,10	2,46/1,97	2,42/1,92
33	2,77/2,40	2,65/2,24	2,58/2,15	2,53/2,08	2,44/1,95	2,40/1,89
34	2,74/2,38	2,62/2,22	2,55/2,13	2,50/2,06	2,41/1,93	2,37/1,87
35	2,72/2,36	2,60/2,20	2,53/2,11	2,48/2,04	2,38/1,91	2,34/1,85

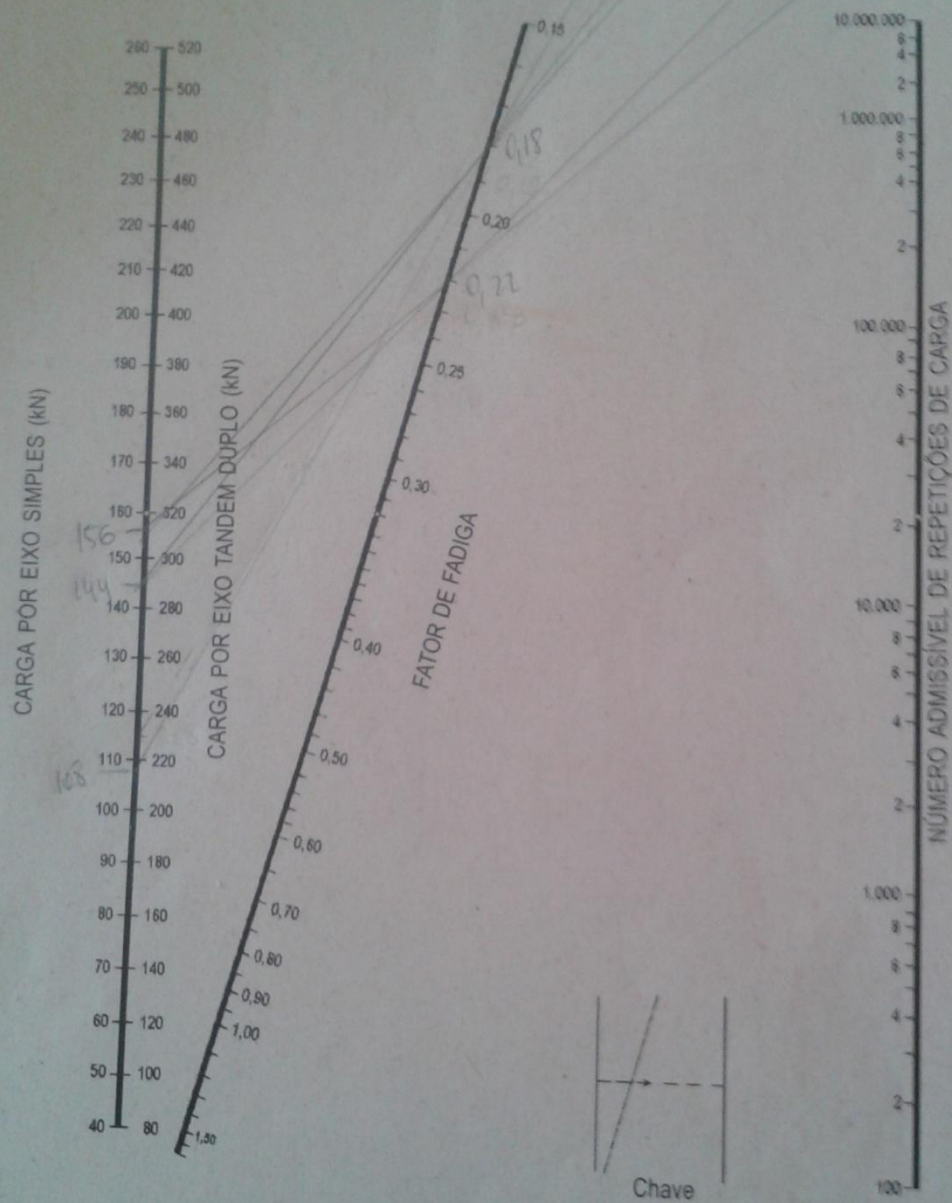
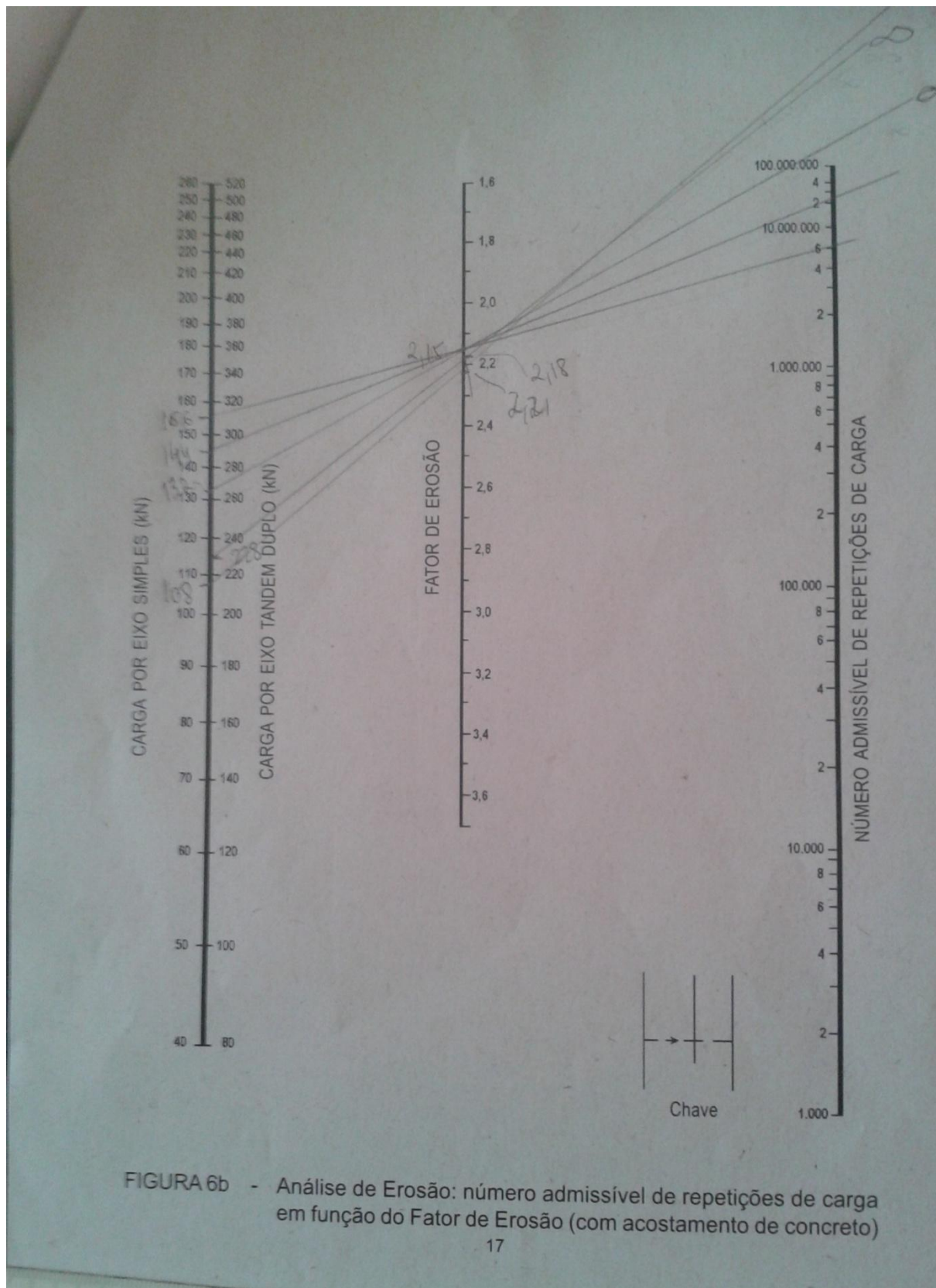


FIGURA 5 - Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com e sem acostamento de concreto)



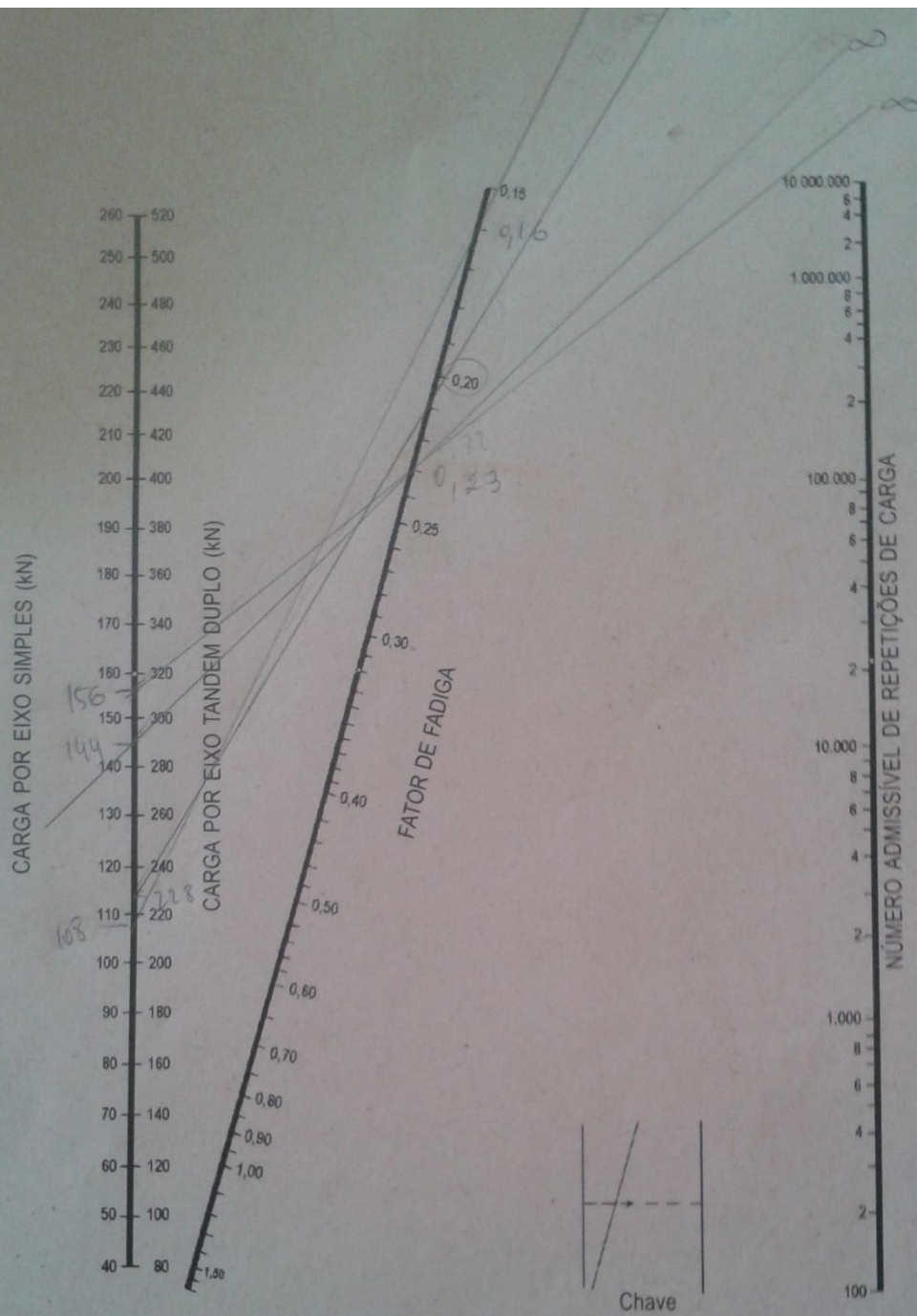


FIGURA 5 - Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com e sem acostamento de concreto)

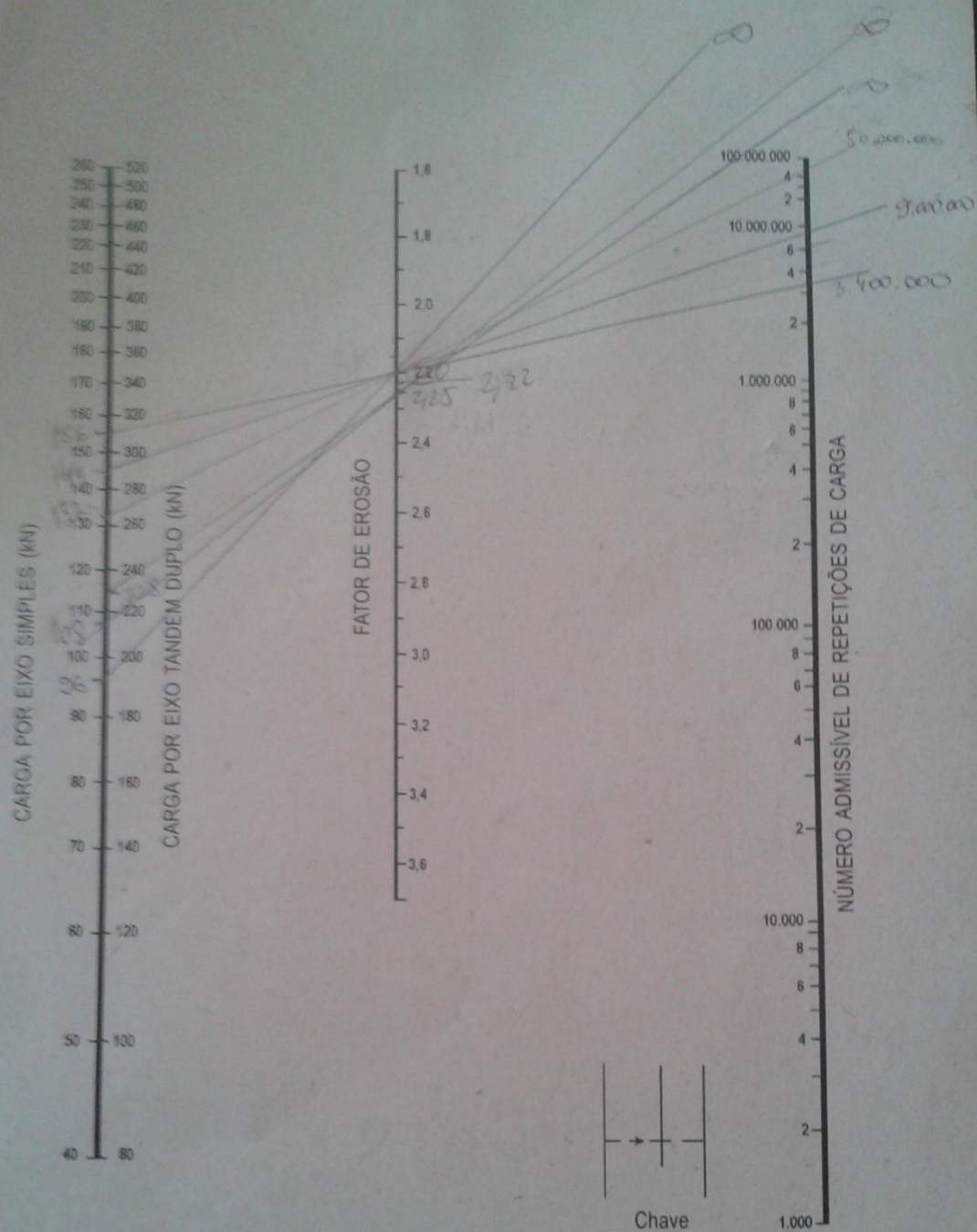


FIGURA 6b - Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto)

QUADRO 56 - Tensão equivalente - Com acostamento de concreto (simples/Eixo tandem duplo)

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	4.18/3.48	3.65/3.10	3.37/2.94	3.19/2.85	2.85/2.74	2.72/2.72
11	3.88/3.07	3.23/2.71	2.99/2.56	2.83/2.47	2.55/2.35	2.43/2.32
12	3.28/2.75	2.88/2.41	2.67/2.26	2.54/2.17	2.29/2.05	2.19/2.02
13	2.95/2.49	2.60/2.17	2.41/2.02	2.29/1.94	2.07/1.82	1.99/1.78
14	2.68/2.27	2.36/1.97	2.19/1.83	2.08/1.75	1.89/1.63	1.81/1.59
15	2.44/2.08	2.15/1.80	2.00/1.67	1.90/1.59	1.73/1.48	1.66/1.44
16	2.24/1.93	1.97/1.66	1.84/1.53	1.75/1.46	1.59/1.35	1.53/1.31
17	2.06/1.79	1.82/1.54	1.70/1.42	1.62/1.35	1.48/1.24	1.42/1.20
18	1.91/1.67	1.69/1.43	1.57/1.32	1.50/1.25	1.37/1.15	1.32/1.11
19	1.77/1.57	1.57/1.34	1.46/1.23	1.40/1.17	1.28/1.07	1.23/1.03
20	1.65/1.48	1.46/1.26	1.37/1.16	1.30/1.10	1.19/1.00	1.15/0.96
21	1.55/1.40	1.37/1.19	1.28/1.09	1.22/1.03	1.12/0.93	1.08/0.90
22	1.45/1.32	1.29/1.12	1.20/1.03	1.15/0.97	1.05/0.88	1.01/0.85
23	1.37/1.26	1.21/1.07	1.13/0.98	1.08/0.92	0.99/0.83	0.96/0.80
24	1.29/1.20	1.15/1.01	1.07/0.93	1.02/0.87	0.94/0.79	0.90/0.76
25	1.22/1.14	1.08/0.97	1.01/0.88	0.97/0.83	0.89/0.75	0.86/0.72
26	1.16/1.09	1.03/0.92	0.96/0.84	0.92/0.79	0.84/0.71	0.81/0.68
27	1.10/1.04	0.98/0.88	0.91/0.81	0.87/0.76	0.80/0.68	0.77/0.65
28	1.05/1.00	0.93/0.85	0.87/0.77	0.83/0.73	0.76/0.65	0.74/0.62
29	1.00/0.96	0.89/0.81	0.83/0.74	0.79/0.70	0.73/0.62	0.70/0.60
30	0.95/0.93	0.85/0.78	0.79/0.71	0.76/0.67	0.70/0.60	0.67/0.57
31	0.91/0.89	0.81/0.75	0.76/0.69	0.72/0.64	0.67/0.58	0.64/0.55
32	0.87/0.86	0.78/0.73	0.73/0.66	0.69/0.62	0.64/0.55	0.62/0.53
33	0.84/0.83	0.74/0.70	0.70/0.64	0.67/0.60	0.61/0.53	0.59/0.51
34	0.80/0.80	0.71/0.68	0.67/0.62	0.64/0.58	0.59/0.52	0.57/0.49
35	0.77/0.78	0.69/0.66	0.64/0.60	0.61/0.56	0.57/0.50	0.55/0.47

$e = 23 \text{ cm}$
15 : 0,93 a 0,96 $\rightarrow 70 = 0,83$
 $4 \rightarrow x$
 $40 \rightarrow 0,03$
 $\therefore x = 0,003$
 Logo, Adotem 0,93

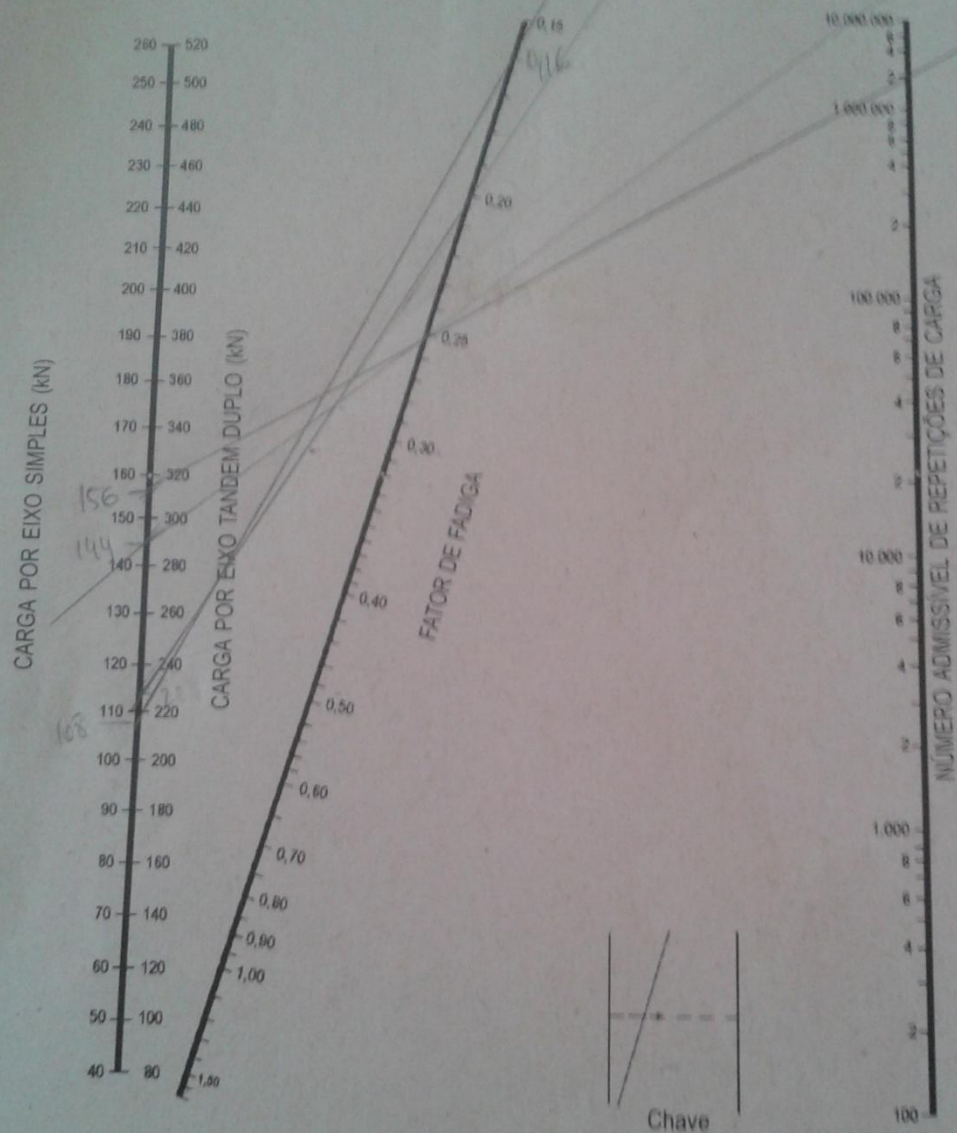


FIGURA 5 - Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com e sem acostamento de concreto)

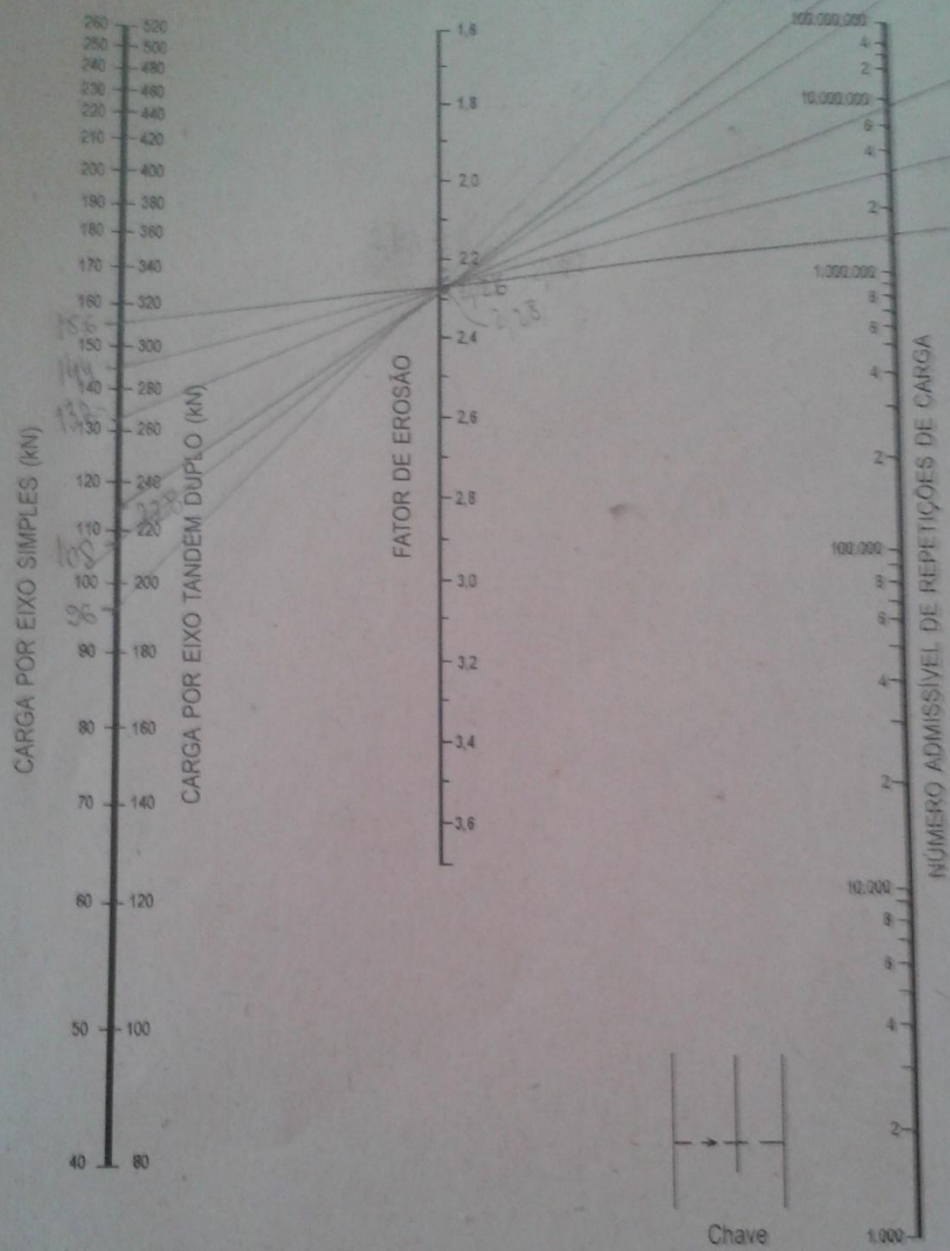


FIGURA 6b - Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto)

3 – PLANO DE SONDAÇÃO DO SUBLEITO

