

Estudo Preliminar de Desempenho de Pavimentos com Solos Saprolíticos de Granito em Santa Catarina

Nilton Valle, eng. civil, ME

Diretor de Estudos e Projetos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina
Rua Tenente Silveira, 200, Florianópolis, 88010-300, SC
fone: (048) 223 12 12 fax: (048) 222 57 01

José Tadeu Balbo, eng. civil, ME, DE

Docente da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, s/n , Engenharia Civil, 05508-900, Cid. Universitária, São Paulo, SP
fone: (011) 818 53 06 fax: (011) 818 57 16 e-mail: jotbalbo@usp.br

RESUMO

Neste artigo é apresentada uma análise do comportamento de pavimentos flexíveis de rodovia de baixo volume de tráfego que empregaram solo saprolítico de granito como camada de reforço do subleito em sua construção. Dados resultantes de três anos de monitoramento dos pavimentos apontam para diversos aspectos importantes, em especial, o bom comportamento do material granular aplicado em reforços, face aos módulos resilientes observados através de bacias de deformação em campo e ensaios de laboratório.

Um estudo preliminar de desempenho dos pavimentos aplicando modelos empíricos para a previsão da serventia, da irregularidade e do trincamento, além de modelo experimental para previsão de fadiga, é apresentado, resultando que nenhum dos modelos aplicados foi capaz de fazer uma previsão próxima ao comportamento observado em campo, muito superior aos esperados no momento da elaboração dos estudos.

Estudo Preliminar de Desempenho de Pavimentos com Solos Saprolíticos de Granito em Santa Catarina

Nilton Valle, eng. civil, ME

Diretor de Estudos e Projetos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina

José Tadeu Balbo, eng. civil, ME, DE

Docente da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

1. Introdução

Solos granulares resultantes da decomposição de rocha granítica apresentam ocorrências abundantes na faixa litorânea do Estado de Santa Catarina. São encontrados no horizonte C sendo caracterizados como solos residuais jovens ou saprolíticos, comumente denominados de saibros. Tais solos representam grande interesse para obras de construção de pavimentos, em especial de baixo volume de tráfego, característica de rodovias vicinais, considerando que trata-se de material que, encontrado em depósitos em geral próximos à obra, apresentam grandes vantagens em termos de custos.

O emprego de tais solos em pavimentos, em geral como camada de reforço para subleitos, apresenta preços em torno de R\$ 8,00 a R\$ 12,50 por m³, escavado, transportado e compactado, enquanto que a brita graduada simples tem seu preço em torno de R\$ 25,00 a R\$ 35,00, variando conforme a distância de transporte do material; ou seja, desde que viabilizado o emprego de tais solos saprolíticos, os custos por metro cúbico seria reduzido em três vezes quando substituindo o emprego do material tradicional.

Diversos trechos de rodovias de baixo volume de tráfego em Santa Catarina foram executados empregando-se o material alternativo como camada de reforço de subleito, viabilizando economicamente a construção de tais rodovias. Existe experiência acumulada de quase vinte anos no emprego de tais solos como camadas de pavimentos (ver Tabela 1), que, embora não monitorados periodicamente de maneira a fornecer presentemente elementos mais precisos, revelam, através de sua observação e dos serviços de manutenção empreendidos ao longo dos anos, que boa parte das experiências resultaram positivas.

Em fins de 1994 foram abertos ao tráfego os serviços concluídos de pavimentação da rodovia Brusque-Botuverá (SC-486), no Vale do Itajaí. Face à implantação de um sistema de gerência rodoviária no âmbito do Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina, após aquela data tem sido possível o monitoramento periódico dos pavimentos da rodovia através de levantamento de suas condições estruturais, funcionais e de tráfego. Os dados coletados têm permitido uma avaliação mais precisa do desempenho estrutural de pavimentos executados com camada de reforço de subleito em solo saprolítico de granito, que foi empregado em substituição parcial de camada de brita graduada simples de espessura significativa, que inviabilizariam economicamente a implantação do projeto.

Neste artigo procura-se descrever e analisar os resultados obtidos através dos levantamentos realizados durante os últimos três anos, de modo a apontar para a viabilidade do emprego deste material alternativo bem como sugerir faixas de variação de indicadores estruturais para o solo saprolítico empregado, que serão de grande utilidade para análises e dimensionamento de novos pavimentos econômicos que venham a ser executados no futuro.

Tabela 1 Emprego de solo saprolítico de granito em pavimentos em Santa Catarina

Trecho	Camada	Idade (anos)	Tráfego de Projeto (N . 10 ⁶)*	Tráfego Ocorrido (N . 10 ⁶)*	Comportamento apresentado
Brusque-Botuverá	Reforço	3	1,93	1,5	Bom
Brusque São João Batista	Reforço	7	2,68	1,0	Bom
Criciúma-Orleans	Reforço	16	2,7	5,0 a 13,0	Bom
Orleans- São Ludgero	Reforço e base de solo-brita	15	2,1	3,5	Razoável (licitado para restauração)
Gravatal-São Ludgero	Reforço	13	2,8	6,0	Bom (licitado para restauração)
Blumenau-Guaramirim	Reforço	13	3,0	22,0 a 25,0	Ruim (restaurado após 13 anos)
BR 101- Treze de Maio	Reforço	13	1,6	1,4	Bom
Joinville-São Francisco	Reforço e Base	18	n.d.	n.d.	Ruim como base, que foi substituída por Brita Graduada

* Número de repetições do eixo-padrão acumulado até 1997 desde a construção (com fatores de veículos do Corpo de Engenheiros)

2. Características Gerais da Rodovia Brusque-Botuverá

2.1 Tráfego de Projeto e Verificado

Para a definição do número N de projeto, de acordo com os fatores de equivalência entre cargas preconizados pelo DNER (critério do USACE), foi realizada em 1991 uma contagem volumétrica e classificatória do tráfego que se utilizava então da via não pavimentada. Os fatores de equivalência entre operações foram tomados por tipo de veículo, a saber: ônibus (0,79), caminhões médios (1,149), caminhões pesados (4,767) e reboques e semi-reboques (12,078). Taxas de crescimento anual do tráfego foram empregadas para os ônibus (4,56%) e caminhões (2,83%).

Posteriormente, após a abertura da rodovia ao tráfego, nos anos de 1995, 1996 e 1997, entre os meses de janeiro e maio, foram realizadas contagens volumétricas e classificatórias dentro do programa do DER-SC. Tais dados permitiram uma análise do provável tráfego futuro, ensejando uma comparação entre os valores de projeto e os valores reais observados em uma mesma base de fatores de veículos e de crescimento do tráfego. Na Tabela 2 são apresentados ambos os resultados, dos quais podem ser inferidas algumas constatações importantes.

Tabela 2 Comparação entre tráfego de projeto e tráfego ocorrido

Ano	N projetado (10 ⁶)	N corrigido (10 ⁶)
1	0,16	0,50
2	0,34	1,02
3	0,52	1,55
4	0,70	2,10
5	0,89	2,66
6	1,09	3,24
7	1,29	3,84
8	1,50	4,45
9	1,71	5,08
10	1,93	5,74

Os resultados obtidos indicam a princípio para uma subestimativa do tráfego de projeto em relação ao ocorrido, embora esta condição ocorra apenas com relação ao número N pois o volume total de tráfego obtido das contagens posteriores era idêntico àquele de projeto. Na realidade ocorreu uma troca substancial no perfil do tráfego entre a contagem para projeto e as posteriores. Houve na realidade uma queda significativa no número de caminhões médios (de aproximadamente 50%), ocorrendo, em contrapartida, acréscimos grandes em termos de volumes de caminhões pesados, reboques e semi-reboques.

Naturalmente, com a pavimentação da rodovia vicinal, uma demanda de veículos mais pesados inicialmente reprimida, emergiu. Na região existem jazidas de solo calcário que são exploradas para fins agrícolas, sendo que a existência de uma rodovia pavimentada possibilitou melhor acesso de caminhões pesados, o que não ocorria antes (cerca de 150% para caminhões pesados e de 950% para reboques e semi-reboques, que anteriormente apresentavam volume inexpressivo).

Assim sendo, dentro dessas condições, ao final do quarto ano de abertura os pavimentos teriam atingido o final de vida de projeto estabelecido, com base no critério de ruptura tradicional do CBR. Esta questão será discutida mais a frente quando se apresentar um estudo de desempenho elaborado para os pavimentos em questão ao final da execução da obra.

2.2 Pavimentos da Rodovia

Os pavimentos executados na rodovia em questão apresentam emprego de materiais semelhantes, para todas suas camadas e em toda sua extensão. O projeto dividiu o trecho em seis estruturas de pavimento distintas em termos de espessuras de camadas, conforme apresentado na Tabela 3. Os subleitos, relativamente homogêneos em termos de resistência, apresentaram valores inferiores de CBR apenas para o trecho 3 da rodovia, conforme se infere da Tabela 3. Os materiais empregados para as camadas foram: concreto asfáltico usinado a quente na faixa C do DNER para o revestimento; base de brita graduada simples; reforço em solo saprolítico de granito.

Durante os serviços de controle tecnológico, até julho de 1994, haviam sido realizados levantamentos de bacias de deflexões com viga de Benkelman a cada 20 metros de via pavimentada. Na Tabela 3 são também apresentados os resultados obtidos para as deflexões máximas aferidas e tratadas estatisticamente para cada trecho.

Tabela 3 Características dos pavimentos após sua construção

Trecho	estacas	e_r (cm)	e_b (cm)	e_{ff} (cm)	CBR (%)	d_t (0,01 mm)	s (0,01 mm)	cv (%)	d_c (0,01mm)
1	900-938	5	17	23	6,2	79	18	23	97
2	865-900	5	16	20	8,9	82	20	24	102
3	840-865	5	16	52	3,0	71	14	20	85
4	740-840	5	16	28	6,5	66	12	18	78
5	500-700	5	16	26	6,5	75	18	24	93
6	316-500	5	16	30	5,6	65	15	23	80

2.3 Características do Material de Reforço do Subleito Empregado

2.3.1 Descrição Geológica da Jazida de Cedrinhos (Brusque-Botuverá)

A área onde se localiza a jazida de Cedrinhos, explorada para obtenção do solo de reforço dos pavimentos, está inserida na unidade denominada *Suíte Intrusiva Valsununga*, que se constitui num complexo granitóide de dimensões batolíticas, ocupando aproximadamente 600 km² no interior do *Cinturão Vulcano-Sedimentar Brusque*.

Na jazida são observados granitos cinza-claros, com textura megaporfirítica, com megacristais de feldspatos (microclínio) de dimensões centimétricas (média de 6 cm), constituindo aproximadamente 70% da rocha. A matriz é equigranular grosseira formada por quartzo, feldspato, mica e máficos. Em porções da jazida, onde não foi realizada exploração para uso em rodovias do DER-SC, existem enclaves de xenólitos de gnaiss cinza-escuro, em contato nítido com o granito.

O perfil aproximado da jazida, na parte explorada pelo DER-SC, é como descrito adiante: 2 m de solo (latossolo vermelho-amarelo), seguido de 10 m de solo de alteração de granito (que pode ser explorado com lâmina de trator); abaixo dessa alteração inicia, em direção ao pé da jazida, por cerca de 40 m, a ocorrência de rocha alterada mole (exploração com escarificador), que constitui a maior parte aflorante da jazida; próximo ao pé da jazida existem ocorrências de rocha alterada dura (3a. categoria).

O material da jazida que foi utilizado para reforço do subleito é o proveniente da alteração do granito, portanto não tendo sido utilizada a camada superficial de latossolo e nem a ocorrência de rocha alterada dura.

2.3.2 Características Físicas do Solo de Alteração

O solo de alteração de granito que foi utilizado como reforço do subleito tem suas características típicas conforme apresentadas na Tabela 4, obtidas dos ensaios realizados na fase de execução da obra. As curvas granulométricas apresentada pelo solo em questão em duas análises realizadas indicam que sua distribuição encaixa-se quase que perfeitamente dentro dos limites da tradicional faixa B para britas graduadas.

Em laboratório, a densidade do solo variou entre 1.975 e 2.155 kg/m³, para umidades de moldagem de 10,2 e 6,0%, respectivamente. Em campo, de onde foram extraídas as amostras, a densidade variou, para as mesmas amostras, de 1.988 a 2.158 kg/m³, para umidades de 9,9 e 5,2%, respectivamente. Observou-se em campo e laboratório uma boa homogeneidade das amostras em termos de densidades atingidas. Os valores de índice de suporte californiano (CBR) variaram entre 50 e 90%, atendendo satisfatoriamente às exigências para um material a ser empregado como camada de reforço de subleito.

Tabela 4 Características gerais do solo saprolítico de granito da Jazida de Cedrinhos

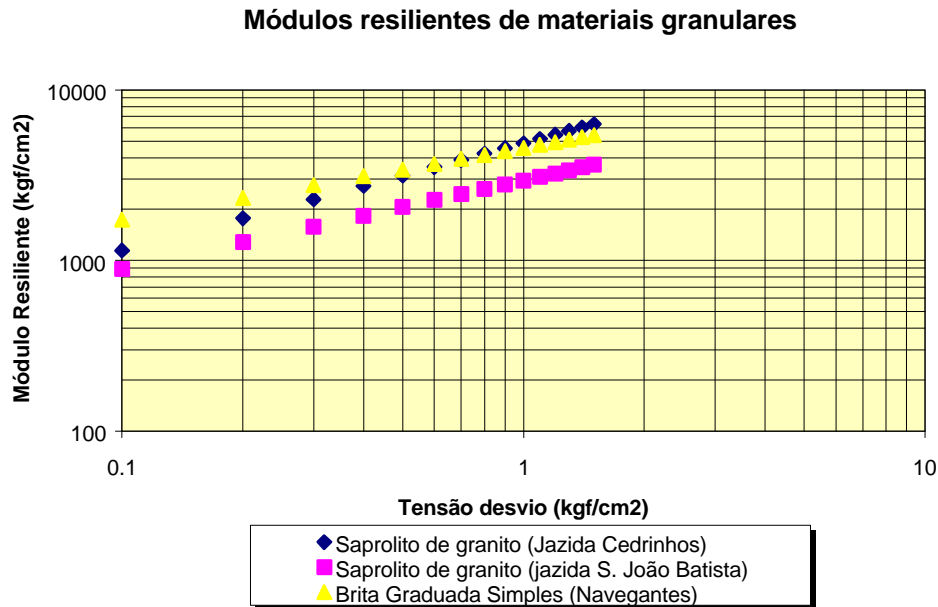
Resultado dos ensaios da fase de obra									
Granulometria	p e n e i r a	2"		100,0					
		1"	100,0	98,0					
		3/8"	85,9	72,1					
		nº 4	68,3	50,3					
		nº 10	47,5	28,2					
		nº 40	22,1	12,2					
Índices Físicos		LL		NL					
		IP	NP	NP					
I.G.			0	0					
Classificação HRB-AASHO			A-1-a	A-1-a					
Compactação (Proctor Intermediário)		h _{ót}	8,2	8,8	7,6	10,2	5,9	6,0	9,5
		γ _{seca máx.}	2.043	2.082	2.075	1.975	2.094	2.155	2.028
		γ _{seca campo}	2.116	2.131	2.099	1.988	2.113	2.158	2.044
		h _{campo}	8,4	7,2	7,2	9,9	7,3	5,2	7,9
		G.C.	103,6	102,4	101,2	101,3	100,9	100,1	100,8
Índice de Suporte		Exp. (%)	0	0		0			
		CBR (%)	80,0	60,0	90,0	50,0		76,0	

O comportamento resiliente do material empregado foi determinado em laboratório, revelando comportamento similar a uma brita graduada simples, conforme pode ser inferido da Tabela 5 e da Figura 1. Na Tabela 5 são apresentados os comportamentos resilientes do material estudado em confronto com outros materiais disponíveis para a obra em questão. Da Figura 1 verifica-se que, para níveis de tensão de confinamento entre 0,2 e 0,8 kgf/cm², o solo saprolítico da Jazida de Cedrinhos apresentaria módulos resilientes variando entre 2.000 e 4.000 kgf/cm².

Tabela 5 Modelos resilientes para alguns solos granulares estudados

Tipo	Procedência	Modelo Resiliente (kgf/cm ²)
Saprólito de granito	Jazida de Cedrinhos	$MR = 4.870 \times \sigma_3^{0,63}$
Saprólito de granito	Jazida São João Batista	$MR = 2.950 \times \sigma_3^{0,52}$
Brita graduada de granito	Pedreira em Navegantes	$MR = 4.572 \times \sigma_3^{0,42}$

Figura 1 Comportamento resiliente do solo estudado



Alguns aspectos construtivos relacionados ao material estudado merecem menção em termos de ressaltar algumas peculiaridades encontradas durante sua aplicação.

A exploração do material na jazida normalmente é feita com trator de lâmina, utilizando-se em algumas situações o escarificador, tratando-se portanto de um material de fácil extração. Outro equipamento que pode ser utilizado para sua extração é a escavadeira hidráulica. O material escavado não deve ser estocado, pois se após escavado estiver sujeito a excesso de umidade (ocorrência de chuvas) torna-se muito difícil a eliminação da água, ficando o mesmo quase que imprestável. Esse mesmo processo ocorre quando o material está na pista e ainda não foi compactado.

O processo de execução na pista é simples, sendo o material espalhado com motoniveladora e compactado com rolo estático ou vibratório. O material praticamente fica impossível de ser compactado se estiver muito seco ou muito úmido, fora dos intervalos do valor de aceitação da umidade que foi de $\pm 2\%$ em torno do teor de umidade ótimo. Conforme verificado por Valle (1994), este tipo de material sofre um processo de afinamento granulométrico com as remoldagens, mas nada que afete seu comportamento mecânico, para as situações normais de trabalho.

Além do controle de densidade do material em campo (quando se empregou o método do frasco de areia), para fins de liberação de camadas foi utilizado também o artifício da prova de

carga, através da passagem de um caminhão carregado sobre a camada recém compactada, com o objetivo de detectar possíveis pontos de instabilidade (“borrachudos”), não tendo sido verificadas dificuldades maiores de compactação, face aos cuidados com relação à umidade do material que foram tomados durante a execução.

3. Estudo Preliminar para Previsão de Desempenho

Na época da conclusão dos trabalhos de execução dos pavimentos da rodovia Brusque-Botuverá, decidiu-se por uma análise estrutural e funcional, buscando uma previsão de desempenho dos pavimentos construídos, com vistas à obtenção de subsídios para futuros programas de manutenção de pavimentos.

Tal tarefa exigiu, a partir dos dados de campo, a elaboração de diversas análises cabíveis: determinação dos módulos resilientes de trabalho das camadas de pavimentos a partir de bacias de deflexão obtidas com a viga de Benkelman; projeção dos níveis de serventia esperados ao longo da vida de serviço dos pavimentos; projeção dos valores de irregularidade ao longo dos anos; projeção da evolução de trincas no revestimento asfáltico. Tais análises, realizadas em dezembro de 1994, são apresentadas na sequência.

3.1 Retro-análise de Bacias de Deflexões Benkelman

As bacias de deflexão medidas sobre as superfícies de revestimentos asfálticos com uso da viga de Benkelman foram tratadas por trecho de rodovia considerado, em função das espessuras de camadas existentes nos pavimentos. O tratamento adotado foi a definição de uma bacia de deflexão média para cada trecho, tendo em vista o fato de que durante os levantamentos executados em campo verificou-se pouca variabilidade entre medidas isoladas, refletindo o fato de um processo executivo sem sobressaltos.

Tais bacias, disponíveis na época para todos os trechos exceto aquele entre as estacas 900 e 938 (em fase de conclusão durante os levantamentos), foram retro-analisadas empregando-se o programa computacional ELSYM5, considerado o eixo-padrão adotado para os levantamentos (dimensões e cargas) e as informações laboratoriais básicas disponíveis para os materiais de pavimentação empregados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.

Para tais análises, com vistas simplesmente à definição de parâmetros para a previsão de desempenho dos pavimentos (serventia, irregularidade e trincamento), base e reforço de pavimento, dadas as similaridades de comportamento resiliente observadas a nível laboratorial, foram tomados como sendo um mesmo material granular, possibilitando simulações interativas de sistemas de três camadas. Os resultados obtidos puderam confirmar certa homogeneidade entre materiais aplicados em trechos diferentes, inclusive para os subleitos de pavimentos. Os números estruturais obtidos para os pavimentos, calculados a partir dos diversos parâmetros definidos em campo e pelas retro-análises, são aqueles indicados na Tabela 7.

Tabela 6 Retro-análise de bacias de deflexão Benkelman

Trecho	Módulos Calculados (kgf/cm ²) Resilientes		
	Revestimento	Base+Reforço	Subleito
2	24.000	1.500	1.200
3	26.000	1.500	1.200
4	24.000	1.250	1.100
5	26.000	1.000	850
6	26.000	1.000	850

Tabela 7 Números estruturais para pavimentos

Trecho	SNC (DNER PRO 159)	SN (AASHTO-86)
1	3,49	2,040
2	3,63	1,916
3	3,92	2,924
4	3,70	2,164
5	3,61	2,100
6	3,64	2,228

3.2 Previsão de Desempenho quanto à Serventia e à Irregularidade

Neste caso, o modelo de previsão adotado foi a equação de serventia-desempenho estabelecida pela AASHTO (1986) para pavimentos flexíveis. Para o emprego de tal equação os números acumulados de repetições de eixos-padrão ao longo dos anos foi recalculado com base nos fatores de equivalência de carga preconizados pelo critério em questão, que indicou um número N de projeto de $1,59 \times 10^6$. Os resultados obtidos para o desempenho quanto à serventia encontram-se sumariados na Tabela 8.

Tabela 8 Evolução da serventia para os pavimentos estudados

PS I	Número de padrão (10 ⁶) por trecho eixos-					
	1	2	3	4	5	6
4,0	0,20	0,15	0,56	0,20	0,10	0,13
3,5	0,28	0,20	1,51	0,31	0,14	0,19
3,0	0,33	0,23	2,34	0,36	0,17	0,24
2,5	0,35	0,25	3,02	0,41	0,19	0,27
2,0	0,37	0,26	3,72	0,45	0,20	0,29
1,5	0,40	0,27	4,37	0,47	0,24	0,31

Infere-se dos resultados acima que apenas o trecho 3, no qual a espessura total de camadas de reforço de subleito e base é bastante espessa (78 cm), apresentaria um pavimento adequado do ponto de vista de serventia, atingindo dez anos de vida de serviço com valores de PSI ainda em patamares regulares, o que não deveria ocorrer para os demais trechos, quando baixos valores de serventia (inferiores a 2,5) seriam presentes no máximo após três anos da abertura do tráfego aos usuários.

Em outubro de 1995 foram realizados levantamentos no trecho para a definição das condições superficial dos pavimentos em termos do Índice Internacional de Irregularidade (IRI), cujos resultados estão sendo apresentados na Figura 2, que por sua vez foram convertidos para valores de PSI, conforme apresentado na Figura 3, através de correlação sugerida pelo Banco Mundial (Watanatada et al., 1987) com o perfilômetro ($IRI = 5,5 \times \ln [5,0 / PSI]$).

Figura 2 Levantamento de IRI nos pavimentos em outubro de 1995

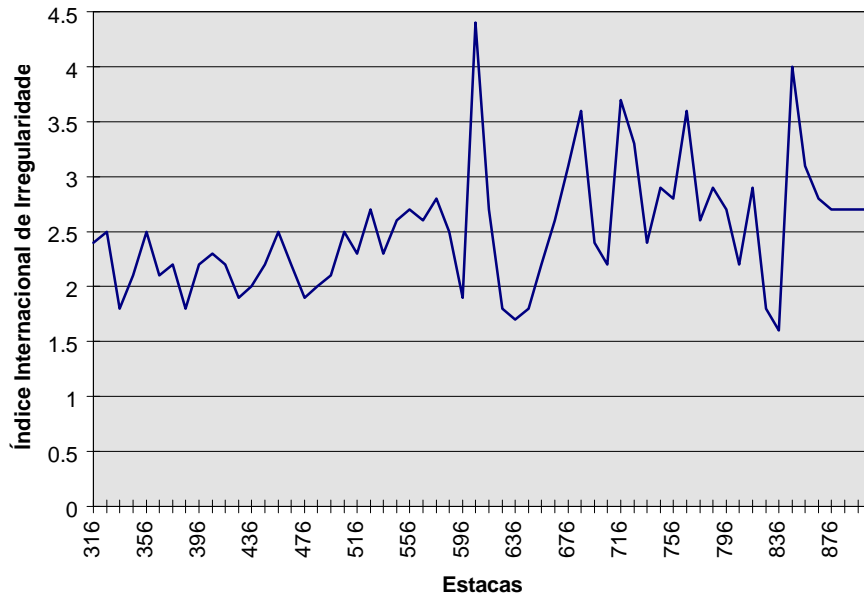
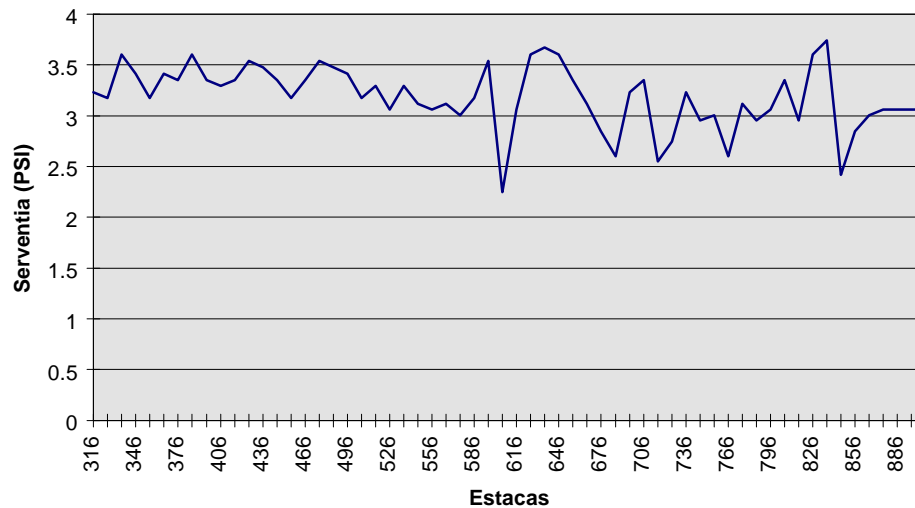


Figura 3 PSI dos pavimentos em outubro de 1995



Considerados os valores de PSI então encontrados, observa-se tendência de maior perda de serventia, um ano após a execução dos pavimentos, apenas para os trechos 4 e 5, quando ocorrem valores inferiores a 2,5 mas sobretudo entre 2,5 e 3,0, denotando nestes casos condição ainda regular. Apenas novos acompanhamentos da progressão da irregularidade permitirão melhor definir o desempenho dos pavimentos quanto ao aspecto funcional.

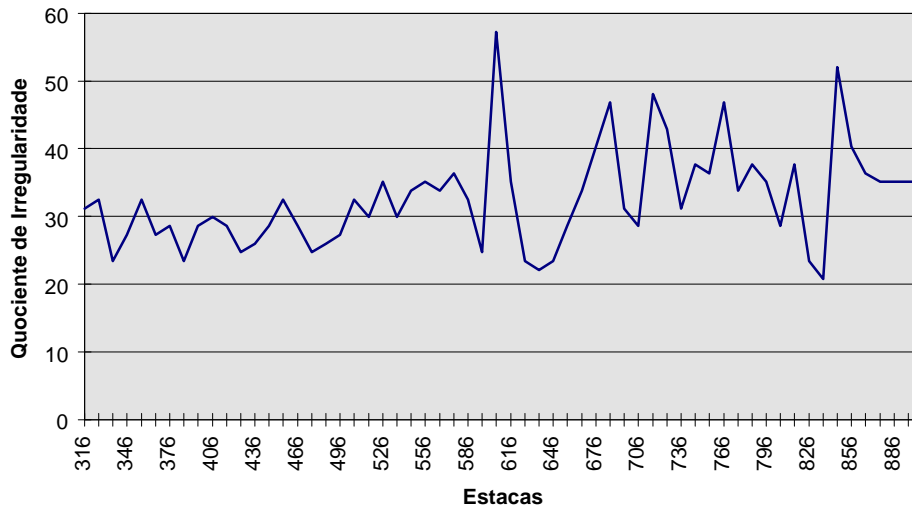
Os estudos realizados em dezembro de 1994 contemplaram também a previsão da evolução do quociente de irregularidade, para o que tomou-se partido das equações estabelecidas pelo

DNER (1985), o que exigiu a conversão do número de repetições de eixos-padrão com base nos fatores de equivalência de carga preconizados por tal norma, que basicamente seguem a lei de quarta potência. Os modelos empregados revelaram um crescimento praticamente linear do QI, sendo obtidos, para o final do horizonte de projeto, os valores de QI indicados na Tabela 9.

Tabela 9 Valores de QI previstos para 10 anos de operação

Trecho	QI (cont./km)
1	35
2	36
3	33
4	32
5	34
6	32

Figura 4 Valores de QI em outubro de 1995



Tomando-se os dados apresentados na Figura 2 e convertendo-se os valores de IRI para valores de QI, através da relação $IRI = QI / 13$, resultam nos valores de QI apresentados graficamente na Figura 4, para todos os trechos da rodovia em questão. Confrontando-se tais resultados com aqueles resultantes do modelo de previsão de irregularidade, conclui-se que mais de 50% do trecho, após um ano de operação, apresentavam valores de irregularidade iguais ou superiores aos previstos inicialmente para um horizonte de dez anos.

Diga-se de passagem que no relatório do estudo de desempenho já se fazia menção às dúvidas quanto aos resultados do modelo de previsão de irregularidade do DNER obtidos. De fato, se ao fim do horizonte de projeto ocorressem valores de irregularidade semelhantes àqueles indicados na Tabela 9, não seria necessária a restauração ou simples reabilitação dos pavimentos por razões de natureza funcional, o que não seria razoável.

3.3 Previsão de Trincas

Para a previsão do trincamento dos pavimentos flexíveis foi tomada a equação preconizada pelo DNER (1985). O valor do trincamento inicial, por tratar-se de análise de pavimento novo,

foi tomado como igual a zero para todos os casos analisados. Complementando ao modelo empírico adotado, a previsão de surgimento de trincas ao longo do tempo foi realizada com base em um modelo de fadiga para mistura asfáltica usinada a quente extraída da literatura internacional.

No caso de estudo teórico de previsão de fadiga, foram simulados todos os trechos de pavimentos, em termos de um eixo-padrão, através do programa ELSYM5, de onde foram obtidas as respostas estruturais em termos de deformações específicas de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico. Tais deformações foram introduzidas na equação proposta por Epps & Monismith (apud Pell, 1973) para se obter o número de ciclos de carregamento à fadiga (surgimento de trincas) do revestimento asfáltico dos pavimentos.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados em termos de tempo para ocorrência de níveis de trincamento significativos (tomados como 20% em área) e de consumo à fadiga dos revestimentos asfálticos, em meses e anos, a partir da data de início de operação do tráfego. Tais resultados se referem ao tráfego considerado durante a fase de projeto e não ao tráfego aferido durante os três anos iniciais de operação.

Tabela 10 Previsão de evolução de trincas (20% em área) e de fadiga

Trecho	Evolução de Trincas N	de Trincas Ano	Mês	Ocorrência N	de Fadiga Ano
1	520000	3	36	17.306	1
2	340000	2	24	17.306	1
3	906700	5	61	15.198	1
4	1273500	6	81	10.937	1
5	795000	3	42	6.832	1
6	1140000	6	75	6.832	1

Os resultados obtidos em campo até a presente data, ao contrário dos modelos de previsão empregados, apontam para um desempenho mais satisfatório dos pavimentos estudados. Para se ter uma idéia real sobre a presença de trincas nos pavimentos, em levantamento realizado em julho de 1997, apenas os seguintes casos foram observados: no trecho 6, ocorrem fissuras e/ou trincas isoladas entre as estacas 343 e 349 e de maneira isolada e não significativa, em algumas poucas estacas há trincas de classe 2; no trecho 5, há trincas isoladas e algum registro de trincas de classe 2 e 3 entre as estacas 524 e 545, além de trincas isoladas entre as estacas 595 e 598. Nos demais trechos, a presença de algumas trincas se dá de maneira esparsa e isolada.

3.4 Retro-análise de Bacias de Deflexões FWD

Em outubro de 1995 foram também realizados levantamentos deflectométricos com emprego de defletômetro de impacto Kuab-FWD. Com base nos resultados aferidos em campo foi possível posteriormente a elaboração de retro-análises, com o programa computacional ELSYM5, de modo a se definir os módulos resilientes dinâmicos das camadas dos pavimentos. Desta feita, empregou-se para as análises sistemas de quatro camadas, sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 Retro-análise de bacias de deflexão Kuab-FWD

Trecho	Módulos Calculados (kgf/cm ²)			
	Revestimento	Base	Reforço	Subleito
1	>42.000	2.500	1.000	1.200
	>45.000	1.150	850	1.150
2	>42.000	4.250	2.100	1.900
	>42.000	2.100	1.800	1.200
3	>42.000	4.250	2.100	1.900
	>42.000	1.800	1.800	1.800
4	>37.000	2.900	2.000	1.900
5	>37.500	3.600	3.400	1.500
6	>36.000	4.150	3.750	1.500

Da mesma forma que os resultados de ensaios triaxiais dinâmicos para os materiais granulares apresentados anteriormente, verifica-se dos resultados de tal retro-análise que o reforço com solo saprolítico de granito trabalha com módulos dinâmicos elevados e similares à brita graduada simples, uma vez que tratando-se de camada subjacente à base, o material está sujeito a menores tensões de confinamento. Foram encontradas relações entre as deflexões Benkelman e as deflexões FWD variando entre 1,2 e 1,8 em média de todas as medidas.

4. Comentários sobre os Resultados de Monitoração

Os pavimentos executados no trecho estudado com reforço do subleito com solo saprolítico de granito têm apresentado um resultado satisfatório do ponto de vista estrutural e funcional, na grande maioria do trecho, com indicativos altamente positivos sobre a viabilidade do emprego de tais materiais como soluções alternativas para as rodovias vicinais do Estado. Tal afirmativa é possível com base nos seguintes aspectos:

- ausência de defeitos significativos, em especial de trincas de classe 3, especialmente diante do fato que o tráfego solicitante, após cerca de três anos de operação da rodovia, já se aproxima do tráfego estimado para o projeto em termos de repetições de eixo-padrão. Inclusive, de maneira geral, após praticamente se atingir a vida de serviço de projeto, não ocorrem afundamentos em trilhas de roda, sejam de consolidação ou plásticos.
- O solo granular adotado para o reforço apresenta valores de módulo resiliente em campo bastante satisfatórios de maneira que, do ponto de vista estrutural, não tem causado prejuízos ao desempenho dos pavimentos estudados. Tais módulos resilientes são de fato, como se inferia dos ensaios laboratoriais, semelhantes àqueles típicos de britas graduadas simples.

Deflexões Benkelman verificadas em campo novamente em julho de 1997 (dados não trabalhados presentemente) apontam para uma queda do valor deste indicador estrutural *grosso modo* de 30% em relação aos valores medidos quando da conclusão dos serviços em 1994. Tal fato é plenamente justificável posto que as tensões impostas pelo tráfego tendem a apresentar um efeito positivo no sentido de ganho de módulo resiliente de britas graduadas e congêneres, desde que não ocorram problemas de saturação de camadas ou mesmo contaminação por finos, o que de fato não tem ocorrido na rodovia.

Quanto aos modelos de desempenho empregados para os estudos, mostraram-se de fato bastante pessimistas com relação à evolução de patologias tanto estruturais quanto funcionais,

não refletindo a realidade observada em campo. Este aspecto é, antes de um desalento, um desafio. A continuidade da monitoração desse trecho, possível devido à existência de um sistema de gerência de pavimentos implantado no cerne do órgão rodoviário estadual, permitirá, nos próximos anos, a definição critérios sólidos para o emprego do material alternativo estudado. A monitoração poderá inclusive resultar em modelos adequados de previsão de desempenho, que muito auxiliarão no planejamento de atividades de manutenção de uma grande quantidade de rodovias vicinais que empregam soluções de pavimentação similares à presente.

Referências Bibliográficas

- American Association of Highways and Transportation Officials (1986). *AASHTO guide for the design of pavement structures*. AASHTO, Washington, D.C.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1985). *Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos*. DNER-PRO 159/85, Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro.
- Pell, P.F. (1973) *Characterization of fatigue behaviour*. HRB Special Report 140, Structural Design of Asphalt Concrete Pavements to Prevent Fatigue Crackings, pp. 49-64, Washington, D.C.
- Valle, N. (1994) *Utilização de solos saprolíticos na pavimentação rodoviária em Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis.
- Watanatada, T.; et al.(1987). *The highway design and maintenance standarts model*. The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, vol.1, Washington, D.C.