

2. ANÁLISE DOS REVESTIMENTOS DA MALHA RODOVIÁRIA ESTADUAL CEARENSE

Com intuito de balizar a afirmação de que os revestimentos de areia-asfalto a frio são menos resistentes que os outros utilizados no Ceará e caracterizar a importância da pesquisa, é feita uma análise do estado dos revestimentos de praticamente toda a malha rodoviária estadual cearense construídos pelo Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do Ceará – DERT. Também são descritas as condições ambientais do local onde a malha rodoviária está inserida. As informações para a descrição ambiental em sua grande maioria são retiradas do Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1973). Outras fontes consultadas estão citadas no texto.

2.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

a) Localização

O estado do Ceará situa-se na região Nordeste, entre as latitudes 2°46' e 7°52' sul e as longitudes 37°14' e 41°24' oeste. A área do estado é de 148.016 km² e seus limites são, Oceano Atlântico ao norte, Estado de Pernambuco ao sul, Piauí ao Oeste, e estados do Rio Grande do Norte e Paraíba ao leste.

b) Relevo

As seis unidades geomorfológicas principais do estado do Ceará são descritas a seguir.

- Planícies litorâneas e dunas - Faixa contínua na orla marítima apresentando relevo plano e suave ondulado.
- Terraços Aluviais - Várzeas resultantes das deposições fluviais ao longo dos cursos d'água. Formados por sedimentos de granulometria variável, predominando solos argilosos e siltosos sobre os arenosos e apresentando relevo plano.
- Tabuleiros e superfícies similares - Áreas próximas do litoral constituídas por sedimentos argilo-arenosos asentados diretamente sobre o embasamento cristalino. Relevo predominantemente plano com trechos suave ondulado.
- Cuestas e Chapadas - Plataformas sedimentares de relevo plano com partes suave onduladas.
- Superfícies de Pediplanação - Áreas de relevo dominantemente plano e suave ondulado, com presença de maciços residuais. São resultado de grande processo erosivo, que modelou grandes extensões sob condições de clima semi-árido.
- Maciços residuais e outros níveis elevados - Elevações constituídas de rochas gnáissicas que atingem altitudes superiores a 700 metros e determinam alterações nas condições climáticas.

c) Pluviometria

O Estado apresenta em geral uma baixa precipitação, com chuvas mais freqüentes próximo ao litoral. Dados da Fundação Cearense de Meteorologia -FUNCEME (1999) apresentados na figura 2.1 mostram as isolinhas de precipitação.

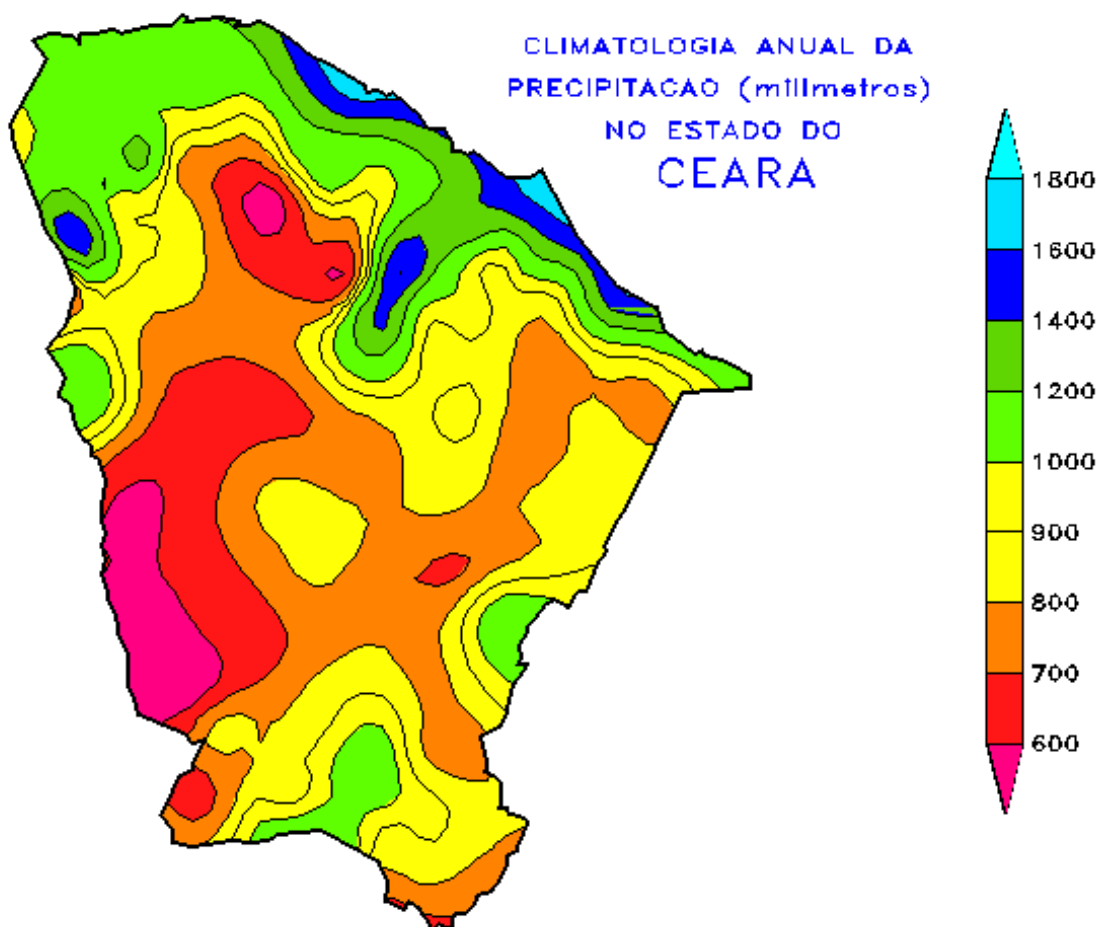


Figura.2.1: Pluviometria do estado em milímetros por ano
(<http://www.funceme.br/pes/climatologia/>, 1999)

d) Clima

A classificação Köppen, ilustrada na figura 2.2, indica que no Ceará os tipos climáticos são as áreas ou zonas de influência A e B, com as seguintes variedades:

- Amw': Trata-se de clima de seca atenuada. Clima tropical chuvoso de pequena estação chuvosa, com chuvas de verão e outono.
- Aw': Clima tropical chuvoso, com chuvas de verão e outono.
- Bsw'h: Clima quente árido e semi-árido, com chuvas de inverno, verão e outono quente.

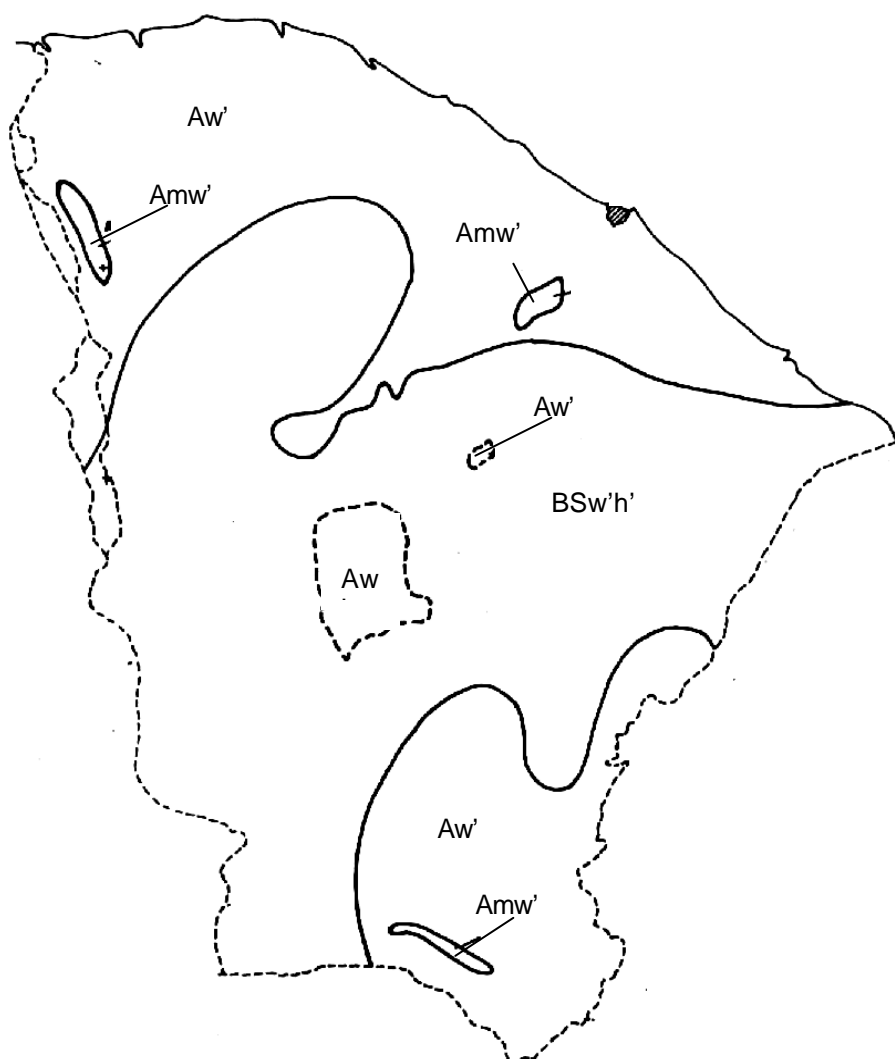


Figura 2.2: Clima do estado pela classificação Köppen (Ministério da Agricultura, 1973)

e) Pedologia

De acordo com NOBRE JR. & ALDIGUERI (1998), cerca de 50% dos solos do Ceará são potencialmente lateríticos.

f) Temperatura

As isotermas das médias anuais estão entre 22°C e 28°C. Dezembro é o mês mais quente, com isotermas entre 22°C e 29°C, enquanto junho é o mais frio, com isotermas entre 20°C e 26°C. A figura 2.3 mostra a distribuição de temperatura para o mês mais quente.

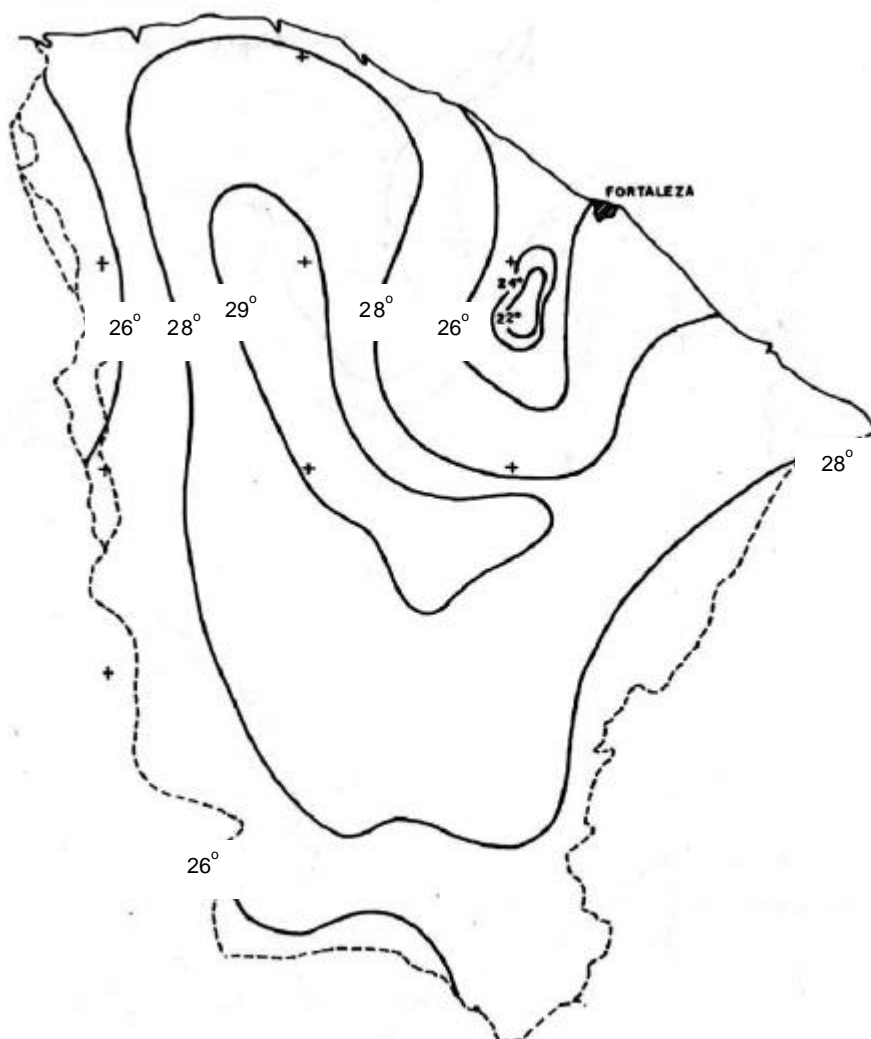


Figura 2.3: Distribuição de temperatura para o mês mais quente (Ministério da Agricultura, 1973)

2.2 DADOS DE DESEMPENHO ANALISADOS

A malha rodoviária estadual do Ceará sob responsabilidade do Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes - DERT tem a extensão atual de 4.666 km, distribuídos da forma apresentada na tabela 2.1. Visando implementar um sistema de gerência de pavimentos da malha rodoviária do estado do Ceará, o DERT realizou levantamentos de praticamente todos os trechos das rodovias sob sua jurisdição. Estes trechos estão pavimentados com revestimentos betuminosos do tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ, Areia-Asfalto Usinada a Quente - AAUQ, Tratamento Superficial Duplo - TSD e Areia-Asfalto Usinada a Frio - AAUF.

REVESTIMENTO	CBUQ	TSD	AAUQ	AAUF
EXTENSÃO	235 Km	2361 Km	1965 Km	105 Km
PERCENTUAL	5%	51%	42%	2%

Tabela 2.1: Distribuição percentual por tipo de revestimento no estado do Ceará

Nestes levantamentos foram obtidos índices que retratam o estado do pavimento como, deflexão com viga Benkelman, profundidade de trilha de roda, Índice de Gravidade Global (IGG), Quociente de Irregularidade (QI), além de outros dados característicos dos trechos analisados, como extensão, revestimento utilizado, volume médio diário por tipo de veículo, altitude média da região, espessura do revestimento, CBR do subleito, entre outros. O DERT cedeu estes dados em planilha Microsoft Excel[®] que são utilizados na análise apresentada a seguir. O levantamento, realizado em 1995, cobre aproximadamente 88% da malha e portanto pode fornecer uma imagem bem acurada do estado geral dos revestimentos no Ceará. A análise dos índices do levantamento permite que se faça uma avaliação e comparação entre o desempenho dos revestimentos de areia-asfalto a frio e de todos os outros tipos de revestimento que são utilizados pelo DERT. Esta

análise pretende apenas procurar uma indicação de que os revestimentos de areia-asfalto a frio são usados em rodovias de tráfego menos intenso e que seu desempenho é inferior aos de outros revestimentos utilizados pelo DERT.

2.2.1 DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES ANALISADOS

Os índices utilizados nesta análise são o Índice de Gravidade Global (IGG), Quociente de Irregularidade (QI), e Flecha em trilha de roda (TR). A análise foi feita classificando a condição do revestimento em relação a estes índices de desempenho.

A análise dos índices IGG e QI deve-se a estes serem indicadores da condição do pavimento que podem exprimir como o revestimento está atendendo sua função. A análise da flecha de trilha de roda foi feita por ser este um indicador da resistência do revestimento à deformação permanente.

A irregularidade longitudinal é o conjunto de desvios da superfície em relação a um plano de referência, e o QI é um índice que representa esta irregularidade na superfície do pavimento. A irregularidade ocorre por um somatório de causas. Além de imperfeições no processo construtivo, o QI aumenta com o aparecimento de deformações permanentes, afundamentos e buracos que se desenvolvem com o passar do tempo, e por efeito do tráfego e do clima. O GEIPOT (1981) após extensa pesquisa concluiu que a irregularidade de uma rodovia exerce a maior influência nos custos operacionais dos veículos. Portanto quanto mais irregular for a superfície, mais desconfortável, inseguro e antieconômico será o pavimento, e o QI pode ser utilizado como um indicador desta condição. Na tabela 2.2 apresenta-se uma relação entre o valor do QI e a condição do pavimento:

Estado	Faixa de QI
Excelente	15 - 30
Bom	30 - 45
Regular	45 - 60
Mau	60 - 75
Péssimo	> 75

Tabela 2.2: Faixa de variação do QI (Fonte: FERNANDES JR., 1996)

O IGG (Índice de Gravidade Global) exprime uma qualificação geral do estado do pavimento feita através da análise da frequência de defeitos e afundamentos em trilhas de rodas encontrados na superfície analisada. O espectro de variação do IGG, apresentado na tabela 2.3, vai de 0 a 500, onde 500 é o limite máximo, só alcançado na condição de que coexistam todos os defeitos possíveis em todas as estações analisadas (PINTO, 1996).

Faixa de IGG	Conceito
0 - 20	Bom
20 - 80	Regular
80 - 150	Mau
150 - 500	Péssimo

Tabela 2.3: Faixa de variação do IGG (Fonte: DNER, 1987)

A trilha de roda por deformação permanente ocorre por uma conjunção de várias causas que estão analisadas em outro capítulo. Quanto maior for a flecha na trilha de roda, mais prejudicial será ao pavimento, que torna-se menos seguro e confortável ao usuário.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os trechos em análise estão submetidos a diferentes composições de tráfego e volumes médios diários. É preciso então reduzir esta solicitação a um número de operações equivalentes do eixo padrão, calculados pelo método do DNER. Como não haviam disponíveis dados sobre pesos de eixos na região dos trechos analisados, utilizou-se os dados sobre pesos por eixo obtidos na avaliação de um trecho rodoviário experimental no Paraná (PONTES FILHO, 1994).

A tabela a seguir apresenta a idade média dos trechos e o número médio de operações do eixo padrão no ano de 1995. Estas médias são ponderadas pela extensão do trecho de forma a expressar a condição relativa a toda malha. Por exemplo, se tivessem sido analisados apenas dois trechos em estados de conservação diferentes, um com 1 km e outro com 9 km de extensão, a condição média ponderada estaria mais próxima do estado do trecho de 9 km.

Revestimento	AAUF	AAUQ	TSD	CBUQ
Idade média	2,9	7,3	5,7	5,5
Número de operações (1995)	6,9E+04	2,6E+05	1,4E+05	6,2E+05

Tabela 2.4: Idade e N médio dos trechos da malha rodoviária cearense

Verificando a idade média e número estimado de operações anuais no ano de 1995, apresentados na tabela 2.4, é visível que os revestimentos de areia-asfalto a frio são em média bem mais novos e recebem tráfego bem mais leve que os outros revestimentos. Isto é reflexo do fato de que o DERT só passou a utilizar revestimentos pré-misturados a frio há relativamente pouco tempo, e que por falta de uma experiência mais extensa com este tipo de revestimento só o tem utilizado em pequenos trechos de menor importância ou para restaurações. Já os revestimentos de AAUQ são

utilizados há bem mais tempo e em trechos com volumes médios diários próximos dos volumes de rodovias pavimentadas com CBUQ.

Como os trechos levantados possuem idades diferentes e estão submetidos a condições diferentes de tráfego, um pavimento com bom desempenho mas que estivesse submetido a um tráfego mais intenso por mais tempo pode apresentar um estado pior do que outro pavimento de mau desempenho mas que estivesse submetido a tráfego leve ou tivesse sido construído há pouco tempo. Por isso estão analisados apenas os trechos com número equivalente de operações acumuladas entre 10^3 a 10^6 solicitações do eixo padrão. Esta medida pretende, pelo menos de forma grosseira, deixar todos os revestimentos em condições não tão distantes de solicitação, e portanto refletir melhor a comparação entre o desempenho deles. O número de operações equivalentes acumuladas foi estimado utilizando uma taxa de 5% de crescimento anual de tráfego.

Na tabela 2.5 estão as características apenas dos revestimentos que receberam entre 10^3 e 10^6 solicitações acumuladas em sua vida útil. São apresentados o número médio de solicitações no ano de 1995, a idade média dos revestimentos, a média das flechas em trilhas de roda e o quanto a extensão que tem entre 10^3 e 10^6 solicitações acumuladas corresponde da extensão total levantada pelo DERT.

Revestimento	AAUF	AAUQ	TSD	CBUQ
Solicitações	6,9E+04	1,1E+05	9,2E+04	1,0E+05
Idade	2,9	6,2	5,2	5,2
Flecha em Trilha de roda(cm)	1,0	1,6	1,5	0,9
% da extensão total	100	41	76	29

Tabela 2.5: Características médias dos trechos com entre 10^3 e 10^6 solicitações

Todos os trechos revestidos com AAUF encontram-se dentro dos limites de 10^3 e 10^6 solicitações do eixo padrão enquanto menos de um terço dos revestimentos de CBUQ encontram-se nesta faixa. Isto é reflexo de que os revestimentos de AAUF são utilizados em rodovias com menor tráfego e os de CBUQ são utilizados na maioria das vezes em rodovias de maior importância, que possuem maior tráfego.

A média da flecha em trilha de roda dos revestimentos de AAUQ e TSD estão próximos e são superiores as dos revestimentos de AAUF e CBUQ, que também estão próximos. No entanto verificando-se o nível de solicitação dos revestimentos é visível que proporcionalmente ao número de solicitações o revestimento de CBUQ está em bem melhor condição, seguido dos revestimentos de AAUQ e AAUF, e com desempenho um pouco inferior a estes dois, do revestimento de TSD.

Analisando a distribuição percentual da extensão dos trechos nas faixas de IGG e QI, apresentados nas tabelas 2.6 e 2.7 e nas figuras 2.5 e 2.6 vemos melhor o comportamento dos revestimentos. Com relação ao QI os revestimentos de AAUF estão em 70% entre os conceitos regular e péssimo, estado bem pior dos outros revestimentos, principalmente se levarmos em conta que o tráfego em AAUF é menos intenso.

QI	AAUF	AAUQ	TSD	CBUQ
Excelente	0	25	19	14
Bom	29	16	20	77
Regular	49	18	27	0
Mau	0	21	26	3
Péssimo	22	20	8	6

Tabela 2.6 : Distribuição percentual por conceito de QI

AAUQ e TSD estão com uma distribuição de conceitos de QI relativamente próxima, com aproximadamente 20% de extensão em cada conceito. Os revestimentos de CBUQ apresentam o melhor desempenho entre todos, com 91% de sua extensão entre os conceitos excelente e bom.

IGG	Bom	Regular	Mau	Péssimo
AAUF	0	55	36	9
AAUQ	13	34	25	27
TSD	1	57	22	21
CBUQ	36	58	0	7

Tabela 2.7 : Distribuição percentual por conceito de IGG

Com relação ao IGG, os revestimentos de AAUF possuem pouco mais da metade da malha classificada no conceito regular e o resto está nos conceitos mau e péssimo, um comportamento semelhante aos revestimentos de TSD. Já os revestimentos de AAUQ encontram-se em estado um pouco melhor, com quase metade de sua extensão nos conceitos bom e regular. Os revestimentos de CBUQ se encontram em melhor estado e tem 93% da malha em condições boas ou regulares.

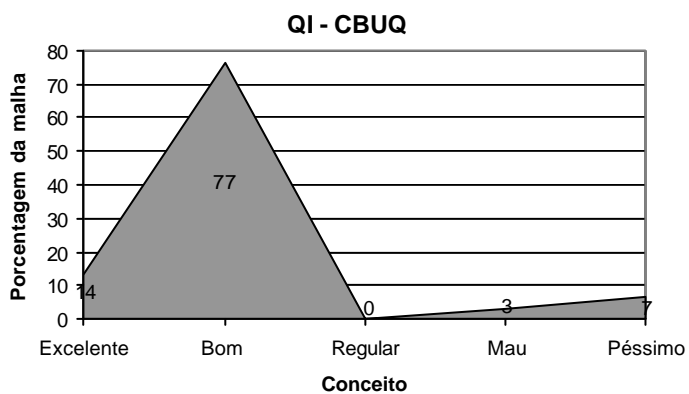
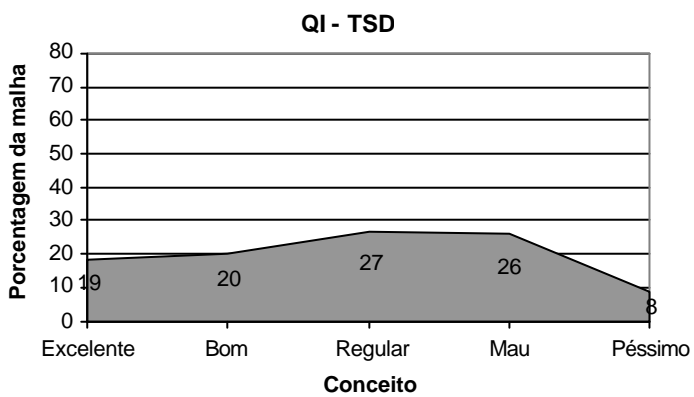
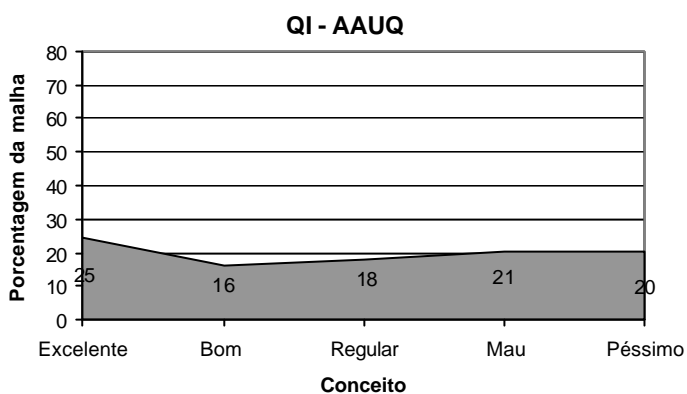
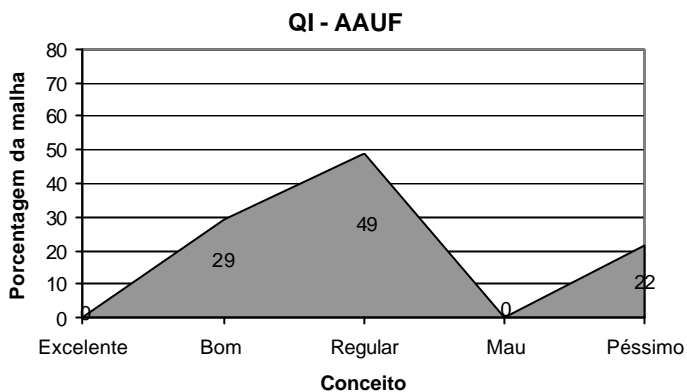


Figura 2.4: Distribuição percentual de QI dos revestimentos

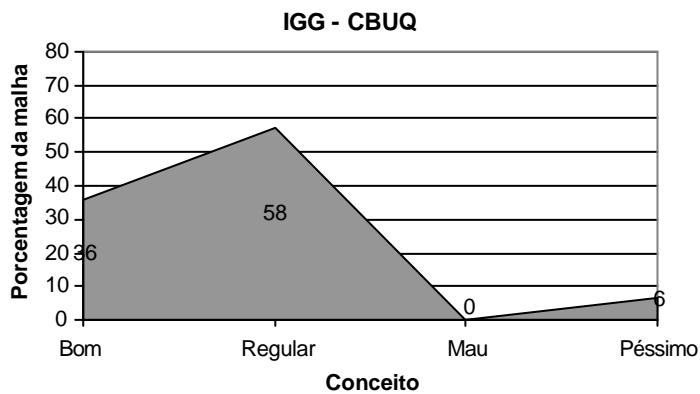
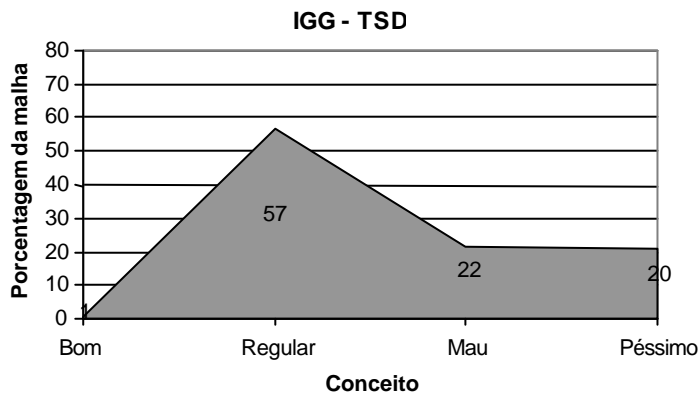
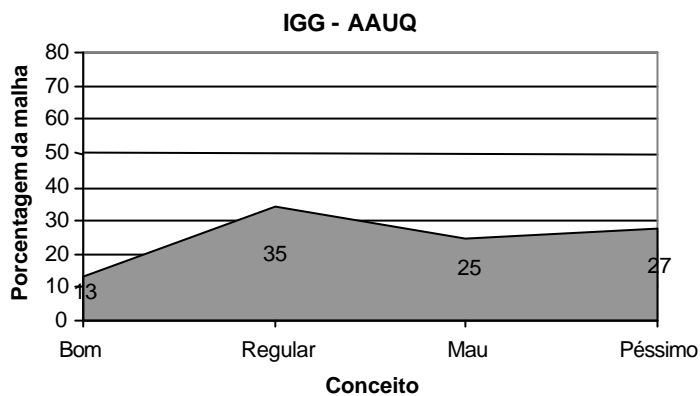
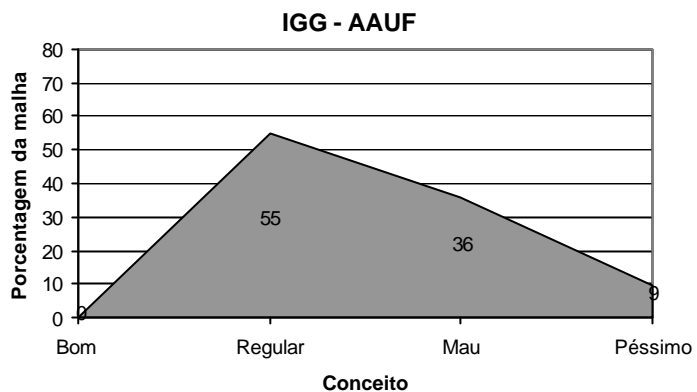


Figura 2.5: Distribuição percentual de IGG dos revestimentos

2.4 CONCLUSÃO

Como já foi comentado anteriormente, esta análise é apenas uma forma grosseira de comparação entre o desempenho dos revestimentos utilizados nas rodovias estaduais do Ceará. Cada trecho encontra-se em condições diferentes, não só relativamente ao nível de solicitação, como também com relação as características das camadas de base, sub-base e subleito, e uma comparação mais acurada só poderia ser feita no caso onde se fixassem as condições de tráfego e de suporte entre os revestimentos analisados. Mesmo assim, com o resultado desta análise é possível verificar uma certa tendência no comportamento destes revestimentos. Os dados demonstram que os revestimentos de CBUQ são os de melhor desempenho dentre os analisados. Os revestimentos de TSD e AAUQ estão em estados bem próximos, mas inferiores aos revestimentos de CBUQ. O revestimento de AAUF apresenta Quocientes de Irregularidade muito altos e IGG médio equivalente aos de AAUQ e TSD, mas também é em média usado em estradas de pequena importância e portanto submetido a condições menos danosas, de forma que é visível que em condições semelhantes este revestimento apresenta comportamento inferior aos outros utilizados na malha viária estadual do Ceará.