



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**JOSEPHAN RODRIGUES ALBUQUERQUE**

**USO DE GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO DE SOLOS EM  
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. Estudo de caso: Rodovia da TO 444/447  
(Trecho Paraíso a Chapada de Areia – TO).**

**Palmas-TO  
2017**



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**JOSEPHAN RODRIGUES ALBUQUERQUE**

**USO DE GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO DE SOLOS EM  
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. Estudo de caso: Rodovia da TO 444/447  
(Trecho Paraíso a Chapada de Areia – TO).**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pela Professora Especialista Kenia Parente Lopes Mendonça.

**Palmas - TO  
2017**

**JOSEPHAN RODRIGUES ALBUQUERQUE**

**USO DE GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO DE SOLOS EM  
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. Estudo de caso: Rodovia da TO 444/447  
(Trecho Paraíso a Chapada de Areia – TO).**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pela Professora Especialista Kenia Parente Lopes Mendonça.

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professora Especialista Kenia Parente Lopes Mendonça.  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Professor Mestre Edivaldo Alves dos Santos  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Professor Especialista Euzir Pinto Chagas  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas -TO  
2017

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

A minha orientadora Kênia P. Lopes Mendonça, pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

ALBUQUERQUE, JOSEPHAN RODRIGUES. **USO DE GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO DE SOLOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**. Estudo de caso: Rodovia da TO 444/447 (Trecho Paraíso à Chapada de Areia – TO). 2017. Monografia de Conclusão do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA. Palmas – TO.

A estrutura de um pavimento flexível deve garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e sob qualquer condição climática, proporcionando aos usuários conforto e segurança. Boa parte das rodovias brasileiras, necessitam de intervenções para recuperação das condições iniciais das vias de tráfego e desempenhar funções para as quais foram projetadas. No presente trabalho realiza-se uma abordagem no sentido de caracterização do pavimento flexível, tipos de esforços pelos quais são submetidos, patologias mais frequentes, bem como o uso de uma solução geossintética para fins de reforço das camadas estruturais do pavimento. Foi realizado o redimensionamento das camadas de solo de um trecho da rodovia da TO 444/447 considerando o uso da geogrelha, sendo possível comparar as mudanças de volume e obtenção de benefícios para aumento da vida útil do pavimento.

**Palavras-chave:** Pavimento flexível, patologias, reforço estrutural, geogrelha.

## **ABSTRACT**

ALBUQUERQUE, JOSEPHAN RODRIGUES. **USE OF GEOSYNTHETICS AS SOIL REINFORCEMENT IN FLEXIBLE PAVEMENTS.** Case study: TO 444/447 Highway (Paradise Extent to Chapada de Areia - TO). 2017. Concluding monograph of the Civil Engineering Course of the Lutheran University Center of Palmas - CEULP / ULBRA. Palmas - TO.

The structure of a flexible floor must guarantee trafficability at any time of the year and under any climatic conditions, providing users with comfort and safety. Most of the Brazilian highways require interventions to recover the initial conditions of the traffic routes and to perform functions for which they were designed. In the present work an approach is made in the sense of characterization of the flexible pavement, types of efforts for which they are submitted, more frequent pathologies, as well as the use of a geosynthetic solution for reinforcement of the structural layers of the pavement. It was carried out the resizing of the soil layers of a section of the highway of TO 444/447 considering the use of the geogrid, being possible to compare the changes of volume and obtain benefits to increase the useful life of the pavement.

**Keywords:** Flexible pavement, pathologies, structural reinforcement, geogrid.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de geossintéticos e suas aplicações .....	27
Tabela 2 - Resumo das principais aplicações .....	27
Tabela 3 - Modos de utilização dos geossintéticos em pavimentos .....	29
Tabela 4 - Classificação dos solos (TRB) .....	37
Tabela 5 – Espessura mínima do revestimento betuminoso .....	41
Tabela 6 – Dados utilizados no projeto para dimensionamento das camadas.....	43
Tabela 7 – Alturas das camadas do pavimento.....	44
Tabela 8 – Confiabilidade (%) recomendada pela AASHTO .....	46
Tabela 9 – Coeficiente das camadas do pavimento .....	47
Tabela 10 – Valores dos coeficientes de drenagem.....	48
Tabela 11 – Dados de projeto para estrutura a ser dimensionada.....	49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do pavimento asfáltico .....	21
Figura 2 - Classificação dos revestimentos .....	23
Figura 3 - Esquema das deflexões num pavimento flexível .....	24
Figura 4 - Distribuição dos esforços .....	24
Figura 5 – Aumento da área de distribuição de tensões no subleito .....	30
Figura 6 – Mecanismos e potenciais de reforço .....	32
Figura 7 – Geotêxteis tecido e não tecido .....	33
Figura 8 – Seção transversal do pavimento com e sem geotêxtil .....	34
Figura 9 - Geogrelhas .....	34
Figura 10 – Interface entre a geogrelha e o agregado .....	35
Figura 11 – Mapa de localização das jazidas .....	39
Figura 12 – Determinação da espessura do pavimento .....	42
Figura 13 – Princípio de solução das espessuras das camadas estruturais .....	43
Figura 14 – Coeficientes de equivalência estrutural dos materiais .....	43
Figura 15 – Mapa de situação do trecho estudado .....	45
Figura 16 – Estrutura de pavimentos flexíveis .....	48
Figura 17- Catálogo para escolha da geogrelha .....	49
Figura 18–Resultados de cálculo através do Excel .....	50
Figura 19 - Perfil do pavimento utilizando geogrelha na TO .....	51



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação I – Taxa de benefício de tráfego.....	31
Equação II - Número N .....	40
Equação III – Volume total de veículos .....	40
Equação IV – Fator de veículos .....	40
Equação V – Altura total do pavimento .....	42
Equação VI - Equação geral - AASHTO.....	45
Equação VII – Módulo de resiliência .....	46
Equação VIII – Número estrutural das camadas do pavimento.....	47
Equação IX - Espessura do revestimento.....	48
Equação X - Espessura da base .....	48
Equação XI – Espessura da sub-base .....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINT - Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

CBR – *California Bearing Ratio*

CNT - Confederação Nacional de Transportes

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IGS – *International Geosynthetics Society*

ISC – Índice de Suporte Califórnia

TB - Trincas de bloco

TBE - Trincas de bloco com erosão

TBR – *Traffic Benefit Ratio*

## LISTA DE SÍMBOLOS

$D_{50}$  - Diâmetro da partícula média da brita

$E$  - Fator de Eficiência

$E_b$  - Módulo de elasticidade médio da camada de base

$E_{sb}$  - Módulo de elasticidade médio da camada de sub-base

$F_p$  - Resistência do geotêxtil

$F_T$  - Resistência do geotêxtil à propagação do rasgo

$h$  - Altura necessária de brita para a estrada

$m_i$  - Coeficiente de drenagem do material da camada  $i$

$M_R$  - Módulo de resiliência do subleito'

$N$  - Número de passagens de eixo padrão

$a$  - Comprimento de contato do pneu

$a_i$  - Coeficiente estrutural da camada  $i$

$\alpha$  - Ângulo alfa da distribuição dos esforços

$b$  - Largura de contato do pneu

$D_i$  - Espessura da camada  $i$

$N_r$  - Número de repetições de cargas atuantes até a ruptura do pavimento

$N_u$  - Número de repetições de cargas atuantes até a ruptura do pavimento não reforçado

$P$  - Carga do rodado

$P$  - Carga por eixo de rodas duplas

$P_B$  - Resistência do geotêxtil

$P_c$  - Pressão de inflação dos pneus

PSI - Índice de Serventia Presente

$q$  - Pressão no pavimento

$S_0$  - Desvio padrão que leva em conta as incertezas das variáveis medidas e do processo construtivo

$t$  - Força tangencial na superfície do pavimento

$T$  - Temperatura dos materiais

$T_u$  - Temperatura do ar

$W$  - Água nas camadas granulares

$W_{18}$  - Número de solicitações equivalentes ao eixo de padrão

$\gamma_B$  - Densidade da brita

$z$  - Altura entre o pavimento e o subleito

$Z_R$  - Padrão para a probabilidade de êxito que se quer para a estrutura dimensionada

$\Delta PSI$  - Perda de serventia esperada durante o período de projeto

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 OBJETIVOS .....	17
1.1.1 Objetivo Geral .....	17
1.1.2 Objetivos Específicos .....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
2.1 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA .....	20
2.1.1 Classificação dos Pavimentos .....	20
2.2 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	21
2.2.1 Estrutura do pavimento flexível .....	21
2.2.1.1 Subleito.....	22
2.2.1.2 Reforço do subleito.....	22
2.2.1.3 Sub-base .....	22
2.2.1.4 Base .....	23
2.2.1.5 Revestimento.....	23
2.3 CARREGAMENTOS APLICADOS NO PAVIMENTO.....	23
2.4 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	25
2.5 GEOSSINTÉTICOS.....	26
2.5.1 Geossintéticos em obras de pavimentação.....	28
2.5.2 Geotêxteis .....	32
2.5.3 Geogrelhas.....	34
3 TO-444/447 (TRECHO BR 153 – CHAPADA DE AREIA).....	36
3.1 Descrição da diretriz do traçado.....	36
3.2 Estudos geotécnicos .....	36

3.3	Prospecção dos Materiais do Subleito .....	37
3.4	Estudos dos Materiais Granulares .....	38
3.5	Projeto de pavimentação – Dimensionamento .....	40
3.6	Valor do número N .....	40
3.7	Determinação do ISC de Projeto .....	41
3.8	Determinação das espessuras das camadas .....	42
4	METODOLOGIA .....	42
4.1	DIMENSIONAMENTO .....	45
4.2	ESCOLHA DO GEOSSINTÉTICO .....	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49
6	CONCLUSÃO .....	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
	ANEXOS .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

O modal rodoviário, é de todos, o mais usual no Brasil, tendo em vista aspectos como: maior alcance em comparação a outros modais, maior disponibilidade das vias de acesso, agilidade na liberação de mercadorias e menor valor de manutenção. De acordo com a CNT (Confederação Nacional de Transportes), 61% do transporte de cargas e 95% do transporte de passageiros é feito por rodovias.

Sendo o primeiro tipo de transporte criado pelo homem, sua técnica construtiva ainda continua inovando em materiais e técnicas de pavimentação. Atualmente os pavimentos são classificados em: Rígidos (lajes de concreto de cimento Portland), semirrígidos (revestimento de camada asfáltica e base estabilizada com cal ou cimento) e flexíveis (revestido de camada asfáltica e bases granulares).

A necessidade de um estudo bem consolidado, determina os tipos de pavimento em cada situação, não existindo regras para pavimento ideal, sendo assim analisado caso a caso. O pavimento flexível é a melhor opção na maioria dos casos, pois suporta melhor os efeitos cisalhantes, aceita reparos localizados, e pode reciclar o próprio revestimento.

O crescente tráfego de veículos pesados, condições climáticas, e as propriedades mecânicas dos materiais utilizados na construção, contribuem para a diminuição da vida útil da estrutura, provocando o surgimento de patologias. Consequentemente, induzindo um tráfego lento, perigoso e sem funcionalidade.

Inovações no ramo da geotecnia com intuito de reparo, manutenção e prevenção de patologias, vem conquistando a confiança de vários projetistas para a tomada de variadas soluções. Como é o caso dos geossintéticos, produtos poliméricos de origem sintética ou natural, que em pavimentação, pode desempenhar funções de: reforço, separação, filtração e drenagem.

O investimento dos geossintéticos na serventia de reforço do solo, ressalta além da otimização da estabilidade das camadas de aterro no pavimento, a importância econômica. O uso deste material para auxílio na resistência das forças

aplicadas na estrutura, diminui a necessidade dos volumes altos de aterro para compactação, de maneira consecutiva, reduz o tempo de execução da obra e danos ambientais.

As novas metodologias utilizadas para combate de tensões e aumento da vida útil das rodovias, põem à prova, justificativas da necessidade de inovação do processo construtivo das estradas brasileiras. Uma vez que, os métodos mais comuns de execução, estão originando prejuízos aos cofres públicos, com altos gastos na manutenção corretiva, impactos ambientais e prejuízos às empresas que necessitam deste modal para gerar renda.

Contudo, foi estudado como exemplo de dimensionamento de uma estrutura com reforço de solos utilizando geogrelha, a rodovia da TO-444/447, trecho: Paraíso do Tocantins / Chapara de Areia, cuja extensão é de aproximadamente 39 km. O projeto executivo foi elaborado pela empresa INFRAENG – ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA LTDA, onde foram apanhados os dados para a realização deste estudo de caso.



## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Redimensionar o pavimento flexível da rodovia da TO 444/447 para verificação da aplicabilidade de reforço do solo com reforço de geossintéticos.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Descrição de generalidades do pavimento, estrutura, classificação, distribuição dos esforços nas camadas de solo e métodos de dimensionamento;
- Apresentar as formas de utilização dos geossintéticos nas camadas de solo do pavimento, bem como seus mecanismos de ação para o aumento da resistência estrutural;
- Reanalisar o trecho da TO-444/447 que liga Paraíso do Tocantins a Chapada de Areia utilizando geogrelhas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A intensa rotina de recebimento de cargas nas rodovias nacionais e a ação das intempéries como aliado negativo na conservação da estrutura asfáltica, intensifica a fadiga nos pavimentos, causando o surgimento de patologias. Isso pode tornar dificultosa a trafegabilidade, fator primordial do conceito de estradas, pois patologias, as mais diversas, geralmente causam um tráfego lento e aumentam o risco de acidentes.

Tendo em vista o baixo rendimento das estradas brasileiras e o frequente número de restaurações em razão dos problemas que comprometem a funcionalidade dos pavimentos, a necessidade de uma nova tecnologia para o aumento da resistência da base e revestimento do pavimento asfáltico, é imprescindível para o aumento da sua vida útil.

O uso de geossintéticos, produto industrializado com polímero sintético ou natural, possui grande versatilidade para resolver problemas em geotecnia. Sendo prático o seu modo de execução, e com possibilidade zero de impactos ambientais, a redução da espessura das camadas de solo na estrutura do pavimento por causa de sua alta resistência, é fator positivo para escolha do produto.

Este estudo de cunho técnico, pretende instigar os alunos da área de Engenharia Civil, a conhecerem as propriedades dos geossintéticos que podem ser utilizados em pavimentação rodoviária. Os conteúdos abordados nas ementas dos cursos, são limitados e restritos quanto ao uso deste material, que já é uma tendência a nível internacional, e vem crescendo continuamente nas principais obras de geotecnia do Brasil. Daí a importância deste estudo, principalmente ele feito em uma faculdade de um estado que ainda tem muito em infraestrutura rodoviária a ser construída/restaurada.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

As ações das cargas de tráfego transmitidas nos pavimentos flexíveis provocam diversas patologias de ordens estruturais, tais eventualidades diminuem a vida útil e a funcionalidade das estradas pavimentadas. Tem-se condições de redimensionar trechos de uma rodovia para melhoria de reforço?

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

No Brasil, o modal rodoviário é o mais utilizado para transporte de produtos e mercadorias. Bacchi e Vicente (2008) afirmam que o transporte rodoviário brasileiro movimenta aproximadamente 60% da matriz de transporte de cargas nacional. A critério de comparação, nos Estados Unidos (EUA) a participação das rodovias é de apenas 26%.

As estradas são responsáveis por abrir novas perspectivas para o desenvolvimento. Finalidade esta, que justifica a demanda de um projeto executivo bem estruturado.

Um conjunto de diversos materiais sobrepostos e compactados acima de um subleito, desde que atendam os quesitos estruturais e operacionais de tráfego, podem ser definidos como pavimento. Onde solos de resistências variadas são colocados em contato um com o outro para receber esforços e distribuir as tensões (BALBO, 2007).

O pavimento rodoviário tem como atribuição primordial, garantir que as passagens dos veículos sejam de modo confortáveis e seguras, mesmo sob as ações de tráfego intenso e variadas condições climáticas (Santos, 2012 *apud* Branco *et al*, 2008).

#### 2.1.1 Classificação dos Pavimentos

Atualmente, os pavimentos são classificados em flexíveis, semirrígidos e rígidos (DNIT, 2006).

- Flexível: pavimento projetado para receber e distribuir as cargas entre as camadas de solo, sobretudo, as camadas mais próximas do revestimento, são mais resistentes. Ex.: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.

- Semirrígido: possui a base cimentada por processo químico. Ex.: Camada de solo cimento, revestida por uma camada asfáltica.
- Rígido: o revestimento é feito por lajes de concreto Portland, sendo altamente rígido, devendo absorver todas as tensões do tráfego unicamente pelo seu revestimento, que é mais resistente às camadas inferiores.

## 2.2 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O pavimento flexível se caracteriza por ter misturas betuminosas na sua estrutura superior, e nas camadas entre o revestimento e a sua fundação, possuir materiais granulares. Seu revestimento tem função de combater as tensões de tração, enquanto as demais camadas se reservam a resistir apenas as tensões de compressão (LIMA, 2013 *apud* BRANCO *et al*, 2006; MINHOTO, 2005).

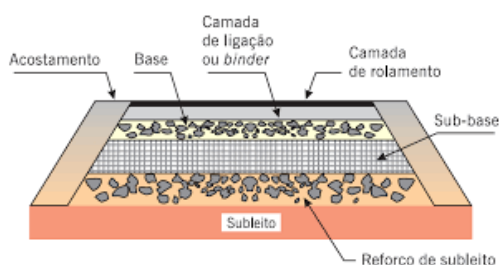
Sendo as camadas granulares o elemento primordial de resistência do pavimento, as camadas de desgaste (superfície de rolamento) devem buscar a mais eficiente impermeabilização e resistir as degradações provocadas pelos veículos (CEPSA, 2014).

As cargas que atuam nos pavimentos flexíveis são distribuídas gradativamente no decorrer das camadas de solo, sabendo que todas as camadas da estrutura sofrem deformação elástica, podendo levar ou não a um rompimento.

### 2.2.1 Estrutura do pavimento flexível

As camadas típicas de um pavimento devem possuir subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (SENÇO, 2007):

**Figura 1 - Estrutura do pavimento asfáltico**



Fonte: BERNUCCI, 2010

### **2.2.1.1 Subleito**

O subleito é o solo em estado natural, conhecido também como terreno de fundação.

Há dois casos de subleito, uma com terraplanagem recente, onde o terreno se encontra regularizado, e outra nas estradas de terra em uso por um determinado tempo, neste, o terreno tem extensão irregular (SENÇO, 2007).

A resistência do subleito é variável dependendo do método analisado. No método CBR, a resistência do subleito é obtida através de análise laboratorial onde se mede a resistência à penetração a partir de uma amostra de solo do subleito. A técnica de Francís Hveem, determina a resistência a partir do ensaio triaxial no aparelho chamado Esíabilômetro de Heveem. No método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem a resistência é o resultado da média aritmética entre o CBR e o outro índice (derivado do índice de Grupo), gerado através dos ensaios de caracterização do solo do subleito (SENÇO, 2007).

### **2.2.1.2 Reforço do subleito**

O reforço do subleito é utilizado em pavimentos espessos, tem a finalidade de reduzir a espessura da sub-base (DNER, 1996).

Esta camada possui espessura constante, seu material deve ter características geotécnicas inferiores ao material utilizado na camada superior, porém melhores que o material do subleito (DNIT, 2006).

### **2.2.1.3 Sub-base**

A sub-base é a camada de complemento da base, construída quando não puder executar a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito por motivos técnicos e econômicos (DNIT, 2006).

O material utilizado na sub-base deve ter características superiores às do material de reforço (SENÇO, 2007).

### 2.2.1.4 Base

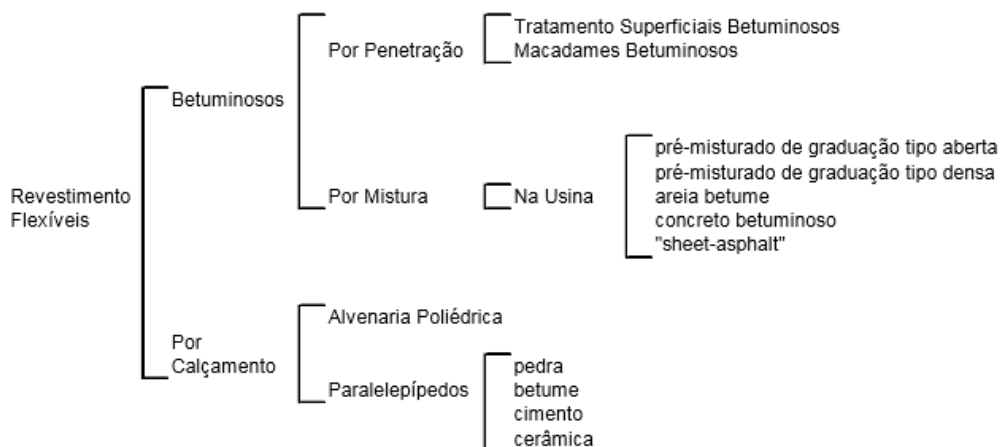
A base é a parte da estrutura que tem o objetivo de resistir e distribuir os esforços ocasionados pelo tráfego, camada onde será assentado o revestimento (DNIT, 2006).

### 2.2.1.5 Revestimento

O revestimento é a capa de rolamento do pavimento, sendo impermeável e designada a aumentar o conforto e segurança ao usuário, melhorando a superfície de rolamento (SENÇO, 2007).

O DNIT (2006) classifica os revestimentos flexíveis de acordo com o esquema a seguir (Figura 2):

**Figura 2 - Classificação dos revestimentos**



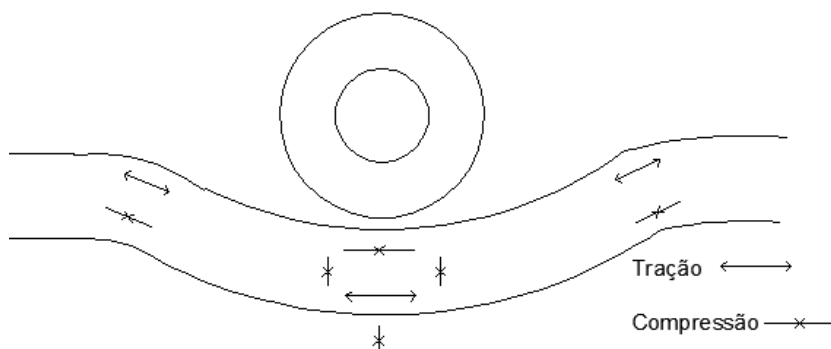
**Fonte: DNIT, 2006**

A camada de revestimento tem espessura adotada por critérios próprios ou em função do tráfego previsto. Para vias com duas faixas de tráfego e duas mãos de direção, é habitual a espessura de 3 a 5 cm. Para rodovias duplicadas, o revestimento chega entre 7,5 e 10 cm (SENÇO, 2007).

## 2.3 CARREGAMENTOS APLICADOS NO PAVIMENTO

Uma carga imóvel atuante no pavimento flexível, provoca o surgimento de uma bacia de deflexões (Figura 3) se deslocando na direção do movimento da carga no momento em que se move (NOGUEIRA, 2004).

**Figura 3 - Esquema das deflexões num pavimento flexível**



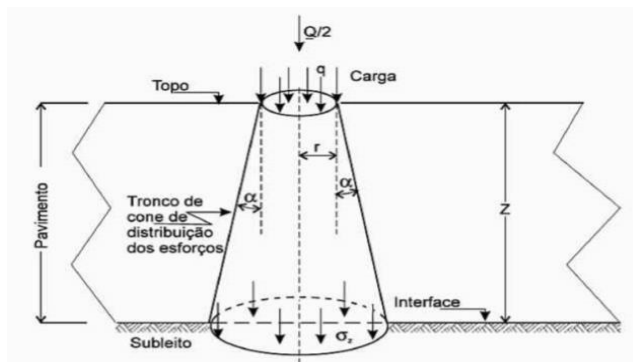
Fonte: adaptado de GROENENDIJK, 1998

A figura acima, esquematiza uma bacia de deflexões de um pavimento submetido a uma carga de roda de veículo, indicando também os pontos de tração e de compressão (GROENENDIJK, 1998).

As cargas solicitantes no pavimento, são aplicadas através das rodas pneumáticas dos veículos. Sendo de formato elítico, a área de contato entre os pneus e o pavimento, e a pressão exercida, tem a distribuição em forma parabólica, por meio desta, a pressão máxima se encontra no meio da área carregada (SENÇO, 2007).

É preciso considerar que o compartilhamento dos esforços entre as camadas de solo na estrutura deve suportar a capacidade de suporte do subleito. A figura 4, mostra como é a distribuição das pressões conforme um ângulo  $\psi$ , de modo que a pressão “q” pode ser estimada a uma profundidade  $z=0$ . Consequente, as pressões seguem uma profundidade crescente até a profundidade  $z$  – entre o pavimento e o subleito –, com uma pressão  $\sigma_2$  (SENÇO, 2007).

**Figura 4 - Distribuição dos esforços**



Fonte: SENÇO, 2007



A pressão aplicada é reduzida com a profundidade, no entanto, as camadas superiores estão sujeitas a maiores pressões, sendo requisitado materiais de boa qualidade na sua construção. Para a mesma carga aplicada, a largura do pavimento deverá ser maior quando as condições do material de subleito forem piores. Há regras sem rigor de que subleito ruim e cargas pesadas devem ter pavimentos espessos; subleito de boa qualidade, e carregamentos leves levam a pavimentos finos (SENÇO, 2007).

A vida útil de um pavimento, em termos de boa funcionalidade, está relacionada ao seu correto dimensionamento, que busca evitar as circunstâncias de defeitos estruturais: ruptura por fadiga e deformação permanente (afundamento de trilha de roda). Estes dois são os principais mecanismos de ruptura de pavimentos flexíveis.

No pavimento flexível a distribuição das tensões e deformações, formadas na estrutura pelas cargas de roda, se dá de modo que as camadas de revestimento e base amenize as tensões verticais de compressão no subleito por meio da absorção de tensões cisalhantes. Desta maneira, ocorrem tensões e deformações de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico, que provocam o trincamento por fadiga com a repetição das cargas do tráfego. Do mesmo modo, a repetição das tensões e deformações verticais de compressão atuantes em todas as camadas do pavimento, leva à formação de afundamentos de trilha de roda (Gonçalves, 2002).

## 2.4 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

É finalidade do dimensionamento estrutural dos pavimentos (DNIT, 2006):

- Definir a largura das camadas;
- Auxiliar no veredito quanto ao tipo de pavimento executar;
- Decidir os materiais constituintes;
- Compor as especificações técnicas dos materiais e das camadas da estrutura.

Os métodos mais utilizados para o dimensionamento estrutural de um pavimento flexível são: o Método do DNER (1981) e o Guia da AASHTO (1986).

Tais processos definem a espessura total das camadas para que o subleito e o reforço de subleito sejam preservados contra as deformações plásticas (GONÇALVES, 1999).

Segundo MOTTA (1991 *apud* FRANCO, 2007), os métodos de dimensionamento de pavimentos podem ser divididos em três tipos: métodos empíricos, mecânicos e consolidados.

- Métodos Empíricos: São baseados em experiências repetidas muitas vezes na obra e se limitam a presumir espessuras para garantir critérios, por exemplo, o critério de ruptura por deformação permanente (FRANCO, 2007).
- Métodos Mecânicos: Utiliza a teoria da elasticidade, estimando as tensões e deformações causadas pelo tráfego e do clima na estrutura, procurando compatibilizar com as tensões de resistência material (TEIXEIRA & GAIO, 2009).
- Métodos Consolidados: Utiliza a experiência comprovada e apoiada por considerações mecânicas para definir as recomendações do perfil dos pavimentos com determinados materiais de construção (MARAGON, 2004).

Em todos os métodos, a ruptura do pavimento é dada como o fator primordial de projeto. No entanto, o conceito de ruptura de um pavimento deve estar bem claro ao se estabelecer uma afirmação de dimensionamento compatível a cada uma das estruturas possíveis de pavimento (FRANCO, 2007).

## 2.5 GEOSSINTÉTICOS

A Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS) descreve os geossintéticos como produtos fabricados com polímeros sintéticos ou naturais, apresentados na configuração de manta, tira, ou estrutura tridimensional, e aplicados em associação com solo, rocha e/ou outros materiais geotécnicos como parte integral de um projeto, estrutura ou sistema em engenharia civil.

Os geossintéticos são classificados de acordo com o processo de fabricação, podendo ser: geotêxteis, geogrelhas, georredes, geomembranas, geocompostos, geocompostos argilosos, geotubos, geocélulas e geoexpandido.

**Tabela 1 - Tipos de geossintéticos e suas aplicações**

Geossintéticos	Aplicação						
	Reforço	Filtração	Drenagem	Proteção	Separação	Impermeabilização	Controle de Erosão
Geotêxtil	X	X	X	X	X		X
Geogrelhas	X						
Geomembranas					X	X	
Geocompostos	X		X			X	
Geobarras	X						
Geoespaçadores			X				
Geotiras	X						
Georredes			X				
Geotubos			X				
Geomantas						X	X
Geocélula	X						X

Fonte: Koerner, 1998

Em obras de engenharia, os geossintéticos conseguem atuar em diversas funções, sendo elas: controle de erosão superficial, drenagem, filtração, barreira, proteção, reforço e separação (VERTEMATTI *et al*, 2015).

**Tabela 2 - Resumo das principais aplicações**

Aplicação	Objetivo
Reforço	Restringir deformações e aumentar a resistência do maciço em obras geotécnicas, aproveitando a resistência à tração do material geossintético
Filtração	Permitir a passagem e coleta de fluidos, sem a movimentação de partículas do maciço
Drenagem	Coletar e/ou facilitar os movimentos de fluidos no interior do maciço
Proteção	Reduzir solicitações localizadas, homogeneizando o nível das tensões que atingiram determinada superfície ou camada
Separação	Evitar a mistura entre materiais granulares com características geotécnicas distintas
Impermeabilização	Conter o avanço de uma pluma de contaminação, evitando a migração de líquidos ou gases em aplicações ambientais
Controle de Erosão	Proteger a superfície do terreno contra o arraste de partículas pela ação de ventos e águas superficiais

Fonte: VERTEMATTI, 2015

### 2.5.1 Geossintéticos em obras de pavimentação

Desde 1970 os geossintéticos são usados para estabilização do subleito e reforço de aterros para a construção de estradas pavimentadas e não pavimentadas. Habitualmente, este material é posicionado entre a camada de base e o subleito. Por influência dos geossintéticos o solo consegue resistir maiores cargas e maior proporção de tráfego. Para mais, a capacidade de reforço dos geossintéticos pode propiciar o uso de material de aterro de menor qualidade, o que resulta em diminuição de custos e benefícios ambientais (GÓNGORA, 2011).

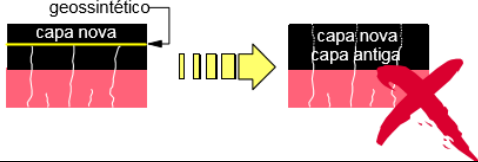
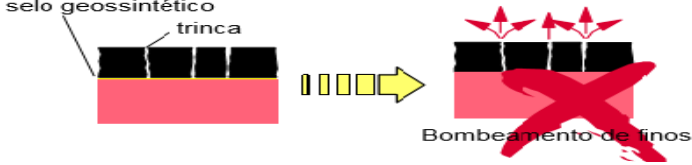
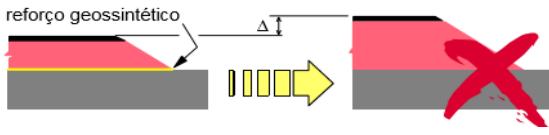
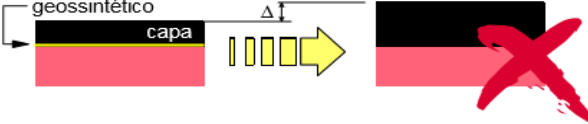
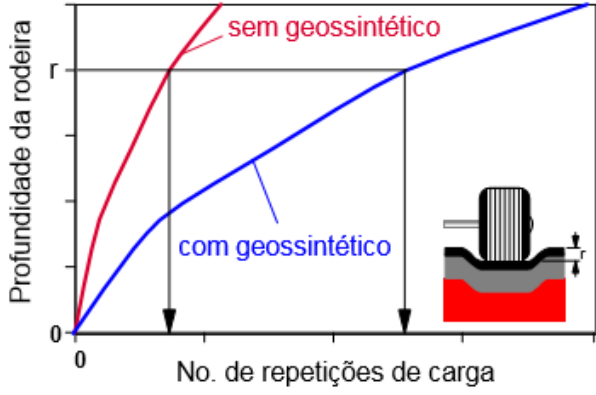
Nestas circunstâncias, há diferentes formas de aproveitamento das geogrelhas nos pavimentos flexíveis, o que é definido pela finalidade de seu emprego. Assim, tem-se basicamente, três localizações de geogrelhas dentro de um pavimento flexível mais comumente utilizadas (AL-QUADI, 2008; KAKUDA, 2009):

- como camada intermediária em recapeamentos asfálticos;
- como reforço de camada de base, instalada entre esta e o revestimento asfáltico, melhorando aspectos como intertravamento, tensão de tração, confinamento e separação;
- como reforço de subleito, principalmente em casos de presença de solos moles.

Especificamente nas obras de pavimentação, quando empregado como elemento estrutural, exercem funções de reforço, separação, impermeabilização e proteção. Quando utilizados com finalidade de reforço, os geossintéticos são requisitados especialmente por esforços de tração, sendo aplicado nas camadas de base e revestimento. Na qualidade de elemento de separação e proteção, os geossintéticos são aproveitados na interface entre camadas constituídas por materiais de características geotécnicas distintas. E na impermeabilização, são empregados para diminuir as eventualidades de infiltração de água pelas camadas superiores (FONSECA, 2015).

Conforme PALMEIRA, os geossintéticos podem ser utilizados para as funções descritas na tabela a seguir:

**Tabela 3 - Modos de utilização dos geossintéticos em pavimentos**

<p>Reduzir e/ou evitar trincas</p>	
<p>Funcionar como barreira evitando o bombeamento de finos</p>	
<p>Reduzir a espessura do pavimento</p>	
<p>Reduzir a espessura do revestimento</p>	
<p>Aumenta a vida útil do pavimento</p>	

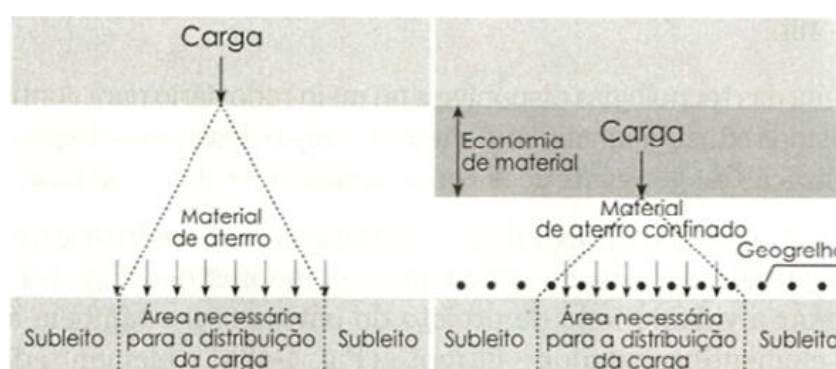
O comportamento dos solos e materiais granulares dos pavimentos flexíveis é considerado elástico, contudo não linear. O uso das camadas granulares em subleitos de baixa resistência pode causar problemas como: redução da espessura, diminuição da resistência da estrutura e heterogeneidade do estado da camada granular (BERNUCCI *et al*, 2015).

A utilização de geossintéticos em pavimentos, diminui e distribui de forma homogênea as cargas que chegam ao subleito, influenciando na redução de

patologias na estrutura das camadas de solo (KAKUDA, 2010). Problemas esses, que podem ser solucionados com o uso de geossintéticos como camada de reforço de base e sub-base.

Além do mais, o uso de desse material poderá reduzir as espessuras das camadas granulares, como mostra a figura 11, ou aumentar a vida útil do pavimento, e também trabalhar como elemento filtrante e separador (VERTEMATTI, 2015).

**Figura 5 - Aumento da área de distribuição de tensões no subleito diminuindo as espessuras da camada**



Fonte: TRICHÊS; BERNUCCI, 2004

AL-QADI e TUMTULUER (2009) afirmam que o uso de geogrelha em camada de base limita o deslocamento lateral dos materiais desta camada, proporcionando intertravamento que aumenta a rigidez do sistema estrutural, reduzindo deformações cisalhantes, além de melhorar a resistência do pavimento quanto à fadiga. O uso de camadas intermediárias de geogrelhas pode diminuir a espessura do pavimento para determinada vida de projeto ou aumentar a sua vida de serviço.

LAO e RAMOS (2009) afirmam que os geossintéticos aliviam os esforços que levam ao trincamento sendo indicadas nas seguintes utilizações: capeamento asfáltico sobre pavimento rígido com placas fissuradas, sobre pavimento flexível com revestimento com trincas por fadiga e em alargamento de pista para evitar a reflexão da trinca longitudinal oriundo da junção de revestimentos com idades diferentes

Um parâmetro que possibilita estimar o desempenho de um pavimento em que se utiliza geossintético, é a taxa de benefício de tráfego ou TBR (traffic benefit ratio), dada pela equação:

$$TBR = \frac{N_{geo}}{N}$$

Onde:

$N_{geo}$  – Número de repetições do eixo padrão de 82 kN, que produz um determinado afundamento em trilha de roda no pavimento com geossintético;

$N$  – Número de repetições do eixo padrão de 82 kN, que produz um determinado afundamento em trilha de roda no pavimento sem geossintético

Perkins e Ismeik (1997) afirmam que a TBR é definida como a razão entre o número de ciclos para atingir uma profundidade de trilhas de roda com o geossintético e sem o geossintético.

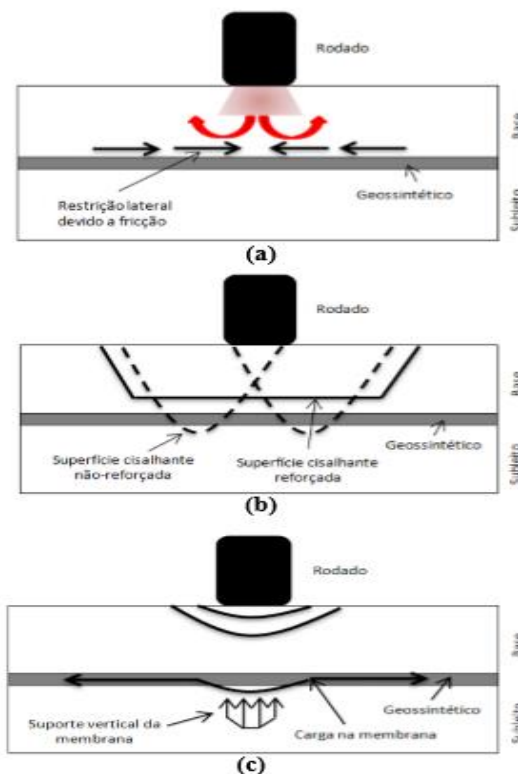
O presente estudo, visa caracterizar o uso dos geossintéticos como reforço de solo na estrutura dos pavimentos, contudo, os materiais apropriados para esta solicitação são os geotêxteis e as geogrelhas. Segundo Perkins e Ismeik (*apud* OLIVEIRA, 2013) estes materiais possuem três mecanismos de reforço, sendo elas as restrições de movimentação lateral, aumento da capacidade de carga e efeito membrana.

Góngora (2015) define da seguinte forma estes mecanismos:

- Restrição à movimentação lateral: Mecanismo provocado pela interação por atrito e intertravamento entre o solo de aterro e o geossintético, que confina a movimentação lateral;
- Aumento da capacidade de carga: É a maior predisposição de carga no solo, com o uso do geossintético, o aterro reforçado aumentará a capacidade de carga, em detrimento à diminuição das tensões cisalhantes instabilizadoras transmitidas para o subleito;
- Efeito membrana: É o principal mecanismo de atuação em estradas não pavimentadas. Tende a diminuir as tensões normais transmitidas para a

camada de fundação, aumentando a capacidade de carga da estrutura, desenvolvendo a força de tração do geossintético.

**Figura 6 - Mecanismos e potenciais de reforço**



**a) restrição da movimentação lateral do solo de aterro; b) restrição da capacidade de carga produzido pelos geossintéticos; c) efeito membrana no geossintéticos**

Fonte: PERKINS E ISMEIK, 1997

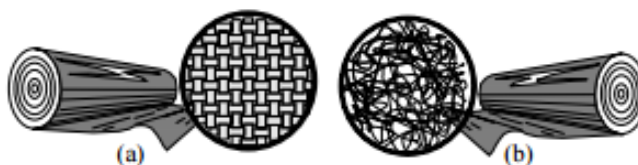
## 2.5.2 Geotêxteis

De acordo com a NBR 12553 (2003), os geotêxteis são produtos têxteis bidimensionais permeáveis, constituído de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, sendo estruturas tecidas (Figura 13 (a)). E não tecidas ou tricotadas, tendo peculiaridades mecânicas e hidráulicas permitindo que realize várias funções numa obra geotécnica (Figura 13 (b)).

Em geral para funções de reforço são utilizados geotêxteis tecidos, pois são mais resistentes as tensões aplicadas. Os geotêxteis não tecidos são empregados como filtros, meios de separação entre materiais e proteção (LAGREGA, BUCKINGHAM, & EVANS, 2001).



**Figura 7 - Geotêxteis tecido e não tecido**



**Fonte: Palmeira, 1993**

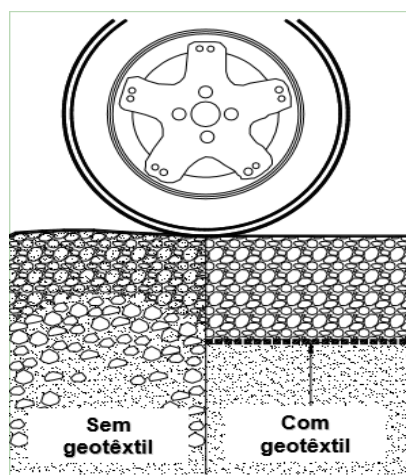
As principais funções dos geotêxteis são descritas a seguir: (GOMES, 2001)

- **Separação:** Quando colocado entre dois materiais diferentes, tem capacidade de interdição, evitando a interpenetração das camadas, conservando as características originais;
- **Reforço:** Atua na complementação das camadas, buscando reforçar a estrutura geotécnica;
- **Proteção:** Quando colocado em conjunto a outro material, protege contra danos mecânicos;
- **Filtração:** Funciona como peneira, retendo os materiais sólida e permitindo a passagem dos fluídos;

Os geotêxteis quando associado nas construções rodoviárias desempenham uma ou mais das seguintes funções: filtração, separação e reforço. A aplicabilidade na separação é sempre usada simultaneamente com filtração ou reforço e nunca será especificada isoladamente (IGS, 2014).

Quando o subleito é coesivo, a mistura e contaminação da base granular é rápida por causa da água da chuva que diminui a resistência do solo em sua superfície saturada. Quando o subleito for arenoso, não coesivo, o uso dos geotêxteis entre as camadas evita a interpenetração com maior economia que qualquer outro bloqueio tradicional (VERTEMATTI, 2001).

**Figura 8 - Seção transversal do pavimento com e sem geotêxtil**

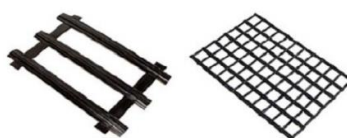


Fonte: TRICHÊS; BERNUCCI

### 2.5.3 Geogrelhas

É um material com estrutura em forma de grelha com finalidade essencial de reforço, tendo aberturas que permitem a interação do meio em que estão confinadas, e formado por elementos resistentes à tração. Quando é unidirecional apresenta alta resistência à tração em uma direção, e sendo bidirecional quando possui resistência à tração nas duas direções ortogonais (AGUIAR; VERTEMATTI,2004).

**Figura 9 - Geogrelhas**



Fonte: MEDEIROS, 2008

As geogrelhas são os geossintéticos mais apropriados para o desempenho da função de reforço, visto que nos fatores mais importantes, como sejam a resistência à tração e o módulo de deformabilidade, conseguem superar os restantes geossintéticos (TAVARES, 2009).

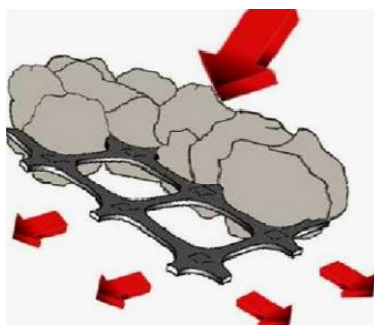
Em se falar do processo de fabricação, as geogrelhas podem ser rígidas ou flexíveis. Dado que esse material seja aplicado nos locais onde ocorrem as deformações de tração, as do tipo rígido possuem um melhor desempenho. No caso das geogrelhas flexíveis, é necessário ocorrer a deformação do elemento

para mobilização da resistência. O progresso da capacidade estrutural da camada granular usando geogrelhas se dá por meio de quatro mecanismos principais: intertravamento, tensão de tração, confinamento e separação (TRICHÊS; VERTEMATTI, 2015).

TAVARES (2009) define tais mecanismos como a seguir:

- **Intertravamento:** É o reforço mais importante de agregados, conseguido unicamente pelas geogrelhas. Este mecanismo limita o deslocamento lateral dos agregados, o efeito se manifesta às partículas sobrejacentes, que restringindo o seu movimento aumentam a rigidez global.

**Figura 10 - Interface entre a geogrelha e o agregado**



**Fonte: ANTUNES, 2008**

- **Tensão de tração:** O geossintéticos quando tracionado utilizará suas propriedades para distribuir o esforço para o solo envolvente, por meio de esforços tangenciais.
- **Confinamento:** Possibilita um aumento de carga de ruptura, assim como do módulo de deformabilidade. Quando o solo ou agregado preencher as células, ficará confinado, aumentando as propriedades mecânicas e elevando a sua rigidez, viabilizando a redução das camadas granulares e na deflexão total da estrutura.
- **Separação:** Evita cravar os agregados do subleito, mantendo a espessura das camadas granulares. Pode ser utilizado em conjunto com os geotêxteis colocando acima da geogrelhas, permitindo a evitando a entrada da água e dos finos para as camadas de fundação.

As geogrelhas postas entre as camadas granulares, têm a função de reforço e separação quando o CBR do subleito for menor que 5%. Nesse caso, as geogrelhas atuam reduzindo a tensão vertical no topo do subleito por aumentar a área de distribuição das tensões, restringindo a possibilidade de ruptura por cisalhamento. Em bases com altura superior a 25 cm, esse geossintético deve ser colocado no interior da camada granular, desempenhando papel de reforço (HOLTZ *et al*, 1995).

### 3 TO-444/447 (TRECHO BR 153 – CHAPADA DE AREIA)

Será realizado o redimensionamento de um pavimento flexível com acréscimo de geossintético para fins de reforço na camada de base do pavimento, a geogrelha. Para desenvolvimento deste estudo foi obtido um projeto de pavimentação da empresa INFRAENG – ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA LTDA, afim de demonstrar em caso real, os ganhos de vida útil e econômica do pavimento com o uso da geogrelha.

#### 3.1 Descrição da diretriz do traçado

A obra faz a ligação por asfalto entre Paraíso e Chapada de Areia, com uma extensão de 39,01 km.

A região estudada está localizada a aproximadamente 115 km da cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins, estando o início do trecho localizado na cidade de Paraíso do Tocantins, e o final a cidade de Chapada de Areia.

#### 3.2 Estudos geotécnicos

Os estudos geotécnicos realizados foram os seguintes:

- Estudos dos materiais constituintes do subleito, incluindo observações sobre suas condições de umidade;
- Estudos dos materiais existentes e disponíveis para utilização nas camadas de base e sub-base do pavimento;
- Estudos dos materiais pétreos e areais para utilização em obras de pavimentação e drenagem;
- Estudo dos materiais de empréstimos concentrados e empréstimos laterais para suprir as necessidades do projeto de terraplenagem.

### 3.3 Prospecção dos Materiais do Subleito

Para fins de reconhecimento das camadas de solo do subleito, foi realizado furo de sondagens a trado com espaçamento máximo de 200 m e profundidade mínima de 1,00 m abaixo do greide de terraplenagem.

Para todo furo sondado foram feitas anotações nos boletins de sondagem referentes à profundidade, classificação expedita e observações sobre excesso de umidade ou surgimento do NA.

Em todos os furos de sondagem coletados, os materiais foram enviados ao laboratório para a realização dos ensaios de caracterização física (granulometria sem sedimentação, limite de liquidez e limite de plasticidade) e caracterização mecânica (compactação com energia equivalente à do Proctor Normal e CBR).

Após a obtenção dos resultados dos ensaios, foram determinados os Índices de Grupo (IG) e procedida a classificação dos solos segundo a metodologia HRB – Highway Research Board (atualmente TRB). Na sequência foram elaboradas as folhas-resumo dos ensaios com todos os resultados das caracterizações física e mecânica.

O sistema de classificação de solos TRB – Transportation Research Board leva em consideração a granulometria, o limite de liquidez, o índice de liquidez e o índice de grupo. Sendo determinados por processo de eliminação da esquerda para a direita no quadro de classificação, como mostra a tabela 4:

**Tabela 4 – Classificação dos solos (TRB)**

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5 A - 7 - 6
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 mín.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Fonte: DNIT, 2006

### 3.4 Estudos dos Materiais Granulares

Os estudos dos materiais granulares visam selecionar a quantidade e qualidade dos materiais para a constituição do pavimento.

Após a inspeção e localização da jazida, foi lançado sobre as áreas escolhidas, uma malha quadrada de 30 x 30 m, até a profundidade de ocorrência do cascalho.

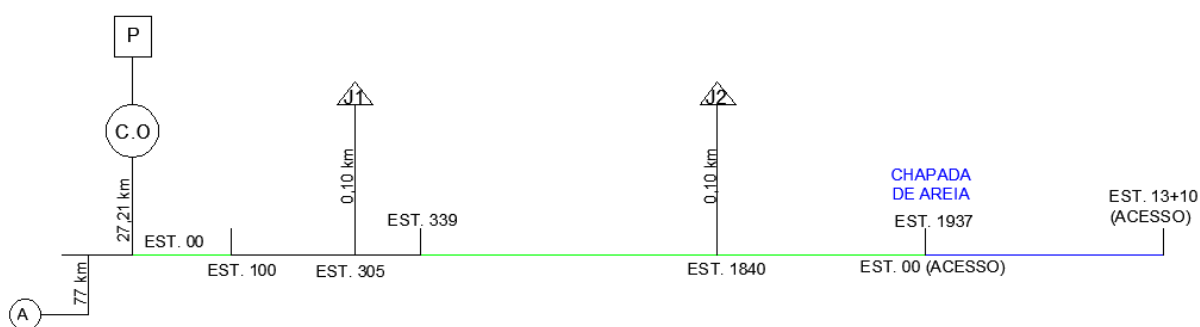
Concomitantemente, promoveu-se a coleta de amostras para caracterização laboratorial através dos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica por peneiramento;
- Limites de Atterberg (LL e LP);
- Compactação e ISC;
- Densidade “in situ”.

Dado os resultados, foi realizado os cálculos dos Índices de Grupo (IG) e após a classificação dos solos pelo método HRB (TRB). Os resultados destas características físicas e mecânicas estão anexados nos anexos deste trabalho.

De acordo com as inspeções no decorrer do trecho, foram localizados 2 locais com potencialidades de fornecimento de materiais para base e sub-base. A jazida 1 localizada na estaca 305, possui área de 50.779,13 m<sup>2</sup> e possui ordem de classificação do HRB modal: A-2-4 e A-1-b, sendo os materiais predominantes: Pedra Britada, pedregulho, areia grossa e areia siltosa ou argilosa. Possuindo comportamento geral como subleito de excelente a bom. A jazida 2 está foi localizada na estaca 1840 e possui área de 52.066 m<sup>2</sup> e possui a mesma classificação de solo que a primeira jazida.

**Figura 11 – Mapa de localização das jazidas**



Fonte: adaptado de INFRAENG, 2011

Onde:

A – Areal

C.O – Canteiro de Obras

P – Pedreira

J1 – Jazida 1

J2 – Jazida

— Eixo da Rodovia TO – 444/447

— Eixo de acesso

De acordo com o DNIT (2006) o Subgrupo A-1-b inclui os materiais constituídos, principalmente, de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado.

Os subgrupos A-2-4 e A-2-5 Incluem solo contendo 35% ou menos, passando na peneira nº 200, com uma porção menor retida na peneira nº 40, possuindo as características dos grupos A-4 ou A-5. Estes grupos abrangem os materiais tais como pedregulho e areia grossa, em que o teor de silte e o índice de plasticidade ultrapassam os limites estabelecidos para o Grupo A-1, e ainda areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3.

### 3.5 Projeto de pavimentação – Dimensionamento

Para dimensionamento do pavimento estudado, foi utilizado o método de projeto de pavimentos flexíveis do engenheiro Murillo Lopes de Souza nas versões de 1966, método este que sofreu variadas alterações ao longo dos anos.

### 3.6 Valor do número N

O número N é o resultado do número de operações dos eixos dos veículos, equivalendo a 8,2 tf ou 80 kN durante o período de vida útil do pavimento. Sendo determinado através do processo de cálculo a seguir:

$$N = Vt \times FV \times FR \quad [II]$$

Onde:

$Vt$  – Volume total de veículos no período de projeto;

$FV$  – Fator de veículos;

$FR$  – Fator climático regional;

O volume total de veículos é obtido pela equação:

$$Vt = 365 \times VMD \times P \quad [III]$$

$P$  – Período de projeto em anos;

$VMD$  – Volume médio diário de veículos que passa na via;

O fator de veículo é um número que multiplicado pela quantidade de veículos em operação, resulta no número de eixos equivalentes padrão para vários tipos de veículos que compõem o tráfego. Sendo determinado em função do fator de carga (FC) e do fator de eixos (FE) de acordo com a expressão:

$$FV = FC \times FE \quad [IV]$$

$FC$  – É a somatória da equivalência ou pelo método da USACE - United States Army Corps of Engineers ou pelo método da AASHTO, dos tipos de eixos de porcentagem;



*FE* – É um valor que transforma o tráfego em um número de eixos médios por veículos, em função da composição de tráfego mais solicitada, em números de passagens de eixos equivalentes;

O número “N” utilizado no presente projeto, foi calculado para um período de 10 anos. De acordo com os dados fornecidos e características do tráfego da região, o número N adotado foi  $1,5 \times 10^5$ .

As consequências do cálculo do número N é a recomendação do DNIT - Departamento Nacional e Infraestrutura de Transportes para a definição da espessura das camadas de revestimento asfáltico como expresso na tabela 4:

**Tabela 5 – Espessuras mínima do revestimento betuminoso**

<b>N</b>	<b>Espessura mínima</b>
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial 2,5cm
$10^6 \leq N \leq 5.10^6$	Revestimento Betuminoso 5,0cm
$5.10^6 \leq N \leq 10^7$	Concreto asfáltico 7,5cm
$10^7 \leq N \leq 5.10^7$	Concreto asfáltico 10,0cm
$N > 5.10^7$	Concreto asfáltico 12,5cm

**Fonte: DNIT,2006**

De acordo com a tabela do DNIT, a espessura mínima do revestimento da TO-444/447 é de 2,5 cm – Tratamento Superficial Duplo. As informações de projeto da INFRAENG, constam que no revestimento será utilizado a emulsão de Ruptura Rápida RR-2C.

O tratamento superficial duplo ou TSD é formado por duas aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas, cada uma, por camada de agregado mineral, submetidas à compressão (DNIT,2009).

Os materiais constituintes do TSD são o ligante betuminoso e o agregado mineral. A sigla RR-2C, refere-se a emulsão asfáltica (resultado da mistura do cimento asfáltico com água), sendo vantajoso na realização do serviço de pavimentação em temperatura ambiente.

### **3.7 Determinação do ISC de Projeto**

Calculou-se para todo o trecho, estatisticamente, um valor mínimo que englobasse em torno de 80% dos valores de CBR existentes, sendo adotado este

valor como IS de projeto. Após a análise dos ensaios do subleito, foi considerado o IS de projeto igual a 9.

### 3.8 Determinação das espessuras das camadas

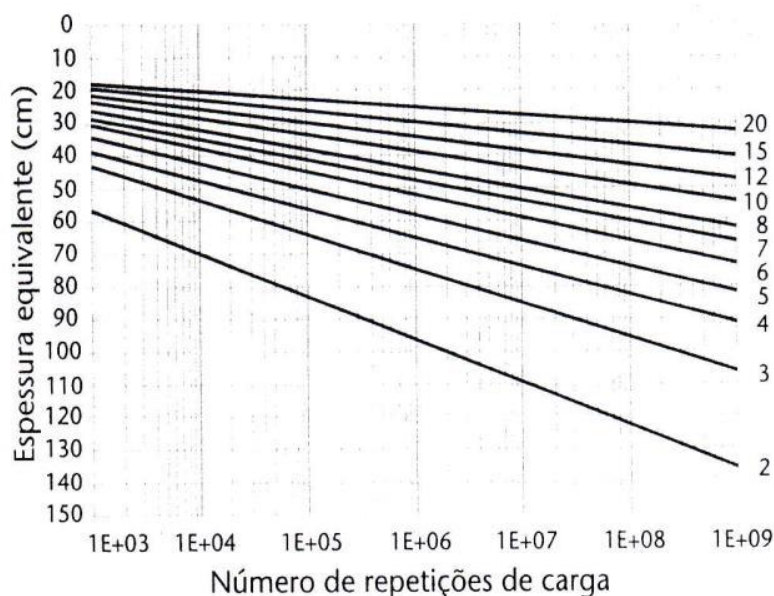
As espessuras de cada camada foram obtidas pela resolução das inequações do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER adaptada pelo engenheiro Murillo Lopes.

O processo de cálculo se dá a partir dos estudos de tráfego, das cargas atuantes por eixo e da classificação da frota. Segundo BALBO (2007) são exigidos valores mínimos de CBR para as camadas de base e de sub-base, respectivamente, de 80% e 20%.

Determina-se a altura total do pavimento através da equação V em função de N e do I.S.C. Sendo também fornecida através do gráfico da figura 12, a espessura é fornecida em termos de material com K=1,0 (material granular).

$$Heq = 77,67 \times N^{0,0492} \times CBR^{-0,598} \quad [V]$$

Figura 12 – Determinação de espessura do pavimento



Fonte: Balbo, 2007

As espessuras de cada camada são resultantes das equações demonstradas na figura 13, sendo considerados os coeficientes estruturais utilizados no método DNER, de acordo com a figura 14:

**Figura 13 – Princípio de solução das espessuras das camadas estruturais do pavimento**

$$R \times Kr + B \times Kb \geq H20$$

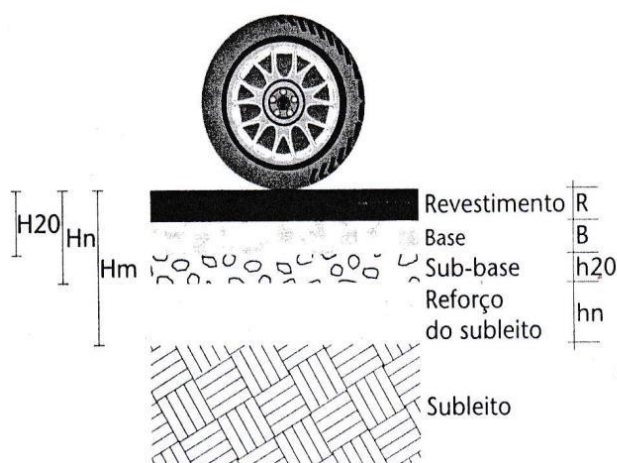
$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks \geq Hn$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks + hn \times Kn \geq Hm$$

Restrições estruturais:

CBR da base  $\geq 80\%$

CBR da sub-base  $\geq 20\%$



Fonte: Balbo, 2007

**Figura 14 - Coeficientes de equivalência estrutural dos materiais**

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL (K)
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,0
Base ou revestimento pré-misturado a quente de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio de graduação densa	1,4
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0
Solo-cimento com resistência aos 7 dias superior a 4,5 MPa (compressão)	1,7
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,8 e 4,5 MPa (compressão)	1,4
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,1 e 2,8 MPa (compressão)	1,2
Bases de solo-cal	1,2

Fonte: Balbo, 2007

De acordo com o relatório de projeto da INFRAENG, foram utilizados os dados:

**Tabela 6 – Dados utilizados no projeto para dimensionamento das camadas**

Incógnita/Símbolo	Significado	Valor utilizado
<i>R</i>	Espessura do revestimento	2,5 cm
<i>B</i>	Espessura da base	-
<i>SB</i>	Espessura da sub-base	-

$K_R$	Coeficiente estrutural do revestimento	1,2*
$K_B$	Coeficiente estrutural da base	1
$K_{SB}$	Coeficiente estrutural da sub-base	1
$H_{20}$	Espessura necessária para proteger a sub-base	20 cm
$H_9$	Espessura necessária para proteger o subleito	9 cm

\* De acordo com o DNIT (2006) não é utilizado coeficiente estrutural para revestimento em TSD.

Fonte: INFRAENG

Através dos métodos de cálculo obteve-se os seguintes resultados: Camada de base  $\geq 20\text{cm}$  e sub-base  $\geq 16\text{cm}$ .

A tabela a seguir mostra as alturas das camadas de base, sub-base e revestimento adotadas no projeto.

**Tabela 7 – Alturas das camadas do pavimento**

CAMADA	MÉTODO 1966	ADOTADO
Revestimento	2,5	2,5
Base	20	18
Sub-Base	16	18

Fonte: INFRAENG,2011

#### 4 METODOLOGIA

A metodologia que aqui se apresenta permite calcular a redução da espessura da camada granular e fazer a adequada seleção do geossintético como reforço da estrutura asfáltica.

Foi realizado um estudo da rodovia TO-444/447 que acessa o município de Paraíso a Chapada de Areia, sendo abordado os métodos de cálculo baseados na teoria utilizada para o reforço de estruturas pavimentadas, definida pelo método da AASHTO.

Figura 15 – Mapa de situação do trecho estudado



Fonte: INFRAENG

#### 4.1 DIMENSIONAMENTO

Há vários métodos de dimensionamento de pavimentos reforçados, de todos, os mais citados na literatura são os apresentados por Tensar, Giroud e Noiray, e a adaptação do método de dimensionamento de pavimentos da AASHTO apresentado por Trichês e Bernucci.

A fórmula adaptada da AASHTO é usada quando há a necessidade de inserção de geogrelha no pavimento flexível. Para a adicionar o aumento da vida e o esforço que a geogrelha atribui, a sugestão é de se utilizar a TBR (traffic benefit radio) no método de cálculo.

A equação a seguir se refere ao desempenho do pavimento baseado no binômio serventia/desempenho, onde foi calculado o  $(SN_{BR})$ , número estrutural considerando a contribuição da geogrelha.

$$\log \frac{W_{18}}{TBR} = 9,36 \log_{10}(SN_{BR} + 1) + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_{BR} + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log(M_R) + Z_R S_0 - 8,27$$

[VI]

Onde:

$\Delta PSI$  = Perda de serventia esperada durante o período de projeto:

- Trichês e Bernucci (2004) afirmam que para um pavimento flexível construído recentemente, será adotado para um  $PSI_{inicial}$  em torno de 4,2 e para um  $PSI_{final}$  2, resultando em um  $\Delta PSI$  2,2.

$W_{18}$  = Número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 82 kN;

$M_R$  = Módulo de resiliência do subleito (psi):

- O módulo de resiliência é o parâmetro que caracteriza o comportamento elástico dos materiais sobre carregamento cíclico. Em laboratório, estes parâmetros podem ser determinados através de ensaios triaxiais com cargas cíclicas. Conforme o guia AASTHO (1993), quando não há a possibilidade de se realizar tais ensaios, o  $M_R$  poderá ser estabelecido por meio da equação:

$$M_R = 1500 CBR(\%) \quad [VII]$$

Devendo ser calculado o  $M_R$  de cada camada ou utilizar a pior situação, no caso deste estudo foi utilizado o  $CBR = 2\%$  .

$Z_R$  = É o nível de confiança embutido no processo de dimensionamento para assegurar que as alternativas de projeto, atentem para o período de vida útil estipulado:

- Para avaliar se as probabilidades de sucesso obtidas podem ser consideradas satisfatórias, fez-se uso dos níveis de confiança recomendados pela AASTHO de acordo com a tabela 8. O nível de confiabilidade desejado para uma rodovia interestadual urbana, varia de 85 a 99,9%.

**Tabela 8 - Confiabilidade (%) recomendada pela AASTHO**

Confiabilidade R (%)	$Z_R$	Confiabilidade R (%)	$Z_R$
80	-0,841	92	-1,405
85	-1,037	94	-1,555
90	-1,282	95	-1,645

**Fonte: AASTHO,1993**

$S_0$  = Desvio padrão que leva em conta as incertezas das variáveis medidas e do processo construtivo:

- A AASHTO determina o valor de 0,35 para pavimentos flexíveis e 0,45 para pavimentos rígidos.

A seguir, foi realizado o cálculo do número estrutural, ele indica um valor abstrato que expressa a capacidade estrutural de um pavimento necessária para atender o tráfego estimado para o período de projeto, calculado por:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad \text{[VIII]}$$

Onde:

$a_i$  = Coeficiente estrutural da camada  $i$ :

- Os coeficientes das camadas estruturais são definidos pela AASHTO através do tipo de material utilizado em cada camada, como mostra a tabela a seguir:

**Tabela 9 – Coeficiente das camadas do pavimento**

Coeficientes das camadas $a_1$	
Tipo de material da camada	Coeficiente
<b>Revestimento ou capa de rolamento:</b>	
Mistura na pista (baixa estabilidade)	0,2
Mistura de usina (alta estabilidade)	0,44
Areia-asfalto	0,4
<b>Base:</b>	
Cascalho arenoso	0,07
Pedra britada (brita graduada)	0,14
Base tratada com cimento	0,15 a 0,23
Base tratada com betume	0,25 a 0,30
Base tratada com cal	0,15 a 0,30
<b>Sub-base:</b>	
Pedregulho arenoso	0,11
Areia e argila arenosa	0,05 a 0,10

**Fonte: AASHTO,1993**

$m_i$  = Coeficiente de drenagem do material da camada  $i$ .

- O coeficiente de drenagem é obtido a partir da porcentagem do tempo em que a estrutura do pavimento é exposta à saturação e em razão da qualidade do material para drenagem, como mostra a tabela 6. Considerou-se que, para as condições climáticas brasileiras, em menos de

5% do tempo o pavimento será exposto a níveis de umidade próximos à saturação e que as camadas de base e sub-base granulares tem uma boa qualidade de drenagem (água removida dentro de 1 dia).

**Tabela 10 – Valores dos coeficientes de drenagem**

QUALIDADE DE DRENAGEM	PERCENTAGEM DO TEMPO EM QUE A ESTRUTURA DO PAVIMENTO É EXPOSTA À SATURAÇÃO			
	Menos do que 1%	1 – 5%	5 – 25%	Mais do que 25%
Excelente	1,4 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Boa	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muito pobre	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fonte: AASHTO,1993

De acordo com a AASHTO (1993), para determinar a espessura de cada camada de solo, deve-se relacionar o número estrutural de cada camada subtraindo o número estrutural das camadas superiores, dividindo pelos seus respectivos coeficientes estruturais e drenantes, conforme as equações abaixo:

- A espessura do revestimento é então calculada pela equação:

$$D1 = \frac{SN1}{a1} \quad [IX]$$

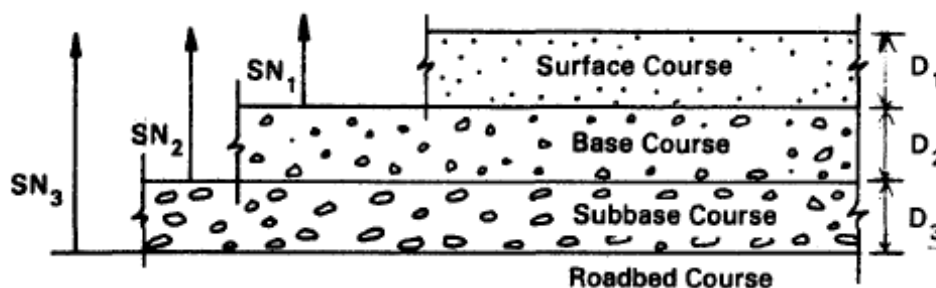
- A espessura da base é então calculada pela equação:

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 \times m2} \quad [X]$$

- A espessura da sub-base é então calculada pela equação:

$$D3 = \frac{SN3 - (SN1 + SN2)}{a3 \times m3} \quad [XI]$$

**Figura 16 – Estrutura de pavimentos flexíveis**



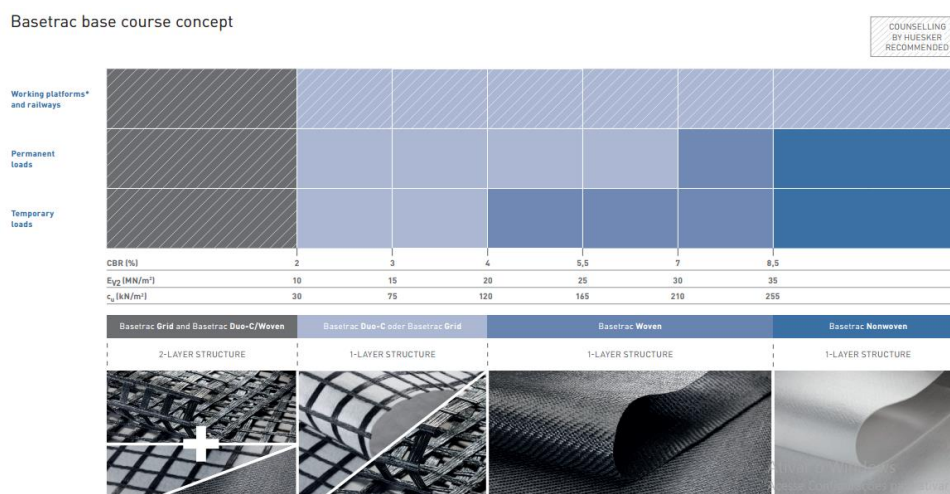
Fonte: AASHTO,1993



## 4.2 ESCOLHA DO GEOSSINTÉTICO

Foi utilizado a geogrelha da fabricante alemã, HUESKER. A determinação do produto reforçado aplicado no pavimento levou em consideração as informações obtidas nos ensaios de ISC – Índice de Suporte Califórnia. Empregou-se o menor valor do CBR obtido, estipulando a Basetrac Grid como reforço ideal para a estrutura.

**Figura 17 – Catálogo para escolha da geogrelha**



Fonte: HUESKER,2017

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o redimensionamento dos pontos localizados no trecho da TO-444/447 entre a cidade de Paraíso Tocantins e a Chapada de Areia com a aplicação da geogrelha, precisou-se de informações que o guia da AASHTO estabelece. De acordo com a equação VI, os dados que são compatíveis com o pavimento estudado são:

**Tabela 11 – Dados de projeto para estrutura a ser dimensionada**

$\Delta PSI$	2,2
$W18$	$N = 1,5 \times 10^5$
$M_R$	3000
$Z_R$	90%= -1,282
$S_0$	0,35

$TBR$	2,0
$a1$	0,20
$a2$	0,14
$a3$	0,10
$mi$	1,25

Fonte: JOSEPHAN, 2017

De acordo com os dados obtidos acima, foi utilizado como ferramenta de cálculo, o programa Excel, obtendo o número estrutural  $SN_{BR}$  de acordo com a imagem a seguir:

Figura 18 – Resultados de cálculo através do Excel

1. W18	150.000				
$Z_r$	-1,282	ZR			
Desvio padrão	0,35	So			
$\Delta PSI$	2,20	DPSI			
2. Módulo de Resiliência $M[i]$	3000	psi			
		Revestimento	Base	Reforço subl	Subbase
$a[i]$	0,20	0,14		0,10	
$D[i]$ , polegadas	0,98	7,09		7,09	pol
$m[i]$		1,25		1,25	
3. Confiabilidade %	90	R			
Serventia inicial e final	Po	Pt			
$\Delta PSI$	4,20	2,00			
SN fornecido	2,32				
SN necessário	2,00	Adequado	<i>Sn Fornecido deve ser &gt; Sn Necessário</i>		
$\log_{10}(W18/TBR) =$	4,88	lado direito			
	3,79	lado esquerdo			
célula alvo	1,083				

Fonte: JOSEPHAN, 2017

De acordo com a equação acima, temos que o  $SN_{BR}$  estrutural do pavimento considerando o reforço da geogrelha é de 1,083. De acordo com o DNIT (2006), para  $N \leq 10^6$ , é utilizado tratamento superficial betuminoso, considerando um tratamento superficial duplo de 2,5 centímetros (0,98 polegadas), bem como as espessuras de base e sub-base de projeto executivo, 18 centímetros (7,09 polegadas). Resultando de acordo com a equação VI o somatório de 2,32, sendo determinado para cada camada da estrutura os valores:  $SN_1=0,1968$ ;  $SN_2=1,241$  e  $SN_3=0,886$ .

O resultado de 1,083 - número estrutural do pavimento já era esperado, uma vez que o módulo de resiliência do solo teve grande influência, por se tratar do tipo

de solo A-4 e A-5(solo siltosos e argilosos). Sendo solos com baixa capacidade de reforço, bem como maior teor de umidade (argila) e poucos rígidos.

O valor alto de TBR, para os projetos, aperfeiçoam o material geossintético e provoca variações sobre a espessura das camadas de solo do pavimento.

Utilizando as equações IX, X e XI têm-se as espessuras das camadas do pavimento já convertidas para centímetros:

- Revestimento: Tratamento Superficial Duplo (TSD) com 2,49 cm de espessura;
- Base: Solo estabilizado granulometricamente com 15,16 cm;
- Sub-base: Solo estabilizado granulometricamente com 11,61 cm;
- Geogrelha *Basetrac Grid* posicionada entre a Base e Sub-base.

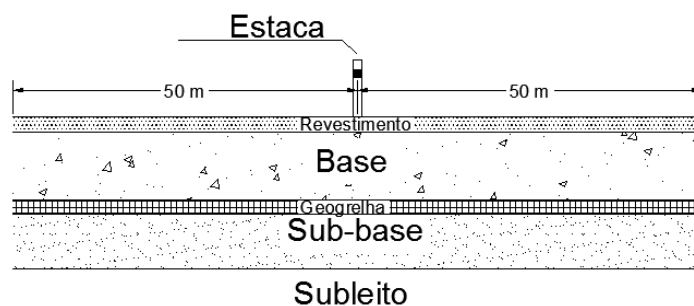
De acordo com o DNIT (2006) a espessura mínima para construir as camadas de solo de um pavimento é de 15 cm. Concluindo – se então:

- Revestimento: Tratamento Superficial Duplo (TSD) com 2,5 cm de espessura;
- Base: Solo estabilizado granulometricamente com 16 cm;
- Sub-base: Solo estabilizado granulometricamente com 15 cm;
- Geogrelha *Basetrac Grid* posicionada entre a Base e Sub-base.

Foi estudado em seis pontos estratégicos da TO-444/447, a utilização da geogrelha *Basetrac Grid* da fabricante Huesker. Estes locais foram escolhidos para o reforço de base do pavimento, pois possuem Índices de Suporte Califórnia inferior a 4%, sendo classificados como: silte arenoso amarelo, silte roxo, silte arenoso, areia siltosa com pedregulhos e silte argiloso.

Serão colocadas nas estacas 740,1246,1256,1262,1410 e 1430, adotando 100 metros da malha estrutural de acordo com a imagem abaixo:

**Figura 19 – Perfil do pavimento utilizando geogrelha na TO**



**Fonte: JOSEPHAN,2017**

A geogrelha Basetrac Grid faz parte da classe das geogrelhas tecidas, possui revestimento polimérico e tem resistência à tração bidirecional até 80 KN/m. Através da sua resistência à tração, a Basetrac Grid se opõe a deformação lateral da camada de base, retendo o material que o constitui, atuando também como forma de compactação de base sobre subleito mole assegurando maior eficiência ao projeto, elevando a capacidade de suporte nas camadas e menores deflexões.

## **6 CONCLUSÃO**

Percebeu-se que a partir dos resultados de ensaio que serviram de parâmetro para a elaboração do projeto de pavimentação do trecho da TO-444/447, que liga Paraíso – TO a Chapada de Areia – TO, há locais onde as características do solo encontrado são propícias a inclusão do geossintético para reforço do pavimento.

Essa inclusão faz com que seja possível a diminuição das espessuras de camadas do pavimento, o que leva a possíveis menores custos de execução e impacto positivo ao meio ambiente por significar menor volume explorado em jazidas.

No caso estudado a diminuição das camadas de solo foi pequena, pois saiu de 18 cm adotado inicialmente para uma indicação de 15 cm, que é o mínimo construtivo para camadas granulares de pavimento. Mas o número calculado foi bem inferior ao adotado inicialmente, o que demonstra que em outras situações (maior exigência de carga, por exemplo, onde a camada de projeto seria mais espessa) poderia ter-se uma redução mais significativa.

Para as análises de aplicabilidade da geogrelha no trecho da TO 444/447, pode ser utilizado como temas para trabalhos futuros, a diferença dos custos

orçamentários para a rodovia com e sem a utilização da geogrelha; análise da deformabilidade do solo com a utilização da geogrelha para a rodovia da TO-444/447 com aplicação de cargas no perfil do pavimento;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, P. R.; VERTEMATTI, J. C. Introdução. In: VERTEMATTI, J. C. (Coord.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- AL-QADI, I.L. et al. **Synthesis on use of geosynthetics in pavements and development of a roadmap to geosynthetically-modified pavemnts**. Federal Highway Administration, 2008.
- AL-QADI, I.; TUTUMLUER, E. **Pavement base reinforcement with geogrids – modeling the aggregate interlock mechanism**. *Geo-Strata*. Vol. 13. Nº 3, 2009.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures**. 1 ed. Washington: American Association Of State Higway And Transportation Officials, 1993.
- BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; VICENTE, José Caixeta Filho. **Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso**. *Rev. Econ. Sociol. Rural*[online]. 2008, vol.46, n.3, pp.703-738. ISSN 0103-2003.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica - Materiais, Projeto e Restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al (Org.). **Pavimentação asfáltica - Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, 2006.
- BRANCO, F., Paulo, F., & Santos, L. P. (2008). **Pavimentos Rodoviários**. Almedina.
- BRITO, Lélío Antônio Teixeira; GRAEFF, Ângela Gaio. **Métodos de Dimensionamento de Pavimentos – Metodologias e seus Impactos nos Projetos de Pavimentos Novos e Restaurações**. Porto Alegre: Prime Engenharia, 2009.
- CAPELA, Helder Torrão. **Reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis**. 2015. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da

Construção, Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2015.

CEPSA – COMPANHIA ESPANHOLA DE PETRÓLEOS. **Manual de Pavimentação**. Lisboa: Naranja, 2014.

CICHINELLI, Gisele. **Recuperação e reforço de pavimentos**. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/37/artigo3087463.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2016.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de pavimentação**. 2. ed. IPR Publicação n. 697/100. Rio de Janeiro: DNER, 1996. 320p

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de implantação básica da rodovia**. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

FONSECA, Leonardo Lacerda. **Avaliação em laboratório do comportamento de camadas asfálticas reforçadas com geossintéticos**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfáltico - SISPAV**. 2007. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

FRANCISCO, Ana Paula Santos. **Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Construção, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2012.

GÓNGORA, Ivonne Alejandra M. Gutiérrez. **Estradas não pavimentadas reforçadas com geossintéticos: Influência de propriedades físicas e mecânicas do reforço**. 2015. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

HOLTZ, D.; **Prediction for roadways with geosynthetic separators**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSYNTHETICS, 6., Atlanta, 1998.

ITA, Renata Gandra Lages-PG; ITA, Delma Vidal-PQ. **Métodos convencionais no dimensionamento de pavimentos com base reforçada utilizando geossintéticos**. CEP, v. 12228, p. 901.

KAKUDA, F.M. **Aplicações de geossintéticos em estruturas de pavimentos flexíveis**. Exame de qualificação ao doutorado. EESC-USP. São Carlos, 2009.

KAKUDA, Francis Massashi. **Desenvolvimento e a utilização de um equipamento de grandes dimensões na análise do comportamento mecânico de uma seção de pavimento sob carregamento cíclico**. 2010. 288 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2010.

LABREGA, M. D.; BUCKINGHAM, P.L; EVANS, J. C. **Hazardous Waste Manegement**. Boston: McGraw Hill. 2nd. Ed., 2001.

LAO, V.L.E.S.T.; RAMOS, C.R. **Estudo e emprego de grelha polimérica anti-reflexão de trincas em pavimentos flexíveis**. XV Congresso ÍberoLatinoamericano do Asfalto (CILA). Lisboa, 2009.

NORMA BRASILEIRA. **NBR 12553**: Geossintético - Terminologia. São Paulo: Novo Século, 2003.

NOGUEIRA, Cecília Maria Alvarenga Santos do vale. **Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis**. 2004. 240 f. Dissertação



(Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, 2004.

PEREIRA, P. A., & Miranda, V. (novembro 1999). **Os Métodos e Programas de Apoio à Gestão dos Pavimentos da Rede Rodoviária Nacional**. In C. R. Português, Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários.

PINTO, S. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos**. 1991. 478 f. Tese (Doutorado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

SENÇO, W. (2007). **Manual de Técnicas de Pavimentação. (2 ed., Vol. 1)**. São Paulo: Pini.

TAVARES, Pedro Julião Figueiredo. **Reforço de subestruturas de vias férreas com geossintéticos**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

TEIXEIRA, Jonas Henrique. **Algumas metodologias de avaliação de pavimentos de baixo volume de tráfego**. 2012. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

VERTEMATTI, José Carlos. **Curso básico de geotêxteis**. São Paulo: Abint, 2003.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Blucher, 2015.