

## **ASFALTO ECOLÓGICO: GEOGRELHAS PRODUZIDAS A PARTIR DE BORRACHA DE PNEUS**

RIBEIRO, João Vinícius de França <sup>1</sup>; ROCHA, Jônatas de Souza <sup>1</sup>;  
Prof. Me. Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena <sup>2</sup>

Universidade São Francisco

**joao.vinicius@mail.usf.edu.com.br; jonatas.rocha@mail.usf.edu.br;**

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

<sup>2</sup> Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

**RESUMO.** Parar para olhar a história da pavimentação nos faz pensar sobre a própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, aquisições territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, crescimento, facilidades econômicas e desenvolvimento. Pois assim, como os pavimentos, que são constituídos de várias camadas, a história da humanidade também é constituída de diversas camadas. Com foco na sustentabilidade, no custo-benefício e na durabilidade, este artigo tem como objetivo desenvolver uma geogrelha (Eco-geogrelha) a partir da borracha de pneus descartados. Para alcançar esse propósito, será empregada uma metodologia exploratória, na qual os pneus serão cortados em tiras que, posteriormente, serão utilizadas na montagem da estrutura da geogrelha, sendo uma solução inovadora para reforçar pavimentos asfálticos e promovendo o reaproveitamento de materiais descartados inadequadamente, como pneus, que além de representarem um problema ambiental, podem ser reutilizados de forma criativa e funcional.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Reaproveitamento; Pavimentação.

### **INTRODUÇÃO**

Parar para olhar a história da pavimentação nos faz pensar sobre a própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, aquisições territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, crescimento, facilidades econômicas e desenvolvimento. Pois assim, como os pavimentos, que são constituídos de várias camadas, a história da humanidade também é constituída de diversas camadas.

Desde tempos passados, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí serem uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas. (MOTTA et al., 2022). Quanto mais rodovias e ruas vamos criando, mais carros temos em movimento, por consequência disso teremos mais resíduos poluentes sendo jogados para o meio ambiente e materiais sendo descartados de formas incorretas na natureza.

O pneu um dos materiais existentes em veículos, possui diversas funções essenciais no desempenho de veículos: suportam o peso, transmitem forças, proporcionam aderência, absorvem impactos e auxiliam na eficiência energética, porém quando o pneu atinge o limite de desgaste é preciso descartá-lo por outro em boas condições. O descarte inadequado de pneus representa um grave problema ambiental, pois eles demoram séculos para se decompor, ocupam muito espaço em aterros e podem acumular água, favorecendo a proliferação de

vetores de doenças. Além disso, a queima irregular libera gases tóxicos. A reciclagem e o reaproveitamento são soluções para minimizar esses impactos.

Com foco na sustentabilidade, no custo-benefício e na durabilidade, este artigo tem como objetivo desenvolver uma geogrelha a partir da borracha de pneus descartados. Para alcançar esse propósito, será empregada uma metodologia exploratória, na qual os pneus serão cortados em tiras que, posteriormente, serão utilizadas na montagem da estrutura da geogrelha.

### *Pavimentos*

Os pavimentos são estruturas formadas por diferentes camadas com espessuras finitas, posicionando-se no relevo final da terraplanagem, com o objetivo primordial de resistir aos esforços verticais originados pelo tráfego, e aos esforços horizontais decorrentes dos desgastes, tornando as condições de rolamento cada vez melhores quanto à segurança e ao conforto, e aumentando sua durabilidade.

[...] Pode-se ainda definir pavimento como uma estrutura composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, com a função de atender estrutural e operacionalmente o tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível. (BALBO, 2007, p. 02)

As camadas da pavimentação asfáltica possuem uma imensa importância, pois todas unidas formam um composto único, necessário para suportar cargas em movimentações por todo o tempo, então necessita-se que seja algo com uma durabilidade gigantesca, para isto é adicionado compostos para aumentar sua rigidez e ajudar no tempo de vida do asfalto.

[...] Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. Os pavimentos são projetados para que cada camada tenha uma certa espessura e rigidez e que o sistema de camadas responda com uma rigidez conjunta adequada às condições climáticas e geométricas do local e ao tráfego, durante sua vida de projeto”. (MOTTA et al., 2022, p. 11)

Quando falamos sobre pavimentação devemos lembrar de suprir algumas necessidades básicas para que seu uso e fluxo seja extremamente correto, para começar a formação de grandes rodovias e estradas, precisa-se fazer a eliminação de sua camada vegetal e nivelamento de solo, porém ao retirar esta camada vegetal, o acesso a águas pluviais ficam sem destino, havendo necessidade de fazer uma canalização correta, rede e direcionamento preciso da água de chuva, para que não haja inundações, desbarrancamentos ou erosões pelo caminho e trajeto no qual a água seguir.

Sob essa perspectiva, os aspectos do pavimento precisam suprir, o máximo possível, algumas necessidades, como resistência ao desgaste, estrutura com adequada capacidade de transporte, não gerar níveis elevados de ruídos ou desgastes excessivos nos pneus, fornecer

suavidade no deslocamento, ser resistente aos esforços climáticos, apresentar resistência satisfatória contra derrapagens e viabilizar o escoamento das águas.

Os pavimentos podem ser definidos em dois tipos principais, como rígidos, onde o revestimento possui alta rigidez se comparado com as camadas inferiores, e flexíveis, no qual todas as camadas sofrem deformações elásticas ao estarem sob esforço. Em ambos os casos, um dos cuidados mais importantes relaciona-se com a captação e a drenagem de águas pluviais, que interferem diretamente na qualidade e conservação de rodovias.

[...] Os critérios para a seleção dos materiais utilizados devem ser analisados com cautela, de tal maneira que seja obtida a melhor solução possível. No contexto da infraestrutura de transportes, os critérios são: disponibilidade, qualidade e transporte dos materiais, que são os que mais pesam no custo final, além de influenciar nas questões ambientais. (BRAGA, 2018, p. 16)

O pavimento flexível acaba requerendo grandes espessuras das camadas, uma vez que utiliza materiais deformáveis e recebe grandes cargas, ou devido ao fato de que, muitas vezes, são empregados materiais sem qualidade garantida. Com isso, as espessuras asseguram que a tensão seja inferior à resistência do solo de fundação.

No dimensionamento dos pavimentos flexíveis são utilizados os métodos empíricos, nos quais consideram-se as experiências acumuladas, que são relacionadas ao desempenho apresentado pelo pavimento com seus materiais construtivos. É benéfico, especialmente, por sua facilidade, tendo-se que os ensaios para a identificação dos parâmetros são simples e dispensam equipamentos sofisticados. Assim, há maior agilidade na geração dos dados combinada a menores custos. Entretanto, não se pode generalizar os resultados para todas as regiões, devendo sempre ser analisado o tipo de material e as condições de tráfego em cada situação.

No pavimento flexível, todas as camadas sofrem deformação elástica quando recebem aplicação de carregamento, fazendo com que a carga seja distribuída em partes consideravelmente equivalentes ao longo da sua composição. Comporta o revestimento betuminoso e os materiais mais largamente aplicados são o asfalto, que constitui a camada de revestimento, o material granular que forma a base, e o solo ou outro material granular que compõe a sub-base. De acordo com (MOTTA et al., 2022), “O revestimento asfáltico é a camada mais nobre do pavimento, sendo necessária nessa camada a adoção de espessura que venha a aumentar a resistência e assegurar eficiência”.

Já o pavimento rígido é formado através de duas camadas principais, que é a base e o revestimento, formada através do cimento Portland. As placas que formam o revestimento podem ser executadas através de diferentes tipos de concretos, armadas com barras de aço ou não. Com relação aos cimentos mais amplamente utilizados e considerados como adequados para o PCS, Balbo (2007) afirma que são o Portland comum – CP-I, Portland composto – CP-II, Portland de alto forno – CP-III e o Portland pozolânico – CP-IV.

Hoje no Brasil, existem mais de 250 aplicações de asfaltos em diferentes locais da engenharia, desde rodovias e aeroportos até tintas, telhados e revestimentos de tubulação de água, sua maior porcentagem fica concentrada em rodovias, estradas e ruas que fazem a ligação de veículos de norte a sul do país. Para cada um de seus métodos onde o asfalto é utilizado, todo o material passa por um estudo estrutural e de seus agregados.

Para uma boa durabilidade dos pavimentos é necessário adicionar aditivos e estabilizantes aos materiais das camadas de pavimento ajudando assim na sua durabilidade e resistência, uma outra boa solução para ampliar a durabilidade e resistência dos pavimentos é a inclusão de estruturas que colaboram para a não desagregação dos materiais das camadas do pavimento, entre essas estruturas pode-se utilizar pneus inteiros ou geogrelhas.

### *Geogrelha*

As rodovias são o meio de transporte mais usado para locomoção de pessoas, aumentando também o desenvolvimento das cidades, com isso é necessário um bom investimento nas pavimentações em todo o mundo, visando sempre uma boa durabilidade do asfalto, resistência a cargas pesadas e prevenção de trincas e fissuras, o método conhecido como geogrelha, tem como objetivo todos esses propósitos, aumentar a durabilidade do asfalto, ajudando a evitar trincas com o tempo e garantindo uma ótima flexibilidade devido ao seu formato igual ao malha de aço, ajudando assim nas cargas recebidas nas pavimentações.

As geogrelhas têm como sua característica reduzir a camada do asfalto, criar um reforço nas estradas mas sempre proporcionando as mesmas intenções do asfalto normal, reduzindo custos e aumentando a vida útil das rodovias e estradas.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003), os geossintéticos possuem uma classificação para serem seguidas, onde cada tipo de método considerado como geossintético possui funções distintas um do outro. A geogrelha é usada como um reforço, devido a sua alta funcionalidade a tração, sendo considerada unidirecional quando sua tração está apenas em uma direção e bidirecional quando trabalha com tração nas duas direções, seu conceito colabora para que a rodovia ou estrada reduza suas deformações com o tempo, sua estrutura é desenvolvida junto com fibras de elasticidade, proporcionando maior absorção de cargas conforme seu trecho onde for usada.

Para usarmos o geossintético geogrelha, precisamos obter informações sobre onde o método será utilizado, para isso é feito um dimensionamento sobre onde será feito a pavimentação, calculando cargas e quantidades de tráfego de veículos, para este dimensionamento é necessário usar os tipos certos de veículos que trafegam naquela região, no caso os veículos comerciais, como os caminhões e ônibus, veículos leves não causam danos significativamente no asfalto onde se circula, os veículos comerciais possuem quantidades de eixos diversificadas variando conforme o veículo, transmitindo ao asfalto uma grande quantia de carga em movimento, gerando com o tempo danos ao asfalto. De acordo com Lima (2017), “Para o dimensionamento e análise dos pavimentos, os veículos comerciais rodoviários (caminhões e ônibus) são os que efetivamente importam, uma vez que os veículos leves não causam danos significativos às estruturas”(p.33).

Usando o método geossintético geogrelha como um agregado a mais na hora da pavimentação, criando se outra camada no pavimento conseguimos com o passar dos anos uma maior durabilidade do asfalto e resistência às cargas pesadas, a flexibilidade do método geogrelha no asfalto faz com que os veículos andem com mais tranquilidade garantindo uma maior segurança para todos os motoristas. Segundo Lima (2017), “A pavimentação tem como objetivo garantir condições de deslocamento confortáveis e seguras, através de estruturas e

materiais capazes de resistir aos esforços decorrentes da ação do tráfego atrelados às condições climáticas”(p.14).

As geogrelhas possuem uma grande função quando usadas em uma rodovia, garantindo uma boa durabilidade do asfalto e deixando-o com espessura mais fina, gerando um rendimento melhor e baixo custo na hora da pavimentação.

Conforme o passar dos tempos, o meio mais utilizado para tráfego de pessoas através de veículos automotores são rodovias, estradas e ruas, sob circunstâncias de cargas, temperatura variável, ações do tempo, etc., surgem trincas e afundamentos, surgindo assim a necessidade de estudos e métodos para melhor durabilidade da pavimentação asfáltica, sendo o modo sintético uma opção para esta melhor durabilidade. O uso dos geossintéticos na pavimentação, pode reduzir a reflexão de trincas de uma camada de pavimento para outra e aumentar a resistência do conjunto pavimentado. (SOUZA et al., 2019, p.3).

A geogrelha é um material composto por uma estrutura polimérica e plana, com o objetivo de resistir a tração possuindo um formato de malha retangular, esta geogrelha é adicionada como uma camada na pavimentação asfáltica junto de seus agregados, solo, pó de pedra e asfalto, surgindo assim um reforço nas camadas das rodovias introduzidas com este método.

Visando baixo custo na execução do asfalto e boa durabilidade da pavimentação, o método geogrelha apresenta ótimas funções neste quesito, gerando menos impacto de patologias, mais durabilidade, agilidade e conforto para as pessoas. A adição de uma camada a mais no asfalto como reforço asfáltico, é imprescindível, com o tempo evita-se trincas e garante uma melhor durabilidade.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Este artigo tem como objetivo desenvolver uma geogrelha de pneu reciclável (eco-geogrelha<sup>1</sup>), utilizando borracha proveniente de pneus descartados, promovendo uma alternativa sustentável e econômica para o reaproveitamento desse material.

O processo será conduzido por meio de uma metodologia exploratória, que envolve diferentes etapas cuidadosamente planejadas.

Inicialmente, os pneus descartados serão coletados e submetidos a um processo de corte, no qual serão transformados em tiras de borracha de tamanho adequado para a aplicação pretendida.

---

<sup>1</sup> Nome escolhido pelos autores como referência ao fato de serem produzidas a partir de pneus desgastados, que originalmente seriam destinados ao descarte.

FIGURA 1 - Pneu utilizado para experimento.  
Fonte: Os autores.



O pneu coletado para o ensaio era um modelo desgastado e fora de uso, destinado ao descarte, com sinais de envelhecimento e sulcos abaixo do limite regulamentar, tornando-o inadequado para circulação e ideal para reaproveitamento no experimento.

Através do uso de Epi, uma esmerilhadeira e um disco de corte para ferro, foram feitos cortes no meio do pneu, gerando uma tira maior de borracha e conseqüentemente dividida em tiras menores.

FIGURA 2 - Pneu já cortado em tiras.  
Fonte: Os autores



Essas tiras, em seguida, passaram por uma etapa de preparação e organização, onde foram ajustadas para garantir a uniformidade necessária à montagem.

Esta eco-geogrelha é composta de borracha reciclada, extraída de pneu já usado, grudadas umas às outras através do seu próprio fio arame existente no centro da borracha, formando um só corpo todos os pedaços de borrachas interligadas.

Para o recorte das tiras menores, foram feitos cortes com o uso de uma faca para pão inox, conseguindo assim obter tiras mais finas para o uso. Já em laboratório, com todas as tiras de pneus cortadas e todos os materiais em mãos, começamos a montar o sistema geogrelha de borrachas, usando o auxílio de alicates, foi feito a retirada dos arames da borracha e interligados nas outras borrachas, buscando gerar o formato de uma geogrelha, para adicionarmos ela como uma camada a mais no solo.

FIGURA 3 - Geogrelha criada através da emenda das borrachas

Fonte: Os autores



Por fim, as tiras serão unidas e fixadas de maneira a formar a estrutura final da geogrelha, assegurando sua funcionalidade e durabilidade para as aplicações desejadas.

Na sequência foram produzidos corpos de prova no equipamento de Marshall, os corpos de prova serão compostos de solo vermelho (laterítico), pedrisco e pó de pedra além da inclusão da Eco-geogrelha (geogrelha produzida pelos autores)

FIGURA 4 - Equipamento compactador manual Mini Marshall

Fonte: Os autores



Todo esse processo foi realizado no laboratório de Geotecnia da Universidade São Francisco e algumas etapas foram realizadas em ambiente externo ao campus.

O estudo usou como referência a norma NBR 15785 que trata sobre a execução de corpos de prova em equipamentos Marshall, adaptado para um experimento de solo composto, não apenas com misturas betuminosas, como determina a norma NBR 15785.

## APARELHOS E EQUIPAMENTOS

- a) Esmerilhadeira Bosch 9 polegadas 220v;
- b) Disco de esmerilhadeira para ferro 9 polegadas, compondo a esmerilhadeira Bosch;
- c) Faca para pão de aço inox;
- d) Alicates de bico;
- e) Alicates universal;
- f) Alicates de corte;
- g) Tesoura de aço inox ponta fina;
- h) Peneira de 2,36mm, conforme pede-se DNER-EM 035/95, para análise e peneiramento de solo em estudo;
- i) Compactador Manual Marshall;
- j) Soquete para compactação, em aço, possuindo um peso de 4.540 g e uma altura em queda livre de 45,72cm, compondo o Compactador Manual Marshall;
- k) Balança de panificação com peso máximo de 5.000g;
- l) Molde extrator para compactação de corpos de prova 10cmX20cm, dois anéis com travas em cima e em baixo;
- m) Colher de metal 10cmX30cm e com capacidade para armazenar de (25-50)ml;
- n) Espátula fina de 5cm;
- o) Seringa de 20ml;
- p) Prensa de concreto;

O material usado para este experimento foi criado e elaborado pelos autores do artigo, seguindo o formato de um geossintético geogrelha, elaborou-se uma geogrelha de pneu reciclável (eco-geogrelha), buscando ajudar em uma solução simples e objetiva, retendo o grande acúmulo de pneus usados em aterros sanitários e outros que são descartados diretamente ao meio ambiente, prejudicando-o e poluindo o solo.

Os materiais para os corpos de prova foram:

**Agregados** - Para a moldagem de cada amostra usamos os materiais granulares, pó de pedra e pedrisco, não possuindo tamanho específico ou peso, com formato irregular um do outro.

**Solo** - Dentro do campo da engenharia civil segue como conceito a definição de solo qualquer local onde com possua degradação de rochas ou decomposição de vegetais. O solo adotado para este ensaio foi o mais comum encontrado no Brasil, o solo latossolo vermelho.

**Asfalto a frio** - É um material usinado a quente possuindo sua base com concreto betuminoso, no qual é composto por materiais similares ao asfalto convencional, porém aditivado. Sua utilização serve para prevenir buracos e fazer recapeamentos. Para o experimento foi utilizado para formar a camada de revestimento na pavimentação, substituindo o asfalto a quente devido, que por sua vez possui um meio de locomoção com muito mais facilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

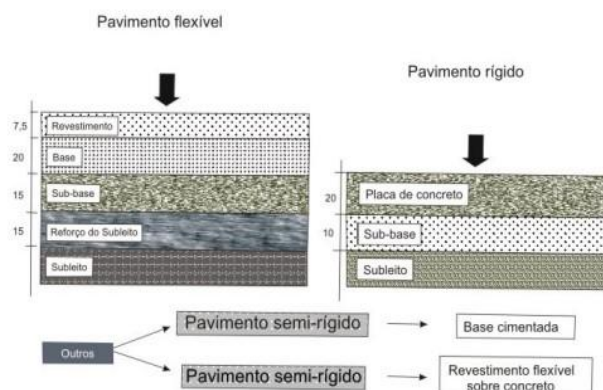
Embora a norma recomenda a produção de cinco corpos de prova para cada condição, a limitação de tempo e de acesso ao campus já que os autores residem em cidade diferentes e distantes do campus impossibilitou a produção da quantidade exigida pela norma, mesmo assim, foram produzidos 4 corpos de prova em condições diferentes.

O primeiro corpo de prova seguiu os padrões das normas direcionadas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Enquanto os outros 3 corpos de prova produzidos foram submetidos a composições diferentes em suas camadas.

A estrutura de camadas proposta pelo DNIT (2010) é apresentada logo abaixo na figura 5.

FIGURA 5 - Altura das camadas da pavimentação (dimensões em centímetros).  
Fonte: : DNIT, Manual de Implantação Básica de Rodovia, 2010.



Através das orientações apresentadas na figura 5, teve início a elaboração dos corpos de prova, seguindo a especificações, DNIT(2010) e norma NBR 15785.

Considerando como a camada inicial de uma estrutura para a pavimentação e por direções de ordens técnicas, o pavimento é uma estrutura de camadas, assentado sobre um subleito.

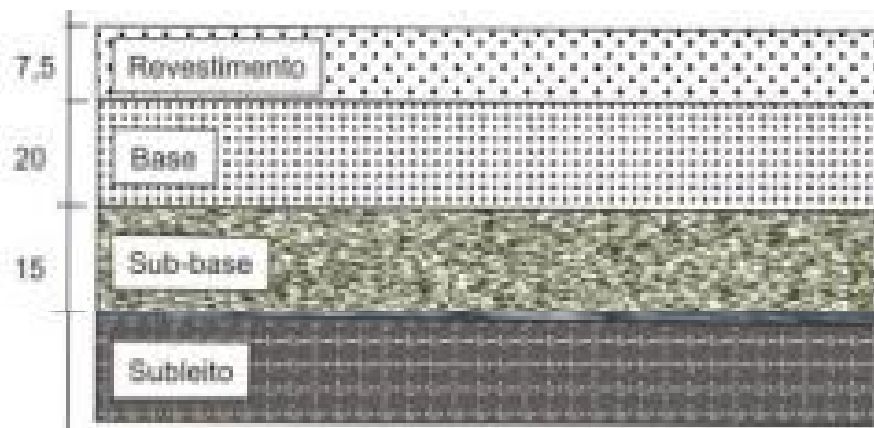
Já a sub-base diminui a necessidade de se fazer uma base com uma camada mais alta, ajudando também nas distribuições dos esforços.

A base tem por sua vez características estruturais definidas com muita rigidez e durabilidade, com qualidades superiores à da sub-base, por cima desta base, vem o revestimento de asfalto, no qual recebe forças diariamente e constantemente por conta do tráfego de automotores.

Para a produção do primeiro corpo de prova, foi utilizado o esquema apresentado na Figura 6, logo abaixo, semelhante às condições de um pavimento flexível.

FIGURA 6 - Altura das camadas da pavimentação (dimensões em milímetros). Esquema 1.

Fonte: : Os autores



Optou-se por adotar a altura em milímetros, para o corpo de prova, apesar do esquema estar representado em centímetros, pois a altura do cilindro não permitiria a fabricação de um corpo de prova tão alto.

FIGURA 7 - Corpo de Prova 1. Esquema 1.

Fonte: : Os autores

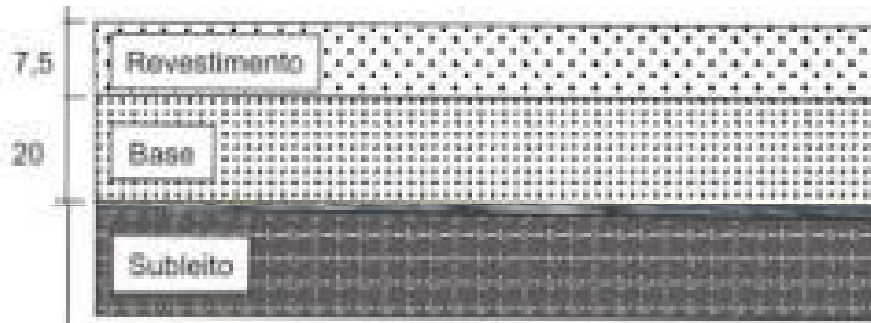


De baixo para cima, foi usado solo laterítico como subleito, pedrisco como sub-base, pó de pedra como base e asfalto a frio como revestimento.

Para a produção do segundo corpo de prova, foi utilizado o esquema apresentado na Figura 8, logo abaixo, também semelhante às condições de um pavimento flexível, e foi retirada a camada da sub-base, pela dificuldade de manter os agregados graúdos estáveis após a extração do corpo de prova.

FIGURA 8 - Altura das camadas da pavimentação (dimensões em milímetros). Esquema 2.

Fonte: : Os autores



Novamente optou-se por adotar a altura em milímetros, para o corpo de prova, apesar do esquema estar representado em centímetros, pois a altura do cilindro não permitiria a fabricação de um corpo de prova tão alto.

FIGURA 9 - Corpo de Prova 2. Esquema 2.

Fonte: : Os autores



De baixo para cima, foi usado solo laterítico como subleito, pó de pedra como base e asfalto a frio como revestimento.

1ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 380g de solo laterítico + 40ml de água através de uma seringa, junto de um cadinho e espatula, foi feito a mistura e adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 20mm.

2ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 451g de pó de pedra + 10ml de água através de uma seringa, junto de um cadinho e espatula, foi feita a mistura e adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 20mm.

3ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 257g de asfalto, adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 7,5mm.

Para a produção do terceiro e quarto corpo de prova, foi novamente utilizado o esquema apresentado na Figura 8, logo acima, também semelhante às condições de um pavimento flexível, e também foi retirada a camada da sub-base, pela dificuldade de manter os agregados graúdos estáveis após a extração do corpo de prova.

Novamente optou-se por adotar a altura em milímetros, para os corpos de prova, apesar do esquema da figura 8, logo acima, estar representado em centímetros, pois a altura do cilindro não permitiria a fabricação de corpos de prova tão altos.

FIGURA 10 - Corpo de Prova 3. Esquema 3.

Fonte : Os autores



De baixo para cima, foi usado solo laterítico como subleito, Eco-geogrelha como reforço, pó de pedra como base e asfalto a frio como revestimento.

1ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 380g de solo laterítico + 40ml de água através de uma seringa, junto de um cadinho e espatula, foi feita a mistura e adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 20mm.

2ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 451g de pó de pedra + 10ml de água através de uma seringa, junto de um cadinho e espatula, foi feita a mistura e adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 20mm.

3ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 257g de asfalto, adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 7,5mm.

FIGURA 11 - Corpo de Prova 3. Esquema 3. com eco-grelha

Fonte: : Os autores



Ao realizar a compactação percebeu-se que no local onde foi adicionado a Eco-geogrelha apresentou uma pequena fissura e ao realizar a extração a fissura persistiu, mas com uma consistência boa do corpo de prova.

FIGURA 12 - Corpo de Prova 4. Esquema 4.

Fonte: : Os autores



De baixo para cima, foi usado reforços de Eco-geogrelha em todas as camadas, solo laterítico como subleito, pó de pedra como base e asfalto a frio como revestimento.

1ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 380g de solo laterítico + 40ml de água através de uma seringa, junto de um cadinho e espatula, foi feita a mistura e adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 20mm.

2ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 451g de pó de pedra + 10ml de água através de uma seringa, junto de um cadinho e espatula, foi feita a mistura e adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 20mm.

3ª camada: Com o auxílio de uma balança, pesou-se 257g de asfalto, adicionado ao corpo de prova juntamente no equipamento de compactação, foram feitas compactação seguindo a NBR 15.785, a qual exige 75 golpes por camadas para execução de corpos de prova para tráfego pesado, atingindo a altura de 7,5mm.

Ao realizar a compactação percebeu-se que ao adicionar o reforço de Eco-geogrelha, perdeu-se a aderência da borracha com as camadas onde foram adicionadas e ao realizar a extração percebeu-se que os corpos de prova começaram a se desfazer devido a falta de aderência entre as camadas.

Depois de produzidos os corpos de prova, todos foram submetidos ao ensaio de compressão na prensa de concreto. O corpo de prova 1 não foi para prensa pois se desmanchou após a extração, a sub-base que foi usada pedrisco, não conseguiu manter uma estrutura rígida, sendo esfarelado logo após a sua retirada do extrator de corpo de prova.

O corpo de prova 2 foi para prensa e apresentou pequeno ganho de resistência, neste corpo de prova devido a alta qualidade da base, foi feita a remoção da sub-base, porém ocorreu uma falha ao realizar o registro visual do rompimento, porém os dados foram salvos e serão apresentados na tabela final.

O corpo de prova 3 foi para prensa e apresentou pequeno ganho de resistência em Mpa, neste caso, usamos a Eco-geogrelha entre a camada de subleito e base, e assim fizemos a compactação.

FIGURA 13 - Corpo de Prova 3 sendo rompido

Fonte : Os autores



Pode-se observar os seguintes fenômenos na figura 13, logo acima, a camada de pó de pedra apresentou a maior deformação em relação às outras camadas, porém os trechos mais próximos ao ponto reforçado mantiveram-se estáveis. A camada de solo não apresentou fissuras e a camada de asfalto foi atingida somente em suas extremidades. A Eco-geogrelha não obteve danos, ficando intacta após a prensa completa do corpo de prova, gerando uma boa impressão sobre o material criado.

O corpo de prova 4 foi para prensa e apresentou um ganho de resistência maior do que todas as outras amostras geradas, esta amostra por sua vez tinha a composição da Eco-geogrelha em todas as suas camadas.

FIGURA 14 - Corpo de Prova 4 sendo rompido

Fonte: : Os autores



Pode-se observar os seguintes fenômenos na figura 13, logo acima, a camada de pó de pedra apresentou a maior deformação em relação às outras camadas, porém os trechos mais próximos ao ponto reforçado mantiveram-se estáveis. A camada de solo não apresentou fissuras e a camada de asfalto foi atingida somente em suas extremidades.

Logo abaixo tem-se a Tabela 1, contendo os resultados de todas as amostras do ensaio à compressão obtidos a partir de toda metodologia apresentada, utilizando o compactador Marshall e a Prensa de concreto:

Tabela 1 - Resistência de cada corpo de prova

Fonte: : Os autores

Tipo de Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)
Corpo de Prova 1 Corpo de Prova com agregados graúdos Subleito, Sub-base, Base e Revestimento	— não foi possível aquisição de dados pois o corpo de prova se desmanchou a ser extraído
Corpo de Prova 2 Corpo de Prova sem Ecogrelha Subleito, Base e Revestimento	não foi possível aquisição de dados pois o corpo de prova se desmanchou a ser extraído
Corpo de Prova 3 Corpo de Prova com Ecogrelha na camada entre Subleito e Base	Após o rompimento deste corpo de prova, foi obtido o resultado de 0,20 Mpa
Corpo de Prova 4 Corpo de Prova com Ecogrelha em todas as camadas	Já neste caso, após o rompimento do corpo de prova, tivemos um resultado maior e bem significante 0,31 Mpa

Os resultados apresentados na Tabela 1 evidenciam que as amostras submetidas ao ensaio de compressão apresentaram um aumento pouco significativo ou relevante de resistência, demonstrando um desempenho muito baixo com a metodologia empregada, basta observar a coluna de resistência à compressão obtida.

Ainda através dos dados da Tabela 1 é possível considerar que a utilização do compactador Marshall e da prensa de concreto mostrou-se eficaz para a obtenção de dados confiáveis, permitindo avaliar o comportamento das amostras de forma clara e precisa. O emprego destes equipamentos demonstrou ser apropriado para a realização dos ensaios, validando sua aplicação para os objetivos do estudo. Mesmo que os valores obtidos tenham sido muito baixos, confirmam a viabilidade do processo experimental, reforçando a confiabilidade dos resultados.

Ainda recorrendo aos dados da Tabela 1, é possível considerar que a metodologia proposta não atingiu o esperado, porém cabe ressaltar que seria preciso aumentar a quantidade de corpos de prova produzidos e equacionar a proporção ideal de material por camada do pavimento, sendo assim ainda fica uma nova possibilidade de pesquisa.

## CONCLUSÃO

Devido a grande demanda de locomoção de automotores no mundo, é nítida a necessidade de métodos novos e inovadores visando sustentabilidade, durabilidade e custo benefício. O intuito deste artigo foi inovar criando uma Eco-geogrelha, mas as expectativas não foram atingidas com sucesso, ao adicionarmos a camada de Eco-geogrelha entre o solo e pó de pedra e Eco-geogrelha em todas as camadas, os corpos de provas perderam suas rigidez e ligantes.

Portanto em seus respectivos rompimentos não foram obtidos resultados superiores a 1 Mpa, para novos ensaios fica em aberto a utilização de um Compactador Eletromecânico Marshall gerando assim resultados mais específicos e compactação mais rigorosa devido seu sistema mecânico.

Esse estudo foi de muito aprendizado para todos os envolvidos, acrescentando muito conhecimento ao conteúdo estudado durante o curso de Engenharia civil e apresentando possíveis soluções para um problema na sociedade, que é a má qualidade das rodovias brasileiras.

## REFERÊNCIAS

MOTTA, L. M. G; SOARES, J. B; CERATTI, J. A. P; BERNUCCI, L. B; Pavimentação Asfáltica - Formação básica para engenheiros. 2º. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS. ABEDA, 2022.

SENÇO, W. D. Manual de técnicas de pavimentação. 2º. ed. amp. São Paulo: Pini, 2007. v. 1.

LIMA, D. R. B. Viabilidade econômica do uso de geogrelha aplicada na pavimentação rodoviária. Delmiro Gouveia - AL, 2017.

BRAGA, C. W. C. Dimensionamento de pavimento flexível. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2020. Disponível em:<  
<https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/3004/1/CAIO-BRAGA.pdf> >. Acesso em 22 set 2023.

BALBO, J. T. Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 560 p.

SOUZA, C; SILVA, L. Pavimentação com reforço de geogrelhas. Bragança Paulista - SP, 2019.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Manual de implantação de rodovia, 3ª edição. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT NBR 15785:2010 Misturas asfálticas a quente – Utilização da aparelhagem Marshall para preparação dos corpos de prova com diferentes dimensões e aplicações.