

GARDÊNIA RAMOS DE MOURA SANTOS

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SOLOS REFORÇADOS COM
GEOSSINTÉTICOS E TRATADOS COM ESTABILIZADOR QUÍMICO EM
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**

PALMAS – TO

2021

GARDÊNIA RAMOS DE MOURA SANTOS

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SOLOS REFORÇADOS COM
GEOSSINTÉTICOS E TRATADOS COM ESTABILIZADOR QUÍMICO EM
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Kenia Parente Lopes Mendonça.

PALMAS – TO

2021

GARDÊNIA RAMOS DE MOURA SANTOS

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SOLOS REFORÇADOS COM
GEOSSINTÉTICOS E TRATADOS COM ESTABILIZADOR QUÍMICO EM
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Kenia Parente Lopes Mendonça.

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Kenia Parente Lopes Mendonça

Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

1º Avaliador ou Avaliador Interno

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

2º Avaliador ou Avaliador Interno

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

PALMAS – TO

2021

RESUMO

SANTOS, Gardênia Ramos de Moura. **COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SOLOS REFORÇADOS COM GEOSINTÉTICOS E TRATADOS COM ESTABILIZADOR QUÍMICO EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas/TO. 2021. Professora Orientadora Kenia Parente Lopes Mendonça.

As estradas não pavimentadas são infraestruturas importantes no desenvolvimento econômico e social de todo o mundo, que permitem à população o acesso a bens e serviços. De forma a garantir a segurança e o conforto das pessoas que transitarão pelas vias, é importante assegurar as melhores condições de circulação através de soluções que garantam a menor deformabilidade e a conseqüente maior estabilidade das estradas não pavimentadas. No dimensionamento das estradas não pavimentadas é importante ter em conta todos os fatores externos e internos à sua construção, sendo importante realçar a importância do efeito do tráfego, das condições climáticas, da localização e dos materiais utilizados na estrada. Assim, de forma a garantir a estabilidade estrutural da via, são inseridas, no processo de construção, técnicas de reforço ou tratamentos de solo que permitem uma distribuição mais equilibrada da carga aplicada e um aumento da resistência do mesmo. O trabalho desenvolvido inclui, a caracterização das estradas não pavimentadas, a conceituação de geossintéticos e líquidos estabilizantes químicos, além dos diferentes tipos de líquidos existentes no mercado. O método de pesquisa utilizada neste trabalho é o estudo em revisão literária, realizado com pesquisas datadas de até cinco anos atrás, para se poder realizar a comparação sobre os dois métodos, onde foi analisado a influência, através de ensaios de pista onde se simula a passagem dos veículos e se mede a deformação da via, que o reforço e o tratamento (com dois líquidos estabilizadores químicos) possuem na deformabilidade de um solo, sendo a sua localização (no caso do reforço), importante na avaliação da sua competência funcional. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a localização do geossintético influencia a resistência do solo à deformação, e que os comportamentos são variáveis conforme a rigidez de cada geossintético ensaiado, e verificou-se uma acentuada melhoria nos resultados da análise da influência do tratamento do solo estudado. **Palavras-chaves:** comportamento de solos, estradas não pavimentadas, geossintéticos, estabilizante químico.

ABSTRACT

SANTOS, Gardenia Ramos de Moura. **COMPARISON OF THE BEHAVIOR OF SOILS REINFORCED WITH GEOSYNTHETICS AND TREATED WITH CHEMICAL STABILIZER ON UNPAVED ROADS**. 41p. Course Conclusion Work (Graduation) - Civil Engineering Course. Lutheran University Center of Palmas. Palmas / TO. 2021. Advisor Professor Kenia Parente Lopes Mendonça.

Unpaved roads are important infrastructures in economic and social development around the world, allowing the population to access goods and services. In order to guarantee the safety and comfort of people traveling along the roads, it is important to ensure the best circulation conditions through solutions that guarantee less deformability and the consequent greater stability of unpaved roads. When dimensioning unpaved roads, it is important to take into account all external and internal factors for their construction, and it is important to emphasize the importance of the effect of traffic, weather conditions, location and materials used on the road. Thus, in order to guarantee the structural stability of the road, reinforcement techniques or soil treatments are inserted in the construction process that allow for a more balanced distribution of the applied load and an increase in its resistance. The work carried out includes the characterization of unpaved roads, the conceptualization of geosynthetics and chemical stabilizing liquids, in addition to the different types of liquids on the market. The research method used in this work is the study in literary review, carried out with research dated up to five years ago, in order to be able to compare the two methods, where the influence was analyzed, through runway tests where the passing vehicles and measuring the deformation of the road, which reinforcement and treatment (with two chemical stabilizing liquids) have in the deformability of a soil, its location (in the case of reinforcement) being important in the assessment of its functional competence. According to the results obtained, it was found that the location of the geosynthetic influences the resistance of the soil to deformation, and that the behaviors are variable according to the stiffness of each tested geosynthetic, and there was a marked improvement in the results of the influence analysis of the studied soil treatment.

Keywords: soil behavior, unpaved roads, geosynthetics, chemical stabilizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrada não pavimentada.....	16
Figura 2: Diferentes camadas de um pavimento rodoviário	17
Figura 3: Representação de defeito em seção transversal (CRUZ 2005)	18
Figura 4: Seção transversal de estrada não pavimentada com e sem reforço (adaptado de Giroud e Noiray, 1981).....	20
Figura 5: Influência do Pure Crete na resistência do solo mole.	21
Figura 6: Fluxograma - Autor (2021)	22
Figura 7: Pormenor do solo reforçado com a geogrelha sobre a 2ª camada (1) e sobre a 3ª camada (2)	28
Figura 8: Pormenor do solo reforçado com geogrelha cruzada sobre a 1ª camada (1), sobre a 2ª camada (2) e efeito da passagem da roda (3)	29
Figura 9: Pormenor do solo reforçado com geotêxtil sobre a 1ª camada (1) e sobre a 3ª camada (2).	31
Figura 10: Pormenores do estado do solo não tratado após o ensaio de pista	32
Figura 11: Pormenores do estado do solo tratado, após o ensaio de pista nº 1.....	33
Figura 12: Pormenores do estado do solo tratado após o ensaio de pista com Ecolopavi	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica do solo em estudo para reforço em estradas não pavimentadas	25
Gráfico 2: Curva granulométrica do solo para o estudo do comportamento de solos tratados com estabilizante químico.....	25
Gráfico 3: Deformação do solo não reforçado com teores ótimos de umidade. (Proença 2018).....	26
Gráfico 4: Deformação do solo reforçado com geogrelha nas diferentes camadas.....	27
Gráfico 5: Deformação do solo reforçado com geogrelha cruzada nas diferentes camadas	29
Gráfico 6: Deformação do solo reforçado com geotêxtil nas diferentes camadas.....	30
Gráfico 7: Deformação do solo não tratado.....	32
Gráfico 8: Deformação do solo sem tratamento e tratado com diferentes percentagens do Pure Crete.	33
Gráfico 9: Deformação do solo sem tratamento e tratado com diferente número de camadas tratadas com o Pure Crete.	35
Gráfico 10: Deformação do solo durante o Ensaio 4.....	36
Gráfico 11: Deformação do solo sem tratamento e tratado para diferentes percentagens de Ecolopavi com carga leve.....	37
Gráfico 12: Deformação do solo sem tratamento e tratado para diferentes percentagens do Ecolopavi com carga pesada.....	39
Gráfico 13: Comparação dos ensaios referentes à utilização dos diferentes tipos de reforço.....	41
Gráfico 14: Deformação de todos os ensaios de pista com carga leve	42
Gráfico 15: Todos os ensaios de pista de carga pesada	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Classificação dos Solos segundo a ABNT	15
Tabela 2: - Influência da percentagem do Pure Crete.....	34
Tabela 3: Influência do número de camadas tratadas com o Pure Crete	35
Tabela 4: Influência da distribuição e carga Pure Crete	36
Tabela 5: Influência da percentagem e carga do Ecolopavi (carga leve)	38
Tabela 6: Influência da percentagem do Ecolopavi para carga pesada	39
Tabela 7: Influência da percentagem e distribuição de líquido com carga leve	42
Tabela 8: Melhor solução para ensaio de pista com carga leve.....	43
Tabela 9: Influência da percentagem e distribuição de líquido com carga pesada.....	44
Tabela 10: Melhor solução para ensaio de pista com carga pesada.....	44
Tabela 11: Solução otimizada para ensaio de pista	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 OBJETIVO GERAL	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 SOLOS	13
2.1.1 COMPORTAMENTO DOS SOLOS.....	15
2.2 ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	15
2.3 REFORÇO E TRATAMENTO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	18
2.3.1 GEOSSINTÉTICOS	19
2.3.2 LÍQUIDO ESTABILIZANTE QUÍMICO	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	22
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
3.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS	24
4.2 COMPORTAMENTO DE SOLOS NÃO REFORÇADOS	26
4.3 COMPORTAMENTO DE SOLOS REFORÇADOS	26
4.2.1 SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHA	27
4.2.2 SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHA CRUZADA	28
4.2.3 SOLO REFORÇADO COM GEOTÊXTIL.....	30
4.3 COMPORTAMENTO DE SOLOS SEM TRATAMENTOS	31
4.4 COMPORTAMENTO DE SOLOS TRATADOS	32
4.4.1 COMPORTAMENTO DO SOLO TRATADO COM PURE CRETE.....	32
4.4.2 COMPORTAMENTO DO SOLO TRATADO COM ECOLOPAVI	36
4.5 COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO SOLO REFORÇADO E COMPORTAMENTO DO SOLO TRATADO	40

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....45
REFERÊNCIAS47

1 INTRODUÇÃO

Também chamadas de estradas vicinais, estradas não pavimentadas, são, em sua maioria, estradas rurais que ainda não possuem pavimentação asfáltica. Tem como principal objetivo a locomoção do meio rural ao meio urbano ou vice-versa, assim como a ligação de propriedades umas às outras e a povoados, permitindo o acesso à educação e saúde, além de realizarem comércios, tendo em vista que a agricultura e pecuária, são dos ramos da economia mais fortes em nosso país.

Levando em conta a grande importância dessas estradas, é necessário que as mesmas estejam em boas condições de uso para que a qualidade dos transportes esteja sempre garantida, evitando o índice de acidentes e até mesmo preservando os veículos que irão se locomover por elas, fazendo que o percurso seja o menos desgastante possível e diminuindo cada vez mais o tempo em estradas.

Proença (2018), ressalta que as deformações excessivas em estradas não pavimentadas são visíveis quando se cruzam vários fatores negativos como a passagem de veículos pesados, alterações do clima e condições desfavoráveis do terreno.

Um país que tem como objetivo a melhoria do bem-estar social e um desenvolvimento socioeconômico melhor, é relevante a disponibilização de infraestruturas adequadas para um desempenho considerável na atividade produtiva, desta forma, deve-se levar em consideração a instalação de formas de transportes que facilitem o processo de circulação, produção e distribuição das riquezas que resultam na economia nacional.

Com a finalidade de otimizar custos e aumentar o tempo útil dessas estradas, constantemente são desenvolvidos métodos que aumentem a capacidade de suporte, ou seja, a capacidade que um solo tem em resistir as deformações sofridas através da ação de cargas. As tecnologias utilizadas para a melhoria das estradas, permitem o aumento da capacidade de suporte das vias e distribuem melhor as tensões que são impostas a elas. Neste trabalho, irá ser feito um comparativo sobre dois desses métodos: estabilizador químico e reforços com geossintéticos, através de um estudo em revisão literária.

1.1 JUSTIFICATIVA

Estradas não pavimentadas, representam um número significativo na esfera global. A maior parte desse tipo de estradas é construída em áreas rurais e sua importância envolve as

esferas econômicas e sociais de qualquer país onde se encontram. Elas permitem levar saúde, educação e outros serviços a comunidades afastadas e extrair delas produtos da exploração de recursos naturais como aqueles das indústrias agrícolas e de mineração.

A falta de pavimentação rodoviária no Brasil, é um dos principais problemas de logística do país, segundo dados da Confederação Nacional de Transporte (CNT) de 2018, apenas 12,4% das estradas são pavimentadas.

Para se ter um desenvolvimento socioeconômico, é necessário que se tenha uma infraestrutura que dê suporte, auxiliando na produtividade com mecanismos que possibilitem principalmente, o giro da economia, além de garantir a qualidade necessária que as pessoas necessitam no tráfego por estas estradas.

Em algumas delas, a capacidade de carga do material do subleito é muito baixa e o efeito de distribuição de carga do aterro de revestimento não é suficiente para permitir a operação da estrada. Faz-se então necessário tomar medidas para habilitar o funcionamento da via em condições de conforto e segurança.

Para superar as condições difíceis que os solos podem apresentar, são implantados diferentes tipos de soluções, que visam melhorar a capacidade de suporte dos mesmos e conseqüentemente as estradas em si, possibilitando que tenham uma vida útil maior e de máxima qualidade. A escolha do tema deste trabalho se justifica na tentativa de ampliar o conhecimento sobre algumas dessas soluções que são: reforços em geossintéticos e estabilizador químico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar o comportamento de solos para estradas não pavimentadas, quando reforçados com geossintéticos e tratados com estabilizador químico, identificando a variação de resistência mecânica deles, a partir do comparativo em estudo de revisão literária.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os efeitos e o comportamento de geossintéticos como elemento de reforço em estradas não-pavimentadas.

- Apresentar os efeitos e comportamentos de solos tratados com estabilizante químico em estradas não pavimentadas.
- Fundamentar as propriedades, a viabilidade técnica e ambiental de solos reforçados com geossintéticos e tratados com estabilizante químico.
- Estabelecer relação de vantagem e desvantagem de cada um dos métodos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SOLOS

É entendido por “solos” os materiais que resultaram da deterioração de rochas, através de um processo denominado intemperismo, que nada mais é do que a ação do tempo. Os solos são resultantes da decomposição das rochas, mas não quer dizer que seja constituído somente de elementos minerais. Nele encontramos água, ar e organismos vegetais e animais que fornecem a matéria orgânica.

Diferentes tipos de intemperismo e sua intensidade no processo de formação do solo levam a diferentes tipos de solo. Os fatores que têm maior impacto na formação do solo são: clima, tipos de rochas, vegetação, topografia e a duração desses fatores. Entre eles, o clima é particularmente proeminente. Se a decomposição ocorrer em climas diferentes, a mesma rocha pode formar solos completamente diferentes. Por outro lado, rochas diferentes podem formar solos semelhantes. Pode-se dizer que nas mesmas condições climáticas, mesmo que as rochas sejam diferentes, existe uma tendência para formar o mesmo tipo de solo.

Os solos classificam-se quanto a origem em:

- Solos Residuais;
- Solos Sedimentares;
- Solos Orgânicos.

A textura do solo é o tamanho relativo e a distribuição das partículas sólidas que o formam. Isto O estudo da textura do solo é realizado por meio de ensaios granulométricos. Por causa de sua textura, o solo Ele pode ser dividido em solo grosso e solo fino.

- Solos Grossos
 - Solos com $\Phi \geq 0,007$ mm e suas partículas tem forma arredondada poliédrica e angulosa.
 - Os solos grossos são os PEDREGULHOS e as AREIAS.

- Solos Finos
 - Solos $\Phi \geq 0,007$ mm
 - Os solos finos são os SILTES e as ARGILAS.
 - A fração granulométrica classificada como ARGILA possui diâmetro inferior a 0,005 mm e se caracteriza pela sua plasticidade marcante e elevada resistência

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) normalizou a terminologia dos solos para manter uma só denominação no país, evitando assim, os nomes de caráter regional.

Então temos:

- Bloco de rocha: Pedaco de rocha com diâmetro médio superior a 1 metro.
- Matação: Pedaco de rocha com diâmetro médio superior a 25 cm e inferior a 1 metro.
- Pedra: Pedaco de rocha com diâmetro médio entre 7,6 cm e 25 cm.
- Pedregulhos: Cristais grandes ou fragmentos de rocha que resistem à decomposição, cuja maioria tem diâmetro compreendido entre 76 mm e 4,8 mm
- Areias: Grãos minerais (grãos de quartzo), cuja maioria tem diâmetro compreendido entre 4,8 mm e 0,05mm. Subdividem-se em:
 - AREIAS GROSSAS: Grãos com diâmetros compreendidos entre 4,8 mm e 0,84 mm
 - AREIAS MÉDIAS: Grãos com diâmetros compreendidos entre 0,84 mm e 0,25 mm
 - AREIAS FINAS: Grãos com diâmetros compreendidos entre 0,25 mm e 0,05 mm
- Siltes: Sílica coloidal ou cristais grandes de argila ou impurezas, cuja maioria dos seus grãos tem diâmetro entre 0,05 mm e 0,005 mm, possuindo apenas a coesão necessária para formar, quando secos, torrões facilmente desagregáveis por pressão dos dedos.
- Argilas: Cristais de argila mineral com diâmetro abaixo de 0,005mm. As argilas apresentam características bem marcantes de plasticidade, pois, quando suficientemente úmidas, moldam-se facilmente em diferentes formas e quando secas, apresentam coesão bastante para constituir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos.

- Solos mistos: São aqueles compostos de mais de um tipo de solo. Estes solos são designados primeiramente pelo nome do solo cuja características e propriedades sejam predominantes, seguidos dos adjetivos correspondentes aos nomes dos outros tipos de solos que completam o solo misto. Exemplo: areia siltosa indica um solo que é predominantemente arenoso, mas contém certa quantidade de silte; argila arenosa é um solo que apresenta as propriedades da argila, mas contém uma quantidade apreciável de areia.

TERMINOLOGIA		LIMITES (ABNT)
Bloco de rocha	Rocha	Acima de 1 m
Matação		De 25 cm a 1 m
Pedra		De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	Solo	De 4,8 mm a 76 mm
Areia Grossa		De 0,84 mm a 4,8 mm
Areia Média		De 0,25 mm a 0,84 mm
Areia Fina		De 0,05 mm a 0,25 mm
Silte		De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila		Inferior a 0,005 mm

Tabela 1– Classificação dos Solos segundo a ABNT

2.1.1 COMPORTAMENTO DOS SOLOS

O comportamento dos solos finos é definido pelas forças de atração moleculares e elétricas e pela presença de água.

O comportamento dos solos grossos são governados pelas forças gravitacionais. Os SILTES apesar de serem classificados como finos, o seu comportamento é governado pelas forças gravitacionais (mesmas dos solos grossos).

2.2 ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

Segundo o Manual de Conservação Rodoviária DNIT (2005), as estradas de terra resultam da evolução de trilhas e caminhos precários, remanescentes de épocas pioneiras e primitivamente construídas dentro de características técnicas bastante modestas. Essas rodovias, foram construídas dentro do enfoque de “minimização” de custos de construção, fazendo com que os traçados sejam bastante sinuosos, geralmente aproveitando a disposição

das curvas de nível do terreno e divisores de água. As estradas não pavimentadas, podem ser divididas em diferentes grupos, de acordo com o tipo de material que compõe a sua superfície.

São estradas de baixos volumes e classificadas como estradas de acesso, por serem responsáveis pela interligação de propriedades rurais e seus vizinhos, servindo também de acesso às vias principais ou a ligação de um município a outro (Figura 1).



Figura 1: Estrada não pavimentada

Segundo Monte (2012), o pavimento rodoviário é caracterizado como sendo uma estrada, rua ou pista que suporta as cargas transmitidas pelo tráfego, sendo geralmente constituído por múltiplas camadas, uma camada de desgaste e camadas de fundação (Figura 2). É de extrema importância que o pavimento ofereça uma qualidade suficiente de rolamento, permitindo assim, uma passagem segura e confortável por parte dos condutores.

Proença (2018), diz que a estrutura do pavimento deve garantir capacidade estrutural suficiente para evitar problemas e deformações excessivas que possam prejudicar a circulação dos utilizadores. Deve possuir uma capacidade de suporte adequada às solicitações provocadas pelas cargas, conseguindo resistir sem comprometer toda a estrutura funcional.

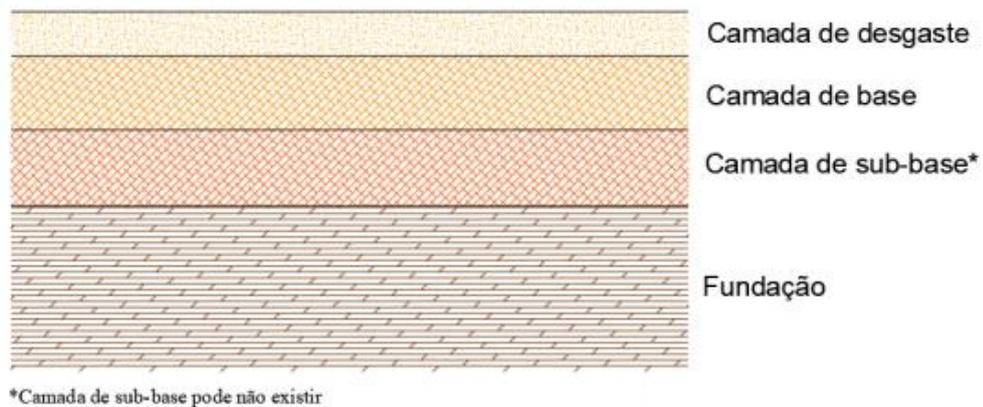


Figura 2: Diferentes camadas de um pavimento rodoviário

A camada de desgaste é a camada superior do pavimento rodoviário e tem como característica funcional, garantir a segurança e conforto aos utilizadores da via (Monte, 2016). A camada de desgaste pode ser construída através de um revestimento superficial em situações de tráfego ligeiro ou reduzido.

Monte (2016), afirma que um defeito em estradas não pavimentadas representa qualquer alteração na superfície da estrada que afete negativamente a circulação segura e cômoda na mesma. As estradas não pavimentadas, comparativamente às estradas pavimentadas, apresentam uma vulnerabilidade superior e, aliado a uma defeituosa conceção, originam-se problemas consideráveis.

Os fatores que originam todos estes problemas podem ser extrínsecos, como o tráfego e condições climáticas adversas, ou intrínsecos, como o perfil transversal (Figura 3), o perfil longitudinal, o tipo de solo selecionado e o sistema de drenagem. O conhecimento destes fatores ajuda na minimização de problemas funcionais e até estruturais da estrada, que estão relacionados com deformações anômalas, diminuição da capacidade de suporte do solo e alteração dos perfis transversais e longitudinais (Santos, 2013).



Figura 3: Representação de defeito em seção transversal (CRUZ 2005)

Quando se constrói uma estrada não pavimentada, normalmente o solo usado é o solo local, caso este apresente as características adequadas. Por vezes, o solo local é um solo heterogêneo, ou seja, a distribuição do solo sobre camadas deve ser feita tendo em conta a qualidade do material. A camada superior deve ser devidamente compactada e utilizado o solo de melhores características de forma a possibilitar a passagem de tráfego nas devidas condições (Santos 2013).

É usual a utilização de solos ou cascalhos para a construção de estradas não pavimentadas, mas também podem ser utilizadas outras soluções como a inclusão de ramos, troncos, geossintéticos, líquidos estabilizantes, etc. A utilização destas soluções dependerá da localização da estrada ou da necessidade de melhoramento da fundação (Santos, 2013). Neste trabalho iremos abordar e analisar solos reforçados com geossintéticos e o tratamento de estradas não pavimentadas com líquido estabilizante químico conforme descrito mais à frente.

2.3 REFORÇO E TRATAMENTO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

No caso em que as estradas não pavimentadas se encontram construídas sobre uma fundação pobre/fraca, podem ocorrer grandes deformações, o que pode levar, a custos adicionais de manutenção ou até mesmo à interrupção do tráfego em más condições. A solução do uso de geossintéticos/líquidos estabilizantes quimicamente para reforço/tratamento de solos com esta flexibilidade tornou-se como uma tecnologia viável, permitindo um aumento de vida útil da estrada, reduzindo a espessura da camada de base sem alterar a resistência do solo em repetição de carga (adaptado Subaida et al, 2009).

No entendimento de Vargas (1977), o processo de estabilização de um solo confere a este, maior resistência às cargas e desgaste à erosão. Que, embora possam não ser a mais alta que o solo pode oferecer, sejam duráveis, independente das estações do ano e das condições climáticas, seja executada por meio de compactação, correção granulométrica e da plasticidade ou por adição de substâncias que proporcionem coesão por cimentação ou aglutinação dos seus grãos.

2.3.1 GEOSSINTÉTICOS

Os geossintéticos podem ser utilizados para reforço de estradas não pavimentadas e para plataformas de trabalho sobre solos moles. São definidos como produtos industrializados poliméricos (sintéticos ou naturais), cujas propriedades contribuem para melhorias geotécnicas. Quando bem especificados, os geossintéticos podem cumprir uma ou mais das funções seguintes: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, controle de fluxo (impermeabilização) e controle superficial (Vidal, 2002).

Quando comparado com estradas não pavimentadas não reforçadas (Figura 4), a colocação do reforço de geossintético apresenta as seguintes vantagens, segundo Guedes (2018):

- a) Reduz a altura do aterro;
- b) Reduz a deformação lateral do aterro;
- c) Gera uma distribuição de tensões mais uniforme;
- d) Aumenta a área sobre o incremento de tensões verticais;
- e) Reduz a deformação vertical devida ao efeito da membrana;
- f) Aumenta a vida útil da estrada;
- g) Necessita de menos manutenção;
- h) Reduz o custo de operação e operacionalidade da estrada;

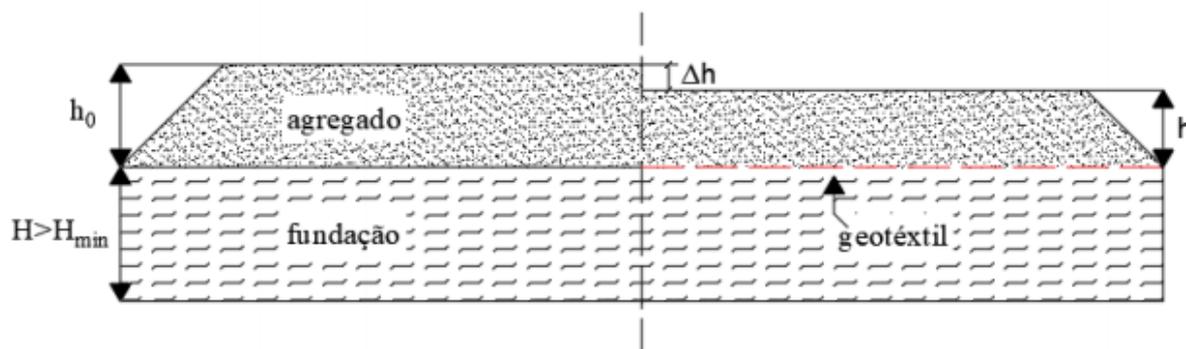


Figura 4: Seção transversal de estrada não pavimentada com e sem reforço (adaptado de Giroud e Noiray, 1981)

Atualmente, os geossintéticos mais utilizados no reforço de estradas não pavimentadas são os geotêxtis tecidos, não tecidos e as geogrelhas. A colocação deste tipo de reforço ajuda a obter uma plataforma mais resistente e menos deformável. Para além disso, a capacidade de reforço do geossintético pode permitir a utilização de um material de aterro de qualidade inferior, o que poderá trazer não só benefícios a nível económico, mas também a nível ambiental (Góngora, 2011).

2.3.2 LÍQUIDO ESTABILIZANTE QUÍMICO

Ao longo dos anos surgiram algumas alternativas ao uso do geossintético para melhor o comportamento de estradas não pavimentadas. As mais recentes baseiam-se na aplicação de um líquido estabilizante químico no solo, no seu estado úmido, de forma a evitar deformações com a passagem de veículos. Guedes (2018), afirma que um estabilizante químico de solos faz alterar as propriedades físico-químicas de modo que o material se torne aproveitável para a aplicação em engenharia, criando condições para resistir a carregamentos e intempéries tornando-o impermeável e aplicável na construção de bases de pavimentos urbanos e rodoviários.

O estabilizante líquido industrial é um produto químico para solos, classificado como um material orgânico, derivado de resinas e óleos vegetais, que desempenham inversão das polaridades das partículas do solo. Promovendo acréscimo da coesão por trocas catiônicas, reduzindo a absorção de água, o acréscimo capilar e a tensão de sucção do solo, aumenta o CBR e reduz a expansão dos solos (Oliveira, 2018).

Embora haja vários líquidos estabilizantes, nem todos têm o mesmo composto orgânico. Neste trabalho, vão ser estudados dois tipos de líquidos: o Pure Crete (proveniente da Angola) e o outro líquido será o Ecolopavi (proveniente do Brasil).

- Pure Crete: Guedes (2018) o define como sendo um composto orgânico semelhante a proteínas e atua como catalisador para auxiliar a ligação molecular e a interação no solo, reforçando uma ocorrência natural. As enzimas alteram as propriedades do material do solo produzindo uma base sólida na camada superior da estrada. Ao aumentar (Figura 5) a taxa de compactação de 90% para 105%, reduz o esforço da mesma. É um método eficaz para estabilizar estradas, lagoas, aterros, etc., pois aumenta a capacidade de suporte de carga do solo, e reduz a plasticidade e permeabilidade.



Figura 5: Influência do Pure Crete na resistência do solo mole.

- Ecolopavi: É descrito como um sal químico de origem orgânica, líquido, totalmente solúvel em água que atua como um catalisador, promovendo e facilitando a troca iônica, permitindo maior coesão entre partículas finas do solo, impermeabilizando-as. Sua forte ação aglutinante é devido ao fenômeno da troca de base, eliminando o campo eletromagnético que se forma no contorno das partículas, que ioniza as moléculas da água, fazendo-as aderir fortemente à superfície, formando a camada de água adsorvida, que por sua vez aumenta a distância entre as superfícies, diminuindo a força atrativa.

3 METODOLOGIA

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

De modo alcançar os objetivos propostos – apresentar, de forma comparativa, o comportamento de solos tratados com líquido estabilizante químico e reforçados com geossintéticos, o método de pesquisa aplicado foi qualitativo de natureza aplicada e exploratória.

A escolha pela pesquisa do tipo qualitativa foi validada pela necessidade de utilizar técnicas e métodos que resultam em uma abordagem aprofundada e subjetiva sobre a temática. O que não é possível através de pesquisas quantitativas.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para melhor compreensão dos procedimentos metodológicos adotados para obtenção dos resultados foi elaborado o fluxograma apresentado na figura 6.

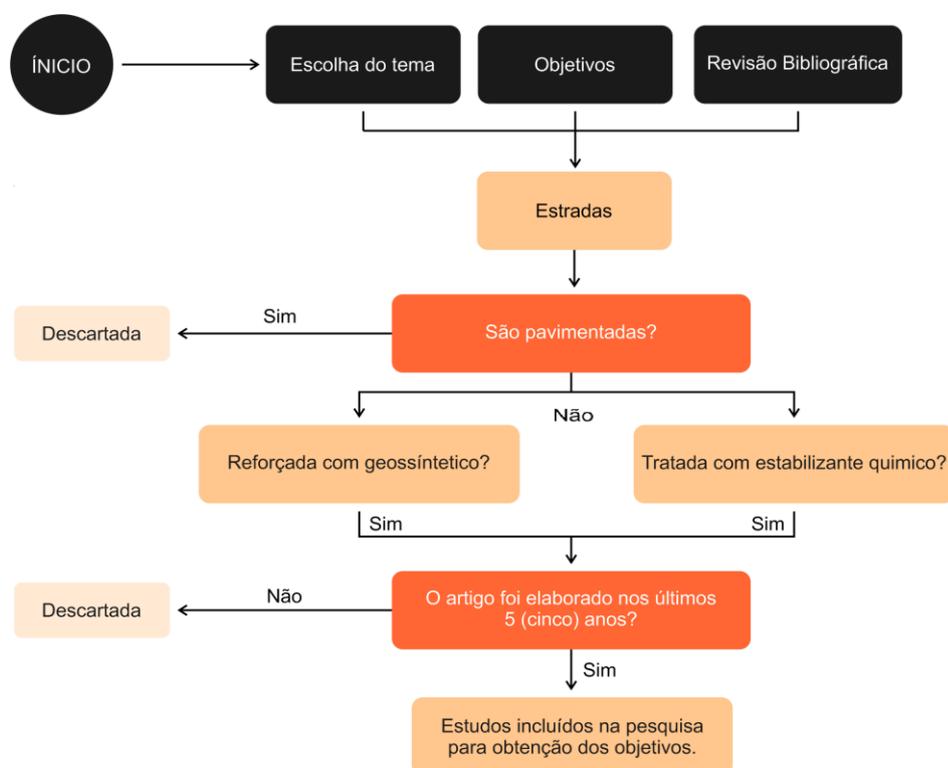


Figura 6: Fluxograma - Autor (2021)

Conforme o fluxograma demonstrado na figura 6, o estudo foi constituído pelas seguintes etapas: delimitação do tema e definição do escopo do problema, levantamento bibliográfico, utilizando artigos elaborados nos últimos cinco anos, análise comparativa entre solos tratados com líquido estabilizante químico e reforçados com geossintéticos e elaboração dos resultados e considerações finais.

A primeira etapa consistiu na identificação de uma temática geral a partir de revistas eletrônicas voltadas para técnicas da construção civil, buscando identificar a relevância dessa comparação para o desenvolvimento do segmento. Posteriormente, afinou-se a temática para o comportamento de solos para estradas não pavimentadas, identificando a resistência mecânica, levantando o seguinte escopo do problema: “Como solos de estradas não pavimentadas se comportam, quando tratados com estabilizador químico, comparados a solos reforçados com geossintéticos?”.

Partindo do problema de pesquisa levantado, iniciou a segunda etapa realizada sob supervisão do orientador do projeto, sendo a base norteadora para as etapas posteriores. O levantamento bibliográfico promoveu a seleção de artigos científicos, monografias e produções acadêmicas disponibilizadas em acervos digitais utilizando como critério publicações a partir do ano de 2016. Nas buscas dos materiais, foram utilizadas as palavras chave: comportamento de solos, estradas não pavimentadas, solos reforçados com geossintéticos e solos tratados com estabilizante químico.

Os materiais selecionados foram agrupados em três eixos: O primeiro compreendeu as bases para a elaboração do referencial teórico sobre geossintéticos e líquido estabilizante químico, voltados para conceitos iniciais e contextualização do tema. O segundo eixo reuniu estudos de caso comparativos entre os métodos de melhorias para estradas não pavimentadas para as etapas de análises e resultados/considerações finais, em especial a Dissertação intitulada “Comportamento de Estradas não Pavimentadas Reforçadas com Geossintéticos” por Proença (2018), e o “Estudo do Comportamento de Solo Tratado em Estradas não Pavimentadas” desenvolvido por Guedes (2018).

As etapas finais dos procedimentos metodológicos (análise e elaboração dos resultados e considerações finais) partiram através da sumarização dos resultados obtidos pelos estudos de casos supracitados.

3.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O estudo realizado apresentou algumas limitações, dentre elas a ausência de publicações relacionadas ao comportamento de solos para estradas não pavimentadas, com tratamento e com reforço de solo, escritos nos últimos cinco anos, o que justifica a utilização de apenas dois estudos de casos.

Outra limitação que é válida ressaltar refere-se à falta de publicações sobre o tema elaboradas no Brasil, tendo em vista a grande porcentagem de estradas não pavimentadas no país, o que resulta em uma pesquisa baseada em dados obtidos principalmente a trabalhos realizados em Coimbra – Portugal, onde muito se tem estudado sobre o tema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

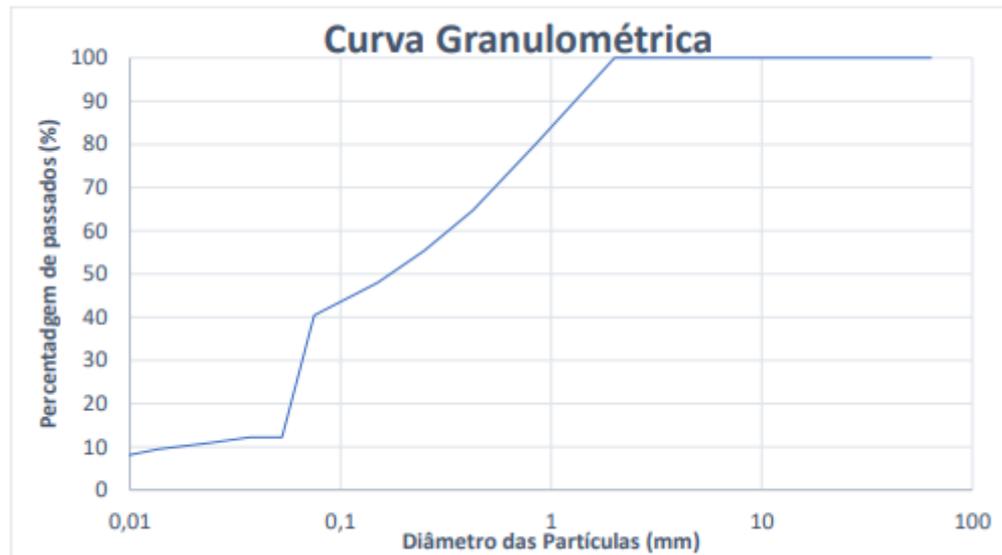
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS

Os solos utilizados nos dois estudos, são resultados de uma mistura previa de solos. Para o estudo do comportamento de solos reforçados com geossintético, a mistura é constituída por 25% de um solo classificado como argila e 75% de um solo classificado como areia siltosa. Já para o comportamento de solos tratados com líquido estabilizante químico a mistura foi constituída por 50% de solo argiloso e 50% de um solo classificado como areia siltosa.

Quando se pretende a construção de uma estrada rodoviária não pavimentada, os ensaios requeridos para a caracterização dos solos são os seguintes: granulometria, plasticidade, compactação, capacidade de suporte, expansibilidade.

A composição granulométrica de um determinado solo consiste em conhecer quantitativamente a distribuição das dimensões das suas partículas. Deste modo é elaborada uma representação gráfica, conhecida como curva granulométrica (Gráfico 1), que expressa a percentagem em peso das partículas inferiores a uma dada dimensão (Proença, 2018).

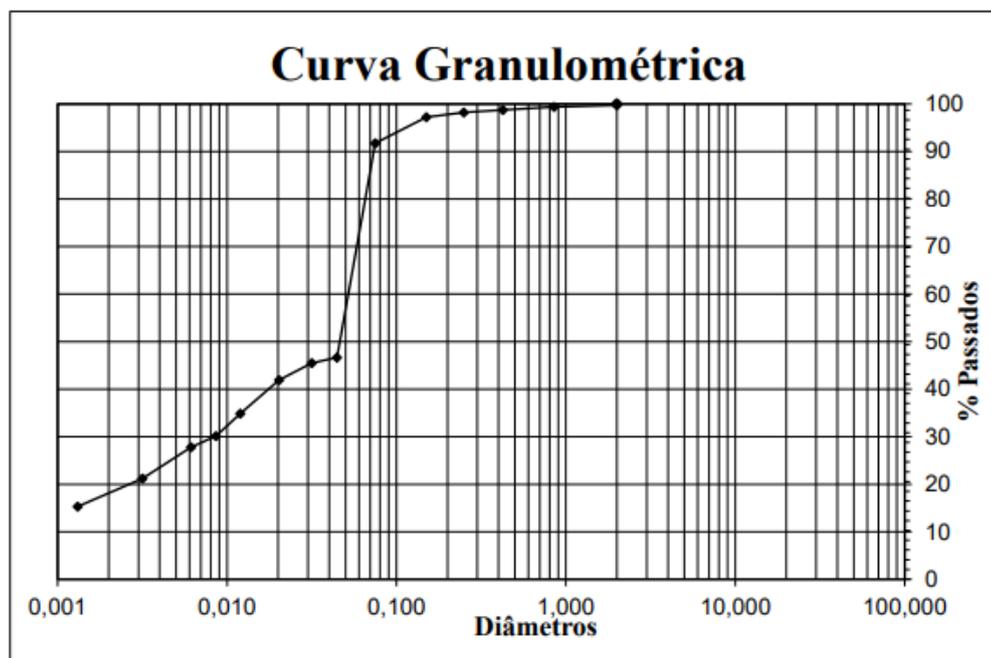
Gráfico 1: Curva granulométrica do solo em estudo para reforço em estradas não pavimentadas



Fonte: Proença, 2018

Para o estudo do comportamento do solo tratado com líquido estabilizante químico, foram efetuados ensaios para a determinação da composição granulométrica (Gráfico 2), densidade de partículas, limites de consistência e ainda o ensaio de compactação.

Gráfico 2: Curva granulométrica do solo para o estudo do comportamento de solos tratados com estabilizante químico



Fonte: Guedes, 2018

4.2 COMPORTAMENTO DE SOLOS NÃO REFORÇADOS

Os dados a seguir foram extraídos dos estudos de Proença (2018).

Após a realização de ensaios de pista em provetes constituídos apenas pelo solo, ou seja, sem qualquer tipo de reforço e sem o material granular, pôde-se determinar a deformação (gráfico 3) provocada pela passagem da roda ao longo de 10000 ciclos sob o peso adicional de 11,770kg: é observado que a deformação provocada por essa passagem, varia entre 6,9 mm e 8,4mm, e que os patamares do solo, ao fim dos 1000 são idênticos nas repetições.

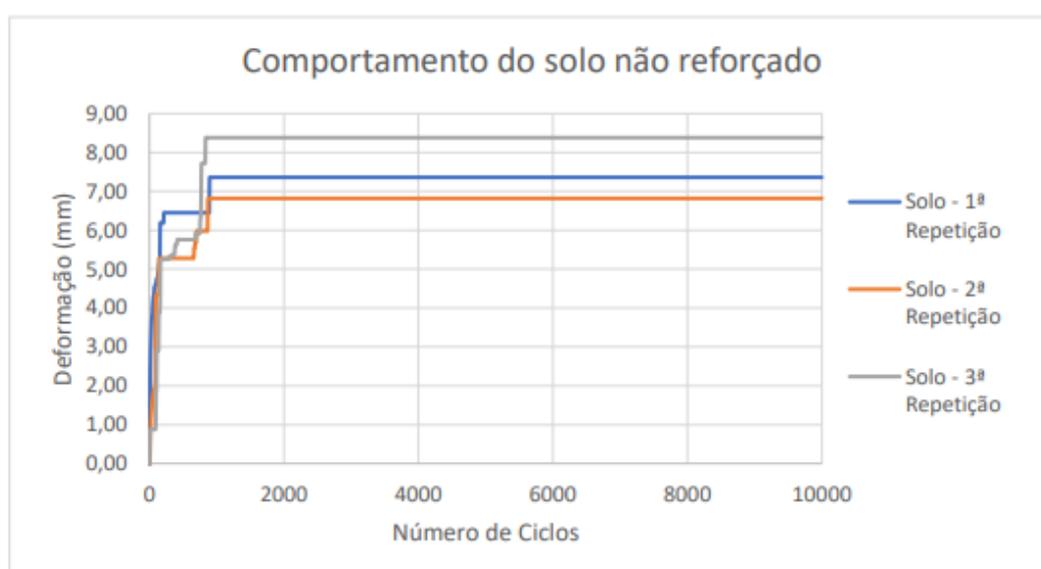


Gráfico 3: Deformação do solo não reforçado com teores ótimos de umidade. (Proença 2018)

4.3 COMPORTAMENTO DE SOLOS REFORÇADOS

Com base nos estudos desenvolvidos por Proença (2018), foram analisados resultados sobre o efeito do reforço localizado a diferentes profundidades, de forma a encontrar a localização ideal para a colocação do mesmo, além da variação da abertura da malha do geossintético, fazendo o cruzamento da geogrelha (para minimizar o efeito de escala da geogrelha adquirida, uma vez que a mesma é utilizada em campo) aumentando assim a sua rigidez e diminuindo a deformação lateral. Após, análise sobre a influência do geotêxtil, este nos mesmos moldes de procedimento do anterior reforço.

4.2.1 SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHA

Com os resultados apresentados por Proença (2018) para este tipo de reforço, gráfico 4, é possível observar que a menor deformação acontece cerca de 6mm, quando a geogrelha está colocada sobre a 2ª camada do solo, exatamente a meia altura do molde utilizado, enquanto que na 1ª camada, a deformação é maior (cerca de 7,6mm), podendo ser explicado pela maior quantidade de solo que é sujeita às tensões provocadas pela carga, diminuindo assim, a capacidade de suporte e a resistência ao corte. Já introdução da geogrelha sobre 3ª camada originou um insucesso, uma vez que a última camada (a camada superficial), se desagregou libertando material para a máquina de ensaio de pista, o que levou à interrupção do ensaio.

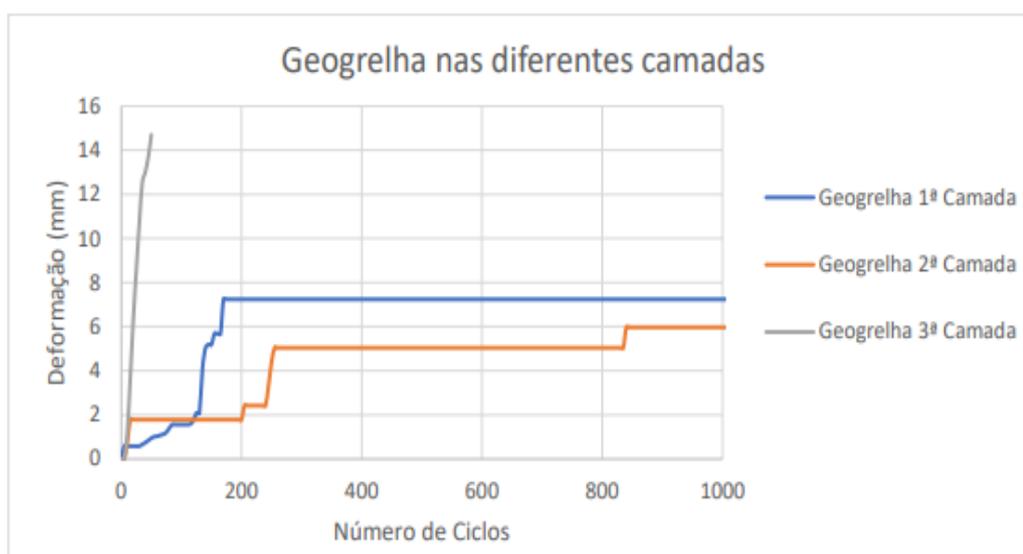


Gráfico 4: Deformação do solo reforçado com geogrelha nas diferentes camadas

A diferença de deformação do solo reforçado com a geogrelha sobre a 2ª camada e 3ª camada (onde houve a liberação do material para fora da caixa), é possível de ser observado na figura 7, nas imagens (1) e (2) respectivamente.



Figura 7: Pormenor do solo reforçado com a geogrelha sobre a 2ª camada (1) e sobre a 3ª camada (2)

4.2.2 SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHA CRUZADA

O estudo de Proença (2018), levou em consideração os trabalhos de Rodrigues (2015) e Oliveira et al (2016), onde foi realizado o cruzamento de duas geogrelhas anteriormente ensaiadas, para que assim, fosse diminuído a dimensão da abertura da malha, para que pudesse ser levado em conta o efeito da escala de todo o procedimento, tendo em vista que a geogrelha utilizada é uma geogrelha utilizada em obra e o ensaio de pista é um ensaio a uma escala reduzida.

É observado, que nas duas primeiras camadas há uma evolução na curva que relaciona a deformação com o número de passagem da roda do ensaio de pista, sendo constante entre os 200 e os 250 ciclos, como mostrado no gráfico 5. Assim como na geogrelha analisada anteriormente, a deformação mínima (aproximadamente 3,8 mm) acontece quando se coloca a geogrelha sobre a 2ª camada, enquanto que sobre 1ª camada a deformação atinge um valor um pouco superior (5,8 mm), e do mesmo modo, a colocação da geogrelha cruzada na 3ª camada, originou o mesmo resultado da colocação da geogrelha simples nesta mesma camada.

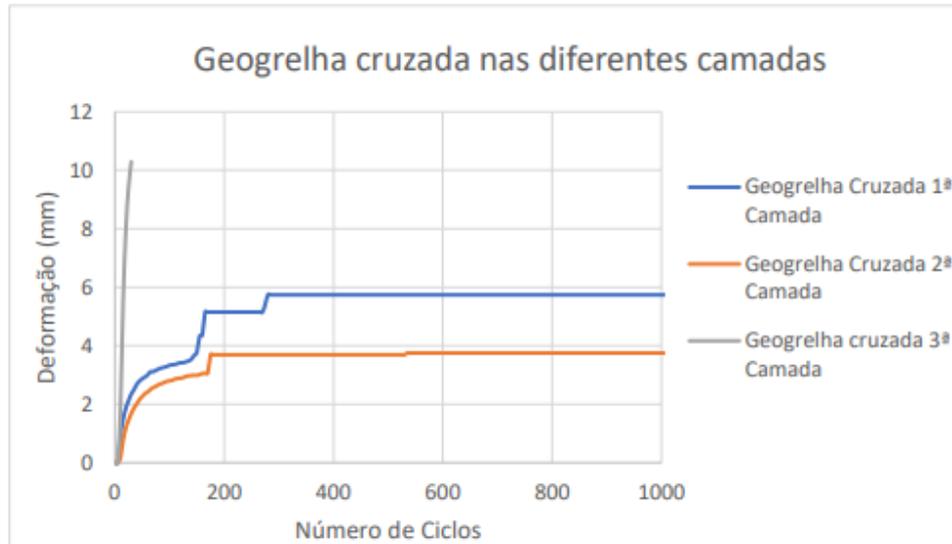


Gráfico 5: Deformação do solo reforçado com geogrelha cruzada nas diferentes camadas

Através dos estudos de Proença (2018), é possível observar (figura 8) que as diferenças visuais são mínimas, e que ampliando o modelo utilizado para os ensaios, para uma escala real, essa melhoria na deformação com o uso da geogrelha cruzada na 2ª camada, beneficiaria a resistência da estrada não pavimentada. A geogrelha, consegue absorver as tensões verticais, evitando a deformação crescente do solo abaixo da linha de ação, quando sob o efeito da rigidez que a passagem da roda provoca no solo, como mostrado na terceira imagem da figura 8.

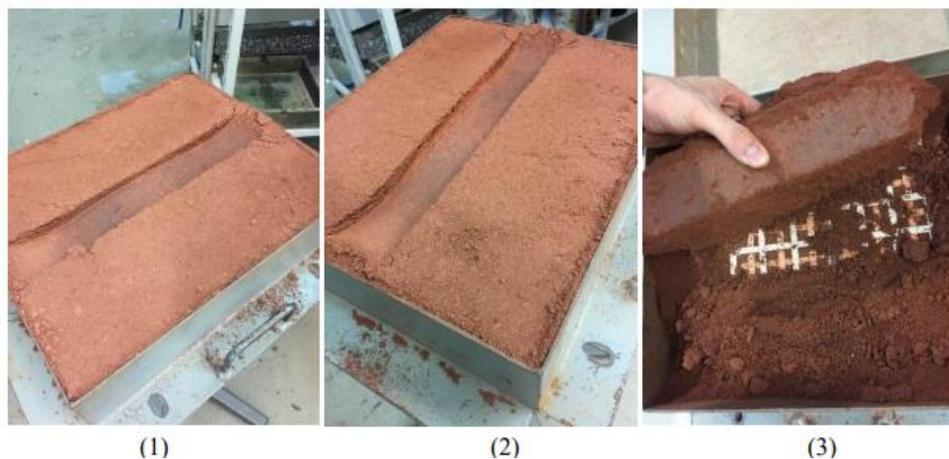


Figura 8: Pormenor do solo reforçado com geogrelha cruzada sobre a 1ª camada (1), sobre a 2ª camada (2) e efeito da passagem da roda (3)

4.2.3 SOLO REFORÇADO COM GEOTÊXTIL

Na análise do comportamento do solo quando reforçado com geotêxtil, no trabalho realizado por Proença (2018), é possível observar que assim como na geogrelha, a melhor localização para o reforço é também na 2ª camada, com uma deformação mínima de 5,2 mm, e a deformação do solo com geotêxtil na 1ª camada é de aproximadamente 7,3 mm, como mostrado no gráfico 6. Já na 3ª camada, a deformação observada é de um valor bastante elevado (14 mm), o que é justificado pela pequena distância entre o reforço e o nível de aplicação da carga (que é na superfície), porém, é possível notar que apresenta ainda, uma deformação menor do que as deformações apresentada no uso da geogrelha na mesma camada, isso porque o geotêxtil possui uma menor rigidez.

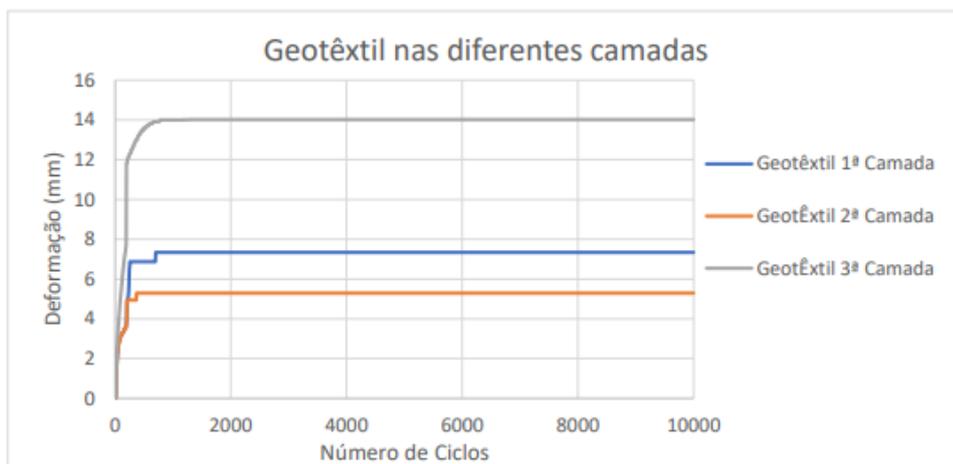


Gráfico 6: Deformação do solo reforçado com geotêxtil nas diferentes camadas

É possível observar, através do gráfico 6, a deformação sentida quando a colocação do geotêxtil ocorre na 1ª camada e na 3ª e última camada, respectivamente.



Figura 9: Pormenor do solo reforçado com geotêxtil sobre a 1ª camada (1) e sobre a 3ª camada (2).

Fazendo uma comparação com a segunda imagem da figura 9, nota-se que não houve uma expulsão do material e que o valor da deformação é menor, o que, como justificado anteriormente, é o resultado da menor rigidez do geotêxtil, que perante a pequena espessura da 3ª camada, não exerce o efeito de mola que a geogrelha por sua vez exerce.

4.3 COMPORTAMENTO DE SOLOS SEM TRATAMENTOS

Os resultados descritos nesse item foram obtidos nos estudos de Guedes (2018).

Os solos estudados por Guedes (2018), é caracterizado como um solo fraco e com necessidade de tratamento, foi feito um ensaio de pista para compreender o seu comportamento, e uma comparação futura com o solo tratado, para entender o benefício do tratamento. Esse solo, é muito argiloso e bastante fraco quando sujeito a passagem de veículos e se encontra no estado de umidade ótima.

No gráfico 7 e na figura 10, se comprova o fraco desempenho do solo ao aplicar a carga leve no ensaio de pista, ao fim dos 90 ciclos, o provete atingiu a deformação máxima definida de 20 mm, por isso, o ensaio de pista para cargas pesadas não se fez necessário.



Gráfico 7: Deformação do solo não tratado



Figura 10: Pormenores do estado do solo não tratado após o ensaio de pista

4.4 COMPORTAMENTO DE SOLOS TRATADOS

4.4.1 COMPORTAMENTO DO SOLO TRATADO COM PURE CRETE

Para o estudo do líquido Pure Crete, Guedes (2018), é necessário se fazer um estudo da influência da quantidade de líquido usada (em porcentagem), e a sua distribuição pelo solo.

Assim como o solo sem tratamento, o solo utilizado para esse ensaio com o Pure Crete, também se encontra no estado de umidade ótima.



Figura 11: Pormenores do estado do solo tratado, após o ensaio de pista nº 1.

A Figura 11 mostra o comportamento do solo tratado com diferentes porcentagens de líquido, apenas nas duas primeiras camadas superiores com carga leve.

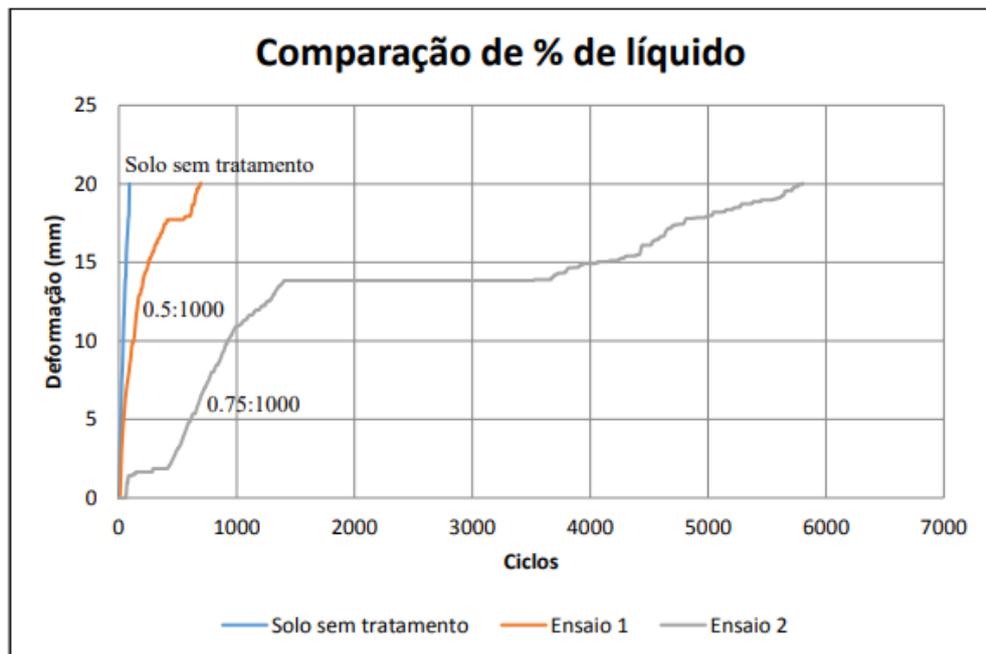


Gráfico 8: Deformação do solo sem tratamento e tratado com diferentes percentagens do Pure Crete.

Deve-se ressaltar, que não houve a necessidade de realizar um ensaio com carga pesada, pois como se pode observar no gráfico 8, que com a carga leve, o provete atingiu os 20 mm de deformação antes de completar os 10000 ciclos, entretanto, é notória a melhoria do

solo tratado se comparado ao solo sem tratamento. Na tabela 2, é possível identificar a influência do tratamento no solo:

Tabela 2: - Influência da percentagem do Pure Crete

Tipo de Ensaio	Deformação (mm)	% Líquido	Ciclos (nº)	Melhoria
Sem tratamento	20	-	90	0
Ensaio 1	20	0,5: 1 000	695	8x
Ensaio 2	20	0,75: 1 000	5802	65x

Como observado por Guedes (20218), percebe-se que houve uma melhoria significativa com o tratamento do solo. O ensaio 1 apresentou uma melhoria de número de ciclos de oito vezes mais relativamente ao solo sem tratamento (ou seja, no estado natural). Já o ensaio 2 apresenta uma melhoria mais significativa de cerca 65 vezes mais de número de ciclos, ou seja, dois terços mais que o solo sem tratamento.

Nota-se uma vantagem grande em aumentar a percentagem do pure crete (ensaio 2) de acordo com a percentagem aconselhada (ensaio 1). Com um aumento de 50% de percentagem de líquido (ensaio 2), observa-se uma melhoria de 8 para 65 vezes mais de número de ciclos, ou seja, oito vezes mais de resistência à passagem de veículos ligeiros (1.5: 8). Esta melhoria provavelmente compensará a diferença de custo entre Ensaio 1 e 2.

Em seguida, analisa-se o comportamento do solo tratado com uma mesma percentagem de líquido, ou seja, a percentagem de líquido recomendada (0.5: 1 000 L), mas em que o tratamento foi feito, não apenas nas duas camadas superiores, mas nas quatro camadas do provete (na totalidade da altura do provete).

Como se pode observar no gráfico 9, para uma carga leve, verifica-se uma grande melhoria do comportamento do solo, entrando mesmo em patamar.

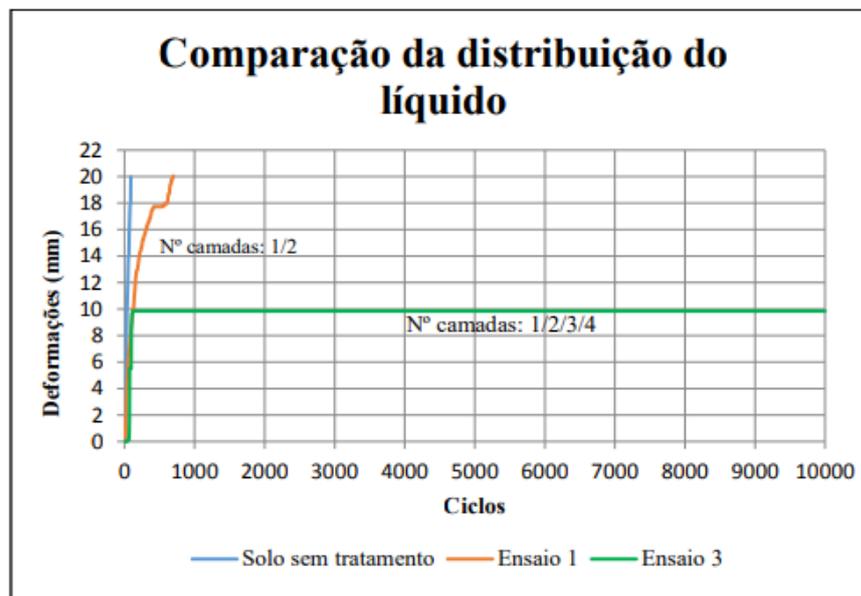


Gráfico 9: Deformação do solo sem tratamento e tratado com diferente número de camadas tratadas com o Pure Crete.

Este ensaio apresenta uma melhoria de cerca 50% para deformação do solo e suporta 111 vezes mais a passagem de veículos ligeiros que o solo sem tratamento, de acordo com o tabela 3.

Tabela 3: Influência do número de camadas tratadas com o Pure Crete

Tipo de Ensaio	Deformação (mm)	Melhoria (%)	Ciclos (nº)	Melhoria
Sem tratamento	20	0	90	0
Ensaio 1	20	0	695	8x
Ensaio 3	9,85	50,75	10 000	111x

Conclui-se que a distribuição do líquido ao longo da altura do provete (ensaio 3) aumenta 14 vezes mais a resistência à passagem de veículos ligeiros em relação à distribuição do líquido apenas nas duas camadas superiores (ensaio 1). À semelhança do ensaio 2, a diferença de custos aplicável, tendo em consideração as melhorias observadas, indica ser aceitável.

Visto que o provete durante o ensaio 3 entrou em patamar a um número reduzido de ciclos, procedeu-se, durante ainda o mesmo ensaio, no mesmo provete, ao aumento de carga. A fase final do ensaio de pista (ensaio 3) foi por isso realizada com carga pesada. O resultado mostra-se no Gráfico 10 e Tabela 4.

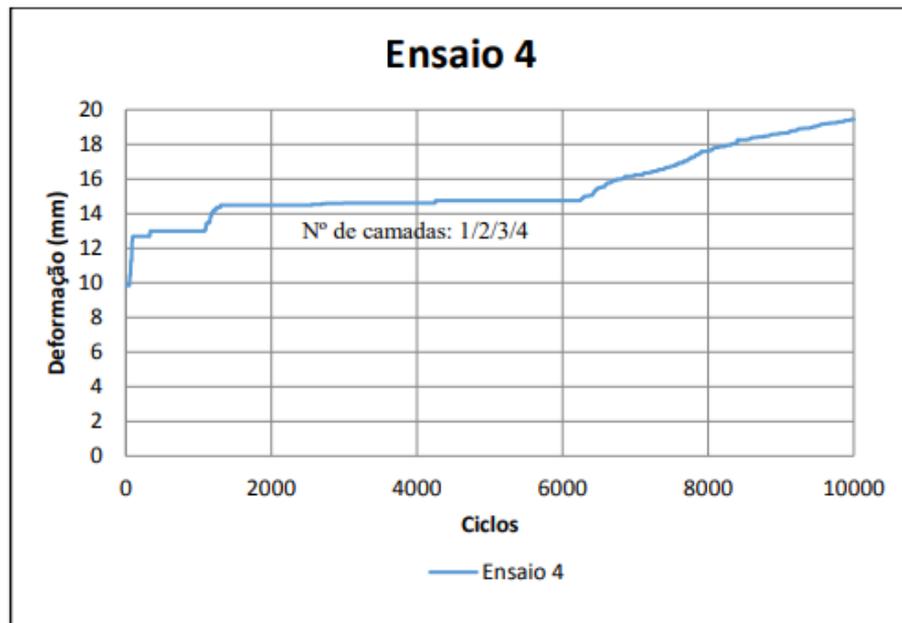


Gráfico 10: Deformação do solo durante o Ensaio 4

Tabela 4: Influência da distribuição e carga Pure Crete

Tipo de Ensaio	Deformação (mm)	Melhoria (%)	Ciclos (nº)	Melhoria
Sem tratamento	20	0	90	0
Ensaio 3	9,85	50,75	10 000	111x
Ensaio 4	19,44	2	10 000	111x

Para o ensaio com carga pesada e com distribuição do líquido ao longo da altura do provete (ensaio 4), a resistência à passagem de veículos pesados manteve-se, notou-se foi uma descida acentuada das condições de melhoria de deformação atingindo apenas 2% de melhoria, mas para um número de ciclos muito maior.

4.4.2 COMPORTAMENTO DO SOLO TRATADO COM ECOLOPAVI

O estudo de Guedes (2018) para o líquido Ecolopavi, fez-se uma análise comparativa do comportamento do solo com diferentes concentrações de solução do líquido estabilizante misturado no solo natural, sempre nas condições de teor de umidade ótimas.

Como se obteve excelentes resultados apenas com o ensaio em carga leve (Figura 21), foi decidido manter a distribuição do líquido ao longo de camadas e as mesmas condições de ensaio, procedendo-se logo em seguida ao ensaio com carga pesada.

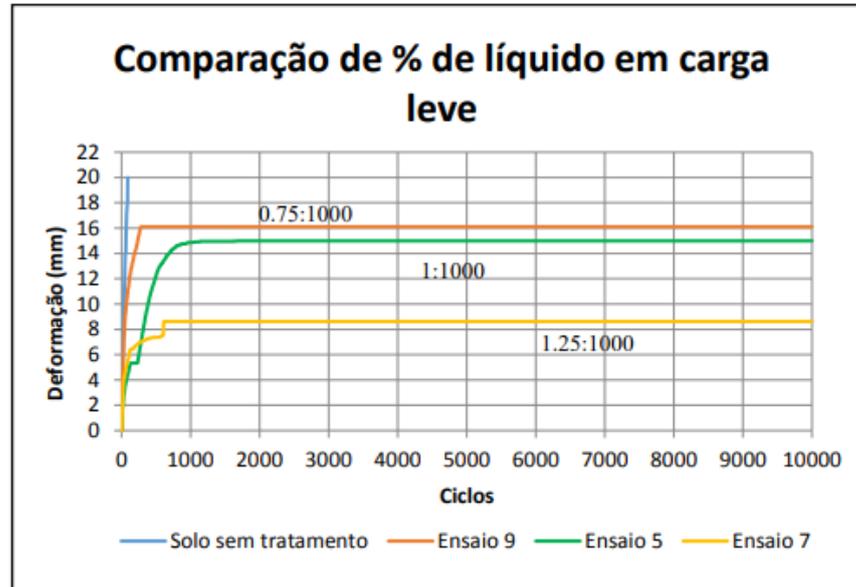


Gráfico 11: Deformação do solo sem tratamento e tratado para diferentes percentagens de Ecolopavi com carga leve.

Na Figura 22, assim como na figura 21, observa-se a grande melhoria apresentada pelo líquido Ecolopavi, consoante as diferentes percentagens de líquido para um ensaio de pista com carga leve.



Figura 12: Pormenores do estado do solo tratado após o ensaio de pista com Ecolopavi

Nota-se no Quadro 4 a melhoria percentual deste tipo de soluções já referidas. Para ensaio 9 houve uma melhoria de 19.5% na deformação, enquanto o ensaio 5 apresentou uma melhoria de 25%. Já o ensaio 7 observou-se uma melhoria bastante significativa com um

aumento de 57% na melhoria de deformação. No que se refere ao número de ciclos, comparativamente ao solo natural, todos melhoraram para 111 vezes mais a sua resistência à passagem de veículos ligeiros. Tendo sido este, o limite de número de ciclos imposto no ensaio de pista, os ensaios sugerem que o solo depois de estabilizar suportaria sem problemas a passagem de veículos ligeiros.

Tabela 5: Influência da percentagem e carga do Ecolopavi (carga leve)

Tipo de Ensaio	Deformação (mm)	Melhoria (%)	Ciclos (nº)	Melhoria
Sem tratamento	20	0	90	0
Ensaio 9	16,1	19,5	10 000	111x
Ensaio 5	14,99	25	10 000	111x
Ensaio 7	8,62	57	10 000	111x

Ao alterar a percentagem de líquido nos ensaios 5, 7 e 9, chegou-se à conclusão que o número de ciclos imposto foi atingido e a resistência à passagem de veículos ligeiros se manteve, mudando apenas a melhoria das condições de deformação.

O ensaio 7 apresenta um aumento de 25% de concentração de líquido em relação ao ensaio 5, e um aumento de cerca de 100% de melhoria de deformação, já para o ensaio 9, houve uma melhoria de 150% da deformação.

Para os ensaios de pista de carga pesada registou-se os seguintes resultados (Gráfico 12).

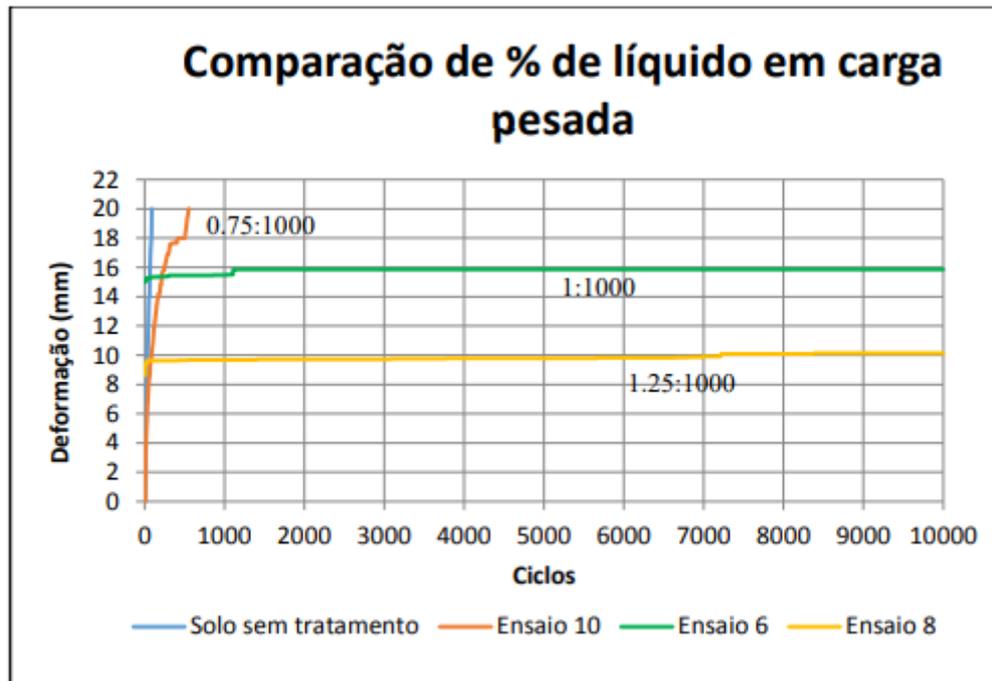


Gráfico 12: Deformação do solo sem tratamento e tratado para diferentes percentagens do Ecolopavi com carga pesada.

Comprava-se então a afirmação já antes referida, sobre os excelentes resultados obtidos ao analisar o Tabela 5.

Tabela 6: Influência da percentagem do Ecolopavi para carga pesada

Tipo de Ensaio	Deformação (mm)	Melhoria (%)	Ciclos (nº)	Melhoria
Sem tratamento	20	0	90	0
Ensaio 10	20,1	0	553	6x
Ensaio 6	15,86	20,7	10 000	111x
Ensaio 8	10,14	49,3	10 000	111x

Conforme os estudos de Guedes (2018), relativamente ao solo sem tratamento houve uma melhoria do número de ciclos para o ensaio 10, mas apenas resistiu a 553 ciclos de passagem de veículos pesados, ou seja, melhorou 6 vezes mais a sua resistência à passagem de veículos. O ensaio 6 obteve uma melhoria de 20,7% de deformação e suportou 111 vezes mais a passagem de veículos de pesados do que o solo no seu estado natural. Contudo, o ensaio que obteve melhores resultados foi o ensaio 8, com uma melhoria de cerca de 50% na

deformação e 111 vezes mais da resistência à passagem de veículos pesados comparando com o solo natural.

Concluiu-se que para a carga pesada que o ensaio 10 com menos 25% de percentagem de líquido recomendado, não obteve a mesma resistência à passagem de veículos pesados (6x mais) como os ensaios 6 e 8 (111x mais), tratando-se de uma solução pouco douradura. Analisando o Quadro 5, o ensaio 8 atingiu uma melhoria de deformação duas vezes superior à melhoria de deformação do ensaio 6 com apenas um aumento de 25% de concentração do líquido, o que mais uma vez indica compensar a diferença de custo associado a este tipo de ensaio.

4.5 COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO SOLO REFORÇADO E COMPORTAMENTO DO SOLO TRATADO

Após o estudo de todos os resultados obtidos pelos ensaios do trabalho de Proença (2018) e Guedes (2018), é possível observar como a variação dos diferentes tipos de geossintéticos e dos diferentes tipos de tratamento pode influenciar nas deformações dos solos.

Pelo trabalho de Proença (2018), e quando o ensaio foi realizado apenas no solo, foi considerado o resultado médio das três repetições e nos ensaios realizados com reforços, foram utilizados os resultados obtidos na 2ª camada, que representa a melhor localização para se obter uma menor deformação. Pode-se observar na figura 24, que qualquer reforço sobre a camada 2 (camada ideal), proporciona menor deformação ao se comparar à amostra não reforçada.

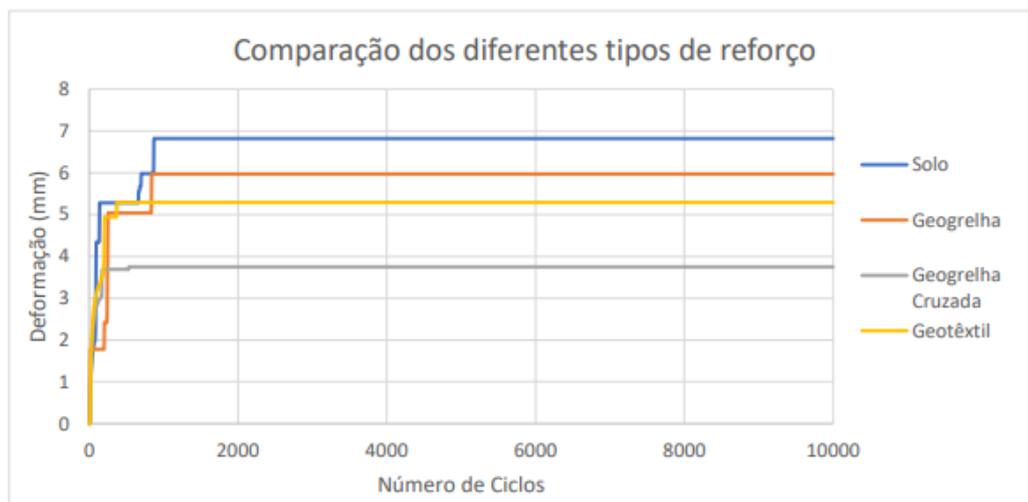


Gráfico 13: Comparação dos ensaios referentes à utilização dos diferentes tipos de reforço.

É notório, que o comportamento de solo sem qualquer reforço de geossintético é o que apresenta pior desempenho, onde a sua deformação fica em torno de 6,9mm. A geogrelha, possui uma deformação de 6,0 mm. O geotêxtil, por sua vez, apresenta um comportamento melhor que a geogrelha, com valores em torno de 5,2 mm, provavelmente, como dito anteriormente, devido ao menor efeito mola que se denota nos ensaios com geogrelha.

A geogrelha cruzada, apresenta a menor deformação de todo o conjunto, com uma média de 3,8 mm. Comparada à geogrelha simples, ela apresenta melhores resultados já que houve a diminuição da abertura da malha, levando ao aumento da rigidez da mesma e do confinamento do solo.

Já nos estudos de Guedes (2018), os ensaios de pista de carga leve obtiveram-se bons resultados, contudo houve dois ensaios que se destacaram dos outros, o ensaio 3 e o ensaio 7, conforme se pode observar na Figura 25.

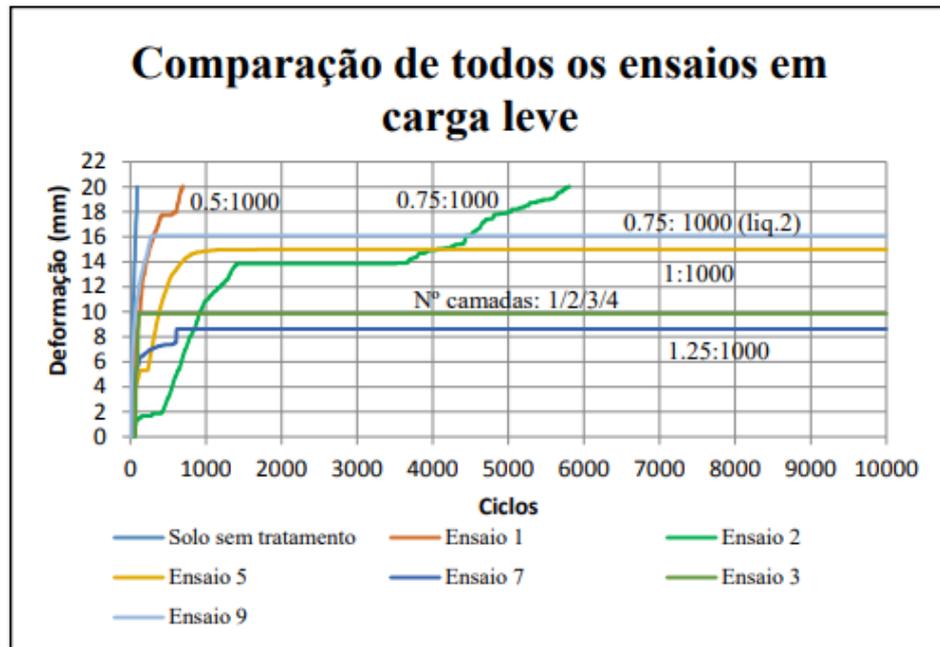


Gráfico 14: Deformação de todos os ensaios de pista com carga leve

No ensaio 3 atingiu uma deformação de 9.85 mm, ou seja, uma melhoria de cerca 50% em relação ao solo natural, completando o limite de número de ciclos impostos no ensaio de pista, assumindo uma melhoria de 111 vezes mais na resistência à passagem de veículos ligeiros (Tabela 6).

Tabela 7: Influência da percentagem e distribuição de líquido com carga leve

Tipo de Ensaio	Deformação (mm)	Melhoria (%)	Ciclos (nº)	Melhoria
Sem tratamento	20	0	90	0
Ensaio 1	20,05	0	693	8x
Ensaio 2	20,04	0	5802	65x
Ensaio 3	9,85	50,75	10 000	111x
Ensaio 5	14,99	25	10 000	111x
Ensaio 7	8,62	57	10 000	111x
Ensaio 9	16,1	19,5	10 000	111x

Para o ensaio 7 a melhoria de deformação foi superior, atingindo os 57% em relação ao solo natural, ou seja, apenas 8.62 mm de deformação, completando também, à semelhança do ensaio 3, o limite de número de ciclos impostos pelo ensaio de pista. Notou-se uma melhoria de 111 vezes mais na resistência à passagem de veículos ligeiros (Quadro 6).

Apesar de corresponderem a líquidos estabilizantes químicos diferentes, ambos atingem o limite de número de ciclos imposto no ensaio de pista, havendo apenas uma diferença de melhoria de deformação. Deve-se ressaltar, que a distribuição do líquido por todas as camadas do provete no ensaio 3 leva a maiores custos, em comparação com a distribuição do líquido nas duas camadas superiores do ensaio 7, mesmo sendo essa percentagem de líquido superior à aconselhada.

Tendo em conta todos estes dados, ficou constatado o ensaio 7 como a melhor solução para o ensaio de pista em carga leve (Tabela 7).

Tabela 8: Melhor solução para ensaio de pista com carga leve

Nº de Ensaio	Tipo de Ensaio de Pista	% Líquido	Camada com líquido	Tempo de Cura (Dias)	Força de Compressão (kN)	Carga de Ensaio de Pista
7	Líquido 2	1,25: 1 000	1/2	1	15	Leve

*Líquido 2 é o Ecolopavi

Nos ensaios de pista de carga pesada nota-se uma alteração de resultantes em relação ao ensaio de pista de carga leve. Os ensaios com maior melhoria são os ensaios 6 e 8, ambos com solo tratado com o Ecolopavi (Figura 26):

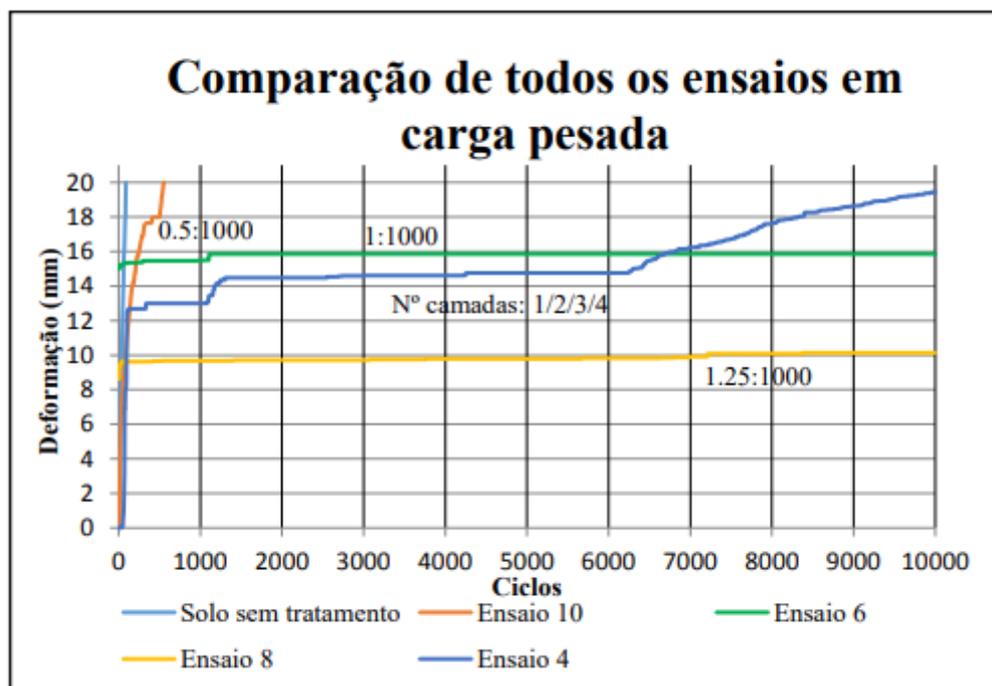


Gráfico 15: Todos os ensaios de pista de carga pesada

O limite e número de ciclos imposto no ensaio de pista foram cumpridos nos dois ensaios (6 e 8), verificando-se uma melhoria de 111 vezes mais da resistência à passagem de veículos pesados em relação ao solo natural.

Quanto à deformação existem diferenças. O ensaio 6 corresponde às condições ideais (recomendadas) de aplicação do Ecolopavi no solo, enquanto o ensaio 8 corresponde a um aumento de percentagem de concentração do Ecolopavi no solo. Esta alteração de condições alterou significativamente a melhoria do solo quanto à sua deformação.

O ensaio 8 atingiu uma melhoria de cerca de 50% em relação ao solo natural, enquanto o ensaio 6 atingiu cerca 20 % (Tabela 8). Em valores práticos, o ensaio 6 atingiu um máximo de 15.86 mm de deformação e o ensaio 8 com um máximo de 10.14 mm de deformação.

Tabela 9: Influência da percentagem e distribuição de líquido com carga pesada

Tipo de Ensaio	Deformação (mm)	Melhoria (%)	Ciclos (nº)	Melhoria
Sem tratamento	20	0	90	0
Ensaio 10	20,1	0	555	6x
Ensaio 6	15,86	20,7	10 000	111x
Ensaio 8	10,14	49,3	10 000	111x
Ensaio 4	19,44	2	10 000	111x

Esta diferença de melhoria de deformação muito possivelmente compensará o acréscimo de custo que se terá com um aumento de percentagem de concentração do Ecolopavi no solo para o ensaio 8.

Verifica-se então que a melhor solução para um ensaio de pista de carga pesada é o ensaio 8 (Tabela 9).

Tabela 10: Melhor solução para ensaio de pista com carga pesada

Nº de Ensaio	Tipo de Ensaio de Pista	% Líquido	Camada com líquido	Tempo de Cura (Dias)	Força de Compressão (kN)	Carga de Ensaio de Pista
8	Líquido 2	1,25: 1 000	1/2	1	15	Pesado

Pode-se indicar como melhor solução no global a solução com as seguintes características (Tabela 10), a qual corresponde o ensaio 7 e 8.

Tabela 11: Solução otimizada para ensaio de pista

Tipo de Ensaio de Pista	% Líquido	Camada com líquido	Tempo de Cura (Dias)	Força de Compressão (kN)
Líquido 2	1,25: 1 000	1/2	1	15

E de acordo com todos os resultados apresentados na dissertação de Proença (2018), a utilização da geogrelha cruzada ganha vantagem na sua implementação em estradas não pavimentadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, pretendeu-se determinar a influência de vários tipos de reforço (geossintéticos) na estabilidade de estradas não pavimentadas, assim como a influência do tratamento dos solos com líquidos estabilizantes químicos.

Através da dissertação de Proença, na qual o trabalho laboratorial contempla a análise feita pela influência do reforço no solo, onde o provete é dividido em quatro camadas, sendo que é analisado a deformação do solo com a implementação do reforço sobre a 1ª camada, 2ª camada e 3ª camada, respetivamente.

Assim, com os resultados observados é possível concluir-se que a deformação menor ocorre com o geossintético localizado sobre a 2ª camada, sendo que a geogrelha cruzada (menor abertura de malha), apresenta, entre todos os geossintéticos, a deformação mais reduzida, e que quando se colocou o reforço sobre a 3ª camada, verificou-se uma desagregação do solo acima do reforço, que indicava o seu baixo confinamento lateral. Na densificação desta última camada, nota-se ainda um “efeito de mola” provocado pela rigidez das geogrelhas, mais significativo no caso da geogrelha cruzada.

Pela dissertação de Guedes, a primeira conclusão a retirar dos ensaios de pista é o melhoramento significativo do comportamento do solo após o tratamento com líquido estabilizador químico. Tanto a nível de resistência como de deformação, independentemente do tipo de líquido utilizado no tratamento.

Concluiu-se que para o Pure Crete, ao aumentar a percentagem do líquido por camada em 50% (de 0,5:1000 para 0,75:1000) atinge-se uma resistência à passagem de veículos ligeiros oito vezes maior em relação à percentagem de líquido aconselhada (0,5:1000). Ao

manter a percentagem de líquido aconselhada mas distribuir essa percentagem ao longo da altura da provete resulta num aumento de catorze vezes da resistência à passagem de veículos ligeiros, podendo também se aplicar carga de pesado e obter a mesma resistência à passagem de veículos pesados.

Para o Ecolopavi tanto em carga leve como em carga pesada, chegou-se à conclusão que a resistência à passagem de veículos se mantém, ou seja, mais do dobro da resistência relativamente ao solo sem tratamento. Nas condições de deformação obteve-se uma melhoria máxima de 57% quando aumentado 25% da percentagem do líquido em relação à percentagem aconselhada (1.25:1000).

Assim, é possível concluir que o reforço teve um impacto significativo na redução da deformabilidade, sendo que a utilização da geogrelha cruzada ganha vantagem na sua implementação em estradas não pavimentadas e nos solos tratados verifica-se que a melhor solução de todos os ensaios de pista analisados é o Ecolopavi com uma proporção de 1.25:1000 litros nas duas camadas superiores, que seria a melhor solução a adoptar na construção de uma estrada não pavimentada com solo tratado.

REFERÊNCIAS

FERRAZ, R. L. Contribuição ao estudo da estabilização de solos para fins rodoviários e habitacionais. 1994.

174p. Dissertação (Mestrado em Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994. FRANÇA, F. C. Estabilização química de solos para fins rodoviários: Estudo de caso com o produto “RBI Grade 81”. 2003. 99p. Tese (Pós-graduação em Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

GANDOLFI, G. G.; CARDOSO, L. S. Estudo da estabilização química do tipo solo: Emulsão em solo tropical laterítico granular utilizado em obras de pavimentação. 2013. 80p. Monografia (Graduação de bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

PROENÇA, R. F. M. Comportamento de estradas não pavimentadas reforçadas com Geossintéticos. 2018. 81p. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Geotecnia, Universidade de Coimbra, Coimbra 2018.

GUEDES, A. R. A. Estudo do comportamento de solo tratado em estradas não pavimentadas. 2018. 76p. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Geotecnia, Universidade de Coimbra, Coimbra 2018.

OLIVEIRA, L. C. S. Estabilização química de solos: análise da variação da resistência mecânica de solos por intermédio da adição de estabilizante líquido industrial. 2018. 70p.