

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ADILSON BATISTA LIMA

**ESTIMATIVA TÉCNICO-ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS
EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Belo Horizonte – MG

2022

ADILSON BATISTA LIMA

**ESTIMATIVA TÉCNICO-ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS
EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Chan Kou Wha

Coorientador: Prof. Dr. Geraldo Magela Damasceno



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANEXO V – FOLHA DE NOTAS

**ESTIMATIVA TÉCNICO-ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS
EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS**

Adilson Batista Lima

Trabalho de conclusão de curso submetido à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Transportes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Transportes.

- Aprovada em 05/12/2022.
- Aprovada com modificações sugeridas pela banca em [Clique ou toque aqui para inserir uma data..](#)
- *Aprovada com ressalvas em [Clique ou toque aqui para inserir uma data..](#)
- Reprovado(a).

_____ ORIENTADOR Prof. Chan Kou Wha	NOTA: 95
_____ COORIENTADOR Prof. Geraldo Magela Damasceno	NOTA: 95
_____ BANCA Prof. Mário de Souza Silva	NOTA: 95
_____ BANCA Prof. Mateus Justino da Silva	NOTA: 95
	NOTA FINAL: 95

* Caso o(a) candidato(a) seja aprovado com ressalvas, favor relatar as modificações necessárias e indicar um membro responsável pela verificação das correções.



Emitido em 05/12/2022

ATA Nº 051222/2022 - DET (11.55.11)
(Nº do Documento: 49)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 05/12/2022 21:02)

CHAN KOU WHA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DET (11.55.11)

Matrícula: ###960#2

(Assinado digitalmente em 05/12/2022 21:08)

GERALDO MAGELA DAMASCENO

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DET (11.55.11)

Matrícula: ###507#4

(Assinado digitalmente em 07/12/2022 13:03)

MARIO DE SOUZA SILVA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DET (11.55.11)

Matrícula: ###123#1

(Assinado digitalmente em 05/12/2022 21:15)

MATEUS JUSTINO DA SILVA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DET (11.55.11)

Matrícula: ###689#5

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: **49**, ano: **2022**, tipo:
ATA, data de emissão: **05/12/2022** e o código de verificação: **69680f21a4**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo, fonte de fé, paz e força nessa jornada.

Agradeço aos meus pais queridos, pelo amor, a educação moral, ética que vai no meu cerne como engenheiro e pessoa pelo resto da vida. Sempre serei grato por todo esforço e apoio de minha mãe, dona Ana, para que esse momento fosse possível. Além de minha companheira, nunca deixou que eu fraquejasse nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos professores do CEFETMG, do Departamento de Engenharia de Transportes, Campus Nova Suíça, por todo ensino, profissionalismo, e dedicação na minha formação profissional e humana. Além de educadores, muitos se tornaram amigos que levarei para o resto da minha caminhada profissional e pessoal.

Ao meu Orientador Dr. Chan Kou Wha, por todo apoio, disponibilidade, ensinamentos e experiências compartilhadas.

Agradeço ao meu Coorientador e amigo, Dr. Geraldo Magela Damasceno, pelas horas incansáveis de incentivo, ajuda em cálculos e formatação do TCC II. Pelo incentivo, apoio e esforço em conseguir materiais e insumos para que esse trabalho fosse possível.

Agradeço à Luísa por ser amiga e ouvinte em todos os momentos. Aos amigos Rodrigo Otatti, Gustavo Andrade, Lucas Aguiar, André Rangel e Natan que fizeram da faculdade um momento de muitas boas lembranças. Obrigado a Danubia, Carolina Silveira, Camila Coelho, Thiago Faustino e Gabriel Bodevam por estarem em minha vida nessa jornada e pelas grandes histórias! Obrigado aos colegas Guilherme Lima, Bruno Detomi, Douglas e Stanley pela amizade e companheirismo ao longo dessa jornada acadêmica na Graduação de Engenharia de Transportes.

Agradeço a todos servidores e funcionários do CEFET-MG que contribuem e zelam pela instituição, fazendo parte da realização de diversos sonhos. A instituição CEFET-MG por todas as experiências vividas, aprendizados, amigos, momentos únicos que me permitiram crescer e me proporcionar essa conquista.

Agradeço aos membros da banca avaliadora, Professores Mário e Mateus, indispensáveis em minha caminhada acadêmica. Não somente como educadores técnicos, mas exímios engenheiros que são espelho para todo profissional.

Ao Mattheus, irmão que a vida me deu e que de todo coração sou grato por nossa amizade e companheirismo. Cada uma das risadas, conselhos e momentos são todos os dias recordados!

Por fim, a Renata, minha melhor amiga, confidente e conselheira por todo suporte, incentivo e tantas alegrias!

LIMA, Adilson Batista. **Estimativa Técnico-Econômica Da Aplicação De Geossintéticos Em Estradas Não Pavimentadas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2022.

RESUMO

As estradas não pavimentadas constituem a maioria das vias presentes no Brasil. No entanto, essa característica não faz jus ao principal modo de transporte brasileiro, uma vez que a maior parte de cargas e pessoas transportadas pelo país se deslocam por rodovias. Além disso, entende-se que principalmente o transporte de cargas pode ser deveras influenciado pela condição de conservação dessas estradas. Uma vez que a trafegabilidade da estrada esteja ruim, produtos não podem ser transportados da origem ao destino e, no caso de perecíveis, há possibilidade de perda. Nesse aspecto, o trabalho se debruça. Atualmente, entende-se que a única solução de melhoria para estradas não pavimentadas é a pavimentação, porém o custo inicial dessa intervenção é muito elevado. Esse alto custo, principalmente quando apresentado aos pequenos e médios produtores, pode ser considerado inviável e, dessa forma, os mesmos continuam sendo prejudicados pelas consequências das más condições das vias. Como alternativa ao modelo clássico de pavimentação, tem-se a introdução do geossintético como reforço para as vias não pavimentadas. O uso do polímero, além de ser mais barato, é de implantação mais rápida e permite o escoamento da produção mesmo em condições adversas da via. Principalmente quando colocado em estradas de curta extensão, o baixo custo de implantação pode ser uma alternativa viável para o produtor que precisa utilizar aquela via para transporte de sua produção. Com isso, faz parte da atribuição do presente trabalho investigar como se dão os custos de pavimentação e aplicação de geossintético em uma estrada não pavimentada e avaliar como essa diferença nos custos pode favorecer ou não a tomada de decisão acerca da melhor proposta de intervenção para melhoria da via.

Palavras-chave: Geossintéticos; Estradas não pavimentadas; Custo e orçamento; Pavimentação

LIMA, Adilson Batista. **Technical-Economic Estimation of the Application of Geosynthetics on Unpaved Roads**. Final Paper - Transport Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, 2022.

ABSTRACT

Unpaved roads constitute the majority of roads present in Brazil. However, this characteristic does not mean to the main Brazilian mode of transportation, since most of the cargo and people are transported across the country by highways. In addition, it is understood that mainly the transport of cargo can be greatly influenced by the condition of conservation of these roads. Once the trafficability of the road is bad, products cannot be transported from origin to destination and, in the case of perishables, there is a possibility of loss. In this aspect, this work focuses. Currently, it is understood that the only improvement solution for unpaved roads is paving, but the initial cost of this intervention is very high. This high cost, especially when presented to small and medium producers, can be considered unfeasible and, therefore, they continue to be harmed by the consequences of poor road conditions. As an alternative to the classic paving model, there is the introduction of geosynthetics as reinforcement for unpaved roads. The use of polymer, in addition to being cheaper, is faster to implement and allows the production flow even under adverse road conditions. Especially when placed on short-distance roads, the low cost of implementation can be a viable alternative for the producer who needs to use that road to transport his production. Thus, it is part of the assignment of the present work to investigate how the costs of paving and application of geosynthetic occur on an unpaved road and to evaluate how this difference in costs can favor or not the decision made about the best intervention proposal for improvement of the road.

Keywords: Geosynthetics; unpaved roads; Cost and budget; Paving

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição rodoviária brasileira	12
Figura 2: Estruturas básicas do geossintético	21
Figura 3: Processo de separação	23
Figura 4: Processo de filtração	24
Figura 5: Processo de impermeabilização	25
Figura 6: Processo de reforço e Controle de erosão superficial	26
Figura 7: Cadeia de composição dos Geossintéticos.....	27
Figura 8: Geotêxteis.....	28
Figura 9: Geogrelhas	29
Figura 10: Georredes.....	29
Figura 11: Geomembrana.....	30
Figura 12: Geocomposto	31
Figura 13: Geotubo.....	31
Figura 14: Geocélula.....	32
Figura 15: Geoexpandido	32
Figura 16: Trilhas de roda no pavimento.....	34
Figura 17: Formação de “costelas de vaca” no pavimento	35
Figura 18: Estrutura do pavimento flexível	37
Figura 19: Estrutura do pavimento rígido	38
Figura 20: Seção tipo da rodovia classe I-B.....	42
Figura 21: Seções transversais da rodovia	43
Figura 22: Cenários considerados na pesquisa	44
Figura 23: Características das geogrelhas.....	45
Figura 24: Composição de custos solo reforçado com geogrelha 2,5m	46
Figura 25: Localização dos pontos de visita.....	62
Figura 26: Inspeção visual do solo – Ponto “A” sentido BR-135.....	63
Figura 27: Estrada vicinal de acesso a comunidade de Angicos - Figura 25.....	64

Figura 28: Formação de poeira na estrada de acesso a comunidade – Figura 25	64
Figura 29: Problemas na estrada não pavimentada – Ponto “B”	65
Figura 30: Trecho de pavimentação a ser simulado.....	67
Figura 31: Perfis do projeto – Sem escala	68
Figura 32: Detalhamento do trecho.....	69
Figura 33: Solo estudado já peneirado	70
Figura 34: Localização do ponto de coleta do solo	71
Figura 35: Solo peneirado na peneira de graduação 1,19 mm.....	72
Figura 36: Homogeneização do solo e cilindros utilizados	73
Figura 37: Soquete utilizado	74
Figura 38: Exemplo de corpo de prova moldado e já retirado do cilindro	75
Figura 39: Capsulas utilizadas para coleta das amostras	76
Figura 40: Aparar de Geomembrana e material cortado	81
Figura 41: Lâmina de corte	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos tipos de geossintético com base nas funcionalidades	33
Quadro 2: Caracterização dos corpos de prova	73
Quadro 3: Pesos dos corpos de prova	74
Quadro 4: Ensaio do limite de liquidez	78
Quadro 5: Ensaio do limite de plasticidade	78
Quadro 6: Composição de custos da pavimentação	84
Quadro 7: Composição de custos da colocação de geossintéticos	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva de umidade ótima.....	77
Gráfico 2: Limite de Liquidez.....	80

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.1	PROBLEMAS E PREMISSAS	16
1.2	OBJETIVOS GERAIS	17
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2.	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	BREVE HISTÓRIA DOS GEOSSINTÉTICOS	19
2.2	CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL	21
2.3	TIPOS DE GEOSSINTÉTICOS	26
2.4	CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	33
2.5	CONCEITOS GERAIS SOBRE PAVIMENTAÇÃO	35
2.5.1	<i>Pavimento Flexível</i>	36
2.5.2	<i>Pavimento Rígido</i>	37
2.6	COMPOSIÇÃO BÁSICA DE CUSTOS EM OBRAS VIÁRIAS	39
2.6.1	<i>SICRO</i>	40
2.6.2	<i>SINAPI</i>	41
2.6.3	<i>Custos de pavimentação</i>	42
2.6.4	<i>Custos de aplicação de geossintéticos</i>	44
3.	METODOLOGIA	47
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	48
3.1.1	<i>Manuais técnicos para embasamento dos ensaios</i>	49
3.1.1.1	Norma DNER-PRO 003/94	49
3.1.1.2	Norma DNER-ME 041/94	50
3.1.1.3	Norma DNER-ME 080/94	51
3.1.1.4	Norma DNER-ME 082/94	54
3.1.1.5	Norma DNER-ME 122/94	55
3.1.1.6	Norma DNER-ME 162/94	57
3.1.1.7	Norma DNER-ME 213/94	60
3.1.2	<i>Estudo de caso – Comunidade de Angicos – Curvelo/MG</i>	61
3.1.3	<i>Definição do projeto para estudo</i>	66
3.1.4	<i>Tratamento e estudo do solo</i>	70
3.1.4.1	Ensaio de Compactação	72
3.1.4.2	Ensaio de determinação do limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP)	77
3.2	APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NO TRABALHO	80

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
6. REFERÊNCIAS	89

1. INTRODUÇÃO

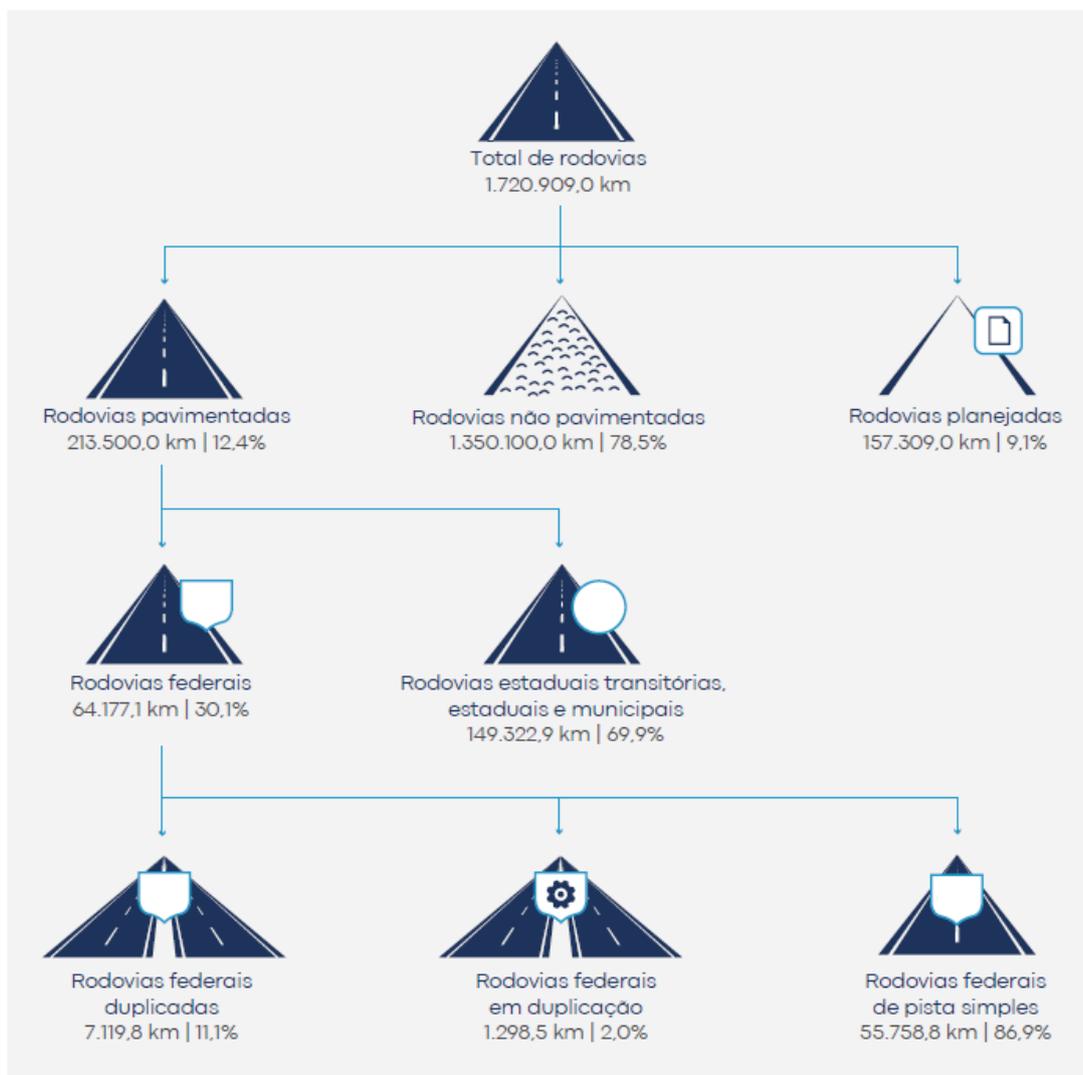
Neste primeiro capítulo é feita uma contextualização inicial do transporte rodoviário no Brasil e sua relação com as estradas não pavimentadas. Além disso, introduzem-se noções de custos relacionados a pavimentação dessas estradas. Por fim, faz-se a relação com a possibilidade de utilização de geossintéticos como forma de aumentar a resistência das vias não pavimentadas e reduzir os problemas associados a falta de pavimentação da via.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes – CNT (CNT, 2019), quando há um sistema de transporte que seja eficiente e de qualidade, em especial quando esse consegue integrar os diferentes modos de transporte, além de estruturar o setor produtivo do país, há uma promoção de benefícios para toda a sociedade. Ainda segundo o autor, o modo rodoviário tem a maior participação na matriz de transporte brasileira, em que aproximadamente, 60% da movimentação de mercadorias e mais de 90% da de passageiros é realizada através de rodovias.

Essas informações mostram como a infraestrutura rodoviária é importante para o desenvolvimento econômico do país e para a garantia de direitos fundamentais dos seus cidadãos. De acordo com o Sistema Nacional de Viação (SNV) apenas 213.453 quilômetros de rodovias brasileiras são pavimentados, o que corresponde a pouco mais de 12% da extensão total. Entretanto, a malha não pavimentada representa mais de 78% do total da malha rodoviária nacional, o que indica que a grande maioria das rodovias do país ainda estão sobre leito natural, conforme visto na Figura 1.

Figura 1: Composição rodoviária brasileira



Fonte: CNT, 2021

Essa característica é, de acordo com GRIEBELER *et al.* (2002), de se esperar em países como o Brasil. De acordo com o autor, países em desenvolvimento apresentam sua malha viária predominantemente composta por estradas não pavimentadas, já que grande parte da economia é baseada na produção e comercialização de produtos primários, os quais são transportados principalmente nesse tipo de estrada.

Essas estradas, também chamadas de estradas vicinais ou estradas rurais são as principais ligações entre as propriedades rurais e povoados vizinhos, além de servirem de acesso às vias principais, como rodovias estaduais ou federais pavimentadas (GRIEBELER *et al.*, 2009). Além dessa, há também as estradas destinadas exclusivamente à movimentação interna das propriedades rurais, tendo

como principal função o trânsito de moradores, máquinas, equipamentos e produtos agrícolas.

Essas estradas, em especial quando localizadas em regiões de solo com alto teor de argila e silte, tendem a sofrer com as intempéries. Nos períodos chuvosos, esse tipo de solo permite pouca infiltração das águas e isso pode transformar a estrada, principalmente nos trechos onde não há drenagem eficiente, num atoleiro. Nos períodos de seca, os solos com essa mesma característica tendem a apresentar rachaduras pelo calor. Segundo Moreira (2003), a superfície de uma estrada não pavimentada está sujeita a um processo contínuo de deterioração. A origem das patologias comumente encontradas em estradas não pavimentadas é originária da ausência dos dispositivos de drenagem, da geometria inadequada da estrada e do material empregado no subleito (MOREIRA, 2003). Além desses fatores, ainda existe o carregamento imposto à via pela passagem repetitiva do tráfego.

Como evidencia CEPA (1999), os estudos sobre a conservação das estradas vicinais apontam como o transporte de sedimentos, a erosão do solo e como as margens de estradas, quando não conservadas e bem mantidas, podem carrear materiais sólidos para os leitos dos rios e diminuir a qualidade ambiental e dos recursos hídricos próximos a estrada. Com base nisso, para o controle da erosão em estradas de terra, é de importante que haja uma atuação eficiente na origem do problema, o escoamento superficial (ZONTA *et al.*, 2012).

Nessa linha, o *Maine Department of Environmental Protection – MDEP* (2010) afirma que a má drenagem das estradas rurais está ligada a cerca de 80% dos problemas que ocorrem nesse tipo de estrada. Além disso, o autor ainda salienta que os efeitos da erosão nas estradas vicinais poderiam ser minimizados com a adoção de medidas que reduzam as consequências do escoamento.

A colocação de um sistema de drenagem eficiente deve evitar que o escoamento superficial se acumule, formando poças na estrada, e a via comece a ser utilizada para o escoamento (GRIEBELER *et al.*, 2005). Para isso, Griebeler *et al.* (2005) indica que a água que escoar pelas estradas deve ser recolhida nas laterais da via e levada, de forma controlada, para afluentes naturais ou artificiais, bacias de

acumulação ou outro tipo de sistema de retenção localizado no terreno as margens do perfil da estrada.

No Brasil, percebe-se que o crescimento urbano no século XXI, bem como as maiores densidades populacionais geram uma demanda substancial de meios de transporte, tanto para cargas quanto para pessoas. Diretamente relacionado a esse crescimento no volume de tráfego, tem-se a necessidade de desenvolver a infraestrutura rodoviária de maneira duradoura e sustentável. Nesse sentido, a utilização dos geossintéticos ganha cada dia mais espaço no Brasil, em especial após a década de 80 (BANDEIRA et al., 2019).

Quando o governo Federal Brasileiro entende que não há capacidade, por parte dele, de executar a manutenção e garantia de trafegabilidade das rodovias, há necessidade de licitar o gerenciamento para o setor privado, conforme garantido pela Lei nº 8.666 de 21 de junho de 1993 (BRASIL, 1993). Para realização desse procedimento, o setor especializado do órgão público, seja ele federal ou estadual, realiza orçamentos de forma analítica, considerando todas as técnicas referentes aos custos rodoviários (PEDROZO, 2001).

De acordo com Pedroso (2001), os gastos do poder público com a implantação de uma rodovia incluem custos de terraplenagem, pavimentação, drenagem, obras de arte correntes, sinalização, pontes, túneis, etc., sendo todos extremamente necessários para implantação de novas rodovias e melhorias (duplicações, terceira faixa, etc.) em vias existentes. Além disso, em algumas concessões, essas obras podem ficar a cargo da empresa concessionária. Em complementação a esses custos, destaca-se que devem ser considerados os custos referentes à desapropriação de áreas e demolições necessárias para a implantação de uma rodovia.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a construção civil teve mais de 125.000 empresas ativas em 2019 e contribuiu com aproximadamente 4% do Produto Interno Bruto (PIB) Brasil no mesmo ano, representando uma receita líquida de quase 300 bilhões de reais e um crescimento de aproximadamente 2%, quando comparado ao ano de 2018 (IBGE, 2019). Além disso, segundo boletim da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2019) os investimentos públicos em transporte em 2019 representaram quase 1% do PIB

nacional do ano, ou seja, mais de 50% de todo PIB da construção civil para o ano de referência. Com isso, percebe-se que as empresas de construção movimentam grandes quantias de dinheiro e têm valiosa participação na economia do País e, portanto, faz-se necessária uma elaboração consciente e sucinta dos orçamentos de obras do país.

Em especial na Engenharia de Transportes, observa-se que o CAPEX de uma obra viária é altíssimo, haja vista a qualidade e quantidade de materiais empregados na construção. A composição de custos normalmente empregada nas obras leva em consideração os valores fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e/ou do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) além do acréscimo de um elemento especial chamado Benefícios e Despesas Indiretas (BDI). O BDI pode ser entendido como a taxa que incide sobre os custos diretos para formação dos custos indiretos, construindo assim o preço de venda do produto (OLIVEIRA, 2011).

Além das atribuições relacionadas aos custos, Pearce *et al*, (1989) e Pedrozo (2001) afirmam que além de análises da relação custo/benefício de implantação de uma nova rodovia, devem ser considerados outros custos, principalmente ambientais. Nesses, está a avaliação das externalidades negativas, que podem ser geradas pela possível perda de locais para praças e recreações, aumento de ruído pelo tráfego, crescimento da poluição visual e do ar, perda de locais ecologicamente preservados, impacto sobre os pedestres e ciclistas, alterações no clima e impactos associados à construção. Apesar de serem difíceis de mensurar, tais custos intangíveis estão atribuídos ao processo de construção de uma rodovia.

No que tange essas questões e considerando a infraestrutura viária existente no país, surge a possibilidade de utilização, nas rodovias não pavimentadas, de diferentes tipos de geossintéticos. Segundo Oliveira (2013), muitos usuários dessas estradas acreditam que a única solução viável para resolver os problemas de deterioração que ocorrem principalmente no período chuvoso seria a pavimentação da via. No entanto, o custo para a pavimentação é elevado, além do tempo construtivo ser maior.

Segundo Góngora (2011), atualmente os geossintéticos são comumente empregados no reforço de estradas não pavimentadas. Os mais empregados são os geotêxteis tecidos, os não tecidos e as geogrelhas. De acordo com ela, ao inserir o geossintético no solo, há obtenção de um material composto mais resistente e menos deformável que o solo isolado. Existe a possibilidade de utilizar, como reforço ao solo, as geocélulas, mas segundo a autora essas estruturas são caras e tendem a ser menos utilizadas para essa função.

Os geossintéticos têm sido utilizados para a estabilização de subleitos e reforço de aterros quando utilizados na construção de estradas não-pavimentadas. Normalmente, o polímero é colocado entre a camada de aterro e o subleito, já que nestas condições, o solo e o geossintético combinados conseguem suportar maiores cargas e maior intensidade de tráfego. Além disso, a capacidade de reforço do geossintético consegue viabilizar a utilização de um material de menor qualidade para o aterro, o que implicaria em redução de custos e maiores benefícios ambientais (GÓNGORA, 2011).

1.1 PROBLEMAS E PREMISSAS

O principal motivador do estudo é o fato do modo de transporte rodoviário ser predominante no Brasil, embora haja uma disponibilidade menor de rodovias pavimentadas, quando em comparação com a extensão de malha rodoviária não pavimentada do país. Entende-se que a pavimentação dessas estradas pode não ser a única saída viável para a solução dos problemas relacionados à drenagem ineficiente ou tipologia do solo. Existe uma gama de geossintéticos que podem ser utilizados para reforçar o solo, bem como melhorar a trafegabilidade das estradas não pavimentadas.

Mesmo que já existente, a utilização de geossintéticos para fins de reforço em estradas não pavimentadas é uma prática pouco utilizada no Brasil e que pode ser de grande valia, não só para as unidades da federação, mas também para os produtores rurais individuais, que sofrem com problemas recorrentes nessas estradas. O alto custo para realização da pavimentação de um trecho de rodovia pode ser inviável para o pequeno produtor. Dessa forma, o escoamento da produção fica comprometido,

afinal muitas vezes o único acesso que existe entre a propriedade e o centro comercial do município é pela estrada em leito natural.

Em conformidade ao supracitado, entende-se que a aplicação do geossintético pode aumentar a resistência da estrada não pavimentada às intempéries, diminuindo os problemas no escoamento da produção, em especial nos períodos chuvosos. Além disso, essa medida pode mitigar a necessidade de realização de pavimentação nessa via, reduzindo o investimento necessário e sendo, portanto, de maior custo/benefício.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

Faz parte desse trabalho investigar como o uso de geossintéticos pode servir de reforço para uma estrada não pavimentada e, possivelmente garantir mais eficiência que a pavimentação, seja asfáltica ou de concreto, na mesma localidade.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender o uso dos geossintéticos em obras viárias;
- Definir como os geossintéticos podem ser utilizados como reforço em estradas não pavimentadas;
- Definir como a utilização de geossintéticos nas estradas não pavimentadas pode apresentar melhor custo/benefício que pavimentação da via;

1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A demanda frequente por produtos faz com que haja um aumento na produção dos manufaturados. Muitas vezes, para essa produção a matéria prima necessita de ser deslocada do campo para os centros industriais. Nesses últimos, existe uma infraestrutura de transporte que corresponde com a demanda, em que há uma rede de tráfego bem construída, tanto do ponto de vista da infraestrutura quanto do planejamento.

No entanto, no ambiente rural, próximo ao produtor da matéria prima, nem sempre há a disponibilidade de vias com infraestrutura eficiente. Assim como sinalizado pelo SNV (2010), a maior parte das vias brasileiras são em leito natural e essa característica tende a ser presente em países subdesenvolvidos. As estradas

não pavimentadas são mais suscetíveis a sofrerem degradação e, segundo Eaton *et al.* (1987), a vida útil dessas estradas é em média de 1 a 2 anos, bem menor que as estradas pavimentadas que, em função do projeto, podem durar até 20 anos.

No entanto, o processo de pavimentação dessas vias, pelo alto valor agregado, pode não ser exequível tanto para o poder público quanto para os moradores e produtores locais. Segundo Tavares (2005), a pavimentação de 854 metros de via urbana, com oito metros de largura e considerando aplicação asfáltica de cimento betuminoso usinado a quente (CBUQ) com cinco centímetros de espessura é por volta de R\$1.300.000,00, em valores de outubro de 2004. Utilizando a Calculadora do cidadão, disponibilizada pelo Banco Central do Brasil, pode-se corrigir os valores com base na série histórica do IPCA, sendo que os valores atuais para a mesma obra são por volta de R\$3.500.000,00. Saliencia-se que a camada de pavimento aplicada na pavimentação urbana tende a ser menos espessa que na pavimentação rodoviária e, conseqüentemente, mais barata.

Dessa maneira, o uso de geossintéticos para reforço de estradas não pavimentadas em regiões rurais pode se mostrar de grande valia. Existe a possibilidade de diminuição dos problemas observados nas estradas não pavimentadas, afinal o uso dos geossintéticos pode conferir maior resistência com relação às exigências sofridas pela via. Além disso, pode ser excluída a necessidade da execução de obras de pavimentação, barateando o custo de investimento inicial (que será foco da abordagem do trabalho) e, conseqüentemente, o custo de manutenção ao longo do tempo. Assim como o último tópico, existe ainda mais um possível ganho com a implantação dos geossintéticos na estrada não pavimentada, que seria o aumento da vida útil média dessa via. Essa análise será de grande proveito em trabalhos futuros, já que apesar de não serem abordados nesse trabalho, esses são temas cujas linhas de pesquisa podem ser exploradas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O documento está dividido em 5 capítulos. No primeiro capítulo consta uma contextualização e a apresentação da problemática, na qual foram abordados os principais parâmetros influentes para o texto, bem como o objetivo geral e os específicos. No segundo capítulo é realizada uma revisão da literatura do tema em

questão, a revisão dos principais conceitos e uma revisão bibliográfica do assunto. O terceiro capítulo apresenta a metodologia do trabalho foi construído, definindo-se como a pesquisa foi construída.

No quarto capítulo são dispostos os resultados e discussões encontradas durante a elaboração do trabalho e, por fim, o quinto capítulo traz as considerações finais do trabalho de conclusão de curso e sugestões para trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 BREVE HISTÓRIA DOS GEOSSINTÉTICOS

Há aproximadamente 3000 anos a.C. as sociedades já trabalhavam em formas de melhorar a qualidade dos solos, em geral utilizando materiais vegetais constituídos de fibras resistentes (VERTEMATT, 2015). Apesar de serem de extrema eficácia, os materiais vegetais, por sua origem orgânica, tendem a se decompor com facilidade, quando em contato com a umidade e microrganismos presentes no solo. Dessa forma, ao longo dos anos a engenharia civil solicitou o desenvolvimento de artifícios que pudessem melhorar a qualidade do solo e ainda, fossem mais sustentáveis e viáveis economicamente.

Palmeira (2018) faz uma breve contextualização do uso desses geossintéticos naturais e cita que existem registros históricos em que os chineses fizeram o uso de estivas de junco, solo misturado com palha e bambus na construção das fundações da Grande Muralha da China. Ainda segundo o autor, houveram experiências na Mesopotâmia com a utilização de raízes como elementos de reforço desde 1000 a.C. e em obras do Império Romano, em que esses utilizavam peles de animais para o mesmo fim.

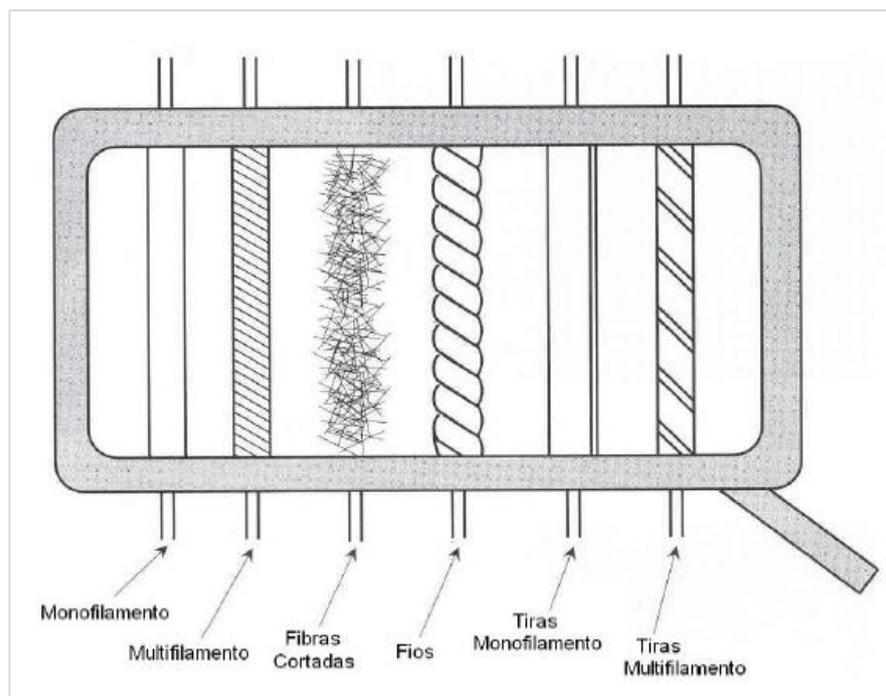
A primeira indicação da aplicação de material tecido na construção data do ano de 1926 nos Estados Unidos, segundo Carneiro (2009). Nessa ocorrência, houve o reforço de pavimentos de estradas. No entanto, ainda segundo o autor, os geossintéticos só começaram a ser usados de forma sistemática nas obras de construção civil a partir de meados do século XX, após o surgimento dos polímeros sintéticos na década de 40.

O termo “geossintético” foi introduzido na sociedade em 1983 por J.E. Fluet Jr. para designar, de maneira genérica, todos os novos produtos com aplicações em obras de carácter geotécnico (Carneiro, 2009, p.06). No entanto, foi considerado inadequado durante algum tempo (dado alguns produtos não terem origem sintética). Assim, o termo “geossintético” foi substituído pelo termo “geotêxteis, geomembranas e produtos afins”. Em 1994, quando a Sociedade Internacional de Geotêxteis trocou de nome para Sociedade Internacional de Geossintéticos, o termo “geossintético” passou a ser utilizado internacionalmente para designar todos os materiais, independente se fossem fabricados com produtos sintéticos ou naturais.

Na mesma linha, a NBR 12553, de setembro de 2003, cita o termo “geossintético” como sendo uma denominação genérica de produtos poliméricos (sintéticos ou naturais) que foram desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, dentre: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial.

Os geotêxteis tecidos surgiram na década de 50, a partir do desenvolvimento do polietileno de baixa resistência, em 1949 e o de alta resistência, em 1954 (VERTEMATT, 2015). Além desses, houve também o desenvolvimento do polipropileno, também em 1954, sendo esse produzido comercialmente no final da década de 50. A Figura 2 apresenta a estrutura básica dos geossintéticos.

Figura 2: Estruturas básicas do geossintético



Fonte: Lopes, 1998

Em meados das décadas de 60 e 70, surgiram os geotêxteis não-tecidos, e esse fato resultou num grande aumento da utilização dos geossintéticos, afinal esse tipo de polímero é o mais utilizado na construção. Segundo Carneiro (2009), pode-se dizer que o sucesso alcançado pelos geotêxteis não-tecidos foi devido, primeiramente, às vantagens técnicas que ele permite, sendo a facilidade de aplicação e a variedade de funções que eles podem exercer. Em segundo plano, há a vantagem econômica, já que esse geossintético apresenta baixo custo.

O desenvolvimento do mercado dos geotêxteis conduziu, na década de 80, ao aparecimento de novos produtos como, as geogrelhas, as georredes e os geocompostos. Esses últimos, em especial, promoveram maior desenvolvimento dos processos de reforço em obras rodoviárias, pois esse mercado é o principal usuário desses tipos de sintéticos, dadas suas características físicas.

2.2 CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL

Carneiro (2009) aborda que o geossintético pode ser definido como um material polimérico sintético ou natural, majoritariamente plano, que é usado em contato com

materiais naturais (como os solos ou as rochas), agregados (concreto) ou com qualquer outro material geotécnico utilizado nas diversas obras de engenharia civil.

Segundo Moreira (2009), podem ser utilizadas diversas matérias-primas na confecção dos geossintéticos. Segundo ele, na indústria têxtil elas se dividem em dois grandes grupos: as matérias-primas naturais e as químicas. As primeiras podem ter origem tanto vegetal quanto animal, podendo ser de algodão, linho, cânhamo, lã ou seda. Já as químicas podem ser oriundas de polímeros naturais transformados e/ou polímeros sintéticos (matérias-primas orgânicas) ou originárias em minerais e metais (matérias-primas inorgânicas). O presente trabalho usa como ferramenta a abordagem dos geossintéticos baseados em matérias primas orgânicas, os polímeros.

Ao longo dos últimos anos, os geossintéticos têm sido amplamente aplicados nas mais diversas obras de construção civil. As principais razões para o grande sucesso dos geossintéticos incluem vantagens técnicas (rapidez e simplicidade de aplicação; grande gama de produtos para os mais variados fins), económicas (baixo custo) e ambientais (baixo impacto ambiental). Assim, os geossintéticos são uma excelente alternativa aos materiais de construção tradicionais. Neste capítulo, procede-se à descrição de alguns aspectos gerais sobre geossintéticos: breve história dos materiais, classificação, funções, matérias-primas, processos de fabrico e aplicações.

De acordo com Ehrlich et al., (2004), o reforço do solo com materiais, sejam eles geossintéticos ou não, permite uma maior estabilidade das estruturas geotécnicas, afinal há facilitação da dispersão das tensões no solo já que a resistência do solo à tração é praticamente nula. A geotecnia, como ciência que estuda o comportamento do solo, busca características que conferem estabilidade aos solos, como homogeneidade, ausência de nível d'água superficial, baixa deformabilidade e não colapsabilidade, considerando que as soluções possíveis para os problemas não descartem a execução da obra (VERTEMATTI, 2004).

Segundo Lopes (1992), estruturar um solo garantindo seu reforço consiste em melhorar as características do maciço de terra, aumentando sua resistência devido à capacidade de carga solicitada e a deformabilidade. Essas solicitações sobre o solo podem ser variáveis, mas com adição do geossintético existe a alteração da estrutura

de forma global, tornando-a estrutural e mais resistente. Existe a real necessidade de melhoramento do reforço do solo para a construção das obras civis. Quando há um solo com baixa resistência, a aplicação de geossintéticos pode conferir menor deformidade ao solo.

Conforme sinalizado por Koerner (2018) e Carneiro (2009), os geossintéticos em obras geotécnicas podem ser classificados com base em suas propriedades funcionais. Portanto, é possível realizar a separação em 6 categorias, descritas a seguir. As características abordadas nesse trabalho para melhoramento das estradas não pavimentadas são aquelas listadas pelas categorias 5 e 6.

- 1) Separação – Quando há a necessidade de que dois ou mais materiais não se misturem, o geossintético pode ser colocado entre eles e assim é garantido que os materiais mantenham comportamentos distintos. Em obras de aterros sobre solos moles, por exemplo, quando se deseja evitar a mistura do material de aterro com o solo mole, que pode prejudicar o comportamento mecânico do aterro, utiliza-se algum geossintético com a capacidade de separação, como na Figura 3.

Figura 3: Processo de separação



Fonte: Moreira, 2009

- 2) Filtração – É um processo estabelecido entre o geossintético e o solo em que há permissão do fluxo controlado de líquido com limitada perda de solo. Esse deslocamento de fluido se dá perpendicularmente ao plano do geossintético, como na Figura 4.

Figura 4: Processo de filtração



Fonte: Moreira, 2019

- 3) Drenagem – É o processo estabelecido entre o geossintético e o solo em que há permissão do fluxo controlado de líquido com limitada perda de solo. Esse deslocamento de fluido se dá paralelamente ao plano do geossintético.
- 4) Impermeabilização – Diferente da filtração e drenagem, nessa categoria o geossintético assume o papel de impedir a passagem de líquidos entre as camadas do solo, independente da direção. Devido ao crescimento das exigências ambientais para disposição de resíduos e rejeitos, nas últimas décadas houve aumento do uso de geossintéticos com essa característica, como se vê na Figura 5.

Figura 5: Processo de impermeabilização



Fonte: Geomembrana Geossintéticos, 2019

- 5) Reforço – Ao inserir alguns tipos de geossintéticos ao solo, é possível garantir melhor comportamento mecânico dele, assim como a adição de aço confere maior tração ao concreto. Comparado ao solo não reforçado, a adição desse geossintético confere maior estabilidade ao solo.
- 6) Controle de erosão superficial – Semelhante à drenagem, os geossintéticos podem ser utilizados para evitar ou limitar os movimentos de solo ou outras partículas na superfície dele no nível superficial. Dessa forma, previne-se o início de processos de erosão superficial das partículas do solo devido ao escoamento de fluido, como apresentado na Figura 6.

Figura 6: Processo de reforço e Controle de erosão superficial



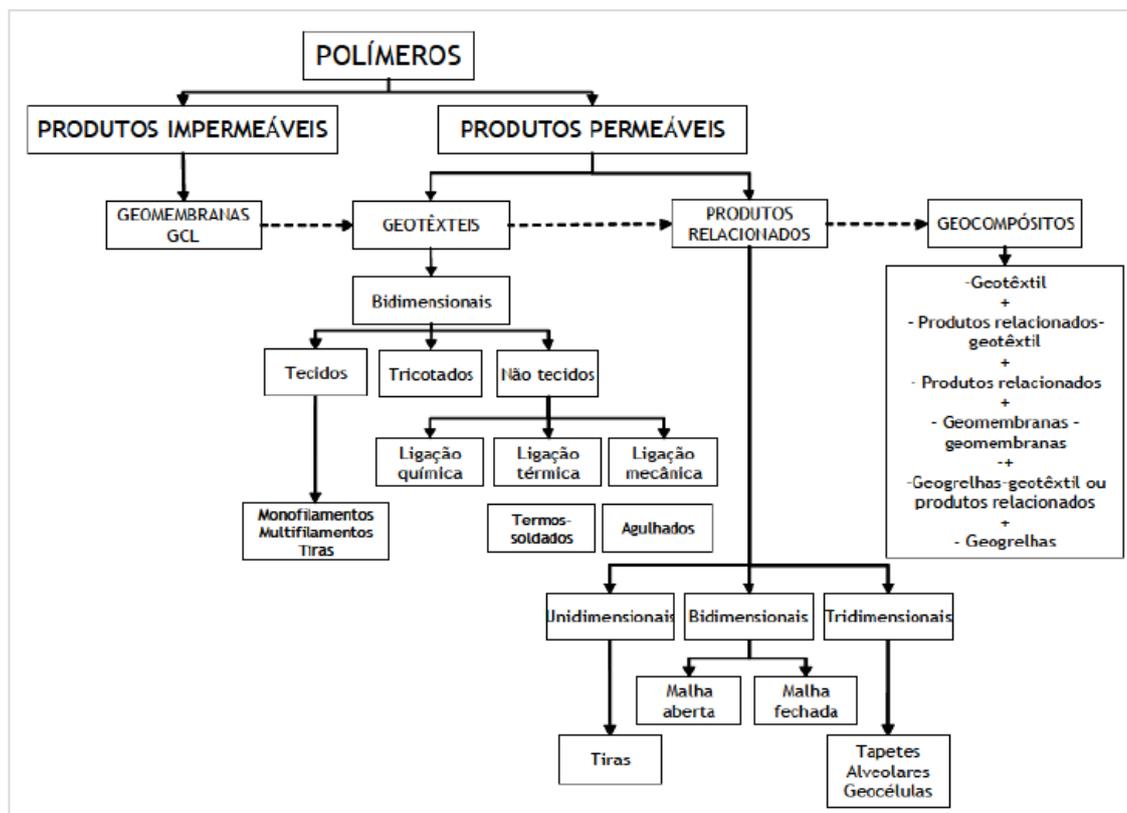
Fonte: GeoSul Geossintéticos, 2022

Salienta-se que o presente trabalho se debruça nas etapas 5 e 6, afinal se busca reforçar o solo das estradas não pavimentadas, além de tentar controlar a erosão da superfície.

2.3 TIPOS DE GEOSINTÉTICOS

Os variados tipos de geossintéticos podem ser classificados de acordo com suas diferenças estruturais, materiais empregados na confecção e diferentes tipos de fabricação. Segundo Silva (2016), os geossintéticos podem ser classificados em três grupos: geotêxteis, geomembranas e produtos relacionados. Este último inclui as georredes, as geogrelhas, os geocompostos e todos os demais geossintéticos, como apresentado na Figura 7.

Figura 7: Cadeia de composição dos Geossintéticos



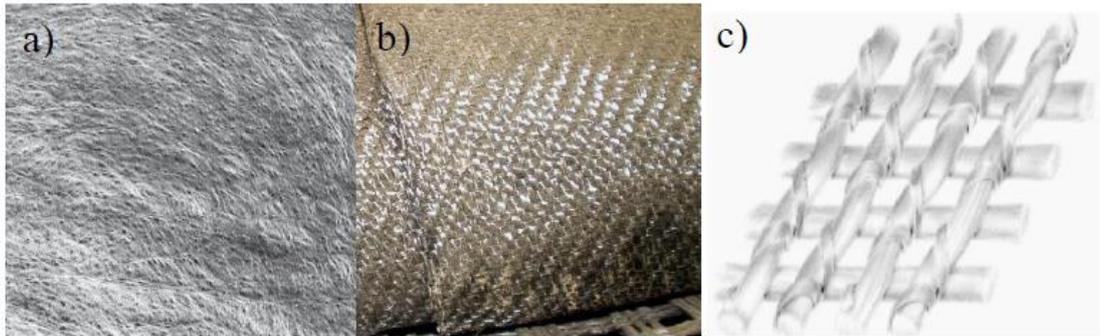
Fonte: Moreira, 2009

Já a Sociedade Internacional dos Geossintéticos (IGS – *International Geosynthetic Society*), classifica os geossintéticos por categorias, dependendo do processo de fabricação, conforme cita Lachouski (2021). De acordo com Moreira (2009), os geotêxteis podem ser fabricados com diversos polímeros, em especial os poliésteres (PET), as poliamidas (PA), os polipropilenos (PP) e os polietilenos (PE). As classificações de alguns dos tipos de geossintéticos são apresentadas a seguir.

- I. **Geotêxtil:** é uma espécie de manta flexível e permeável que exerce funções de separação, proteção, filtração, drenagem e reforço. Segundo Moreira (2018), eles podem ser considerados os geossintéticos mais versáteis. Existem dois tipos principais dessa categoria de geossintético, a depender do processo de manufatura, sendo eles:
 - o Geotêxtil tecido: é um geotêxtil fabricado a partir do entrelaçamento de fios, filamentos únicos ou múltiplos segundo as direções de fabricação, sendo essas sempre perpendiculares, como na Figura 8-a) e Figura 8-b).

- Geotêxtil não tecido: é um geotêxtil constituído de fibras ou filamentos que foram distribuídos espacialmente de forma aleatória, sem direção definida, como na Figura 8-c).

Figura 8: Geotêxteis

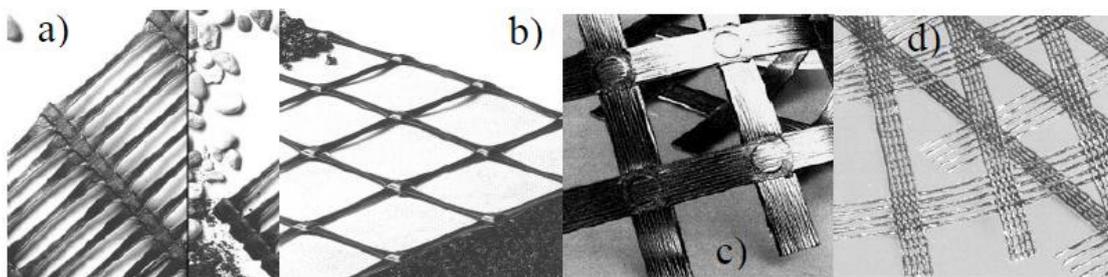


Fonte: a) Palmeira (2018); b) Antunes (2008); c) Vertematti (2001).

II) **Geogrelha:** é um geossintético estruturalmente bidimensional e em formato de grelha. Ela pode ser dita unidirecional quando apresentar elevada resistência à tração em apenas uma direção, e bidirecional quando apresentar resistência à tração em duas direções, sendo essa sua principal função, realizar o reforço do solo. A geogrelha, assim como o geotêxtil, apresenta especificações a depender do processo de manufatura, sendo esses:

- Geogrelha extrudada: é fabricada através do processo de extrusão e sucessivo estiramento, ou seja, a matéria prima é forçada para fora de um equipamento e toma o formato desejado pelo fabricante, exemplificado pela Figura 9-a).
- Geogrelha soldada: é um tipo de geogrelha em que os elementos de tração longitudinais e transversais são soldados nas juntas através de eletrosoldagem, formando a estrutura, como na Figura 9-b).
- Geogrelha tecida: é uma geogrelha composta por elementos de tração longitudinais e transversais entrelaçados nas juntas. Geralmente, para garantir mais resistência, são protegidas com uma camada adicional de ouro polímero, geralmente PVC, assim como Figura 9-d).

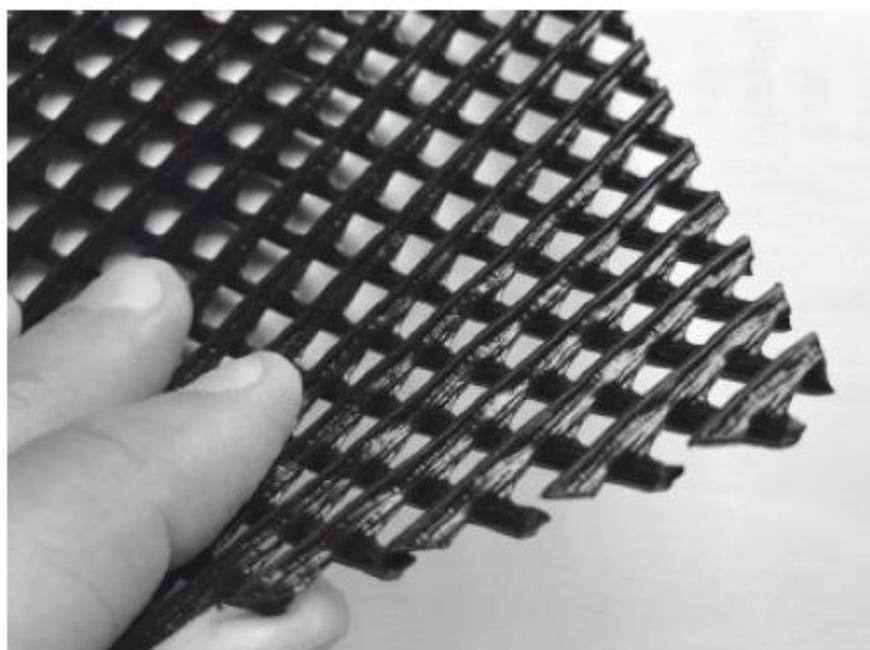
Figura 9: Geogrelhas



Fonte: Sieira, 2003

III) **Georrede:** é um tipo de geossintético plano com malha densa e de forma regular, sendo muito semelhante à geogrelha, sendo que a principal diferença entre as duas é o tipo de utilização. Em geral, as georredes são utilizadas em funções de drenagem de líquidos, enquanto que as geogrelhas são empregadas, geralmente, em obras de contenção de sólidos, exemplificado na Figura 10.

Figura 10: Georredes

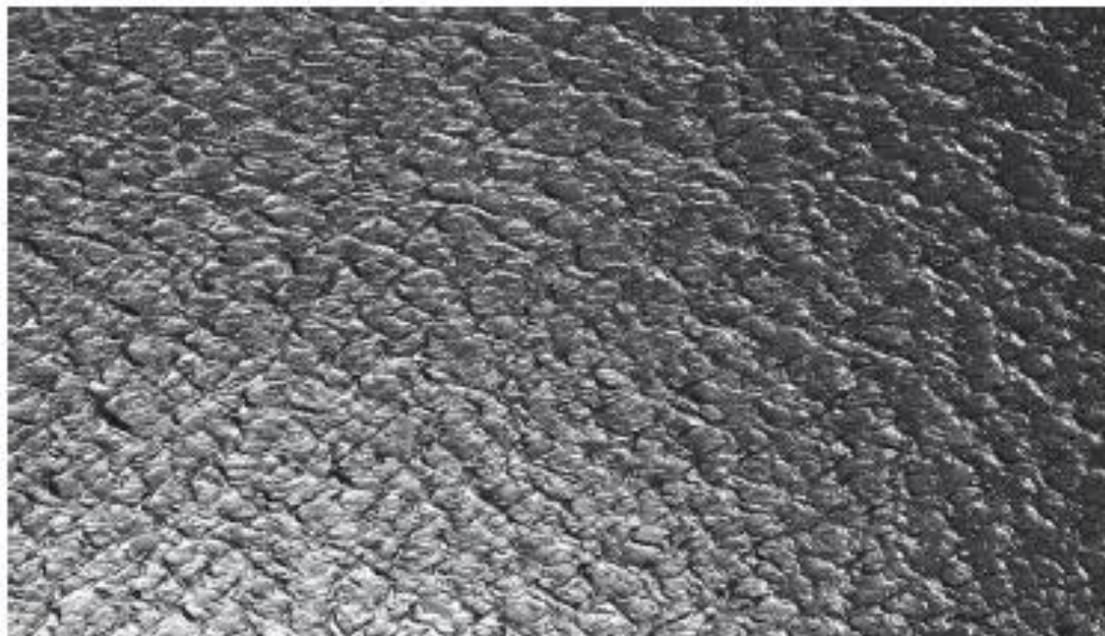


Fonte: Palmeira, 2018

IV) **Geomembrana:** é um tipo de geossintético planos com baixa permeabilidade. Pode ter uma superfície lisa ou texturizada sendo fabricada a partir de extrusão ou calandragem. Pela característica de baixa permeabilidade, pode-se dizer que a principal função das geomembrana é reter fluídos, podendo ser líquidos ou gases. Dadas as maiores exigências feitas a geomembrana, tanto em relação a resistência ao ataque ambiental quanto em termos de custos, existe uma grande

diversidade de polímeros que podem ser utilizados na fabricação desse produto Moreira (2009), mostrado pela Figura 11.

Figura 11: Geomembrana

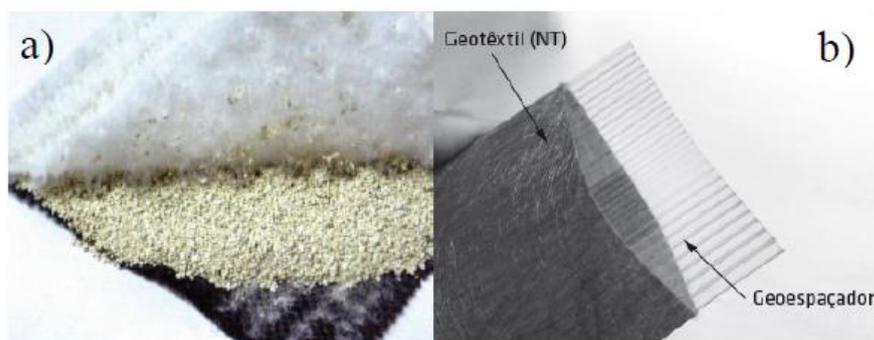


Fonte: Palmeira, 2018

V) **Geocomposto**: é um produto formado pela associação de dois ou mais tipos de geossintéticos para funções de drenagem, reforço, etc. O material ao qual o geocomposto é aderido recebe alguns nomes, sendo citados:

- Geocomposto argiloso: é a associação de geossintéticos a um material argiloso de baixa permeabilidade com o intuito de potencializar a impermeabilidade do solo e fazer do sistema uma barreira contra líquidos e gases, mostrado na Figura 12-a). É comumente usado em aterros sanitários.
- Geocomposto para drenagem: é a associação de um ou mais geossintéticos para fins de drenagem, sendo utilizado principalmente em obras rodoviárias, apresentado na Figura 12-b).

Figura 12: Geocomposto



Fonte: a) Amaral (2019). b) Palmeira (2018).

VI) **Geotubo**: é um geossintético em forma tubular, podendo ser perfurado ou não e usado para drenagem de líquidos ou gases (incluindo coleta de chorume ou gases em aplicações de aterros sanitários). Caso seja perfurado, o geotubo pode ser envolto por um geotêxtil, para aumentar ainda mais a capacidade de filtração dele, como mostrado na Figura 13. Possui elevada resistência a ataques químicos e biológicos, favorecendo assim o seu emprego em obras de disposição de resíduos.

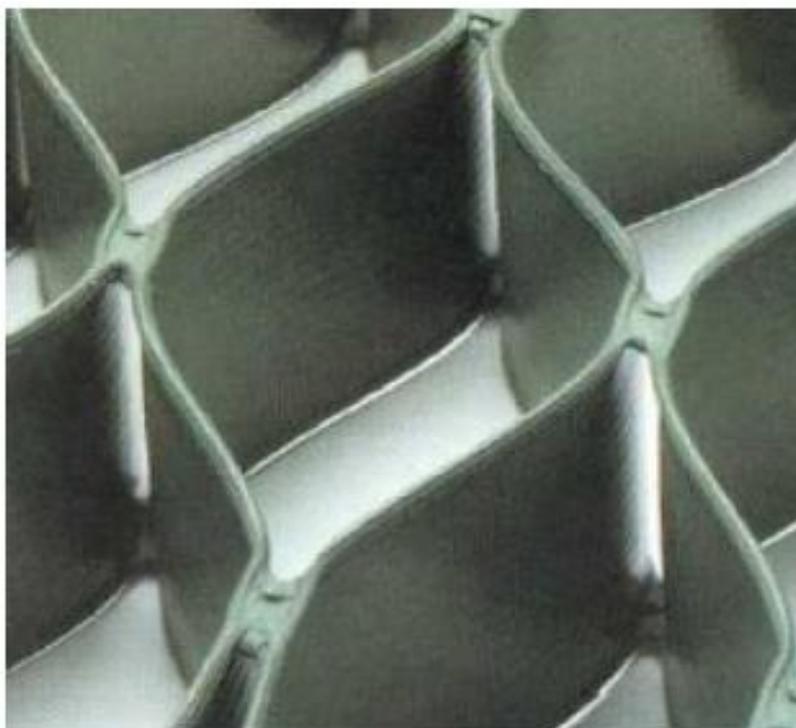
Figura 13: Geotubo



Fonte: Vertematti, 2015

VII) **Geocélula**: é um tipo de geossintético composto por arranjos tridimensionais relativamente espessos, no formato de tiras poliméricas, apresentado na Figura 14. Essas tiras são soldadas para formar células conectadas que podem ser preenchidas com solo ou concreto, a depender da finalidade da célula. Essas tiras espessas conferem ao material um maior desempenho em funções de reforço e controle de erosão.

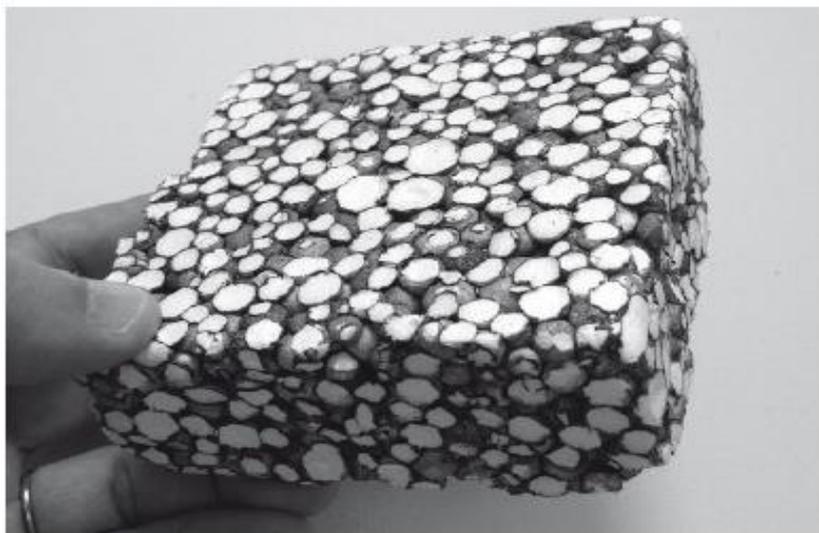
Figura 14: Geocélula



Fonte: Sieira, 2003

VIII) **Geoexpandido**: é um geossintético formado por blocos ou placas produzidas por meio da expansão de espuma de poliestireno e mostrado na Figura 15. Este composto forma uma estrutura de baixa densidade e pode ser utilizada para substituição de materiais de aterros granulares convencionais.

Figura 15: Geoexpandido



Fonte: Palmeira, 2018

Para além dos geossintéticos apresentados anteriormente, ainda podemos citar a geobarra, a geotira, o geoespaçador, a geofibra, a geofôrma, a geomanta, entre outros. O Quadro 1 apresenta, de maneira sucinta, a classificação funcional e os tipos de geossintéticos.

Quadro 1: Classificação dos tipos de geossintético com base nas funcionalidades

Geossintético	Separação	Filtração	Drenagem	Impermeabilização	Reforço	Controle de Erosão
Geotêxtil						
Geogrelha						
Georrede						
Geomembrana						
Geocomposto						
Geotubo						
Ceocélula						
Geoexpandido						

Fonte: Modificado de Palmeira, 2022

2.4 CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

As estradas não pavimentadas, por terem um baixo custo de manutenção envolvido, são imprescindíveis para garantir um fluxo regular de mercadorias e serviços a uma determinada localidade. Elas permitem o desenvolvimento das comunidades que crescem em suas adjacências e, por consequência, garantem a melhoria de sua qualidade de vida (GÓNGORA, 2011). Dessa forma, essas estradas devem apresentar certas características que garantam eficiência quando há solicitação das mesmas.

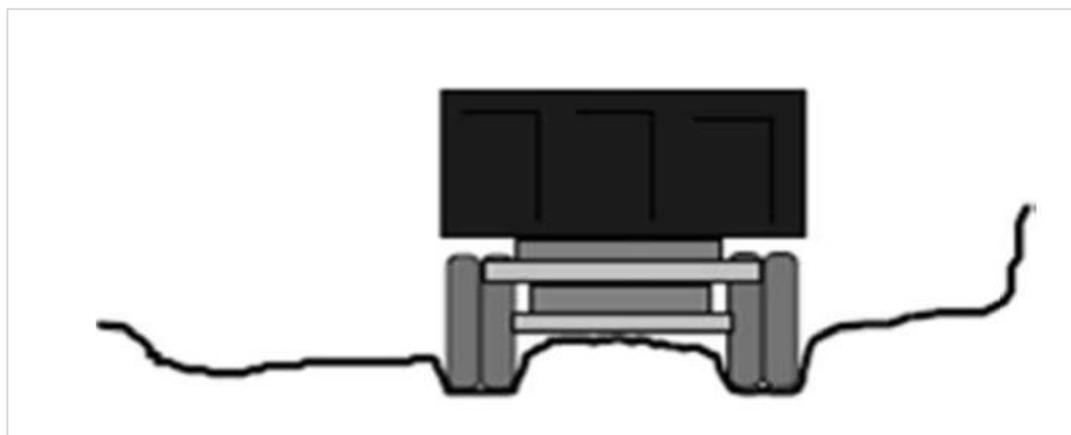
De acordo com Dobson e Postill (1983), as estradas não pavimentadas são caracterizadas, normalmente, por um volume baixo de tráfego diário, variando de 0 a 400 veículos e as larguras vão depender da necessidade imposta pelo tráfego. Além disso, o intervalo entre as manutenções das estradas não pavimentadas é menor que o das vias pavimentadas, afinal o pavimento em leito natural tem vida útil menor que o pavimento asfáltico ou de concreto. Segundo Eaton *et al.* (1987), o ciclo de vida

média das estradas não pavimentadas é de 1 a 2 anos, que é muito inferior ao das estradas pavimentadas que, em função do projeto, variam de 5 a 20 anos.

Segundo Oliveira (2013), quanto maior a capacidade suporte do solo, maior tende a ser a capacidade deste solo de resistir aos processos erosivos, independente da sua natureza, e os desgastes provenientes da exigência pelo tráfego. Essa característica é garantida ao solo independente das condições climáticas e de outras adversidades. A capacidade suporte de um solo pode ser definida como dependente das características do material da superfície como expansibilidade, compressibilidade e permeabilidade e da resistência do solo subjacente (ODA, 1995).

Santos *et al.* (1988) relatam que os defeitos comumente encontrados em estradas não pavimentadas devido à falta de capacidade de suporte são as ondulações transversais e as trilhas de rodas, como demonstrado na Figura 16. Em períodos chuvosos, a baixa capacidade de suporte favorece, também, a formação de atoleiros.

Figura 16: Trilhas de roda no pavimento



Fonte: Santos *et al.*, 1985

Além do problema dos trilhos de roda que se formam a partir da exigência do pavimento, Santos *et al.* (1985) e Góngora (2011) citam que os principais problemas que as estradas de terra podem sofrer são:

- **Excesso de pó na pista:** causado pela ação abrasiva do tráfego que aumenta a vibração e leva ao desprendimento das partículas de solo do solo. Ao se combinar esse desprendimento de partículas com o tráfego

ininterrupto de veículos, pode haver a formação de nuvens de poeira que podem ser prejudiciais à visibilidade dos condutores. É muito comum em terrenos argilosos ou com alta presença de silte;

- **Segregação dos agregados:** causado também pela ação abrasiva do tráfego sobre as estradas não pavimentadas faz com que as maiores partículas se soltem do solo. Combinado com o volume de tráfego passando na via, essas partículas são deslocadas para fora dos trilhos de roda e se concentram nas áreas menos utilizadas da via. É muito comum em terrenos arenosos;
- **Formação de costelas de vaca:** causado pelo acúmulo de material granular em formato de “morros” consecutivos. Também é causado pela vibração do solo conduzida pela ação do tráfego, conforme apresentado na Figura 17. É um dos problemas que mais causa desconforto para o usuário da via não pavimentada;
- **Formação de buracos na via:** causado pela expulsão contínua das partículas sólidas do leito da via quando há acúmulo de água na via. Pode ser considerado um problema oriundo de drenagem insuficiente.

Figura 17: Formação de “costelas de vaca” no pavimento



Fonte: Santos *et al.*, 1985

2.5 CONCEITOS GERAIS SOBRE PAVIMENTAÇÃO

De acordo com Kostulski (2015), um pavimento pode ser entendido como uma estrutura formada por múltiplas camadas de espessuras finitas que são construídas sobre a superfície final de um local que sofreu terraplenagem. A função dessas

camadas é resistir aos esforços oriundos do tráfego e do clima, além de melhorar as condições de rolamento, conforto, economia e segurança de seus usuários.

Da mesma forma, Balbo (2007) define o pavimento como sendo uma estrutura não perene, também composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais que são compactados a partir do subleito. Essa estrutura deve ser adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de forma que seja durável e tenha o mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação.

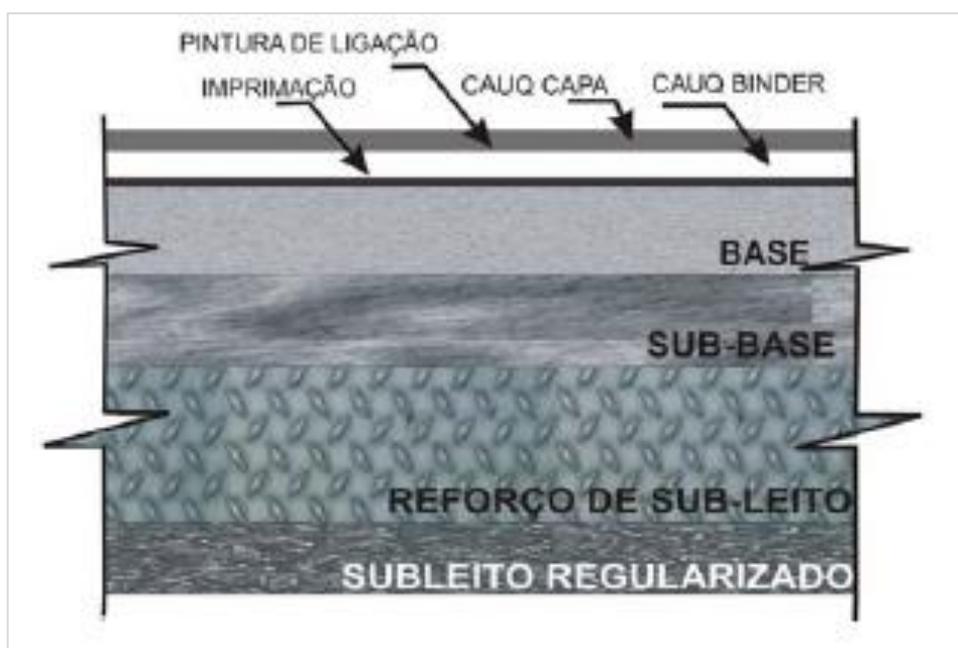
Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006), os pavimentos podem ser classificados como:

- a) **Flexível** – em que as camadas sofrem deformação elástica sob o carregamento aplicado e, portanto, as cargas se distribuem em parcelas entre as camadas;
- b) **Semirrígido** – uma base de aglutinante asfáltico revestida por uma camada cimentícia, por exemplo, uma cama de solo cimento revestida por uma camada asfáltica;
- c) **Rígido** – é o tipo de pavimento em que o revestimento, camada mais superficial, recebe a maior parte das exigências do tráfego, ou seja, as camadas inferiores tendem a ser menos exigidas.

2.5.1 Pavimento Flexível

Conforme cita Rodrigues (2011), os pavimentos flexíveis têm como principal característica o fato de que a capacidade de suporte é dada em função das características da distribuição de cargas por um sistema de camadas sobrepostas, em que as camadas mais próximas da carga são aquelas que possuem melhor qualidade, em teoria. É a camada superior àquela que resiste diretamente às ações e conseqüentes forças do tráfego e as transmite de uma forma mais tênue às camadas inferiores, como identificado na Figura 18.

Figura 18: Estrutura do pavimento flexível



Fonte: Filho, 2006

Pavimentos flexíveis, segundo Filho (2006) começaram a ser testados e estratificados em camadas através de processos empíricos, em que eram realizadas observações sobre como eles interagem com o solo, o clima e as características do nível de tráfego. Esses processos, segundo o autor, foram determinantes para a garantia de que os subleitos, onde as camadas superiores do solo repousam, resistiriam sem ruptura aos esforços solicitados pelo tráfego que passasse sobre o revestimento.

Esses processos empíricos foram então, de maneira natural, sendo substituídos por modelos mecânicos, em que o comportamento mecânico das camadas do pavimento flexível foi estudado de maneira mais prática. Com base nessa atividade foi possível medir a tração no interior das fibras do asfalto e, conseqüentemente, medir a fadiga prematura do material e entender seu ciclo de vida. (FILHO, 2006).

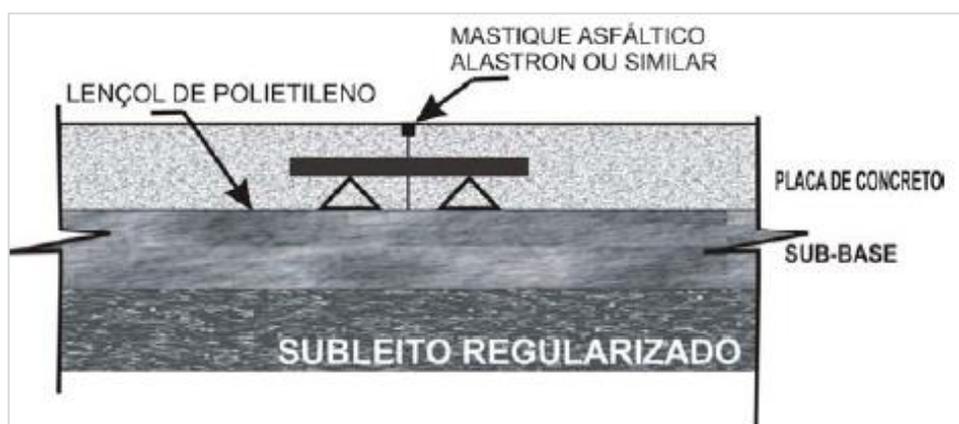
2.5.2 Pavimento Rígido

O pavimento rígido é constituído geralmente por uma única camada superior (laje) de uma mistura a base de cimento, geralmente *Portland*, que funciona simultaneamente como camada de desgaste, resistindo a abrasão do tráfego, e de

base (RODRIGUES, 2011). Como o concreto apresenta elevada resistência à flexão, é esperado que o pavimento não sofra deformações acentuadas, mesmo quando sujeito a tráfego pesado e intenso e em solos que possuam fraca capacidade de suporte.

Conforme cita Filho (2006), a camada de concreto com alta resistência a flexão pode ser acrescida ou não de barras de ligação ou transferência. Ainda, ela faz a transferência dos esforços verticais ao subleito através de uma camada de transição constituída pela sub-base, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19: Estrutura do pavimento rígido



Fonte: Filho, 2006

DNIT (2004) afirma que o concreto empregado na execução de pavimentos rígidos deve apresentar a resistência característica à tração definida do projeto, que geralmente é da ordem de 4,5 Mpa. Em caso dos pavimentos estruturalmente armados é necessária uma resistência característica à compressão axial na ordem de 30 MPa.

De acordo com Bianchini (2010) e Gonzalez (2017), o pavimento rígido tem características técnicas que o tornam mais vantajoso que o pavimento flexível. Além de possuir maior durabilidade e alto desempenho, pode-se citar que esse tipo de pavimento tem:

- O concreto permite a criação de estruturas mais delgadas de pavimento;
- É resistente a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis);
- Apresenta maior distância de visibilidade horizontal, proporcionando maior segurança;

- Tem baixa necessidade de manutenção e conservação, o que mantém o fluxo de veículos sem interrupções;
- Apresenta vida útil mínima de 20 anos, sendo esse o valor máximo de vida útil dos pavimentos flexíveis (EATON et al., 1987);
- O pavimento apresenta maior segurança à derrapagem em função da textura dada à superfície (veículo precisa de 16% menos de distância de frenagem em superfície seca, em superfície molhada 40%);
- A coloração clara tem melhor difusão de luz. Isso permite até 30% de economia nas despesas de iluminação da via;
- O concreto é feito com materiais locais, a mistura é feita a frio e a energia consumida é elétrica;
- Apresenta melhores características de drenagem superficial, pela textura superficial;
- Mantém íntegra a camada de rolamento, não sendo afetado pelas intempéries;
- Requer menos intervenções de conservação e portanto, não causa atrasos nem acidentes aos usuários;
- Tem melhores características de rugosidade;
- Resiste melhor aos efeitos do clima;
- Não se deforma nas áreas sujeitas a paradas e arranques frequentes;

2.6 COMPOSIÇÃO BÁSICA DE CUSTOS EM OBRAS VIÁRIAS

O processo de tomada de decisão sobre investir em empreendimentos se baseia em estudos de viabilidade (DNIT, 2019). Além disso, conforme cita Taves (2004), o processo de orçamentação pode trazer informações incompletas sobre as fases da obra se mal elaborado. Esse fato pode dificultar que o empreendimento consiga estabelecer metas orçamentárias, quantificar serviço e materiais e, na pior das situações, traga prejuízo para a construtora e para a incorporadora.

O orçamento, segundo Pereira (2018), pode ser caracterizado como um estudo de viabilidade econômica do projeto. Em consonância, de acordo com Tisaka (2006), um conhecimento inadequado do orçamento traz o risco de se obter preços excessivamente altos ou baixos, fora da realidade do mercado, resultando na não contratação ou na oferta de um preço insuficiente. Dessa forma, é de extrema

necessidade que haja uma boa fonte de informações que embase a composição dos custos de obras.

Nas obras civis geralmente se consideram e, no que tange às informações citadas nesse trabalho, dois sistemas para a composição de custos de obras, o SICRO e o SINAPI.

2.6.1 SICRO

Com a evolução do tempo, principalmente a partir da década de 70, o DNIT evoluiu até a fase de emissão de tabelas referenciais de preços distintas para cada região do país, pois se percebeu que os custos de obras eram sensíveis à localização em que elas eram executadas (DNIT, 2017). Em 2017, o sistema foi oficialmente colocado à disposição pública e recebe atualizações trimestrais dos preços dos insumos, dividido por unidade federativa.

Gonçalves (2020) ressalta que uma das principais atribuições do sistema é balizar as tomadas de preço e decisões por parte da administração pública para licitação ou contratação direta de serviços de infraestrutura de transportes. O SICRO, de acordo com DNIT (2017), apresenta informações como: estrutura informações de preço de referência, preço de venda, custo e despesas e preços de insumos (mão de obra, materiais e equipamentos). Além disso, estima os custos indiretos e custos diretos, tendo por fim o custo total e o preço de venda total da obra.

Ainda segundo DNIT (2017), a metodologia base do SICRO é fundamentada no conceito de composições de custos. Essas composições consistem em modelar a execução de determinado serviço de construção civil e tem por objetivo identificar as principais informações do processo de precificação. Além disso, a elaboração de uma composição de custos de cada serviço de construção civil requer o conhecimento de diversas informações, principalmente as que sejam referentes a: produção do serviço da equipe, especificação dos insumos, taxas de utilização dos equipamentos e de mão de obra, valor do FIC e do FIT, especificação dos consumos e custos dos materiais, listagem e custos das atividades auxiliares, dos tempos fixos relacionados à carga, da descarga e manobras, custos dos momentos de transporte e o valor de bonificação e despesas indiretas – BDI (DNIT, 2017).

Pereira (2018) também reforça que os custos dos materiais que servem de insumos para o sistema são obtidos por meio de pesquisas regulares de preços de mercado realizadas em todos os estados do Brasil. Os preços desses insumos devem se referir à condição de pagamento à vista e contemplar toda a carga tributária incidente.

2.6.2 SINAPI

Já o SINAPI é o sistema referencial de custos sustentado pela Caixa Econômica Federal – CAIXA e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Nele, a CAIXA é responsável por toda base técnica de engenharia utilizada e o IBGE fornece os parâmetros de preços, realiza o tratamento dos dados e divulga os índices (CAIXA, 2020).

Por sua natureza, conforme apresenta o DNIT (2017), o SINAPI foi utilizado como referência para o cálculo do custo por metro quadrado de construção para as instalações dos canteiros de obras. Ainda segundo o autor, comparando-se os materiais e a qualidade das edificações adotadas nos canteiros de obras, pode-se dizer que as obras utilizadas como referência pelo SINAPI apresentam padrões de qualidade mais elevados que as referências utilizadas para composição do SICRO.

O Conselho Curador do FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço solicitou, em 1994, que o sistema deveria servir de referencial, além das obras habitacionais, para as obras de saneamento e infraestrutura urbana (SINAPI, 2020). Em 2009, o SINAPI passou a ser publicado na internet e, a partir de 2013, passou a ter revisões regulares em seu banco de composições, a fim de garantir maior precisão com relação aos referenciais de cada serviço.

Segundo Gonçalves (2020), o custo global de referências para as obras e serviços de engenharia pode ser baseado a partir das composições de custos unitárias previstas no SINAPI. O referencial SINAPI é responsável por caracterizar preço de venda, custo e despesas e preços de insumos (mão de obra, materiais e equipamentos) e estimativas dos custos diretos e custos indiretos de obras de infraestrutura urbana.

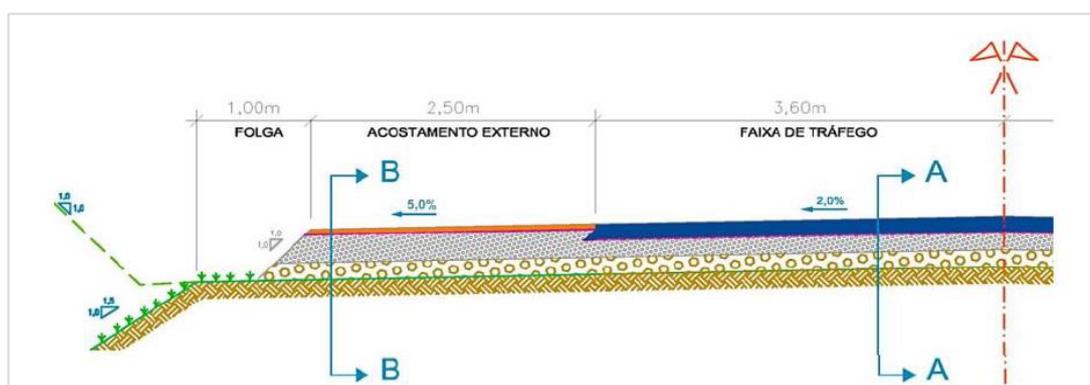
2.6.3 Custos de pavimentação

Para a fundamentação do presente item, foram considerados custos encontrados na bibliografia sobre a realização de obras de pavimentação em rodovias e vias urbanas. Entretanto, buscando realizar uma identificação de custos rodoviários e, optou-se por escolher um trabalho acadêmico que citasse o assunto e se debruçar sobre ele, no que diz respeito ao levantamento de custos associados ao dimensionamento.

No que diz respeito aos custos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, foi utilizado a dissertação de mestrado de Klamt (2014). A obra, citada “Influência da ação do tráfego no custo de construção e restauração de pavimentos asfálticos” foi apresentada ao programa de Pós-Graduação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria. No estudo, o autor realizou um estudo de caso sobre a BR-116, construindo o dimensionamento do pavimento com base em dados de tráfego obtidos pelos registros das praças de pedágio na rodovia, estando estas localizadas no Rio Grande do Sul (8 praças), Rio de Janeiro (2 praças) e Minas Gerais (1 praça).

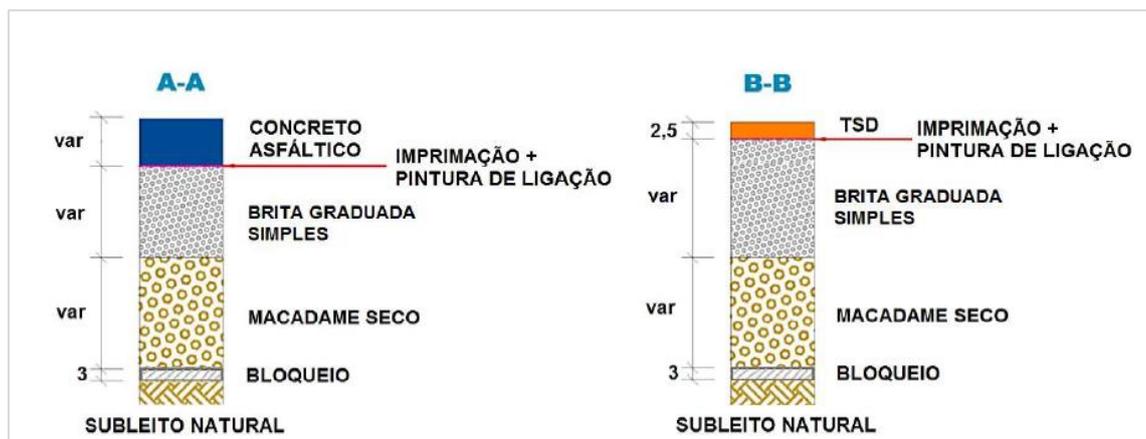
Para a elaboração da planilha de custos, o autor levantou os dados utilizando as composições do SICRO, referentes a maio de 2014. O tipo de rodovia adotada foi a classe I-B - Rodovia de pista simples, projetada para 10 anos, para um limite inferior de tráfego de 200 veículos horários bidirecionais ou volume médio diário bidirecional de 1400 veículos (DNIT, 2010). Para os trechos definidos, Klamt (2014) considerou presença de duas faixas de rolamento por sentido, conforme as Figura 20 e Figura 21.

Figura 20: Seção tipo da rodovia classe I-B



Fonte: Klamt, 2014

Figura 21: Seções transversais da rodovia



Fonte: Klamt, 2014

A distância média representativa adotada pelo autor para o transporte de materiais betuminosos foi arbitrada a partir da refinaria até o município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, sendo adotada uma distância de 300 km.

Em todas as análises realizadas pelo autor foram levantados os custos para a obtenção do concreto asfáltico, para a execução de pintura de ligação e imprimação, com a aquisição e transporte de brita graduada simples, macadame seco e com a realização de tratamento superficial duplo.

Além disso, foram definidos cenários que serviram de insumo para o dimensionamento do pavimento, diferenciando-se uma combinação de porcentagens de veículos com carga máxima legal, com sobrepeso e de veículos vazios, conforme a Figura 22. Além disso, foi aplicada uma taxa de crescimento do tráfego, desenvolvida pelo próprio autor e que levava em consideração o número N calculado para as praças de pedágio existentes.

Figura 22: Cenários considerados na pesquisa

Cenários	% Veículos com CML	% Veículos com SC	% SC	% Veículos vazios	T.C. (%)
1	80	0	0	20	3,00
2	80	0	0	20	4,86
3	75	5	10	20	3,00
4	75	5	10	20	4,86
5	75	5	15	20	3,00
6	75	5	15	20	4,86
7	75	5	20	20	3,00
8	75	5	20	20	4,86
9	70	10	10	20	3,00
10	70	10	10	20	4,86
11	70	10	15	20	3,00
12	70	10	15	20	4,86
13	70	10	20	20	3,00
14	70	10	20	20	4,86
15	65	15	10	20	3,00
16	65	15	10	20	4,86
17	65	15	15	20	3,00
18	65	15	15	20	4,86
19	65	15	20	20	3,00
20	65	15	20	20	4,86

CML = Carga Máxima Legal; SC = Sobrecarga; T.C. = Taxa de Crescimento

Fonte: Klamt, 2014

De acordo com o autor, para os valores do SICRO de maio de 2014, o custo de pavimentação por quilômetro de rodovia é, em média R\$2.376.474,34, segundo método de dimensionamento do DNIT e considerando uma resistência à penetração, medida através do ensaio *California Bearing Ratio* (CBR), de 4%. Além disso, o pavimento considerado foi de 12,5 centímetros de espessura.

Já ao considerar o CBR em 10% e diminuir a espessura do pavimento, o autor concluiu que o custo por quilômetro seria de R\$1.657.153,05, também para valores de maio de 2014. Por fim, considerando um subleito com CBR de 16%, o custo para cada quilômetro de via construída seria de R\$1.214.493,80.

2.6.4 Custos de aplicação de geossintéticos

Assim como para a avaliação dos custos para execução de pavimento, para a definição prévia dos custos de implantação de geossintéticos foi utilizado um trabalho acadêmico de conclusão de curso, intitulado "Análise comparativa de custos entre

estruturas de contenção” por Andrade (2019). O trabalho foi submetido à banca examinadora do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe.

Nele, o autor realizou o dimensionamento e levantamento de custos para aplicação de geogrelhas como reforço de solo. Optou-se por utilizar esse documento para base do referencial teórico do estudo de custos de geossintéticos, pois ele foi um dos poucos materiais encontrados que apresenta uma estrutura de custos e que foi utilizado com a mesma função a que o trabalho se destinou.

Para o estudo, o autor selecionou três tipos de geogrelhas da fabricante *Maccaferri* WG40, WG60 e WG90, conforme especificações na Figura 23.

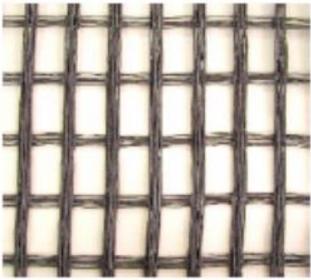
Figura 23: Características das geogrelhas

MacGrid® WG

Geogrelha Tecida

Características técnicas

MacGrid® WG é uma geogrelha tecida de poliéster revestida com PVC, indicada para estabilização de estruturas de contenção em solo reforçado e reforço de aterros sobre solos moles.



Propriedades mecânicas			WG 40	WG 60	WG 90*	WG 120*
Resist. longitudinal à tração	kN/m	ASTM D6637	47	61	94	120
Resist. transversal à tração	kN/m	ASTM D6637	28	30	30	30
Deformação na ruptura	%	ASTM D6637	12.4	13.0	11.7	12.5

*VALORES SOB AVALIAÇÃO

Fonte: *Maccaferri*, 2018

Conforme Andrade (2018) cita, os dimensionamentos de geogrelhas foram realizados para a contenção de muros com alturas de 2,5 metros, 4,5 metros e 6,5 metros de altura. Além disso, foram considerados também os seguintes itens para levantamento dos custos associados ao procedimento de reforço:

- Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria, com escavadeira hidráulica DMT = 2001 a 3000m;
- Reaterro manual de vala, com compactação utilizando sêpo, sem controle do grau de compactação;

- Dreno profundo 30x20cm c/ tubo de pvc ø 100mm, bidim, areia grossa e brita;
- Geogrelha MacGrid® WG40, WG60 e WG90;
- Rip-Rap - saco solo cimento, com capacidade para 0,07m³ de material adensado, nas dimensões aproximadas de 0,60x0,58x0,20m, com taxa de 10% de cimento, inclusive fornecimento de todos os materiais, dosagem, mistura, acondicionamento, costura e transporte;
- Manta Geotêxtil 70g/m² para separação, proteção, reforço e drenagem em estruturas, fornecimento e aplicação;
- Concreto simples usinado, bombeado e projetado em paredes;
- Pedreiro com encargos complementares;
- Servente com encargos complementares;

Figura 24: Composição de custos solo reforçado com geogrelha 2,5m

Serviço					
Altura (m)	Descrição do Serviço	Unidade			
2,5	Muro reforçado com geogrelha	M2			
Composição de Preço					
Fonte	Descrição da Composição	Unid	Quant	Custo Unit.	Custo Total
Maccaferri	Geogrelha WG40 Maccaferri	m2	5,9988	10,71	64,2471
04955/ORSE	Rip-Rap - saco solo cimento, com capacidade para 0,07m ³ de material adensado, nas dimensões aproximadas de 0,60x0,58x0,20m, com taxa de 10% de cimento, inclusive fornecimento de todos os materiais, dosagem, mistura, acondicionamento, costura e transporte.	und	8,62069	14,14	121,897
02786/ORSE	Dreno profundo 30x20cm c/ tubo de pvc ø 100mm, bidim, areia grossa e brita	m	1,6	51,15	81,84
10067/ORSE	Manta Geotex 70g/m ² para separação, proteção, reforço e drenagem em estruturas, fornecimento e aplicação	m2	0,792	11,98	9,48816
03085/ORSE	Concreto simples usinado fck=35mpa, bombeado e projetado em paredes	m3	0,05	642,55	32,1275
04586/ORSE	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria, com escavadeira hidráulica, dmt 2001 a 3000m	m3	0,304	8,81	2,67824
00072/ORSE	Reaterro manual de vala, c/ compactação utilizando sêpo, s/ controle do grau de compactação	m3	6,38	23,44	149,547
88309/SINAPI	Pedreiro com encargos complementares	h	2	17,11	34,22
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	h	6	12,88	77,28
Custos para o muro dimensionado					
TIPOLOGIA	UNIDADE	QUANTITATIVO	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL PARA 1 METRO DE MURO	
SOLO REFORÇADO COM GEOGRELHA	M ²	2,5	573,3247997	R\$	1.433,31

Fonte: Andrade, 2018

Após a realização do levantamento, foi construída a composição de custos conforme a Figura 24. De acordo com os cálculos do autor, entendeu-se que, em

valores de 2018, o dimensionamento para aplicação de geogrelha é aproximadamente R\$1.400,00 para um muro de 2,5 m² de altura, de R\$2.835,00 para um muro de 4,5 metros de altura e cerca de R\$5.000,00 para um muro de 6,5 metros. Em nenhuma dessas aplicações foi considerado custo com treinamento de pessoal para aplicação do geossintético em campo.

3. METODOLOGIA

Como parte estruturante do trabalho de conclusão de curso, é fundamental que haja a construção da metodologia da pesquisa, estrutura que tem por função realizar o detalhamento dos instrumentos e procedimentos utilizados pelo pesquisador para a realização da pesquisa (JACOBSEN, 2016). Dessa forma, o presente trabalho traz, de maneira preliminar, as ferramentas que serão adotadas para a elaboração da pesquisa e resposta aos objetivos citados no Capítulo 1.

Os primeiros passos para a elaboração do trabalho se deram com a construção de uma revisão bibliográfica, em que foram consultadas, primeiramente, uma gama de referências na área dos geossintéticos, buscando entender as características funcionais e estruturais dos mesmos, além de suas aplicações na área da construção civil rodoviária. Ademais, foram consultadas referências na área de custos e orçamentos de vias, caracterizando-se a composição de custo para pavimentação de cada quilômetro de rodovia.

Ainda com relação a revisão bibliográfica, houve o levantamento breve dos custos associados a pavimentação das vias sem a inclusão dos geossintéticos, buscando-se entender a composição desses custos sem a inclusão de geossintéticos na composição. Para tal, houve a observação de planilhas eletrônicas construídas tanto por órgãos públicos - SINAPI e SICRO.

Como parte estruturante da etapa prática do trabalho de conclusão de curso, foram realizadas três visitas a campo, sendo duas na zona rural do município de Curvelo, em Minas Gerais e uma a empresa fabricante de geossintéticos LONAX, na cidade de Sarzedo, também em Minas Gerais. Nas visitas a Curvelo, observou-se as características do solo da região e como a relação entre esse solo e as atividades desempenhadas sobre ele impactam os habitantes da região. Conforme se apresenta

nos itens posteriores, o solo da zona rural apresenta características físicas que proporcionam formação de poeira nos tempos de seca e lama durante a estação chuvosa.

Durante a visita a LONAX, entendeu-se como se dá a produção dos geossintéticos, mais especificamente as geomembranas, e como é o processo de utilização das mesmas. Além disso, compreendeu-se como os materiais que não atendem as normas de segurança e comercialização são tratados durante o processo produtivo. Na empresa, esses materiais retornam para o maquinário de extrusão afim de serem moldados novamente, mas porque não existe outro destino viável para eles atualmente.

A metodologia do trabalho se ateve ao entendimento inicial das características do solo presente na região de Curvelo, baseado em normas técnicas de trabalho com solo. Após, foi simulada a pavimentação de um determinado trecho dessas vias em que são identificados problemas com relação ao solo e foram estimados custos para essa operação. Por fim, foram estimados os custos para utilização de geossintéticos como reforço de solo nesse mesmo trecho de estrada não pavimentada, conservando-se as características semelhantes dos dois cenários.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os conhecimentos e materiais adquiridos nessas visitas a campo embasaram o trabalho de pesquisa pratica que é foco do estudo. Para tal, na primeira fase do trabalho prático foram cedidas amostras de solo pelo município de Curvelo, sendo esse solo comumente utilizado para a construção de bases e reforços de leito para pavimentação. Essa pratica é conhecida da Secretária Municipal de Obras e Serviços Urbanos do município de Curvelo pois, como será apresentado adiante, o solo predominante na região rural do município apresenta características que não favorecem esse tipo de construção sem que haja um trabalho prévio do solo.

A utilização desse solo de empréstimo aumenta a resistência do solo base e tende a melhorar as condições de compactação e capacidade de suporte do solo. Portanto a primeira fase do trabalho prático se debruça em ensaios de caracterização do solo, em que foram medidos os índices de umidade ótima do solo, os limites de liquidez e plasticidade.

3.1.1 Manuais técnicos para embasamento dos ensaios

Para desenvolvimento do trabalho prático é de suma importância que haja busca por referências em manuais técnicos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Por isso, o item inicial da metodologia aborda, de maneira sucinta, os principais manuais técnicos que foram utilizados para basear o trabalho, bem como as premissas adotadas segundo cada uma das normas.

3.1.1.1 Norma DNER-PRO 003/94

A norma técnica “**DNER-PRO 003/94 – Coleta de amostras deformadas de solo**” fala acerca da coleta de amostras de solo que se apresentam o mais próximo possível de sua estrutura natural. Entende-se por amostra deformada aquela em que há destruição da estrutura do solo durante a operação de coleta, embora sejam mantidas as dimensões e proporções dos constituintes.

Para a realização da coleta de amostras deformadas, são necessários, no mínimo, os seguintes itens:

- a) Balde;
- b) Corda;
- c) Haste de conexão;
- d) Pá;
- e) Picareta;
- f) Lona;
- g) Saco de amostras de lona ou plástico;
- h) Trado;
- i) Etiqueta de identificação;

Caso haja necessidade de abertura de poço de perfuração, deve-se utilizar o trado para a realização da abertura do poço, sempre em profundidade menor que a camada de água. Além disso, caso haja mudanças nas camadas de solo, interrompe-se a perfuração e a altura da parede referente a cada solo deve ser medida.

Caso a coleta seja realizada em poços exploratórios, em que o diâmetro do furo for superior a 0,80 metros, o avanço e retirada do solo é feito com a utilização de

picareta e pá e o solo é retirado utilizando o balde. Essa foi a situação encontrada durante a coleta das amostras em campo. Para a realização de ensaios de umidade e CBR, segundo a DNER-002/94, as amostras de solo deverão ter, no mínimo, 60 kg de solo.

Após o transporte do solo ao laboratório, devem ser identificadas as propriedades básicas e as características das partículas do solo. Para tal, a identificação deve se dar de maneira sistemática a partir de uma análise tátil-visual no campo, em que se dá importância às características:

- a) Tipo do solo: Em que é feita a diferenciação do comportamento coesivo ou não coesivo. Para solos arenosos é mencionada a granulação (grossa, média e fina);
- b) Cor: Diferenciação da coloração das camadas do solo;

3.1.1.2 Norma DNER-ME 041/94

A norma técnica “**DNER-ME 041/94 – Solo – preparação de amostras para ensaios de caracterização**” fala acerca dos procedimentos para a preparação de amostras de solo para análise granulométrica com sedimentação e posterior determinação dos limites liquidez e plasticidade, além da densidade real e umidade higroscópica.

Para a realização da preparação das amostras a norma solicita, no mínimo, os seguintes equipamentos e procedimentos:

- a) Peneiramento do solo nas peneiras de malha 2,00 mm e 0,42 mm, respectivamente;
- b) Balança com capacidade de 5 kg, sensível a 5 g;
- c) Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- d) Tabuleiro de chapa de ferro galvanizado com 50 cm x 30 cm x 6 cm;
- e) Aparelho secador, para secagem das amostras de solo;

Preliminarmente, deve-se secar ao material recebido, seja ao ar ou pelo uso do aparelho secador, cuidando-se para que a temperatura de secagem não exceda 60°C. Após secagem, realiza-se o destorroamento do material utilizando o almofariz e a mão

de gral recoberta de borracha. Pode-se utilizar outro dispositivo mecânico para redução das partículas do solo. Após o destorroar o material, reparte-se as amostras para os ensaios desejados. No caso do solo foco do trabalho, separou-se cerca de 1.500 g de material, afinal o solo apresentou características argilo-siltosas. Por fim, as amostras são peneiradas nas peneiras de 2,0 mm e 0,42 mm respectivamente.

A amostra seca ao ar retida na peneira de 2,00 mm deverá ser lavada na própria peneira de forma a retirar o material fino que adere às partículas maiores do solo. O material que ainda permanece retido deverá ser seco em estufa, entre 105°C e 110°C, até que o peso permaneça constante.

A fração seca ao ar que passou na peneira de 2,00 mm é separada em amostras de aproximadamente 250 g para:

- I. Cerca de 50 g para ensaio de determinação de umidade higroscópica;
- II. Entre 70 g e 120 g para análise granulométrica das frações da amostra menores que 2,00 mm. A primeira no caso de solos argilosos e a segunda para solos arenosos;
- III. Aproximadamente 10 g para o ensaio de determinação de densidade real;

Para a determinação dos limites de liquidez e plasticidade além dos fatores de contração, peneira-se a amostra de solo que passou pela peneira de 2,00 mm na peneira de 0,42 mm, destorroando-se os grãos maiores que a abertura da malha da peneira. Da fração que passa pela peneira de 0,42 mm, retira-se cerca de 200 g, sendo que aproximadamente 70 g serão utilizados para o ensaio do limite de liquidez, 50 g para a determinação do limite de plasticidade e cerca de 50 g para o cálculo dos fatores de contração.

3.1.1.3 Norma DNER-ME 080/94

A norma técnica “**DNER-ME 035/95 – Peneiras de malha quadradas para análise granulométrica de solos**” apresenta os procedimentos para análise granulométrica de solos por peneiramento. Além disso, referenciando demais normas, a norma vigente apresenta os requisitos referentes à aparelhagem, amostragem e cálculos.

Para a realização do ensaio é sinalizado que deverão ser utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Peneiras de 50,0 – 38,0 – 25,0 – 19,0 - 9,5 – 4,8 – 2,0 – 1,2 – 0,6 – 0,30 – 0,15 – 0,075 mm, incluindo tampa com fundo;
- b) Agitador de peneiras com dispositivo de fixação desde uma até seis peneiras;
- c) Repartidores de amostras de 1,3 e 2,5 cm de abertura;
- d) Balança com capacidade de 1,0 e 5,0 kg;
- e) Estufa para secagem das amostras – entre 105°C e 110°C;
- f) Capsula de porcelana com capacidade de 500 ml;
- g) Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- h) Recipiente para desagregar por lavagem a amostra de solo;
- i) Pá de mão com lâmina de alumínio;
- j) Tabuleiro de chapa de ferro galvanizado com 50 cm x 30 cm x 6 cm;

Segundo a norma, a amostra recebida do campo deverá ser tratada de acordo com a norma DNER-ME 041/94, preliminarmente a execução do ensaio. Para o ensaio, a amostra já tratada deverá ser colocada num recipiente e destorroada com as mãos. Essa amostra deve ser então lavada através das peneiras de 2,0 e 0,075 mm, uma sobre a outra, de forma a remover todo material que esteja dentro do recipiente. Essa lavagem deverá ser repetida se transferindo o material entre as peneiras e o recipiente até que a água da lavagem apresente limpeza.

- I. Essas amostras lavadas deverão ser colocadas na capsula de porcelana e secas na estufa até manterem constância de peso. Após a secagem do material, o mesmo deverá ser peneirado, na série desejada de peneiras escolhidas de acordo com a listagem do item a). Após, as frações da amostra são pesadas.
- II. O peso da amostra total seca se dá pela soma dos pesos das frações de material retido na peneira de 2,0 mm ou de maior abertura. A diferença entre o peso total da amostra seca ao ar e o peso obtido após lavagem e secagem da amostra na estufa, resulta a amostra seca ao ar que passa na peneira de 2,0 mm. O produto do peso obtido nessa etapa pelo fator de correção apresentado na equação (1), em que h é a

umidade higroscópica, é o peso da fração da amostra seca que passa na peneira de 2,0 mm.

$$\frac{100}{100+h} \quad (1)$$

A definição e cálculo da umidade higroscópica, ainda segundo a norma, é calculada como sendo:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

- h: teor de umidade, em porcentagem;
- P_h: peso do material úmido, em gramas;
- P_s: peso do material seco em estufa até constância de peso, em gramas;

III. O peso da amostra total seca se dá pela soma dos pesos das frações de material retido na peneira de 2,0 mm ou de maior abertura. A diferença entre o peso total da amostra seca ao ar e o peso obtido após lavagem e secagem da amostra na estufa, resulta a amostra seca ao ar que passa na peneira de 2,0 mm. O produto do peso obtido nessa etapa pelo fator de correção apresentado na equação (2), em que *h* é a umidade higroscópica, é o peso da fração da amostra seca que passa na peneira de 2,0 mm.

A soma dos pesos obtidos nos itens I e III será o peso total da amostra seca. Com os pesos das amostras retidos em cada uma das peneiras, obtém-se a porcentagem de material retido em cada peneira com relação ao peso total da amostra seca. Além disso, subtraindo-se de 100 a porcentagem acumulada em cada peneira se obtém a porcentagem de material seco passando em cada peneira.

3.1.1.4 Norma DNER-ME 082/94

A norma técnica “**DNER-ME 082/94 – Solos – determinação do limite de plasticidade**” fala acerca dos procedimentos para a determinação do limite de plasticidade do solo, além de prescrever a aparelhagem, a execução e a obtenção dos resultados.

Para a realização do ensaio, a norma pede que sejam obtidos os seguintes equipamentos:

- a) Cápsula de porcelana com capacidade para 500 ml;
- b) Espátula com lâmina flexível;
- c) Placa de vidro com superfície esmerilhada;
- d) Cilindro para compactação com 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento;
- e) Balança para pesagem das amostras;
- f) Estufa para secagem das amostras – entre 105°C e 110°C;

A realização do ensaio do limite de plasticidade pede a compreensão da norma técnica citada no item Norma DNER-ME 041/94, tomando-se aproximadamente 50 g da amostra trabalhada pela norma supracitada. Após, deve-se adicionar água destilada à amostra de solo, de modo a se obter a massa plástica. Do material homogeneizado, separa-se aproximadamente 20 g e se molda o material de forma elipsoidal.

Essa massa deve ser rolada entre os dedos e a placa de vidro a fim de moldar um cilindro uniforme. As roladas da massa devem entre 80 e 90 por minuto, sendo uma rolada o deslocamento da mão para a frente e para trás. Quando o cilindro atinge cerca de 3 mm, ele deve ser quebrado em seis ou oito pedaços, de forma a amassar novamente os pedaços e refazer o cilindro. Quando não é mais possível construir o cilindro e ele se desagregar, finaliza-se o ensaio. Após essa fragmentação, leva-se os pedaços para o recipiente, pesa-se o material e se determina a umidade pela equação (3).

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \quad (3)$$

Em que:

- h: teor de umidade, em porcentagem;
- P_h : peso do material úmido, em gramas;
- P_s : peso do material seco em estufa até constância de peso, em gramas;

O procedimento deve ser repetido durante três vezes, sendo o limite de plasticidade a média dos teores de umidade medidos.

3.1.1.5 Norma DNER-ME 122/94

A norma técnica “**DNER-ME 122/94 – Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência**” fala acerca dos procedimentos para a determinação do limite de liquidez do solo, além de prescrever a aparelhagem, a execução e a obtenção dos resultados desse ensaio.

O limite de liquidez pode ser definido como a marcação da transição entre estado plástico e estado líquido do solo. De acordo com a norma, o método de referência deve ser sempre usado nos casos em que o limite de liquidez seja superior a 150%. Essa não foi a situação identificada no solo utilizado no estudo, mas foi avaliado esse tipo de estudo já que ele tende a abranger mais condições de solo. Já a curva de fluidez é a curva resultante da representação gráfica da relação dos teores de umidade com os números de golpes correspondentes.

Para a realização do ensaio, a norma solicita:

- a) Aparelho de Casagrande para determinação do limite de liquidez;
- b) Cinzel;
- c) Balança para pesagem das amostras;
- d) Estufa para secagem das amostras – entre 105°C e 110°C;
- e) Cápsula de porcelana com capacidade para 500 ml;
- f) Espátula com lâmina flexível;
- g) Pinça para retirar objetos da estufa;
- h) Cronometro para intervalo de tempo até 30 minutos;
- i) Esfera de aço com 8 mm de diâmetro;

Antes do início da realização do ensaio, o aparelho de Casagrande deve ser calibrado conforme item 5 da norma. Após a calibração. A amostra é preparada de acordo com a Norma DNER-ME 041/94, tomando-se cerca de 70 gramas para a realização do ensaio.

Realizados os passos supracitados, a amostra é colocada na capsula de porcelana e são adicionados entre 15 a 20 ml de água destilada e a mistura é homogeneizada com a espátula. Essa homogeneização deve ser feita entre 15 e 30 minutos, sendo o maior intervalo de tempo para solos argilosos. Em seguida, deve ser tomada uma porção suficiente da mistura preparada e a mesma é colocada na concha em torno do ponto correspondente ao de contato entre a concha e a base do aparelho. A massa deve ser espalhada na concha até que ela apresente uma espessura máxima de 1 cm.

Utilizando o cinzel, é realizada a abertura de uma canelura na massa segundo o plano de simetria do aparelho, de modo que a espessura da parte central da massa seja de 1 cm. Por conseguinte, são realizados golpes da concha contra a base do aparelho, com velocidade de duas voltas por segundo na manivela até que ambas as bordas da canelura se unam.

Após essa etapa, são coletadas duas amostras de cada uma das caneluras abrangendo a região de contato das duas bordas. Essa amostra deve ser imediatamente pesada e em seguida levado a estufa para determinação da umidade, segundo a equação (4).

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

- h: teor de umidade, em porcentagem;
- P_h: peso do material úmido, em gramas;
- P_s: peso do material seco em estufa até constância de peso, em gramas;

O ensaio deve ser repetido no mínimo 3 vezes se utilizando teores diferentes de água, de forma a determinar o número de golpes necessários para ajuntamento

das caneluras com massas de solo consistentes. O objetivo geral disso é definir os golpes para os intervalos: 25-35, 20-30 e 15-25.

Os valores de umidade e número de golpes são representados, segundo a norma, em um sistema de eixos ortogonais nos quais as ordenadas, em ordem logarítmica representam os números de golpes e as abcissas, em escala aritmética, representam cada um dos teores de umidade correspondentes. Pelos pontos definidos e lançados no gráfico, deve ser traçada uma reta e se entende como o teor de umidade o valor da abcissa correspondente a 25 golpes.

3.1.1.6 Norma DNER-ME 162/94

A norma técnica “**DNER-ME 162/94 – Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas**” estabelece o método de determinação da correlação entre o teor de umidade e a massa específica do solo seco, quando a fração do solo que passa na peneira de 19 mm é compactada.

Inicialmente, a norma solicita a seguinte aparelhagem para execução do ensaio:

- a) Molde cilíndrico metálico de 15,24 cm de diâmetro interno e 17,78 cm de altura, com entalhe na parte superior externo em meia espessura; Cilindro complementar com 6,08 cm de altura e com o mesmo diâmetro do molde, com entalhe inferior interno em meia espessura;
- b) Disco espaçador metálico de 15,00 cm de diâmetro e 6,35 cm de altura;
- c) Soquete metálico cilíndrico de face plana com diâmetro igual a 5,08 cm e pesando cerca de 4,53 kg e com altura de queda de 45,72 cm;
- d) Extrator de amostra do molde cilíndrico, com funcionamento por meio de macaco hidráulico, com movimento alternativo de alavanca.
- e) Balança para pesagem das amostras;
- f) Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- g) Estufa para secagem das amostras – entre 105°C e 110°C;
- h) Recipiente metálico para colocação das amostras;
- i) Peneiras de 50 mm, 19 mm e 4,8 mm, conforme ABNT EB-22/88;
- j) Proveta graduada, com capacidade de 1.000 ml;

- k) Papel de filtro circular com 15 cm de diâmetro;
- l) Acessórios como bandeja, espátula, colher de pedreiro, régua de aço, etc.

A amostra recebida e seca ao ar deve ser destorroada no almofariz pela mão de gral de forma a se obter uma amostra de aproximadamente 6 kg para solos siltosos e argilosos e 7 kg para solos arenosos. Essa amostra deve ser peneirada na peneira de 19 mm.

Após a preparação da amostra, deve ser feita a preparação do equipamento utilizado no ensaio, em que o molde cilíndrico deve ser fixado a base metálica e o disco espaçador é colocado no interior do cilindro, juntamente com o filtro de papel. Esse conjunto deve ser pesado e valores anotados. Na parte superior do cilindro, é colocado o cilindro complementar.

Em seguida, o solo deve ser colocado no interior do cilindro e compactado, em cinco camadas iguais, de forma a se obter uma altura total do corpo de prova de cerca de 12,5 cm, após a compactação. Em cada uma das camadas devem ser aplicados golpes com o soquete caindo de 45,72 cm e distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. O número de golpes em cada camada é definido com base na necessidade da energia de compactação, sendo:

- I. **Método A: Normal** – aplicação de 12 golpes por camada de solo;
- II. **Método B: Intermediária** – aplicação de 26 golpes por camada de solo;
- III. **Método C: Modificada** – aplicação de 55 golpes por camada de solo;

Após realização da compactação, o cilindro complementar é retirado, tomando-se cuidado para destacar o material da superfície do mesmo. Com a régua de aço, retira-se o excesso de material na altura exata do molde, rasando-se o material. Esse conjunto é então pesado e o peso P_h é determinado, por subtração do peso do conjunto pesado anteriormente, deduz-se o peso do material compactado úmido, determinando P'_h .

O cilindro deve ser levado para o extrator e corpo de prova deve ser retirado e, da sua parte central, devem ser extraídas duas amostras para determinação da umidade. Essas amostras devem ser levadas a estufa para secagem, até constância de peso.

O cálculo do teor de umidade é realizado de acordo com a equação (5).

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

- h: teor de umidade, em porcentagem;
- P_h: peso do material úmido, em gramas;
- P_s: peso do material seco em estufa até constância de peso, em gramas;

Com o ensaio, ainda podem ser calculados a massa específica aparente do solo seco compactado, conforme equação (6).

$$\gamma_s = \gamma_h \times \frac{100}{100 + h} \quad (6)$$

Em que:

- γ_h : massa específica aparente do solo úmido, em g/cm³;
- P_h: peso do material úmido compactado, em gramas;
- V: volume do solo úmido compactado;

Com isso, pode ser definida a massa específica aparente do solo seco, após cada compactação, pela equação (7).

$$\gamma_s = \gamma_h \times \frac{100}{100 + h} \quad (7)$$

Em que:

- γ_s : massa específica aparente do solo seco, em g/cm³;
- γ_h : massa específica aparente do solo úmido, em g/cm³;
- h: teor de umidade, em porcentagem;

Por fim, determina-se a umidade ótima do solo como sendo o valor da abscissa correspondente, na curva de compactação, ao ponto de massa específica aparente máxima do solo seco.

3.1.1.7 Norma DNER-ME 213/94

A norma técnica “**DNER-ME 213/94 – Solos – determinação do teor de umidade**” prescreve o método a ser adotado para a execução de ensaios de determinação do teor de umidade de solos. Além disso, descreve a aparelhagem, amostragem e os requisitos para se obter os resultados.

Em primeiro plano, define-se como teor de umidade a relação entre a massa de água presente em certo volume de solo e a massa das partículas sólidas no mesmo volume, expressa em percentual. A norma estabelece como aparelhagem essencial para a realização do ensaio como sendo:

- a) Balança para pesagem das amostras;
- b) Estufa para secagem das amostras – entre 105°C e 110°C;
- c) Recipiente metálico para colocação das amostras;

Segundo a norma, a amostra para realização do ensaio de teor de umidade deve ser coletada conforme determinação do ensaio que estiver sendo executado. No caso do presente estudo, essa determinação foi feita a partir do ensaio de compactação, conforme definido a seguir.

Antes da coleta do material, os recipientes limpos e secos deverão ser pesados. Logo após, a amostra úmida deve ser colocada no recipiente e esse conjunto é novamente pesado, sendo os resultados de ambas operações anotados logo em seguida. Feitas ambas pesagens, o recipiente cheio e colocado na estufa e seco por, no mínimo, 16 horas.

Terminado o processo de secagem das amostras, elas são novamente pesadas, tomando-se o cuidado de deixar que as mesmas esfriem antes de serem colocadas na balança.

O resultado do ensaio pode ser calculado então, como sendo:

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100 \quad (8)$$

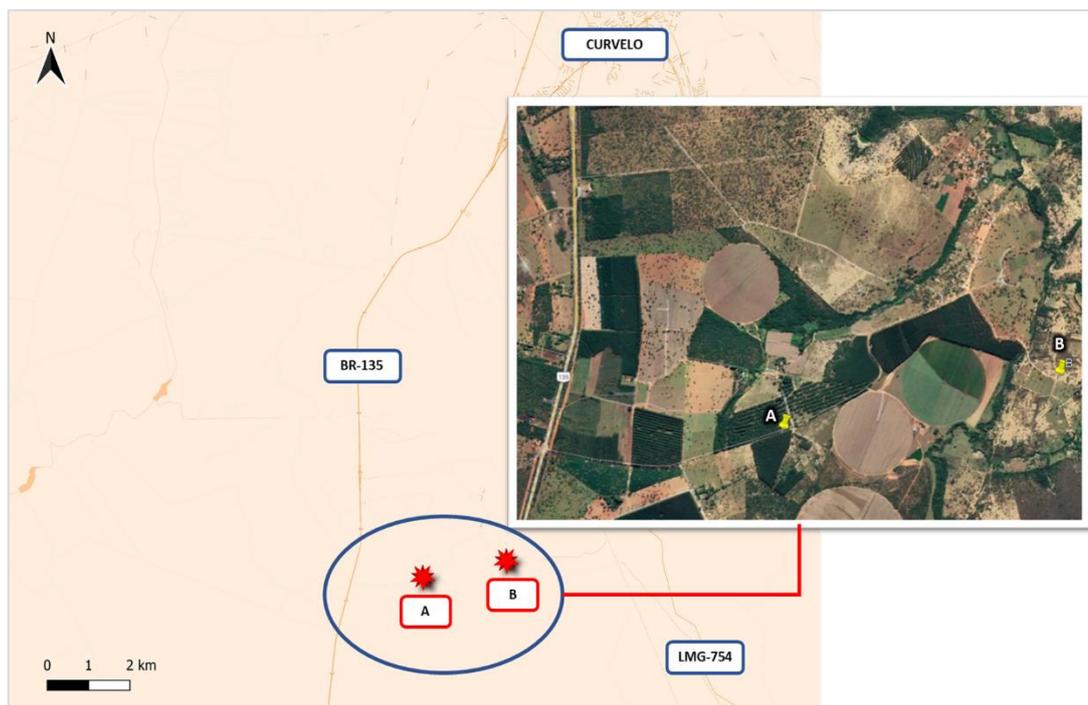
Em que:

- h: teor de umidade, em porcentagem;
- m_{bu} : massa bruta úmida – recipiente mais amostra, em gramas;
- m_{bs} : massa bruta seca – recipiente mais amostra, em gramas;
- m: massa do recipiente, em gramas;

3.2 ESTUDO DE CASO – COMUNIDADE DE ANGICOS – CURVELO/MG

A partir de contatos da equipe envolvida no trabalho de conclusão de curso, identificaram-se problemas típicos das estradas não pavimentadas na zona rural do município de Curvelo, em Minas Gerais. Foram realizadas duas visitas a campo no distrito de Angicos, uma das regiões rurais afetadas pela falta de condições das estradas da região. A Figura 25 apresenta a localização dos lugares visitados durante o trabalho de campo do estudo. Ambos os locais estão localizados a aproximadamente 150 quilômetros da cidade de Belo Horizonte e a mais de 15 quilômetros do centro da cidade de Curvelo.

Figura 25: Localização dos pontos de visita



Fonte: Do autor, 2022

No local "A" ($18^{\circ}53'17.60''S$, $44^{\circ}28'52.90''O$), visitado no dia 16 de julho de 2022, identificou-se a presença de material fino na superfície do solo. Segundo os moradores, existe a passagem frequente de veículos de carga nesse ponto da estrada. A rota é utilizada pelos veículos que fazem a entrega de mercadorias aos comerciantes locais e por caminhões responsáveis pela extração de madeira na região.

Com base em Santos et. al. (2011), pode-se supor, após inspeção visual, que o solo de ambos os locais visitados se parece com latossolos amarelos e parecem apresentar baixo teor de ferro na composição química. Assim como visto na Figura 26, a camada A do solo apresenta material bem fino e coloração cinzento-amarelada. Essa imagem representa o ponto o A, sinalizado na Figura 25.

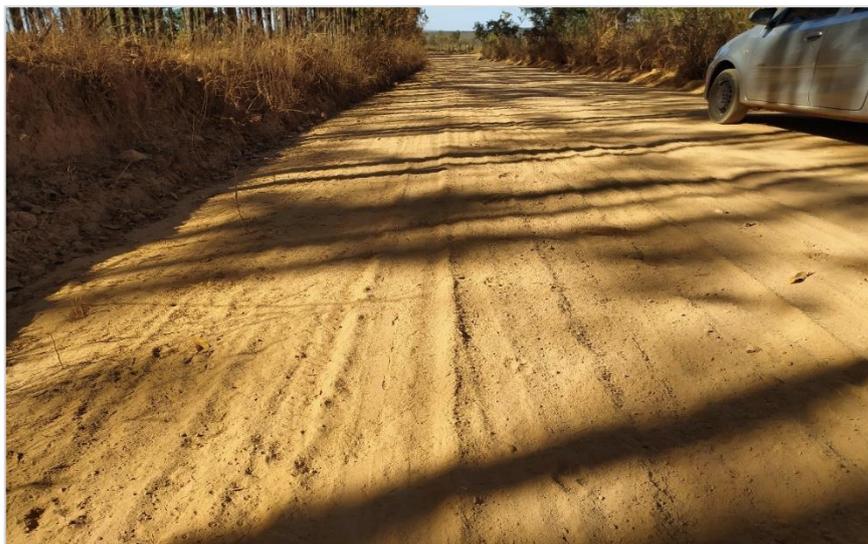
Figura 26: Inspeção visual do solo – Ponto “A” sentido BR-135



Fonte: Do autor, 2022

Como visto na Figura 27, a região apresenta um solo com características argilosas, com tamanho pequeno de grãos e que costuma apresentar alto bombeamento de finos devidos ao tráfego de veículos na estrada vicinal. Ainda com base na imagem supracitada, percebe-se que essa condição de formação de poeira, aliado com a estação de secas na região sudeste do Brasil, traz problemas de deslocamento e qualidade de vida dos moradores da comunidade.

Figura 27: Estrada vicinal de acesso a comunidade de Angicos - Figura 25



Fonte: Do autor, 2022

Em conversa informal com os gestores municipais, citou-se a utilização de caminhões pipa e motoniveladoras para tentar minimizar os impactos da baixa compactação do solo na estação seca. No entanto, essa medida, ao ser implementada em nas áreas rurais do município, tende a um dispêndio orçamentário grande, além de necessitar da manutenção de maquinário empenhado apenas nessa atividade, comprometendo as demais obras públicas do Município.

Figura 28: Formação de poeira na estrada de acesso a comunidade – Figura 25

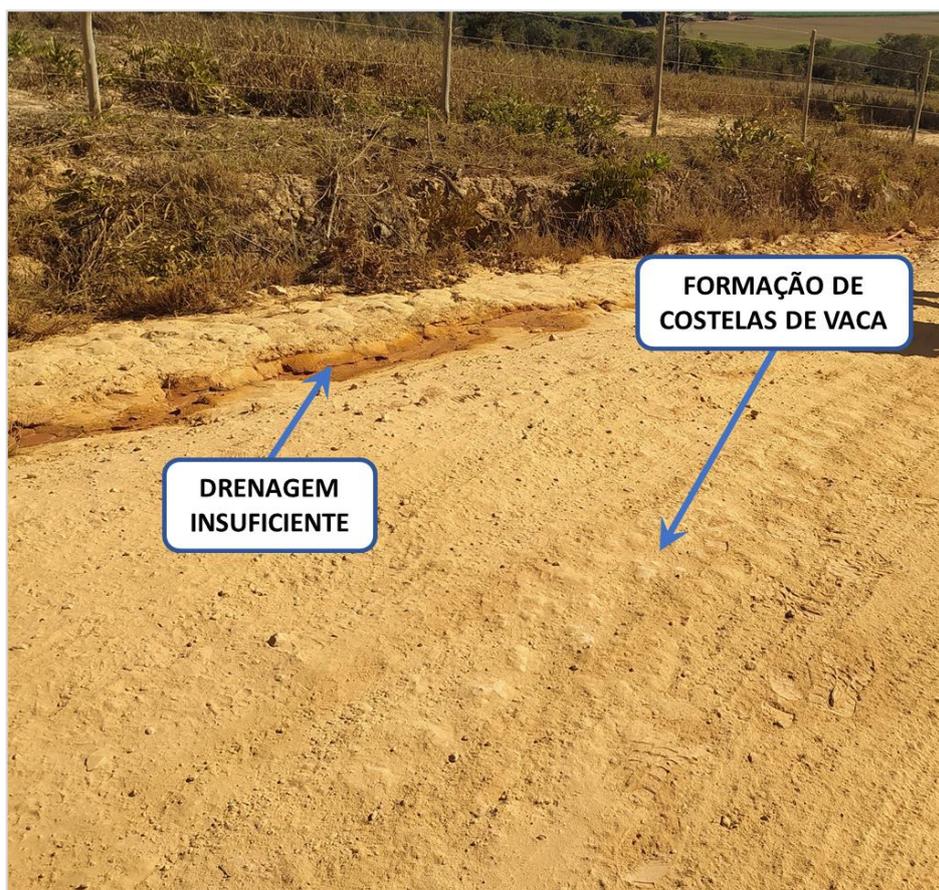


Fonte: Do autor, 2022

De acordo com a Figura 28, percebe-se a espessura da formação de poeira na estrada. Apesar da presença de grãos maiores, aparentemente material britado, o material solo mais fino é maior constituinte da faixa de rolamento da via, chegando em alguns locais a mais de cinco centímetros.

No dia 7 de setembro de 2022, realizou-se outra visita técnica também na região de Angicos para verificação de outros problemas visíveis em estradas não pavimentadas. Dessa vez, o ponto de interesse foi a cerca de um quilometro do primeiro ponto de pesquisa, na calha do Riacho Fundo, o denominado ponto “B” (18°53'5.04"S, 44°27'43.82"O). Na localidade foram identificadas “costelas de vaca” no pavimento e problemas relacionados a ausência de dispositivos suficientes para drenagem, como visto na Figura 29.

Figura 29: Problemas na estrada não pavimentada – Ponto “B”



Fonte: Do autor, 2022

No segundo trecho, percebem-se maiores danos devido a drenagem insuficiente por se tratar de um local em desnível e que, segundo os moradores,

apresenta grande fluxo de enxurradas durante os períodos chuvosos. Nesse local, identificou-se ainda, diferente do primeiro local de pesquisa, que a formação das “costelas de vaca” se dava em solo que possível havia passado por um processo de carreamento de material, afinal haviam poucos materiais finos na via. Isso poderia ter sido causado por alguma chuva próximo ao período de visita ou pelo próprio tráfego de passagem afinal, segundo os moradores, não houve registro de manutenção por parte da prefeitura naquela data.

3.3 DEFINIÇÃO DO PROJETO PARA ESTUDO

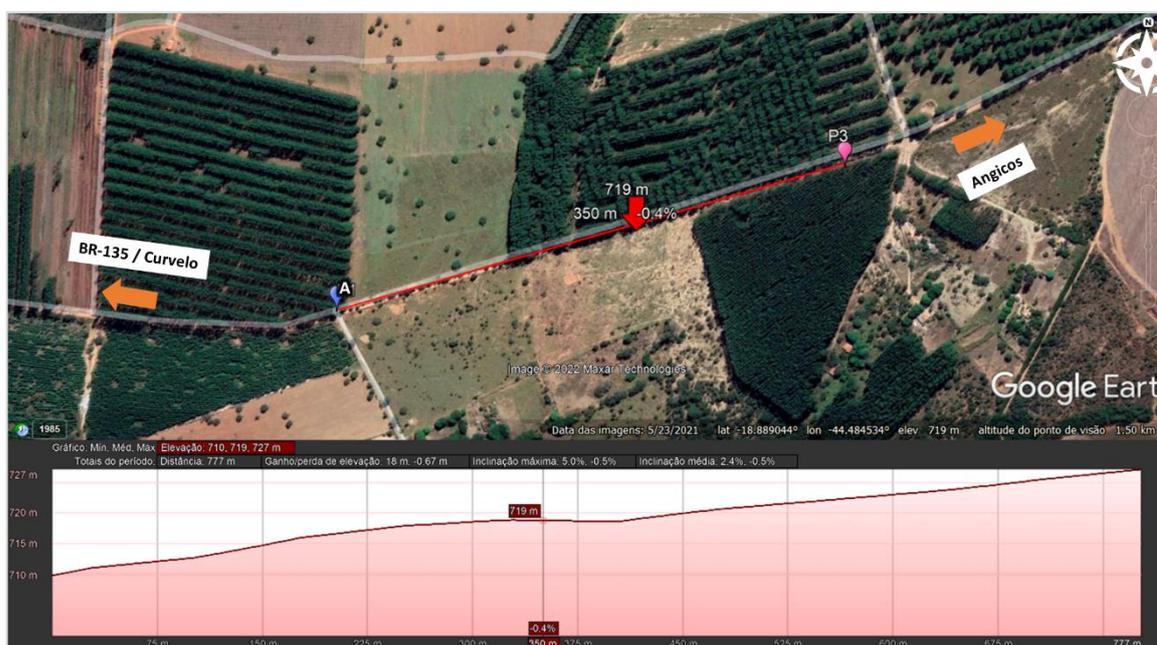
Afim de consolidar os estudos com relação ao contexto econômico-financeiro da pavimentação de uma seção de via, optou-se por simular a pavimentação de um dos trechos visitados durante a etapa em campo. Como o foco do trabalho é a comparação de custos por km de via, definiu-se o projeto de uma rodovia classe IV-A.

Esse tipo de via é constituído com pista simples de circulação e dotada de acostamento em ambos os lados da via e projetada para um limite inferior de tráfego médio diário direcional de menor que 300 veículos mistos (DNIT,2010). O dimensionamento de pavimento considerado no estudo foi definido no “**Estudo Comparativo Entre Pavimentos Rígidos e Flexíveis Para Área Urbana**” (Campolina et al., 2019), em que há comparação dos custos de pavimentos rígidos e flexíveis em áreas urbanas com base na exigência de tráfego vigente.

Durante as visitas técnicas ao distrito de Angicos, percebeu-se a passagem de poucos veículos de carga, sendo principalmente veículos comerciais para alimentar o comércio local. Entretanto, após conversas com os moradores, soube-se que há presença de veículos de carga maiores, durante os dias úteis, que transportam madeira e animais da zona rural para a zona industrial de Curvelo. Com relação aos veículos de passeio, não se nota grande presença desses veículos, justificando a escolha da classe da rodovia.

O trecho em que ocorrerá a simulação de custos tem aproximadamente 700 metros de extensão, ficando localizado no ponto da Figura 25, em sentido a BR-135, como mostrado na Figura 30. A figura também apresenta o perfil de elevação vertical do trecho escolhido.

Figura 30: Trecho de pavimentação a ser simulado

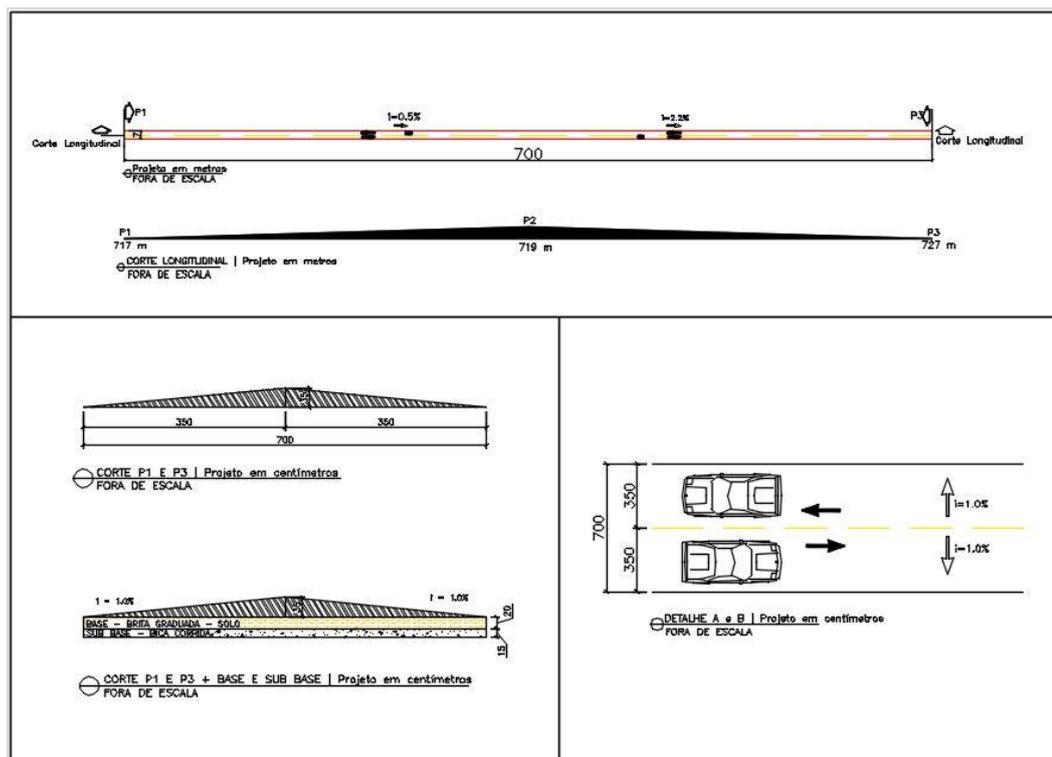


Fonte: Do autor, 2022

Segundo verificação no software *Google Earth Pro*, percebeu-se que a declividade máxima identificada foi de -21 metros, sendo a declividade média registrada de 0,4%. Esse trecho foi escolhido por apresentar os maiores problemas de desprendimento de solo, identificados durante as visitas técnicas, além de ser um trecho com geometria praticamente retilínea, fato que facilita a realização dos cálculos. Salienta-se que os pontos P1 e P3 são coincidentes com os pontos da Figura 25.

Para a descrição do trecho a ser pavimentado, a Figura 31 apresenta a planta e o perfil do trecho em questão. Salienta-se que ambas as figuras estão sem escala, afinal elas não têm caráter executivo de projeto, são apenas objetos de ilustração da metodologia definida para o trabalho.

Figura 31: Perfis do projeto – Sem escala



Fonte: Do autor, 2022

Segundo o de Campolina et al (2019), uma via com trafego leve de veículos comerciais pesados pode apresentar um índice de solicitações previstas durante o período operacional do pavimento – número “N” – varia de 4×10^6 a 1×10^7 . O parâmetro “N” constitui o valor final representativo dos esforços transmitidos à estrutura, na interface pneu/pavimento.

O dimensionamento do pavimento a partir da definição do número “N” é uma metodologia aplicada pelo DNER e, de acordo com essa metodologia, o estudo referência definiu as seguintes espessuras para o pavimento a ser construído:

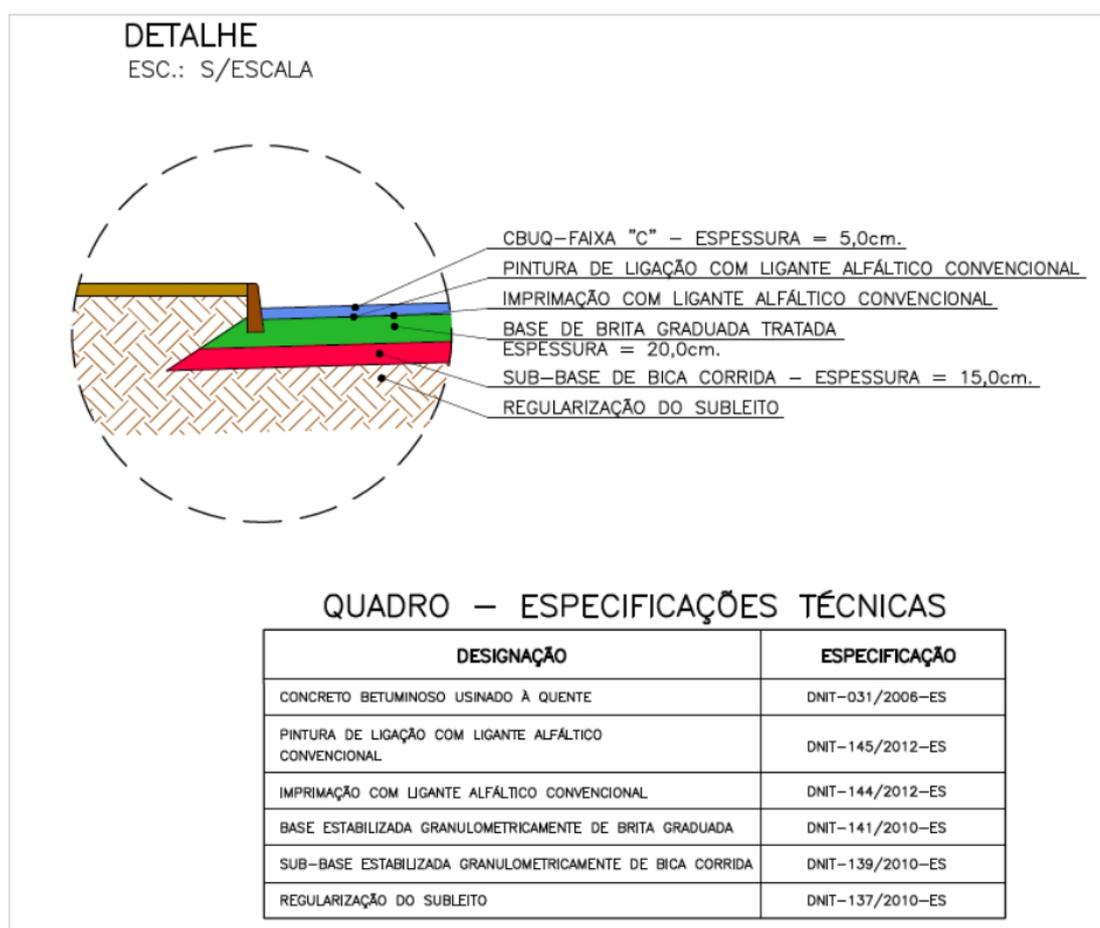
- Revestimento (cm): 5,0
- Base (cm): 20,0
- Sub-base (cm): 15,0
- Reforço (cm): não se aplica

O revestimento escolhido para o pavimento foi o concreto betuminoso usinado a quente modificado por borracha na faixa granulométrica III do DNIT e segundo o

estudo deverá ser aplicada pintura de ligação utilizando emulsão do tipo RR-1C com taxa referencial de aplicação de 0,60 l/m². Já a camada de base deverá inicialmente imprimada com asfalto diluído Tipo CM-30, cuja taxa de referência a ser utilizada será 1,2 l/m².

Para a base, Campolina et al. (2019) estabelece a espessura de 20 cm e que a mesma será constituída por brita graduada. Já a sub-base deverá ser constituída de brita corrida (oriunda da britagem) e terá 15 cm de espessura. A energia de compactação a ser adotada para a sub-base deverá ser correspondente ao proctor intermodificado. Por fim, os autores citam que o subleito deverá ser regularizado utilizando energia correspondente a do proctor normal e o grau de compactação não deverá ser inferior a 100%.

Figura 32: Detalhamento do trecho



Fonte: Empresa Geoconsult Consultoria e Projetos Ltda. em parceria com a Prefeitura de Itabira – Adaptado por Campolina et al., 2019

3.4 TRATAMENTO E ESTUDO DO SOLO

Durante a trabalho de pesquisa, utilizou-se de solo cedido pela própria prefeitura de Curvelo, também interessada no projeto de pesquisa. O solo em questão é comumente utilizado como empréstimo para construção de camadas de bases e reforço de pavimentação. O material, também natural da região, apresenta características visuais diferentes do solo encontrado nos locais de visita, como apresentado pela Figura 33.

Figura 33: Solo estudado já peneirado



Fonte: Do autor, 2022

O local onde foi coletado o solo disponibilizado pela Prefeitura de Curvelo para realização do trabalho fica localizado a aproximadamente 12 quilômetros dos pontos “A” e “B” visitados, também as margens da BR-135, assim como ilustra a Figura 34. A proximidade do ponto de coleta do solo com o local onde ele é utilizado com a finalidade de reforço tende a diminuir os custos com transporte além de acelerar a operação.

Figura 34: Localização do ponto de coleta do solo



Fonte: Do autor, 2022

Este solo, segundo as características definidas por Santos et. al. (2011), assemelha-se a um latossolo vermelho, tendo grãos pequenos e finos, além de coloração bem avermelhada, provavelmente rica em materiais ferrosos. Após a realização do destorroamento e peneiramento do material na peneira de 1,19 mm de malha, confirmou-se que os grãos não têm tamanhos muito grandes. Além disso, esse solo, sem alterações na umidade de campo, pôde ser destorroado com a mão sem dificuldades.

Salienta-se que nesse estudo foram realizados os ensaios de compactação e dos ensaios para cálculo dos limites de liquidez e de plasticidade. Entende-se que esse solo apresenta características físico-químicas que podem ser de interesse tanto da academia quanto da população residente nas localidades onde ele é comum. Por isso, sugere-se a realização de outros ensaios para definição de mais características físicas do material.

3.4.1.1 Ensaio de Compactação

Para a realização do ensaio de compactação, assim como previsto na Norma DNER-ME 162/94, foi realizado após o procedimento de peneiramento do solo nas peneiras de 50 mm e 19 mm, ambos realizados manualmente. Para cada corpo de prova moldado foram separadas amostras de 7,00 kg de solo peneirado e seco ao ambiente. A Figura 35 mostra o solo já peneirado na peneira de menor tamanho.

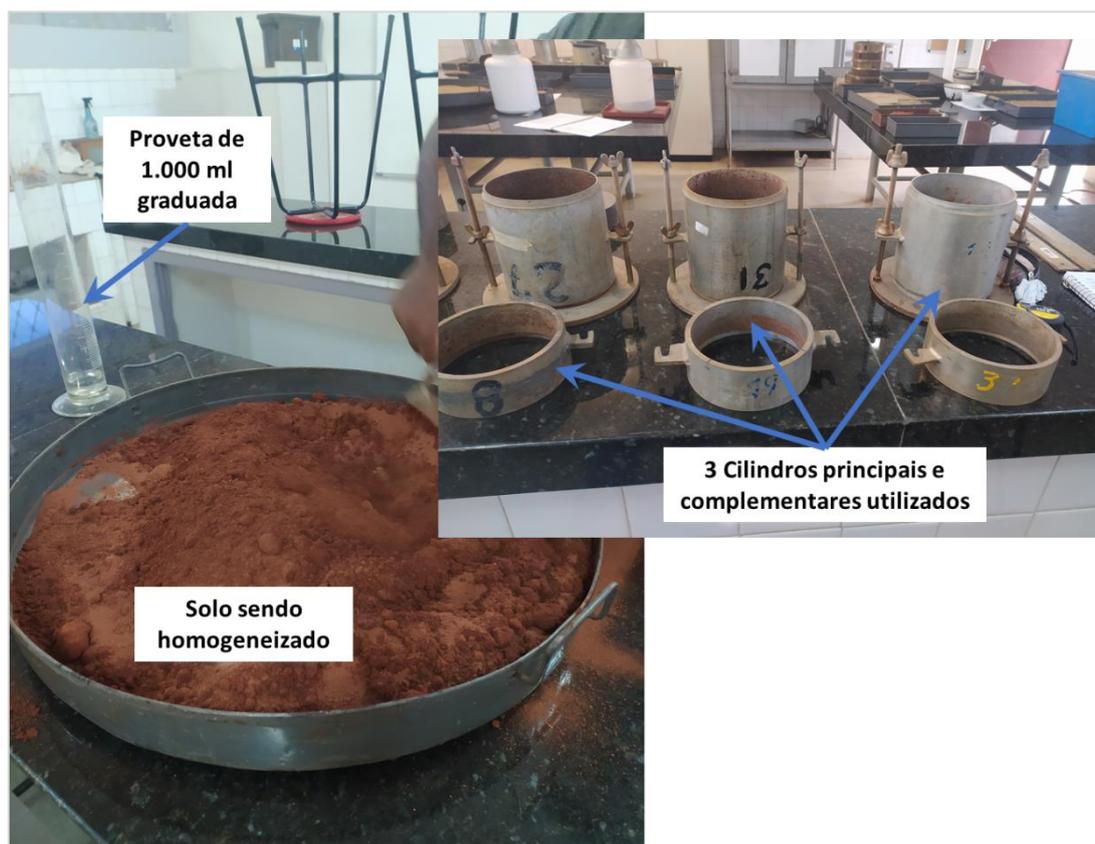
Figura 35: Solo peneirado na peneira de graduação 1,19 mm



Fonte: Do autor, 2022

Peneirado o solo e separadas as amostras, 5 corpos de prova foram moldados variando-se apenas a quantidade de água destilada adicionada. Para cada um dos corpos de prova, a amostra de solo foi umidificada e homogeneizada de acordo com as proporções solo/água definidas. A Figura 36 ilustra os cilindros utilizados para moldagem dos corpos de prova bem como o processo de homogeneização de uma das amostras.

Figura 36: Homogeneização do solo e cilindros utilizados



Fonte: Do autor, 2022

O Quadro 2 apresenta as informações dos cilindros, discos espaçadores, percentual de água e peso de solo utilizados durante os ensaios.

Quadro 2: Caracterização dos corpos de prova

CORPO DE PROVA						
CP	H (cm)	D (cm)	P (kg)	PESO SOLO (kg)	UMIDADE (%)	ÁGUA (kg)
10	17,9±0,5	15,1±0,5	3,9±0,1	10,0±0,1	20%	2,0±0,1
16	17,8±0,5	15,1±0,5	4,9±0,1	7,0±0,1	12%	0,9±0,1
27	17,7±0,5	15,1±0,5	4,2±0,1	7,0±0,1	10%	0,7±0,1
28	17,9±0,5	15,0±0,5	5,0±0,1	7,0±0,1	18%	1,3±0,1
31	17,8±0,5	14,9±0,5	4,3±0,1	7,0±0,1	15%	1,1±0,1

Fonte: Do autor, 2022

Para a realização da moldagem dos corpos de prova, assim como solicita a norma, foi utilizado o soquete ilustrado na Figura 37, em que foram aplicados 26 golpes para compactação de cada uma das 5 camadas de solo.

Figura 37: Soquete utilizado



Fonte: Do autor, 2022

Realizada a compactação e rasadura dos corpos de prova compactados, o corpo de prova, cilindro e estrutura foram pesados e os resultados são apresentados no Quadro 3. Após a pesagem foi possível estimar o peso do solo úmido do corpo de prova.

Quadro 3: Pesos dos corpos de prova

CORPO DE PROVA			
CP	PESO CP + CILINDRO + BASE + DISCO (kg)	PESO CILINDRO + BASE + DISCO (kg)	PESO SOLO ÚMIDO (kg)
10	19,8±0,1	16,0±0,1	3,8±0,1
16	20,4±0,1	16,3±0,1	4,1±0,1
27	19,4±0,1	16,3±0,1	3,1±0,1
28	21,1±0,1	17,0±0,1	4,1±0,1
31	19,6±0,1	16,3±0,1	3,3±0,1

Fonte: Do autor, 2022

A Figura 38 apresenta um dos corpos de prova após a compactação e extração do cilindro. Após a extração dele, pode-se perceber que os 26 golpes foram suficientes para a realização de uma boa compactação do solo. Durante esse processo,

percebeu-se também que com a colocação dos dois maiores percentuais de água definidos, 20 e 18% respectivamente, houve certa dificuldade de compactação. Ocorreu a coagulação do solo na base do soquete, sendo necessária a realização de raspagem do equipamento algumas vezes.

Já com o percentual de 15%, percebeu-se o melhor procedimento de compactação, sem a coagulação do solo e nem levantamento de poeira. Essa última característica foi percebida com as porcentagens menores de água no solo, em especial com a menor delas, de 10% de água para 7,00 kg de solo peneirado. A Figura 38 mostra o corpo de prova moldado e já retirado do cilindro.

Figura 38: Exemplo de corpo de prova moldado e já retirado do cilindro



Fonte: Do autor, 2022

Os corpos de prova, após a extração dos cilindros, foram abertos e foram retiradas três amostras de solo úmido do interior dos mesmos, colocadas nas cápsulas

de metal. Além delas, foram coletadas também três amostras de solo não compactado e essas seis amostras foram imediatamente pesadas e levadas para a estufa para secagem. Após 24 horas de secagem, as amostras foram retiradas da estufa, pesadas e os resultados foram anotados.

Figura 39: Capsulas utilizadas para coleta das amostras



Fonte: Do autor, 2022

A Figura 39 mostra as capsulas utilizadas para a coleta das amostras de solo, sendo três amostras do interior do solo úmido e três do solo não compactado. Já o Gráfico 1 traz a curva de umidade ótima calculada para o solo em questão. Segundo o gráfico, a umidade ótima do solo se dá em 24%.

Gráfico 1: Curva de umidade ótima



Fonte: Do autor, 2022

3.4.1.2 Ensaio de determinação do limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP)

Para a realização dos ensaios do limite de liquidez e de plasticidade foram seguidas as normas DNER-ME 122/94 e DNER-ME 082/94, respectivamente. O material que foi utilizado durante o ensaio de compactação pôde ser reaproveitado para a realização dos ensaios, conservando-se os teores de umidade.

Quadro 4: Ensaio do limite de liquidez

Ensaio: Limite de Liquidez														
Cápsula: 110					Cápsula: 113					Cápsula: 151				
Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	Golpes	h(%)	Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	Golpes	h(%)	Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	Golpes	h(%)
24,04	28,01	25,00	12	3,1	19,33	27,66	21,67	20	2,6	18,59	24,71	19,95	9	3,5
Cápsula: 1A1					Cápsula: TSM 326					Cápsula: 254				
Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	Golpes	h(%)	Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	Golpes	h(%)	Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	Golpes	h(%)
15,36	20,82	17,50	29	1,6	10,68	16,68	15,05	8	0,4	10,88	16,71	13,98	40	0,9

Fonte: Do autor, 2022

Quadro 5: Ensaio do limite de plasticidade

Ensaio: Limite de Plasticidade											
Cápsula: 1LP				Cápsula: 2LP				Cápsula: 3LP			
Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	h(%)	Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	h(%)	Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	h(%)
23,02	29,35	26,10	1,06	19,15	28,02	23,55	1,02	18,01	26,03	21,95	1,04
Cápsula: 4LP				Cápsula: 5LP							
Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	h(%)	Cápsula (g)	Cápsula (g) + Solo úmido (g)	Cápsula (g) + Solo seco (g)	h(%)				
15,14	21,10	18,07	1,03	10,09	17,80	13,89	1,03				

Fonte: Do autor, 2022

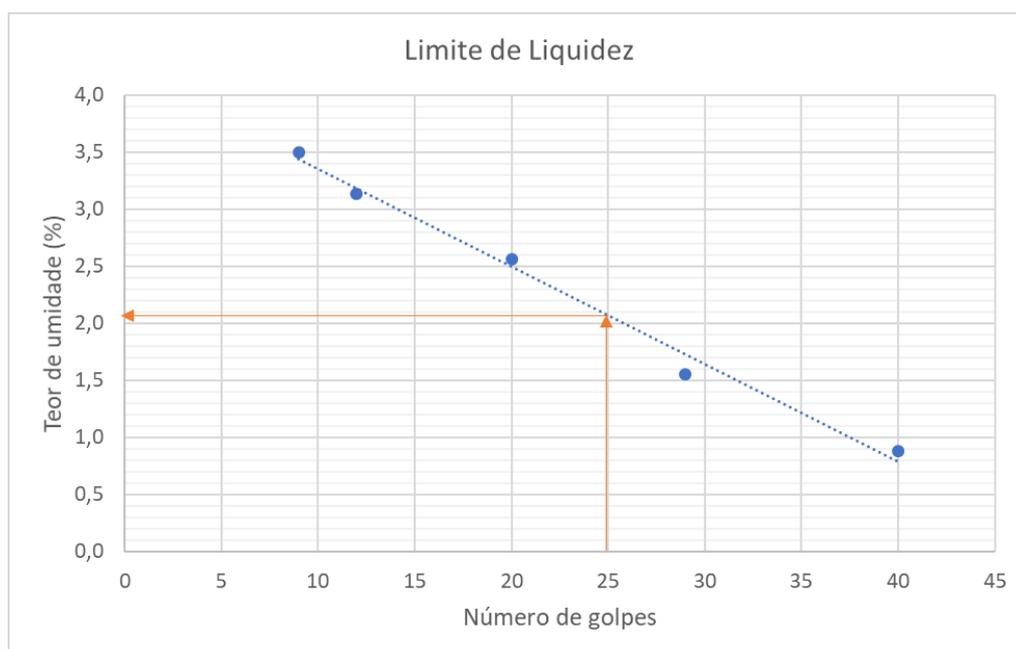
De acordo com o Quadro 4, foram utilizadas outras seis capsulas para realização do ensaio do limite de liquidez. Bem como para o ensaio de compactação, primeiramente foram pesadas as capsulas vazias e o peso foi anotado. Após, o solo úmido foi colocado na capsula, novamente foram pesados e a amostra foi seca na estufa por 24 horas também.

Desse solo seco, foi adicionada água destilada e o solo foi umidificado e homogeneizado de forma a possibilitar a colocação na concha e aplicação dos golpes pelo aparelho de Casagrande. De acordo com o quadro, quanto menor o teor de umidade da amostra, mais golpes foram necessários para que as duas caneluras se encontrassem no centro da concha. Tal resultado era esperado pois quanto maior o percentual de água na amostra, mais próximo do limite de liquidez o solo está. Apenas na capsula **TSM 326** se percebeu uma característica diferente, mas que pode ter relação com a homogeneização dessa amostra.

Já de acordo com o Quadro 5, os teores de umidade calculados estão muito próximos a 1,00 para todas as amostras coletadas. Ao serem construídos os cilindros solicitados pela norma, percebeu-se que todos se rompiam praticamente com o mesmo volume de água adicionada, bem como com números parecidos de roladas do cilindro. Essa característica condiz com um solo de características homogêneas ao sofrer adição de água, mostrando que independente do percentual adotado, espera-se um comportamento semelhante por parte do solo, em que há agregação semelhante entre as partículas.

O Gráfico 2 apresenta a curva traçada para o limite de liquidez da amostra de solo. Conforme dito pela Norma DNER-ME 122/94, o limite de liquidez é definido pela aplicação de 25 golpes pelo aparelho de Casagrande. Segundo o gráfico, pode-se concluir, portanto, que o limite de liquidez dessa amostra de solo é de 2,09%.

Gráfico 2: Limite de Liquidez



Fonte: Do autor, 2022

Já para o limite de plasticidade, calculou-se uma média aritmética dos valores encontrados em cada uma das amostras apresentadas no Quadro 5 e, por isso, encontrou-se um valor percentual de 1,03% como limite de plasticidade desse solo.

3.5 APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NO TRABALHO

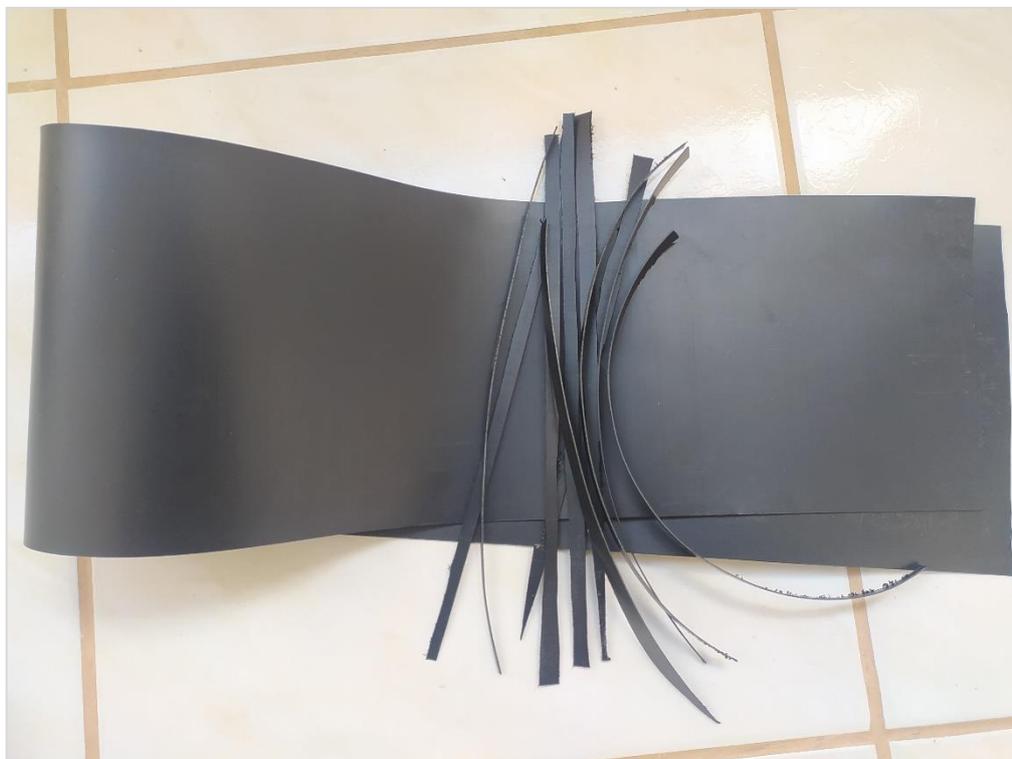
A partir do que foi apresentado no item 2.3, entende-se que o uso de geossintéticos para reforço de solo já foi amplamente utilizado na engenharia civil. Além disso, durante a visita técnica a empresa LONAX, fabricante de geomembranas, pôde-se entender que o custo para produção do geossintético tende a ser menor que o custo para pavimentação, afinal os processos produtivos e o tempo de serviço são menores.

Durante a visita a LONAX, três amostra de geomembrana foram gentilmente cedidas para a elaboração desse trabalho. O material foi coletado da maneira como é produzido nas máquinas de extrusão.

Ainda de acordo com o corpo técnico da empresa, pode-se concluir que o material descartado durante o processo produtivo das geomembranas pode ser facilmente retrabalhado e utilizado com o mesmo fim, mas com metodologias diferentes. O presente trabalho traz uma dessas abordagens de tratamento com o

material, em que as geomembranas foram cortadas em filamentos de aproximadamente 2 cm de espessura, como ilustra a Figura 40.

Figura 40: Aparas de Geomembrana e material cortado



Fonte: Do autor, 2022

As aparas de geomembrana foram cedidas pela empresa LONAX para a realização desse e de outros trabalhos na linha de pesquisa de reforço de estradas não pavimentadas utilizando geossintéticos. O corte dessa geomembrana foi realizado a partir da utilização de uma lâmina e serra de recorte (comumente conhecida como “serra tico-tico”), como mostra a Figura 41. A lâmina utilizada tem como especificações técnicas:

- Comprimento: 51 mm;
- Largura: 7,5 mm;
- Espessura: 1 mm;
- Dentição: 32;
- Modelo: BU232;
- Marca: STARRETT.

Figura 41: Lâmina de corte



Fonte: Do autor, 2022

Apesar de não ter sido realizado nenhum tipo de ensaio com o material recebido e trabalhado, o intuito ao realizar o procedimento foi entender a resistência ao corte que a membrana oferece e tentar simular uma metodologia que possa ser aplicada no campo, onde está o maior possível público interessado nesse material. Além disso, a ideia aplicada na metodologia do presente trabalho abre espaço para maiores estudos nessa linha de pesquisa, trazendo não só novas metodologias para corte e tratamento das aparas, como também distribuição em vários percentuais de geomembrana cortada no solo.

Espera-se que em campo essa geomembrana recordada seja utilizada numa proporção previamente definida com relação ao solo, sendo do tipo 90% - 10% (solo-geomembrana). A melhor proporção deve ser definida a partir de ensaio CBR, afinal a representatividade desse ensaio pode ser reproduzida in loco, afinal após o processo de mistura deverá ocorrer a compactação do solo, buscando o aumento da resistência do mesmo.

Além disso, as aparas da geomembrana foram recortadas a partir do procedimento citado anteriormente pois essa foi uma das maneiras mais eficientes pensadas para o processo. No entanto, pode-se considerar que existem outras metodologias mais eficientes para o trabalho com esse material, podendo o corte ser feito com bisturi, facas ou outros objetos de natureza cortante.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao combinar os ensaios realizados na primeira etapa da metodologia, em que foram estudadas as características do solo e houve a definição de umidade ótima, cálculo dos limites de liquidez e plasticidade do solo, pode-se entender como é o comportamento do solo sem nenhum tipo de reforço. Ao ser acrescentado o geossintético (lacuna não respondida pelo trabalho), espera-se que haja aumento da capacidade de suporte e o solo seja reforçado.

Com base nessa medida, espera-se que os custos da intervenção proposta para resolução dos problemas nas estradas não pavimentadas sejam reduzidos, além de que essa tratativa se dê mais rapidamente e com menor serviço agregado. Para essa análise, foram construídas planilhas que simulam a realização de serviços de pavimentação, com base na caracterização feita no item 3.3. Além dessa, foi realizada também a composição de custos associados a implantação da geomembrana recortada, em busca de reforço no solo da estrada não pavimentada do município de Angicos.

Para essa etapa do trabalho, foram utilizados dados fornecidos pelo SICRO, afinal esse sistema de composição de custos é aplicável a engenharia civil e passa por atualizações mensais. As quantidades apresentadas no trabalho foram obtidas a partir do dimensionamento feito no projeto da rodovia.

Endossa-se que para a composição de custos não foram considerados os custos com mobilização e desmobilização de pessoal e canteiro de obras, afinal não foi estudado o dimensionamento de pessoal para execução dos trabalhos. Além disso, os serviços não foram discriminados em despesas diretas ou indiretas, sendo apresentados os custos relacionados ao material e a execução daquele serviço.

Para a construção da estimativa de custos de pavimentação, foram consideradas as etapas de execução listadas no “Estudo Comparativo Entre Pavimentos Rígidos e Flexíveis Para Área Urbana” por (Campolina et al, 2019). Segundo os autores, a pavimentação asfáltica por CBUQ pode ser executada, sucintamente por:

- Regularização do subleito;
- Construção da sub-base e base;
- Imprimação e pintura de ligação;
- Aplicação de revestimento asfáltico a base de CBUQ;
- Pintura de faixas de circulação;

Para a estimativa de custos das etapas supracitadas, foram considerados os relatórios de composição de custos do SICRO para Minas Gerais, disponibilizados para junho/2022 (DNIT, 2022). Além disso, as quantidades atribuídas foram calculadas através da utilização do software AutoCad, conforme perfil e planta apresentados no item 3.3.

O Quadro 6 apresenta as quantidades, custos unitários e totais levantados para 700 metros de rodovia, como apresentado pela Figura 31. Salienta-se que para o cálculo da composição dos volumes foi considerado um fator de empolamento de 1,5.

Quadro 6: Composição de custos da pavimentação

FONTE	DESCRIÇÃO	UNID	QUANTIDADE E	CUSTO UNIT. (R\$)	CUSTO PARCIAL (R\$)
SICRO	Regularização do subleito	m ²	4.900,00	1,11	5.439,00
SICRO	Sub-base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) na pista com material de jazida e brita comercial	m ³	1.102,50	70,50	77.726,25
SICRO	Base ou sub-base de brita graduada com brita comercial	m ³	1.470,00	232,59	341.907,30
SICRO	Imprimação com emulsão asfáltica	m ²	4.900,00	0,43	2.107,00
SICRO	Pintura de ligação	m ²	4.900,00	0,29	1.421,00
SICRO	Usinagem de areia-asfalto a quente com asfalto polímero - faixa C - areia comercial	t	857,50	199,94	171.448,55
SICRO	Pintura de faixa com tinta acrílica emulsionada em água - espessura de 0,5 mm	m ²	180,00	16,92	3.045,60
	Custo Total para 700 metros				603.094,70
	Custo Total por km				861.563,86

Fonte: Do autor, 2022

Com relação a simulação dos custos associados a colocação de geossintéticos na estrada não pavimentada, foram também considerados os custos unitários fornecidos pelo SICRO. No entanto, não se identificou composição de custo associada a atribuição de geossintéticos com a finalidade considerada nesse trabalho. Por isso, elaborou-se uma composição de custos associada a colocação de geotêxtil não tecido no solo, afinal esse material é o que apresenta características mais semelhantes a geomembrana e tem seu custo tabelado nas planilhas do SICRO MG.

A ausência de informações acerca de colocação de variados tipos de geossintéticos no solo foi um dos principais dificultadores da realização do trabalho. Assim como apresentado na revisão de literatura, percebe-se que a maioria dos trabalhos encontrados nesse assunto se referem a utilização do material com fins de drenagem e contenção.

Haja vista a natureza exploratória desse trabalho, fica com sugestão de tema para trabalhos futuros um melhoramento da metodologia de composição de custos apresentada no Quadro 7.

Quadro 7: Composição de custos da colocação de geossintéticos

CÓD	FONTE	DESCRIÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO UNIT. (R\$)	CUSTO PARCIAL (R\$)
4011209	SICRO	Regularização do subleito	m ²	4.900,00	1,11	5.439,00
2003867	SICRO	Aplicação de geotêxtil não-tecido agulhado com resistência à tração longitudinal de 31 kN/m	m ²	4.900,00	27,80	136.195,50
5502978	SICRO	Compactação de aterros a 100% do Proctor normal	m ³	2.205,00	4,79	10.561,95
		Custo Total para 700 metros				152.196,45
		Custo Total por km				217.423,50

Fonte: Do autor, 2022

Em ambos os cenários apresentados foi considerado como etapa primária a regularização do subleito da rodovia, afinal essa é uma das principais camadas que compõe o corpo estradal. Além disso, foi adotada a premissa de 50% de aumento no preço unitário da aplicação do geotêxtil, já que a metodologia do trabalho entende que o geossintético utilizado deva ser cortado antes de misturado ao solo. Salienta-se que para o cálculo da composição dos volumes foi considerado um fator de empolamento de 1,5.

Com base no que foi apresentado no trabalho, entende-se que ainda há baixa utilização de geossintéticos como reforço de estradas não pavimentadas. A maior área de utilização deles é na drenagem das rodovias, em que os geotêxteis e geomembranas são amplamente aplicados para filtração, separação e impermeabilização.

Além disso, dada a natureza das rodovias do Brasil, em que mais de 50% de todas as estradas são ainda não pavimentadas e, sabendo dos problemas que essas estradas enfrentam, é sabido que há um foco de problemas para o transporte rodoviário de cargas. Não só referente a falta de reforço do solo, mas também há sérios problemas com drenagem das estradas não pavimentadas, sendo que essas dificilmente recebem tratamentos utilizando os geossintéticos.

Buscando resolver os problemas das estradas não pavimentadas, uma das soluções possíveis é a pavimentação da via. No entanto, essa manobra tem alto custo de elaboração, além de ser despendido muito tempo para execução. Como alternativa a essa proposta, a colocação de geossintéticos no solo se faz possível, principalmente do ponto de vista de redução de custos.

Entendendo-se a natureza de reforço que os geossintéticos podem dar ao solo, principalmente nas estradas não pavimentadas, seguiu-se a hipótese desse trabalho, afinal essa proposta de intervenção pode apresentar menor custo e maior viabilidade operacional.

Como se apresentou nos Quadro 6 e Quadro 7, percebe-se que a colocação de geossintéticos no solo dá uma redução de cerca de 75% nos custos associados a obra de melhoramento da estrada não pavimentada. Além disso, por envolverem menos etapas produtivas, entende-se que essa proposta de intervenção tende a ser mais rápida e menos prejudicial ao solo, afinal não são aplicados compostos químicos no solo e são necessários menos equipamentos e mão de obra.

De acordo com os resultados apresentados, conclui-se que a aplicação de geossintéticos para reforço do solo, do ponto de vista de custo com materiais e execução, tende a um menor custo que a adoção da pavimentação com CBUQ, para o mesmo trecho de via. Esse cálculo pode ser melhorado a partir do estudo mais

específico das etapas a serem executadas quando da adição do geossintético recortado ao solo, bem como da adoção de valores comerciais para esses produtos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das maiores dificuldades encontradas para a execução do trabalho foi a obtenção de dados referentes a adoção de geossintéticos em estradas não pavimentadas. Apesar desses materiais terem propriedades de eficazes para resolução de problemas com drenagem e reforço de solo, eles ainda não são adotados como para a resolução de problemas como formação de poeira e “costelas de vaca” no pavimento.

Além disso, a falta de disponibilidade de preço dos geossintéticos também foi um dos problemas enfrentados na execução do trabalho. Por uma questão de sigilo empresarial, nem a LONAX nem outras empresas podem disponibilizar os preços de comercialização nem de produção dos materiais. Isso dificulta a análise técnico econômica da proposta apresentada no trabalho.

Haja vista a natureza inovadora do trabalho, várias lacunas não contempladas por ele podem ser exploradas por outros pesquisadores. A principal delas diz respeito ao estudo experimental do reforço do solo a partir da colocação da geomembrana recortada. Ainda, há o estudo da eficácia desse método durante o período das chuvas, em que há possibilidade de carreamento do material adicionado ao solo. Por fim, a própria composição de custos pode ser melhorada, abrangendo os custos com pessoal e definição das despesas diretas e indiretas.

Portanto, o trabalho define a necessidade de complementação teórica e experimental, haja vista a necessidade de aprofundamento nos assuntos citados e a natureza investigativa do trabalho. Além do possível ganho social com a melhoria das estradas no distrito de Angicos e demais municípios na mesma situação pelo Brasil, há um espaço para captação de recursos por parte das empresas que fabricam e comercializam os geossintéticos, em especial para a LONAX que comercializa apenas geomembranas – durante o período de elaboração desse trabalho.

A disponibilização de um novo produto, com fácil implantação e que não demande mão de obra especializada nem numerosa pode ser de interesse dos

pequenos produtores rurais, prefeituras de municípios ruralizados e até mesmo empresas que utilizam o transporte por estradas não pavimentadas e que sofrem com os problemas mencionados.

Haja vista a natureza exploratória desse trabalho, fica como sugestão de tema para trabalhos futuros um melhoramento da metodologia de custos apresentada pelo Quadro 7, já que essa proposta de intervenção pode ser extremamente benéfica para as regiões rurais que dependem do transporte rodoviário por estradas não pavimentadas.

6. REFERÊNCIAS

ANTE, Jaime Rafael Obando. **GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO DE REVESTIMENTOS EM PAVIMENTAÇÃO**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12553: Pesquisas de Geossintéticos - Terminologia**. Rio de Janeiro. 2003.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p.

BANDEIRA, Matheus Dantas de Oliveira; SILVA, Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros. **Evolução do emprego de geossintéticos em obras rodoviárias nos últimos 20 anos**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, 2019.

BECKER, Leonardo de Bona. **Comportamento de geogrelhas em muro de solo reforçado e em ensaios de arrancamento**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BIANCHINI, M. **Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora de concreto**. Curitiba: UFP, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

BRASIL. **LEI Nº 8.666, DE 21 DE JUNHO DE 1993**. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Brasília, 2021. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8666cons.htm>. Acesso em: 01 de mai. 2021.

CAIXA, SINAPI – **Referências de preços e custos, 2020**. Disponível em <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacaogestao/sinapi/referencias-precossinsumos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 20/06/2022.

CAMPOLINA, Flávia Cabral et al. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS PARA ÁREA URBANA**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE FUMEC - Faculdade De Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, MG 2019.

CARNEIRO, José Ricardo da Cunha et al. **Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental: a importância da incorporação de aditivos químicos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

CEPA – Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. **Avaliação do projeto de microbacias – componente de estradas**. Florianópolis, Santa Catarina. 1999.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **O investimento em transporte como proporção do PIB cai pelo terceiro ano consecutivo**. Economia em Foco. Disponível em: <<https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/27a8aaa2-f440-4656-be30-e7e ECB8b55e3.pdf>>. Acesso em: 09 mai. de 2022.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2021**. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em: 16 jun. de 2022.

CRISTIANO, Brayan Rodrigues. MAIA, Rodrigo Dias. **PAVIMENTOS RÍGIDOS EM RODOVIAS**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Tecnológico de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Coleta de amostras deformadas de solos, DNER - PRO 003/94**. Rio de Janeiro. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER. **DNER-ME 041/94: Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER. **DNER ME 080/94. Solos – Análise Granulométrica por Peneiramento.** Rio de Janeiro, Brasil. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER. **DNER-ME 082/94: Solos – determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER. **DNER-ME 122/94: Solos – determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER. **DNER-ME 162/94: Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER. **DNER-ME 213/94: Solos – determinação do teor de umidade.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação.** 3 ed. Rio de Janeiro, 2006. (IPR. Publ., 719).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Implantação Básica de Rodovia.** Rio de Janeiro, 2010. (IPR-742 617p).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Caderno de Encargos SICRO - Minas Gerais.** Junho/2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Custos Médios Gerenciais – Volume 02: Manual do Usuário (1ª ed.)**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Implantação básica rodoviária**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2010.

DOBSON, E.F; POSTILL, L.J. **Classification of Unpaved Roads in Ontario**. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE, 1983, Washington. Transportation Research record, Washington, EUA, n.898, p.36-46, 1983.

EATON, R. A.; BEAUCHAM, R. E. (1992). **Unsurfaced Road Maintenance Management, US Army Corps of Engineers – USACE**, Cold Region Research & Engineering Laboratory – CRRL, Special Report 92–26, USA.

EHRlich, M. et. al. **Muros e taludes reforçados**. In: VERTEMATTI, J.C. Manual brasileiro de geossintéticos. 1ª edição. São Paulo: Editorial Edgard Blucher, 2004. Cap 4.5, p.106-149.

FILHO, Silvio Rodrigues. **Estudo econômico comparativo entre tipos de pavimentos**. Tese (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

GEOMEMBRANA GEOSSINTÉTICOS. **Geomembrana preço m²**. Página inicial. Disponível em: < <https://www.geomembrana.com.br/geomembrana-preco-m2.php>>. Acesso em: 22 de ago. 2022.

GEOSUL GEOSSINTÉTICOS. **Geocélulas**. Página Inicial. Disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/images/produtos/imagens_10098/p_geocelula-pead-10.jpg>. Acesso em: 22 mai. 2022.

GONÇALVES, Thales Rodrigues. **Análise comparativa de composições de custo para obras de manutenção de pavimentos flexíveis**. Trabalho de

conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

GONZALEZ, Carolina. **Pavimento rígido como alternativa para pavimentação estudo de caso: Rua Padre Dionísio da Cunha Laudt-Tubarão/SC**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

GRIEBELER, Nori Paulo. **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2002.

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

JACOBSEN, Alessandra de Linhares. **Metodologia científica: orientação ao TCC**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

KLAMT, Rodrigo André. **Influência da ação do tráfego no custo de construção e restauração de pavimentos asfálticos**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, 2014.

KOSTULSKI, Annie Marques. **Análise Comparativa de Custo entre Pavimentos de Concreto de Cimento Portland, Blocos Intertravados e Concreto Asfáltico**. 2015. 91 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

KOERNER, R. M. **Designing with geosynthetics**. Ed. Prentice-Hall, New Jersey. 1990.

LACHOUSKI, Ricardo Luís. **Aplicação de geossintéticos em engenharia geotécnica: da análise de 32 casos de obras para soluções em engenharia**.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2021.

LOPES, Maria et al. **A experiência de colocação de geomembranas de PEAD em aterros de RSU**. Geotecnia, n. 106, p. 55-74, 2006.

MAINE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION – MDEP. **Gravel road maintenance manual: A guide for landowners on camp and other gravel roads**. 2010. Disponível em: http://www.maine.gov/dep/blwg/docwatershed/roads/gravel_road_manual.pdf. Acesso em 16 jun. 2022.

MOREIRA, Flávio Eduardo Batista. **Um Modelo de Avaliação da Evolução Geométrica das Patologias em Vias Não Pavimentadas: Aplicação ao Caso do Município de Aquiraz**. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

MOREIRA, Simão Pedro de Castro Neves Marques. **Efeitos da danificação mecânica dos geossintéticos no comportamento como filtro em sistemas de cobertura de estruturas de confinamento de resíduos**. 2009. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Porto, 2009.

ODA, Sandra. **Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas Não-Pavimentadas**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, 1995. 176p.

OLIVEIRA, Jonas Simão de. **CUSTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

OLIVEIRA, Lorena Alves de. **Uso de geossintéticos como reforço em estradas não pavimentadas**. Dissertação (mestrado) - Engenharia Agrícola, Universidade estadual de Goiás, Goiás, 2013.

PALMEIRA, Ennio Marques. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. 1ª ed.; Oficina de Textos: São Paulo, Brasil, 2018.

PEARCE, D. W.; NASH, C.A.: **The Social Appraisal of Projects: a text in Cost-Benefit Analysis**. 3. ed. London: Macmillan, 1989. 225p.

PEDROZO, Lúcia Gonçalves. **CUSTOS DA INFRA-ESTRUTURA RODOVIÁRIA. Análise e Sistematização**. 2001. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

PEREIRA, Eduardo Afonso Souza. **Avaliação dos custos de canteiros de obras rodoviárias de acordo com o Novo Sistema de Custos Referenciais de Obras–SICRO**. 2018.

RODRIGUES, José Luís Azevedo. **Conceção de Pavimentos Rígidos**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2011.

SANTOS, A.R., PASTORE E.L., AUGUSTO, F., CUNHA, M.A. **Estradas vicinais de terra: Manual técnico para manutenção e conservação**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. 125p.

SANTOS, Caio Rubens Gonçalves. **DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS: UMA ABORDAGEM PROBABILÍSTICA**. Orientador: Liedi Légi Bariani Bernucci. 2011. 295 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANTOS, Diego Ribeiro dos. **COMPARATIVO DE METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS REFORÇADAS COM GEOSSINTÉTICOS EM TALUDE: ANÁLISE DETERMINÍSTICA E PROBABILÍSTICA**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2021.

SANTOS, H.G. et al. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130).

SILVA, Adriana da. **Avaliação da danificação de geossintéticos causada por resíduos reciclados**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2016. Cap. 6.

SILVA, Beatriz Vieira; DE SÁ, Gisele Rodrigues; DOS SANTOS AMARANTE, Mayara. **ANÁLISE DO USO DE GEOSSINTÉTICOS PARA REFORÇO DE ATERROS**. Revista Pesquisa e Ação, v. 7, n. 1, p. 1-17, 2021.

SINAPI. **Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil** / Caixa Econômica Federal. – 8ª Ed. – Brasília: CAIXA, 2020.

TAVARES, L. R. S. et. al. **PAVIMENTAÇÃO URBANA: ORÇAMENTO E CUSTOS**. 1. ed. - Brasília: CONFEA/CREA, 2005.

TAVES, Guilherme Gazzoni. (2014). **Engenharia de custos aplicada à construção civil**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

TISAKA, Maçahiko. **Orçamento na Construção Civil: Consultoria, Projeto e Execução**. 2ª Edição Revista e Ampliada. São Paulo: Editora Pini, 2011.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual brasileiro de geossintéticos**. Editora Blucher, 2015.

Zonta, J. H. et. al. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

