

Análise da aplicação do óleo de girassol na pavimentação

Analysis of application of sunflower oil in paving

Análisis de aplicación de aceite de girasol en pavimentos

Recebido: 28/06/2023 | Revisado: 11/07/2023 | Aceitado: 13/07/2023 | Publicado: 18/07/2023

Vitoria Regia Bacelar de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2708-9473>
Centro Universitário Facid Wyden, Brasil
E-mail: regiavitoria277@gmail.com

Elida Lohanny Soares de Melo

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6170-3589>
Centro Universitário Facid Wyden, Brasil
E-mail: elidalohannymello@gmail.com

Sávio Torres Melo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6725-1689>
Centro Universitário Facid Wyden, Brasil
E-mail: savio.melo@hotmail.com

Rebeka Manuela Lobo Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8195-6447>
Centro Universitário Facid Wyden, Brasil
E-mail: rebekamanuela28@gmail.com

Daniella Rodrigues Tavares Sepulveda

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8228-7400>
Centro Universitário UNIFAPI, Brasil
E-mail: ddanyead@hotmail.com

Resumo

A pavimentação hoje em dia é algo fundamental para a sociedade, facilitando o transporte de mercadorias, e proporcionando um deslocamento de forma ágil e rápido em vias urbanas. Com isso, vários pesquisadores, engenheiros e especialistas na área do meio ambiente, procuram maneiras que tornem essas vias mais sustentáveis, trazendo menos riscos ao meio ambiente e a saúde pública, pois o asfalto é um produto constituído por várias combinações de substâncias, onde produz uma quantidade enorme de carbono, gerando grandes consequências para a população e a natureza. O objetivo desse trabalho consiste em utilizar o óleo de girassol combinado com o ligante asfáltico, buscando gerar menos impactos ambientais, diminuindo a poluição do ar, reduzindo a inalação tóxica, normalmente a pavimentação, feita do petróleo, emite uma quantidade severa de partículas poluentes quando exposta a altas temperaturas, luz solar e chuvas. A metodologia tem condições analíticas, descritivas e experimentais, realizando-se o ensaio de resistência a compressão, ensaio de fadiga e análise macroestrutural, embasadas na NBR 9781 (2013). Resultados: Em geral, o óleo de girassol, resiste a altas temperaturas, traz mais durabilidade, e se torna uma alternativa mais eficaz, com a economia de combustível dos veículos, economia de energia elétrica e menor geração de resíduos, melhorando as propriedades físicas e químicas do asfalto, reduzir as emissões de CO² e decair os custos de manutenção e reparo a longo prazo, sendo uma alternativa promissora e defensável para a pavimentação.

Palavras-chave: Asfalto; Pavimentação; Óleo de girassol; Sustentável.

Abstract

Nowadays, paving is something fundamental for society, facilitating the transport of goods, and providing an agile and fast displacement in urban roads. As a result, several researchers, engineers and specialists in the area of the environment are looking for ways to make these roads more attractive, bringing less risk to the environment and public health, since asphalt is a product acquired by various combinations of substances, where it produces a huge amount of carbon, generating great consequences for the population and nature. The objective of this work is to use sunflower oil combined with the asphalt binder, seeking to generate less environmental impacts, hide air pollution, satisfy toxic inhalation, normally the paving, made of petroleum, emits a severe amount of polluting particles when exposed to high temperatures, sunlight and rain. The methodology has analytical, descriptive and experimental conditions, following the resistance test, fatigue test and macrostructural analysis, based on NBR 9781 (2013). Results: In general, sunflower oil resists high temperatures, provides more durability, and becomes a more effective alternative, with vehicle fuel savings, electricity savings and less waste generation, efficient physical properties and Asphalt chemicals reduce CO² emissions and reduce long-term maintenance and repair costs, making it a promising and defensible alternative to paving.

Keywords: Asphalt; Paving; Sunflower oil; Sustainable.

Resumen

Hoy en día, la pavimentación es algo fundamental para la sociedad, facilitando el transporte de mercancías, y proporcionando un desplazamiento ágil y rápido en las vías urbanas. Por ello, varios investigadores, ingenieros y especialistas en el área del medio ambiente buscan formas de hacer más atractivas estas vías, trayendo menos riesgos para el medio ambiente y la salud pública, ya que el asfalto es un producto adquirido por diversas combinaciones de sustancias, donde se produce una gran cantidad de carbono, generando grandes consecuencias para la población y la naturaleza. El objetivo de este trabajo es utilizar aceite de girasol combinado con el ligante asfáltico, buscando generar menores impactos ambientales, disminuir la contaminación del aire, satisfacer la inhalación de tóxicos, normalmente los pavimentos, fabricados a base de petróleo, emiten una cantidad severa de partículas contaminantes al ser expuestos a altas temperaturas, luz solar y lluvia. La metodología tiene condiciones analíticas, descriptivas y experimentales, siguiendo el ensayo de resistencia, ensayo de fatiga y análisis macroestructural, con base en la NBR 9781 (2013). Resultados: En general, el aceite de girasol resiste altas temperaturas, brinda más durabilidad, y se convierte en una alternativa más efectiva, con ahorro de combustible para vehículos, ahorro de energía eléctrica y menor generación de residuos, propiedades físicas eficientes y los químicos asfálticos reducen las emisiones de CO² y reducen el mantenimiento a largo plazo y costos de reparación, por lo que es una alternativa prometedora y defendible a la pavimentación.

Palabras clave: Asfalto; Pavimentación; Aceite de girasol; Sostenible.

1. Introdução

Atualmente, estudos relacionados aos efeitos de pavimentação estão bastante destacados dentro de pesquisas científicas, justamente evidenciando as patologias existentes, assim como toda a trajetória das suas representações em camadas, tornando possível buscar uma explicação dentro do campo de materiais, auxiliando em alternativas favoráveis ao mercado.

A pavimentação é uma atividade essencial para garantir a segurança e o conforto dos usuários das vias, tanto urbanas quanto rurais. No entanto, os materiais utilizados para pavimentação podem ter um impacto significativo no meio ambiente e na saúde humana. E como um meio de melhorar a sustentabilidade do planeta, há diferentes maneiras que contribuem para a causa.

O óleo de girassol é uma fonte renovável, não tóxica e biodegradável que pode ser adicionada ao asfalto ou pavimento para melhorar suas propriedades físicas e químicas, como a resistência à tração, a viscosidade e a adesão. Além disso, o uso do óleo de girassol pode reduzir a quantidade de emissões de CO² ligadas à produção e aplicação do asfalto convencional gerando assim um material sustentável.

Sabe-se que o asfalto é o material mais comum utilizado na pavimentação, mas é conhecido por liberar gases tóxicos contribuindo assim para a poluição do ar. Nesse contexto, a busca por alternativas mais sustentáveis para a pavimentação é de grande importância, pois beneficiaria não somente o mercado da pavimentação como também a natureza. O meio ambiente se encontra cada vez mais desgastado pelas atividades humanas em todos os setores, não sendo diferente no setor da pavimentação que não apenas faz a retirada de materiais do meio para produção das misturas, como também, produz gases nocivos à saúde humana com as altas temperaturas de usinagem e compactação. (Nunes, 2021).

Nos dias de hoje, é de grande importância ser feito algo sobre a contenção da poluição no planeta terra, pois da maneira que vivemos hoje, a tendência é que a vida útil do planeta caia rapidamente, com aumento da liberação do CO² nos últimos anos há uma grande possibilidade de a camada de ozônio ser impactada, gerando assim, um aquecimento global que afetará a vivência de todos. No setor de pavimentação asfáltica, a emissão de gases-estufa para a atmosfera é decorrente principalmente das altas temperaturas de mistura e compactação. (Carvalho, 2018).

Atualmente, existem diversas formas que podem ajudar a aumentar essa perspectiva de vida, por exemplo o Óleo De Girassol, ele é uma dessas alternativas que pode ser explorada, gerando um novo método sustentável. Uma das maneiras, é incorporar óleo vegetal junto com o ligante asfáltico, e efetuar a aplicação na pavimentação.

A devida pertinência em realizar esta pesquisa corresponde em verificar a devida atuação do óleo dentro da mistura,

com a intenção de analisar os seus efeitos perante a sua representação final, pois somente assim evidenciar a finalidade para os seus requisitos de execução.

2. Metodologia

Como descrito por Autem Engenharia (2022), atualmente, existem 3 principais tipos de pavimentos, o pavimento flexível, o rígido e o semirrígido. Ressalta ainda, a importância do estudo de solo, levando em consideração suas características, propriedades geotécnicas da região, estudo de tráfego, para assim escolher o melhor tipo de pavimento em cada construção. Cada uma, apresenta função e custo diferente, por isso a necessidade de saber seus funcionamentos e onde deve ser utilizado.

De acordo com Robert L. Peurifoy (2015), a pavimentação flexível é desenvolvida em um sistema de camadas, composta por um subleito (fundação do pavimento), sub-base (pode ser a camada corretiva ou a camada complementar a base), base (camada que recebe e distribui o esforços decorrentes da base), e a superfície asfaltada (responsável por receber diretamente a ação da pista), sendo que a camada de superfície é composta por duas subcamadas, sendo, a primeira destinada a camada de rolamento, onde ocorre o desgaste e segunda sendo a camada de ligação entre a base e a superfície. Em geral, o pavimento flexível, é aquele que sobre deformação, porém não ocorre a ruptura da estrutura.

Considerando, Bernucci et al (2008) & Almeida et al (2016), o pavimento rígido, normalmente é composto, por uma camada de revestimento rígido feito de placas de concreto, sendo essa, seu principal componente estrutural, possui uma sub-base, o reforço do subleito (para pavimentos com baixa capacidade de suporte), e por fim, a regularização do subleito. Apresenta uma camada de revestimento com uma rigidez superior as camadas inferiores, absorvendo praticamente todas as tensões provenientes das tensões e deformação da placa. Sua espessura é fixada em função da resistência a flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes.

Para o Baldo (2007), o pavimento semirrígido apresenta a junção do pavimento rígido e o pavimento flexível, pois possui uma base cimentada e revestimento flexível, possui um nível de deformação intermediária, sendo superior ao flexível e inferior ao rígido. Este tipo de pavimento apresenta maior facilidade de para manutenção se comparando ao pavimento rígido. No desenvolvimento, pode ser utilizado: cal e cimento Portland.

Área de Estudo

Todos os métodos utilizados para o estudo, estão baseadas na:

- **ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas, DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes;
- **ASTM** - American Society for Testing Materials);
- **AASHTO** - American Association of State Highway and Transportation Officials.

O estudo ocorreu no laboratório TECON, no Centro Universitário UniFacid Wyden, a análise de estudo está descrito e detalhada abaixo, apresentando o resumo e caracterização de cada ensaio:

- **Ensaio de Resistência a Compressão:** Corresponde em determinar a resistência do pavimento aos 28 dias, com o intuito de impactar o devido controle da compressão, proporcionando dessa forma uma magnitude influenciadora no requisito de firmeza.
- **Ensaio de Fadiga:** Consiste em uma aplicação de impactos constantes na placa desenvolvida, a fim de estabelecer o tempo de absorção destas forças, delimitando o desenvolvimento de microfissuras devido ao desempenho da peça.

- **Ensaio de Macroestrutura:** Prioriza em visualizar e analisar o protótipo por meio da aparência, formato e desempenho, justificando tais modificações existentes.

Na Figura 1, é apresentado os materiais que foram utilizados para a presente pesquisa, o óleo de girassol da marc Vitaliv uso cotidiano, comprado no supermercado, ligante asfáltico igol-2, da marca Sika e a água, já no Quadro 1, apresenta-se os demais materiais utilizados para complementação do estudo.

Figura 1 – Materiais Empregados na Mistura da Pesquisa.



(a) Visualização dos Materiais
Fonte: Autores (2023).

Quadro 1 - Materiais Utilizados para complementar experimento.

- Brita;
- Areia;
- Cimento da marca Poty – item já disponível no laboratório TECON.

(b) Informação dos Materiais
Fonte: Autores (2023).

Como a sistemática para pavimentação e transporte apresenta muita relevância entre pesquisas, priorizamos em atribuir uma discussão bibliográfica referente aos anos de 2013 a 2023, justamente para impor condições entre todo e qualquer recurso científico relacionado ao desempenho dos seguintes termos principais:

- **Óleo de Girassol:** Pois corresponde ao principal material aplicado na pesquisa e a sua atribuição explanaria vantagens e/ou desvantagens na sua aplicação;
- **Óleos Vegetais:** Impor uma perspectiva relacionada ao desempenho da utilização de substâncias naturais perante os avanços sustentáveis existentes atualmente;
- **Pavimentação:** Correlacionar à dinâmica desta pesquisa diante de muitas outras pesquisas, a fim de mostrar a sua relevância final.

Amostras

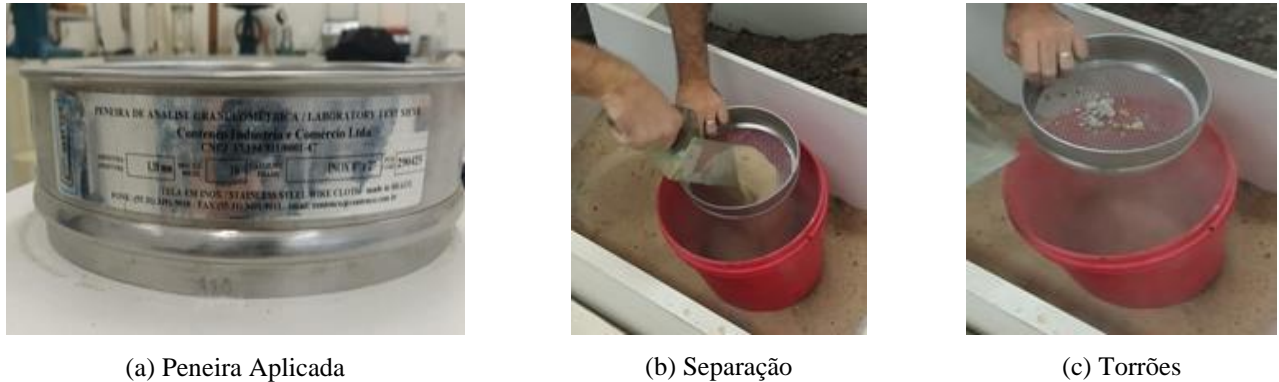
Seguindo a NBR 7211 (2019), iniciou-se os experimentos, com o preparo e o ensaio da granulometria de forma manual a fim de separar os agregados de qualquer impureza durante o procedimento de mistura, assim como proporcionar um parâmetro homogêneo para o produto final.

De acordo com o Bernucci (2022), agregado é um termo genérico para os materiais que estão nas dimensões da fração areia, dos pedregulhos, e maiores dimensões, decorrentes da britagem de rochas minerais ou de cascalheiras de ocorrência natural ou artificial.

Para tais requisitos, a segregação do agregado miúdo (areia), utilizou-se a peneira de abertura 1,18mm (Milímetro) com malha Mesh 16 (Figura 2a), considerada série fina, conforme a tabela de equivalência da abertura de malha, na (Figura

2b), representa exatamente o procedimento de separação da amostra com a aplicação da peneira, para apresentar uma granulometria mais afetiva durante a mistura, principalmente por causa do aparecimento de pedregulhos ou materiais orgânicos, podendo afetar diretamente na composição final do experimento, já Figura 2c, tem-se os torrões obtidos na segregação do material. Os processos descritos, estão ilustrados nas figuras a seguir:

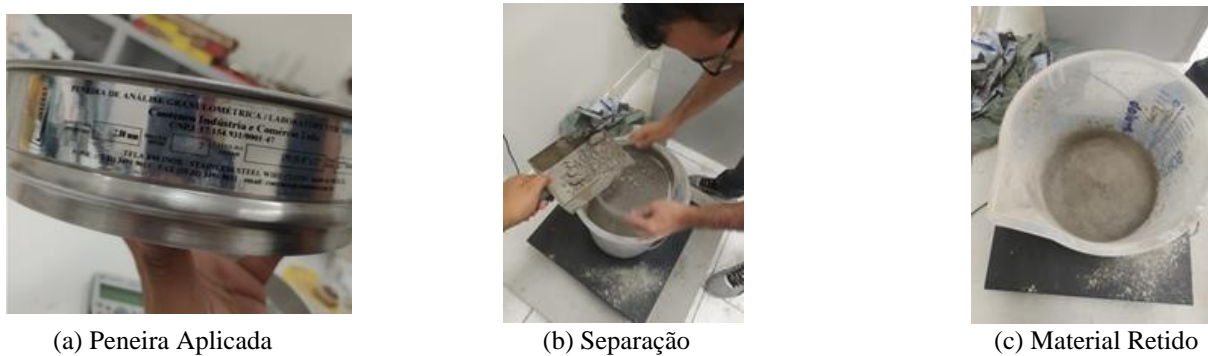
Figura 2 – Preparação e separação do agregado miúdo.



Fonte: Autores (2023).

O mesmo processo de segregação, foi realizado para o cimento (aglomerante) (Figura 3), a ação foi necessária, porque o mesmo encontrava-se armazenado a um tempo no laboratório e criou-se algumas pedras (Figura 3b). Por tanto, utilizou-se a peneira de abertura equivalente a 2,80mm (Milímetro), com malha Mesh 7 para a separação (Figura 3a). Nos dois casos, utilizou-se o material passante (Figura 3c) e descartou-se o retido.

Figura 3 – Preparação e separação do aglomerante.



Fonte: Autores (2023).

Para os demais materiais aplicados como: água, brita, ligante asfáltico e óleo de girassol, não houve necessidade de cuidados, tais insumos encontravam-se em condições adequadas e suficientes de aplicação.

Traço de Aplicação

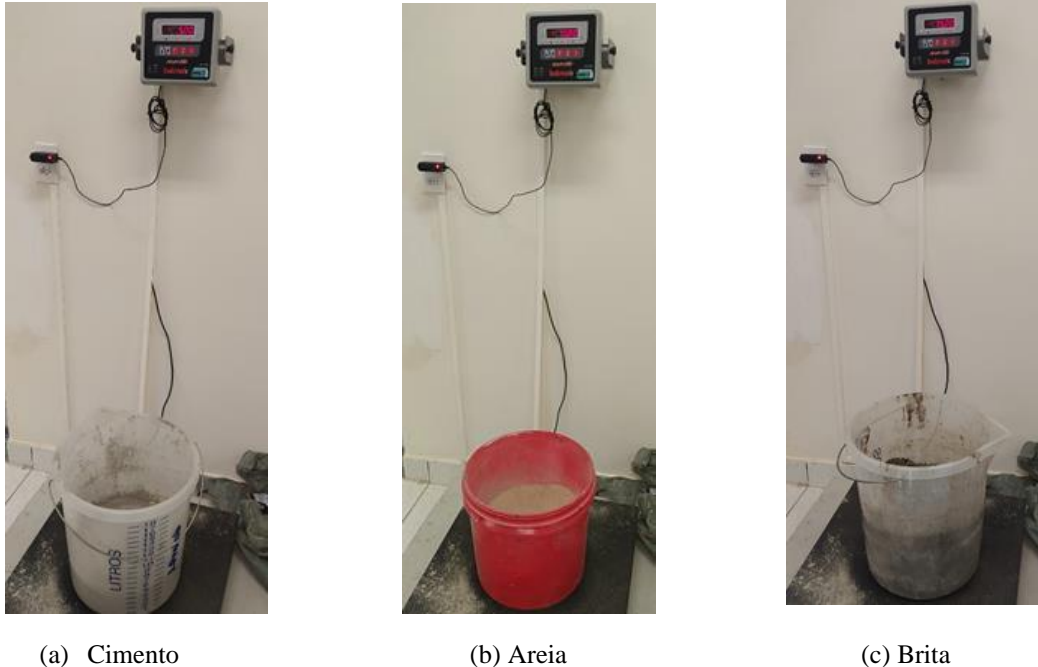
Seguindo a norma DNIT 054 (2004/PRO), apresenta o roteiro para o estudo do traço de concreto, proporcionando um ganho de resistência no requisito de pavimentação. Por tanto, tendo como referência tal norma, para a composição do pavimento o traço estabelecido corresponde a 1:2:3, ele é utilizado para a concepção de pavimento.

Diante disso, o quantitativo de material utilizado (Figura 4), corresponde a:

- 5 kg de cimento (Figura 4a);

- 10 kg de areia (Figura 4b);
- 15 kg de brita (Figura 4c).

Figura 4 – Pesagem dos materiais utilizados.



Fonte: Autores (2023).

Com o auxílio de uma balança do laboratório, pesou-se cada material suficiente para a aplicação do experimento. De certa forma, esse procedimento corresponde a algo muito simples, porém o mesmo deve ser efetuado para comprovar os dados utilizados na pesquisa, além de estabelecer a devida precisão e cuidado dentro do laboratório.

No representativo do líquido, a mistura deve acontecer em relação ao ligante asfáltico, óleo de girassol e água, de forma eficiente e com teor de precisão elevado para o ligante, justamente por causa deste componente servir como a união entre os elementos.

Outro detalhe importante, é na mistura, entre o óleo e a água, algo que não ocorre naturalmente, então o quantitativo destes dois elementos deve ser diferente, para que essa união, aconteça dentro da mistura. Por tanto, a aplicação de um teor da parte líquida sendo 0,8 que corresponde a 1L (Litro) de água, para 1L (Litro) de óleo, para 2L (Litro) de ligante.

Mistura Asfáltica

Após a separação do cimento, brita e areia, os materiais foram adicionados na betoneira (Figura 5a), e misturados (Figura 5b). Já o ligante asfáltico, óleo de girassol e a água, foram misturados separadamente (Figura 5c), pois precisavam de um cuidado melhor, levando em consideração que são líquidos heterogêneos. Sendo assim, após a mistura dos líquidos, eles foram adicionados cuidadosamente a betoneira (Figura 5a). Acionou-se a betoneira para uma primeira mistura superficial, e sempre deixando a máquina a 90°, para que as pás do tambor, fizessem uma mistura mais eficaz.

Figura 5 - Mistura asfáltica sendo adicionada a betoneira com mistura do líquido e o resultado.



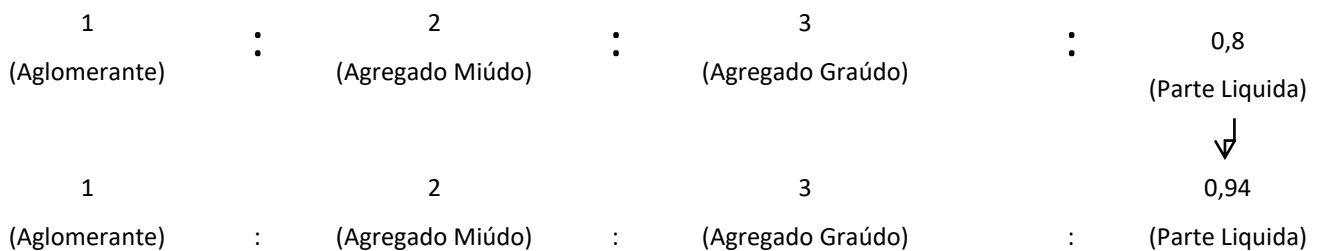
Fonte: Autores (2023).

Após serem incorporados todos os elementos, foi necessário aplicar mais água, pois a aparência inicial era seca, mesmo com todo o quantitativo estabelecido. Foi acrescido 100ml (Mililitro) de água, em intervalos de 30s (Segundos) e observando cuidadosamente a aparência da mistura, se acontecia a devida homogeneidade e a perda deste aspecto seco.

Correção do Traço

Como descrito, o quantitativo de água deveria ter sido diferente, o teor de água aderida no início dos testes, foi de 0,8 equivalente a 1L (Litro) de água, portanto, não se obteve a mistura desejada, por isso, o acréscimo gradativo de água, observando-se a devida suficiência da mistura final. Sendo assim, houve uma mudança no traço (Figura 6), já que o estabelecido inicialmente não foi suficiente. Por fim, aplicou-se mais 700 ml (Mililitro) de água, totalizando assim 1,7L (Litros), aumentando o teor de água na mistura.

Figura 6 - Fluxograma de Modificação do Traço



Fonte: Autores (2023).

Moldagem dos Corpos de Prova

Seguindo a norma do DNIT 178 (2018), foi feita a preparação de corpos de prova para ensaios (Quadro 2), sendo efetuado o ensaio de compressão e o ensaio de fadiga ou abrasão, utilizou-se corpos de prova cilíndrico (Quadro 2a), moldando o total de 3 copos de prova sendo um com tamanho diferente dos demais (Quadro 2b), e o corpo de prova retangular (Quadro 2c), sendo possível apenas um corpo de prova (Quadro 2d), para tais efeitos de análise.

Quadro 2 – Tipos de corpo de prova, ensaios realizados e descrição para cada tipo.

TIPO DE MOLDE	ENSAIO	DESCRIÇÃO	VISUALIZAÇÃO
CILÍNDRICO 20cm de altura 10cm de diâmetro	COMPRESSÃO	<p>Para a formação deste tipo de corpo de prova foi utilizado a compactação manual para o pavimento. O asfalto gerado na betoneira foi adicionado em 3 corpos de prova. Para o cálculo do volume dos corpos de provas cilíndricos 10cm x 20cm, utiliza-se a seguinte fórmula:</p> $V = \pi * r^2 * h = \pi * 5^2 * 20$ $V = 1570,796 \text{ cm}^3$ <p>Na NBR 9781 (2013), este cálculo corresponde em evidenciar o quantitativo de material a ser aplicado no traço, por isso a sua importância. Após 24 horas, os cilindros foram adicionados em um tanque com água e esperado o tempo de cura.</p>	 <p>(a) CP Cilíndrico</p>  <p>(b) CP Moldados</p>
RETANGULAR 15cm de altura 15cm de largura 50cm de compr.	FADIGA (ABRASÃO)	<p>Para o CP retangular foi empregado uma forma de madeira e aguardado o tempo de cura referente há 28 dias. Para o cálculo da forma retangular de 15cm x 15 cm x 50cm utiliza-se a fórmula:</p> $V = h * L * C = 15 * 15 * 50$ $V = 1125,0 \text{ cm}^3$ <p>Seguindo a NBR 5738 (2015), para compactação manual dos corpos de prova.</p>	 <p>(c) Caixote de Madeira</p>  <p>(d) CP Moldado</p>

Fonte: Autores (2023).

A restrição de diferença entre os tipos de moldes, requer a atenção no equipamento a ser manuseado para o resultado do ensaio, então devido a isso, escolheu o molde cilíndrico para o ensaio de compressão, visto que ele apresenta uma carga pontual a ser aplicada em toda a sua superfície, uma vez que a superfície retangular não conseguiria tal desempenho de contato. Porém, no teste de fadiga, como o contato corresponde a uma extensão superior para a ocorrência do teste, o molde cilíndrico fica inviável, tornando possível realizar o teste apenas nesse retangular.


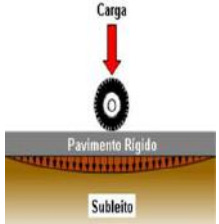

3. Resultados e Discussão

De acordo com a DNER (2017), afirma que o pavimento por ser uma superestrutura que possui um sistema de camadas com espessuras finitas, feitas do processo de terraplanagem, com o objetivo de distribuir e resistir forças verticais aplicadas dos veículos, o Glossário de Termos Técnicos Rodoviários define essas camadas como:

- **Base:** Camada dedicada para suporta os esforços verticais dos veículos passando assim para o subleito;
- **Sub-base:** camada que corrige o Subleito e completar à base;
- **Reforço do Subleito:** camada granular tem o objetivo de melhorar a capacidade do suporte de carga do subleito e de reduzir espessura da sub-base;
- **Subleito:** maciço de terra que serve de fundação para o revestimento.

Os tipos de pavimento e suas classificações são apresentados e definidas de forma apropriadas no (Quadro 3), analisando o tipo de pavimento e suas descrições, O (Quadro 3a), mostra os esforços que sofrem o pavimento flexível, já no (Quadro 3b), mostra os esforços que sobre o pavimento rígido, sendo que, no (Quadro 3c) uma breve explicação para o pavimento semirrígido.

Quadro 3 – Tipos de pavimento e suas características, ensaios realizados e descrição para cada tipo.

TIPO DE PAVIMENTO	DESCRIÇÃO	VISUALIZAÇÃO
FLEXÍVEL	O dimensionamento é por tração e flexão por causa dos esforços que os veículos provocam, levando a deformações permanentes. O material usado neste tipo de pavimento é basicamente o CBUQ. Resulta da mistura entre os agregados e o ligante asfáltico (CAP, piche e betume).	 <p>(a) Pavimento Flexível</p>
RÍGIDO	Constituído por placas de concreto, feitos com Cimento Portland, possui uma mistura de agregados, sendo: areia, cimento e água, a estrutura desse pavimento é armada com barras metálicas.	 <p>(b) Pavimento Rígido</p>
SEMIRÍGIDO	Base cimentada e uma sub-base granular, podendo apresentar uma espessura variando de 20 a 50cm.	 <p>(c) Pavimento Semirrígido</p>

Fonte: Adaptado de Bernucci et al (2014).

Diante disso, a aplicação do óleo de girassol, representa em trazer uma modificação na estrutura do pavimento, Bunn (2015) afirma que o óleo de girassol, possui uma qualidade excelente, tem uma grande importância econômica, sem ter a necessidade de máquinas caras para a extração do azeite, fazendo assim que a extração por forma de prensagem seja fácil, Araújo (2018), diz que, além de ser facilmente adaptável a mudanças climáticas, um dos motivos que leva o cultivo extenso no Brasil, possui também maior estabilidade à luz, pois tem maior teor de β -carotenos, conforme pode ser observado no (Quadro 4) a seguir:

Quadro 4 - Propriedades físico-químicas do óleo de Girassol.

Propriedades Físico-Químicas	Óleo de Girassol
Densidade (g/mL) a 20°C	0,918 – 0,923
Ponto de Fusão (°C)	-9
Viscosidade (cSt)	31,6
Poder Calorífico (MJ/kg)	39,575
Ponto de Ignição (°C)	274
Índice de Cetano	37,1
Estabilidade (h)	>10
Índice de Acidez (mg KOH/g)	0,15
Fosfatídeos	1,5
Formação de Sabão (%)	<2
Índice de Peróxidos (meg/kg)	10,7
Índice de Iodo	118 – 145
Índice de Saponificação	188 – 194

Fonte: Lora e Venturini (2012).

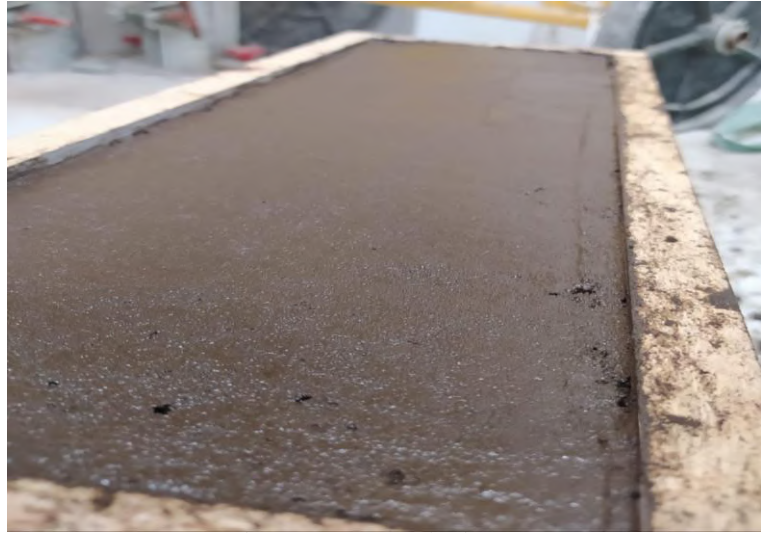
Na Figura 7, observa-se a análise macroestrutural, sendo observada, a montagem do corpo de prova retangular (Figura 7a), onde a mistura foi adicionada aos poucos e com golpes alternados e aleatórios, para que houvesse uma compactação, evitando bolhas de ar.

Após a finalização da compactação, observou-se uma à coloração da mistura (Figura 7b), geralmente o asfalto apresenta uma tonalidade azulada escura ou cinza, mas, a mesma apresentou um tom marrom, ficando com a superfície úmida e uma perspectiva brilhosa, mesmo após diversas compactações do material até a superfície.

Figura 7 - Análise Macroestrutural: Coloração e compactação.



(a) Aplicação da Amostra



(b) Amostra Concluída

Fonte: Autores (2023).

Ciência Viva, (2023), descreve que essa coloração ocorre devido ao tratamento produzido pelas indústrias provenientes das sementes de girassol, elas passam por um processo de limpeza, secagem, são descascadas, trituradas e a base de solvente é extraído o óleo. Após esse processo o óleo passa pela refinação, sendo a desgomagem, desodorização e branqueamento.

O corpo de prova retangular foi desenformado após 35 dias, foi encontrado uma espécie de fungo na parte inferior do protótipo do pavimento (Figura 8), acredita-se que pode ter sido causado pelo material da forma que é de madeira ou como Freitas (2014), pelo fato do óleo vegetal compor a mistura do ligante, uma vez que estes compostos de alta importância para a humanidade possui fontes antioxidantes naturais, além de estar entre os principais componentes alimentícios.

Figura 8 – Análise Macroestrutural: Aparência.

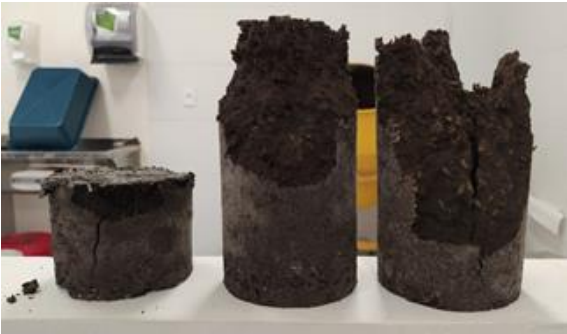


Fonte: Autores (2023).

Na norma do DNIT 136 (2018), a resistência do pavimento é medida com o rompimento do protótipo cilíndrico (Figura 9), os ensaios foram realizados com 28 dias após o tempo de cura. De acordo com a mesma norma o procedimento precisa ser repetido no mínimo 3 vezes, justamente para estabelecer um parâmetro comparativo final.

A partir das informações obtidas desde ensaio, foram desenvolvidos gráficos com ajuda do Excel, levando em considerações as seguintes informações: Tempo (s - segundo) e Força (Kgf - Quilograma-força), transformando essa força para (N- Newton) e obtendo assim a resistência em (Mpa - Mega Pascal), conforme a fórmula da resistência (Fórmula 1):

Figura 9 - Corpos de Prova Rompidos



Fórmula 1 – Fórmula utilizada para transformação da forma N, para Mpa

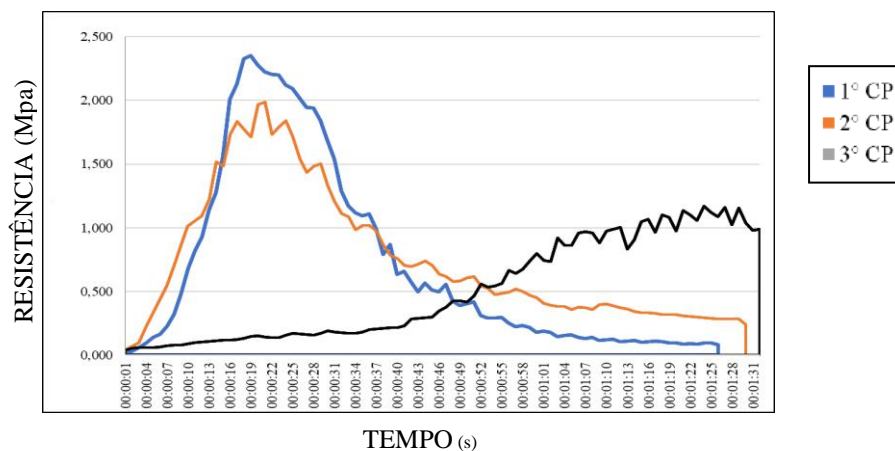
$$\text{Resistência} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} = \frac{\text{Força}}{\pi * 50^2}$$

Fonte: Autores (2023).

O ensaio consiste em posicionar o CP na posição horizontal, de forma que a prensa coloque uma força constante sobre a área de contato do corpo de prova (CP). Neste ensaio o tempo teve variação de 0 a 90s antes do seu rompimento. Para uma visualização mais eficiente, os rompimentos foram gravados com intuito de analisar a variação de carga aplicada e determinar a resistência. Primeiramente, a realização dos ensaios com os 3 corpos de prova, observa-se (Figura 10), que eles apresentam, exatamente três condições para o crescimento e decaimento da resistência. Optou-se em descartar o que contradiz aos demais, então o corpo de prova n° 3 apresentou uma grande diferença entre os demais, sendo assim, foi desconsiderado da análise.

Observando a (Figura 10), por uma outra perspectiva, ele apresenta aumentos de resistência até chegar no ápice e depois decaí, esse tipo de comportamento corresponde ao de um pavimento rígido, visto que o pavimento flexível apresenta deformações e depois volta ao seu estado inicial, onde o representativo seria ápices em diversos posicionamentos de tempo, diferente do gráfico da Figura 10, cujo valor do seu ápice corresponde a apenas 1 valor, o de 2,35 Mpa (Mega Pascal).

Figura 10 – Grafico representado o ensaio a resistencia nos corpos de prova



Fonte: Autores (2023).

Realizando, o devido comparativo entre as resistências do corpo de prova n° 1 e n° 2, pode-se observar (Quadro 5), que a diferença entre as resistências foi próxima, apenas 2 segundos, tornando possível este pavimento chegar ao máximo entre os valores, ou seja, 2,35 Mpa (Mega Pascal), apresentando um valor específico de força de 1848 kgf (Quilograma-força),

representado por uma estimativa favorável para a aplicação em pavimentos, uma vez que a capacidade admissível para execução seja de 500 kgf (Quilograma-força).

Quadro 5 - Resistência do Pavimento, comparativo entre o corpo de prova 1 e 2.

Corpo de Prova	Tempo (s)	Resistência (MPa)
Nº 1	19	2,35
Nº 2	21	1,98

Fonte: Autores (2023).

O Manual de Pavimento Rígidos do DNIT (2005), ressalta que valores muito baixos de resistência a tração, como por exemplo 4,0 Mpa (Mega Pascal), cerca de 40Kgf/cm² (Quilo grama força, por centímetro quadrado), corresponde a concreto de baixa impermeabilidade, durabilidade inadequada e requer, uma espessura de placa bem elevada, por outro lado os mais altos, como o 5,0 Mpa (Mega Pascal), cerca de 50kgf/cm² (Quilo grama força, por centímetro quadrado), são concretos de maior impermeabilidade, durabilidade adequada e menor espessura de placa, em contrapartida, o controle tecnológico é mais rigoroso e tem um custo inicial mais elevado.

Di Benedetto et al, (2004), afirma que as misturas asfálticas que fazem parte da estrutura dos pavimentos são submetidas, em um curto intervalo de tempo, a carregamentos resultantes dos veículos que trafegam sobre eles. Este carregamento faz com que inicialmente ocorram microfissuras na base dos revestimentos asfálticos resultando, assim, na perda da rigidez do material, e o acúmulo destas microfissuras acaba gerando o fenômeno de fadiga.



A ASTM E206-72 (1979), define fadiga como o processo de mudança estrutural permanente, progressiva e localizada que ocorre em um ponto do material sujeito a tensões e deformações variáveis, produzindo fissuras que podem levar à ruptura após um determinado número de ciclos. Porém, deve-se levar em consideração que o estado de ruptura por fadiga somente irá ocorrer quando os danos atingirem a um nível crítico, o que pode não acontecer dentro do período da vida útil da estrutura do pavimento.

Com nas informações, os autores explicam o mecanismo de fadiga relacionado à passagem dos eixos sobre o pavimento. Ou seja, a fadiga, dessa forma, é resultado das constantes deformações de tração sofridas pelo revestimento asfáltico, e evolui no tempo de acordo com a sequência de carregamentos aplicados.

Para este tipo de ensaio, a utilização de um equipamento automotor para criar o atrito entre o pavimento e o pneu, com o intuito de mostrar o devido desgaste. Com isso, a aplicação de uma moto foi suficiente para verificar a fadiga do protótipo retangular, o pavimento foi posicionado do lado de fora do laboratório, e para se ter um controle da quantidade de voltas, foi feito uma marca na cor branca no pneu, a fim de verificar a quantidade de voltas realizadas. Para tal teste, utilizou-se 3 modelos de motos diferentes (Quadro 6), uma Bis (Quadro 6a), uma Yamaha (Quadro 6b) e uma Honda CG 150 (Quadro 6c).

Ressalto, que os desgastes foram diferentes, justamente por conta de cada cilindrada, o tempo decorrente para cada moto, foi diferente, pois o as motos estavam sem apoio, sendo que, esse procedimento ocorreu em uma via pública, já que o laboratório da Faculdade não dispunha da máquina para devido teste.

Quadro 6 – Descrição do teste, modelo das motos e visualização de cada moto.

Modelo da moto	Descrição do teste	Visualização
Bis	A moto foi ligada para se ter movimento do pneu, em contato direto com o asfalto, de modo que pudesse obter uma reação conforme o passar do tempo. Observou-se que houve um leve desgaste após o pneu ter entrado em atrito com o pavimento durante o tempo de 1:30 minutos, sendo possível obter-se um total de aproximadamente 238 voltas.	
Yamaha	Realizou-se o mesmo teste com a 2ª moto. Esse durou uma média de 18 segundos, nesse tempo, teve-se 64 voltas no total, sendo aproximadamente 3 a 4 voltas por segundo. Observa-se, que com uma moto de potência maior, o desgaste no asfalto foi maior, apesar de ser superficial.	
Honda CG 150	Em uma terceira tentativa usou-se uma terceira moto com o tempo de 57 segundos, o que foi equivalente a 117 voltas no total. Obteve-se um desgaste mínimo no pavimento.	

Fonte: Autores (2023).

Independente do motor da moto, todas as três tentativas levaram ao desgaste do pavimento (Figura 11), porém de forma superficial, impossibilitando a medição da espessura do desgaste, proporcionando assim uma dependência de mais tempo para a realização deste ensaio.

Figura 11 – Desgaste do pavimento, após os testes realizados.



Fonte: Autores (2023).

4. Conclusão

A seguir, são apresentadas as conclusões obtidas nesta pesquisa após a análise experimental, para assim evidenciar uma ideia sobre a sustentabilidade, implementando assim o óleo de girassol ao pavimento. No fim desta, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

Conclusões

O óleo de girassol pode melhorar as propriedades físicas e químicas do asfalto, reduzir as emissões de CO₂ e reduzir os custos de manutenção e reparação a longo prazo, sendo assim um ponto positivo para o lado da sustentabilidade. Em vista disso, o uso do óleo de girassol pode ser uma alternativa promissora e sustentável para a pavimentação de estradas. Aqui vale ressaltar também o uso de juntas de dilatação, para evitar a presença de deformação na superfície.

Levando em consideração os pontos positivos e os negativos, ambos apresentam vantagens significativas e se adequam a finalidades distintas. Na busca por eficiência, a construção civil tem procurado soluções inteligentes, a exemplo o olho de girassol empregado na pavimentação asfáltica.

Este estudo evidencia a importância da tecnologia na construção civil, com base na sustentabilidade, proporcionando trabalhos futuros, com a análise e comparação entre o pavimento rígido convencional e um pavimento com rígido com aditivos. Além disso, sugere comparação entre patologias apresentadas na pavimentação em relação ao óleo de girassol utilizado.

Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, recomenda-se:

1. Realizar um comparativo com um pavimento rígido, com o intuito de confirmar a devida adaptação deste pavimento, e evidenciando a sua perspectiva de resistência final;
2. Propor uma modificação no estudo através de aspectos tecnológicos, posicionando alternativas mais promissoras para a era da inovação, como por exemplo sensores de movimento ou redes de internet ou placas solares, etc.

Agradecimentos

Ao Professor Sávio Torres, a Prof^a Rebeka Lobo e a Prof^a Daniella Rodrigues. A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração pelo fornecimento de laboratórios que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

Referências

- Araújo, M. A. (2016) Análise comparativa de métodos de pavimentação – pavimento rígido (concreto) X flexível (asfalto). Núcleo do conhecimento. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/metodos-de-pavimentacao>.
- ABNT. (2015). NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. (2. ed.) 2015. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). <http://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/NBR-5738-CONCRETO-PROCEDIMENTO-PARA-MODELAGEM-E-CURA.pdf>.
- ABNT. (2005). NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. (2. ed.) 2005. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/nbr-07211-2005-agregados-paraconcreto-especificacao.pdf>.
- ABNT, (2013). NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificações. (2. ed.). 2005. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). <http://salvadorpremolados.com.br/wp-content/uploads/2016/04/NORMA-ABNT-NBR-9781-PISOS.pdf>.
- Carvalho, J. R. (2018). Estudo das propriedades mecânicas de misturas asfálticas contendo ligante asfáltico com adição de óleo de girassol. https://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Infraestrutura/Ligantes%20e%20Misturas%20Asfálticas%20IV/3_666_AC.pdf.
- DNIT. (2004). NORMA DNIT 054/2004 - PRO: Pavimento rígido – Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais – Procedimento, 2004. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ivr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit_054_2004_pro.pdf.

- DNIT. (2018). NORMA DNIT 136/2018 – ME: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_136_2018_me-1.pdf
- DNIT. (2020). Relação de normas vigentes e normas substituídas. https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/normas_e_manuais_vigentes_x_substituidos_-_site_ipr-revisado-20-08-2020.pdf
- Masterplate. (2023). Diferença entre pavimento rígido e flexível. Master plate. <https://masterplate.com.br/diferenca-entre-pavimento-rigido-e-flexivel/>.
- Estadão. (2023). Diferenças entre pavimento de concreto e asfáltico. Estadão. <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/diferencas-entre-pavimento-de-concreto-e-asfaltico/>
- Maq Blocos. (2023). Formas Laboratoriais. Maq Blocos. <https://www.maqblocos.com.br/produtos/corpo-de-prova-10x20-15x30-05x10/349>
- Luz, A. B. (2012). Uso e especificações. Manual de Agregados para Construção Civil, (2ª Ed.). CETEM. <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2049/1/Cap%206%20Usos%20e%20Especificaca%C3%A7%C3%B5es.pdf>
- Petrobrás. (2019). Manual do asfalto. Petrobras. <https://petrobras.com.br/data/files/10/83/B4/2C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/manual-de-asfalto.pdf>
- Petrobrás. (2021). Manual do asfalto. <https://petrobras.com.br/data/files/5F/27/65/FF/004ED7105FC7BCD7E9E99EA8/Manual%20de%20Asfaltos%202021.pdf>.
- Nunes, A. T. R. (2021). Avaliação de óleo de girassol como aditivo de MAM visando a incorporação de elevadas quantidades de material fresado. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/23729?show=full>.
- LinkedIn. (2022). O que é concreto asfáltico? E quais seus diferenciais para a infraestrutura urbana? <https://www.linkedin.com/pulse/o-que-%C3%A9-concreto-asf%C3%A1ltico-e-quais-seus-diferenciais-para-/>
- Blog Splabor. (2017). O que é uma Tamis ou peneira para granulometria? Blog Splabor. <https://www.splabor.com.br/blog/peneiras/peneiras-granulometricas-ideal-para-a-medicao-do-tamanho-de-particulas/>
- Transporte de Graneis. (2023). Tabela de conversão de Mesh. http://www.transportedegraneis.ufba.br/arquivos/tabela_mesh.pdf
- DNIT. (2005). Manual de Pavimentos Rígidos. https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf
- DNIT. (2018). NORMA DNIT 178/2018 – PRO: Pavimentação asfáltica - Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos usando o compactador giratório Superpave ou o Marshall – Procedimento. https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_178_2018_PRO1.pdf
- Bernucc, B. (2022). Pavimentação asfáltica - Formação básica para engenheiros – (2ª Ed.). <https://triunfotransbrasiliana.com.br/wp-content/uploads/2022/07/PA-Completo-2022.pdf>
- LinkedIn. (2022). Quais os tipos de pavimentação? <https://pt.linkedin.com/pulse/quais-os-tipos-de-pavimenta%C3%A7%C3%A3o-autem-engenharia>.
- Livro Grátis. (2007) método de dimensionamento mecanístico-empírico de Pavimentos asfálticos – SISPAV. <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-43802/metodo-de-dimensionamento-mecanistico-empirico-de-pavimentos-asfaltico--sispav>