



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**INTERFERÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE CANOLA NA  
TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO E USINAGEM DE  
MISTURAS ASFÁLTICAS**

**ANDERSON DINIZ SABINO**

Orientador: Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena  
Coorientador(a): MSc. Thamires Dantas Guerra

Campina Grande-PB, 02 de Março de 2020

**ANDERSON DINIZ SABINO**

**INTERFERÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE CANOLA NA  
TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO E USINAGEM DE  
MISTURAS ASFÁLTICAS**

*Esse relato, vem por finalidade de Trabalho de conclusão de curso, realizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.*

Orientador: Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena

Coorientadora: MSc. Thamires Dantas Guerra

Campina Grande-PB, 02 de Março de 2020

ANDERSON DINIZ SABINO

INTERFERÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE CANOLA NA TEMPERATURA DE  
COMPACTAÇÃO E USINAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

*Esse relato, vem por finalidade de  
Trabalho de conclusão de curso, realizado na  
Universidade Federal de Campina Grande  
(UFCG) como requisito para obtenção do grau  
de bacharel em Engenharia Civil.*

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: / 03 / 2020

**BANCA EXAMINADORA**

(Assinatura): \_\_\_\_\_

Prof<sup>o</sup>. Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena (Orientador)  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

(Assinatura): \_\_\_\_\_

MSc. Thamires Dantas Guerra (Coorientadora)  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

(Assinatura): \_\_\_\_\_

Prof<sup>a</sup>. Dra. Lêda Christiane de Figueiredo Lopes Lucena (Examinador Interno) Universidade  
Federal de Campina Grande – UFCG

(Assinatura): \_\_\_\_\_

Flávia do Socorro de Sousa Carvalho (Examinador Externo)  
Engenheira Civil

## DEDICATÓRIA

*A Deus, meus pais, André Luiz e  
Elisângela, e meu irmão, Isac André, por todo  
apoio e confiança.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por toda proteção, saúde e toda força para seguir diante dessa trajetória.

A meus pais, André Luiz e Elisângela Barros, meu amado irmão, Isac André, por todo apoio, fé, amor e confiança, garantindo sempre uma base e incentivo diante toda vida, fornecendo conhecimentos para seguir em frente, o homem que sou hoje é apenas graças a vocês, nada seria possível sem as vossas companhias.

In memori a meu avô Luiz Sabino, por sua depositar minha confiança em meus estudos. A meus Padrinhos Renato e Romero Sabino, a tio Edinho, minha enorme gratidão.

A meus companheiros Agleyson Fernandes, Kelvin VanDick, Tiago Vinícius que me acompanharam nessa jornada.

A meus amigos, Arliston José, Ramon Moratto, Julio Emanuel, Jefferson Rennan, Yuri Cleiton, Matheus Neves, Tiago Lameque, Erick Daniel, Igor Nogueira, Carlos Lacerda, Matheus Grismino, Matheus Barbosa e Rayane Pessoa por sempre me darem toda motivação e apoio sempre em cada passo à frente e situações enfrentadas, a Hellen Lima por toda motivação e apoio diante essa jornada, a Iasmin Leite por todo carinho e confiança depositada. Aqueles amigos que além disso tudo, me auxiliaram na execução desse relato, Getúlio, Thercyo Augusto, Helton Barboza e Manuel de Farias.

Meus companheiros de estágio, Jeyze, Leonardo e Dannylo, pelos momentos nesse final de graduação.

A eterna gratidão a equipe do LEP, em destaque a Jadilson, “Ildinho”, Arthur, “Alemão” e Priscila, sem o auxílio dos mesmos esse trabalho não poderia ser executado.

Ao professor Dr. Adriano Elísio Lucena, por todo seu conhecimento compartilhado, despertando-me o interesse em geotecnia, assim como a coorientadora Msc. Thamires Guerra por todas suas orientações, atenção, auxílio e dedicação para execução deste relato.

A todos que diretamente ou indiretamente participaram dessa jornada.

*A todos, minha eterna gratidão*

## EPÍGRAFE

*“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais  
voltará a seu tamanho original” (Oliver  
Wendell Holmes Jr.)*

## RESUMO

Visto que o transporte de cargas nacional é de grande dependência da malha rodoviária e que sua grande maioria está em condições ruins, existe uma necessidade de tecnologias que melhorem a qualidade e o custo das misturas asfálticas visando sua aplicação e manutenção, aliado a isso redução de poluentes e gasto energético durante o processo de compactação e usinagem. Dentro desse cenário, as misturas asfálticas mornas (MAMs) que se caracterizam por possuírem temperatura de fabricação entre 105 e 135°C e vem ganhando destaque no estudo de misturas asfálticas sendo motivo de estudo. Este trabalho de pesquisa é centrado na adição do teor de 1% do óleo de canola ao CAP puro e seus efeitos em temperaturas de compactação e usinagens mais baixas que a encontrada pelo ensaio de viscosidade rotacional (redução de 10°C e 20°C). Aplicando-se a metodologia de caracterização dos agregados, CAP e mistura de CAP puro com 1% do óleo de canola. A partir dos resultados foi possível concluir que o óleo de canola se torna promissor como aditivo para misturas asfálticas mornas para a redução da temperatura de compactação e usinagem, mantendo suas propriedades dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos competentes. Pode-se afirmar assim que, a adição do óleo implica diretamente na redução de gastos energéticos em sua produção e dos efeitos poluentes ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** CAP. Óleo de Canola. Propriedades Mecânicas. Temperatura.

## ABSTRACT

Since national cargo transportation is highly dependent on the road network and the vast majority are in poor condition, there is a need for technologies that improve the quality and cost of asphalt mixtures for their application and maintenance, coupled with this reduction of pollutants and energy expenditure during the compaction and machining process. Within this study, the warm asphalt mixtures (MAMs) that are characterized by having a manufacturing temperature between 105 and 135 ° C and have been gaining prominence in the scenario of asphalt mixtures being the subject of study. This research work focuses on adding the content of 1% of canola oil to pure CAP and its effects on compaction temperatures and machining lower than that found by the rotational viscosity test (reduction of 10 ° C and 20 ° C) . Applying the methodology of characterization of aggregates, CAP and mixture of pure CAP with 1% of canola oil. From the results, it was possible to conclude that canola oil becomes promising as an additive for warm asphalt mixtures to reduce the temperature of compaction and machining, keeping its properties within the limits established by the competent bodies. It can be said that adding oil directly reduces energy costs in its production and the pollutant effects on the environment.

**Key words:** CAP. Canola Oil. Mechanical Properties. Temperature.



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Valores de densidade dos diferentes óleos vegetais à temperatura ambiente ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ) -----	24
<b>Tabela 2-</b> Valores de viscosidade medidos para os diferentes óleos vegetais em função da temperatura-----	24
<b>Tabela 3-</b> Caracterização do CAP-----	30
<b>Tabela 4-</b> Tabela de Normas adotadas -----	32
<b>Tabela 5-</b> Quantidade passante acumulada por peneira (%) -----	32
<b>Tabela 6-</b> Massa específica e absorção dos agregados-----	33
<b>Tabela 7-</b> Equivalente areia -----	33
<b>Tabela 8-</b> Normas para caracterização do ligante-----	34
<b>Tabela 9-</b> Porcentagem de Agregados-----	35
<b>Tabela 10-</b> Parâmetros para o Teor de 5% de CAP -----	36
<b>Tabela 11-</b> Parâmetros para teores de CAP estimados-----	37
<b>Tabela 12-</b> Parâmetros - teor de 5,2% -----	38
<b>Tabela 13-</b> Ensaio Mecânicos -----	38
<b>Tabela 14-</b> Penetração Retida-----	40
<b>Tabela 15-</b> Resultados - viscosidade rotacional-----	41
<b>Tabela 16-</b> Temperaturas de compactação e usinagem -----	42

## LISTA DE IMAGENS

<b>Figura 1-</b> Flocos de Sasobit .....	23
<b>Figura 2-</b> Canola cultivada .....	25
<b>Figura 3-</b> Localização da cidade de Areia-PB .....	26
<b>Figura 4-</b> Curva Granulométrica .....	33
<b>Figura 5-</b> Curva Superior - SUPERPAVE .....	35
<b>Figura 6-</b> Curva Intermediária - SUPERPAVE.....	36
<b>Figura 7-</b> Curva Inferior - SUPERPAVE .....	36
<b>Figura 8-</b> Estimação de Teor de 5,2% de CAP.....	37
<b>Figura 9-</b> Gráfico e resultados - Penetração .....	39
<b>Figura 10-</b> Gráfico e Resultados - Amolecimento.....	40
<b>Figura 11-</b> Curva Temperatura-Viscosidade CAP-Puro.....	41
<b>Figura 12-</b> Curva Temperatura-Viscosidade (CAP+1% de óleo) .....	42
<b>Figura 13-</b> Ensaio-RTFOT .....	43
<b>Figura 14-</b> Resultados - RT .....	43
<b>Figura 15-</b> Resultados – RRT.....	44
<b>Figura 16-</b> Resultados-MR-NBR.....	45
<b>Figura 17-</b> Resultados-Estabilidade Marshall .....	46
<b>Figura 18-</b> Resultados Fluência.....	46

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>ABEDA</b>	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AEMA</b>	Asphalt Emulsion Manufacturers Association
<b>ANP</b>	Agência nacional de petróleo
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>CAP</b>	Cimento Asfáltico de Petróleo
<b>CNT</b>	Confederação Nacional do Transporte
<b>COV</b>	Compostos Orgânicos Voláteis
<b>CP</b>	Corpo de Prova
<b>DAER</b>	Departamento autônomo de estradas e rodagem
<b>DNER</b>	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
<b>DNIT</b>	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
<b>FHWA</b>	Federal Highway Administration
<b>G<sub>mm</sub></b>	Densidade máxima da mistura solta
<b>HMA</b>	Hot mix asphalt
<b>HPA</b>	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
<b>HWMA</b>	Half - warm mix asphalt
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de geografia e estatística
<b>IST</b>	Índice de suscetibilidade térmica
<b>LEP/UFCG</b>	Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Universidade Federal de Campina Grande
<b>MA</b>	Mistura Asfáltica
<b>MAMs</b>	Misturas Asfálticas Mornas

<b>MAQs</b>	Misturas Asfálticas Quentes
<b>MASM</b>	Misturas Asfálticas semi-quentes
<b>MR</b>	Módulo de Resiliência
<b>NBR</b>	Norma Brasileira Regulamentadora
<b>Nprojeto</b>	Número de Giros de Projeto
<b>P</b>	Penetração a 25° C
<b>PA</b>	Ponto de Amolecimento do CAP
<b>PB</b>	Paraíba
<b>RRT</b>	Resistência Retida à Tração
<b>RT</b>	Resistência à Tração por Compressão Diametral
<b>RTFOT</b>	Rolling Thin Film Oven Test
<b>SINICESP</b>	Sindicato da Indústria da Construção Pesada do estado de SP
<b>SUPERPAVE</b>	Superior Performing Pavements
<b>UFC</b>	Universidade Federal do Ceará
<b>UFCG</b>	Universidade Federal de Campina Grande
<b>USA</b>	United States of America
<b>USDA</b>	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
<b>Vv</b>	Volume de Vazios
<b>WMA</b>	Warm Mix Asphalt

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE IMAGENS .....	10
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	11
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>16</b>
1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo Geral .....	18
1.2.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>19</b>
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	19
2.1 MISTURAS ASFÁLTICAS.....	19
2.2 MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS.....	20
2.2.2 Vantagens e desvantagens das MAMs .....	22
2.2.3 Aditivos orgânicos nas MAMs .....	23
2.2.4 Precaução no manuseio das MAMs.....	24
2.3 CANOLA .....	25
2.3.1 Canola na Paraíba .....	26
2.3.2 Óleos vegetais.....	27
2.3.3 Óleo de canola .....	27

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	27
--------------------------------	----

## **CAPÍTULO 3.....29**

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS .....	29
-------------------------------	----

3.1.1 Escolha de Teor de óleo de Canola.....	29
--	----

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS .....	30
--------------------------------	----

3.2.1 Ligante Asfáltico.....	30
------------------------------	----

3.2.2 Agregado Graúdo.....	30
----------------------------	----

3.2.3 Agregado Miúdo .....	31
----------------------------	----

3.2.4 Fíler.....	31
------------------	----

3.2.5 Óleo de canola .....	31
----------------------------	----

3.2.6 Mistura de CAP e Óleo de Canola.....	31
--	----

3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS MATERIAIS.....	31
---	----

3.3.1 Agregados.....	31
----------------------	----

3.3.1.1 Análise granulométrica dos agregados por peneiramento.....	32
--	----

3.3.1.2 Massa específica e Absorção .....	33
---	----

3.3.1.3 Equivalente areia .....	33
---------------------------------	----

3.3.1.4 Abrasão “Los Angeles” .....	34
-------------------------------------	----

3.3.2 Mistura do CAP + 1% de óleo de canola .....	34
---	----

3.3.3 Dosagem SUPERPAVE .....	34
-------------------------------	----

3.3.4 Propriedades Mecânicas das Misturas Asfálticas.....	38
---	----

## **CAPÍTULO 4.....39**

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
----------------------------------	----

4.1 Caracterização do ligante asfáltico .....	39
---	----

4.1.1 Ensaio de Penetração .....	39
----------------------------------	----

4.1.2 Ensaio de Ponto de Amolecimento.....	40
4.1.3 Ensaio de Viscosidade Rotacional.....	41
4.1.4 Ensaio de RTFOT .....	42
4.2 Caracterização mecânica da mistura.....	43
4.2.1 Resistência à Tração por compressão diametral (RT) .....	43
4.2.2 Dano por umidade induzida – Lottman Modificado .....	44
4.2.3 Módulo de resiliência .....	45
4.2.4 Estabilidade Marshall e Fluência.....	46
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>48</b>
5 CONCLUSÕES .....	48
Caracterização do Ligante .....	48
Caracterização mecânica .....	48
Análise Geral .....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

# ***CAPÍTULO 1***

---

## **1 INTRODUÇÃO**

O transporte de cargas em território brasileiro é dependente em sua grande maioria da malha rodoviária, movimentando cerca de 61% do transporte de cargas nacionais, o que reflete diretamente na economia nacional. Mesmo com tamanha importância do sistema de pavimentos, o desempenho das rodovias brasileiras ainda deixa a desejar, ao se comparar aos Estados Unidos, que possui uma necessidade menor de sistema rodoviário (em torno de 26%), o Brasil apresenta uma emissão de monóxido de carbono na produção de pavimentos bem maior e qualidade das suas vias com uma classificação ruim. Dentre os fatores que interferem no fraco desempenho das rodovias brasileiras, a falta de infraestrutura em termos de extensão e qualidade, se encontra em destaque (CNT, 2017).

Entre toda a malha rodoviária nacional, cerca de 59% dos pavimentos se classifica como “deficiente”, “ruim” ou “péssima”, onde a região norte é a que mais sofre com má qualidade de suas estradas, comprometendo o desenvolvimento da região (CNT, 2019). Com isso é possível observar a necessidade de se aplicar o estudo de tecnologias que amplifiquem a qualidade dos pavimentos, assim como formas de baratear sua aplicação e posteriores manutenções.

As misturas asfálticas se diferem de outros materiais pela viscoelasticidade do ligante asfáltico, diretamente afetado pela temperatura e indicando uma viscosidade ótima ao qual a mistura compactada não sofra escorregamento pela ação dos rolos compactadores e seja obtido um volume de vazios projetado (BERNUCCI *et.al*, 2010).

A fabricação a quente de misturas asfálticas atinge uma temperatura entre 150°C e 170°C, entretanto vem-se buscando a redução dessa temperatura devido aos impactos ambientais causados pela emissão de dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>), dióxido sulfúrico (SO<sup>2</sup>), compostos orgânicos voláteis (COVs), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), o que levou ao surgimento de Misturas Asfálticas Mornas (MAM's). As MAMs possuem uma temperatura de usinagem e aplicação amenas, possuindo em resposta a redução de poluição emitida e gastos em energia de fabricação (SINICESP, 2013).



Dentre inúmeros possíveis aditivos utilizados para fabricação dos MAM's, o objeto de estudo desta pesquisa se dá pelo uso do óleo de canola, extraído da crucífera *Brassica napus* (USDA, 2016) se caracteriza por uma viscosidade de 73,1 mPas.s a 20°C e uma massa específica de 0,878 g/cm<sup>3</sup> a 25°C (BROCK et al, 2007). Sua produção em cenário mundial abrange uma fatia de 14% do mercado, ficando atrás do campeão óleo de soja (USDA, 2016). Seu maior campo consumidor se retrata na Europa motivada pela busca crescente pela alimentação saudável, enquanto que no Brasil existe uma queda de consumo devido mitos errôneos de que ela é transgênica e assim prejudicial à saúde.

Esta pesquisa objetivou, estudar os impactos desse aditivo na temperatura de compactação e usinagem de misturas asfálticas mornas (MAMs) modificadas com óleo de canola.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com o decorrer dos anos é destacável o crescimento com a preocupação referente aos impactos ambientais da produção de misturas asfálticas, assim como a otimização do custo-benefício dos pavimentos flexíveis usuais, logo uma das formas de se obter essas otimizações é a partir da adição de óleos vegetais a esses ligantes. Todavia, o teor desse aditivo aplicado impacta diretamente a consistência dos ligantes em temperatura ambiente, podendo agir na redução de sua qualidade (LUCENA *et al.*, 2016).

Dentre inúmeros aditivos, um que pode vir a se destacar como aditivo orgânico em misturas asfálticas é o óleo de canola. Sendo ele derivado da canola, está entre os três maiores cultivos no ranking mundial, assim apresentam uma crescente aparição no cenário brasileiro de agricultura, em principal no sul do país devido seu clima mais frio, se comparando a regiões europeias (BARBOSA *et al.*, 2008).

Como o óleo de canola é facilmente produzido e vem crescendo ao longo dos anos, assim como nosso país requer de inovações na aplicação e manutenções de misturas asfálticas frequentes em todo território, esse trabalho tem por finalidade realizar um estudo para a aplicação do óleo de canola em ligantes asfálticos. Onde a mistura foi analisada com um dado teor do óleo vegetal em questão, unido ao cimento asfáltico de petróleo (CAP) em temperaturas mornas.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Analisar as propriedades físicas e mecânicas adquiridas pela mistura asfáltica morna na temperatura de usinagem e compactação, após adição de um teor específico de óleo de canola.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Estudar o comportamento do acréscimo de um específico teor de óleo canola equivalente a 1%;
- Analisar o comportamento da mistura de CAP+1% de óleo de canola, em temperatura obtida por ensaio de viscosidade rotacional e reduzida em 10°C e 20°C;

## ***CAPÍTULO 2***

---

### **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **2.1 MISTURAS ASFÁLTICAS**

Os pavimentos destinam-se a resistir a esforços originários do tráfego rodoviário, mantendo critérios de conforto e segurança a seus usuários. Sendo assim, constituída de quatro camadas básicas: subleito, sub-base, base e o revestimento asfáltico, sendo variáveis em resposta do tipo de tráfego local.

Pode-se descrever por asfalto, como um ligante gerado por meio da destilação do petróleo, susceptível a velocidade, tempo, intensidade e temperatura. Dentre suas propriedades, é destacável a baixa permeabilidade e ainda pouco reativa, o que impede que esse material sofra envelhecimento por oxidação ao contato com água, ou simplesmente com o ar (BERNUCCI *et al.*, 2008). A classificação das MAs se dá de acordo com sua temperatura de fabricação, sendo elas: Misturas frias, misturas asfálticas semimornas (MASM), mornas (MAM) e quentes (MAQ).

A fabricação das misturas frias, ocorre em temperatura ambiente, variando entre 20 a 50°C, com emulsões ou asfalto diluído, desprezando o aquecimento de seus agregados, contudo apresenta queda de resistência. (CARVALHO, 2018). A grande vantagem está na capacidade de estocagens e possibilidade de acabamentos manuais, sendo assim uma metodologia comum nos centros urbanos, em remendos e tapa buracos de vias (ABEDA, 2010). As misturas quentes ultrapassam os 150°C e atingem elevados níveis de resistência e durabilidade, possuindo assim um custo de produção mais elevado.

Em intermédio a isso, as temperaturas das misturas mornas variam entre 100 e 150°C, o que altera seu processo de usinagem, e por necessitarem de uma fonte de energia mais débil, consomem menos combustível e conseqüentemente um menor custo, ao confrontar com as MAQs (CARVALHO, 2018).

## 2.2 MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS

De acordo com Nodebeck e Timm (2013) os requisitos primordiais, ao que se referem a um pavimento sustentável, é a otimização de recursos naturais e gasto energético, redução de resíduos poluentes mantendo as características de conforto e durabilidade, foi então pelo continente europeu e USA que pesquisas visando reduzir a temperatura de usinagem tiveram seu estopim e vem crescendo cada vez mais.

As warm mix asphalt ou misturas asfálticas mornas técnicas que modificam a atuação do cimento asfáltico de petróleo (CAP), e permitem a redução de temperatura para fabricação. Como pioneiros dessa tecnologia, destaca-se a Alemanha e Noruega, buscando reduzir a emissão de gases nocivos a atmosfera pelo protocolo de Kyoto, discutido nas Nações Unidas em 1992 (NASCIMENTO et al., 2008; CROTEAU e TESSIER, 2008; NORDEBECK e TIMM, 2013; EAPA, 2014).

Quando se trata de produção de MAMs, existem variadas metodologias de obtenção dessa tecnologia, dentre elas são os mais comuns os aditivos orgânicos, químicos e produção de espuma. Os aditivos orgânicos, que modificam as propriedades reológicas e viscosidade dos compostos em estágios de mistura e compactação. Já os aditivos químicos se baseiam em graxas e tensoativos que não remodelam a viscosidade. A obtenção por produção indireta de espuma no ligante, é gerada pela inclusão de material hidrofílico ou areia úmida na fabricação da massa ou mesmo por processo de espuma asfáltica por mistura do asfalto com água em câmara de expansão (RONCHETTI et al., 2011).

### 2.2.1 Histórico

A cronologia anual de alguns eventos acerca das MAMs até 2015, o Quadro 1 abaixo descreve dessa trajetória, e no Quadro 2 o histórico das misturas mornas estudadas no LEP-UFCG:

**Quadro 1:** Histórico do uso de misturas asfálticas

ANO	EVENTO
1956	O professor Csanvi, da Universidade do Iowa, estuda a utilização da espuma de betume em ligantes para solos (CHOWDHURY e BUTTON, 2008).
1968	A empresa Mobil Oil, na Austrália, incorpora água fria no lugar de vapor de água na produção da espuma de betume (KRISTJANSDOTTIR et al., 2007).
1977	Publicação do manual Bituminous Mix, com informações sobre a metodologia de

	dimensionamento, a formulação e a produção de misturas betuminosas estabilizadas com emulsões (CHOWDHURY e BUTTON, 2008).
1979 e 1981	A Federal Highway Administration (FHWA) e a Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA) publicam manuais sobre o assunto (CHOWDHURY e BUTTON, 2008).
1994	Maccarone et al. (1994) estudam as misturas betuminosas (asfálticas) a frio com betume espuma como ligante, e as misturas betuminosas com elevado conteúdo de emulsão (CHOWDHURY e BUTTON, 2008).
1995	A empresa Shell patenteia uma técnica que utiliza dois componentes, a qual resultaria anos mais tarde no desenvolvimento da tecnologia WAM-Foam (CHOWDHURY e BUTTON, 2008).
1995	Na Alemanha, são executadas as primeiras rodovias com revestimento composto por mistura morna, através da adição de Aspha-Min®, um zeólito sintético. Posteriormente esta tecnologia é aplicada também na Noruega e na Dinamarca (PROWELL e HURLEY, 2007).
1996	A União Europeia inicia estudos no sentido de buscar formas para o cumprimento das metas estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto, e o Ministério do Trabalho e das Relações Sociais alemão determina limites de exposição para os trabalhadores expostos a fumos de asfalto (MOTTA, 2011).
1997	Tem início a comercialização do aditivo Sasobit® na Europa, pela empresa Sasol Wax International AG (BARTHEL et al., 2004).
1999	Jenkins et al. (1999) verificam os benefícios do aquecimento do agregado a temperaturas abaixo de 100°C, antes da aplicação da espuma de asfalto (CHOWDHURY e BUTTON, 2008).
2000	Em uma Conferência Internacional de Pavimentos Asfálticos em Sidney, Austrália, o processo de produção das misturas mornas é apresentado por Harrison e Christodulaki (OTTO, 2009). Ainda neste ano, o desempenho da mistura morna é avaliado através de testes laboratoriais e em campo na Noruega, no Reino Unido e na Holanda, resultando em um artigo elaborado por Koenders et al.(2000);
2006	Um dos primeiros trabalhos a respeito de misturas mornas é publicado no Brasil por Souza Filho (2006), através de dissertação de Mestrado deste autor na Universidade Federal do Ceará (UFC), tendo como título “Produção de Misturas Asfálticas Mornas pela Inserção de Zeólitas”;
2007	Os Estados Unidos enviam à Europa uma equipe de especialistas para avaliação da tecnologia de Misturas Mornas já há algum tempo utilizada naquele continente. Entre estes especialistas, representantes da AASHTO e da FHWA se fizeram presentes.
2009	Otto (2009) realiza estudo para verificar a fadiga e o módulo complexo em misturas asfálticas mornas;
2010	Um estudo com diversos aditivos em misturas asfálticas, inclusive àqueles que possibilitam a redução de temperatura de produção e compactação é realizado por Cavalcanti (2010) que avaliou o efeito destes aditivos na vida de fadiga e na resistência à deformação permanente das misturas asfálticas;
2011	O relatório NCHRP 691 (2011) com o objetivo de apresentar métodos e procedimentos a serem utilizados em misturas mornas é concluído. Com base neste relatório novas pesquisas estão sendo realizadas, de modo a difundir a utilização da redução de temperaturas na produção de misturas asfálticas. Motta (2011) elabora um estudo visando avaliar a diminuição do consumo energético e da emissão de poluentes gerados pela mistura morna em comparação com as misturas produzidas a temperaturas convencionais (elevadas);

2012	Budny (2012) realiza estudo para avaliar o comportamento mecânico das misturas mornas.
2013	Filho (2013) realiza um estudo acerca da influência da redução das temperaturas de usinagem e compactação no comportamento mecânico das misturas asfálticas mornas.
2015	Merighi (2015) realiza um estudo do comportamento de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimento com adição de borracha moída de pneu.
2015	Mocelin (2015), avalia a trabalhabilidade de misturas asfálticas mornas com emprego de aditivo surfactante.
2015	Feitosa (2015) estuda o uso de diferentes tipos de cera de carnaúba como aditivos de misturas mornas.

**Fonte:** Moraes (2018), adaptado por Guerra (2019)

**Quadro 2:** Histórico das pesquisas de misturas asfálticas mornas realizadas no LEP - UFCG

ANO	EVENTO
2015	Sales (2015) avaliar a utilização do aditivo CCBIt nas misturas asfálticas avaliando as suas características físicas e mecânicas.
2016	Silva (2016) realizou estudos reológicos de aditivos utilizados na fabricação de misturas mornas.
2016	Portugal (2016) realizou estudos reológicos de ligantes asfálticos modificados com óleo de milho e de soja
2017	Souza (2017) analisou a utilização da cera de carnaúba na produção de misturas asfálticas mornas
2017	Luz (2017) avaliou o comportamento mecânico de misturas asfálticas com óleo de milho novo e residual para temperaturas de 10°C e 20°C inferiores as obtidas no ensaio de viscosidade rotacional.
2018	Morares (2018) estudou a utilização da cera de carnaúba como aditivo redutor de temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas
2018	Carvalho (2018) estudou o comportamento do asfalto modificado com óleo de girassol visando à obtenção de misturas mornas
2018	Andrade (2018) estudou o comportamento de misturas asfálticas com óleo de girassol com temperaturas de 10°C e 20°C inferiores as obtidas no ensaio de viscosidade rotacional.
2019	Guerra (2019) analisou os efeitos da adição do óleo de canola na temperatura do óleo de canola em misturas asfálticas

**Fonte:** Guerra, 2019

### 2.2.2 Vantagens e desvantagens das MAMs

Pode se dizer que parte das vantagens de se trabalhar com as MAMs são (Mejías et al., 2012) (RUBIO et al.2012):

- Cuidados com o meio ambiente e melhoria das condições trabalhistas da aplicação de MA (Misturas Asfálticas);
- Melhoria na qualidade da mistura, devido menor envelhecimento do CAP;
- Queda no consumo de recursos e conseqüentemente no de produção;
- Capacidade de inserir material reciclado na mistura.

Esse produto ainda conta com algumas controvérsias, dentre elas (BUDNY, 2012):

- Falta de normas vigentes;
- Trincas precoces, resultantes da não expulsão da água em agregados;
- Recente tecnologia, sendo assim exigindo mais relatórios e análises;

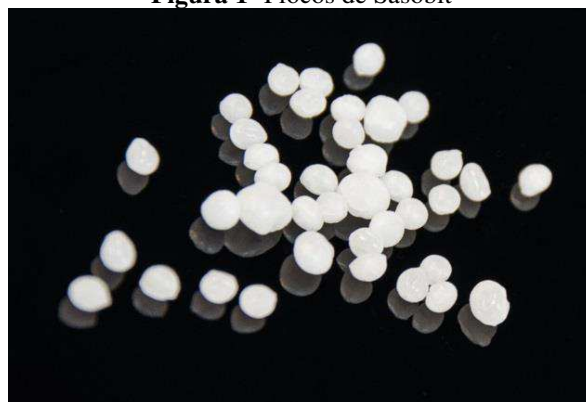
### 2.2.3 Aditivos orgânicos nas MAMs

Os aditivos orgânicos, por atuarem reduzindo a viscosidade do ligante asfáltico tais como ceras e parafinas, são previamente inseridas no taque de CAP durante o processo de usinagem, assim permitindo reduzir a temperatura de compactação em até 30 a 40°C (CERATII *et al.*, 2015).

Entre os principais aditivos orgânicos tem-se CCBIT 1133AD, óleos vegetais e Sasobit, onde esse último é destaque nos EUA (MEJÍAS *et al.*, 2012).

O SASOBIT é caracterizado por otimizar o escoamento de um ligante na usinagem e compactação e reduz sua temperatura (cerca de 20 a 30°C). De acordo com seu fabricante (Sasol Wax Internacional), a aplicação dessas pastilhas na mistura ou flocos no ligante ( Figura 1), não implica em modificações nas propriedades do ligante, sendo solúvel em temperaturas que vão além de 140°C, ocorre solidificação e enrijecimento do ligante (MEJÍAS *et al.*, 2012).

**Figura 1-** Flocos de Sasobit



Fonte: Sasobit.com

CCBIT é de nacionalidade alemã, esse éster metílico se encontra em formato de pó, grãos ou flocos, é insolúvel em água a 20°C e densidade entre 0,99 e 1,01 g/cm<sup>3</sup> (SALES,

2015). Tal qual condiz por um teor ideal de 2,5% a 3,5% do ligante e se destacam por não alterarem o ponto de amolecimento do ligante (ZUBARAN, 2014).

A integração ao ligante de óleos vegetais, se destaca ao reduzir a viscosidade para compactação e usinagem, já em contrapartida reflete na queda de consistência do ligante, sendo assim exigem a aplicação de um teor ótimo, espelhados na concentração do óleo em paralelo com a consistência do ligante (LUCENA *et al.*, 2016).

De acordo com BROCK *et al.* (2007) vários teores de densidade e viscosidade, para vários tipos de óleo e temperatura, podem ser descritos abaixo na Tabela 1, onde  $\rho$  é a densidade e  $\sigma$  o desvio padrão e Tabela 2:

**Tabela 1-** Valores de densidade dos diferentes óleos vegetais à temperatura ambiente ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ )

Óleo	Soja	Milho	Arroz	Girassol	Algodão	Oliva	Canola
$\rho(\text{g/cm}^3)$	0,833	0,875	0,877	0,877	0,875	0,879	0,878
$\pm \sigma$	0,004	0,003	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002

**Tabela 2-** Valores de viscosidade medidos para os diferentes óleos vegetais em função da temperatura

T( $^\circ\text{C}$ )	Viscosidade (mPa.s)						
	Soja	Milho	Girassol	Arroz	Algodão	Oliva	Canola
<b>20,0</b>	59,00	67,60	58,30	73,80	67,70	79,70	73,10
<b>30,0</b>	41,20	47,40	41,30	50,50	47,30	55,40	50,50
<b>40,0</b>	29,50	32,30	29,10	34,30	33,40	37,80	35,60
<b>50,0</b>	22,30	24,80	21,30	24,50	24,60	26,20	25,20
<b>60,0</b>	16,70	18,50	16,40	19,20	18,00	21,40	19,10
<b>70,0</b>	12,60	14,00	12,60	14,20	14,00	14,90	14,50

#### 2.2.4 Precaução no manuseio das MAMs

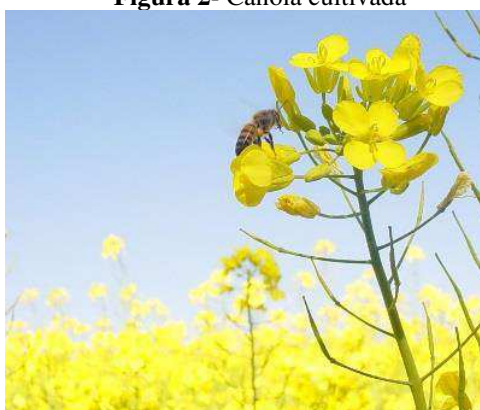
Em resposta as mudanças no processo de fabricação e aplicabilidade das MAQ para MAMs, são necessários cuidados específicos. Dentre eles a suscetibilidade à água, visto que os agregados podem não garantir de estarem secos antes da mistura, sendo assim mais susceptíveis a dano por umidade comparando de MAQ (ZUBARAN, 2014). Além disso a ocorrência de deformidades imutáveis, devido a uma menor resistência a tração e a ocorrência da elevação da adesividade com acréscimo de cal hidratada (BUDNY *et al.* 2012).



### 2.3 CANOLA

A canola (*Brassica napus L.*) (Figura 2) é uma herbácea, contendo raiz pivotante e uma quantia destacável de raízes secundárias que penetram camadas do solo e promovem descompactação, casada com uma haste ereta que pode atingir até 1,5 m de altura. A floração se decorre de maneira ascendente, ligado a um fruto síliquo com deiscência (COOPERBIO, 2008). Por serem muito atrativas a insetos, possuem alto índice de fecundação e em resposta, o crescimento na produção de grãos.

**Figura 2-** Canola cultivada



**Fonte:** EMBRAPA

Ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de plantio, ficando atrás da soja e óleo de palma. A canola é típica da climas mais frios, o que destaca como produtores o Canadá e Europa, sendo a primeira responsável por 9.6 milhões de Hectares no ano de 2002, dado esse poderio de cultivo, o termo “canola” foi batizado pelo Canadá como um acrônimo para “Canadian Oilseed”, embora tenha sido conhecida também como colza (CARDOZA E STEWART, 2007).

O referente óleo se origina da canola obtida a partir de melhoramento genético da colza, trazidas pela redução de glucosinolatos (abaixo de 2%), ácidos erúricos, além de menos de 30  $\mu\text{M}$  de qualquer um ou uma mistura de 3-butenil glucosinolato, 4-pentenil-glucosinolato, 2-hidroxi-3-butenil-glucosinolato e 2-hidroxi-4-pentenil-glucosinolato por grama de sólido seco ao ar livre de óleo, visto que se tornam medianamente tóxicas quando ligadas a doses altas (CARDOZA E STEWART, 2007).

A canola é capaz de gerar variados subprodutos, indo além da produção de grãos, pode-se citar a extração do óleo vegetal, biodiesel obtido por meio dos grãos que sofreram com excesso ou falta de chuvas, podem ser aplicados para alimentação animal ou como farelo com teor de 34% a 38% de proteína (MICUANSKI, 2014). Os seus resíduos ainda

podem também ser aplicados no meio agrícola como adubo em sistemas de rotação de culturas alternando a produção de inverno com espécies típicas do verão (DE MORI *et al.*, 2014).

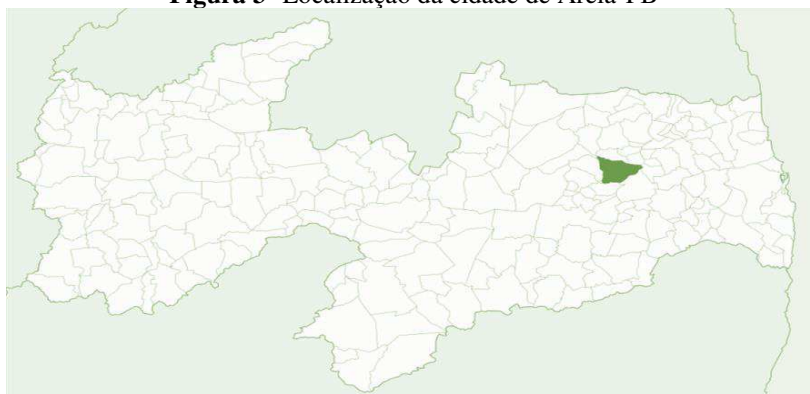
No cenário nacional, o plantio de canola tem grande destaque na região sul ocasionada pelo clima frio, onde 100% da produção é destinada a alimentação, atendendo assim a 30% do consumo de grãos no país, mesmo ganhando destaque expressivo apenas em 1998 (BARBOSA *et al.*, 2008). Ainda, regiões como o Noroeste do Rio Grande do sul, são pioneiras nessa cultura com cidades como Missões, Santo Ângelo e Muitos Capões. Paraná também mostra destaque na cultura com 41% da área semeada em 2008 (IBGE, 2008).

### 2.3.1 Canola na Paraíba

No Nordeste da Paraíba, o clima local com uma precipitação anual em torno de 1300 mm, se torna um ambiente promissor para o cultivo dessa planta (GONDIM & FERNANDES, 1980). Pode-se de dizer que o plantio no estado paraibano, se adequa em torno de 21 de maio a 02 de julho, a partir disso se encontra o risco de perdas do produto, ao risco de não-germinação futura, além de ter o cultivo afetado em anos de baixa precipitação (DIAS, 2012).

Ainda, Tomm *et al.* (2008), analisou que os híbridos de canola Hyola 60 e H 4815, na região de Areia-PB, como localizado na Figura 3 se compara ao usual de outras regiões brasileiras, se adaptando a regiões tropicais de latitude abaixo de 7 graus conectada a alturas superiores a 600 m acima do nível do mar, contudo o autor recomenda estudos mais detalhistas sobre o tema.

**Figura 3-** Localização da cidade de Areia-PB



**Fonte:** Google Maps

### 2.3.2 Óleos vegetais

Com o decorrer dos anos o consumo de óleo vegetal vem crescendo de forma considerável, seja na indústria ou consumo humano. Em consequência da elevação da demanda, a busca de espécies de plantas que forneçam esse óleo cresceu de forma proporcional. Algumas espécies como palma e mamona, o óleo é produto principal de comércio, diferente do amendoim e soja que não possui tanta demanda comercial atualmente (NUNES, 2007).

Em cenário mundial o óleo de palma é o mais consumido mundialmente, seguido da soja e da canola/colza, todavia ainda é possível destacar outras fontes do óleo vegetal como girassol, algodão, palmiste, coco e oliva (USDA).

No Brasil, o consumo do óleo de soja é o mais desenvolvido, devido seu preço acessível e facilidade de encontro em comércios, seguido do óleo de algodão, entretanto é um cenário que pode se alterar com avanço da matriz energética de biodiesel. Nacionalmente, 84% do consumo de óleo vegetal é com fins alimentícios e 16% em indústria, além disso o país como grande exportador de óleo principalmente de soja, também é um grande importador de palmiste (USDA).

### 2.3.3 Óleo de canola

Sobressaindo-se em regiões da União Europeia, Canadá, China e Índia, o cultivo da canola visa primordialmente a extração do seu óleo através de suas sementes. No Brasil, os referentes grãos se descrevem por conterem um teor de 27% de proteína e 38% de óleo, sendo assim referenciados por profissionais da saúde como alimento saudável, contendo o menor teor de gorduras saturadas na classe dos óleos vegetais (menos de 7%), somado a presença de elevado teor de ácidos graxos essenciais, como Ômega-3 (11%), ultrapassando a qualidade do óleo de girassol, milho e soja (TOMM et al., 2009) (REDA & CARNEIRO, 2007).

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações coletadas é possível ter compreensão da importância de se buscar maneiras de otimizar as misturas asfálticas, e uma alternativa são as misturas

asfálticas mornas, afetando diretamente o custo e impactos ambientais da produção de asfaltos. Em prol disso, a introdução de óleos vegetais a composição da mistura asfáltica, possibilita inúmeros candidatos a aditivos.

Dentre essas candidatas, o óleo de canola mostrou um potencial elevado, isso levado por questões de produção e crescimento no cenário mundial, além de demonstrar um número de pesquisas considerável na área desde a década de 90 e ainda continua passando por atualizações.

Em virtude disso, é esperado demonstrar a capacidade do óleo de canola como otimizador do CAP em misturas mornas, reduzindo sua temperatura de compactação e usinagem em resposta a sua redução de viscosidade.

## ***CAPÍTULO 3***

---

### **3.1 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo, será descrito os materiais adotados na pesquisa tal qual suas propriedades físicas, seja do ligante asfáltico ou dos agregados aplicados. Segue também os procedimentos adotados para análise do comportamento de caráter mecânico das misturas realizadas.

Todo o processo foi fragmentado em três etapas, sendo elas:

1. Seleção e caracterização dos materiais;
2. Dosagem das misturas adotadas;
3. Caracterização mecânicas das amostras obtidas;

Os ensaios realizados em questão, tem por fundamentação de metodologia as normas da ASTM (American Society for Testing Materials), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

#### **3.1.1 Escolha de Teor de óleo de Canola**

A partir a pesquisa de mestrado realizada por Guerra (2019), com a temática “Utilização do óleo de canola para redução das temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas” foi pesquisado os efeitos da adição de óleo de canola ao CAP, com teores de 1%, 2% e 3%. Com os resultados obtidos, foi analisado que o teor de 1% era aquele que conseguia manter os melhores resultados físicos e mecânicos.

Com isso foi optado a essa pesquisa realizar uma análise dos efeitos desse teor de óleo de canola em temperaturas com uma diminuição de 10°C e 20°C, em prol de redução de energia consumida em compactação e usinagem.

## 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

### 3.2.1 Ligante Asfáltico

O material se descreve por ser o CAP 50/70, cujas especificações estão de acordo com a Agência Nacional de Petróleo (ANP), sendo fornecido por uma empresa local. Desta forma é apresentado na Tabela 3, a referente caracterização do ligante:

**Tabela 3-** Caracterização do CAP

Característica	CAP Puro	Limites	Norma
<b>Penetração (0,1 mm)</b>	69,33	50-70	NBR-6576
<b>Ponto de Amolecimento</b>	47,5	46(mín.)	NBR-6560
<b>Viscosidade Rotacional 135°C (cp)</b>	416,25	274(mín.)	NBR-15184
<b>Viscosidade Rotacional 150°C (cp)</b>	206	112(mín.)	NBR-15184
<b>Viscosidade Rotacional 177°C (cp)</b>	73,75	57-285	NBR-15184

Em virtude de se analisar a sensibilidade a temperatura do ligante, o cálculo de IST (índice de suscetibilidade térmica), pela equação 1 abaixo.

$$IST = \frac{500 \cdot \text{Log}(P) + 20 \cdot PA - 1951}{120 - 50 \cdot \text{Log}(P) + PA}$$

Onde:

IST= Índice de Suscetibilidade Térmica;

PA: Ponto de amolecimento do CAP;

P= Penetração a 25°C (dmm);

O IST encontrado foi de -1,06, dentro do intervalo recomendado pela DNIT 095/2006 – EM (-1,5 à +0,7).

### 3.2.2 Agregado Graúdo

O agregado adotado na pesquisa foi a brita granítica de diâmetros de 19mm e 9,5mm, fornecida pela Pedreira Rocha Cavalcante.

### **3.2.3 Agregado Miúdo**

Os recursos adotados foram a areia e pó de brita fornecido pela Pedreira Rocha Cavalcante, contudo a areia foi obtida de forma independente por comércio local.

### **3.2.4 Fíler**

Foi aplicada nessa pesquisa a cal hidratada, assim como o mesmo foi conquistado através mercadejo local.

### **3.2.5 Óleo de canola**

O óleo foi adquirido no comércio local. Como referências literárias acerca do uso do óleo de canola, foi adotado como embasamento a pesquisa de Silva, 2016, Carvalho, 2018 e Guerra, 2019.

### **3.2.6 Mistura de CAP e Óleo de Canola**

A mistura foi executada no próprio Laboratório de Engenharia de Pavimentação (LEP), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com base na pesquisa de Guerra, 2019, aquecendo-se o CAP a 135°C e em seguida, adicionado lentamente um teor de 1% de óleo de canola, aplicado um misturador mecânico a 20 min e rotação de 410 rpm.

## **3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS MATERIAIS**

Os ensaios foram realizados no LEP-UFCG.

### **3.3.1 Agregados**

Em início, foram utilizados de ensaios normatizados para caracterização de agregados, tais quais listados na Tabela 4 a seguir:

**Tabela 4-** Tabela de Normas adotadas

<b>ENSAIO</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>Análise granulométrica dos agregados por peneiramento</b>	DNIT-ME 083/98
<b>Massa específica real e absorção do agregado graúdo</b>	DNIT-ME 081/98
<b>Massa específica real e absorção do agregado miúdo</b>	DNIT-ME 084/95
<b>Equivalente areia</b>	DNIT-ME 054/97
<b>Abrasão "Los Angeles"</b>	NBR 051/2000

### 3.3.1.1 Análise granulométrica dos agregados por peneiramento

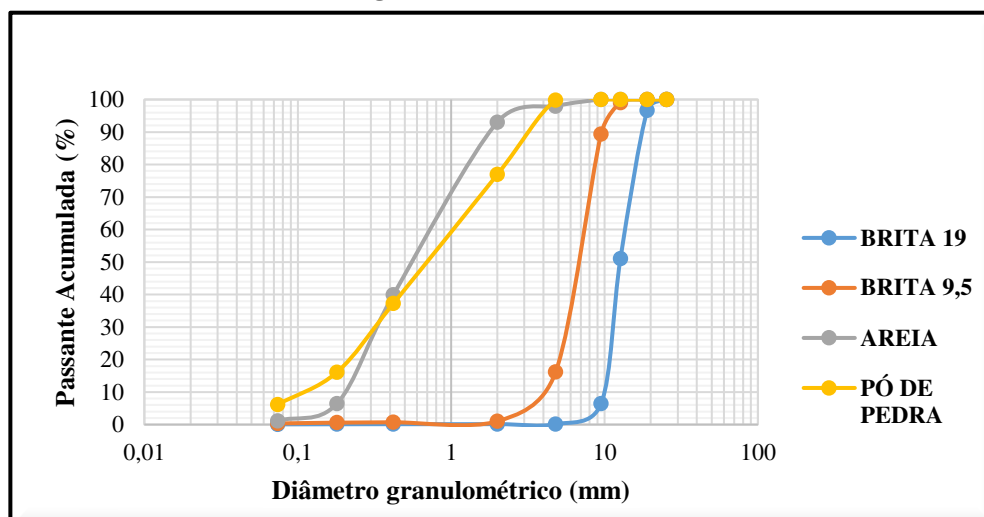
Seguindo a ME 083/98 do DNIT, após o peneiramento de amostras de 1 Kg para agregado miúdo e 5 Kg para agregado graúdo, foram obtidas as massas e as porcentagens passantes acumuladas em cada abertura das peneiras, assim retratado na Tabela 5 abaixo, sequenciada de sua curva granulométrica na Figura 4.

**Tabela 5-** Quantidade passante acumulada por peneira (%)

<b>Peneira</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Brita 19</b>	<b>Brita 9,5</b>	<b>Areia</b>	<b>Pó de Pedra</b>
<b>1"</b>	25,4	100	100	100,00	100
<b>3/4"</b>	19	96,69	100	100,00	100
<b>1/2"</b>	12,7	51,07	99,04	100,00	100
<b>3/8"</b>	9,5	6,47	89,4	100,00	100
<b>N° 4</b>	4,8	0,15	16,16	97,98	99,78
<b>N° 10</b>	2	0,13	1,02	93,04	76,93
<b>N° 40</b>	0,42	0,12	0,71	39,90	37,23
<b>N° 80</b>	0,18	0,10	0,59	6,45	16,11
<b>N° 200</b>	0,074	0,06	0,35	1,16	6,16



Figura 4- Curva Granulométrica



### 3.3.1.2 Massa específica e Absorção

As medições de massa específica real e aparente, assim como sua respectiva absorção de cada agregado está descrita na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6- Massa específica e absorção dos agregados

Agregados	Massa específica Real (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção(%)
Brita 19mm	2,71	2,69	0,58
Brita 9,5 mm	2,66	2,62	1,75
Areia	2,36	2,31	0,6
Pó de Pedra	2,44	2,41	0,71

### 3.3.1.3 Equivalente areia

De acordo com o DNIT 031/2006 – ES, o agregado miúdo deve ser caracterizado com um equivalente areia não passante de 55%, as medições obtidas foram notadas na seguinte Tabela 7:

Tabela 7- Equivalente areia

Ensaio	Requisito	Agregados	
Equivalente	Mín.	Areia	Pó de Pedra
Areia	55%	69,16%	56,42%

### 3.3.1.4 Abrasão “Los Angeles”

De acordo com a NBR 051/2000, a brita para ser considerada aceitável deve possuir uma deterioração de no máximo 50%, a brita 19 obteve grau de 22,3% enquanto o mesmo agregado de 9,5mm chegou a 25,4%, sendo assim aceitáveis por norma.

### 3.3.2 Mistura do CAP + 1% de óleo de canola

Inicialmente o ligante asfáltico foi aquecido a uma temperatura de 130°C, posteriormente adicionado um específico teor de 1% de óleo de canola lentamente, em paralelo de agitada por 20 minutos e rotação de 410 rpm.

A Tabela 8 é listada as normas adotadas para caracterização do ligante modificado.

**Tabela 8-** Normas para caracterização do ligante

<b>ENSAIO</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>Viscosidade Rotacional</b>	NBR 15184/2007
<b>Ponto de Amolecimento</b>	DNIT-ME 131/2010
<b>Penetração</b>	DNIT-ME 155/2010
<b>RTFOT</b>	ASTM D 2872-04

### 3.3.3 Dosagem SUPERPAVE

Otimizar a proporção de agregados constituintes de uma composição, é essencial quando se trata de uma mistura asfáltica. Sendo assim, uma nova sistemática de compactação que visa obter corpos de prova que adequem ao que ocorre em campo, seguindo o efeito de amassamento, o que se difere da dosagem Marshall, é a dosagem Superpave.

Essa metodologia de compactação, afirma que o teor de asfalto de um projeto, deve ser selecionado de modo que se tenha um Gmm (densidade máxima da mistura solta), de 96% a um dado número de giros de projeto, além de achar-se entre o intervalo de 89% e 98% de Gmm, para número de giros iniciais e giros máximo (NASCIMENTO, 2008), visto que misturas com Gmm superior a 98%, tende a uma densificação excessiva ou mesmo imersão em trilha de roda no campo (Cominsky, Leahy e Harrigan, 1994).

Com a classificação granulométrica de cada agregado usado devidamente catalogada, foi possível então gerar curvas (inferior, intermediária e superior), que dosariam os teores dos componentes, onde os mesmos se adequem dentro dos limites estabelecidos pela faixa C, do DNIT. As proporções encontradas, estão descritas na Tabela 9 e representada nas Figuras 5,6 e 7.

**Tabela 9- Porcentagem de Agregados**

AGREGADO	SUPERIOR	INTERMEDIÁRIA	INFERIOR
BRITA 19	7,00%	27,00%	26,00%
BRITA 9.5	33,00%	21,50%	36,00%
AREIA	21,00%	17,00%	1,00%
PÓ DE PEDRA	38,00%	33,00%	36,00%
FILER	1,00%	1,50%	1,00%

**Figura 5- Curva Superior - SUPERPAVE**

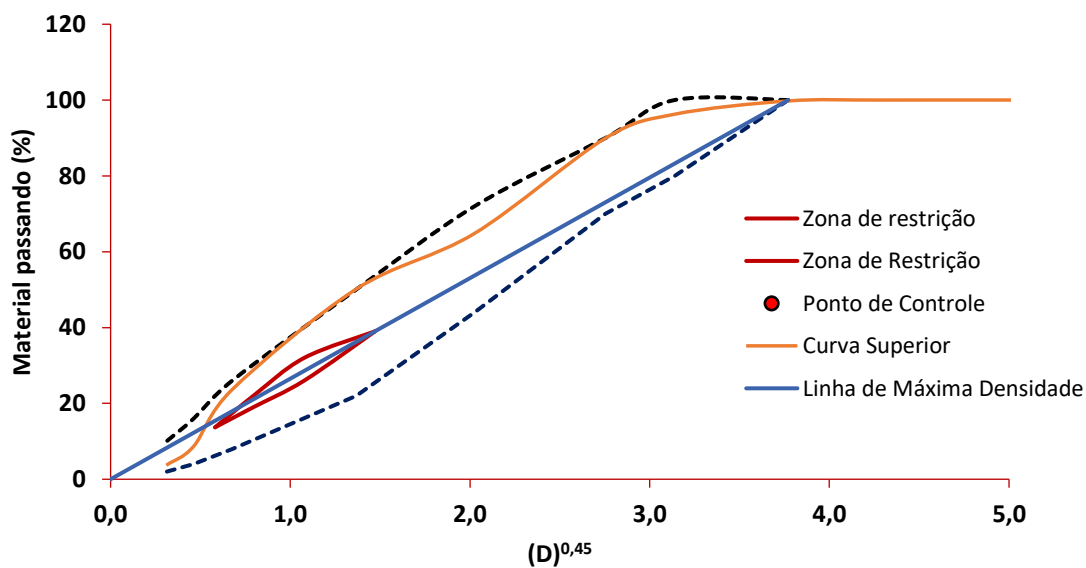


Figura 6- Curva Intermediária - SUPERPAVE

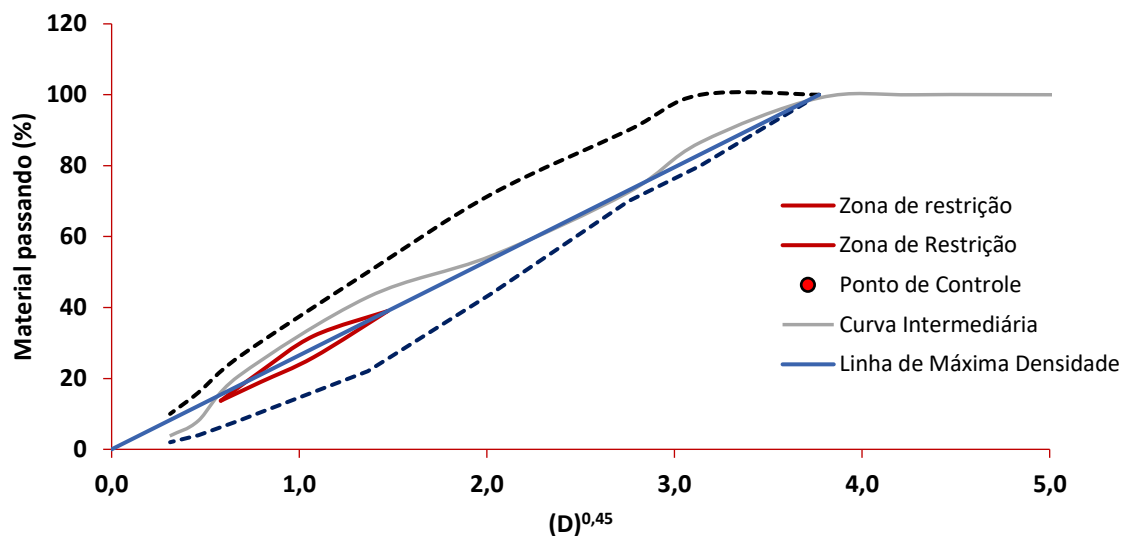
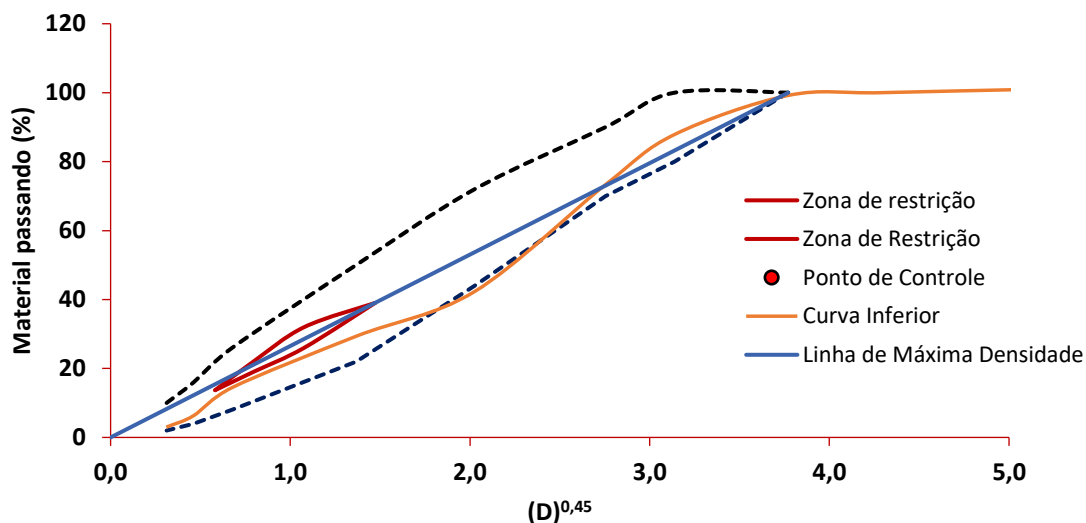


Figura 7- Curva Inferior - SUPERPAVE



Em conjunto, foi realizada análise da densidade máxima medida (Gmm), pelo método de Rice Test (ASTM D 2041). Neste foi possível escolher a curva que mais se aproxima do índice de vazios equivalente e 4%, sendo adotada a curva intermediária, onde os parâmetros de escolha foram expressos abaixo na Tabela 10.

Tabela 10- Parâmetros para o Teor de 5% de CAP

	CS	CI	Cinf.	Valores normalizados
% de Ligante	5	5	5	-
Vv (%)	6,61	3,70	3,52	4%
VAM (%)	17,72	15,12	14,29	13,0 mín
Gmm (%)	93,39	96,30	96,48	96,0
RBV (%)	76,74	73,64	72,19	65% a 75%

Em prol de se realizar a otimização do volume de vazios para 4% foi adotado a correção por meio da seguinte Equação, e encontrado um teor ajustado equivalente a 4,9%:

$$P_{1,\text{estimado}} = P_{li} - [0,4x(4 - V)]$$

Onde,

$P_{1,\text{estimado}}$  Teor de ligante estimado, em %;

$P_{li}$ : Teor de ligante inicial (tentativa), em %;

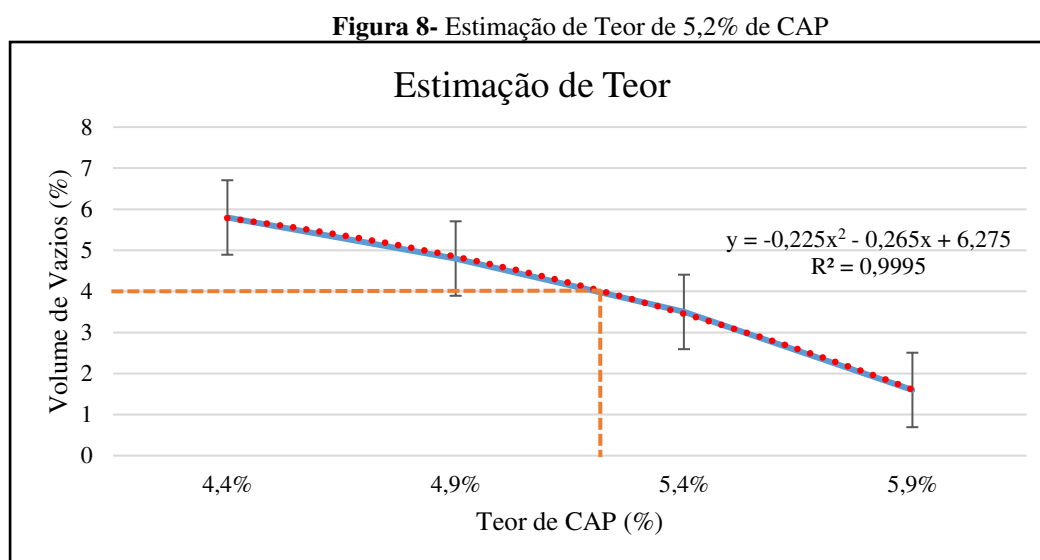
V: Vazios no Nprojeto, em %.

Logo, foi possível obter os seguintes parâmetros aos teores supostos (Tabela 11):

**Tabela 11- Parâmetros para teores de CAP estimados**

	<b>4,40%</b>	<b>4,90%</b>	<b>5,40%</b>	<b>5,90%</b>	<b>Valores normalizados</b>
Vv (%)	5,8	4,8	3,5	1,6	4%
VAM (%)	16,08	15,63	15,31	14,46	13,0 mín
Gmm (%)	94,25	95,22	96,53	98,36	96
RBV (%)	74,58	74,15	74,06	73,22	65% a 75%

Visto que, nenhum dos teores refletiu em um volume de vazios equivalente a 4%, o equivalente de CAP que melhor representa o mesmo índice, foi de 5,2%, obtido por extrapolação gráfica (Figura 8):



Para o teor testado de 5,2% foi encontrado os seguintes parâmetros (Tabela 12), obtendo-se um Vv de 3,93%, próximo dos 4% desejados pelo SUPERPAVE:

**Tabela 12- Parâmetros - teor de 5,2%**

<b>Teor de 5,2%</b>		<b>Valores Normalizados</b>
Vv (%)	3,93	4%
VAM (%)	15,09	13,0 mín
Gmm (%)	96,07	96
RBV (%)	73,52	65% a 75%

### 3.3.4 Propriedades Mecânicas das Misturas Asfálticas

Foi realiza a moldagens de CP's (Corpos de Prova), com um teor de CAP encontrado para o volume de vazios equivalente a 4%, a partir da dosagem SUPERPAVE. Seguido da moldagem de CP's com 1% de óleo de canola a temperatura ideal de compactação e usinagem, e posteriormente também, com temperatura reduzida em 10°C e reduzida em 20°C, permitindo assim uma comparação entre as mesmas situações e avaliar seu comportamento diante a redução das temperaturas.

Em objetivo de obter dados comparativos, foram realizadas uma série de experimentos normalizados e listados na Tabela 13 abaixo.

**Tabela 13- Ensaios Mecânicos**

<b>ENSAIO</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>Ensaio de Resistência à Tração Indireta</b>	DNIT-ME 136/10
<b>Módulo de resiliência</b>	NBR 16018/2011 ASTM D 4123-82
<b>Lottman Modificado</b>	DNIT 180/2018 - ME
<b>Estabilidade e Fluência</b>	DNER-ME 043/95

## CAPÍTULO 4

### 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

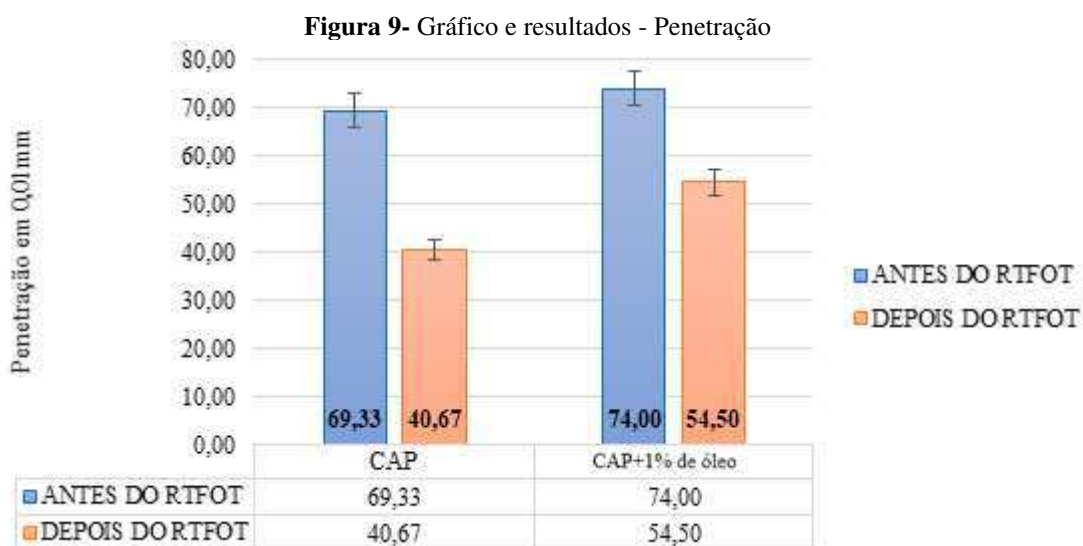
Cabe a esse capítulo, retratar e analisar os dados obtidos, contemplar a caracterização e comparação do CAP 50/70 modificado e puro, além da caracterização mecânica do CAP puro e modificado.

#### 4.1 Caracterização do ligante asfáltico

##### 4.1.1 Ensaio de Penetração

Os resultados foram catalogados na Figura 9 a seguir. Foi possível verificar um aumento na penetração com a adição do óleo de canola e uma queda considerável da penetração após seu envelhecimento, fenômenos também observados por Lucena (2016) com adição do óleo de moringa em variados teores. Sendo então um resultado esperado, visto que aditivos orgânicos reduzem a viscosidade do ligante.

Além disso, existe uma menor variação de penetração pré e pós RTFOT, ao se comparar a mistura e CAP puro, sendo de 19,5 dmm e 28,73dmm, respectivamente.



Em virtude de serem sensíveis ao envelhecimento foi analisado a penetração retida descrita na Tabela 14.

**Tabela 14-** Penetração Retida

Análise	CAP	
	PURO	CAP+1% de Óleo
Penetração retida (%)	58,56%	73,64%

De acordo com o DNIT 095/2006 – EM a retenção deve ser de pelo menos 55%, logo o resultado é satisfatório.

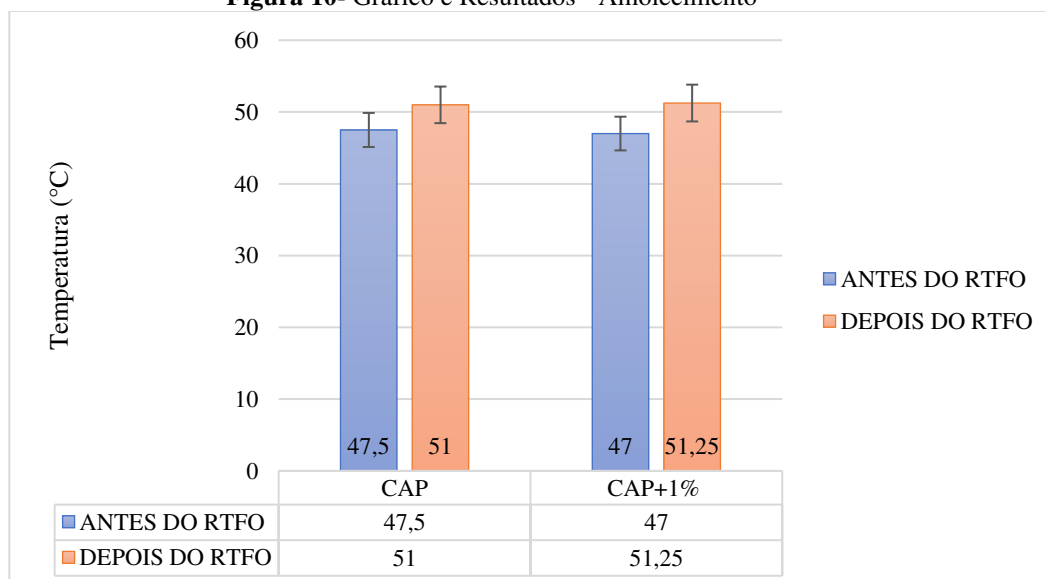
#### 4.1.2 Ensaio de Ponto de Amolecimento

Após a adição do teor de 1% de óleo de canola, a variação da temperatura do ponto de amolecimento foi praticamente nula, mantendo-se quase as mesmas seja antes ou depois do envelhecimento (Figura 10).

Ainda em estudo, a tempérie aplicada sofreu uma redução posteriormente ao RTFOT, sendo de 3,5°C e 4,25°C para o CAP puro e para a mistura de CAP+1% de óleo de Canola respectivamente, o que está dentro dos limites estabelecidos pelo DNIT 095/2006-ME equivalente a 8°C.

O IST obtido para o CAP puro foi de -1,06 e -1,04 para o CAP+1% de óleo, sendo ambos valores dentro do intervalo recomendado pela DNIT 095/2006 – EM (-1,5 à +0,7).

**Figura 10-** Gráfico e Resultados - Amolecimento





### 4.1.3 Ensaio de Viscosidade Rotacional

O ensaio foi realizado com amostras predecessoras e sucessoras ao envelhecimento, ambas com o CAP puro, bem como com sua remodelação com 1% do óleo.

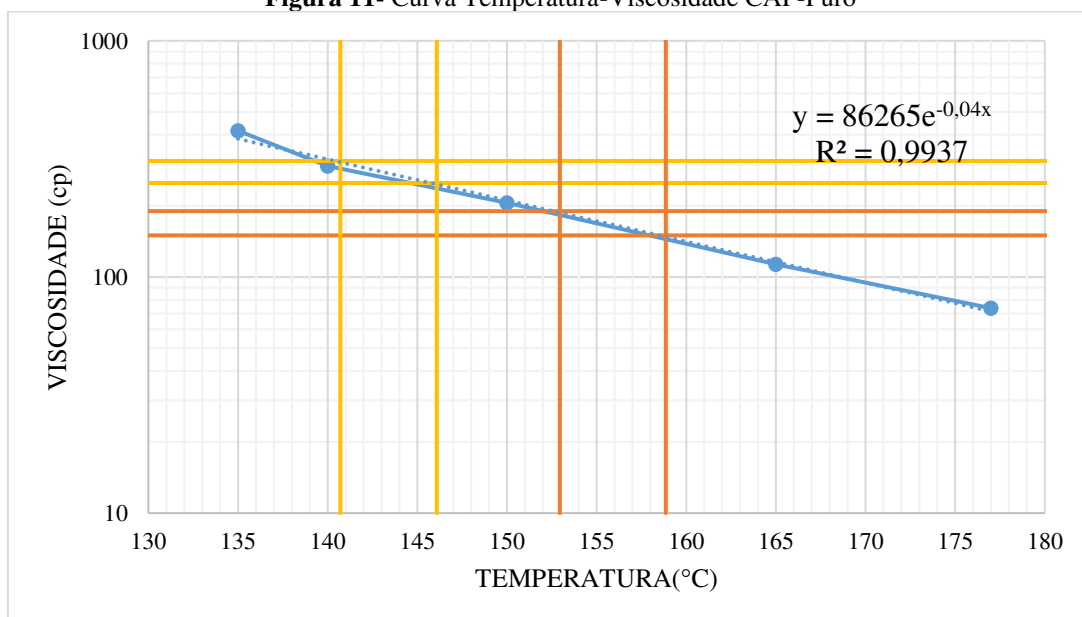
Foi possível analisar assim, que o aditivo levou a uma redução na sua viscosidade, o que impacta diretamente na redução da temperatura de compactação e usinagem das misturas asfálticas. O mesmo fenômeno ocorreu após o RTFOT, motivado pela perda de frações leves e oxidação do ligante quando exposto a grandes temperaturas (Lucena et al., 2016). Tais resultados obtidos atendem ao mínimo dirigido pelo DNIT 095/2006 e estão representados na Tabela 15 abaixo:

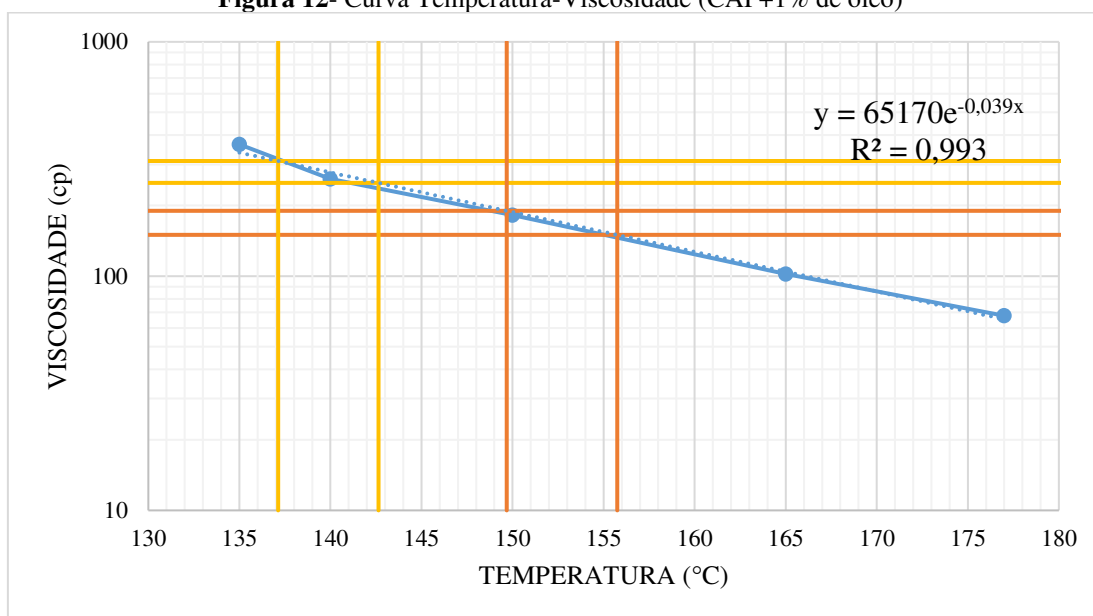
**Tabela 15- Resultados - viscosidade rotacional**

	<b>RESULTADO - VISCOSIDADE ROTACIONAL</b>					
	<b>135°C</b>		<b>150°C</b>		<b>177°C</b>	
	<b>CAP</b>	<b>CAP+1%</b>	<b>CAP</b>	<b>CAP+1%</b>	<b>CAP</b>	<b>CAP+1%</b>
PRÉ RTFOT	416,25	365,00	206,00	182,50	73,75	67,75
PÓS RTFOT	517,50	478,75	251,00	234,00	87,00	83,00

Diante das viscosidades obtidas, foi possível gerar o gráfico viscosidade x temperatura, e a partir dele descrever as temperaturas de compactação e usinagem do CAP puro e para o CAP+ 1% óleo de canola (Figura 11 e 12, respectivamente), e o resumo de temperaturas na Tabela 16.

**Figura 11- Curva Temperatura-Viscosidade CAP-Puro**



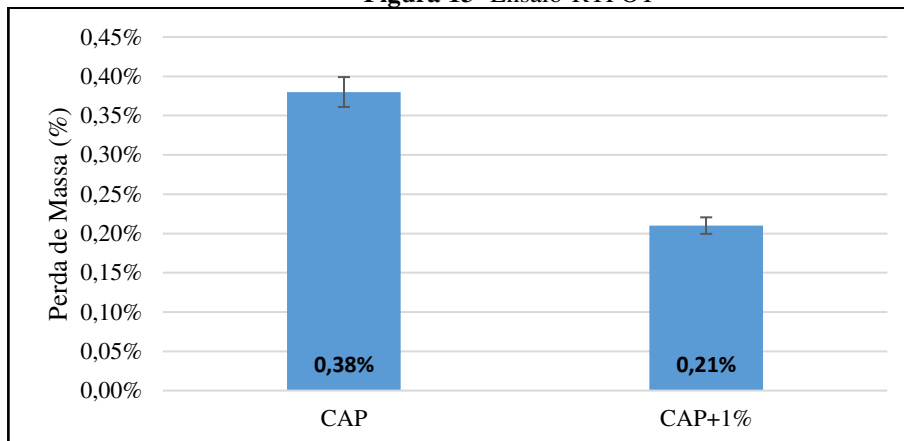
**Figura 12-** Curva Temperatura-Viscosidade (CAP+1% de óleo)**Tabela 16-** Temperaturas de compactação e usinagem

Temperatura (°C)	CAP Puro	CAP+1% de óleo
<b>Usinagem</b>	156	153
<b>Compactação</b>	143	140

Com os dados obtidos, é possível verificar que após a obtenção das temperaturas de compactação e usinagem, houve uma redução de temperatura de 3°C após a adição do óleo ao CAP puro em resposta da queda de viscosidade pela presença do óleo na mistura.

#### 4.1.4 Ensaio de RTFOT

Após realizar o Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT), foi possível averiguar uma redução na perda de massa após a adição do óleo sendo de 0,38% do CAP e 0,21% para a mistura, além de que a mistura pura se mantém dentro dos padrões do DNIT-095/2006-EM, exigindo variações de massa abaixo de 0,5%. Os resultados estão expostos na Figura 13.

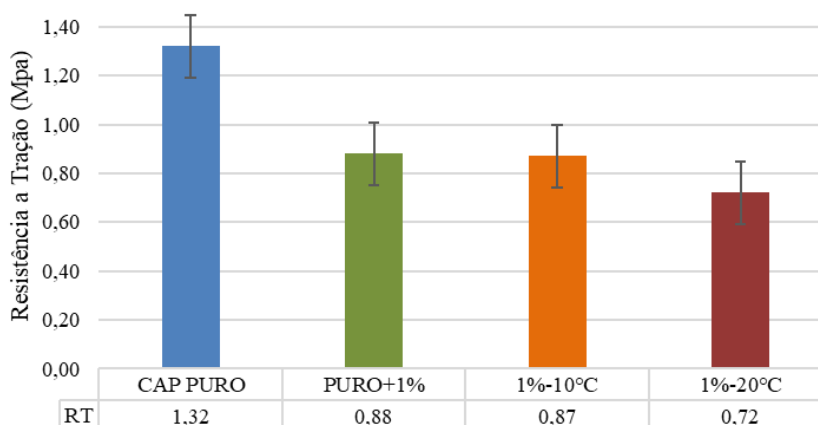
**Figura 13-** Ensaio-RTFOT

## 4.2 Caracterização mecânica da mistura

Nessa etapa, foram realizadas análises mecânicas com CP's com CAP puro a temperatura ideal de compactação usinagem, assim como CAP+1% de óleo a sua temperatura adequada, obtidas no ensaio do viscosímetro rotacional. Seguidamente, foi averiguado os efeitos da redução da temperatura ideal em 10°C e 20°C com a adição do óleo estudado. As análises e resultados estão melhor descritos nos tópicos a seguir.

### 4.2.1 Resistência à Tração por compressão diametral (RT)

O ensaio executado por duas forças de compressão concentradas e diametralmente opostas, permitiu medir tensões de tração para cada situação analisada, onde tais valores estão descritos no gráfico da Figura 14 a seguir:

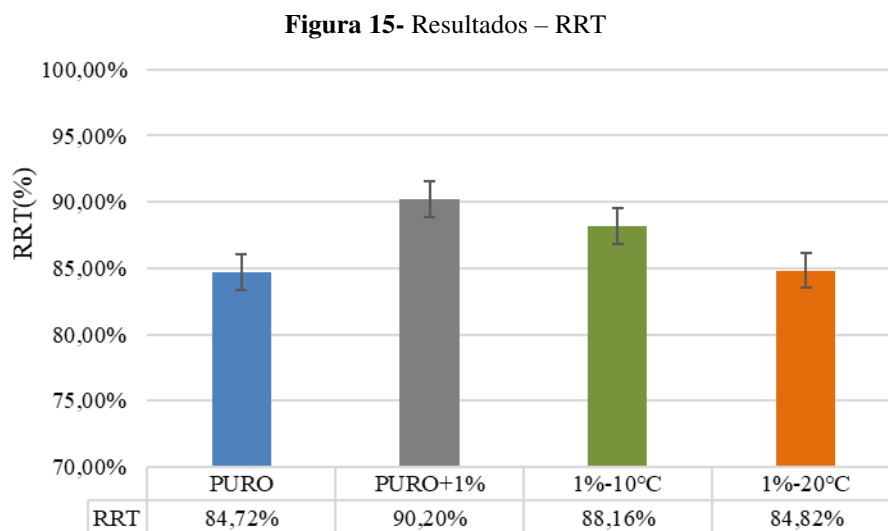
**Figura 14-** Resultados - RT

Observa-se inicialmente uma queda de resistência após a adição do óleo de canola, também observado por Luz et. al, 2018 com o óleo de milho e óleo de soja, onde o mesmo fenômeno se repete ao se reduzir a temperatura. Quando se compara a mistura com óleo em temperatura ideal e reduzindo 10°C, a resistência se mantém praticamente imutável, e voltando a cair quando a temperatura se reduz a em 20°C. Os valores obtidos mesmo sofrendo uma queda se encontram acima do mínimo recomendado pela DNIT 031/2010 – ME de 0,65MPA (25°C) para misturas asfálticas de rolamento, confirmando também a validação de teor adotado.

Motta, 2017, verificou que os dados de RT decaem em misturas mornas ao se comparar com misturas de temperaturas mais elevadas. Ao caso dessa pesquisa houve uma baixa de 33,3% após a adição do óleo, 34,1% após o óleo estar com sua temperatura reduzida em 10°C, assim como 45,5 para 20°C.

#### 4.2.2 Dano por umidade induzida – Lottman Modificado

Após os ensaios realizados, os dados obtidos foram catalogados no gráfico da Figura 15 a seguir:



A partir do ensaio executado é possível analisar a adesividade em misturas asfálticas sobre o efeito da água. De acordo como os parâmetros da AASHTO T283/2002, o valor de RRT deve ser de no mínimo 80% e para o DNIT 031/2006 o limite inferior é de 70%.

É observável que a mistura obteve êxito em atender aos critérios exigidos, sendo visível também um crescimento no RRT após a adição do óleo de canola, o mesmo

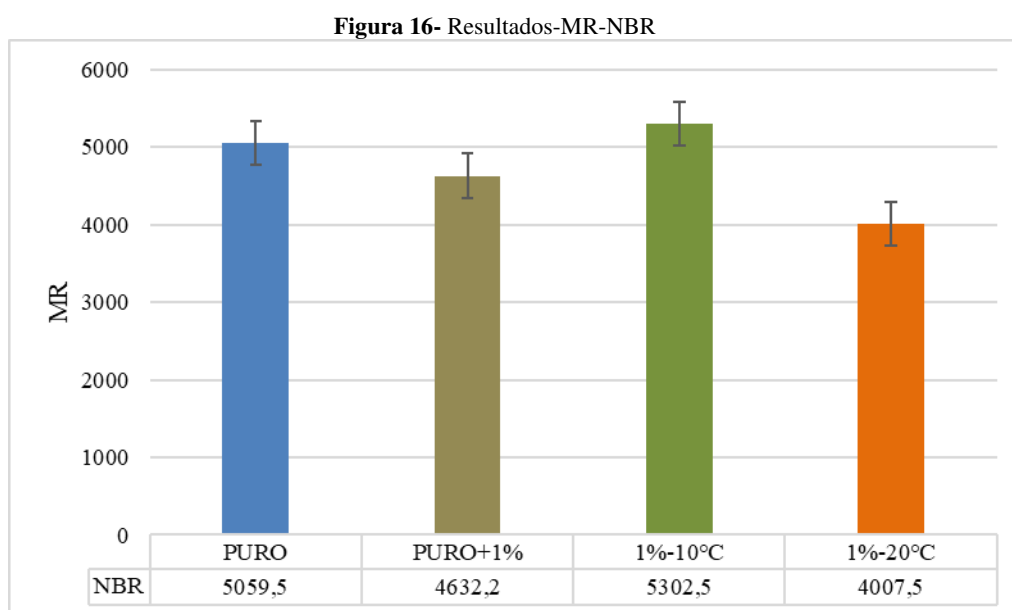
fenômeno é observado por Guerra (2019) e Carvalho (2018), podendo assim ser um indicador que o óleo de canola pode aumentar a adesividade de misturas asfálticas.

Em segunda análise é possível observar uma queda no valor de RRT% a partir do momento que a temperatura de compactação e usinagem é reduzida, também observada por Luz (2016), com o óleo de milho.

#### 4.2.3 Módulo de resiliência

O módulo de resiliência (MR), define um módulo de elasticidade ao que se refere a um carregamento cíclico a qual está submetido o pavimento, sendo análogo ao módulo de elasticidade E, sendo tais quais resultado da razão entre tensão e deformação, diferenciando que o MR aplica cargas reiteradas (MARQUES, 2004)

O ensaio foi executado com base em parâmetros da NBR (Figura 16), e os valores foram analisados e catalogados no gráfico abaixo:



A partir dos dados obtidos foi possível analisar que após a adição de um teor de 1% de óleo, houve uma redução no MR, ou seja, uma perda de rigidez de 8,44% para NBR, em temperatura ideal de compactação e usinagem. O mesmo fenômeno foi observado por Carvalho (2018), em sua pesquisa com óleo de girassol e por Guerra (2019), também com óleo de canola.

Quando se fala sobre a redução de 10°C, pode ser observado que existe uma elevação no MR, e em sequência uma queda de MR quando se reduz em 20°C. Luz (2017)

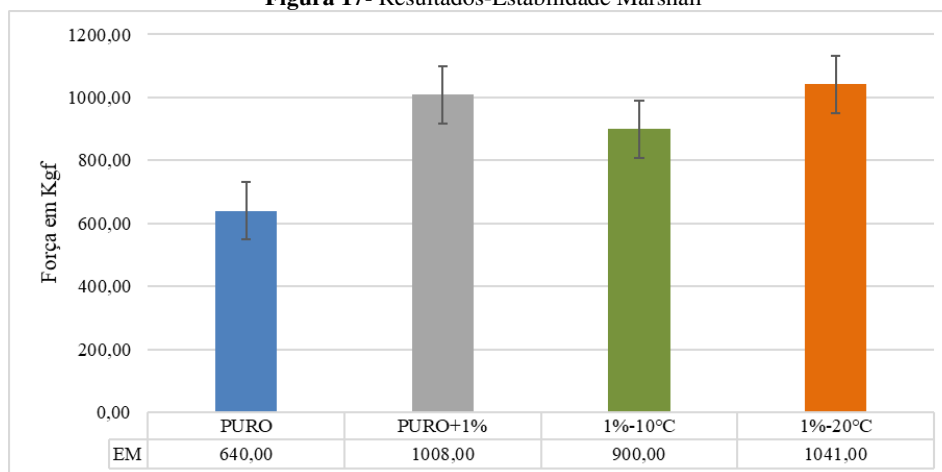
e Andrade (2018) observaram a mesma ocorrência com óleos de milho e girassol, respectivamente. Onde o MR sofreu uma melhoria ao reduzir a temperatura em 10°C e redução quando se reduz a temperatura em 20°C.

De acordo de Bernucci et al. (2008) misturas asfálticas a 25°C estão situados entre 2000 a 8000 Mpa, sendo assim os valores obtidos estão entre os descritos em literatura.

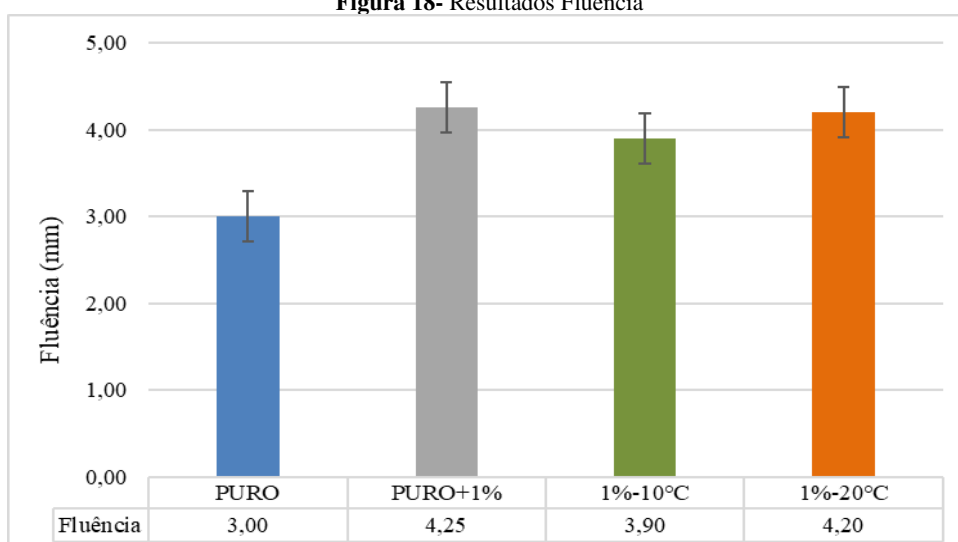
#### 4.2.4 Estabilidade Marshall e Fluência

Os resultados obtidos estão descritos nos gráficos da Figura 17 para estabilidade e Figura 18 para fluência.

**Figura 17- Resultados-Estabilidade Marshall**



**Figura 18- Resultados Fluência**



Em análise da estabilidade, após a adição do óleo ocorre uma elevação nesse parâmetro e ao se reduzir a temperatura em 10°C, a estabilidade sofre uma leve redução.

Os dados obtidos se mantem acima do especificado pelo DNIT 031/06 – ES, que é de 500 Kgf, confirmando também sucesso na dosagem adotada no relato.

Se tratando da fluência, o CAP puro possui a menor deformidade, enquanto que ocorre uma elevação da deformação após a adição do óleo de canola e se tratando da variação de temperatura, em 10°C ocorre um decréscimo desse parâmetro enquanto que em 20°C ela retorna a se elevar. De acordo com a DAER/RS, é recomendada que a fluência esteja entre 2,03 e 4,06 mm, assim é observável que para CAP+1% de óleo a temperatura ideal e a -20°C estão levemente acima desse limite estabelecido.

O gráfico obtido é inverso ao obtido no MR, sendo de se esperar já que o módulo de resiliência afere a rigidez enquanto que a fluência visa a deformação, o que confirma os resultados obtidos no quesito **4.2**

## ***CAPÍTULO 5***

---

### **5 CONCLUSÕES**

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões da pesquisa em prol de analisar os efeitos da adição do óleo de canola na em variadas temperaturas de compactação e usinagem de misturas asfálticas, a partir de análise propriedades físicas e mecânicas do ligante.

#### **Caracterização do Ligante**

Após a adição do óleo de canola a penetração do ligante sofreu um breve aumento, assim como seu ponto de amolecimento, todavia esses parâmetros ainda se encontram dentro dos limites definidos pelo DNIT.

Em vista da viscosidade rotacional, ao se adicionar um teor de 1% de óleo de canola é possível obter uma redução na viscosidade e da perda de massa por RTFOT, ainda assim dentro dos limites inferiores do DNIT. Com os mesmos dados foi possível obter uma redução de temperatura de compactação e usinagem equivalente a 3°C, o que do ponto de vista industrial não representa um ganho energético considerável.

#### **Caracterização mecânica**

Ao que se refere a análise mecânica, foi possível averiguar que a resistência a tração houve uma queda, todavia ele se encontra acima dos valores mínimos determinados pelo DNIT, mesmo após uma redução de 20°C.

Em vistoria dos efeitos da umidade induzida, após a adição do óleo obteve-se um aumento de RRT e uma queda após reduzir a temperatura, ainda também dentro dos padrões de DNIT.

Após a adição do óleo de canola, houve um aumento do módulo de resiliência, todavia ele retorna a se elevar após a redução de temperatura, seja pelos métodos da ASTM ou NBR.



Por fim, ao se averiguar a estabilidade Marshall, todos os casos se mantiveram acima do recomendado pela DNIT, apenas a fluência se encontra no limite dos parâmetros exigidos.

### **Análise Geral**

A partir de todos os ensaios realizados nesse relato, é possível afirmar que a adição do óleo de canola a mistura asfáltica permite que suas propriedades se mantenham dentro do especificado pelos órgãos competentes. Mesmo após a redução da temperatura de compactação e usinagem os índices se mantêm totalmente aceitáveis, visto que a redução de 10°C obteve ótimo desempenho ao se impor as exigências da norma, demonstrando-se promissora na aplicação de pavimentos. Além disso, mesmo que a baixa de 20°C represente os dados de RT, MR e MMR, mais débeis que os outros casos estudados, ainda se mantêm dentro dos limites do DNIT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A., Milciades A. Melgarejo. *et al.* “*Características agronômicas e teor de óleo da canola em função da época de semeadura.*” Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 18, n. 9, 18 set. 2013. p.934–938, 2014.

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos. “*Manual básico de emulsões asfálticas*”. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.. “*Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.*” 1. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2010.

BUDNY, Jaelson. “*Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas.*” 2012. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

CARDOZA, V., e STEWART, C. N. “*Canola. Biotechnology in Agriculture and Forestry*”. doi:10.1007/978-3-540-71711-9\_2, 2007.

CARVALHO, J. R. “*Estudo do comportamento do asfalto modificado com óleo de girassol visando à obtenção de misturas mornas.*” 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). “*Piora a qualidade das rodovias brasileiras*”. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/piora-a-qualidade-das-rodovias-brasileiras> Acesso em: 21 fev. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). “*Transporte rodoviário: desempenho do setor, infraestrutura e investimentos.*”. 67p.: il ; gráficos. 2017

COMINSKY, R., LEAHY, R. B., HARRIGEN, E. T. ” *Level one mix design: materials selection, compaction, and conditioning*”.\_Washington, DC.: 121 p. (SHRPA-408), 1994.

COOPERBIO, “*Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil Ltda. Cultura da Canola*”. Disponível em: <<http://www.cooperbio.com.br/materias/Canola.pdf>> Acesso em: 10/04/2019

DE MORI, C.; TOMM, G. O.; FERREIRA, P. E. P. “*Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da canola no mundo e no Brasil*”. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014. 36 p.

html. (Embrapa Trigo. Documentos online, 149). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do149.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do149.htm)>.

DIAS, JEFFERSON ALVES. “Desempenho de genótipos de canola submetidos a diferentes épocas de semeadura em três anos de cultivo”. 2012. TCC (Agronomia) - UFPB, Areia, 2012.

\_\_\_\_\_ DNIT – ME 031/06. “Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço”. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_ DNIT – ME 083/98. “Agregados – Análise Granulométrica”. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_ DNIT – ME 084/95 – “Agregado miúdo - determinação da densidade real”. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_ DNIT – ME 131/2010. “Materiais Asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola”. Rio de Janeiro, 2010.

82

\_\_\_\_\_ DNIT - ME 136/10 – “Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de Ensaio”. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ DNIT – ME 155/2010 – “Material asfáltico - determinação da penetração”. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ DNIT – ME 183/2018 – “Pavimentação Asfáltica – Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de Ensaio”. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_ DNIT - ME 136/10 – “Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de Ensaio”. Rio de Janeiro, 2010

\_\_\_\_NBR 51/2000. “Agregado Graúdo – Ensaio de Abrasão “Los Angeles””. Associação Brasileira de Normas Técnicas – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_DNER-ME 081. “Agregados - Determinação da Absorção e da Densidade de Agregado graúdo”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_DNER-ME 083. “Agregados - – Análise Granulométrica”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1998.

GRIGOLO, SIBILA. “Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária da geração f2 de híbridos de canola (*Brassica Napus*) produzidas no município de curitibanos - sc.” 2013. TCC (Ciências rurais) - UFSC, Curitibanos, 2013.

GRIGOLO, Sibila *et al.* “Efeito de épocas de semeadura no potencial de germinação de híbridos de canola.” In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CANOLA, 01., 2014, Passo Fundo, RS. . [...]. Passo Fundo, RS: ., 2014.

GUERRA, T. D. “Utilização do óleo de canola para redução das temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas.” 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2019.

GONDIM, A. W. DE A., FERNANDES, B. “Probabilidade de chuvas para o Município de Areia – PB.” Agropecuária técnico, Areia, v. 1, p. 55-63. 1980. Disponível em: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do113\\_6.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do113_6.htm), Acesso em 20 de maio de 2019.

KAEFER , JOÃO EDSON; GUIMARÃES , VANDEIR FRANCISCO; RICHART , ALFREDO; TOMM , GILBERTO OMAR E MÜLLER , ALEXANDRE LUÍS; “Produtividade de grãos e componentes de produção da canola de acordo com fontes e doses de nitrogênio” *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.49, n.4, p.273-280, abr. 2014

LUCENA, Lêda Christiane de F. Lopes; SILVEIRA, Iarly Vanderlei; COSTA, Daniel Beserra. “Avaliação de ligantes asfálticos modificados com óleo da *Moringa Oleífera Lam*

para uso em misturas mornas.” Revista materia, ufrj, v. 21, n. 01, p. pp. 72 – 82, 25 ago. 2015.

LUZ et. al, “Avaliação das propriedades mecânicas de misturas asfálticas mornas modificadas com adição de óleos vegetais”, Revista Transportes, v.27, n. 01, 30 abr. 2019

LUZ, P. M. S. G., “Avaliação das propriedades mecânicas de misturas asfálticas modificadas com a adição do óleo de milho”. TCC. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016

MARQUES, G.L.O. “Utilização do módulo de resiliência como critério de dosagem de misturas asfálticas; Efeito a compactação por impacto e giratória” Tese (Doutorado). 2004, 461 p. UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

MEJÍAS SANTIAGO. M., DOYLE. J. D., HOWARD. I. L., BROWN. E. R. “Evaluation of Warm Mix Asphalt Technologies for use on Airfield Pavements,” 2012

MICUANSKI, V.C; “A cultura energética: Canola (*Brassica napus L.*)”. Acta Iguazu, Cascavel, v. 3, p.141-149, 2014. Disponível em: . Acesso em: 09 maio 2016.

MOTTA, Rosângela; BERNUCCI , Liedi; VASCONCELLOS, Pérola. “Emissões de Misturas Asfálticas Mornas e a Quente devido à Temperatura.” SINICESP, USP, p. ed.5, 2 maio 2013.

NASCIMENTO, L. A. H. “Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente”. 2008. 204 p. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

NORDEBECK, A.V.,TIMM, D.H. “Physical and Structural Characterization of Sustainable”, Asphalt Pavement Sections at NCAT Track, 2013.

“National Agricultural Statistics Service, United States Department of Agriculture”, Disponível em: [https://www.nass.usda.gov/Publications/Ag\\_Statistics/2016/index.php](https://www.nass.usda.gov/Publications/Ag_Statistics/2016/index.php), Acesso em “17/05/2019”

NUNES, S. PRESOTTO “*Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil*” Departamento de Estudos Sócio-econômicos Rurais, n.159, 2007

REDA, S. Y.; CARNEIRO, P. B. “*Óleos e gorduras: aplicações e implicações*”. Revista Analytica, n. 27, p. 60-67, 2007

ROHDE, L ; CERATTI, J. A. P. ; TREICHEL, D.S . “*Estudo Laboratorial de Misturas Asfálticas "Mornas"*”. In: 39ª Reunião Anual de Pavimentação, Recife. Anais da 39ª RAPv e 13º ENACOR. Rio de Janeiro: ABPv e ABDER. 2008.

RONCHETTI, B., et al. 2011, “*Aplicação de WMA com asfalto espumado no Brasil*” XVI-CILA, Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto. Rio de Janeiro.

ROSA, Francisco Dalla *et al.* “*Análise do comportamento mecânico de um pavimento reciclado com adição de diferentes agentes estabilizadores.*” TRANSPORTES, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 95-104, 17 jun. 2015.

RUBIO, M. C.; MARTINEZ, G.; BAENA, L.; MORENO, F. “*Warm mix asphalt: an overview.*” Journal of Cleaner Production 24 – p. 76-84, 2012.  
doi:10.1016/j.jclepro.2011.11.053

SALES, P. de M. “*Avaliação das Características Físicas e Mecânicas de Misturas Asfálticas Modificadas com Adição do CCBIT*”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2015.

SOUZA, T. A. F. de; RAPOSO, R. W. C.; DANTAS, A. J. de A.; SILVA, C. V. e; GOMES NETO, A. D.; SANTOS, L. C. N dos; ARAÚJO, R. C. de A.; RODRIGUES, H. R. N.; ANDRADE, D. A de; MEDEIROS, D. A.; DIAS, J. A.; SILVA, E. S. da; LIMA, G. K.; LUCENA, E. H. L. de; PRATES, C. da S. F. “*Produção de Grãos de Canola em Função de Épocas de Semeadura em Dois Anos de Cultivo.*” In: IV Congresso Brasileiro de Mamona, & I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. João Pessoa: Embrapa Algodão, 2010.

ZUBARAN, Marcelo. *“Avaliação do comportamento de misturas asfálticas recicladas mornas em laboratório e usina de asfalto.”* 2014. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Engenharia Civil) - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2014.