



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS PROFESSORA MARIA DA PENHA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

TALITA NANCY ALVES DINIZ LUNA

**EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE *COPAIFERA LANGSDORFFII* NA
TEMPERATURA DE USINAGEM E COMPACTAÇÃO DO CIMENTO
ASFÁLTICO DE PETRÓLEO**

Araruna – PB

2019

TALITA NANCY ALVES DINIZ LUNA

**EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE *COPAIFERA LANGSDORFFII* NA
TEMPERATURA DE USINAGEM E COMPACTAÇÃO DO CIMENTO
ASFÁLTICO DE PETRÓLEO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Área de concentração: Pavimentação

Orientador: Professor Alan Barbosa Cavalcanti

Araruna – PB

2019

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

L961e Luna, Talita Nancy Alves Diniz.
Efeito da adição de óleo de copaífera langsdorffii na temperatura de usinagem e compactação do cimento asfáltico de petróleo [manuscrito] / Talita Nancy Alves Diniz Luna. - 2019.
26 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2019.
"Orientação : Prof. Esp. Alan Barbosa Cavalcanti, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
1. Estradas. 2. Óleo. 3. Temperatura. I. Título
21. ed. CDD 625

TALITA NANCY ALVES DINIZ LUNA

EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE *COPAIFERA LANGSDORFFII* NA TEMPERATURA
DE USINAGEM E COMPACTAÇÃO DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharelado em Engenharia Civil.

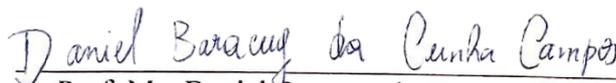
Área de concentração: Pavimentação

Aprovada em: 19/06/2019.

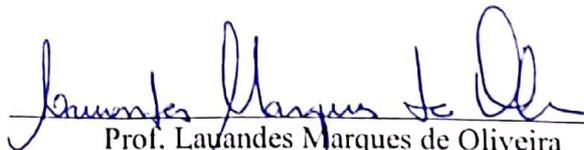
BANCA EXAMINADORA



Prof. Alan Barbosa Cavalcanti (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Daniel Baracuy da Cunha Campos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Lauandes Marques de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha família, por todo apoio,
dedicação, amor e carinho, DEDICO.

“A estrada para o sucesso é uma via não
pavimentada. Carece também de
sinalização e iluminação.”

Tom Coelho

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Finalização do ensaio	13
Figura 2 - Amostras após ensaio	14
Figura 3 - Brookfield modelo FIRSH TOUCH após adaptação	15
Figura 4 - Realização do ensaio	15
Figura 5 - Especificações dos cimentos asfálticos de petróleo (CAP) - classificação por penetração	19

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quantidade de CP por ensaio	17
Quadro 2 - Resultados de ponto de amolecimento	17
Quadro 3 - Resultados de penetração	18
Quadro 4 - Viscosidades rotacionais em temperaturas, aproximadas, especificadas pela NBR 15184.....	19
Quadro 5 - Viscosidades médias de acordo com as temperaturas especificadas	20
Quadro 6 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 - P.....	22
Quadro 7 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 + 4%	22
Quadro 8 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 + 5%	22
Quadro 9 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 + 6%	22
Quadro 10 - Reduções em graus e em porcentagem.....	23
Quadro 11 - Resultados de ponto de fulgor.....	23

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Ensaio de caracterização	16
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Viscosidade CAP 50/70	20
Gráfico 2 - Viscosidade CAP 50/70 + 4%	20
Gráfico 3 - Viscosidade CAP 50/70 + 5%	21
Gráfico 4 - Viscosidade CAP 50/70 + 6%	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. Ensaio de caracterização do CAP puro e com aditivo	13
3.1.1. Ponto de amolecimento	13
3.1.2. Ensaio de penetração	13
3.1.3. Ensaio de viscosidade	14
3.1.4. Determinação de fulgor – vaso aberto de Cleveland	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1. Corpos de prova	16
4.1.1. Quantitativo de corpos de prova	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
5.1. Ensaio de ponto de amolecimento	17
5.2. Ensaio de penetração	17
5.3. Ensaio de viscosidade	18
5.4. Determinação de ponto de fulgor – vaso aberto de Cleveland	23
6. CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24

EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE *COPAIFERA LANGSDORFFII* NA
TEMPERATURA DE USINAGEM E COMPACTAÇÃO DO CIMENTO
ASFÁLTICO DE PETRÓLEO

Talita Nancy Alves Diniz Luna*

RESUMO

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) é um líquido viscoso, semi-sólido ou sólido obtido através de diversos processos de destilação do petróleo. Bastante empregado nas estradas e rodovias, o CAP possui um alto grau de controle tecnológico para que em sua usinagem e compactação suas propriedades não sejam perdidas. Reduzir a viscosidade do ligante asfáltico, para que assim se tenha uma melhor trabalhabilidade é o maior objetivo de se aplicar elevadas temperaturas em sua usinagem e compactação (TUC). Uma vertente que vem sendo amplamente estudada é a das misturas mornas, que propõe algumas alternativas para que a TUC seja reduzida, entre elas, incorporar aditivos naturais, como os óleos vegetais, visto que tendem a reduzir a viscosidade do material. O objetivo desse presente trabalho consiste em estudar novas alternativas de misturas ao CAP com o intuito de reduzir a TUC tornando-o assim mais econômico, menos prejudicial ao meio ambiente e ao trabalhador. Para alcançar esses objetivos, utilizou-se o óleo de *Copaifera Langsdorffi*, mais comumente chamado óleo de Copaíba, incorporando-o ao ligante asfáltico nas proporções de 4%, 5% e 6%. Foram realizados os ensaios de penetração, ponto de amolecimento, viscosidade rotacional e ponto de fulgor, para que fosse possível caracterizar o material. A adição de 6% foi a mais eficaz, pois apresentou uma redução nas TUC, de 12,54°C e 9,97°C, respectivamente.

Palavras chave: Estradas; Óleo; Temperatura.

* Aluna de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba – CAMPUS VIII
Email: talitanancy@hotmail.com

EFFECT OF THE ADDITION OF *COPAIFERA LANGSDORFFII* OIL IN THE TEMPERATURE OF USINAGEMENT AND COMPACTION OF ASHLETIC CEMENT OF OIL

ABSTRACT

Asphalt Petroleum Cement (PAC) is a viscous, semi-solid liquid or petroleum distillation process. The employee employed on highways and highways, has a high degree of technological control so that its machining and compacting are not lost. Reduce a viscosity of the asphalt binder, so that better workability and greater intensity of use in its machining and compacting (TUC) is possible. One aspect that has been widely studied is the warm mix, incorporating some alternatives for a reduced TUC, among them, incorporates natural additives, such as vegetable oils, since they tend to reduce the viscosity of the material. The objective of the present process is to make the new alternatives of integration with the TUC process making it thus more economical, less harmful to the environment and the worker. To achieve the same objectives, use *Copaifera Langsdorffi* oil, more commonly called *Copaiba* oil, incorporating asphalt asphalt in proportions of 4%, 5% and 6%. Penetration tests, softening point, rotational viscosity and flash point were performed in order to characterize the material. The addition of 6% was more effective as it is a reduction in TUC of 12.54 ° C and 9.97 ° C, respectively

Keywords: Roads; Oil; Temperature.

1. INTRODUÇÃO

O transporte de pessoas e mercadorias é essencial para a economia e bem-estar da população. Essa atividade pode ser realizada por meio de 5 modais, são eles, dutoviário, hidroviário, ferroviário, aéreo e rodoviário. O transporte por meio de rodovias é o mais utilizado no Brasil, onde, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2018, é responsável por mais de 60% do transporte de cargas e mais de 90% do transporte de pessoas. No entanto, com base ainda na CNT, as condições da malha rodoviária, possuem apenas 38,2% das rodovias que apresentam estado bom ou ótimo e 61,8% apresentam estado regular, ruim ou péssimo. Esse resultado é reflexo de ações cotidianas, como o transporte de cargas mais elevadas do que o permitido, a escassez de balanças que fiscalizem as cargas dos caminhões, a falta de manutenção adequada e as misturas asfálticas de baixa qualidade ou inadequadas para a região.

O desenvolvimento sustentável visa que o avanço tecnológico não signifique a falta de preservação do meio ambiente. Logo, são necessárias misturas asfálticas que se apresentem mais resistentes ao trincamento por fadiga e a deformação plástica permanente. Para isso, pesquisas deverão ser realizadas com o intuito de evitar, reduzir ou eliminar essas patologias, além de propor a redução de materiais nocivos ao meio ambiente e a diminuição nos gastos. A problemática da emissão de gases poluentes é algo muito recorrente no mundo, logo, a redução da temperatura de usinagem e compactação de misturas betuminosas traz benefícios econômicos, sustentáveis e sociais.

Segundo a Stratura Asfaltos, o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) é um material aglutinante e impermeabilizante que apresenta propriedades de flexibilidade, durabilidade e alta resistência a maioria das ações dos ácidos, sais e álcalis. Diante disso o CAP é o principal componente de vários pavimentos flexíveis utilizados em obras de malhas rodoviárias por todo o país. Por mais que seja viável, a sua utilização e aplicação se dá através da exposição a altas temperaturas seja para usinagem ou para compactação, o que leva a vários malefícios para os trabalhadores expostos, bem como a emissão de gases nocivos ao ecossistema. Dentre as possíveis soluções, têm-se a utilização de aditivos que melhoram o desempenho sem que suas características mecânicas sejam prejudicadas.

A Copaifera Langsdorffii, popularmente chamada de Copaíba, é uma planta de tronco avermelhado, encontrada na região tropical da América Latina, que produz um óleo-resina extraído de seu tronco. Tal árvore ocorre em maior incidência no Brasil. Através de uma extração sustentável a planta é capaz de produzir quantidades consideráveis de óleo, que por serem de origem natural, não agredem o ambiente. A sua utilização irá melhorar aspectos econômicos da região, além de promover a preservação e plantio das espécies produtoras de óleo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Estudar a mistura do CAP 50/70 puro e a sua mistura com o óleo de copaíba, nas variações de 4%, 5% e 6%, buscando obter a redução na temperatura de usinagem e compactação.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o CAP puro, através de ensaios laboratoriais;
- Caracterizar o CAP com adição do óleo de copaíba, através de ensaios laboratoriais;
- Verificar a influência da temperatura de usinagem e compactação, nas amostras de CAP puro e de CAP com adição de óleo;

- Indicar a porcentagem ideal do óleo de copaíba que melhor influência nas temperaturas de usinagem e compactação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Ensaio de caracterização do CAP puro e com aditivo

3.1.1. Ponto de amolecimento

O ponto de amolecimento é uma medida da consistência, útil na classificação de materiais betuminosos, como um elemento no estabelecimento da uniformidade de carregamento ou fontes de fornecimento e é indicativo da tendência do material fluir a temperaturas elevadas encontradas em serviços. Seu valor é um parâmetro usado na determinação do “Índice de susceptibilidade térmica” de material betuminoso e permite também avaliar o “Módulo de rigidez do ligante betuminoso” por meio do “Nomograma de Van Der Poel”.

Este procedimento deve ser realizado no tempo máximo de 240 minutos, entre o enchimento dos anéis e o final do ensaio.

Coloca-se os moldes sobre uma placa de vidro com glicerina para evitar a aderência do CAP à placa. A amostra é fundida e colocada em um molde que consiste de dois anéis de latão. Após o tempo especificado em norma a amostra é rasada para retirar o excesso de material do molde. Os anéis são mantidos suspensos em um banho de água destilada (30° C a 80° C) ou glicerina grau USP (80°C a 157° C) a temperatura controlada e sobre cada um dos anéis são colocados um guia e uma esfera de aço. O conjunto é aquecido a uma taxa de aquecimento constante fazendo com que a amostra amoleça dentro do anel e ceda ao peso da bola. A temperatura é lida no instante em que cada bola tocar a placa de referência, o que pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Finalização do ensaio



Fonte: Autor (2019)

3.1.2. Ensaio de penetração

A penetração consiste na distância em décimos de milímetro que uma agulha padrão penetra verticalmente na amostra de material sob condições prefixadas de carga, tempo e temperatura, ou seja, é uma forma de se medir a “dureza” do material e assim classifica-lo, normalmente, como CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100 e CAP 150/200.

A amostra é fundida e colocada no molde correspondente ao ensaio. Após o tempo determinado em norma, coloca-se a amostra submersa em água para que ela atinja e permaneça na temperatura ambiente. Coloca-se o peso de 50g acima da agulha resultando em uma carga total de 100g para o conjunto de penetração. Deve-se ajustar a agulha já devidamente carregada à superfície da amostra. Anotar a leitura do mostrador do penetrômetro ou trazer o seu ponteiro para a posição zero. Após o ajuste da agulha durante o tempo especificado, ajustar o instrumento para medir a distância penetrada e anotar esse valor. Caso o recipiente da amostra, à medida que a agulha é aplicada, sofra algum movimento, abandonar o resultado.

Fazer pelo menos três determinações em pontos da superfície da amostra, distantes entre si e da borda do recipiente de 1 cm, no mínimo. Pode-se observar parte do procedimento na Figura 2.

Figura 2 - Amostras após ensaio



Fonte: Autor (2019)

3.1.3. Ensaio de viscosidade

Viscosidade dinâmica consiste na força necessária para vencer a resistência que a viscosidade de um material fluido oferece a um movimento rotacional com velocidade constante e uniforme. Em suma, o aparelho gira um cilindro ou um disco em velocidade constante e uniforme, o qual está mergulhado num fluido. Essa rotação determina uma força necessária para vencer a resistência que a viscosidade do material fluido, em estudo, oferece ao movimento rotacional.

Segundo Bernucchi (2008), o viscosímetro Brookfield permite medir as propriedades de consistência relacionadas ao bombeamento e à estocagem. Permite ainda obter gráfico de temperatura-viscosidade para projeto de mistura asfáltica, por meio de medida do comportamento do fluido a diferentes taxas de cisalhamento e a diferentes tensões de cisalhamento, obtidas por rotação de cilindros coaxiais que ficam mergulhados na amostra em teste. É uma medida da viscosidade dinâmica expressa em centipoise (cP). A unidade de medida de viscosidade no sistema internacional é o pascal segundo ($\text{Pa}\cdot\text{s} = 1\text{Ns}/\text{m}^2$); no sistema CGS a unidade é o poise ($P = 1\text{g}/\text{cm}\cdot\text{s} = 0,1\text{Pa}\cdot\text{s}$). O centipoise é equivalente ao milipascal e $1.000\text{cP} = 1\text{Pa}\cdot\text{s}$.

O ensaio de viscosidade rotacional foi realizado no Brookfield Modelo FIRSH TOUCH, o qual é dedicado para análises de viscosidades dinâmicas de acordo com os padrões ASTM/ISO 2555. Devido ao fato do equipamento não possuir uma célula de carga que proporcione que o material fique a uma temperatura constante, fez-se uma adaptação ao qual um bico de Bunsen,

fornecia calor a amostra de forma que ela permanecesse estável à temperatura desejada. Colheu-se dados das temperaturas de 135°C, 150°C e 177°C, que consistem nos valores de referência da norma ABNT NBR 15184. Para a realização do ensaio utilizou-se o Spindle nº 4 de geometria circular. O procedimento pode ser observado através da Figura 3.

Figura 3 - Brookfield modelo FIRSH TOUCH após adaptação



Fonte: Autor (2019)

3.1.4. Determinação de fulgor – vaso aberto de Cleveland

Este método prescreve o procedimento para a determinação dos pontos de fulgor e de combustão de produtos de petróleo, exceto os óleos combustíveis e produtos que tenham ponto de fulgor, em vaso aberto, inferior a 79°C.

A cuba de ensaio é cheia com a amostra até um nível especificado. A temperatura da amostra é aumentada, de início rapidamente e depois lentamente, a uma taxa constante na medida em que se aproxima do ponto de fulgor. A intervalos de tempo especificados, uma pequena chama-piloto é passada sobre a cuba. A mais baixa temperatura, na qual a aplicação da chama-piloto provoca a ignição dos vapores acima da superfície do líquido, é tomada como o ponto de fulgor.

O ponto de fulgor mede a tendência da amostra formar mistura explosiva com o ar, sob condições controladas de laboratório. Somente uma propriedade, de uma série delas, pode ser considerada na avaliação do perigo de inflamabilidade de um material. A Figura 4 ilustra parte do procedimento.

Figura 4 - Realização do ensaio



Fonte: Autor (2019)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

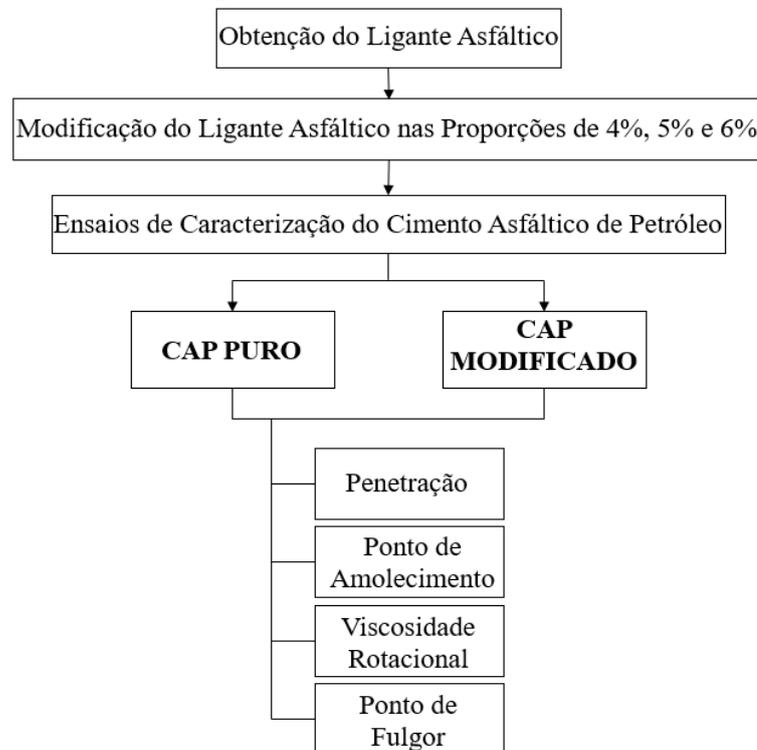
O CAP foi adquirido na Universidade Federal da Paraíba tendo a análise desenvolvida com base na confecção dos corpos de prova de acordo com os ensaios de Viscosidade Rotacional (ABNT NBR 15184/2004), Ponto de Amolecimento – Anel e Bola (DNIT 131/2010-ME), Ponto de Fulgor (DNER-ME 148/94) e Penetração (DNIT 155/2010-ME).

A metodologia seguiu as seguintes etapas:

- Obtenção de ligante asfáltico (CAP 50/70-Puro);
- Modificação do ligante asfáltico puro com adição de óleo de Copaíba, em três percentuais: 4% (CAP 50/70+4%), 5% (CAP 50/70+5%) e 6% (CAP 50/70+6%);
- Ensaio das amostras CAP 50/70+4%, CAP 50/70+5% e CAP 50/70+6% para viscosidade rotacional, ponto de amolecimento, ponto de fulgor e penetração;

O Fluxograma 1, ilustra a metodologia e sequência de ensaios utilizados para a caracterização do CAP. Para cada um dos ensaios realizados foi obtida a média de duas amostras ensaiadas.

Fluxograma 1 - Ensaios de caracterização



Fonte: Autor (2019)

4.1. Corpos de prova

Para a realização da caracterização foi necessário a confecção dos corpos referente a cada ensaio. Para isso, utilizou-se do Laboratório de Solos e Materiais da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e o Laboratório de Pavimentação da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

4.1.1. Quantitativo de corpos de prova

Quadro 1 - Quantidade de CP por ensaio

Amostra	Quantidade	Amolecimento	Viscosidade	Penetração	Ponto de Fulgor
CAP 50/70 – P	12	2	6	2	2
CAP 50/70+4%	12	2	6	2	2
CAP 50/70+5%	12	2	6	2	2
CAP 50/70+6%	12	2	6	2	2
Total	48	8	24	8	8

Fonte: Autor (2019)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão dispostos em quatro etapas. A primeira etapa, compreende a análise quanto ao ensaio de ponto de amolecimento. A segunda etapa dispõe da análise de penetração. Na terceira etapa compreende-se os resultados de viscosidade rotacional. Na quarta etapa, estão dispostos os dados obtidos referentes ao ponto de fulgor.

5.1. Ensaio de ponto de amolecimento

No Quadro 2, estão expostos os resultados obtidos através dos ensaios realizados para o CAP puro e para o CAP modificado.

Observou-se uma diminuição sucessiva desse parâmetro conforme ocorria a adição do óleo de Copaíba. Dessa forma, notou-se que o material apresentava uma menor rigidez quando submetido a adição.

Quadro 2 - Resultados de ponto de amolecimento

AMOSTRA	PONTO DE AMOLECIMENTO (°C)		VALOR MÉDIO (°C)
CAP 50/70 – P	46,35	47,30	46,83
CAP 50/70+4%	41,00	42,00	41,50
CAP 50/70+5%	41,50	41,25	41,38
CAP 50/70+6%	39,20	38,80	39,00

Fonte: Autor (2019)

Segundo a Agencia Nacional de Petróleo (ANP), o ponto de amolecimento mínimo do CAP 50/70, corresponde a 46°C. A adição do óleo diminui o seu ponto de amolecimento, mostrando assim que o material se tornou menos viscoso. Segundo a norma (DNIT 095/2006-EM), o intervalo máximo entre a temperatura de referência e a encontrada é de 8°C, dessa forma, notou-se que essa condição foi respeitada durante o ensaio, onde o maior aumento do ponto de amolecimento correspondeu a 7°C.

5.2. Ensaio de penetração

Neste item serão avaliados os resultados de penetração em décimo de milímetros do CAP puro e com adição. Os resultados obtidos estão expressos no Quadro 3, e contam com os valores de penetração e a média deles nas condições estabelecidas.

A adição do óleo de Copaíba promoveu um aumento de penetração do CAP 50/70, indicando assim uma diminuição na rigidez do material à temperatura de 25°C. O aumento de penetração é verificado conforme o aumento de adição.

Os maiores acréscimos de penetração obtidos foram referentes ao CAP 50/70+6%, onde o valor obtido é superior ao limite máximo estabelecido pela norma (DNIT 095/2006-EM), que corresponde ao CAP 150/200.

Quadro 3 - Resultados de penetração

AMOSTRA	PENETRAÇÃO (dmm)		VALOR MÉDIO (dmm)
CAP 50/70 – P	62,33	64,33	63,33
CAP 50/70+4%	144,33	141,00	142,67
CAP 50/70+5%	159,00	164,33	161,67
CAP 50/70+6%	228,33	232,33	230,33

Fonte: Autor (2019)

Em síntese, observa-se que o acréscimo de penetração do CAP puro para o CAP com as adições de 4%, 5% e 6%, são respectivamente, 125,28%, 155,28% e 263,69%, mostrando assim que a adição diminui consideravelmente a rigidez/viscosidade do material. Sendo assim um fator positivo, visto que consistiu em um dos objetivos do trabalho.

5.3. Ensaio de viscosidade

De acordo com a norma do DNIT 095/2006 – EM, as temperaturas indicadas para realização do ensaio são 135°C, 150°C e 177°C. O ensaio foi realizado rotação por minuto (rpm) igual a 20 durante 30 segundos. A Figura 5 contém os dados de especificações utilizados no ensaio.

Figura 5 - Especificações dos cimentos asfálticos de petróleo (CAP) - classificação por penetração

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES				MÉTODOS		
		CAP 30 / 45	CAP 50 / 70	CAP 85 / 100	CAP 150 / 200	ABNT	ASTM	DNER
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5	ME 003/99
	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36	
Viscosidade Saybolt Furol	s					NBR 14950	E 102	ME 004/94
a 135 °C, mín		192	141	110	80			
a 150 °C, mín		90	50	43	36			
a 177 °C		40 - 150	30 - 150	15 - 60	15 - 60			
OU								
Viscosidade Brookfield	cP					NBR 15184	D 4402	
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín		374	274	214	155			
a 150 °C, SP 21, mín.		203	112	97	81			
a 177 °C, SP 21		76 - 285	57 - 285	28 - 114	28 - 114			
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)			
Ponto de fulgor mín	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92	ME 149/94
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042	ME 153/94
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min							D 2872	
Variação em massa, máx (2)	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5			
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36	
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5	ME 003/99

Fonte: DNIT 095/2006 – EM

Os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados estão expressos no Quadro 4, onde apresentam as temperaturas que foram realizadas os ensaios e suas respectivas viscosidades.

Quadro 4 - Viscosidades rotacionais em temperaturas, aproximadas, especificadas pela NBR 15184

Amostras	Viscosidades					
CAP 50/70 – P	134,4°C	135,2°C	150,6°C	150,7°C	177°C	177,6°C
	205,42	210,99	151,74	151,76	54,13	50,40
CAP 50/70 + 4%	135°C	136,2°C	149,4°C	151,1°C	177,2°C	177,8°C
	167,45	166,31	141,12	150,30	39,68	36,20
CAP 50/70 + 5%	135,2°C	135,3°C	149,7°C	150,7°C	176,8°C	177,3°C
	140,72	139,43	115,30	113,14	31,24	29,86
CAP 50/70 + 6%	135,6°C	135,8°C	150°C	151,6°C	177,1°C	177,4°C
	111,24	117,82	98,72	96,40	24,13	26,21

Fonte: Autor (2019)

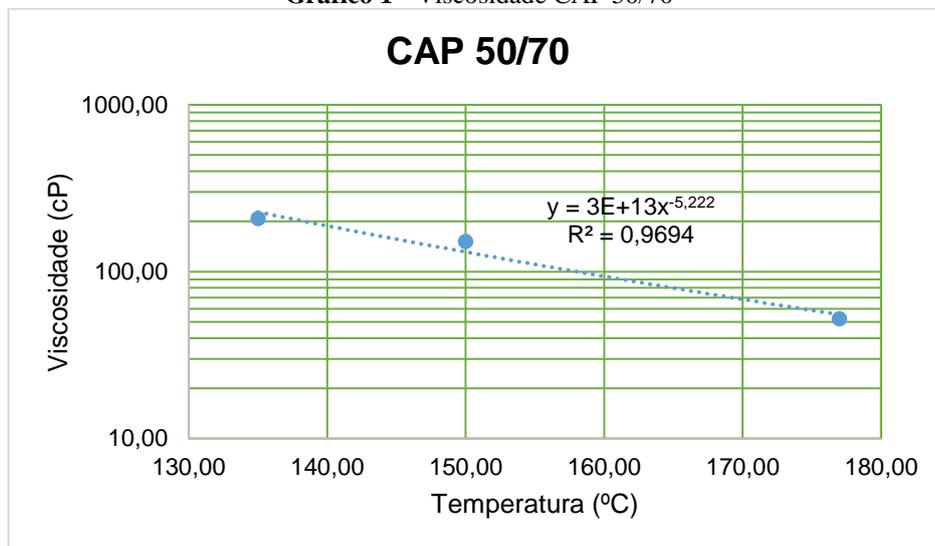
O Quadro 5, dispõe da média dos ensaios realizados, onde a partir desses dados tornou-se possível o traçado dos Gráficos 1, 2, 3 e 4. Eles ilustram o comportamento do CAP em relação à Temperatura x Viscosidade.

Quadro 5 - Viscosidades médias de acordo com as temperaturas especificadas

Amostras	Viscosidades		
	135°C	150°C	177°C
CAP 50/70 – P	208,21	151,75	52,27
CAP 50/70 + 4%	166,88	145,71	37,94
CAP 50/70 + 5%	140,08	114,22	30,55
CAP 50/70 + 6%	114,53	98,70	24,13

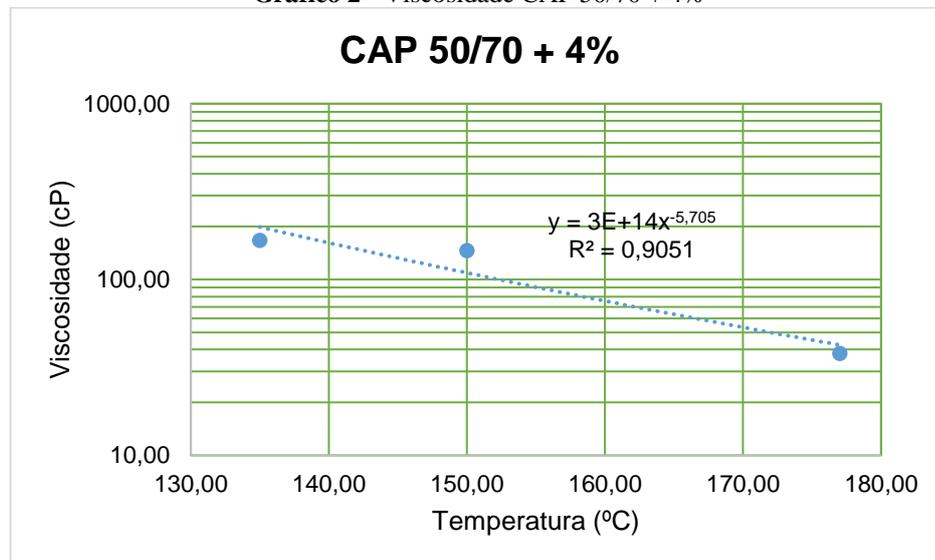
Fonte: Autor (2019)

Os gráficos mencionados foram traçados com base nos resultados obtidos nos ensaios, onde utilizou-se da escala logarítmica para representar os dados de viscosidade.

Gráfico 1 - Viscosidade CAP 50/70

Fonte: Autor (2019)

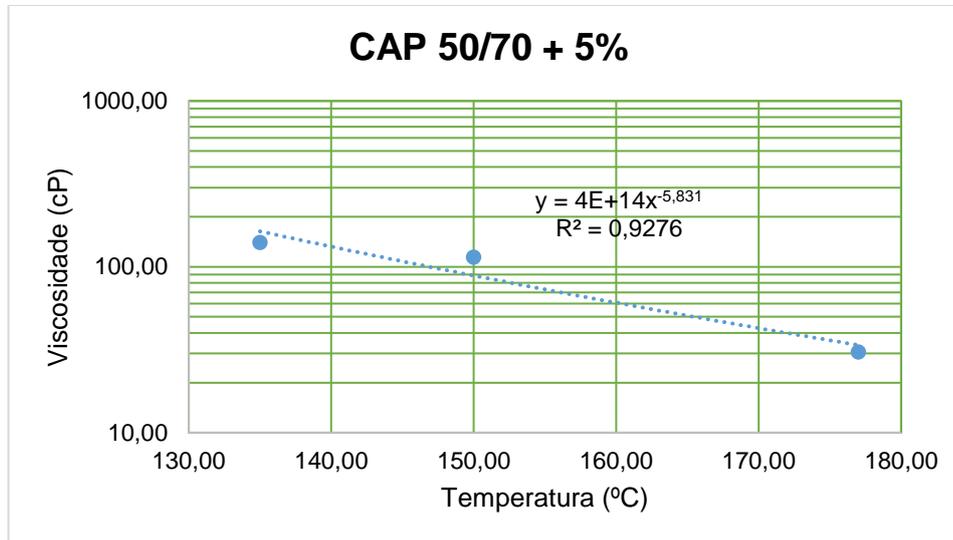
Pode-se observar nos gráficos a variável y, ela representa a fórmula gerada pela linha de tendência das amostras.

Gráfico 2 - Viscosidade CAP 50/70 + 4%

Fonte: Autor (2019)

Observa-se também nos gráficos o coeficiente R^2 , ele indica que quanto mais próximo os resultados estiverem do valor unitário, melhores estão representados os dados.

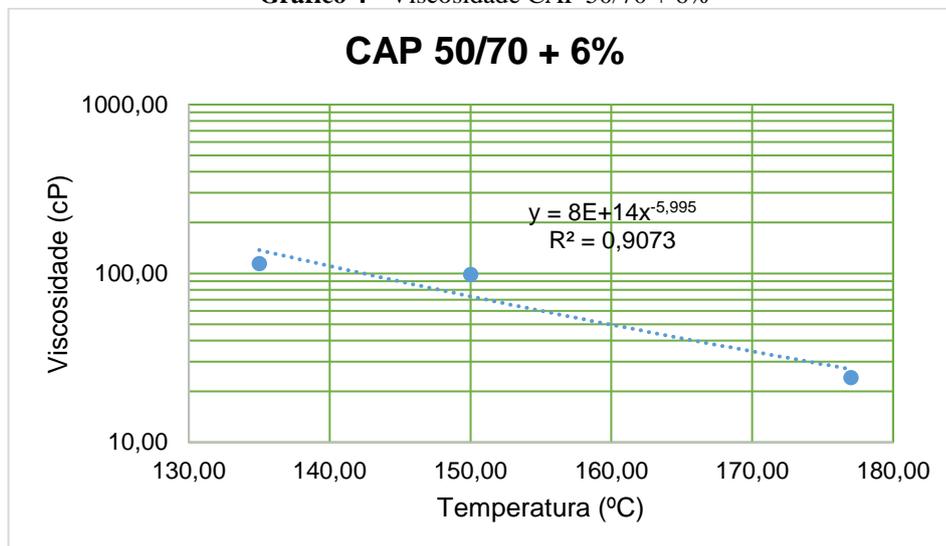
Gráfico 3 - Viscosidade CAP 50/70 + 5%



Fonte: Autor (2019)

Para calcular os valores de TU e TC, utiliza-se da fórmula gerada no gráfico, a qual será dividida pelas faixas de viscosidade pré-estabelecidas em norma. Realiza a média dessas faixas e com isso tem-se os respectivos valores.

Gráfico 4 - Viscosidade CAP 50/70 + 6%



Fonte: Autor (2019)

As faixas de viscosidade para a determinação da Temperatura de Usinagem (TU) foram de 1,5 a 1,9 Poise e para a Temperatura de Compactação (TC) foram 2,5 a 3,1 Poise (ASTM D2493, 2001 apud CAVALCANTE, 2016). Nos quadros 6, 7, 8 e 9 encontram-se as temperaturas de usinagem, compactação e do agregado para o CAP puro e para o CAP modificado.

Quadro 6 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 - P

Temp. de Usinagem (TU)			Temp. do Agregado (TA)		Temp. de Compactação (TC)		
cP (y)	°C (x)	°C (x)	Variação	°C	cP (y)	°C (x)	°C (x)
150	145,92	142,69	Inicial	142,69	250	132,3	129,65
190	139,46		Final	157,69	310	127,0	

Fonte: Autor (2019)

Através desses dados foi possível fazer comparações e observar as reduções de temperatura referentes a cada adição.

Quadro 7 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 + 4%

Temp. de Usinagem (TU)			Temp. do Agregado (TA)		Temp. de Compactação (TC)		
cP (y)	°C (x)	°C (x)	Variação	°C	cP (y)	°C (x)	°C (x)
150	143,28	140,37	Inicial	140,37	250	131,01	128,58
190	137,46		Final	155,37	310	126,16	

Fonte: Autor (2019)

No Quadro 8, já é possível observar uma pequena redução nas temperaturas analisadas.

Quadro 8 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 + 5%

Temp. de Usinagem (TU)			Temp. do Agregado (TA)		Temp. de Compactação (TC)		
cP (y)	°C (x)	°C (x)	Variação	°C	cP (y)	°C (x)	°C (x)
150	135,21	132,53	Inicial	132,53	250	123,87	121,63
190	129,84		Final	147,53	310	119,39	

Fonte: Autor (2019)

Os Quadros 8 e 9 apresentam uma maior redução nas temperaturas, mostrando assim que a mistura atendeu bem ao esperado.

Quadro 9 - Temperaturas de usinagem, agregado e compactação do CAP 50/70 + 6%

Temp. de Usinagem (TU)			Temp. do Agregado (TA)		Temp. de Compactação (TC)		
cP (y)	°C (x)	°C (x)	Variação	°C	cP (y)	°C (x)	°C (x)
150	132,72	130,15	Inicial	130,15	250	121,88	119,73
190	127,59		Final	145,15	310	117,58	

Fonte: Autor (2019)

Os resultados obtidos, estão expressos em suma no Quadro 10, o qual apresenta as reduções em graus e em porcentagem das temperaturas de usinagem e compactação.

Quadro 10 - Reduções em graus e em porcentagem

Amostra	Temperatura de Usinagem (TU)	Temperatura do Agregado (TA)	Temperatura de Compactação (TC)	Redução			
				Temperatura de Usinagem		Temperatura de Compactação	
				(%)	°C	(%)	°C
CAP 50/70 – P	142,69	142,69 - 157,69	129,70	-	-	-	-
CAP 50/70 + 4%	140,37	140,37 - 155,37	128,58	1,63	2,32	0,86	1,12
CAP 50/70 + 5%	132,53	132,53 - 147,53	121,63	7,12	10,16	6,22	8,07
CAP 50/70 + 6%	130,15	130,15 - 145,15	119,73	8,79	12,54	7,69	9,97

Fonte: Autor (2019)

De acordo com os resultados do Quadro 10 é importante ressaltar que a medida que foi adicionado óleo ao CAP, as temperaturas de usinagem, compactação e do agregado diminuiram consideravelmente.

5.4. Determinação de ponto de fulgor – vaso aberto de Cleveland

O ponto de fulgor mínimo, de acordo com a ANP, corresponde a 235°C. Realizou-se os ensaios com o objetivo de mostrar que o óleo de Copaíba não iria ser inflamável à uma temperatura abaixo da estabelecida.

Os resultados encontrados estão expostos no Quadro 11. Nele pode-se observar o intervalo, em °C, que seria necessário para que o material começasse a emanar gases inflamáveis.

Quadro 11 - Resultados de ponto de fulgor

AMOSTRA	PONTO DE FULGOR (°C)		VALOR MÉDIO (°C)	INTERVALO (°C)
CAP 50/70 – P	300,00	295,00	297,50	62,50
CAP 50/70+4%	292,20	294,00	293,10	58,10
CAP 50/70+5%	287,00	280,00	283,50	48,50
CAP 50/70+6%	283,00	280,00	281,50	46,50

Fonte: Autor (2019)

De acordo com a norma (DNER-ME 148/94), o intervalo entre o lampejo, não pode ser maior que 8°C. Os resultados encontrados mostram que o ponto de fulgor diminui quando o óleo é adicionado, indicando que o CAP entra em combustão mais rápido. Ainda assim, o manejo e aplicação desse material, mesmo com adição, é seguro, visto que seria necessário um acréscimo de no mínimo 46,50°C para verificar a emissão dos gases inflamáveis.

6. CONCLUSÃO

As adições proporcionaram ao ligante uma redução significativa em suas temperaturas de usinagem e compactação, onde a adição de 6% mostrou-se mais efetiva, visto que a redução, em graus, nessas temperaturas, foram, respectivamente de 12,54°C e 9,97°C.

O CAP 50/70 + 6% mesmo apresentando uma alta redução de temperatura ainda não pode ser classificada como mistura morna, já que elas proporcionam uma diminuição de viscosidade a temperaturas entre 20°C a 55°C mais baixas que as misturas quentes.

Em relação aos outros ensaios de caracterização, em todos, a adição que mais altera a mistura consiste em 6%. Observou-se que no ponto de amolecimento a temperatura reduziu 7°C, em relação ao parâmetro de temperatura utilizado. No ensaio de penetração, houve um

aumento de 263,69% indicando que a adição diminui consideravelmente a rigidez/viscosidade do material. O ensaio de ponto de fulgor indicou que os lampejos iniciaram à uma temperatura de 281,50°C, mostrando assim que o ponto de fulgor diminui quando o óleo é adicionado, no entanto seria necessário um acréscimo de no mínimo 46,50°C para verificar a emissão dos gases inflamáveis.

Outras questões que podem ser analisadas em pesquisas futuras consistem em uma análise reológica mais apurada utilizando, por exemplo, o Reômetro de cisalhamento dinâmico de ligantes asfálticos. Também pode-se realizar novos ensaios com outras taxas de adição bem como fazer uma análise estatística que demonstre uma porcentagem ideal mediante os parâmetros analisados nesta pesquisa, além disso é possível avaliar, também, as propriedades mecânicas dessa mistura.

REFERÊNCIAS

ASFALTOS, Stratura. **CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo**. Disponível em: <<http://www.stratura.com.br/produto/cap-cimento-asfaltico-de-petroleo/5>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, R. MOURA, E. (2010) Misturas asfálticas para revestimentos de pavimentos produzidas com baixa energia e redução de temperatura, para diminuição de consumo energético e de emissão de poluentes - RT-360/10.12

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás, Abeda, 2008. 504p.

BRASQUIMICA. **CAP50/70**. Disponível em: <http://www.brasquimica.com.br/produtos/prg_pro.cfm?cod=1>. Acesso em: 26 abr. 2018.

CAVALCANTE, Fabiano Pereira. **EFEITO DA ADIÇÃO DOS ÓLEOS DE RICINUS COMMUNIS E LINUS USITATISSIMUM NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO PURO E MODIFICADO**. 2016. 301 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia dos Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

CAVALCANTI, L. S. (2010). **Efeito de alguns modificadores de ligante na vida de fadiga e deformação permanente de misturas asfálticas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 095/2006 - EM: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 06 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 095/2006 – EM: Cimento asfáltico de petróleo – Especificação de material**. Rio de Janeiro: Dnit, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 131/2010 - ME**: Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola Método de ensaio. Rio de Janeiro: Dnit, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 155/2010 – ME**: Determinação da Penetração. Rio de Janeiro: Dnit, 2010.

INSTITUTO DE ASFALTO. **Tradução do Manual de Asfalto**. Série do Manual n° 4 (MS-4), Edição 1989. Rio de Janeiro. 1989. 599p.

JOHNSTON, Marlova; BRITO, Lélío; CERATTI, Jorge. **Produção de Misturas Asfálticas Mornas com Agente Surfactante no Brasil**. 8. ed. São Paulo: Sinicesp, 2016. Disponível em: <<http://www.sinicesp.org.br/materias/2016/bt08a.htm>>. Acesso em: 01 maio 2018.

JUNOR TADEU, C. (2008). **Estudo das Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas Convencionais e Modificadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia/UFRGS.

NELSON FILHO, W. (2013). **Avaliação da influência da redução das temperaturas de usinagem e de compactação no comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas**. Universidade Federal do Ceará- UFS, Fortaleza/CE.

NOVAS TECNICAS DE ASFALTO. **CAP 50/70**. Disponível em: <<http://www.nta-asfaltos.com.br/cap-50-70>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

OMENA, Wander. **Temperatura de Manuseio dos Asfaltos**. 2. ed. São Paulo: Sinicesp, 2012. Disponível em: <<http://www.sinicesp.com.br/materias/2012/bt02a.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

RESOLUÇÃO ANP N° 19, DE 11.7.2005 DOU 12.7.2005 REPUBLICADA DOU 13.7.2005 – RETIFICADA DOU 25.7.2005 – RETIFICADA DOU 17.3.2006. <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2005/julho&item=ranp-19--2005>, jul. 2005.

SECRETARIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS. **ME-26**: Método de Ensaio Ponto de Fulgor – Vaso Aberto Cleveland. Recife: Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana, 2003.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por sempre estar presente e me dar forças quando mais preciso.

À minha mãe Simoni, só tenho o que agradecer, por todo amor, carinho, dedicação e por sua fé em mim, e em que tudo daria certo.

Ao meu pai Francisco, pelo seu amor e por sempre me apoiar da sua forma, pela confiança que depositou em mim e por sempre me fazer sentir segura.

Ao meu irmão Tércio, por ser minha parceria, meu cúmplice, meu confidente e acima de tudo, meu melhor amigo.

À minha irmã Ticianne, por seu amor incondicional e por mesmo sendo tão pequena sempre falar as melhores palavras de conforto.

À minha avó Nancy e minha tia Maricélia, eu não estaria aqui hoje sem vocês.

À Marcelo, por toda paciência e incentivo que vem me dando desde que nos conhecemos, obrigada por sempre estar ao meu lado.

Ao meu amigo Lucas, minha dupla acadêmica que levarei comigo por toda a vida. Obrigada por cada momento.

Às minhas amigas Maria e Dandara, pelo companheirismo, conselhos e por sempre me mostrarem o melhor caminho.

À vocês, todo meu amor.

Aos meus professores Leonardo Costa, Daniel Baracuy e Alan Cavalcanti, pelas oportunidades que me foram dadas.

Por fim, ao técnico de Laboratório de Materiais e Geotecnia do Campus VIII, Divaldo Andrade, por todo o suporte que me deu nesses anos.