

ANÁLISE DO LIGANTE ASFÁLTICO COM A INSERÇÃO DE LODO

Victor Rubilar do Prado¹, Lídia Pereira Amaro², Lilian Keylla Berto³ Luciana Cristina Soto Herek Rezende⁴

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. Bolsista PIBIC/UniCesumar. victorru.prado@gmail.com

² Mestranda do PEM, Pós graduada em engenharia mecânica pela Universidade Estadual de Maringá. lidia_amaro@hotmail.com

³ Acadêmica do Curso de Mestrado em Tecnologias Limpas, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. lilianberto_engenharia@hotmail.com

⁴ Docente, Dra., Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Maringá-PR. luciana.rezende@unicesumar.edu.br

RESUMO

O lodo de lavanderia industrial é considerado um resíduo sólido não inerte por conter metais pesados em sua composição, não podendo ser disposto a céu aberto por ser considerado danoso ao ambiente. Porém, o mesmo é considerado suscetível à reutilização na produção de materiais modificados, sendo neste trabalho avaliado com fíler adicionado no ligante asfáltico em proporções que variam de 10%, 30% e 50%. Foram analisadas as propriedades do lodo, quanto a sua granulométrica e as misturas quanto a parâmetros físicos, como as análises de densidade e viscosidade, e também o teste de penetração, que para fins de análises, foi realizado comparações com estudos relacionados para compreender as possíveis variações de acordo com tais modificações realizadas. O ponto de amolecimento e a densidade sofreram alterações, o que consequentemente aumentou a viscosidade e diminuiu a suscetibilidade térmica. Essas variações podem ser positivas quanto ao aumento da resistência à fadiga e à deformação permanente. Os resultados mostraram que a partir de 50% de lodo a viscosidade ultrapassou o valor fixado pela NBR15184/2004 na temperatura de 177 °C tornando inviável a sua utilização.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos; Lodo Têxtil; Ligante Modificado.

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas enfrentados na atualidade é a destinação correta dos resíduos sólidos, visto que, com o avanço tecnológico e a alta demanda de consumo pela população, tem-se produzido quantidade exacerbadas de resíduos, principalmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (PINHEIRO, 2014).

Sendo objeto de pesquisas e de procura por soluções eficazes com urgência por diversos pesquisadores, esses resíduos na maioria dos casos possuem alta capacidade de reaproveitamento, porém, estudos que buscam a reutilização dos mesmo em vários segmentos estão em fase inicial e no Brasil ainda não é uma prática comum, já que, quase sempre tem como destino o aterro industrial (DRAEGER, 2015).

Diante dessa problemática foram criados projetos, programas e até mesmo leis com o intuito de amenizar os efeitos nocivos ao meio ambiente. No Brasil, por exemplo, por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos promulgou-se a Lei Nº 12.305 (2010) que tem como objetivo promover a redução de geração de resíduos bem como o descarte correto, através de práticas sustentáveis, exigindo das indústrias a adoção de produção limpas, reutilização de materiais e a gestão de resíduos sólidos (OLIVEIRA, 2014).

O setor industrial é considerado um dos que mais produz resíduos que causam impacto ambiental, seja no processo de produção ou no pós-consumo. A indústria têxtil, por exemplo, é uma das que mais cresceu nos últimos anos, e o Brasil é um dos maiores produtores do setor, o que configura um grande problema com resíduos (ZONATTI, 2016).

No processo de tingimento são geradas grandes quantidades de efluentes líquidos, que passam por uma estação de tratamento de onde resulta o lodo, um subproduto semissólido rico em óxido de minerais que provêm do pigmento dos tecidos (AL Tidis, 2014).

A construção civil também está em constante desenvolvimento, produção e consumo de recursos naturais, apresentando uma gama abrangente de materiais que podem ser

modificados por resíduos sólidos, tanto que na área de infraestrutura já existem diversos materiais e técnicas de reaproveitamento de resíduos sólidos em pavimentos, seja como um modificador ou como um agregado (ZONATTI, 2016). O ligante asfáltico, mais conhecido como CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) é um dos materiais que tem sido pesquisados com a dição de diversos tipos de modificadores como os polímeros, a borracha, óleos naturais, ceras naturais, entre outros, na forma de aditivos para melhorar as suas características mecânicas (FEITOSA, 2015).

A melhoria dos ligantes, conseqüentemente, produz um asfalto com maior vida útil, resistente a deformações permanente e maior grau de desempenho, no entanto, na maioria dos casos causam o aumento da viscosidade, que, por sua vez, aumenta a temperatura e o custo da usinagem que também é um problema ambiental, pois, geram emissões devido ao aquecimento do ligante (FERNANDES, 2011). Gouveia (2013) afirma que a utilização de fíleres no CAP melhora as suas características físicas, químicas e realógicas

Com isso, o objetivo desse trabalho foi promover a reutilização do resíduo de lavanderia industrial, o lodo têxtil, incorporado como fíler no ligante asfáltico comum – CAP 50/70, onde foram analisadas as características físicas do lodo, o desempenho do ligante e do asfalto modificado através de ensaios, levando em conta o potencial do resíduo de melhorar as características do ligante possibilitando a reutilização do mesmo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se 10 kg de lodo, fornecido por uma lavanderia industrial da cidade de Cianorte-PR. Este material foi moído em um moinho de barras (marca Lombard modelo nº 05, 220v) com 22,28 kg de barras por 15 minutos em uma rotação de 33 giros por minuto. Em seguida analisou-se em relação a parâmetros físicos: ensaio granulométrico (NBR NM 248/2003) e teor de umidade (DNER 213/94).

Os ensaios foram realizados com os teores de 0%, 10%, 30% e 50% de lodo incorporado no ligante, do qual foi realizado o preparo, onde o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) em amostras de 200g teve adições de lodo, como o de 10% onde foi adicionado 20g de lodo, gerando em 50% a adição de 100g de lodo na composição final do ensaio.

No preparo da mistura, aqueceu-se em estufa (marca: De Leo 612, 110/220 V) a 110°C 200g de CAP. A temperatura foi elevada a 160°C diretamente na chama. A mistura foi transferida para um recipiente de alumínio e este levado para um bloco de aquecimento (marca Tecnal modelo: TE-02-E1, 220W) mantido em 168,2°C. Atingida esta temperatura o lodo foi adicionado aos poucos com auxílio de uma espátula metálica. A homogeneização foi obtida com o auxílio de uma haste metálica acoplada em uma furadeira (Bosh profissional de impacto) com rotação em torno de 600 rpm por 30 minutos. A temperatura e a velocidade foram utilizadas com base na metodologia de Gouveia (2013).

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizada a metodologia Marshall em conformidade com a (DNER 043/95). Iniciou-se com a separação e pesagem dos agregados de acordo com o projeto granulométrico da Weiller, sendo 5 corpos de prova de 1,5 kg cada. Os agregados permaneceram em estufa por 16h a 110 °C, após isso foi elevado a temperatura diretamente na chama 10° acima da temperatura do ligante. Em seguida misturou-se o agregado com o ligante e permaneceu em estufa a temperatura de compactação por 2 horas. Passado as 2 horas ajustou-se a temperatura de compactação, colocou a massa no molde da prensa Marshall (Solotest), e iniciou-se a moldagem, sendo dado 75 golpes de cada lado do corpo de prova. Esperou-se 24 horas após a moldagem para retirar os corpos de prova do molde. Foram utilizados 3 corpos de prova para o ensaio de estabilidade e fluência na prensa Marshall (CBR MARSHALL- Solotest), e 2 corpos de prova para o ensaio de compressão diametral (DNIT 136/2010) também na prensa Marshall.

O Rice, ensaio de densidades, seguiu-se a (NBR 15619/2016), onde foram utilizados 4 corpos de prova de 1,2 kg cada. Os agregados foram pesados de acordo com o projeto granulométrico da Weiller e misturados com o ligante conforme processo descrito acima. Após a 2 horas em estufa a mistura foi levada colocada em uma chapa metálica para esfriar, mexendo a cada 3 min para não grudar, até chegar a temperatura de 25 °C. Para o ensaio, pesou-se o recipiente com água, depois pesou a amostra, colocou-a dentro do frasco, completou com água e levou para o agitador por 15 min com rotação de 190 rpm e 25 mmHg de pressão e temperatura a 25 °C. Passados os 15 min, completa o recipiente com água e pesa novamente, com essas pesagens calculou-se a densidade máxima teórica.

O ligante modificado foi caracterizado por meio dos seguintes ensaios físicos: penetração (NBR 6576/2007), onde uma amostra do CAP aquecido em estufa a 110 °C (marca: De Leo 612, 110/220 V), foi transferido para uma cápsula de alumínio (33mm x 16mm). Este material ficou em repouso em temperatura ambiente por uma hora. Em seguida foi levado em banho maria (marca: Solotest, modelo: QS334M-28, 220 V), por uma hora mantido a 25°C. Após esse tempo, a cápsula de alumínio foi acoplada em uma cuba de transferência, com água a 25 °C e colocada sobre o prato do penetrômetro universal (marca: Solotest manual) com carga de 50g. A agulha foi ajustada até tocar na superfície da amostra, em seguida a agulha foi solta no tempo de 5s e realizou-se a leitura da penetração. Foram realizadas três leituras em cada cápsula e obtido o valor médio.

A suscetibilidade térmica utiliza normalmente o Índice de Suscetibilidade Térmica (IST) ou Índice de Penetração (IP), pelo procedimento proposto por Pfeiffer e Van Doormaalem 1936, relacionando os resultados do ponto de amolecimento (PA) e da penetração (PEN) a 25° C na Equação 1 (BERNUCCI et al., 2010).

$$IST = \frac{500 \log(PEN) + 20(PA) - 1951}{120 - 50 \log(PEN) + (PA)}$$

Equação 1: Índice de suscetibilidade térmica

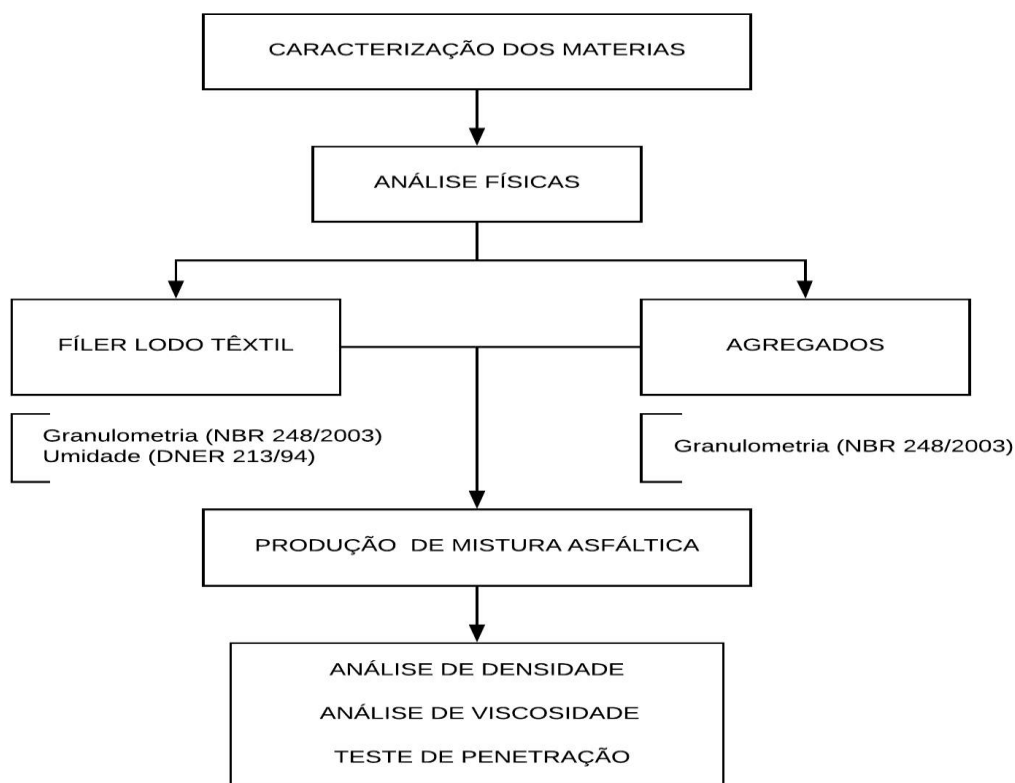
A Figura 1 descreve o fluxograma utilizado na metodologia e suas etapas, demonstrando o progresso realizado.

Figura 1: Fluxograma sobre a metodologia realizada no trabalho

Fonte: Autores

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a moagem do lodo moído, apresentou uma composição granulométrica bem variada como demonstra a Figura 2, sendo 94,8% menor que 9,4mm e 39,2 % maior que 0.600mm. Para ser incorporado no CAP foi escolhida a menor granulometria obtida, a passante na peneira 0,150 mm, para que fosse mais fácil a incorporação deste no ligante sem restar partículas suspensas ou risco de segregação da mistura. A granulometria do fíler a ser incorporado no CAP implica na homogeneidade da mistura. Gouveia (2013) explica que se a granulometria for maior que 0,02mm ocorre a formação de esqueleto mineral contribuindo com o preenchimento dos vazios entre o agregado graúdo e o miúdo, melhorando a adesividade, e se menores que 0,02 torna-se um fíler ativo, ficando em suspensão aumentando a viscosidade e o ponto de amolecimento diminuindo a suscetibilidade térmica.



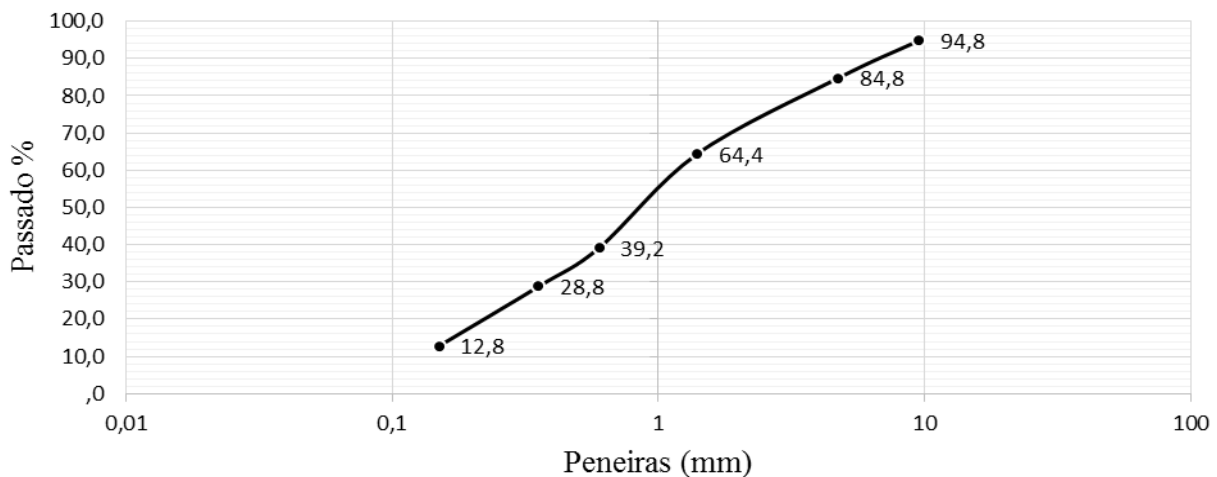


Figura 2: Curva granulométrica do lodo moído
 Fonte: Autores (2019)

A granulometria do agregado se deu com auxílio da empresa Weiller, providenciando a tabela com a granulometria necessária para a utilização no projeto, apresentado pela Tabela 1, com uso de ligante CAP do tipo Betunel e agregado do tipo Basalto, assim como areia média para o desenvolvimento da análise.

Peneira	3/4"	0	Areia	3/8"	Pó w	0	Areia vsi	cal	
Pol	(mm)	% Passando	% Passando	% Passando	% Passando	% Passando	% Passando	% Passando	
1"	25,4	100	0	100	100	100	0	0	100
3/4"	19,1	89,4	0	100	100	100	0	0	100
3/8"	9,5	1,6	0	100	99,4	100	0	0	100
Nº4	4,8	0,2	0	99,8	28,7	95,7	0	0	100
Nº10	2	0,2	0	99,1	1,4	56,6	0	0	100
Nº40	0,42	0,1	0	65,9	1	24,1	0	0	100
Nº200	0,08	0,1	0	0,1	0,9	10	0	0	86,4

Tabela 1: Dados informados pela empresa Weiller
 Fonte: Weiller

Desde a década de 1930 iniciou-se os experimentos com a modificação do CAP, através da adição de outros materiais com o intuito de modificar as propriedades originais tornando-o menos frágil quando submetido a baixas temperaturas e mais viscoso em temperaturas elevadas (BALBO, 2007).

A análise do ligante em vários aspectos mostra a influência do lodo nas suas propriedades, que é o objetivo desse trabalho, avaliar o comportamento do CAP com a inserção de lodo comparando esses resultados com o exigido pela ANP N° 19 (2005).

Na ANP N°19/2005 destinada ao CAP 50/70, o ponto de amolecimento em °C, é determinado por 46, 47.3, 49.8, 52, 55.3 para os CAP padrão da ANP, 0%, 10% 30% e 50% de teor de lodo respectivamente.

A viscosidade foi realizada utilizando a (NBR 15184/2004), nas temperaturas de 135 °C, 150 °C e 177 °C para cada um dos teores. O CAP aquecido em estufa (marca: De Leo 612, 110/220 V) a 110 °C alcançou as temperaturas descritas acima direto na chama. Em seguida foi levada para o bloco de aquecimento que estava na mesma temperatura. Encaixou se a haste (SP 21) no viscosímetro (marca: BrasEq modelo: DV2tRV, 220 V) e ajustou-se dentro da câmara acoplada no thermosel que estava com a mesma temperatura do CAP, permanecendo por 15 min. Após esse tempo, 8g de CAP foi colocada na câmara

e levada de volta para o thermosel. Inseriu-se a haste dentro novamente, aguardou-se mais 10 min, e iniciou-se o teste. Com o torque em 20 rpm foi lida a viscosidade durante 3 min em um intervalo de 1 min entre as leituras. Três pontos foram lidos e o resultado obtido com a média. 11 Para as misturas com os teores de lodo.

É de grande importância os valores da viscosidade na determinação adequada da consistência que o ligante deve estar quando misturado com os agregados, de maneira que, proporcione uma perfeita cobertura dos mesmos (BERNUCCI et al., 2010). Para regiões mais quentes ligantes mais viscosos são os mais indicados, desde que, não ultrapassem a temperatura de 177 °C nas faixas de trabalho fixado pela DNIT 095/2006, tornando-se voláteis e tóxicos quando ultrapassam essa temperatura, além de promover a oxidação excessiva do ligante favorecendo o envelhecimento precoce do mesmo (FERNANDES, 2011).

Os modificadores no CAP sugeriram necessariamente para tornar o material mais rígido ao receber esforços e mais mole ao aliviar esses esforços, pois, o CAP mais consistente, com bases cimentadas mais rígidas quando em misturas asfálticas de revestimento é propenso a uma significativa diminuição das deformações plásticas (BALBO, 2007).

O ensaio de viscosidade mostrou que ocorreu um aumento proporcional ao teor de lodo no CAP, consequência do aumento da densidade das misturas, mostrado na Tabela 1, o que significa um aumento nas temperaturas de trabalho, que em certos aspectos aumenta as emissões de gases e riscos para os trabalhadores, porém, pode ser positivo, pois, pode aumentar a resistência ao envelhecimento e a adesividade do CAP no agregado, devido às partículas de lodo presentes, além de melhorar a suscetibilidade térmica frente às oscilações climáticas (GOUVEIA, 2013). Balbo (2007) afirma que o CAP menos viscoso a altas temperaturas é propenso a ter maior suscetibilidade térmica tornando o ligante mais frágil.

Como mostra o gráfico 1, os teores de 30% e 50% apresentaram um aumento mais acentuado, visto que, o teor de 50% de lodo ultrapassou a viscosidade a 177 °C (57-285 Cp) chegando a 322,5 Cp, não atendendo as especificações da ANP N° 19/2005.

Densidade (g/cm ³)	CAP 0%	CAP 10%	CAP 30%	CAP 50%
	1,016	1,053	1,128	1,191

Tabela 1: Resultado das densidades

Fonte: Autores (2019)

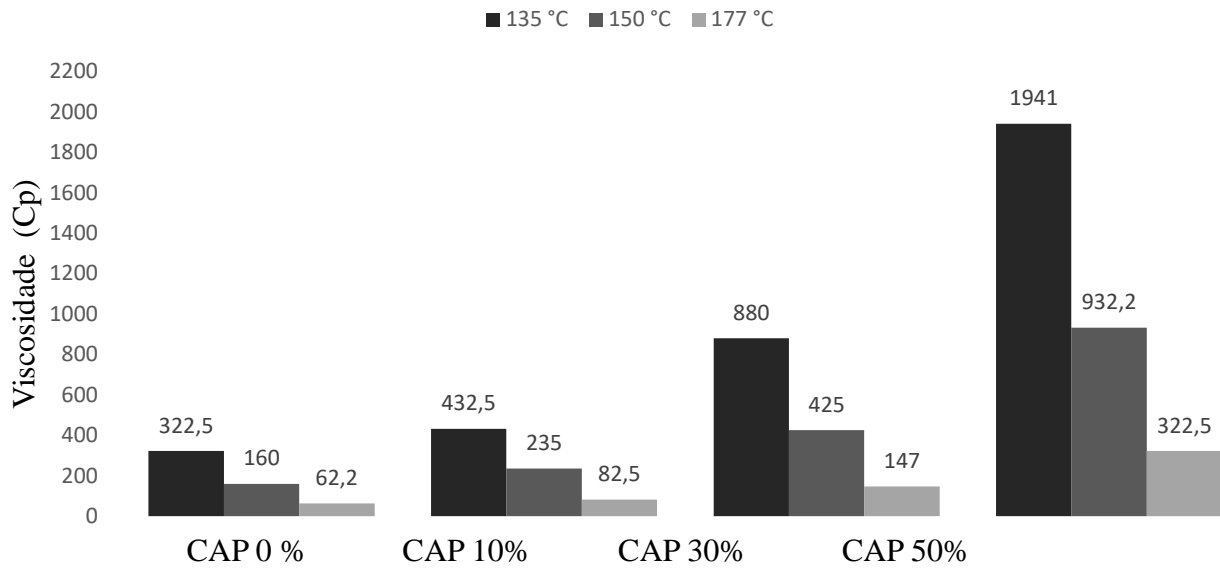


Gráfico 1: Resultados da viscosidade

Fonte: Autores (2019)

Em uma comparação ao estudo de viscosidade realizado para obter resultados a respeito da adição da lama vermelha ao ligante (LIMA. M. S. S) utilizando misturas de 3 diferentes porcentagens (3%, 5% e 7%), foi realizado também um estudo sobre a variação de viscosidade, já que, viscosidade e a elevação de temperatura estão diretamente relacionadas, devido ao fato de mudar as propriedades de fluidez do asfalto e sua densificação, contribuindo ao reduzir os esforços contrários a deformação da mistura, assim como houve um estudo com a análise da variação de rigidez, utilizando os experimentos de penetração, que avalia a alternância de resistência que a mistura é capaz de realizar para contrapor a viscosidade, tendo assim informações sobre o quanto as novas misturas realizadas tanto com adição de lodo, quanto a adição de lama vermelha ao ligante.

A Tabela 2 demonstra os valores obtidos através das análises físicas de penetração e viscosidade.

Características	Unid.	CAP 50/70 ANP	CAP 0%	CAP 10%	CAP 30%	CAP 50%
Penetração	0,1mm	50 – 70	61	55,8	45,1	36,6
Viscosidade Brookfield						
a 135°C	Cp	274	322,5	432,5	880	1941
a 150 °C	Cp	112	160	235	425	932,2
a 177 °C	Cp	57-285	62,5	82,5	147	322,5

Tabela 2 : Dados coletados dos testes de penetração e viscosidade.

Fonte: Autores

O ensaio de penetração mostrou que quando se aumenta a quantidade de lodo no ligante diminui a penetração conforme se visualiza na Figura 3. Essa redução mostra que

houve um aumento na rigidez do CAP, já que, de acordo com Bernucci et al. (2010) quanto menor for a penetração da agulha no ligante maior será a consistência dele e com isso fica presumido um aumento provável na resistência a deformação permanente. Pela especificação do CAP 50/70 a partir dos 30% de lodo no ligante a penetração ficou abaixo de 50 dm, porém, se comparados com ligantes modificados com borracha (45-70 14 dm) e com polímeros (30-70 dm) até 50% de lodo a penetração está dentro do parâmetro desejado (FERNANDES, 2011).

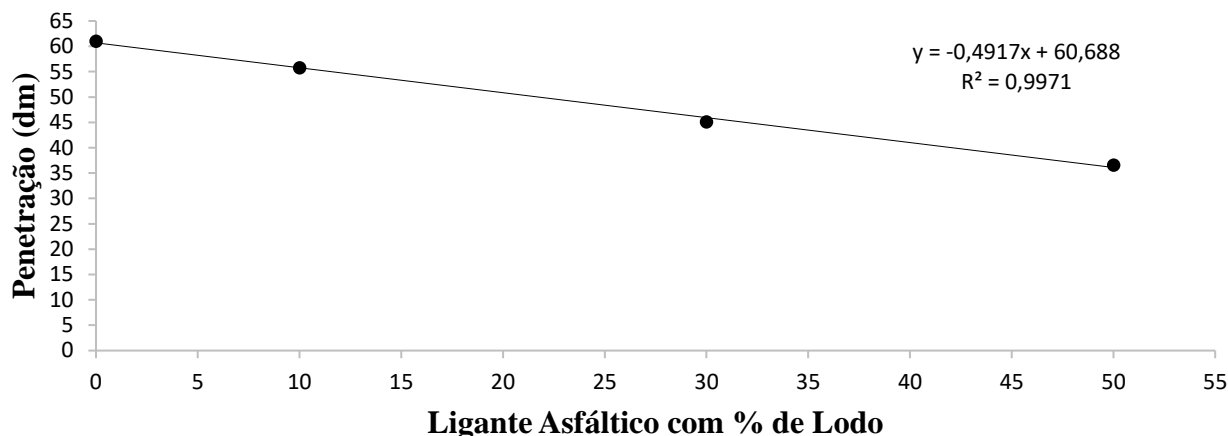


Figura 3: Resultados dos ensaios de penetração

Fonte: Autores (2019)

Ao realizar uma comparação direta, demonstrou que a adição de lama vermelha e adição de lodo na mistura, tiveram resultados que geram uma dificuldade, oferecendo resistência ao teste penetração, gerando um aumento na resistência de deformação.

A suscetibilidade térmica é uma medida empírica que relaciona os valores de penetração com os de ponto de amolecimento. Quanto menor for o valor do IST, valor absoluto, menos sensível a variação de temperatura será o ligante. A norma DNIT 095/2006 define que a faixa permíssivel de variação do ligante é entre (-1,5) e (+0,7), considerando que, valores próximos de (+1) são pouco sensíveis a temperaturas elevadas e quebradiços a baixas temperaturas e menores que (-2) são os muito sensíveis a temperatura (BERNUCCI et al., 2010).

Em uma comparação ao estudo de adição de lama vermelha (LIMA. M. S. S), a adição do lodo ao ligante, gerou uma variação positiva, gerando um aumento de viscosidade, o que conseqüentemente gerou redução na suscetibilidade térmica, assim como o estudo da lama (LIMA. M. S. S) que demonstra um aumento de temperatura com a adição dos materiais (lodo e lama vermelha) ao ligante.

Os ligantes muito suscetíveis a temperatura, não são desejáveis na pavimentação, visto que, o ideal é que essas variações sejam mínimas tanto no momento da compactação quanto ao longo da vida útil do asfalto (FEITOSA, 2015).

Os valores obtidos mostraram que o CAP com a adição de lodo mostrou-se menos suscetível a variações térmicas comparados com o valor do CAP puro, sendo que quanto maior a quantidade de lodo menor o valor do IST, como mostra a Tabela 6. Essa variação está atrelada a viscosidade, onde quanto mais viscoso o ligante menos suscetível a temperatura, indicados para regiões com altas variações climáticas (GOUVEIA, 2013).

A reutilização do lodo no asfalto aumentaria a dificuldade no processo de produção devido à etapa de incorporação do mesmo no CAP, aumentando, conseqüentemente, o valor do produto tendo em vista a diferença de preço entre o ligante modificado com polímero ou borracha e o CAP comum. Em contrapartida as geradoras desse resíduo

passariam a ter lucro com a comercialização do mesmo ao invés de gastos com o seu descarte, gerando uma variação de comércio.

4. CONCLUSÃO

Com os resultados dos ensaios físicos do ligante foi possível visualizar as alterações promovidas pelo lodo no CAP. O aumento do teor de lodo na mistura tornou-a mais consistente, diminuindo a penetração e aumentando o ponto de amolecimento e a viscosidade, o que leva a considerar que o lodo deu rigidez ao ligante, e, conseqüentemente, diminuiu a suscetibilidade térmica das misturas. Esses fatores implicam na dedução de que o CAP com lodo tem menor propensão a deformações permanentes e envelhecimento precoce.

De maneira geral o ligante modificado mostrou-se mais viscoso excedendo a ANP N° 19 para o teor de 50% e menos suscetível a variação de temperatura para todos os teores de lodo, comparados com os resultados do CAP puro. Para efetiva confirmação da viabilidade da utilização de lodo no ligante atendendo as especificações dessa norma, faz-se necessário avaliar essas propriedades com as misturas envelhecidas, bem como o ensaio de adesividade do asfalto no agregado e o comportamento mecânico da mistura asfáltica com o ligante modificado.

Os benefícios para o meio ambiente com a reutilização do lodo podem mostrar-se eficientes com a destinação adequada desse resíduo em quantidades consideráveis, visto que, a produção de asfalto está em constante crescimento, que com um estudo mais aprofundado das propriedades físicas para atender a um equilíbrio entre sua durabilidade, sua resistência e manter a viabilidade financeira, assim como, faz-se necessária a análise mais a fundo das reações químicas que podem ocorrer nessa mistura a longo prazo, como a liberação de elementos nocivos ao ambiente.

REFERÊNCIAS

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **O poder da moda**. São Paulo, 2015. Disponível em: . Acesso em: 16. SET. 2018.

Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. ABNT – ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS. **NBR 6560**: Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel de bolas. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS. **NBR 6576**: Materiais asfálticos: Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS. **NBR 15184**: Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**, Ano de 2017. Publicado em 2018. 74 p.

ALTIDIS, M. E. D. **Desenvolvimento de compósitos utilizando lodo da indústria têxtil na produção de concreto não estrutural**. 2014. 110f. Tese (Doutorado em Ciências e

Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2014.

ANJOS, D. C. **Estudo Sobre a Influência do Lodo Têxtil Gerado Por Uma Lavanderia Industrial, aplicado em argamassa de cimento Portland composto de fíler.** 2017. 73f. Artigo (trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville –SC, 2017.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Regulamento Técnico no 03/2005. Resolução ANP nº 19, de 11 de julho de 2005. Anexo I, Brasília – DF, julho 2005.

BALAGUERA, A.; CARVAJAL, G. I.; ALBERTI, J.; PALMER, P. F. **Life cycle of road construction alternative materials: A literature Review.** 2017. Universidad de Medellin. Colômbia. 2018.

BALBO, J. T.. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração.** 1º Ed. São Paulo: Oficina de Texto. 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica Para Engenheiro.** 3ª. Ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.

DAMASCENO. J. L. B. **Requisitos de sustentabilidade aplicáveis ao setor da construção civil pesada.** 2014. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **ME 213/94.** Determinação do Teor de Umidade. Norma Rodoviária – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. 095/2006. **Cimento asfáltico de petróleo – Especificação do material.** Rio de Janeiro, 2006.

DRAEGER, A. **Aproveitamento de lodo têxtil na produção de briquetes para queima em caldeiras.** 2015. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau - SC, 2015.

FEITOSA, J. P. M. **Avaliação do uso de diferentes tipos de cera de carnaúba como aditivo para misturas mornas.** 2015. 108f. Tese (Doutor em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza -CE, 2015.

FERNANDES, P. R. N. **Avaliação do desempenho do ligante modificado por poli (ácido fosfórico) (PPA) e efeitos da adição do líquido da casca da castanha de caju.** 2015. 146f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2011.

FERREIRA. L. R. S. **Reflexão sobre os impactos ambientais e estratégia utilizadas para o reaproveitamento dos efluentes pelas indústrias têxteis.** 2015. 61f. Artigo (trabalho de conclusão de curso em Química) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande -PB, 2015.

GOUVEIA. F. P. Efeito da adição de fíler gesso nas propriedades do ligante asfáltico e concreto asfáltico. 2013. 183f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013.

HEREK. L. C. S. et al. Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos. Cerâmica 55 (2009) 326-331.

KRAMER, I. R. Utilização de resíduo de pintura industrial incorporado na pavimentação. 2016. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

LIMA. M. S. S. Avaliação do emprego de lama vermelha no desempenho à deformação permanente de mistura asfáltica a quente. 2015. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2015.